

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL**

Eliara Marin Piazza

**REGISTROS PALINOLÓGICOS EM SOLOS PARA
RECONSTITUIÇÃO DA VEGETAÇÃO EM FRAGMENTOS DO BIOMA
PAMPA**

**Santa Maria, RS
2019**

Eliara Marin Piazza

**REGISTROS PALINOLÓGICOS EM SOLOS PARA RECONSTITUIÇÃO DA
VEGETAÇÃO EM FRAGMENTOS DO BIOMA PAMPA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Área de concentração em Silvicultura, como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. José Miguel Reichert

Santa Maria, RS
2019

PIAZZA, ELIARA MARIN
REGISTROS PALINOLÓGICOS EM SOLOS PARA RECONSTITUIÇÃO
DA VEGETAÇÃO EM FRAGMENTOS DO BIOMA PAMPA / ELIARA MARIN
PIAZZA.- 2019.
80 p.; 30 cm

Orientador: JOSÉ MIGUEL REICHERT
Coorientador: ANA PAULA MOREIRA ROVEDDER
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2019

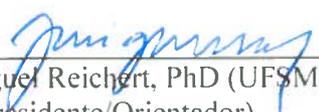
1. Paleovegetação 2. Análise Polínica 3. Holoceno 4.
Granulometria do Solo I. REICHERT, JOSÉ MIGUEL II.
ROVEDDER, ANA PAULA MOREIRA III. Título.

Eliara Marin Piazza

**REGISTROS PALINOLÓGICOS EM SOLOS PARA RECONSTITUIÇÃO DA
VEGETAÇÃO EM FRAGMENTOS DO BIOMA PAMPA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Engenharia Florestal**.

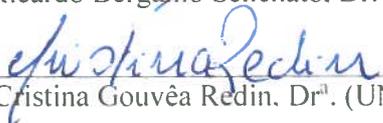
Aprovado em 27 de fevereiro de 2019:



José Miguel Reichert, PhD (UFSM)
(Presidente/Orientador)



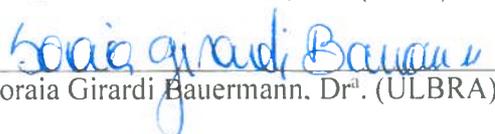
Ricardo Bergamo Schenato, Dr. (UFSM)



Cristina Gouvêa Redin, Dr^a. (UNOESC)



Gisele Leite de Lima, Dr^a. (UFFS)



Soraia Girardi Bauermann, Dr^a. (ULBRA)

Santa Maria, RS
2019

Com todo meu amor, dedico aos meus filhos Livia e Miguel

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Sergio Piazza e a minha mãe Elisete Marin pelo exemplo de persistência, força e por me servir de referência.

Ao meu esposo Rafael Lanza pelo companheirismo, paciência, compreensão e por ter comigo formado uma família linda e maravilhosa.

Aos meus filhos Livia e Miguel por iluminarem meu caminho, alegrarem meus dias e, principalmente, por me ensinarem a amar.

Ao professor José Miguel Reichert pela oportunidade de realização deste trabalho e orientação.

À professora Soraia Girardi Bauermann por me ensinar tudo sobre palinologia e pela orientação.

Ao Laboratório de Palinologia da ULBRA pela infraestrutura concedida para realização deste trabalho.

Aos integrantes do Laboratório de Palinologia da ULBRA, em especial Aline Anjos e Jefferson Nunes Radaeski.

Às colegas engenheiras florestais Cristina Gouvêa Redin e Daiane Andriollo por terem iniciado este projeto.

À Empresa CMPC Celulose Riograndense, em especial ao engenheiro florestal Elias Frank de Araújo.

Aos membros da banca examinadora pelas contribuições e sugestões.

À Universidade Federal de Santa Maria.

À todos meu muito obrigado!

RESUMO

REGISTROS PALINOLÓGICOS EM PERFIS DE SOLOS PARA RECONSTITUIÇÃO DA VEGETAÇÃO NO BIOMA PAMPA

AUTORA: Eliara Marin Piazza
ORIENTADOR: José Miguel Reichert

A vegetação do bioma Pampa caracteriza-se por extensas áreas de campo nativo, entremeadas por florestas próximas a cursos d'água. Existe um grande esforço por parte de pesquisadores em compreender a dinâmica campo e floresta, para que sejam propostas ações de conservação e manejo adequadas ao bioma. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou realizar um registro palinológico, a fim de reconstituir um modelo de vegetação pretérita em região de ecótono no bioma Pampa. Para tanto, foram selecionados quatro perfis de solos minerais no município de São Gabriel, RS. As amostras de solo coletadas foram fracionadas em 1 cm³ e, posteriormente, processadas conforme metodologia padrão em palinologia. As análises palinológicas foram apoiadas por datações radiocarbônicas e análises granulométricas. Os resultados indicaram que o horto florestal Cerro do Batovi foi naturalmente composto por vegetação campestre desde 4090 ± 25 anos AP. Os campos eram recobertos, principalmente, por gramíneas como Poaceae e por demais ervas que habitavam ambientes abertos. No horto florestal Santa Olga, a vegetação campestre e florestal divide espaço há pelo menos 2630 ± 25 anos AP, entretanto, os elementos campestres dominaram o espectro polínico. Os dados da granulometria indicaram que o tamanho das partículas do solo exerce influência direta sobre a representatividade do conjunto polínico. Os resultados encontrados contribuirão para melhor compreensão do atual padrão florístico do bioma Pampa, favorecendo o desenvolvimento de estratégias de conservação. Além disso, este trabalho amplia a fronteira de pesquisas palinológicas, bem como o conhecimento sobre o potencial de uso do solo em estudos paleoambientais, sendo o primeiro trabalho em palinologia a utilizar solos minerais como sítio de amostragem.

Palavras-chave: Palinologia. Paleovegetação. Análise polínica. Granulometria. Holoceno.

PALYNOLOGICAL RECORDS IN SOIL PROFILES FOR RECONSTITUTING VEGETATION IN THE PAMPA BIOME

ABSTRACT

AUTHOR: Eliara Marin Piazza
ADVISOR: José Miguel Reichert

Pampa biome vegetation is characterized by extensive areas of native grasslands interspersed by forests close to water courses. There is a great effort on the part of researchers to understand the grassland and forest dynamic so that appropriate conservation and management actions are proposed for the biome. In this sense, the present work aimed to perform a palynological record in order to reconstitute a model of past vegetation in an ecotone region in the Pampa biome. For this, four mineral soil profiles were selected in the municipality of São Gabriel, RS, Brazil. The collected soil samples were fractionated into 1cm³ and then processed according to standard methodology in palynology. The palynological analyzes were supported by radiocarbon dating and particle size analysis. The results indicated that the forestry horticulture of Cerro do Batovi was naturally composed of grassland vegetation from 4090 ± 25 years BP. The grasslands were mainly covered by grasses such as Poaceae and other herbs which inhabited open environments. In the Santa Olga forest, the grassland and forest vegetation divide space at least 2630 ± 25 years BP, however the grassland elements dominated the pollen spectrum. The particle size data indicated that the particle size of the soil exerts a direct influence on the representativeness of the pollen collection. The results will contribute to better understand the current floristic pattern of the Pampa biome, favoring development of conservation strategies. In addition, this work extends the frontier of palynological research, as well as knowledge about the potential of soil use in paleoenvironmental studies, being the first work in palynology to use mineral soils as a sampling site.

Keywords: Palynology. Paleovegetation. Pollen analysis. Granulometry. Holocene.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Localização geográfica do estado do Rio Grande do Sul, com detalhe para o município de São Gabriel	17
Figura 1.2 - Unidades fitofisionômicas presentes no bioma Pampa. (A) fitofisionomias da região em estudo, as quais contemplam os campos de solos profundos e a vegetação savanóide. São Gabriel, RS, 2019	19
Figura 1.3 – Vista aérea das áreas de coleta com detalhe para a composição florística. (A) aspecto da vegetação no horto florestal Santa Olga, com predomínio de espécies herbáceas e vegetação florestal; (B) aspecto da vegetação no horto florestal Cerro do Batovi, com predomínio de espécies herbáceas. São Gabriel, RS, 2019	21
Figura 1.4 - Ilustração das etapas de coleta e processamento químico das amostras. (A) descarte da superfície exposta do perfil amostrado; (B) amostra com 1 cm ³ de solo mineral; (C) amostra acondicionada em tubos de falcon após agitação orbital para remoção dos silicatos; (D) filtragem em peneira sob malha metálica de 250 µm; (E) aquecimento em banho-maria a 60°C para remoção dos carbonatos; (F) verificação do pH após remoção dos ácidos húmicos	24

USO DA PALINOLOGIA EM PERFIS DE SOLOS PARA RECONSTITUIÇÃO DA HISTÓRIA AMBIENTAL DO BIOMA PAMPA

Figura 2.1 - (A) Localização geográfica do estado do Rio Grande do Sul, com detalhe para o município de São Gabriel; (B) vista aérea do horto florestal Cerro do Batovi, com detalhamento dos pontos de amostragem; (C) aspecto geral da vegetação natural, com predomínio de espécies herbáceas.....	29
Figura 2.2 – Composição granulométrica por horizonte do Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico endorredóxico. Horto Florestal Cerro do Batovi, São Gabriel, RS, 2019	32
Figura 2.3 - Diagrama polínico de percentagem das amostras de solo do perfil topo do relevo, com destaque para o conjunto polínico da formação campestre e florestal, demais palinomorfos, soma polínica, fases paleoecológicas e análise de agrupamento de Cluster. São Gabriel, RS, 2019	34
Figura 2.4 – Composição granulométrica por horizonte do Cambissolo Háptico Ta Eutrófico léptico. Horto Florestal Cerro do Batovi, São Gabriel, RS, 2019	35
Figura 2.5 - Diagrama polínico de percentagem das amostras de solo do perfil meia encosta, com destaque para o conjunto polínico da formação campestre e florestal, demais palinomorfos, soma polínica, fases paleoecológicas e análise de agrupamento de Cluster. São Gabriel, RS, 2019	37
Figura 2.6 – Composição granulométrica por horizonte do Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico plintossólico. Horto Florestal Cerro do Batovi. São Gabriel, RS, 2019	38
Figura 2.7 - Diagrama polínico de percentagem das amostras de solo do perfil base do relevo, com destaque para o conjunto polínico da formação campestre e florestal, demais palinomorfos, soma polínica, fases paleoecológicas e análise de agrupamento de Cluster. São Gabriel, RS, 2019	40

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO SOLO NO REGISTRO POLÍNICO E SEU SIGNIFICADO NA RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL NO BIOMA PAMPA

Figura 3.1 – (A) Localização geográfica do estado do Rio Grande do Sul, com detalhe para o município de São Gabriel; (B) vista aérea do horto florestal Santa Olga, com detalhamento para o ponto de amostragem; (C) aspecto geral da vegetação natural, com predomínio de espécies herbáceas e vegetação florestal.....	52
Figura 3.2 – Composição granulométrica por horizonte do Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Eutrófico léptico. Horto Florestal Santa Olga, São Gabriel, RS, 2019	54
Figura 3.3 – Triângulo textural representando as classes texturais por horizonte do Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Eutrófico léptico. Horto Florestal Santa Olga, São Gabriel, RS, 2019	55
Figura 3.4 – Diagrama polínico de percentagem dos táxons identificados nas amostras de solo, com destaque para os grupos ecológicos campestre e florestal, demais palinómorfs, soma polínica, fases paleoecológicas e análise de agrupamento de Cluster. São Gabriel, RS, 2019.....	58
Figura 3.5 – Diagrama de dispersão entre as variáveis concentração polínica (cm ³) e profundidade de coleta das amostras de solo utilizadas na análise palinológica. São Gabriel, RS, 2019	60

LISTA DE TABELAS

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO SOLO NO REGISTRO POLÍNICO E SEU SIGNIFICADO NA RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL NO BIOMA PAMPA

Tabela 3.1 – Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a composição granulométrica do solo (%) e a concentração polínica (cm ³) obtida nas amostras utilizadas para análise palinológica. São Gabriel, RS, 2019	59
--	----

DISCUSSÃO GERAL

Tabela 4.1 - Ocorrências dos grãos de pólen da formação campestre e florestal registrados nas amostras de solo analisadas	68
---	----

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	12
1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS	13
1.1 HIPÓTESES	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivos específicos.....	16
1.3 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO EM ESTUDO	16
1.3.1 Localização	16
1.3.2 Clima e Hidrografia	17
1.3.3 Geologia e Vegetação.....	18
1.3.4 Locais de amostragem.....	20
1.4 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLO PARA PALINOLOGIA.....	21
1.5 ANÁLISE DOS DADOS PALINOLÓGICOS	24
2 ARTIGO 1 - USO DA PALINOLOGIA EM PERFIS DE SOLOS PARA RECONSTITUIÇÃO DA HISTÓRIA AMBIENTAL DO BIOMA PAMPA	26
2.1 INTRODUÇÃO.....	27
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.2.1 Área de estudo.....	28
2.2.2 Coleta e processamento das amostras.....	30
2.2.3 Análise dos dados.....	30
2.3 RESULTADOS	31
2.3.1 Perfil topo do relevo	31
2.3.2 Perfil meia encosta.....	35
2.3.3 Perfil base do relevo	38
2.4 DISCUSSÕES	41
2.5 CONCLUSÕES	45
2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
3 ARTIGO 2 - INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO SOLO NO REGISTRO POLÍNICO E SEU SIGNIFICADO NA RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL NO BIOMA PAMPA	49
3.1 INTRODUÇÃO.....	50
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	51
3.2.1 Área de estudo.....	51
3.2.2 Coleta e processamento das amostras.....	53
3.2.3 Análise dos dados.....	53
3.3 RESULTADOS	54
3.3.1 Composição granulométrica	54
3.3.2 Palinologia	55
3.3.3 Associação entre granulometria e concentração polínica	59
3.4 DISCUSSÕES	60
3.5 CONCLUSÕES	63
3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
4 DISCUSSÃO GERAL	67
5 CONCLUSÃO GERAL	70
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
APÊNDICE A - PALINOMORFOS FUNGOS E ALGAS	74

APÊNDICE B - PALINOMORFOS BRIÓFITOS E PTERIDÓFITOS	75
APÊNDICE C – GRÃOS DE PÓLEN DA FORMAÇÃO FLORESTAL.....	76
APÊNDICE D – GRÃOS DE PÓLEN DA FORMAÇÃO CAMPESTRE.....	78

APRESENTAÇÃO

Esta tese de doutorado, intitulada: “Registros palinológicos em perfis de solos para reconstituição da vegetação no bioma Pampa”, versa sobre a dinâmica ambiental em área de ecótono campo-floresta, tendo como base análises polínicas realizadas em amostras de solos minerais. Para tanto, foram desenvolvidas atividades de coleta em áreas que pertencem à CMPC – Celulose Riograndense, no município de São Gabriel, Rio Grande do Sul, bem como atividades de laboratório nas dependências da Universidade Luterana do Brasil – ULBRA. A presente tese está organizada da seguinte forma:

Inicialmente são abordados os Aspectos Introdutórios, onde são descritos alguns conceitos que envolvem a palinologia, os objetivos, hipóteses, caracterização da área de estudo e métodos utilizados.

Posteriormente são abordados dois artigos científicos, que compreendem o conteúdo de maior importância desta tese, com dados e resultados inéditos. O Primeiro artigo intitula-se “Uso da palinologia em perfis de solos para reconstituição da história ambiental do bioma Pampa”, e o segundo “Influência da granulometria do solo no registro polínico e seu significado na reconstituição paleoambiental no bioma Pampa”.

Após os artigos científicos é apresentada uma análise integrativa dos resultados e as principais conclusões encontradas.

1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

O Brasil destaca-se no cenário mundial por sua elevada biodiversidade e por suas extensas áreas com floresta. Além disso, o país também apresenta formações vegetacionais abertas e específicas, tais como o bioma Pampa, que apesar da riqueza de espécies e beleza única, ainda é pouco preservado quando comparado aos demais biomas.

Embora sua vegetação possa parecer simples e uniforme, trata-se de um bioma complexo, composto por formações vegetais tidas como relictual, por representarem um período mais seco e de menor precipitação, onde muitos representantes da flora se estabeleceram e até hoje persistem (BOLDRINI et al., 2010). Prevalece na paisagem natural do Pampa a vegetação campestre, que se intercrusa com matas de galeria, formações arbustivas, matas de encosta e banhados (MMA, 2015). A vegetação composta por campo e floresta disputa por um espaço, e tem questionado naturalistas desde o final do século XIX.

Ao visitar a região do Pampa, Lindman (1906) apud Behling et al. (2009) questionou sobre a presença predominante de campo com clima favorável a presença de florestas, concluindo que a existência do mosaico campo e floresta deve-se a uma situação de transição entre floresta tropical, ao norte, e vegetação de campo, ao sul. Posteriormente, Rambo (1956) e Klein (1975) apud Behling et al. (2009) concluíram que a expansão natural das florestas indicava uma variação climática, com aumento da temperatura e umidade.

Assim, o clima durante o Quaternário foi marcado por diversas oscilações climáticas e vários ciclos glaciais e interglaciais (GIBBARD; HEAD, 2010). As causas das mudanças climáticas do Quaternário não são totalmente conhecidas, e nenhuma teoria proposta a explica plenamente.

Na região sul, o final das glaciações que marcaram a época do Pleistoceno tornou o clima mais frio e seco, favorecendo o domínio da vegetação herbácea. A última glaciação deu início ao Holoceno, tornando o clima mais ameno e favorecendo a expansão do ambiente florestal (BAUERMANN; BEHLING; PILLAR, 2011). De acordo com Salgado-Labouriau (2007), muitos dos eventos que deram origem ao atual padrão florístico dos ecossistemas ocorreram durante o Quaternário, sendo, portanto, a maioria das paisagens atuais de origem geológica recente. Como durante esse período não houve significativas extinções vegetais, admite-se a realização de comparações entre a flora

moderna e seus fósseis, que são semelhantes. São essas comparações que possibilitam a reconstituição de um ecossistema.

A palinologia é o indicador mais utilizado na compreensão e reconstituição das condições ambientais. Por palinologia entende-se o estudo de grãos de pólen, esporos e demais materiais biológicos resistentes às técnicas palinológicas. A enorme quantidade de grãos de pólen e esporos produzidos pelas plantas, a morfologia similar às plantas atuais e as diferenças típicas em cada espécie, são aspectos que fornecem subsídios para a reconstituição paleoambiental (SALGADO-LABOURIAU, 2007).

De acordo com Bauermann e Neves (2005), reconstituir a vegetação só é possível devido à grande quantidade de grãos de pólen e esporos liberados no ar que se depositam na terra ou na água, em diferentes locais, em diferentes anos, devido à ação do vento e turbulência atmosférica. Se o depósito ocorrer em ambiente sedimentar adequado, as variações ocorridas nas comunidades vegetais serão detectadas nos conjuntos polínicos.

Contudo, mesmo frente à importância da palinologia para compreender as alterações na florística e, conseqüentemente no clima, ainda é bastante incipiente seu estudo em algumas regiões do estado, tais como na Campanha, onde até o presente existem apenas duas pesquisas. Um estudo precursor foi realizado por Behling et al. (2005) em São Francisco de Assis, indicando que no Pleistoceno tardio havia predomínio de formações campestres, dominadas por Poaceae, Asteraceae e Caryophyllaceae, fato que sugere a vigência de um clima frio e seco. Todavia, no Holoceno as formações florestais começaram a se expandir, com representatividade dos táxons arbóreos, tais como Melastomataceae e Myrtaceae, indicando um clima mais ameno.

Uma pesquisa mais recente desenvolvida por Evaldt et al. (2014), demonstrou a existência de três importantes fases para o Holoceno: na primeira foram observados o predomínio das famílias Moraceae e Urticaceae, seguidas de Poaceae, Asteraceae e Cyperaceae; na segunda ocorreu um predomínio dos grãos de pólen de Poaceae; enquanto na terceira ocorreu maior riqueza de táxons arbóreos, com diminuição no registro de Poaceae e surgimento de Myrtaceae, sugerindo a vigência de um clima cada vez mais quente e úmido.

Diante da carência de pesquisas palinológicas na região da Campanha e, de forma geral no bioma Pampa, estudos que avaliem o comportamento da paleovegetação são extremamente justificáveis, visto que ampliam o conhecimento sobre a dinâmica vegetacional e servem de base para construção de ações de recuperação de áreas degradadas e conservação ambiental.

De acordo com Salgado-Labouriau (2007) as turfeiras são ambientes propícios ao desenvolvimento da paleopalinologia, uma vez que apresentam elevado potencial para preservar o conjunto polínico. No entanto, são poucas as regiões do Pampa que possuem ambientes turfáceos. Para Coe et al. (2013) a palinologia é uma das ferramentas mais eficientes nos estudos de reconstituição vegetal, mas que encontra dificuldades quanto à disponibilidade de fontes de coleta de materiais. Desta forma, faz-se necessário buscar novos sítios de amostragem para estudos palinológicos, os quais são de suma importância para compreensão dos ecossistemas campestres.

Como já mencionado, pesquisas no Pampa justificam-se pela necessidade de gerar mais informações sobre as condições ambientais pretéritas, subsidiar ações de preservação e recuperação que sejam condizentes com as características originais deste ecossistema, e por possibilitar que se conheça um pouco mais da origem e diversidade florística do bioma.

1.1 HIPÓTESES

Como a vegetação é sensível as mudanças de umidade e temperatura, as formações florestais teriam se expandido gradualmente com a melhoria climática Holocênica, ao passo em que o campo seria remanescente de uma paisagem em plena regressão.

Sendo os solos minerais um possível sítio de amostragem para desenvolvimento de pesquisas palinológicas, a composição granulométrica promoveria respostas distintas no grau de preservação e na representatividade do conjunto polínico.

1.2 OBJETIVOS

A proposição do presente estudo é realizar um registro palinológico, bem como interpretar as principais mudanças ocorridas na vegetação e no clima, por meio de análise do conjunto polínico em amostras de solos minerais. As respostas fornecidas permitirão reconstituir um modelo de vegetação pretérita em região de ecótono no bioma Pampa.

1.2.1 Objetivos específicos

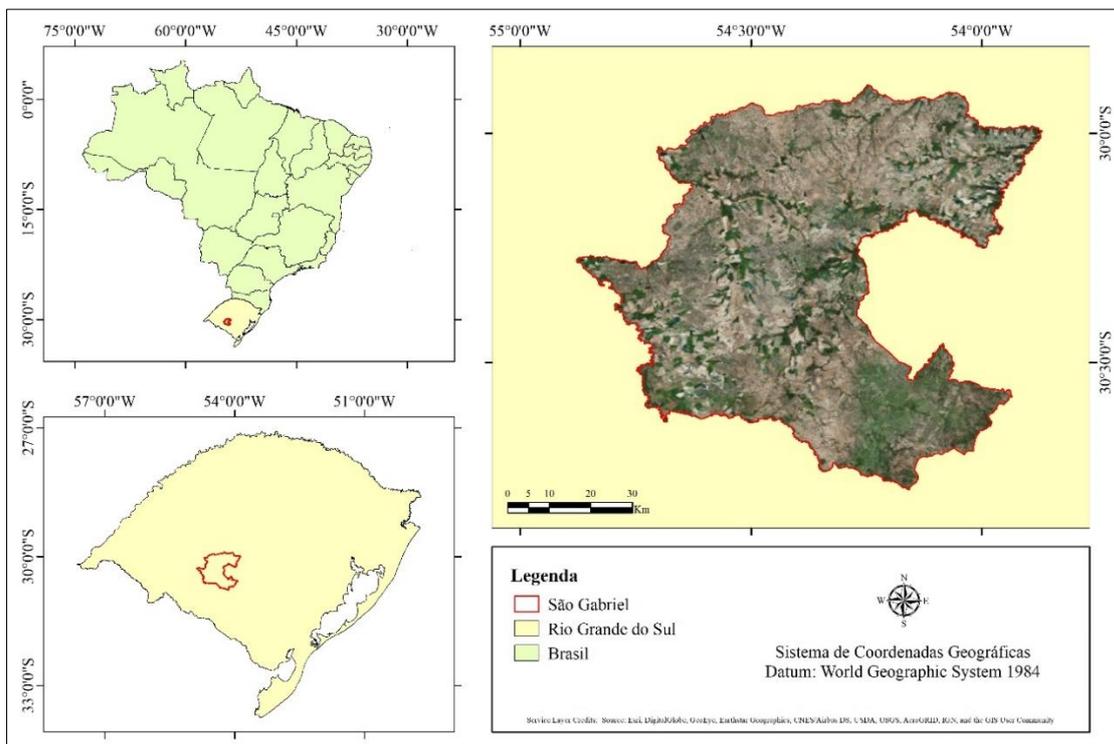
- Identificar os palinomorfos presentes no material amostrado, com vistas a conhecer a composição da paleoflora;
- Verificar a existência de relação entre a granulometria e expressividade do conjunto polínico, buscando entender o processo de preservação dos palinomorfos no solo;
- Reconstituir um modelo de vegetação pretérita, com vistas a compreender a dinâmica campo-floresta;
- Gerar informações sobre a história ambiental do Pampa, a fim de contribuir com o desenvolvimento de ações de recuperação e conservação do bioma.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO EM ESTUDO

1.3.1 Localização

A presente tese foi desenvolvida no município de São Gabriel, localizado na fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul, mesorregião do Sudoeste Rio-Grandense e microrregião Campanha Central, tendo como coordenadas geográficas, 54° 19' 12" de longitude e 30° 20' 11" de latitude, numa altitude entorno de 110 m (Figura 1.1).

Figura 1.1 - Localização geográfica do estado do Rio Grande do Sul, com detalhe para o município de São Gabriel



Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

O município é cortado pela BR 290 e se distancia de Porto Alegre, capital do estado, aproximadamente 320 km. Faz limite com os municípios de Rosário do Sul a oeste; Cacequi, Dilermundo de Aguiar e Santa Maria ao norte; São Sepé, Vila Nova do Sul e Santa Margarida do Sul a leste; e Lavras do Sul e Dom Pedrito ao sul.

1.3.2 Clima e Hidrografia

O clima da região é subtropical úmido (Cfa) de acordo com a classificação climática de Köppen (ALVARES et al., 2013), com temperaturas elevadas no verão, enquanto no inverno baixas e muitas vezes acentuadas por ventos fortes (KUINCHTNER; BURIOL, 2001). A temperatura média do mês mais quente é superior a 30°C e nos meses de inverno inferior a 15°C, sendo frequente a ocorrência de frentes polares, trazendo geadas e ventos frios (MATZENAUER; RADIN; ALMEIDA, 2011).

A umidade relativa do ar demanda valor médio anual entorno de 74%, com máxima chegando a 81,4% no mês de agosto e mínima de 63,7% em dezembro (MATZENAUER; RADIN; ALMEIDA, 2011). O regime de chuvas é considerado, de

modo geral, bem distribuído ao longo do ano, com precipitação média anual superior a 1.300 mm e inferior a 1.800 mm. As chuvas concentram-se no mês de abril, enquanto a ocorrência de chuva escassa acontece no mês de agosto (MORENO, 1961; MACHADO, 1950).

A rede hidrográfica regional está inserida nas bacias dos rios Santa Maria e Vacacaí. Em São Gabriel está localizada a nascente do rio Vacacaí, principal afluente do rio Jacuí, que cruza o estado, do centro em direção leste, desaguando no rio Guaíba. O rio Vacacaí tem elevada importância para o município, pois além de abastecer a zona urbana, seus principais afluentes irrigam lavouras de arroz e fornecem areia para a construção civil (SILVEIRA; ROBAINA; TRENTIN, 2014).

1.3.3 Geologia e Vegetação

São Gabriel situa-se na região fisiográfica da Campanha. A maioria dos solos desta região tem o basalto como material de origem, mas também há áreas cobertas por arenito (STRECK et al., 2008). Em quase todo território, as variações altimétricas encontram-se entre 60 e 120 metros, associadas a um relevo suave a plano. Além disto, ainda existem com menor representatividade as cotas que ultrapassam 300 metros de altitude, localizadas nas coxilhas (PINTO et al., 1999). Os solos predominantes nas planícies de inundações são Planossolos Háplicos Eutróficos, enquanto nas cotas mais elevadas ocorrem os Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico (STRECK et al., 2008).

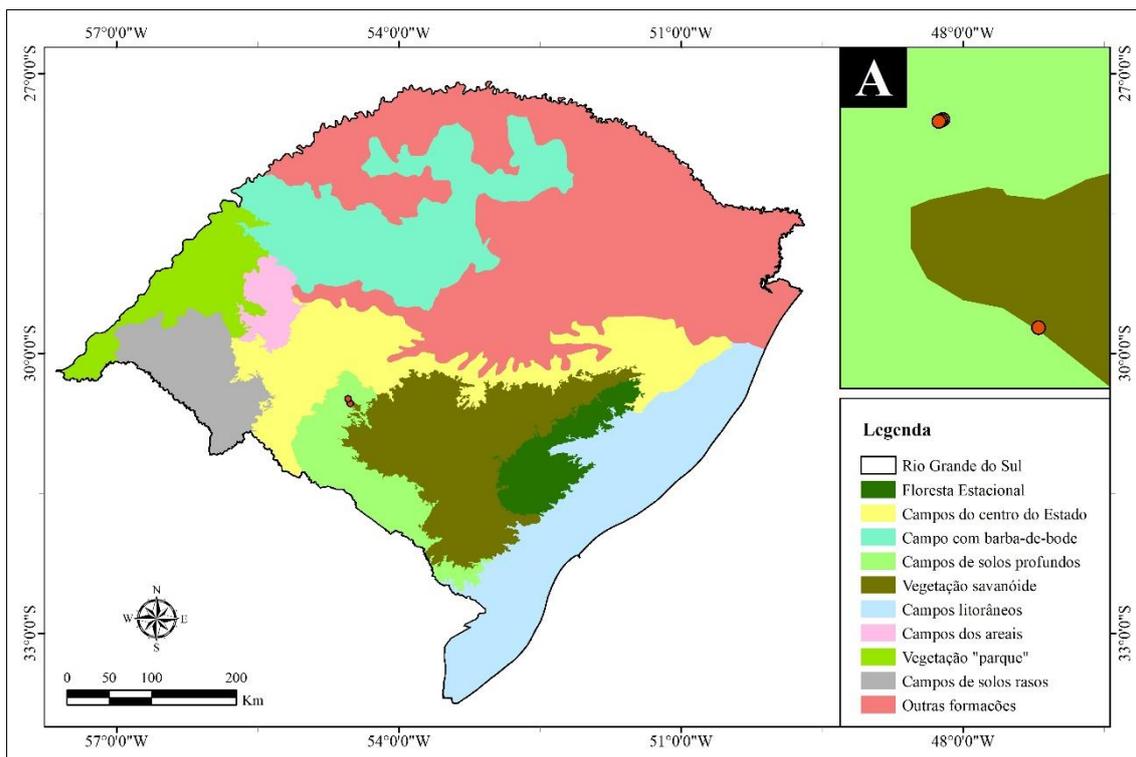
A matriz vegetacional do município está inserida no bioma Pampa que, segundo Boldrini et al. (2010) é formado por extensas áreas de campo, com inclusões de florestas margeando os rios. Muitas espécies ocorrem em praticamente toda a extensão do bioma, destacando-se as gramíneas como *Andropogon* sp., as quais constituem grupo dominante. Também se destacam vários outros grupos de plantas, tais como a família Asteraceae, que inclui *Baccharis* sp. e *Baccharis coridifolia*, bem como a família Fabaceae com mais de 230 espécies, tais como *Trifolium* sp., *Adesmia* sp. e *Desmodium incanum*. Nos campos mais úmidos, a família Cyperaceae é especialmente abundante. Ainda merece menção as famílias Rubiaceae, Umbelliferae, Myrtaceae, Verbenaceae, Amaranthaceae, Euphorbiaceae, Malvaceae e Lamiaceae, cada qual com dezenas de espécies (BOLDRINI, 2009; VERDUM, 2016).

A região em estudo encontra-se entre duas unidades fitofisionômicas: os campos de solos profundos e a vegetação savanóide (Figura 1.2). De forma geral, os campos de

solos profundos caracterizam-se pelo predomínio de gramíneas estivais, no entanto as hibernais e cespitosas estão mais bem representadas nesta fisionomia do que nas demais. Em locais mais úmidos destaca-se a presença da família Cyperaceae representada por *Carex phalaroides* e *Eleocharis dunensis* (BOLDRINI et al., 2010).

Por sua vez, a vegetação savanóide é uma fitofisionomia muito diferenciada, pois o campo encontra-se entremeado por arbustos e árvores de pequeno porte, formando mosaicos com áreas de vegetação florestal mais fechada. A manutenção dos limites entre a vegetação predominantemente campestre, e a vegetação predominantemente florestal é assegurado por roçadas e queimadas. Espécies de gramíneas cespitosas eretas são comuns. Nesta fitofisionomia a vegetação rupestre apresenta muitas cactáceas endêmicas (BOLDRINI et al., 2010).

Figura 1.2 - Unidades fitofisionômicas presentes no bioma Pampa. (A) fitofisionomias da região em estudo, as quais contemplam os campos de solos profundos e a vegetação savanóide. São Gabriel, RS, 2019



Fonte: Adaptado de Boldrini et al. (2010).

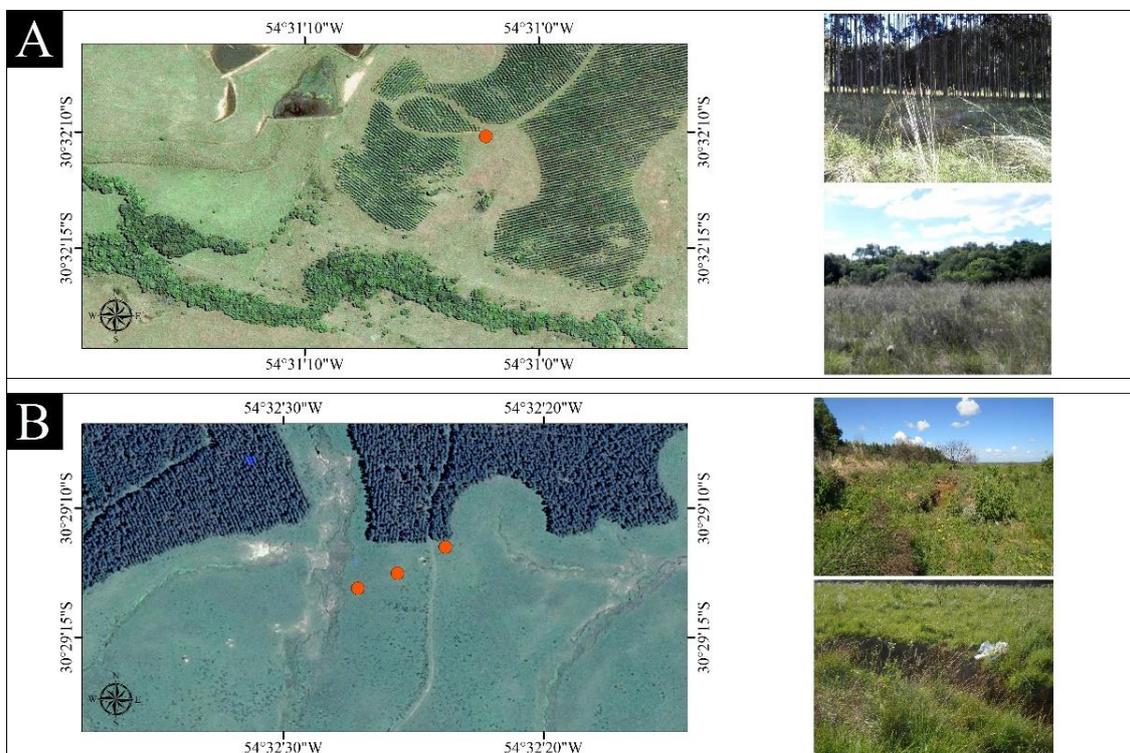
1.3.4 Locais de amostragem

Os locais de amostragem situam-se em hortos florestais da empresa Celulose Riograndense CMPC, a qual possui no município de São Gabriel uma área de 10.806 ha destinados ao plantio de *Eucalyptus* sp., e 6.317 ha para conservação ambiental. Além da área utilizada para cultivo, os hortos florestais apresentam áreas de Reserva Legal (RL) e Preservação Permanente (APP), com afluentes hídricos nos pontos mais baixos do gradiente de relevo.

O horto florestal Santa Olga encontra-se em área de ecótono campo-floresta com predomínio de espécies herbáceas cespitosas e floresta em estágio médio de regeneração natural (Figura 1.3A). As classes de solos encontradas foram Argissolo, Gleissolo, Planossolo, Vertissolo, Plintossolo, Neossolo e Chernossolo, em relevo suavemente ondulado (ANDRIOLLO, 2015; REDIN, 2017).

Por sua vez, no horto florestal Cerro do Batovi, a vegetação natural corresponde à vegetação campestre com baixa frequência de espécies herbáceas cespitosas (Figura 1.3B). Foram encontrados Plintossolos, Argissolos e Cambissolos em relevo suavemente ondulado (ANDRIOLLO, 2015; REDIN, 2017).

Figura 1.3 – Vista aérea das áreas de coleta com detalhe para a composição florística. (A) aspecto da vegetação no horto florestal Santa Olga, com predomínio de espécies herbáceas e vegetação florestal; (B) aspecto da vegetação no horto florestal Cerro do Batovi, com predomínio de espécies herbáceas. São Gabriel, RS, 2019



Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

1.4 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLO PARA PALINOLOGIA

A coleta das amostras de solo ocorreu por meio da abertura de trincheiras, sendo descartados os três primeiros centímetros da superfície exposta do perfil, com o intuito de evitar contaminação por pólen moderno (Figura 1.4A). No horto Cerro do Batovi foram selecionados pontos de coleta ao longo do gradiente de relevo, totalizando três perfis de solos minerais, enquanto na fazenda Santa Olga foram coletadas amostras de um perfil.

Foram retiradas 50 gramas de solo em intervalos regulares de 5 cm, utilizando-se uma espátula de aço. Segundo Ybert et al. (1992) a distância vertical entre as amostras destinadas a análise palinológica deve ser de no máximo 10 cm. Posteriormente, o material coletado foi acondicionado em saco plástico identificado com o nível coletado e armazenado em câmara fria até o momento de seu processamento químico.

No Laboratório de Palinologia da Universidade Luterana do Brasil – ULBRA, cada amostra foi fracionada em 1 cm³ (Figura 1.4B) e acondicionada em copos de polietileno com duas pastilhas do esporo de *Lycopodium clavatum* L., o qual permite calcular a concentração polínica (STOCKMARR, 1974).

O processamento químico das amostras baseou-se na metodologia de Faegri e Iversen (1975), tendo por finalidade a eliminação dos componentes que não são utilizados na análise palinológica, tais como, restos orgânicos e minerais, e clarificar os palinomorfos.

A seguir são destacadas as etapas do processamento químico:

- a) Remoção de silicatos: Em cada amostra adicionou-se 10 ml de ácido fluorídrico (HF) concentrado a 40%. Esse composto foi agitado de forma constante durante 8 horas por um agitador orbital Fanem modelo Kline 255B. Posteriormente, o material foi acondicionado em tubos de falcon e colocado sobre agitação em centrífuga durante 4 minutos (Figura 1.4C). Para separação do reagente ácido do composto, fez-se necessária lavagem com água destilada. Por fim, o material foi filtrado em peneira sob uma malha metálica de 250 µm, onde, novamente, fez-se necessária lavagem com água destilada (Figura 1.4D).
- b) Remoção de carbonatos: Em cada amostra adicionou-se 10 ml de ácido clorídrico (HCl) concentrado a 10%. Esse composto foi aquecido em banho-maria a 60 °C por 4 minutos (Figura 1.4E). Posteriormente, o material foi agitado em centrífuga durante 4 minutos para descarte do sobrenadante. Para separação do reagente ácido do composto, fez-se necessária lavagem com água destilada.
- c) Remoção dos ácidos húmicos: Em cada amostra adicionou-se 10 ml de hidróxido de potássio (KOH) concentrado a 10%. Esse composto foi aquecido em banho-maria a 100 °C por 4 minutos. Posteriormente, o material foi agitado em centrífuga durante 4 minutos para descarte do sobrenadante. Em seguida, ocorreu à lavagem do composto com centrifugação por diversas vezes, até que o pH atingisse a neutralidade (Figura 1.4F).
- d) Desidratação das amostras: Com o objetivo de desidratar as amostras, impedindo uma reação química, a qual é provocada pela mistura de água (etapa anterior) e acetólise

(próxima etapa) foram adicionados 10 ml de ácido acético glacial (CH_3COOH) nas amostras, que, posteriormente, foram agitadas em centrífuga durante 4 minutos para descarte do sobrenadante.

- e) Remoção da celulose e do conteúdo citoplasmático: As amostras foram colocadas em 4 mL da mistura de nove partes de anidrido acético ($(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$) e uma parte de ácido sulfúrico (H_2SO_4), sendo estas, aquecidas em banho-maria a 100°C por 4 minutos. Posteriormente, o composto foi agitado em centrífuga durante 4 minutos para descarte do sobrenadante. Em seguida, ocorreu à lavagem com centrifugação para retirar o reagente.

- f) Finalização das amostras: Com objetivo de hidratar e conservar os palinomorfos para montagem das lâminas adicionou-se 10 ml de glicerina concentrada a 50% em cada amostra. A técnica de montagem das lâminas de referência em gelatina-glicerinada baseou-se na metodologia de Salgado-Labouriau (1973). Para cada amostra foram confeccionadas o total de quatro lâminas, pois, segundo Ybert e colaboradores (1992), a contagem dos palinomorfos deve ser efetuada em um número mínimo de três lâminas.

Figura 1.4 - Ilustração das etapas de coleta e processamento químico das amostras. (A) descarte da superfície exposta do perfil amostrado; (B) amostra com 1 cm³ de solo mineral; (C) amostra acondicionada em tubos de falcon após agitação orbital para remoção dos silicatos; (D) filtragem em peneira sob malha metálica de 250 µm; (E) aquecimento em banho-maria a 60°C para remoção dos carbonatos; (F) verificação do pH após remoção dos ácidos húmicos



Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

1.5 ANÁLISE DOS DADOS PALINOLÓGICOS

A análise qualitativa teve por objetivo identificar os palinomorfos em táxons de menor nível hierárquico (SALGADO-LABOURIAU, 2007). Para tanto, as lâminas foram analisadas em microscópio ótico ZEISS nos aumentos 40x e 100x e fotografadas com câmera digital. Durante a identificação foram utilizados artigos científicos, catálogos polínicos, chave de identificação de espécie e demais bibliografias sobre palinologia do Quaternário (BAUERMANN et al., 2013; EVALDT; BAUERMANN; SOUZA, 2013; LEAL; LORSCHETTER, 2006; MACEDO; SOUZA; BAUERMANN, 2009; RADAESKI; EVALDT; BAUERMANN, 2016; RADAESKI et al., 2014; RCPOL, 2019).

Os táxons identificados foram agrupados em três categorias: campo (compreende a vegetação herbácea); floresta (inclui a vegetação de hábito arbóreo, arbustivo e lianas);

e demais palinórfos (refere-se aos esporos em geral, fungos, briófitos, pteridófitos e algas).

A análise quantitativa teve por objetivo realizar a contagem dos grãos de pólen e demais palinórfos. Como já mencionado anteriormente, foram confeccionadas quatro lâminas por amostra para realização da contagem. Procurou-se contabilizar em todas as amostras um total de 300 grãos de pólen, conforme recomenda a bibliografia (SALGADO-LABOURIAU, 2007; MOSIMANN, 1965). Quando não foi possível contabilizar o número adequado de grãos, fez-se necessário confeccionar mais lâminas.

No entanto, algumas amostras ainda mostraram-se com conjunto polínico pouco expressivo e mal preservado, diante disto, optou-se por não considerar essas amostras nas análises polínicas. Fizeram parte da soma polínica as categorias campo e floresta. Os demais palinórfos foram contados a parte.

2 ARTIGO 1 - USO DA PALINOLOGIA EM PERFIS DE SOLOS PARA RECONSTITUIÇÃO DA HISTÓRIA AMBIENTAL DO BIOMA PAMPA

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo palinológico realizado em área de campo nativo no bioma Pampa, município de São Gabriel, região da fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul. Foram coletadas amostras para análise palinológica em três perfis de solos minerais, objetivando determinar as modificações ocorridas na vegetação durante o Holoceno, bem como explorar o potencial dos solos na reconstituição das paisagens. Um total de 32 amostras de 1cm³ foram tratadas de acordo com a metodologia padrão em palinologia. Os diagramas polínicos de porcentagem foram gerados com o intuito de representar o conjunto polínico identificado, enquanto a análise de agrupamento de Cluster foi utilizada para definir as fases paleoecológicas. Os resultados encontrados foram apoiados pela datação radiocarbônica e pela análise granulométrica. Delimitou-se três fases paleoecológicas para cada perfil, as quais indicaram predomínio da vegetação campestre destacando-se, principalmente, pólen de Poaceae. A existência de esporos de briófito e de táxons indicadores de umidade sugere que a região era recoberta por extensas áreas de campos úmidos. Desta forma, pode-se concluir que os solos estudados possuem potencial para reconstituir a vegetação do bioma Pampa, sendo um sítio para desenvolvimento das pesquisas palinológicas, e que as formações campestres mantêm sua hegemonia mesmo sob condições climáticas desfavoráveis.

Palavras-chave: Análises polínicas. Paleoambiente. Holoceno.

ABSTRACT

This work presents the results of a palynological study carried out in a native grassland area in the Pampa biome in the municipality of São Gabriel, in the western border region of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Samples were collected for palynological analysis in three mineral soil profiles to determine the changes which occurred in the vegetation during the Holocene, as well as to explore the potential of the soils in the reconstitution of the landscape. A total of 32 samples of 1cm³ were treated according to the standard methodology in palynology. Percentage of pollen diagrams were generated in order to demonstrate the pollen spectrum, while cluster analysis was used to define the paleoecological phases. The results were supported by radiocarbon dating and granulometric analysis, wherein three paleoecological phases were delimited for each profile, which indicated a predominance of grassland mainly emphasizing the of Poaceae pollen. The existence of bryophyte spores and moisture indicator taxa suggests that the region was composed of extensive wetland areas. Thus, it can be concluded that the studied soils have the potential to reconstitute the Pampa biome vegetation, thereby constituting a site for developing palynological studies, and that the grassland formations maintain their hegemony even under unfavorable climatic conditions.

Keywords: Pollen analyzes. Paleoenvironment. Holocene.

2.1 INTRODUÇÃO

A palinologia constitui-se como valiosa ferramenta para a compreensão e reconstituição das condições ambientais ao longo do tempo. A acentuada instabilidade climática durante o Quaternário, abrangendo períodos de clima glacial alternados por fases interglaciais de maior duração (SUGUIO, 2010), influenciou na composição e na distribuição da vegetação, refletindo significativamente nos ecossistemas, tais como no Pampa.

O Pampa é um bioma de ocorrência restrita ao Rio Grande do Sul, apresentando em sua paisagem inclusões de formações florestais em meio às formações campestres. Sabe-se que os campos foram os primeiros tipos vegetais a se estabelecerem no estado e representam um clima outrora mais seco, por outro lado, a presença atual de táxons florestais seria decorrente de alterações no clima para condições mais úmidas (BAUERMANN et al., 2008). Desta maneira, as formações campestres são tidas como verdadeiros relictos do passado, que se adaptam e resistem às novas condições do clima (VERDUM, 2016).

Além da estreita relação com o clima a vegetação do Pampa é, também, influenciada pelas características do solo e do relevo. Predominam na paisagem plantas herbáceas e gramíneas, as quais ocupam áreas mais planas. Por sua vez, o componente florestal ocupa locais mais específicos da paisagem, como ao longo dos cursos d'água e em áreas de relevo mais acidentado (BENCKE, 2016). Existem evidências de que o predomínio da vegetação campestre no bioma Pampa, ocorre a pelo menos 22.000 anos de idade, estando as florestas condicionadas ao longo dos rios, formando pequenos agrupamentos a cerca de 5170 anos (BEHLING et al., 2005).

Como os campos são formações antigas, por conseguinte, são ricos e diversos. Em seu conjunto, a flora campestre abrange mais de 2.150 espécies vegetais, uma diversidade raramente encontrada em outros biomas campestres do planeta (BENCKE, 2016; BOLDRINI et al., 2010). No entanto, apesar de toda sua biodiversidade e importância histórico-cultural, o Pampa enfrenta obstáculos para preservar sua identidade. Nas últimas décadas a conversão de áreas em culturas anuais, invasão de espécies exóticas e uso inadequado, descaracterizou as paisagens campestres (PILLAR et al., 2009; ROVEDDER, 2014). Outro possível fator que contribui para a degradação do Pampa é a carência de propostas de preservação e recuperação condizentes com as características do bioma, ou seja, que contemplem o componente campestre.

Diante desse cenário, ampliar o conhecimento sobre as formações vegetais do Pampa, favoreceria o desenvolvimento de estratégias de conservação. As informações geradas pela palinologia são fundamentais para compreender as mudanças ocorridas na florística, bem como entender aonde originalmente era campo natural. A palinologia é, portanto, uma fonte única para interpretar os processos históricos envolvidos na gênese das formações vegetais (BEHLING et al., 2004), e deve ser considerada como valiosa ferramenta na construção de propostas para conservação e manejo dos ecossistemas atuais.

Pesquisas com enfoque palinológico são bastante incipientes em algumas regiões do bioma Pampa, tais como na Campanha, onde até o momento existem apenas dois estudos. A pesquisa realizada em ambiente turfáceo por Behling et al. (2005), foi a precursora na região. Uma outra pesquisa mais recente foi desenvolvida por Evaldt et al. (2014), em seção sedimentar de depósitos fluviais.

Como nem todas as áreas do Pampa há ocorrência de ambientes habitualmente utilizados na palinologia, buscou-se explorar outro sítio de amostragem utilizando perfis de solos minerais. É reconhecido o potencial dos solos como indicador das trocas de vegetação e clima, por meio do uso de isótopos estáveis do carbono da matéria orgânica (PESSENDA et al., 2005). No entanto, nenhum outro estudo buscou verificar a aptidão dos solos como arquivo ambiental das modificações ocorridas nas paisagens usando palinologia.

Com o objetivo de reconstituir a história ambiental e detectar as principais mudanças ocorridas na florística ao longo do tempo em área de campo nativo no bioma Pampa, foram realizadas análises polínicas em perfis de solos minerais. Deste modo, o presente trabalho contribui gerando informações sobre a dinâmica vegetacional no Pampa, além de trazer novas e inéditas considerações sobre o uso de solos minerais em estudos paleoambientais.

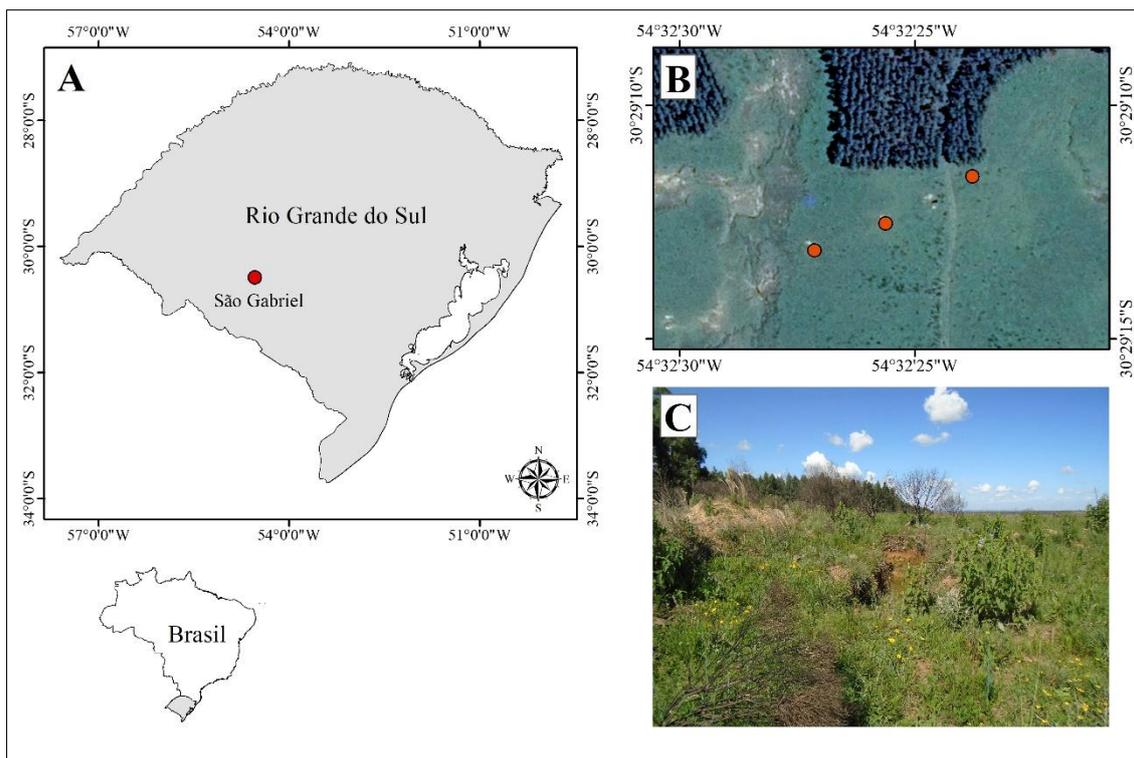
2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

Localiza-se em Área de Preservação Permanente (APP) no horto florestal Cerro do Batovi, município de São Gabriel, região da fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, nas coordenadas geográficas 54° 19' 12" de longitude e 30° 20' 11" de

latitude. Atualmente, as áreas do horto são utilizadas para cultivo do gênero *Eucalyptus*, anterior aos plantios a principal atividade econômica era a pecuária extensiva (Figura 2.1).

Figura 2.1 - (A) Localização geográfica do estado do Rio Grande do Sul, com detalhe para o município de São Gabriel; (B) vista aérea do horto florestal Cerro do Batovi, com detalhamento dos pontos de amostragem; (C) aspecto geral da vegetação natural, com predomínio de espécies herbáceas



Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

O clima da região é subtropical úmido (Cfa) de acordo com a classificação climática de Köppen (ALVARES et al., 2013). A temperatura média do mês mais quente é superior a 30°C e nos meses de inverno inferior a 15°C, sendo frequente a ocorrência de frentes polares, trazendo geadas e ventos frios. O regime de chuvas é considerado, de modo geral, bem distribuído ao longo do ano, com precipitação média anual superior a 1.300 mm e inferior a 1.800 mm (MATZENAUER; RADIN; ALMEIDA, 2011).

A vegetação nativa corresponde a formações campestres típicas do bioma Pampa, sendo as espécies das famílias Amaranthaceae, Apiaceae, Asteraceae, Fabaceae e Poaceae definidas, principalmente, pela presença de *Pfaffia tuberosa*, *Eryngium*

nudicaule, *Baccharis* sp., *Desmodium adscendens* e *Andropogon bicornis*, as mais abundantes na área em estudo (ANDRIOLLO, 2015; REDIN, 2017).

O município de São Gabriel situa-se na região fisiográfica da Campanha, apresentando altitude média de 100 m, associada a um relevo suave ondulado a plano. Os solos da região são derivados dos derrames basálticos, mas também há áreas cobertas por arenito. Destacam-se nas planícies de inundações Planossolos Háplicos Eutróficos, enquanto nas cotas mais elevadas Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico (STRECK et al., 2008).

2.2.2 Coleta e processamento das amostras

Procedeu-se por meio da abertura de trincheiras ao longo do gradiente de relevo, totalizando três perfis de solos minerais definidos por topo, meia encosta e base. Para cada perfil foram coletados cerca de 50 g de solo em intervalos regulares de 5 cm. As atividades para recuperação dos palinomorfos e montagem das lâminas foram realizadas no Laboratório de Palinologia da Universidade Luterana do Brasil - ULBRA. As amostras foram fracionadas em 1 cm³ e, posteriormente, processadas com ácido fluorídrico (HF), ácido clorídrico (HCl), hidróxido de potássio (KOH) e acetólise (FAEGRI; IVERSEN, 1975). Após a preparação do material, foram confeccionadas lâminas em gelatina-glicerizada, conforme a metodologia de Salgado-Labouriau (1973).

2.2.3 Análise dos dados

Para identificação dos palinomorfos foram utilizados catálogos polínicos e artigos de palinotaxonomia e paleopalinologia (BAUERMANN et al., 2013; EVALDT; BAUERMANN; SOUZA, 2013; LEAL; LORSCHHEITTER, 2006; MACEDO; SOUZA; BAUERMANN, 2009; RADAESKI; EVALDT; BAUERMANN, 2016; RADAESKI et al., 2014; RCPOL, 2019). As análises palinológicas são oriundas das amostras que forneceram palinomorfos bem preservados e, em número mínimo para contagem (300 grãos de pólen).

Os táxons identificados foram agrupados nas categorias: campo, floresta e demais palinomorfos. Os demais palinomorfos como briófitos, pteridófitos, algas e fungos foram contados separadamente e excluídos da soma polínica. O software Tilia (versão 2.1.1) foi

utilizado para construção dos diagramas polínicos, enquanto a análise de agrupamento de Cluster foi confeccionada por meio do software CONISS (GRIMM, 1987).

Em cada perfil de solo foi selecionada a última amostra com conjunto polínico representativo para datação radiocarbônica (^{14}C). A datação foi realizada pela técnica de AMS (Accelerator Mass Spectrometry) no Laboratório de Radiocarbono da Universidade Nacional Australiana (ANU Radiocarbon Laboratory). A classificação dos solos foi efetuada pelo departamento de solos, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), enquanto a análise granulométrica pelo laboratório de análises de solo da UFRGS.

2.3 RESULTADOS

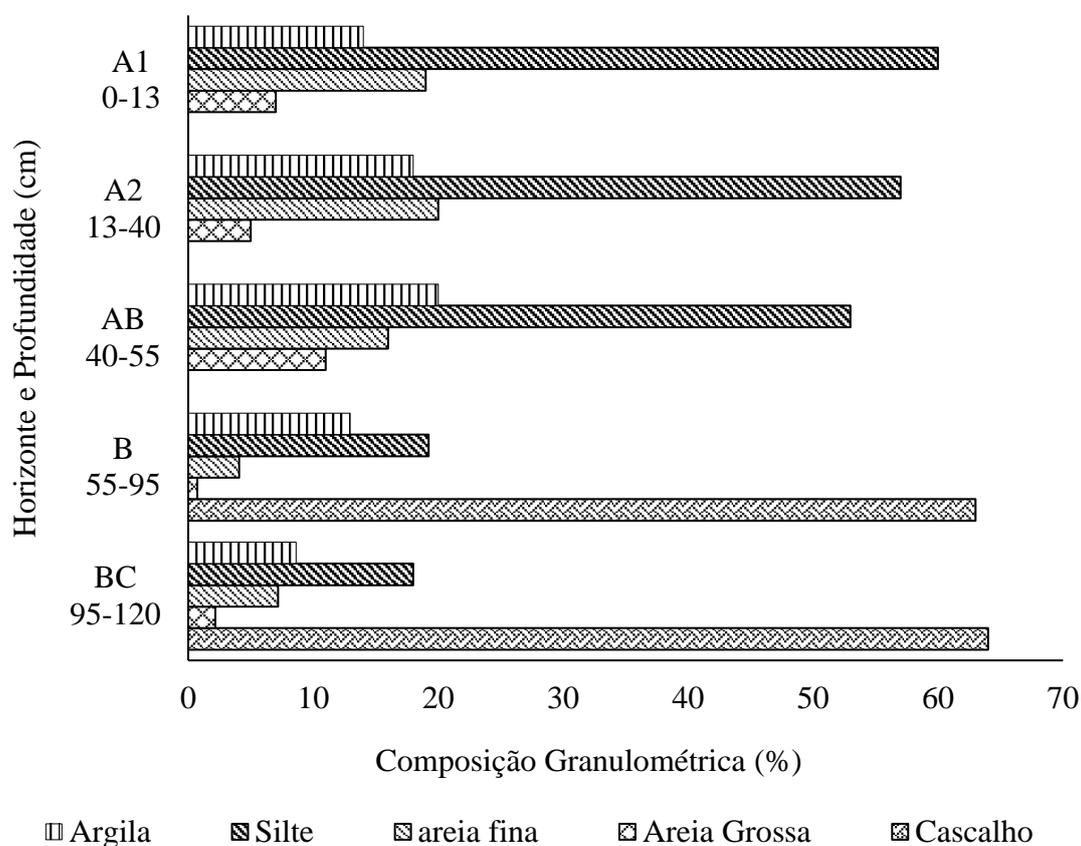
Os resultados são apresentados para cada perfil de solo. Os diagramas polínicos incluem registros individuais dos palinórfos, bem como a soma das categorias campo e floresta (Figuras 2.3, 2.5 e 2.7). A percentagem descrita em cada táxon foi estabelecida com relação a fase paleoecológica. Devido ao baixo percentual de alguns elementos, optou-se por fazer menção daqueles com valores $\geq 2\%$, entretanto todos os táxons identificados são apresentados nos diagramas.

2.3.1 Perfil topo do relevo

O perfil é um Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico endorredóxico. Foram coletadas amostras para análise polínica até 120 cm de profundidade, porém o conjunto polínico abaixo da amostra de 55 cm era quase estéril, por isso as mesmas não foram consideradas no diagrama (Figura 2.3). A datação radiocarbônica foi realizada na amostra de 55 cm, a qual apresentou 4090 ± 25 anos antes do presente (AP).

Os resultados da análise granulométrica são apresentados na figura 2.2. A fração mais grosseira do solo foi representada pela partícula cascalho, com valores acima de 60% nos horizontes em maior profundidade. Na fração terra fina, a granulometria observada foi predominantemente siltosa. O teor máximo de argila ocorreu no horizonte AB (40-55 cm).

Figura 2.2 – Composição granulométrica por horizonte do Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico endorredóxico. Horto Florestal Cerro do Batovi, São Gabriel, RS, 2019



Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

Da análise polínica foram identificados 47 táxons, sendo 29 de campo, 12 de floresta e 6 palinórfos. Delimitou-se três fases paleoecológicas distintas, denominadas por CBTI, CBTII e CBTIII (Figura 2.3).

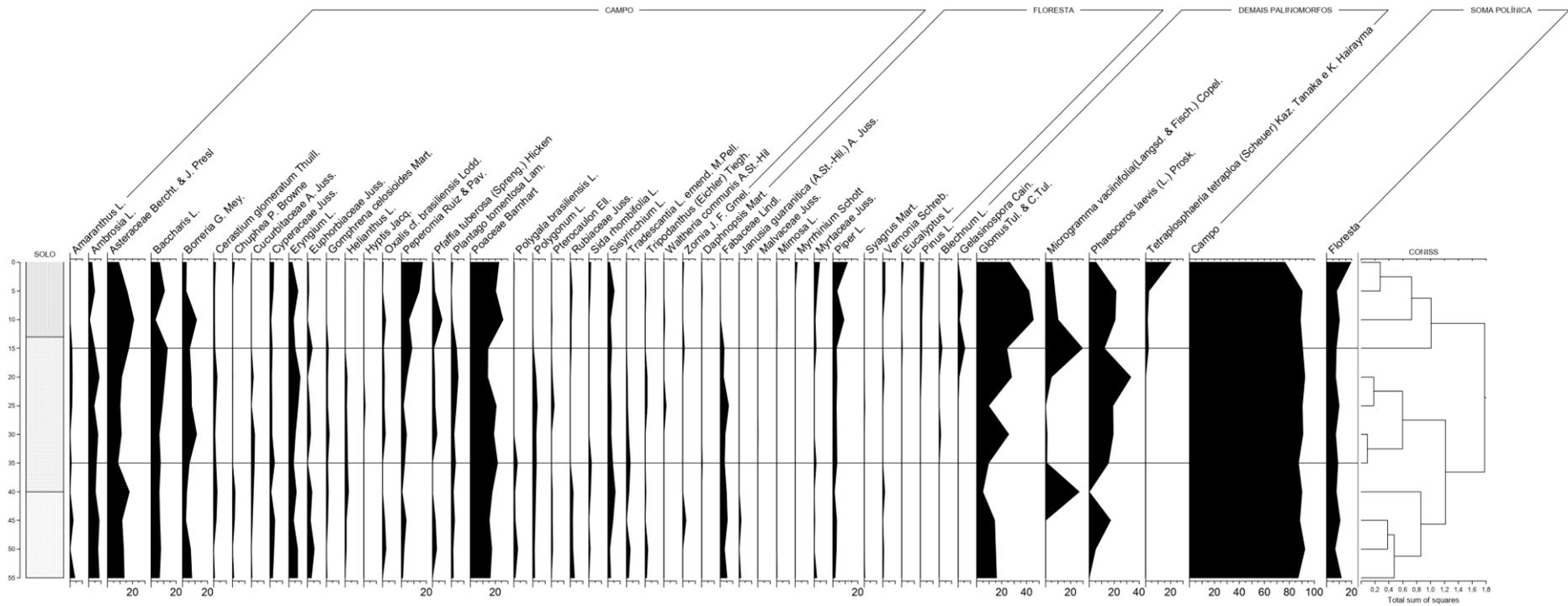
A fase CBTI (40-55 cm, 4 amostras) foi marcada pela abundância de grãos de pólen da formação campestre (89%), destacando-se Poaceae (16%), Asteraceae (13%), tipo *Ambrosia* (7%), tipo *Baccharis* (6%), *Eryngium* (5%), *Borreria* (4%), *Sisyrinchium* (3%), Euphorbiaceae (3%), Rubiaceae (2%), *Peperomia* (2%) e Cyperaceae (2%). O espectro polínico florestal foi marcado por Fabaceae (4%) e *Piper* (2%). Os esporos do briófito *Phaeoceros laevis* e do pteridófito *Microgramma vacciniifolia* atingiram a mesma percentagem (5%).

Na fase CBTII (20-35 cm, 4 amostras) os grãos de pólen dos táxons campestres apresentaram percentuais semelhantes ao anterior (90%). Além da dominância de Poaceae (18%), Asteraceae (10%), tipo *Baccharis* (9%), *Borreria* (7%), tipo *Ambrosia*

(6%), *Eryngium* (6%), *Peperomia* (3%), *Sisyrinchium* (3%) e Cyperaceae (2%), essa fase foi marcada pelo surgimento de *Plantago tomentosa* (4%) e *Polygonum* (3%). Os elementos florestais foram novamente representados por Fabaceae (4%) e *Piper* (3%). Esporos de *Phaeoceros laevis* (21%) apresentaram percentuais elevados.

A fase CBTIII (00-15 cm, 4 unidades amostrais) apresentou resultado semelhante ao observado anteriormente, ou seja, predomínio no conjunto polínico por parte da formação campestre (86%), representada por Poaceae (21%), Asteraceae (16%), *Peperomia* (11%), tipo *Baccharis* (8%), *Borreria* (6%), *Eryngium* (4%), tipo *Ambrosia* (3%), *Pfaffia tuberosa* (3%) e *Sisyrinchium* (3%). O conjunto polínico florestal foi composto por *Piper* (7%) e Myrtaceae (2%). Os esporos de briófito foram representados por *Phaeoceros laevis* (16%), enquanto os de pteridófito por *Microgramma vacciniifolia* (13%). Nesta fase surgiram grãos de pólen de *Pinus* (2%).

Figura 2.3 - Diagrama polínico de percentagem das amostras de solo do perfil topo do relevo, com destaque para o conjunto polínico da formação campestre e florestal, demais palinóforos, soma polínica, fases paleoecológicas e análise de agrupamento de Cluster. São Gabriel, RS, 2019



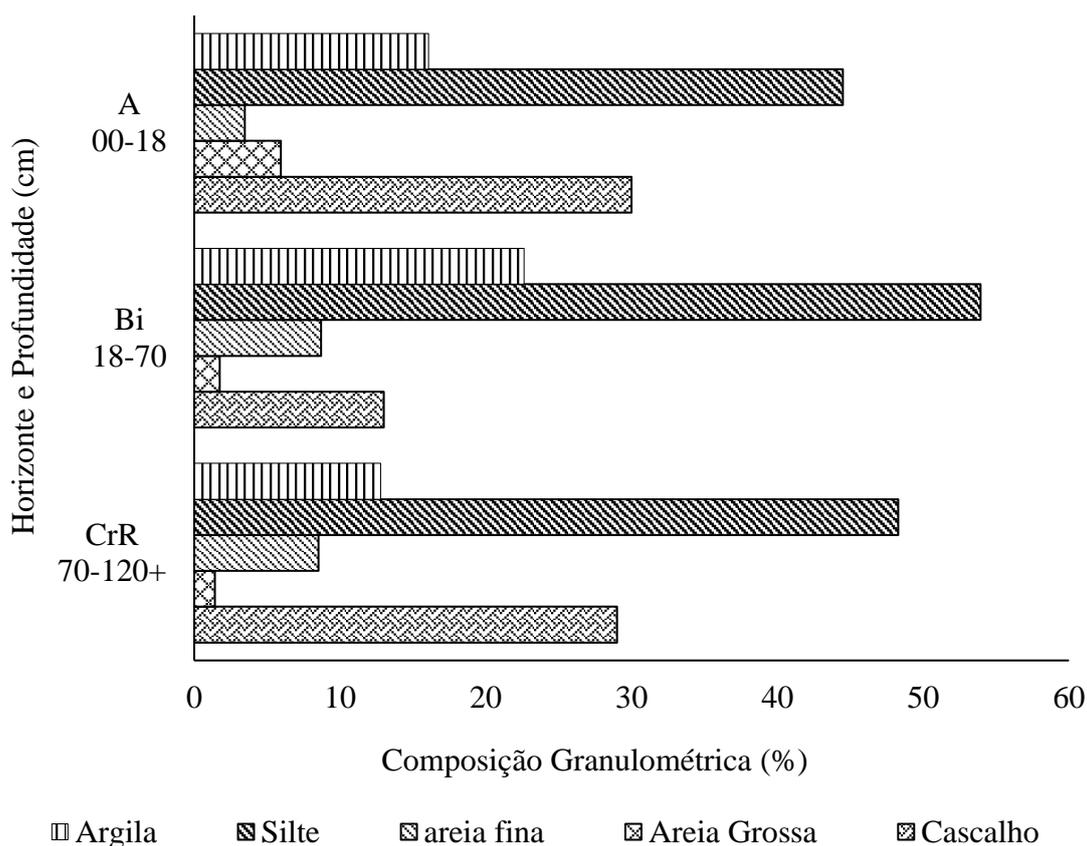
Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

2.3.2 Perfil meia encosta

O perfil trata-se de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico léptico. Foram coletadas amostras para análise polínica até 120 cm de profundidade, porém o conjunto polínico mostrou-se preservado até 40 cm, sendo a datação radiocarbônica realizada nessa profundidade, a qual apresentou 3460 ± 25 anos AP.

Quanto a granulometria, observou-se a presença de cascalho em todos os horizontes, entretanto em menor intensidade na profundidade entre 18-70 cm. Na fração terra fina, ocorreu predomínio de silte ao longo de todo o perfil. A areia fina apresentou teores que variaram entre 4 a 8% (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Composição granulométrica por horizonte do Cambissolo Háplico Ta Eutrófico léptico. Horto Florestal Cerro do Batovi, São Gabriel, RS, 2019



Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

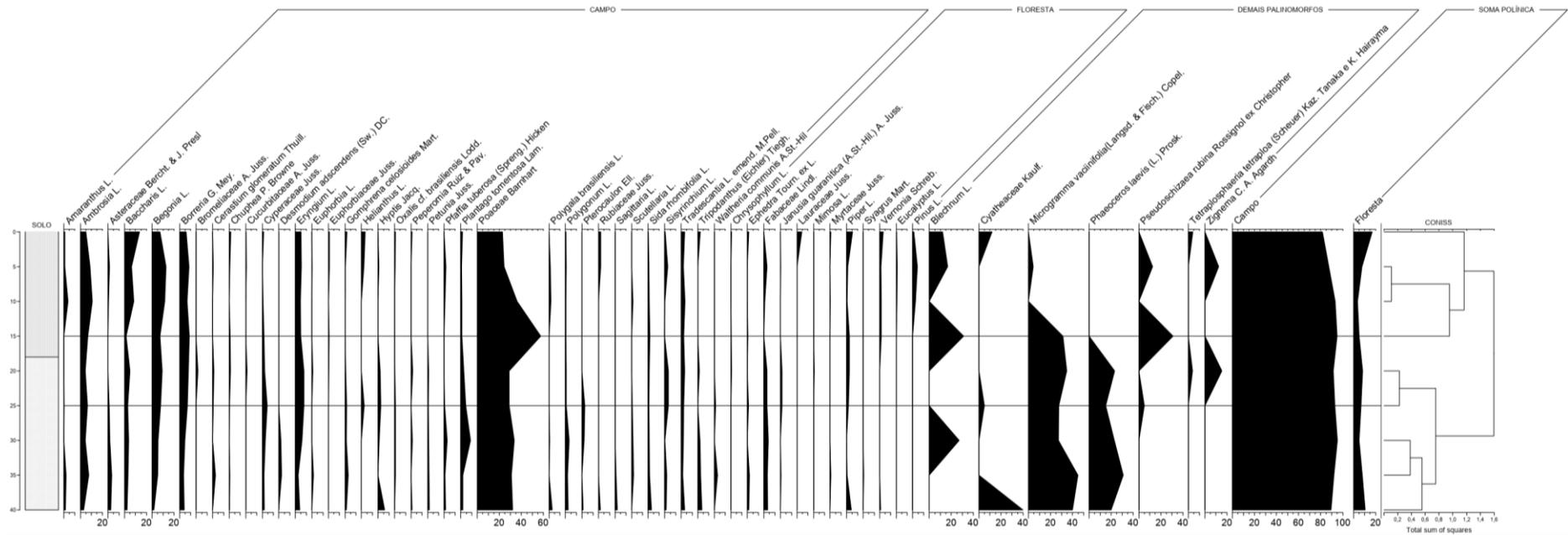
No conjunto polínico foram identificados 54 táxons, sendo 35 de campo, 12 de floresta e 7 palinóforos. Delimitou-se três fases paleoecológicas distintas, denominadas por CBMI, CBMII e CBMIII (Figura 2.5).

Na fase CBMI (30-40 cm, 3 amostras) registrou-se uma abundância de grãos de pólen da formação campestre (92%), dominada por Poaceae (32%), tipo *Ambrosia* (5%), *Plantago tomentosa* (4%), *Begonia* (4%), *Borreria* (4%), *Eryngium* (4%), tipo *Baccharis* (3%), Cyperaceae (3%), *Sisyrinchium* (3%), *Tradescantia* (2%), *Hyptis* (2%), *Polygonum* (2%), *Tripodanthus* (2%) e *Gomphrena celosioides* (2%). O pólen florestal pôde ser caracterizado por Fabaceae (2%). Dentre os pteridófitos destacou-se apenas *Blechnum* (9%).

A fase CBMII (20-25 cm, 2 amostras) também foi marcada pela abundância de grãos de pólen da formação campestre (92%) representada, principalmente, por Poaceae (28%), *Begonia* (8%), *Borreria* (7%), *Eryngium* (7%), tipo *Ambrosia* (5%), tipo *Baccharis* (4%), Cyperaceae (3%), *Sisyrinchium* (3%), *Plantago tomentosa* (3%) *Tradescantia* (2%) e *Hyptis* (2%). A formação florestal foi constituída por polén de Fabaceae (3%), *Piper* (2%) e *Janusia guaranítica* (2%). Dentre os esporos de briófito destacaram-se *Phaeoceros laevis* (18%), enquanto de pteridófito *Microgramma vacciniifolia* (30%). Surgiram nessa fase as algas *Zignema* (6%) e *Pseudoschizaea rubina* (3%).

A fase CBMIII (00-15 cm, 4 amostras) confirma a abundância de grãos de pólen da formação campestre (86%) sendo caracterizada, principalmente, por táxons como Poaceae (34%), *Begonia* (9%), tipo *Ambrosia* (8%), tipo *Baccharis* (8%), *Borreria* (7%), *Eryngium* (5%) e *Tradescantia* (3%). A vegetação florestal foi representada por *Piper* (2%) e *Vernonia* (2%), além de outros táxons com menores índices percentuais (Figura 2.5). Entre os pteridófitos destacaram-se *Blechnum* (16%), seguido de *Microgramma vacciniifolia* (8%). Nessa fase permanece a ocorrência de algas como *Pseudoschizaea rubina* (10%) e *Zignema* (4%).

Figura 2.5 - Diagrama polínico de percentagem das amostras de solo do perfil meia encosta, com destaque para o conjunto polínico da formação campestre e florestal, demais palinómorfos, soma polínica, fases paleoecológicas e análise de agrupamento de Cluster. São Gabriel, RS, 2019



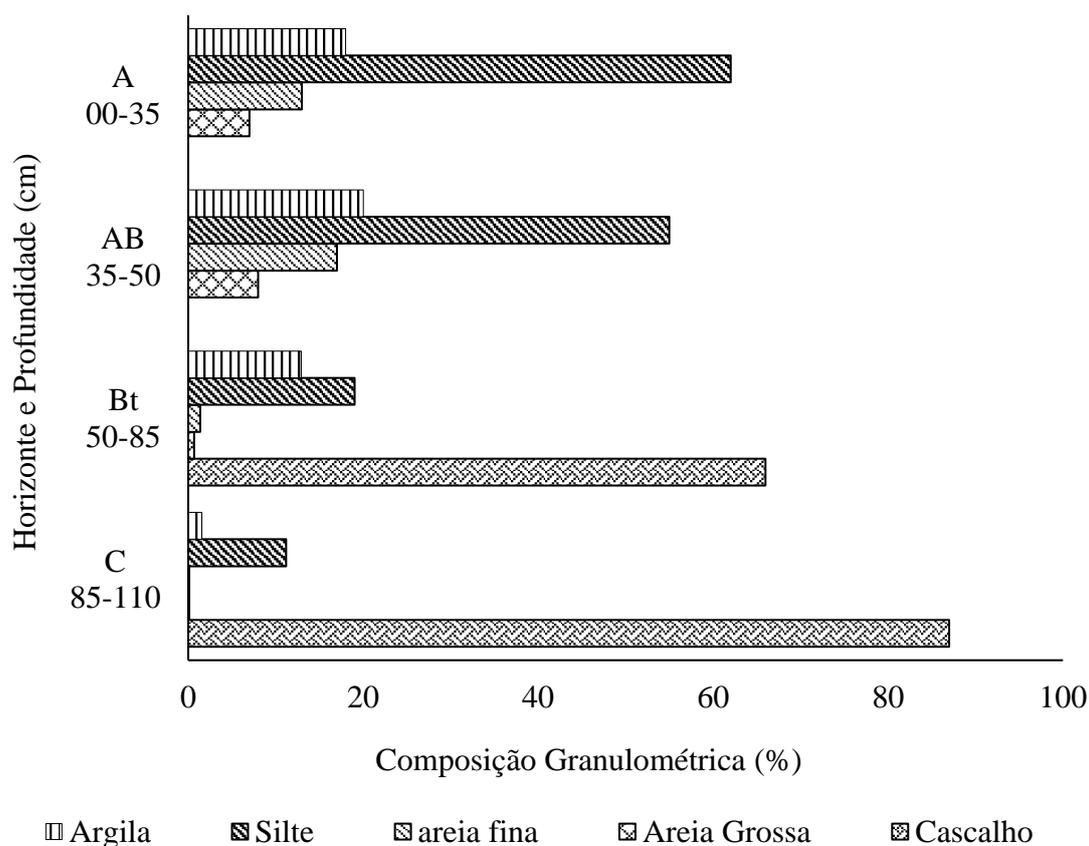
Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

2.3.3 Perfil base do relevo

O perfil é um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico plintossólico. Foram coletadas amostras para análise polínica até 110 cm de profundidade. Assim como nos demais perfis, o conjunto polínico mostrou-se pouco expressivo a certa profundidade. Deste modo, foram consideradas no diagrama apenas amostras até 50 cm (Figura 2.7). A datação radiocarbônica apresentou 3905 ± 25 anos AP.

Os resultados da análise granulométrica são apresentados na figura 2.6. A fração cascalho apresentou maior intensidade no horizonte C (85-110 cm). Na fração terra fina, a granulometria observada foi predominantemente siltosa. O teor de argila foi maior na profundidade entre 35-50 cm (Figura 2.6).

Figura 2.6 – Composição granulométrica por horizonte do Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico plintossólico. Horto Florestal Cerro do Batovi. São Gabriel, RS, 2019



Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

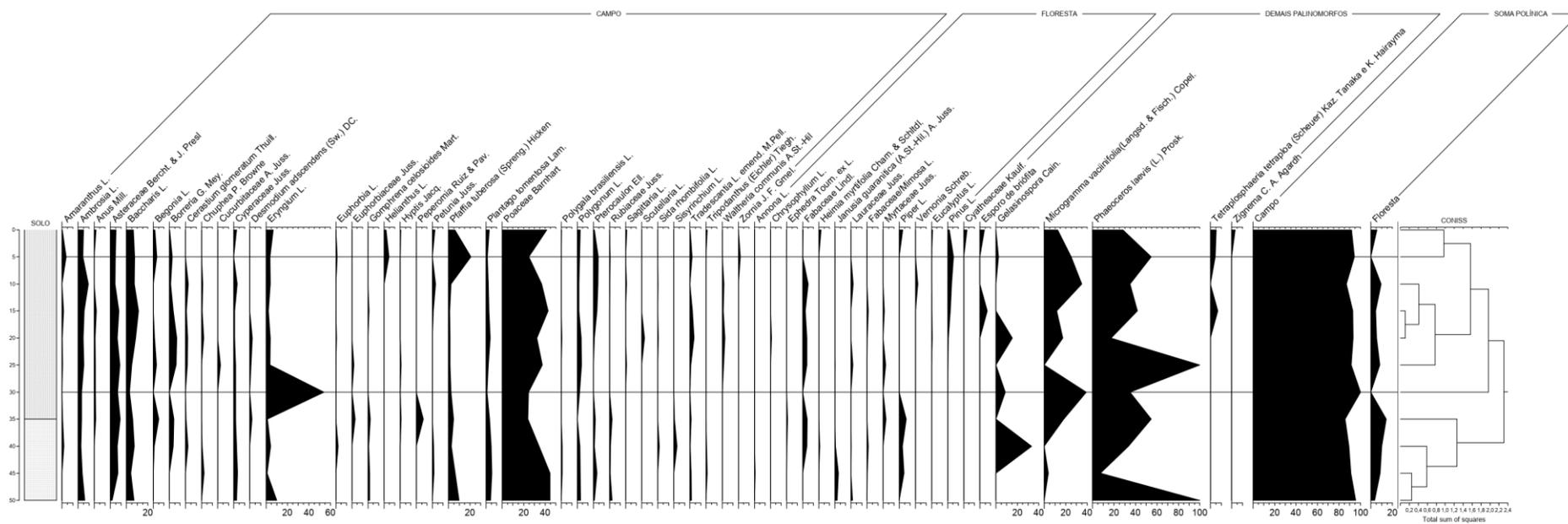
Por meio da análise palinológica foi possível identificar 54 táxons, sendo 34 de campo, 13 de floresta e 7 palinomorfos. Delimitou-se três fases paleoecológicas distintas, denominadas por CBBI, CBBII e CBBIII (Figura 2.7).

Na fase CBBI (35-50, 4 amostras) observou-se predominância da vegetação campestre no registro polínico (90%), representada por Poaceae (36%), Asteraceae (6%), tipo *Baccharis* (6%), *Pfaffia tuberosa* (6%), *Eryngium* (4%), tipo *Ambrosia* (4%), *Plantago tomentosa* (4%), Cyperaceae (2%) e *Polygonum* (2%). A vegetação florestal foi caracterizada pelos táxons *Piper* (3%), Fabaceae (2%) e *Janusia guaranítica* (2%). Esporos de briófito foram representados por *Phaeoceros laevis* (30%), enquanto os de pteridófito por *Microgramma vacciniifolia* (6%).

A fase CBBII (10-30 cm, 5 amostras) manteve a abundância de grãos de pólen da formação campestre (93%), sendo representada por Poaceae (35%), *Eryngium* (13%), tipo *Baccharis* (7%), Asteraceae (6%), tipo *Ambrosia* (5%), *Borreria* (4%), *Plantago tomentosa* (2%) e *Polygonum* (2%). Na formação florestal foi registrado pólen de Fabaceae (3%). Esporos de *Phaeoceros laevis* (39%) e *Microgramma vacciniifolia* (21%) obtiveram percentual elevado.

Na fase CBBIII (00-05 cm, 2 amostras) novamente registrou-se a expressividade polínica dos campos (93%), destacando-se táxons como Poaceae (33%), *Pfaffia tuberosa* (13%), tipo *Baccharis* (7%), Asteraceae (5%), *Eryngium* (5%), tipo *Ambrosia* (4%), tipo *Helianthus* (3%), *Amaranthus* (2%), *Begonia* (2%), *Polygonum* (2%) e tipo *Pterocaulon* (2%). A formação florestal foi constituída por pólen de *Piper* (2%) e de outros táxons com menores índices percentuais (Figura 2.7). Os esporos de briófito foram representados por *Phaeoceros laevis* (36%), enquanto os de pteridófito por *Microgramma vacciniifolia* (16%).

Figura 2.7 - Diagrama polínico de percentagem das amostras de solo do perfil base do relevo, com destaque para o conjunto polínico da formação campestre e florestal, demais palinomorfos, soma polínica, fases paleoecológicas e análise de agrupamento de Cluster. São Gabriel, RS, 2019



Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

2.4 DISCUSSÕES

Existe consenso entre pesquisadores sobre as condições ideais de preservação dos microfósseis. Sabe-se que é preciso haver um soterramento rápido, caso contrário, o mesmo será degradado por microorganismos decompositores. Esse soterramento deve ocorrer com frações finas na ausência de oxigênio (BAUERMAN et al., 2002; SALGADO-LABOURIAU, 2007; SIMÕES et al., 2010). A forma com que o oxigênio atua degradando a membrana que reveste os grãos de pólen (exina) já foi elucidada, porém a forma com que as frações finas atuam contribuindo para aumentar a probabilidade de preservação dos palinomorfos carece de discussões, ainda mais quando se explora um novo sítio para coleta de microfósseis.

No caso dos solos minerais, a granulometria exerce influência direta sobre a porosidade e a estrutura. Entre as partículas maiores, como areia, predominam macroporos que são responsáveis pela aeração e movimentação de água. Por outro lado, solos com textura fina apresentam maior microporosidade, o que determina uma retenção de água em detrimento da aeração (SCHNEIDER; KLAMT; GIASSON, 2007). Essas observações indicam que solos com predomínio de silte e argila, possivelmente são os mais promissores para desenvolvimento da palinologia, uma vez que quanto menos oxigênio disponível no meio, melhor é a preservação dos grãos.

A estrutura, por sua vez, trata-se da organização das partículas finas e da matéria orgânica formando agregados. Nem todos os solos apresentam estrutura, como os muito arenosos, onde as partículas encontram-se desagregadas (SCHNEIDER; KLAMT; GIASSON, 2007). A permanência dos grãos de pólen quando depositados na superfície pela ação do vento ou água, dependem da existência de um solo estruturado para não percolarem facilmente por entre os horizontes.

Os resultados das análises granulométricas indicaram predomínio de silte e a presença da fração cascalho em alguns horizontes ou em todo o perfil de solo. O cascalho é uma partícula com dimensões entre 2 a 20 mm que compõe a fração mais grosseira do solo. Alguns horizontes tiveram significativo percentual de cascalho, atingindo mais de 60%. Esse fato pode ter dificultado a preservação do conjunto polínico, uma vez que suas partículas não se aderem umas às outras, promovendo a existência de grandes espaços vazios, os quais permitiram maior passagem de oxigênio e água de infiltração. Ambientes propícios ao desenvolvimento da palinologia, como mencionado anteriormente, devem ser desprovidos de oxigênio. Além disso, os grãos de pólen que possuem dimensões microscópicas, são facilmente lixiviados pelos espaços vazios e acabam não permanecendo nos horizontes.

Na área de estudo os solos apresentam restrições à drenagem, com cores bruno e acinzentadas nos horizontes (ANDRIOLLO, 2015; REDIN, 2017). Essas características em conjunto com o predomínio de silte e ausência ou baixa percentagem de cascalho, pode estar associada a existência de um conjunto polínico fértil em certos horizontes.

A menor concentração polínica em profundidade no perfil meia encosta, possivelmente esteja associada ao fato dos Cambissolos serem solos pouco desenvolvidos e apresentam fragmentos do material de origem. A presença de um horizonte diagnóstico B incipiente, ou seja, com pouco desenvolvimento estrutural, havendo casos com ausência de agregados (STRECK et al., 2008; EMBRAPA, 2013), pode ter sido um fator decisivo para a não permanência dos grãos de pólen nos horizontes.

De modo geral, os resultados das análises polínicas indicaram que a área do horto florestal Cerro do Batovi foi naturalmente coberta por campos desde 4090 ± 25 anos até o recente. A baixa diversidade de grãos de pólen da vegetação florestal sugere a existência de táxons isolados. Essas incipientes formações foram constituídas por *Annona*, *Chrysophyllum*, *Ephedra*, Fabaceae, *Heimia myrtifolia*, *Janusia guaranítica*, Lauraceae, *Mimosa*, Myrtaceae, *Piper* e *Vernonia*.

O estudo realizado por Andriollo et al., (2017) no horto florestal Cerro do Batovi com isótopos estáveis de carbono, evidenciou que a matéria orgânica do solo foi influenciada por espécies com ciclo fotossintético C4 (gramíneas), o que representa ausência de mudanças significativas na vegetação por um longo período de tempo. A predominância de táxons indicadores de vegetação campestre também foi registrada em outros ambientes do bioma Pampa por meio de análise palinológica (BAUERMANN et al., 2008; BEHLING et al., 2005).

O diagrama polínico do perfil de solo topo do relevo apresenta três fases paleoecológicas distintas: CBTI, CBTII, CBTIII, sendo que em todas há uma predominância de elementos herbáceos.

Na fase CBTI (40-55 cm) os dados indicaram que a área estudada foi coberta por gramíneas (Poaceae) e, com menor expressividade por outras ervas (Asteraceae, tipo *Ambrosia*, tipo *Baccharis*, *Borreria* e Rubiaceae) que ocorrem preferencialmente em vegetação de campo, em áreas com dossel aberto, bem iluminadas e com vegetação menos densa (SOUZA; LORENZI, 2005). Além de ervas comuns nos campos, os táxons de locais úmidos e/ou alagados (*Eryngium* e Cyperaceae) também foram registrados neste período. Como os elementos arbóreos foram pouco diversificados e representativos, sugere-se que no local existiam grandes áreas de campo nativo, dominadas por gramíneas.

Na fase CBTII (20-35 cm) observa-se além do predomínio de elementos campestres e táxons de locais mais úmidos, o surgimento de *Plantago tomentosa* e *Polygonum*, sugerindo uma elevação na umidade. O significativo registro de *Phaeoceros laevis*, também indica que o local sofria forte influência de umidade. A ocorrência de táxons como *Plantago tomentosa* e *Polygonum* são comuns em áreas abertas e locais alagáveis (EVALDT; BAUERMANN; SOUZA, 2013). Por sua vez, *Phaeoceros laevis* é um briófito comum em solos úmidos, as margens de arroios, rios, vertentes e campos úmidos (SCHERER; LORSCHREITER, 2008; BAUERMANN et al., 2008).

A fase CBTIII (00-15 cm) também sugere o predomínio dos campos em condições de umidade (*Phaeoceros laevis*). O grupo Cyperaceae está sempre associado aos registros polínicos como representantes de climas úmidos, já que habitam terrenos brejosos e alagadiços (JOLY, 2002). No entanto, o desaparecimento desse elemento no perfil de solo, não permite caracterizar a ocorrência de um período mais seco, pois existem outros táxons que caracterizam umidade (*Phaeoceros laevis*, *Borreria* e *Eryngium*).

A análise palinológica do perfil de solo da meia encosta permitiu estabelecer três fases paleoecológicas distintas: CBMI, CBMII, CBMIII, as quais mostraram em linhas gerais o predomínio da vegetação campestre.

Na fase CBMI (30-40 cm) os dados indicaram a existência de um ambiente úmido (Cyperaceae, *Eryngium*, *Hyptis* e *Polygonum*), recoberto por gramíneas (Poaceae) e com menos expressividade por outras ervas de ocorrência comum nos campos (tipo *Ambrosia* e tipo *Baccharis*). Poucos elementos arbóreos da família Fabaceae existiam no local. Essa família é descrita atualmente como de ampla distribuição, ocorrendo desde áreas tropicais até temperadas e frias (MACEDO; SOUZA; BAUERMANN, 2009).

A fase CBMII (20-25 cm) sugere um ambiente recoberto por formações campestres (Poaceae, tipo *Ambrosia* e tipo *Baccharis*) e também por corpos d'água de pequena profundidade, possibilitando o desenvolvimento de algumas algas. Alguns táxons florestais como Fabaceae, *Piper* e *Janusia guaranitica* se estabeleceram no entorno do corpo d'água. A presença de algas, tais como *Pseudoschizaea rubina* e *Zignema* é atribuído a ambientes de água doce e solos úmidos com pouca profundidade (JOLY, 2002).

A fase CBMIII (00-15 cm) ainda indica um ambiente bastante influenciado pela umidade, com a existência de um pequeno corpo d'água e extensas áreas recobertas por gramíneas (Poaceae) e demais ervas (*Begonia*, *Borreria*, tipo *Ambrosia*, tipo *Baccharis*). Essa fase atesta a hegemonia das formações campestres, que permanecem no espaço mesmo frente ao clima úmido.

O diagrama polínico da porção base do relevo apresenta três fases paleoecológicas distintas: CBBI, CBBII, CBBIII, sendo que em todas há uma predominância de elementos herbáceos.

Na fase CBBI (35-50 cm) os dados atestaram que a área estudada foi recoberta por gramíneas (Poaceae) e por outras ervas que ocorrem em dossel aberto (Asteraceae, tipo *Ambrosia*, tipo *Baccharis*). A representatividade no registro do briófito *Phaeoceros laevis* indica um ambiente sob forte influência da umidade. Sugere-se que as áreas de vegetação campestre eram originalmente campos úmidos (*Eryngium*, Cyperaceae, *Polygonum*, *Plantago tomentosa*). A vegetação florestal teve baixa representatividade no registro polínico (Fabaceae, *Piper* e *Janusia guaranitica*) mesmo frente ao clima favorável à sua expansão.

A fase CBBII (10-30 cm) é marcada pela representatividade das gramíneas e pelo desaparecimento de Cyperaceae. Como mencionado anteriormente, esse fato não permite caracterizar a ocorrência de um período mais seco, pois existem outros táxons que caracterizam umidade (*Eryngium*, *Polygonum*, *Plantago tomentosa* e *Phaeoceros laevis*). Como os elementos arbóreos foram pouco diversificados e representativos (Fabaceae), sugere-se que no local existiam grandes áreas de campo úmido, dominadas por gramíneas.

Na fase CBBIII (00-5 cm) além da expressividade das gramíneas e dos demais táxons de vegetação campestre, ainda foi registrado uma importante mudança na composição da flora, como o surgimento de outros táxons herbáceos (*Amaranthus*, tipo *Helianthus* e tipo *Pterocaulon*), os quais apontam uma diversificação da vegetação local. O gênero *Amaranthus* é característico de locais com solo arenoso ou argiloso, enquanto tipo *Helianthus* e tipo *Pterocaulon* podem ser encontrados em diversos ambientes, porém no RS estão sempre associadas ao ambiente campestre (ROTH; LORSCHHEITTER, 2008).

No topo dos três perfis observou-se uma retração da vegetação de campo e, conseqüentemente, uma expansão da floresta, a qual deve estar atrelada a existência de pólen exótico no conjunto polínico, evidenciando a ação antrópica sobre as paisagens de campo nativo do Pampa.

O gênero *Eucalyptus* foi trazido para o bioma Pampa alguns anos depois da Revolução Farroupilha (1835-1845) com a finalidade de formar quebra-ventos, servir de abrigo para o gado e para suprir a necessidade de lenha (AGEFLOR, 2015). Atualmente, no município de São Gabriel existem extensas áreas com cultivo de *Eucalyptus* para a produção de celulose no estado. Entretanto, o que deve ser tratado com devida atenção é a presença do *Pinus* no conjunto polínico. Esse gênero possui grande potencial de contaminação biológica, devido à ampla rusticidade, grande produção de sementes, alta porcentagem de germinação e anemocoria,

permitindo ampla dispersão em até 25 km da matriz (BECHARA; REIS; TRENTIN, 2014). Além disso, o *Pinus* nos ecossistemas abertos, tem facilidade de expansão e elevada adaptabilidade, tornando-se ocupante de espaços livres (VASQUES et al., 2007).

Ao identificar os palinomorfos de sedimentos superficiais na Laguna dos Patos, Medeanic et al., (2007) registraram a presença significativa de grãos de pólen de plantas introduzidas e invasoras, tais como *Pinus*. Segundo a autora, a expressividade de pólen de plantas exóticas no conjunto polínico indica impacto antrópico.

2.5 CONCLUSÕES

O conjunto polínico obtido nos três perfis de solos indicam hegemonia dos campos, mesmo sob condições climáticas de elevada umidade. A presença de raros grãos de pólen de táxons florestais sugere que as árvores e arbustos existiam de forma isolada. O perfil localizado no topo do relevo é o mais antigo, demonstrando predomínio das formações campestres desde 4090 ± 25 anos até os dias atuais.

As informações geradas por este trabalho contribuem, significativamente, para futuras ações de recuperação de áreas degradadas, pois possibilita compreender um pouco mais sobre a flora do Pampa. O conjunto polínico aqui determinado, também pode auxiliar no entendimento dos padrões de distribuição das formações campestres, cuja vegetação é constantemente confundida como resultado da supressão da vegetação florestal.

A existência de pólen exótico no conjunto polínico causa certa preocupação do ponto de vista ambiental. A introdução de espécies exóticas no Pampa foi realizada sem considerar os impactos que poderiam ocorrer no bioma. Os táxons encontrados nas amostras de superfície evidenciam a ação antrópica nos dias atuais, a qual acarreta em perda de biodiversidade nos campos.

Os resultados obtidos indicam que os solos estudados possuem potencial para reconstituir a vegetação do bioma Pampa, inserindo este recurso no contexto da palinologia. Esta comprovação é um importante avanço, visto que a realização de pesquisas palinológicas não estaria mais restrita a certos ambientes, pois o solo é um recurso que constitui qualquer paisagem. Neste sentido, o presente trabalho amplia a fronteira de trabalhos palinológicos, buscando novos sítios e novas respostas em face as mudanças ambientais.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRIOLLO, D. D. et al. Soil carbon isotope ratios in forest-grassland toposequences to identify vegetation changes in southern Brazilian grasslands. **Catena**, v. 159, p. 126-135, 2017.

ANDRIOLLO, D. D. **Florística, solos e abundância isotópica de ¹³C em áreas de floresta e de campo no Bioma Pampa**. 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DE EMPRESAS FLORESTAIS-AGEFLOR. **A indústria de base florestal no Rio Grande do Sul**. Curitiba: Consufor, 2015. 92 p.

BAUERMANN, S. G. et al. Aspectos tafonômicos em palinologia de Quaternário. **Pesquisas Botânica**, n. 52, p. 223-229, 2002.

BAUERMANN, S. G. et al. Dinâmicas vegetacionais, climáticas e do fogo com base em palinologia e análise multivariada no Quaternário tardio do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 11, n. 2, p. 87-96, 2008.

BAUERMANN, S.G. et al. **Pólen nas angiospermas diversidade e evolução**. Canoas: Editora ULBRA, 2013. 216 p.

BECHARA, F. C; REIS, A.; TRENTIN, B. E. Invasão biológica de *Pinus elliottii* no Parque Estadual do Rio Vermelho, Florianópolis, SC. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 63-72, 2014.

BEHLING, H. et al. Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 203, p. 277-297, 2004.

BEHLING, H. et al. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 133, p. 235-248, 2005.

BENCKE, G. A. Biodiversidade. In: CHOMENKO, L.; BENCKE, C. A. (Org.). **Nosso Pampa desconhecido**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. cap. 4, p. 60-75.

BOLDRINI, I. et al. **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre: Editora Pallotti, 2010. 64 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353 p.

- EVALDT, A. C. P. et al. Registros polínicos para o Holoceno tardio da região da Campanha (Rio Grande do Sul, Brasil) e seu significado na história dos paleoambientes da Savana Estépica Parque. **Revista brasileira de paleontologia**, v. 17, n. 2, p. 183-194, 2014.
- EVALDT, A. C. P.; BAUERMANN, S. G.; SOUZA, P. A. Descrições morfológicas de palinórfos holocênicos de um fragmento da Savana Estépica Parque em Barra do Quaraí, Rio Grande do Sul, Brazil. **Pesquisas em Geociências**, v. 40, n. 3, p. 209-232, 2013.
- FAEGRI, K.; IVERSEN, L. **Textbook of pollen analysis**. 4. ed. New York: John Wiley, 1975. 486 p.
- GRIMM, E. C. Coniss: a Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum of squares. **Pergamon journal**, v. 13, p.13-35, 1987.
- JOLY, A. B. **Botânica: introdução a taxonomia vegetal**. 13 ed. São Paulo: Editora Nacional, 2002. 777 p.
- LEAL, M. G.; LORSCHREITER, M. L. Pólen, esporos e demais palinórfos de sedimentos holocênicos de uma floresta paludosa, Encosta Inferior do Nordeste, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, v. 61, n. 1, p. 13-47, 2006.
- MACEDO, R. B.; SOUZA, P. A.; BAUERMANN, S. G. Catálogo de pólenes, esporos e demais palinórfos em sedimentos holocênicos de Santo Antônio da Patrulha, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, v. 64, n. 2, p. 43-78, 2009.
- MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas Climático: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio; Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), 2011. 185 p.
- MEDEANIC, S. et al. Palinórfos nos sedimentos de fundo da Laguna dos Patos-RS: Aplicação nas reconstituições paleoambientais. **Cravel**, n. 5, p. 89-102, 2007.
- PESSENDA, L. C. R. et al. Isótopos do carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. (eds.). **Quaternário do Brasil**. São Paulo: USP, 2005. cap. 4, p. 75-93.
- PILLAR, V. P. et al. **Campos Sulinos, conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403 p.
- RADAESKI, J. N. et al. Diversidade de grãos de pólen e esporos dos Campos do sul do Brasil: descrições morfológicas e implicações paleoecológicas. **Iheringia**, v. 69, n. 1, p. 107-132, 2014.
- RADAESKI, J. N.; EVALDT, A. C. P.; BAUERMANN, S. G. Morfologia polínica de espécies da família Asteraceae Martinov nos cerros da Campanha do Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, v. 71, n. 3, p. 357-366, 2016.
- REDE DE CATÁLOGOS POLÍNICOS ONLINE – RCPOL. **Chave de identificação das espécies**. disponível em: <http://chaves.rcpol.org.br/>. Acesso em: 22 de abril de 2018.

REDIN, C. G. **Relação solo-vegetação em ecótono campo-floresta no Bioma Pampa**. 2017. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2017.

ROTH, L.; LORSCHAITTER, M. L. Palinomorfos de um perfil sedimentar em uma turfeira do Parque Nacional dos Aparados da Serra, leste do Planalto do Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, v. 63, n. 1, p. 69-100, 2008.

ROVEDDER, A.P.M. Bioma Pampa: Relações solo-vegetação e experiências de restauração. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 64., 2013, Belo Horizonte/MG. **Anais...** Belo Horizonte/MG: Sociedade Botânica do Brasil, 2014, p. 46-53.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Contribuição à Palinologia dos Cerrados**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1973. 291 p.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Crítérios e técnicas para o Quaternário**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. 387 p.

SCHERER, C.; LORSCHAITTER, M. L. Pólen de gimnospermas e angiospermas em sedimentos quaternários de duas matas com Araucária, planalto leste do Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta bot. bras.**, v. 23, n. 3, p. 681-696, 2008.

SCHNEIDER, P.; KLAMT, E.; GIASSON, E. **Morfologia do solo**: subsídios para caracterização e interpretação de solos a campo. Guaíba: Agrolivros, 2007. 72 p.

SIMÕES, M. G. et al. Tafonomia: processos e ambientes de fossilização. In: CARVALHO, I. S. (Org.). **Paleontologia**: conceitos e métodos. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010. cap. 3, p. 19-51.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática**. São Paulo: Instituto Plantarum, 2005. 608 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222 p.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 408 p.

VASQUES, G. A. et al. Uma síntese da contribuição do gênero *Pinus* para o desenvolvimento sustentável no Sul do Brasil. **Floresta**, v. 37, n. 3, p.445-450, 2007.

VERDUM, R. Paisagem do Pampa: monotonia que se rompe no espaço e no tempo. In: CHOMENKO, L.; BENCKE, C. A. (Org.). **Nosso Pampa desconhecido**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. cap. 3, p. 44-59.

3 ARTIGO 2 - INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO SOLO NO REGISTRO POLÍNICO E SEU SIGNIFICADO NA RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL NO BIOMA PAMPA

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo palinológico realizado em 15 amostras de solo mineral coletadas em área de ecótono campo-floresta no município de São Gabriel, região da fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul. Foram realizadas análises palinológicas, granulométricas e datação radiocarbônica, com o objetivo de reconstituir a história paleoambiental durante o Holoceno tardio da região, bem como verificar a influência da composição granulométrica no registro polínico. Foram identificados 37 táxons de campo, 25 de floresta e 13 palinomorfos. Os resultados indicaram a existência de cinco fases paleoecológicas, as quais demonstraram em linhas gerais a presença de pólen campestre e florestal na região, entretanto, os elementos campestres dominaram o espectro polínico. As amostras das classes texturais franco-arenosa e franco-argilo-arenosa tiveram menor concentração polínica. O coeficiente de correlação de Pearson evidenciou uma forte e negativa associação entre a concentração polínica e areia grossa, indicando que o tamanho das partículas do solo interfere na preservação do conjunto polínico. Com este estudo espera-se contribuir para melhor compreensão da origem das formações vegetacionais do Pampa, importantes por sua riqueza e endemismo de espécies.

Palavras-chave: Palinologia. Paleovegetação. Mosaico campo-floresta. Holoceno tardio.

ABSTRACT

This work presents the results of a palynological study carried out on 15 samples of mineral soil collected in a grassland-forest ecotone area in the municipality of São Gabriel, in the western border region of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Palynological, granulometric and radiocarbon dating analyses were performed with the objective of reconstituting the paleovegetational history during the late Holocene of the region, as well as to verify the influence of the granulometric composition in the palynological database. We identified 37 grassland taxa, 25 forest taxa and 13 palynomorphs. The results indicated the existence of five paleoecological phases which generally demonstrated the presence of pollen and forest in the region, however the grassland elements dominated the pollen spectrum. Samples of the sandy-loam and sandy-clay-loam texture classes had lower pollen concentrations. Pearson's correlation coefficient showed a strong and negative association between pollen concentration and coarse sand, indicating that the soil particle size interferes in preserving pollen complex. With this study we hope to contribute to better understand the origin of the vegetation formations of the Pampa biome, which is important for its richness and species endemism.

Keywords: Palynology. Paleovegetation. Grassland-forest mosaic. Late Holocene.

3.1 INTRODUÇÃO

A palinologia pode ser entendida como a ciência que estuda os grãos de pólen, esporos e demais materiais orgânicos que resistem ao processamento químico (SALGADO-LABOURIAU, 2007). Sua análise é um parâmetro essencial para a reconstituição de um modelo de vegetação pretérita, auxiliando na compreensão das características de cada bioma, sendo importante, especialmente, em áreas de tensão ecológica, as quais apresentam elevada biodiversidade.

A vegetação do Rio Grande do Sul está inserida em dois biomas: a Mata Atlântica ao norte, e o Pampa na metade sul, com maior extensão territorial. Além disto, algumas paisagens do estado apresentam uma vegetação peculiar, formada por espécies herbáceo-arbustivas, características do bioma Pampa, e por floresta nativa (CORDEIRO; HASENACK, 2009; BOLDRINI et al., 2010). Esse mosaico campo-floresta, encontra-se em permanente competição no espaço regional e são condicionadas sob fortes influências ambientais, sobretudo as climáticas (BAUERMANN et al., 2008).

As variações climáticas do Quaternário, com sucessivas épocas glaciais intercaladas com épocas interglaciais, influenciaram a evolução da flora nos ecossistemas. Foi durante o Quaternário que as principais características vegetacionais do Pampa foram moldadas (BEHLING et al., 2009). Segundo Bauermann, Behling, Pillar (2011) no Pleistoceno os campos possuíam uma vegetação campestre hegemônica sob vigência de um clima frio e seco. Já durante o Holoceno houve uma expansão das florestas sob vigência de um clima mais úmido, no entanto, os campos ainda predominam na paisagem.

Embora a dinâmica campo-floresta desperte a atenção de muitos pesquisadores, preocupados com a preservação e conservação dos ecossistemas, muito pouco se sabe sobre a origem dos biomas (LEONHARDT; LORSCHHEITTE, 2007). Neste contexto, a palinologia surge como uma aliada na compreensão da dinâmica e das tendências naturais da vegetação, gerando informações que podem auxiliar na busca por soluções para amenizar a degradação ambiental. Salgado-Labouriau (1984) afirma que o conhecimento mais profundo da vegetação do passado, bem como das sucessões e modificações vegetacionais, são essenciais para compreensão da origem e manutenção da biodiversidade, fornecendo modelos mais adequados de conservação e manejo equilibrado dos ecossistemas atuais.

Mesmo diante da riqueza biológica e importância histórico-cultural do Pampa, ainda são incipientes os estudos sobre palinologia do Quaternário no bioma (BAUERMANN et al., 2008; BEHLING et al., 2005; BEHLING et al., 2016; EVALDT et al., 2014; MACEDO et al., 2010).

Não obstante, Bauermann, Behling e Macedo (2009) asseguram que o Pampa é uma das áreas mais carentes de pesquisas palinológicas, restando muitas lacunas para serem estudadas no que diz respeito a dinâmica paleovegetacional e a influência da atividade humana na conformação da paisagem.

Observando a escassez de estudos de caráter paleoambiental e diante da necessidade de compreender a dinâmica campo-floresta, análises palinológicas foram realizadas em amostras de solo mineral. A utilização de solos em estudos ambientais não é algo novo e vem sendo realizado por meio de indicadores como fitólitos e isótopos de carbono da matéria orgânica. Entretanto, nenhum outro estudo utilizou solos como fonte de material para palinologia e buscou inferir sobre seu potencial para preservar microfósseis. Sabe-se que a preservação de microfósseis é influenciada pelo tamanho das partículas que submergem o organismo, com isso a análise granulométrica é fundamental para apoiar o entendimento dos processos tafonômicos no registro polínico.

Visando contribuir com o desenvolvimento de estudos palinológicos no bioma Pampa, bem como explorar o potencial dos solos no contexto da palinologia, o presente trabalho tem por objetivo reconstituir a vegetação e o clima em área de ecótono campo-floresta, bem como verificar a influência da composição granulométrica no registro polínico. Desta forma, essa pesquisa acrescenta dados inéditos para a interpretação paleoecológica do Pampa, além de ser a precursora no uso de solos minerais em análises palinológicas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

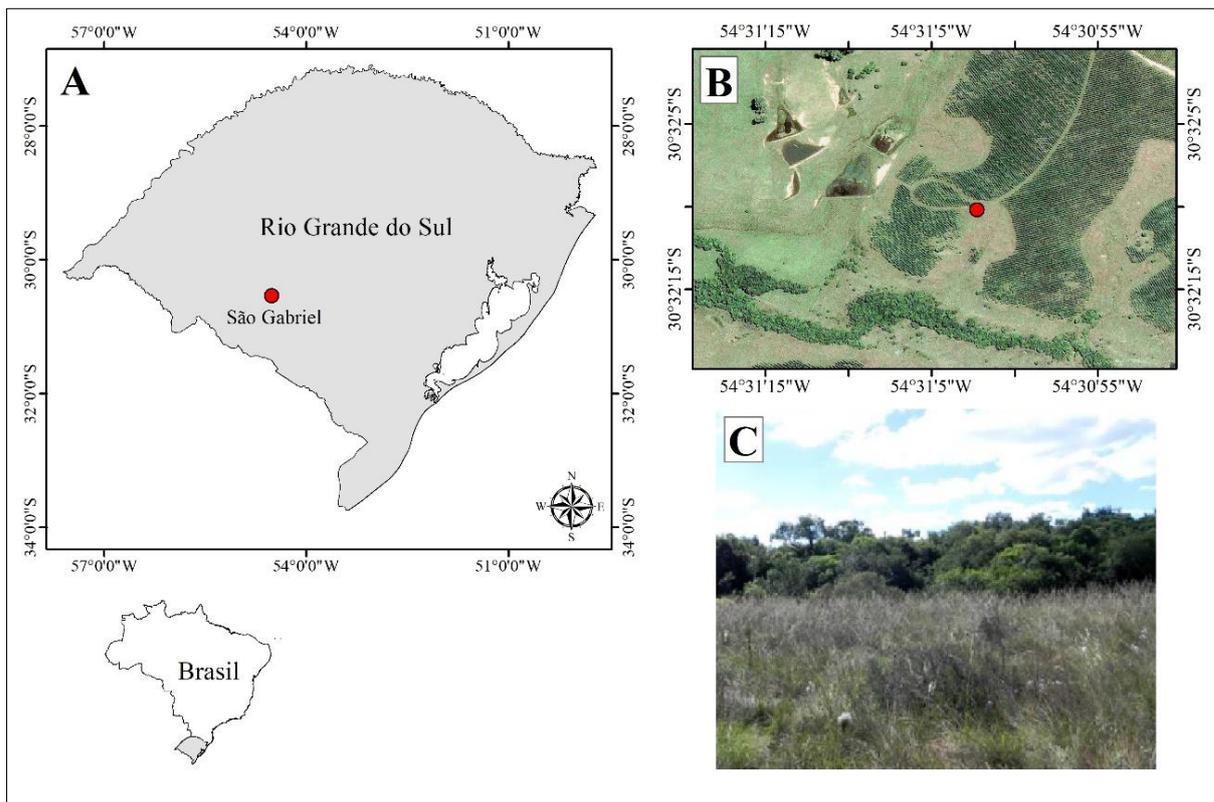
3.2.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado em Área de Preservação Permanente (APP) no horto florestal Santa Olga, município de São Gabriel, região da fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, nas coordenadas geográficas 54° 19' 12" de longitude e 30° 20' 11" de latitude. As áreas do horto Santa Olga são utilizadas para cultivo do gênero *Eucalyptus* desde 2008 (Figura 3.1).

O clima da região é subtropical úmido (Cfa) de acordo com a classificação climática de Köppen (ALVARES et al., 2013). A temperatura média do mês mais quente é superior a 30°C e nos meses de inverno inferior a 15°C, sendo frequente a ocorrência de frentes polares, trazendo geadas e ventos frios. O regime de chuvas é considerado, de modo geral, bem

distribuído ao longo do ano, com precipitação média anual superior a 1.300 mm e inferior a 1.800 mm (MATZENAUER; RADIN; ALMEIDA, 2011).

Figura 3.1 – (A) Localização geográfica do estado do Rio Grande do Sul, com detalhe para o município de São Gabriel; (B) vista aérea do horto florestal Santa Olga, com detalhamento para o ponto de amostragem; (C) aspecto geral da vegetação natural, com predomínio de espécies herbáceas e vegetação florestal



Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

A vegetação nativa da área em estudo corresponde à formação campestre com alta frequência de espécies cespitosas e fragmentos de floresta margeando curso d'água. No estrato arbóreo destacam-se *Lithraea molleoides* (Anacardiaceae), *Gymnanthes klotzschiana* (Euphorbiaceae), *Scutia buxifolia* (Rhamnaceae), *Quillaja brasiliensis* (Quillajaceae) e *Guettarda uruguensis* (Rubiaceae). Os campos apresentam predomínio das espécies *Pfaffia tuberosa* (Amaranthaceae), *Eryngium nudicaule* (Apiaceae), *Baccharis* sp. (Asteraceae), *Desmodium adscendens* (Fabaceae) e *Andropogon bicornis* (Poaceae) (ANDRIOLLO, 2015; REDIN, 2017).

O município de São Gabriel situa-se na região fisiográfica da Campanha, apresentando altitude média de 100 m, associada a um relevo suave ondulado a plano. Os solos da região são

derivados dos derrames basálticos, mas também há áreas cobertas por arenito. Destacam-se nas planícies de inundações Planossolos Háplicos Eutróficos, enquanto nas cotas mais elevadas Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico (STRECK et al., 2008).

3.2.2 Coleta e processamento das amostras

Procedeu-se por meio da abertura de trincheira. Em perfil de solo mineral foram coletados cerca de 50 g de solo em intervalos regulares de 5 cm. As atividades para recuperação dos palinomorfs e montagem das lâminas foram realizadas no Laboratório de Palinologia da Universidade Luterana do Brasil - ULBRA. As amostras foram fracionadas em 1 cm³ e, posteriormente, processadas com ácido fluorídrico (HF), ácido clorídrico (HCl), hidróxido de potássio (KOH) e acetólise (FAEGRI; IVERSEN, 1975). Após a preparação do material, foram confeccionadas lâminas em gelatina-glicerinada, conforme a metodologia de Salgado-Labouriau (1973).

3.2.3 Análise dos dados

Foram contabilizados 300 grãos de pólen por amostra, conforme recomenda a bibliografia (SALGADO-LABOURIAU, 2007). Para identificação dos palinomorfs foram utilizados catálogos polínicos e artigos de palinotaxonomia e paleopalínologia (BAUERMANN et al. 2013; EVALDT; BAUERMANN; SOUZA, 2013; LEAL; LORSCHETTER, 2006; MACEDO; SOUZA; BAUERMANN, 2009; RADAESKI; EVALDT; BAUERMANN, 2016; RADAESKI et al. 2014; RCPOL, 2019).

Os táxons identificados foram agrupados nas categorias: campo, floresta e demais palinomorfs. Os demais palinomorfs como briófitos, pteridófitos, algas e fungos foram contados separadamente e excluídos da soma polínica. Para construção do diagrama polínico e da análise de agrupamento de Cluster utilizou-se os softwares Tilia (versão 2.1.1) e CONISS, respectivamente (GRIMM, 1987).

O coeficiente de correlação de Pearson foi obtido por meio do suplemento estatístico Action instalado ao Microsoft Office Excel. A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Os dados da composição granulométrica foram plotados no triângulo textural com auxílio do software estatístico R (versão 3.5.1).

A datação radiocarbônica (¹⁴C) foi realizada pela técnica de AMS (Accelerator Mass Spectrometry) no Laboratório de Radiocarbono da Universidade Nacional Australiana (ANU

Radiocarbon Laboratory). A classificação do solo foi efetuada pelo departamento de solos, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), enquanto a análise granulométrica pelo laboratório de análises de solo da UFRGS.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Composição granulométrica

Os resultados da granulometria do Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Eutrófico léptico são apresentados na figura 3.2. Observou-se predomínio da partícula areia grossa em dois horizontes do solo, enquanto no horizonte diagnóstico (Bt) a granulometria observada foi predominantemente argilosa. Algumas amostras foram agrupadas em classes texturais com menos de 35% de argila e com mais de 15% de areia, com exceção das amostras entre 25 a 45 cm, as quais possuem textura argilosa, pois o teor de argila varia entre 35 a 60% (Figura 3.3).

Figura 3.2 – Composição granulométrica por horizonte do Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Eutrófico léptico. Horto Florestal Santa Olga, São Gabriel, RS, 2019

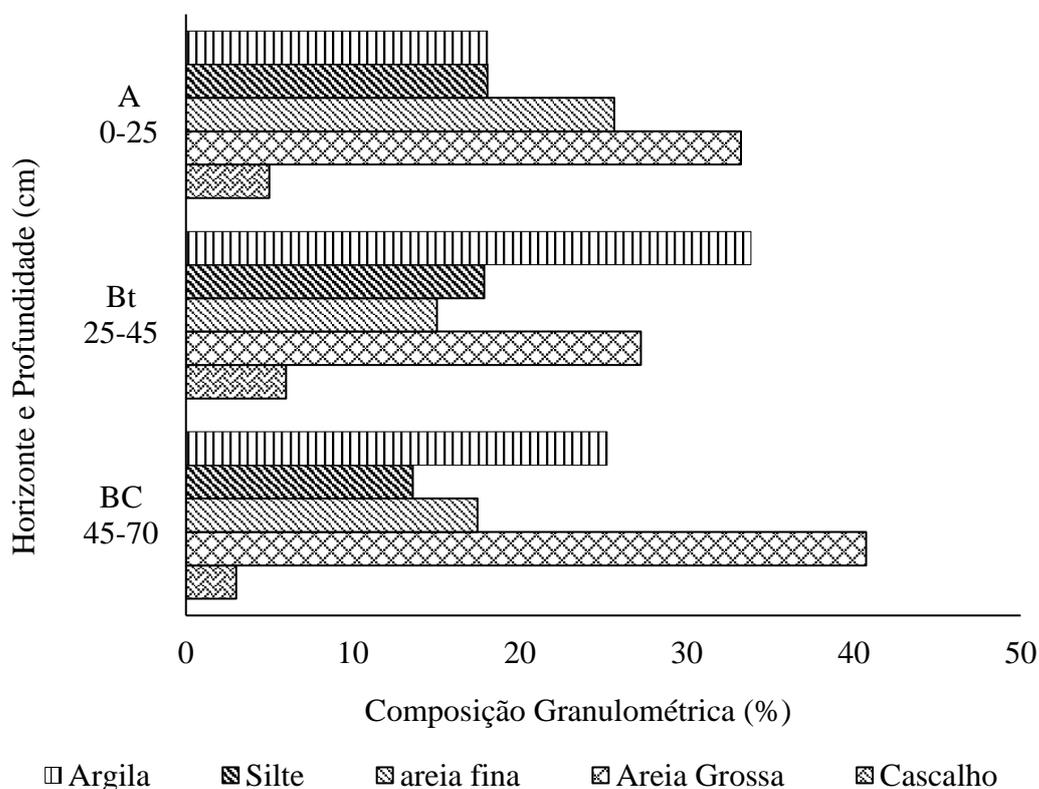
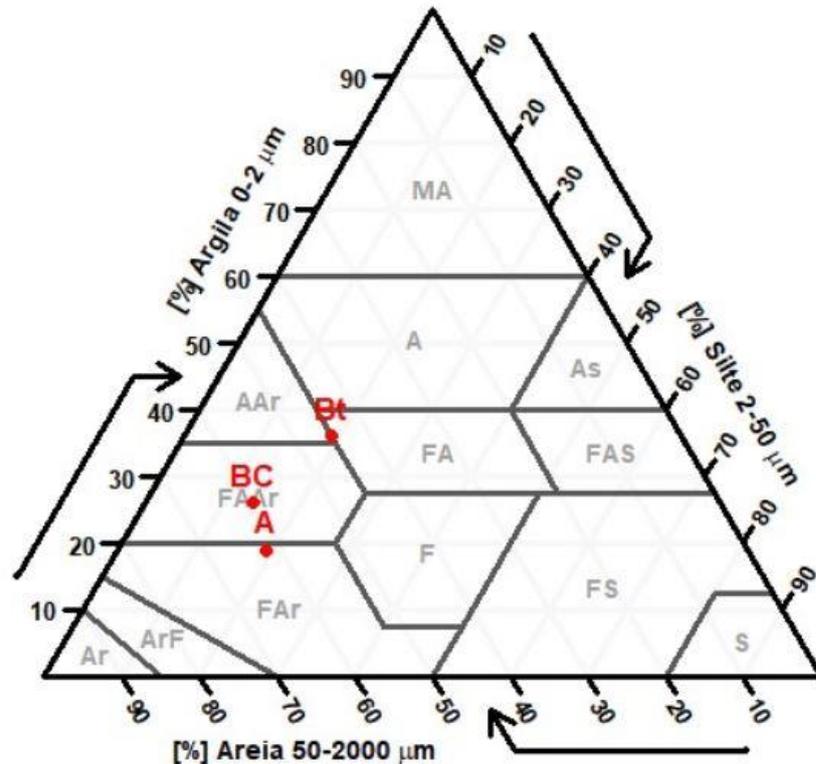


Figura 3.3 – Triângulo textural representando as classes texturais por horizonte do Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Eutrófico léptico. Horto Florestal Santa Olga, São Gabriel, RS, 2019



Fonte: Adaptado de Lemos e Santos (1996).

3.3.2 Palinologia

A datação radiocarbônica indicou a idade de 2630 ± 25 anos AP em 70 cm de profundidade. A partir das amostras de solo analisadas foi possível identificar 36 táxons de campo, 25 de floresta e 9 palinomorfos (Figura 3.4).

As principais mudanças paleoflorísticas ocorridas no conjunto polínico estão representadas na figura 3.4, sendo estabelecidas cinco fases paleoecológicas. Devido ao percentual baixo de alguns táxons, optou-se por mencionar aqueles com valor igual ou maior que 1%, entretanto, todos são apresentados no diagrama polínico.

Fase I (55 – 70 cm, 4 amostras): Os elementos da vegetação campestre apresentaram os mais elevados valores de percentagem (73%) quando comparados com a floresta. Os campos são representados, principalmente, por Poaceae (23%) seguida de Cyperaceae (7%), tipo *Baccharis* (5%), Asteraceae (4%), tipo *Ambrosia* (4%), *Eryngium* (3%), *Polygonum* (1%), *Polygala brasiliensis* (1%), *Plantago tomentosa* (1%), *Pfaffia tuberosa* (1%), *Gomphrena*

celosioides (1%), *Desmodium adscendens* (1%), Cucurbitaceae (1%), *Chuphea* (1%), *Cerastium glomeratum* (1%) e Bromeliaceae (1%). Dentre os táxons de floresta destacaram-se Fabaceae (4%), Myrtaceae (3%), Malvaceae (2%), *Piper* (2%), *Chrysophyllum* (1%), *Heimia myrtifolia* (1%), *Janusia guaranítica* (1%) e Lauraceae (1%). Esporos de *Phaeoceros laevis* (21%), *Microgramma vaciinifolia* (16%) e *Gelasinospora* (6%) foram os mais significativos. Dentre as algas destacaram-se *Pseudoschizaea rubina* (7%) e *Zignema* (9%).

Fase II (20 – 50 cm, 7 amostras): O mesmo padrão foi observado quanto ao predomínio da vegetação campestre no conjunto polínico (70%), entretanto ocorreu um decréscimo nos grãos de pólen de Poaceae (20%), Cyperaceae (4%), tipo *Baccharis* (4%), tipo *Ambrosia* (2%) e *Eryngium* (2%), e um aumento de Asteraceae (7%). Mantiveram-se os táxons Cucurbitaceae (1%) e *Plantago tomentosa* (1%), enquanto surgiram *Sida rhombifolia* (1%), *Sisyrinchium* (1%), *Amaranthus* (1%) e *Euphorbiaceae* (1%). A floresta mostrou-se mais diversificada com o surgimento de *Annona* (2%), *Eugenia* (2%), *Smilax* (2%), *Trema micrantha* (2%), *Allophyllus* (1%), *Bauhinia* (1%), *Dioscorea* (1%), *Daphnopsis* (1%), *Ephedra* (1%), *Mimosa* (1%), *Opuntia* (1%) e *Pseudobombax* (1%), além dos táxons Fabaceae (3%), *Chrysophyllum* (2%), Myrtaceae (2%), *Heimia myrtifolia* (1%) e Lauraceae (1%). Esporos de *Phaeoceros laevis* e *Microgramma vaciinifolia* tiveram mesmo percentual (8%), enquanto as algas *Pseudoschizaea rubina* (3%) e *Zignema* (2%) decresceram.

Fase III (10 – 15 cm, 2 amostras): Nesta fase os elementos da formação campestre tiveram maior expressividade (82%), sendo representados por Poaceae (47%), Asteraceae (8%), tipo *Ambrosia* (5%), Cyperaceae (3%), tipo *Baccharis* (3%), *Eryngium* (2%), *Begonia* (1%), *Cerastium glomeratum* (1%), *Chuphea* (1%) e *Sida rhombifolia* (1%). O conjunto polínico da vegetação florestal foi constituído por Myrtaceae (3%), *Trema micranta* (2%) *Janusia guaranítica* (2%), *Syagrus* (2%), *Piper* (1%) e *Smilax* (1%). Esporos de *Phaeoceros laevis* e *Microgramma vaciinifolia* tiveram percentuais de 27 e 4%, respectivamente.

Fase IV (5 cm, 1 amostra): Nesta fase os elementos da formação campestre tiveram menor representatividade (55%), destacando-se os táxons Poaceae (24%), Asteraceae (7%), Cyperaceae (4%), tipo *Baccharis* (3%), tipo *Ambrosia* (1%), Cucurbitaceae (1%), *Eryngium* (1%), *Plantago tomentosa* (1%) e *Sida rhombifolia* (1%). A formação florestal foi caracterizada por pólen de Myrtaceae (8%), *Chrysophyllum* (4%), Fabaceae (4%), *Pinus* (4%), *Ephedra* (3%), *Eugenia* (3%), *Daphnopsis* (2%), *Dioscorea* (2%), *Janusia guaranítica* (2%), *Syagrus* (2%), *Annona* (1%), *Heimia myrtifolia* (1%), *Mimosa* (1%), *Opuntia* (1%), *Piper* (1%), *Pseudobombax* (1%) e *Eucalyptus* (1%). Esporos de *Phaeoceros laevis* mantiveram percentual elevado (28%), enquanto os de *Microgramma vaciinifolia* tiveram um acréscimo (8%).

Fase V (0 cm, 1 amostra): Registrou-se maior abundância de grãos de pólen da formação campestre (60%), dominada por Poaceae (26%) seguida de Asteraceae (10%), Cyperaceae (6%), *Eryngium* (5%), tipo *Baccharis* (2%), tipo *Ambrosia* (2%), *Sisyrinchium* (2%), Euphorbiaceae (1%), *Tripodanthus* (1%) e *Waltheria communis* (1%). A vegetação florestal foi constituída pelos táxons Myrtaceae (8%), *Eugenia* (6%), Fabaceae (3%), *Dioscorea* (1%), *Ephedra* (1%), *Syagrus* (1%), *Eucalyptus* (3%) e *Pinus* (3%). Esporos de *Phaeoceros laevis* e de *Microgramma vaciinifolia* tiveram decréscimo em relação a fase anterior, com 17% e 10%, respectivamente.

3.3.3 Associação entre granulometria e concentração polínica

Os resultados do coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a composição granulométrica do solo e a concentração polínica são apresentados na tabela 3.1. As correlações foram avaliadas quanto à intensidade, utilizando os critérios propostos por Callegari-Jacques (2003).

Tabela 3.1 – Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a composição granulométrica do solo (%) e a concentração polínica (cm^3) obtida nas amostras utilizadas para análise palinológica. São Gabriel, RS, 2019

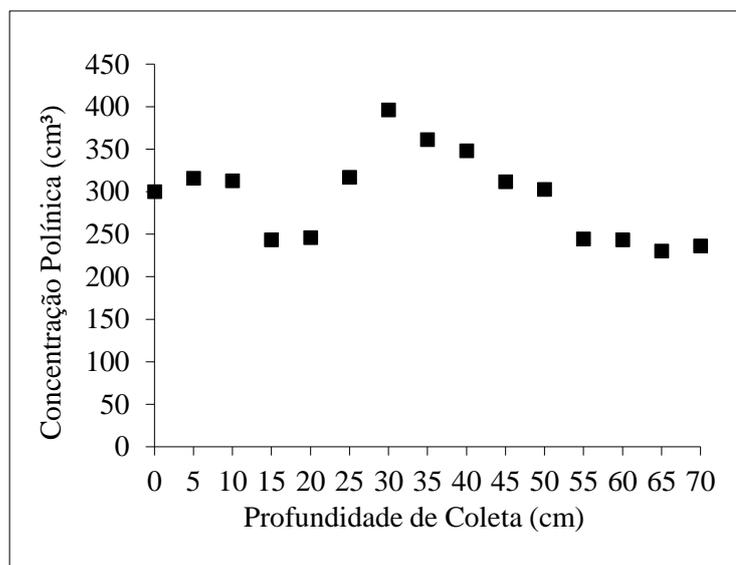
Granulometria	Concentração Polínica (cm^3)
Areia grossa (%)	-0,78*
Areia fina (%)	-0,20
Silte (%)	0,61*
Argila (%)	0,52*

* correlação significativa entre as variáveis em nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

Na figura 3.5 são apresentados os dados de concentração polínica em relação a profundidade de coleta das amostras. Observou-se que os mais elevados valores de concentração polínica ocorreram no horizonte de profundidade entre 25 - 45 cm, o qual possui textura franco-argilosa. A concentração mais alta ocorreu na profundidade de 30 cm, obtendo valores de $396,30 \text{ cm}^3$.

Figura 3.5 – Diagrama de dispersão entre as variáveis concentração polínica (cm^3) e profundidade de coleta das amostras de solo utilizadas na análise palinológica. São Gabriel, RS, 2019



Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

3.4 DISCUSSÕES

De acordo com Salgado-Labouriau (2007), nem todos os ambientes são apropriados para reconstituição paleoambiental com base no registro polínico. Entretanto, a presente pesquisa demonstra que o solo estudado possui potencial para preservar pólen e esporos. Apesar de não existirem pesquisas palinológicas em solos minerais, verificou-se que o mesmo comporta-se de forma semelhante aos demais ambientes utilizados na palinologia, exigindo certas condições para melhor preservar o conjunto polínico, principalmente no que se refere a granulometria.

O resultado da análise granulométrica incluiu a maioria das amostras de solo no grupamento textural médio, indicando as classes franco-arenosa (0-25 cm) e franco-argilo-arenosa (45-70 cm). Essas amostras obtiveram menor concentração polínica, uma vez que o predomínio da fração areia grossa pode ter promovido uma destruição que eliminou parte dos palinomorfos por oxidação.

Devido ao seu tamanho, partículas de areia apresentam menor capacidade de retenção de água e não se mantêm unidas, tornando os solos bem aerados e soltos (SCHNEIDER; KLAMT; GIASSON, 2007). A exina, membrana que reveste o pólen e

esporos, é extremamente resistente a degradação, tanto que suporta as etapas de preparação do material palinológico. No entanto, em ambientes aeróbicos ou com temperaturas acima de 300°C, a exina fica sujeita a ação química e os palinomorfos acabam sendo destruídos (BAURMANN et al., 2002, SALGADO-LABOURIAU, 2007).

O coeficiente de correlação de Pearson demonstrou uma forte associação entre a concentração polínica e silte, e média com relação à argila. O espaço poroso formado entre as partículas no material siltoso e argisolo, são bem menores quando comparados com a areia grossa, permitindo que o solo retenha uma quantidade de água muito maior (SCHNEIDER; KLAMT; GIASSON, 2007). A existência de uma correlação forte e negativa entre areia grossa e concentração polínica, evidencia que o diâmetro das partículas interfere diretamente na tafonomia do conjunto polínico.

Pelo que se sabe não existem pesquisas paleopalínológicas usando solos minerais. Contudo, um estudo realizado em ambiente sedimentar por Evaldt et al. (2014) demonstrou que o intervalo fértil para palinologia, foi aquele em transição de um sedimento siltoso com menor quantidade de areia para um sedimento siltoso com mosqueados de areia. Não obstante, a pesquisa de Behling et al. (2016) em ambiente turfáceo evidenciou que as amostras obtidas em sedimentos arenosos e com pouco conteúdo orgânico, apresentaram um conjunto polínico pouco expressivo.

A análise palinológica das amostras de solo refletiram a ocorrência de mudanças na composição florística a pelo menos 2630 ± 25 anos AP. Os resultados indicaram que as formações campestre e florestal dividem espaço, no entanto ocorre predomínio dos campos desde o Holoceno tardio até os dias atuais.

A fase I demonstrou o predomínio de plantas associadas aos campos, representadas principalmente por Poaceae e Asteraceae, tipo *Baccharis* e tipo *Ambrosia*. Além disso, o registro de Cyperaceae e *Phaeoceros laevis* indica que as condições climáticas eram úmidas. Provavelmente, existiu na área um pequeno corpo d'água que permitiu o desenvolvimento de algas (*Pseudoschizaea rubina* e *Zignema*). A presença no espectro polínico de Fabaceae, Myrtaceae, Malvaceae e Lauraceae aliada ao registro de *Chrysophyllum* sugere a existência de uma vegetação primária (LORENZI, 2008). A sombra do estrato arbóreo habitavam *Piper*, *Heimia myrtifolia*, *Janusia guaranítica* e *Microgramma vacciniifolia*.

Na fase II ainda existiu um pequeno corpo d'água, porém, ocorreu uma diminuição da umidade verificada pelo decréscimo no registro de Cyperaceae e *Phaeoceros laevis*. Essa foi a fase de maior diversidade florística, onde surgiram novos

táxons da formação campestre e florestal. A presença no espectro polínico de *Allophyllus*, *Eugenia*, *Daphnopsis* e *Chrysophyllum* sugere fitofisionomia semelhante a Floresta Estacional.

Trabalhos palinológicos realizados em outros ambientes do Pampa, também apresentaram abundância de grãos de pólen de gramíneas como Poaceae, e demais ervas como Asteraceae e Cyperaceae (BAUERMANN et al., 2008; BEHLING et al., 2005; MACEDO et al., 2010). Essas famílias destacam-se pela variedade de espécies, ocorrendo em praticamente toda a extensão do bioma (BOLDRINI, 2009; VERDUM, 2016).

A fase III caracteriza a expansão dos campos com predomínio de Poaceae, que associada a presença de Cyperaceae indica a existência de áreas de campo úmido. Observou-se um aumento significativo no registro de *Phaeoceros laevis*, sugerindo um ambiente sob forte influência da umidade, mas que já não possibilitava a formação de pequenos corpos d'água, uma vez que foi registrado o desaparecimento das algas.

Estudos palinológicos realizados no Pampa e em maior intensidade na Mata Atlântica, apontam para a expansão das florestas sob vigência de um clima quente e úmido, o que sugere que as condições climáticas do Holoceno favorecem o desenvolvimento das florestas (BEHLING et al., 2004; MACEDO et al., 2007). A diferença observada em relação aos demais estudos, com a expansão dos campos sob condições de elevada umidade, pode ser um resultado, provavelmente, promovido pela ação do gado, pois a região possuiu um histórico ligado a pecuária.

A pecuária foi introduzida no Pampa por meio das Missões Jesuíticas em meados de 1605, e exerce um importante papel na delimitação da tensão ecológica campo-floresta. A presença do gado não permite a colonização das áreas abertas pelo componente florestal, muito embora o clima favoreça, sendo a própria pecuária uma grande aliada na conservação do campo nativo (ROVEDDER, 2014).

As fases IV e V representam o período de maior expansão da floresta, ocorrendo inclusive o surgimento de dois novos táxons arbóreos (*Pinus* e *Eucalyptus*). Os campos foram cobertos por gramíneas (Poaceae) e por outras ervas que habitam solos úmidos e/ou alagados (Cyperaceae e *Eryngium*). A presença de *Phaeoceros laevis* também sugere a existência de um ambiente úmido.

As espécies exóticas encontradas no espectro polínico foram introduzidas no estado com a finalidade de produzir madeira, celulose e resina. Segundo Bechara et al., (2013) ao táxon *Pinus* sp., é conferido o título de gênero exótico de maior amplitude invasora de ecossistemas naturais do globo. A quantidade de sementes pequenas e aladas

dispersas pelo vento a longas distâncias, tolerância à sombra, curto período de juvenilidade e maior longevidade, torna o gênero de alto potencial invasor. Por onde ocorre a colonização do *Pinus*, forma-se densa camada de acículas que impede a regeneração de espécies nativas (BECHARA; REIS; TRENTIN, 2014).

A ocorrência do pólen de *Pinus* em amostras de superfície também foi registrada em outras regiões com mosaico campo-floresta no Pampa (EVALDT et al., 2014; MACEDO et al., 2010). A presença do gênero em ambientes naturais representa uma forte ameaça a biodiversidade, uma vez que locais abertos são mais suscetíveis a invasão. Neste sentido, é necessário um contínuo monitoramento para remoção das populações invasoras que se expandem além dos limites das plantações comerciais.

3.5 CONCLUSÕES

Os resultados da análise palinológica evidenciaram a existência de um mosaico campo-floresta desde o Holoceno tardio (2630 ± 25 anos), com predomínio da vegetação campestre mesmo sob vigência de um clima quente e úmido. Como a vegetação do Pampa possui muitas peculiaridades, é necessário considerar o histórico da região e a influência humana na construção das paisagens.

A presença de pólen exótico no registro polínico indica ação antrópica e sinaliza uma possível ameaça ao Pampa, já que as tipológicas vegetacionais abertas são mais suscetíveis à invasão por *Pinus*. Neste sentido, sugere-se que as áreas do horto florestal Santa Olga sejam monitoradas, a fim de evitar uma possível contaminação biológica.

Como o intervalo de maior concentração polínica foi aquele que apresentou predomínio de argila e menor teor de areia grossa no horizonte, conclui-se que a granulometria exerce influência sobre a preservação dos grãos de pólen, e deve ser utilizada como um fator decisivo na escolha dos solos a serem empregados na palinologia.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRIOLLO, D. D. **Florística, solos e abundância isotópica de ^{13}C em áreas de floresta e de campo no Bioma Pampa**. 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

- BAUERMANN, S. G. et al. Aspectos tafonômicos em palinologia de Quaternário. **Pesquisas Botânica**, n. 52, p. 223-229, 2002.
- BAUERMANN, S. G. et al. Dinâmicas vegetacionais, climáticas e do fogo com base em palinologia e análise multivariada no Quaternário tardio do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 11, n. 2, p. 87-96, 2008.
- BAUERMANN, S. G.; BEHLING, H.; MACEDO, R. B. Biomas regionais e evolução da paisagem no Rio Grande do Sul com base em paleopalinologia. In: RIBEIRO, A. M.; BAUERMANN, S. G.; SCHERER, C. S. (Org.). **Quaternário do Rio Grande do Sul Integrando Conhecimentos**. Porto Alegre: Monografias da sociedade Brasileira de paleontologia, 2009, p. 81-93.
- BAUERMANN, S. G.; BEHLING, H.; PILLAR, V. D. Paleoambientes do cone sul da América do Sul. **Ciência & Ambiente**, v. 42, p. 5-14, 2011.
- BAUERMANN, S.G. et al. **Pólen nas angiospermas diversidade e evolução**. Canoas: Editora ULBRA, 2013. 216 p.
- BECHARA, F. C. et al. Reproductive biology and early establishment of *Pinus elliottii* var. *elliottii* in Brazilian sandy coastal plain vegetation: implications for biological invasion. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 2, p. 88 - 92, 2013.
- BECHARA, F. C; REIS, A.; TRENTIN, B. E. Invasão biológica de *Pinus elliottii* no Parque Estadual do Rio Vermelho, Florianópolis, SC. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 63-72, 2014.
- BEHLING, H. et al. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário tardio. In: PILLAR, V. P. (Ed.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. cap. 1, p. 13-25.
- BEHLING, H. et al. Late Holocene Vegetation History and Early Evidence of *Araucaria angustifolia* in Caçapava do Sul in the Lowland Region of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 59, p. 1-10, 2016.
- BEHLING, H. et al. Late Quaternary *Araucaria* forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. v. 203, p. 277-297, 2004.
- BEHLING, H. et al. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 133, p. 235-248, 2005.
- BOLDRINI, I. et al. **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre: Editora Pallotti, 2010. 64 p.
- BOLDRINI, I. L. A flora dos Campos do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. P. et al. (ed.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. cap. 4, p. 63-77, 2009.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística**: princípios e aplicações. Porto Alegre: ArtMed, 2003. 253 p.

CORDEIRO, J. L. P.; HASENACK, H. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. P. (Ed.). **Campos Sulinos**: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: MMA, Brasil, 2009. cap. 23, p. 285-299.

EVALDT, A. C. P. et al. Registros polínicos para o Holoceno tardio da região da Campanha (Rio Grande do Sul, Brasil) e seu significado na história dos paleoambientes da Savana Estépica Parque. **Revista brasileira de paleontologia**, v. 17, n. 2, p. 183-194, 2014.

EVALDT, A. C. P.; BAUERMANN, S. G.; SOUZA, P. A. Descrições morfológicas de palinómorfs holocênicos de um fragmento da Savana Estépica Parque em Barra do Quaraí, Rio Grande do Sul, Brazil. **Pesquisas em Geociências**, v. 40, n. 3, p. 209-232, 2013.

FAEGRI, K.; IVERSEN, L. **Textbook of pollen analysis**. 4. ed. New York: John Wiley, 1975. 486 p.

GRIMM, E. C. Coniss: a Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum of squares. **Pergamon journal**, v. 13, p.13-35, 1987.

LEAL, M. G.; LORSCHETTER, M. L. Pólen, esporos e demais palinómorfs de sedimentos holocênicos de uma floresta paludosa, Encosta Inferior do Nordeste, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, v. 61, n. 1, p. 13-47, 2006.

LEMO, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84 p.

LEONHARDT, A.; LORSCHETTER, M. L. Palinómorfs do perfil sedimentar de uma turfeira em São Francisco de Paula, Planalto Leste do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. **Revista Brasil. Bot.**, v. 30, n. 1, p. 47-59, 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 5 ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2008. 384 p.

MACEDO, R. B. et al. Palinologia de níveis do Holoceno da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (localidade de Passinhos), Brasil. **Revista GAEA**, v. 3, n. 2, p. 68-74, 2007.

MACEDO, R. B. et al. Palynological analysis of a late Holocene core from Santo Antônio da Patrulha, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, n.3, p.731-745, 2010.

MACEDO, R. B.; SOUZA, P. A.; BAUERMANN, S. G. Catálogo de pólen, esporos e demais palinómorfs em sedimentos holocênicos de Santo Antônio da Patrulha, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, v. 64, n. 2, p. 43-78, 2009.

- MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas Climático:** Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio; Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), 2011. 185 p.
- RADAESKI, J. N. et al. Diversidade de grãos de pólen e esporos dos Campos do sul do Brasil: descrições morfológicas e implicações paleoecológicas. **Iheringia**, v. 69, n. 1, p. 107-132, 2014.
- RADAESKI, J. N.; EVALDT, A. C. P.; BAUERMANN, S. G. Morfologia polínica de espécies da família Asteraceae Martinov nos cerros da Campanha do Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, v. 71, n. 3, p. 357-366, 2016.
- REDE DE CATÁLOGOS POLÍNICOS ONLINE – RCPOL. **Chave de identificação das espécies.** disponível em: <http://chaves.rcpol.org.br/>. Acesso em: 22 de abril de 2018.
- REDIN, C. G. **Relação solo-vegetação em ecótono campo-floresta no Bioma Pampa.** 2017. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2017.
- ROVEDDER, A.P.M. Bioma Pampa: Relações solo-vegetação e experiências de restauração. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 64., 2013, Belo Horizonte/MG. **Anais...** Belo Horizonte/MG: Sociedade Botânica do Brasil, 2014, p. 46-53.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Contribuição à Palinologia dos Cerrados.** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1973. 291 p.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Crítérios e técnicas para o Quaternário.** São Paulo: Edgard Blücher, 2007. 387 p.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L. Reconstrucción del ambiente a través de los granos de polen. **Scientific American**, v. 3, p. 6-17, 1984.
- SCHNEIDER, P.; KLAMT, E.; GIASSON, E. **Morfologia do solo:** subsídios para caracterização e interpretação de solos a campo. Guaíba: Agrolivros, 2007. 72 p.
- STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2. ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222 p.
- VERDUM, R. Paisagem do Pampa: monotonia que se rompe no espaço e no tempo. In: CHOMENKO, L.; BENCKE, C. A. (Org.). **Nosso Pampa desconhecido.** Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. cap. 3, p. 44-59.

4 DISCUSSÃO GERAL

O Rio Grande do Sul está inserido no bioma Mata Atlântica e no Pampa. Grande parte do território gaúcho integra o bioma Pampa (62,2%), o qual apresenta extensas áreas com vegetação campestre (BOLDRINI et al., 2010). Por ser um ecossistema que ocorre apenas no estado e ter sido recentemente reconhecido como bioma, o Pampa ainda é desconhecido pela sociedade em geral, sendo considerado por muitos como resultado da supressão da vegetação florestal.

Segundo Boldrini et al. (2010) o Pampa exerce um papel significativo na conservação da biodiversidade, abrigando diversas espécies campestres, constituindo um patrimônio genético notável até então negligenciado. Centenas destas espécies têm valor forrageiro que permite o desenvolvimento de uma pecuária ecológica, baseada na conservação do campo nativo.

A grande biodiversidade do Pampa traz à tona a necessidade de estudos que ampliem o conhecimento sobre sua origem e dinâmica vegetacional. Estudos palinológicos, os quais fornecem subsídios para tais interpretações são escassos no bioma, e essa carência pode estar atrelada a dificuldade de se encontrar turfeiras. Diante disto, faz-se necessário buscar outros ambientes propícios ao desenvolvimento de pesquisas palinológicas.

As áreas do horto florestal Cerro do Batovi e Santa Olga foram selecionadas para realização desse estudo por necessitarem de ações de recuperação e conservação ambiental. Para tanto, inicialmente seria necessário compreender a origem e as tendências naturais do campo nativo e da floresta. Como não existem turfeiras nas proximidades, optou-se por selecionar solos minerais como fonte de amostras para palinologia, e ainda verificar sua capacidade para preservar pólen e esporos.

Neste sentido, este estudo além de contribuir gerando mais informações sobre a dinâmica campo-floresta, constitui o primeiro trabalho a utilizar solos na reconstituição da vegetação por meio da palinologia. Como as frações finas são elementos de suma importância para preservação de um fóssil, foram utilizadas análises granulométricas para inferir sobre o comportamento dos solos quanto a preservação dos palinomorfos. Constatou-se que os horizontes com mais de 60% de cascalho, apresentaram preservação inadequada de pólen e esporos, em contrapartida, o horizonte com predomínio de argila apresentou maior concentração polínica.

Ao todo foram identificados 73 diferentes táxons, sendo 36 de campo, 25 de floresta e 12 palinomorfos. O trabalho realizado por Evaldt et al. (2014) registrou 81 táxons em perfil sedimentar. Segundo os autores, está é uma alta diversidade quando comparada a outros sítios estudados em diferentes formações campestres do estado.

Na tabela 4.1 são apresentadas as ocorrências dos grãos de pólen da formação campestre e florestal registrados nas amostras de solo analisadas.

Tabela 4.1 - Ocorrências dos grãos de pólen da formação campestre e florestal registrados nas amostras de solo analisadas

(continua)

Palinomorfos	Classificação	Ocorrência			
		HFCEB			HFSSO
		Topo	Meia Encosta	Base	
<i>Alnus</i> L.					X
<i>Amaranthus</i> L.	Campo	X	X	X	X
<i>Ambrosia</i> L.	Campo	X	X	X	X
Asteraceae Bercht. & J. Presl	Campo	X	X	X	X
<i>Baccharis</i> L.	Campo	X	X	X	X
<i>Begonia</i> L.	Campo		X	X	X
<i>Borreria</i> G. Mey.	Campo	X	X		X
Bromeliaceae A. Juss.	Campo		X		X
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	Campo	X	X	X	X
<i>Chuphea</i> P. Browne	Campo	X	X	X	X
Cucurbitaceae A. Juss.	Campo	X	X	X	X
Cyperaceae Juss.	Campo	X	X	X	X
<i>Desmodium adscendens</i> (Sw.) DC.	Campo		X	X	X
<i>Eryngium</i> L.	Campo	X	X	X	X
<i>Euphorbia</i> L.	Campo		X	X	X
Euphorbiaceae Juss.	Campo	X	X	X	X
<i>Gomphrena celosioides</i> Mart.	Campo	X	X	X	X
<i>Helianthus</i> L.	Campo	X	X	X	X
<i>Hyptis</i> Jacq.	Campo	X	X	X	X
<i>Oxalis</i> cf. <i>brasiliensis</i> Lodd.	Campo	X	X		X
<i>Peperomia</i> Ruiz & Pav.	Campo	X	X	X	X
<i>Petunia</i> Juss.	Campo		X	X	X
<i>Pfaffia tuberosa</i> (Spreng.) Hicken	Campo	X	X	X	X
<i>Plantago tomentosa</i> Lam.	Campo	X	X	X	X
Poaceae Barnhart	Campo	X	X	X	X
<i>Polygala brasiliensis</i> L.	Campo	X	X	X	X
<i>Polygonum</i> L.	Campo	X	X	X	X
<i>Pterocaulon</i> Ell.	Campo	X	X	X	X

Tabela 4.1 - Ocorrências dos grãos de pólen da formação campestre e florestal registrados nas amostras de solo analisadas

(conclusão)

Palinomorfos	Classificação	Ocorrência			
		HFCB			HFSO
		Topo	Meia Encosta	Base	
Rubiaceae Juss.	Campo	x	x		x
<i>Sagittaria</i> L.	Campo		x	x	x
<i>Scutellaria</i> L.	Campo		x	x	x
<i>Sida rhombifolia</i> L.	Campo	x	x	x	x
<i>Sisyrinchium</i> L.	Campo	x	x	x	x
<i>Tradescantia</i> L. emend. M.Pell.	Campo	x	x	x	x
<i>Tripodanthus</i> (Eichler) Tiegh.	Campo	x	x	x	x
<i>Waltheria communis</i> A.St.-Hil	Campo	x	x	x	x
<i>Zornia</i> J. F. Gmel.	Campo	x		x	x
<i>Annona</i> L.	Floresta			x	x
<i>Allophyllus</i> L.	Floresta				x
<i>Bauhinia</i> L.	Floresta				x
<i>Chrysophyllum</i> L.	Floresta		x	x	x
<i>Daphnopsis</i> Mart.	Floresta	x			x
<i>Dioscorea</i> L.	Floresta				x
<i>Ephedra</i> Tourn. ex L.	Floresta		x	x	x
<i>Eugenia</i> L.	Floresta				x
Fabaceae Lindl.	Floresta	x	x	x	x
<i>Heimia myrtifolia</i> Cham. & Schltld.	Floresta			x	x
<i>Janusia guaranitica</i> (A.St.-Hil.) A. Juss.	Floresta	x	x	x	x
Lauraceae Juss.	Floresta		x	x	x
Malvaceae Juss.	Floresta	x			x
<i>Mimosa</i> L.	Floresta	x	x	x	x
<i>Myrrhimum</i> cf. <i>atropurpureum</i> Schott	Floresta	x			x
Myrtaceae Juss.	Floresta	x	x	x	x
<i>Opuntia</i> Mill.	Floresta				x
<i>Piper</i> L.	Floresta	x	x	x	x
<i>Pseudobombax</i> Dugand	Floresta				x
<i>Smilax campestris</i> Griseb.	Floresta				x
<i>Syagrus</i> Mart.	Floresta	x	x		x
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Floresta				x
<i>Vernonia</i> Schreb.	Floresta	x	x	x	x
<i>Eucalyptus</i> L.	Floresta	x	x	x	x
<i>Pinus</i> L.	Floresta	x	x	x	x

Fonte: Eliara Marin Piazza (2019).

Nota-se que a maior diversidade de táxons foi encontrada no horto florestal Santa Olga, o que pode estar relacionado ao fato da área ser uma região de ecótono propiciando desta forma maior diversidade vegetal, uma vez que, podem estar presentes espécies de ambos os ambientes, bem como ocorrentes na região de contato. Evidenciando desta forma, a importância da conservação destas áreas.

5 CONCLUSÃO GERAL

As análises palinológicas nas amostras de solo permitiram reconhecer como componentes da paleoflora 73 táxons, sendo 36 de campo, 25 de floresta e 12 palinomorfos. No horto florestal Cerro do Batovi foram determinadas três fases paleoecológicas por perfil de solo analisado. O registro polínico mais antigo para a área ocorreu na porção topo do relevo datando 4090 ± 25 anos AP. Neste perfil o conjunto polínico atesta predomínio de pólen da vegetação campestre, representada por Poaceae e por elementos da família Asteraceae. A presença de táxons indicadores de umidade sugere a existência de um solo úmido.

No horto Santa Olga o registro polínico data 2630 ± 25 , e indica a existência de duas distintas formações vegetacionais competindo pelo mesmo ambiente, porém ocorre predomínio da vegetação campestre mesmo sob condições de elevada umidade. Considerando o conjunto polínico dentro das fases paleoecológicas delimitadas, concluiu-se que o campo teve sua maior expressividade durante a fase III, o que pode ser um sinal da ação do gado sobre a vegetação, uma vez que a região tem forte histórico na realização de atividades voltadas a pecuária.

A presença de pólen exótico nas amostras de superfície indica à ação antrópica que o Pampa está sendo submetido. Devido ao elevado potencial de invasão biológica em áreas abertas, o registro do gênero *Pinus* deve ser tratado com atenção do ponto de vista ambiental, sendo necessária a realização de monitoramento das áreas.

Embora os solos minerais não sejam um ambiente utilizado na palinologia, a diversidade de táxons identificados comprova que este recurso é um sítio adequado para a realização de pesquisas palinológicas. Neste sentido, esta pesquisa amplia a fronteira do conhecimento palinológico, permitindo a realização de estudos aonde anteriormente não era possível devido à ausência de turfeiras.

Alguns horizontes apresentaram frações mais grosseiras em elevada percentagem, o que resultou em um conjunto polínico com baixa preservação, tornado os mesmos

inférteis para palinologia. Em contrapartida, aqueles horizontes com a presença de frações grosseiras mas com predomínio de silte preservaram os palinomorfos, demonstrando que quanto maior é o teor de frações finas no solo, melhor é a preservação. Diante disso, conclui-se que a presença de frações finas no solo está associada com a melhor preservação dos palinomorfos.

Com este estudo espera-se contribuir com a preservação do Pampa e com compreensão da dinâmica vegetacional do bioma. Espera-se ainda contribuir com as futuras pesquisas de reconstituição paleoambiental que usem solos como sítio para palinologia.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRIOLLO, D. D. **Florística, solos e abundância isotópica de ^{13}C em áreas de floresta e de campo no Bioma Pampa**. 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

BAUERMANN, S. G. et al. **Pólen nas angiospermas diversidade e evolução**. Canoas: Editora ULBRA, 2013. 216 p.

BAUERMANN, S. G.; BEHLING, H.; PILLAR, V. D. Paleoambientes do Cone Sul da América do Sul. *Ciência & Ambiente*, v. 42, p. 5-14, 2011.

BAUERMANN, S. G.; NEVES, P. C. P. das. Métodos de estudo em palinologia do Quaternário e de plantas atuais. *Cadernos La Salle XI*, v. 2, n. 1, p. 99-107, 2005.

BEHLING, H. et al. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário tardio. In: PILLAR, V. P. et al. (ed.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. cap. 1, p. 13-25.

BEHLING, H. et al. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 133, p. 235-248, 2005.

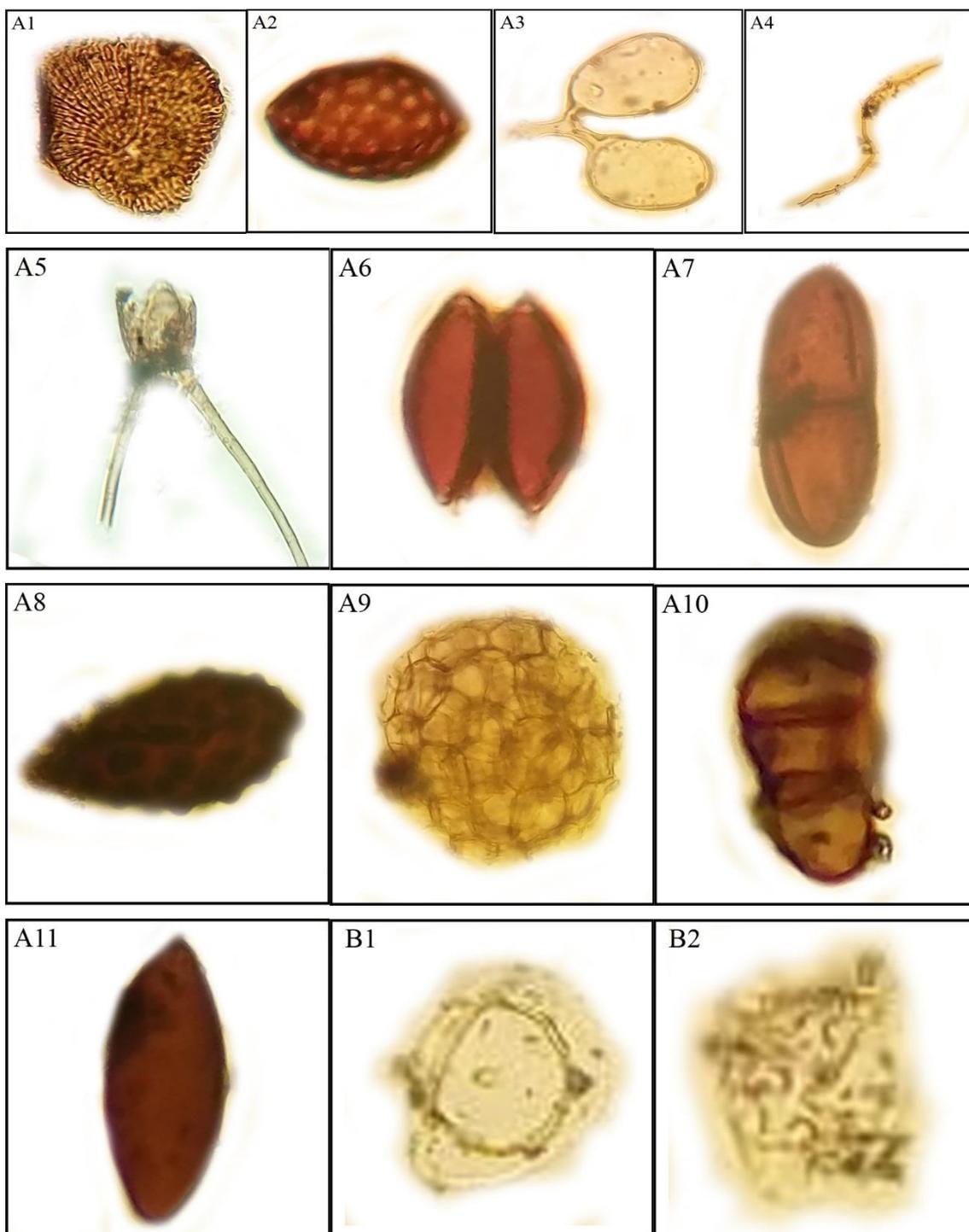
BOLDRINI, I. L. A flora dos Campos do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. P. et al. (ed.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. cap 4, p. 63-77, 2009.

BOLDRINI, I. L. et al. **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre: Editora Pallotti, 2010. 64 p.

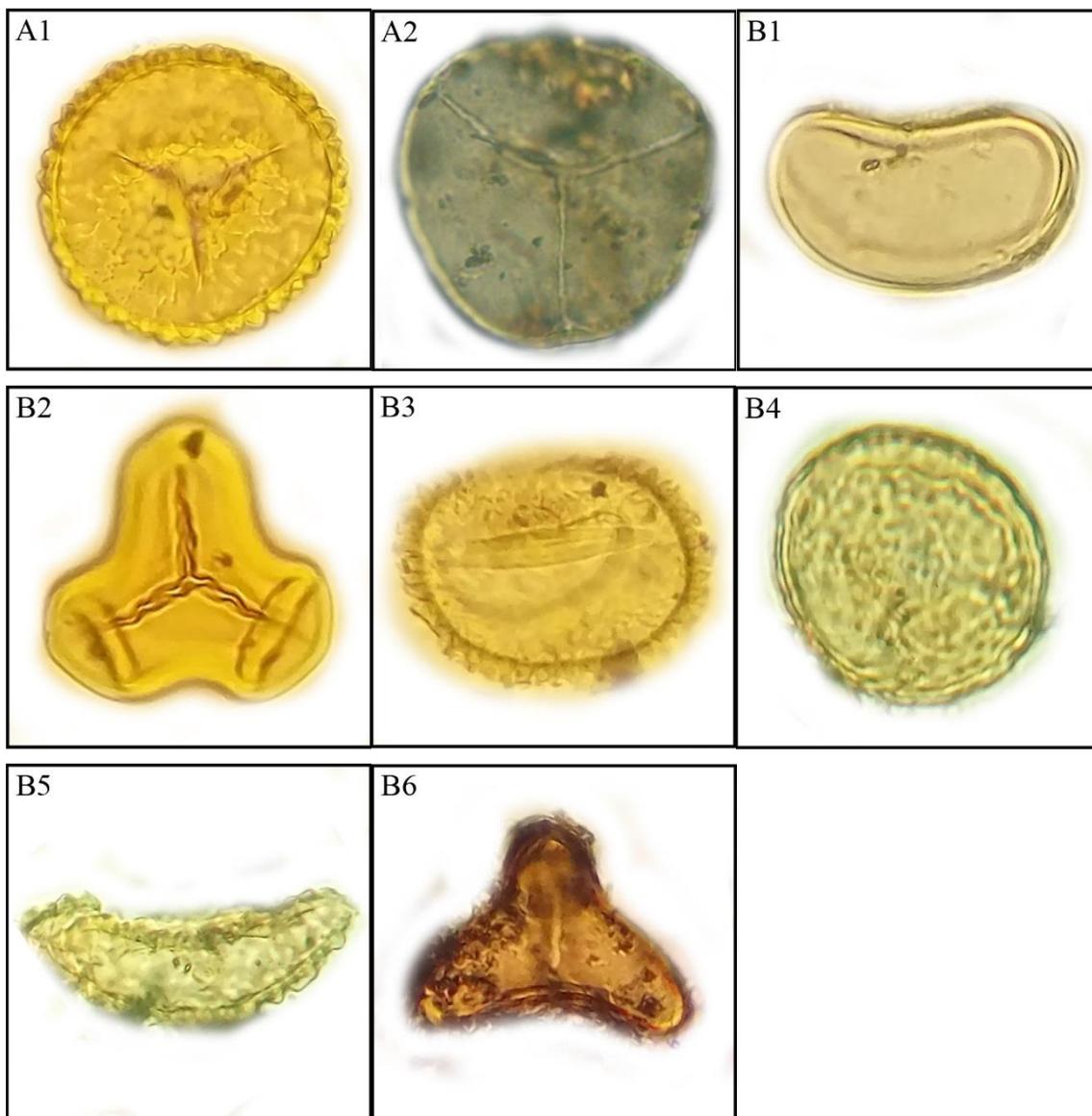
- COE, H. H. G. et al. Exemplos de reconstituições da vegetação e inferências de paleoclimas no estado do Rio de Janeiro através da utilização de biomineralizações de sílica (fitólitos) e isótopos de carbono. **Revista Tamoios**, v. 9, n. 1, p. 86-106, 2013.
- EVALDT, A. C. P. et al. Registros polínicos para o Holoceno tardio da região da Campanha (Rio Grande do Sul, Brasil) e seu significado na história dos paleoambientes da Savana Estépica Parque. **Revista brasileira de paleontologia**, v. 17, n. 2, p. 183-194, 2014.
- EVALDT, A. C. P.; BAUERMAN, S. G.; SOUZA, P. A. Descrições morfológicas de palinómorfs holocênicos de um fragmento da Savana Estépica Parque em Barra do Quaraí, Rio Grande do Sul, Brazil. **Pesquisas em Geociências**, v. 40, n. 3, p. 209-232, 2013.
- FAEGRI, K.; IVERSEN, L. **Textbook of pollen analysis**. 4. ed. New York: John Wiley, 1975, 486 p.
- GIBBARD, P. L.; HEAD, M. J. The newly-ratified definition of the Quaternary System/Period and redefinition of the Pleistocene Series/Epoch, and comparison of proposals advanced prior to formal ratification. **Episodes**, v. 33, p. 152-158, 2010.
- KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.
- LEAL, M. G.; LORSCHREITTE, M. L. Pólen, esporos e demais palinómorfs de sedimentos holocênicos de uma floresta paludosa, Encosta Inferior do Nordeste, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, v. 61, n. 1, p. 13-47, 2006.
- MACEDO, R. B.; SOUZA, P. A.; BAUERMAN, S. G. Catálogo de pólenes, esporos e demais palinómorfs em sedimentos holocênicos de Santo Antônio da Patrulha, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, v. 64, n. 2, p. 43-78, 2009.
- MACHADO, F. P. **Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia, 1950, 91 p.
- MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas Climático: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio; Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), 2011. 185 p.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. 2015. **Pampa**: conhecimentos e descobertas sobre um bioma brasileiro. Disponível em: www.mma.gov.br/biomas/pampa. Acesso em: 10 de janeiro de 2019.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 1961, 42 p.
- MOSIMANN, J. E. Statistical methods for the pollen analyst: multinomial and negative multinomial techniques. In: KUMMEL, B.; RAUP, D. M. (ed.). **Handbook of Paleontological techniques**. London: W. H. Freeman and Company, 1965.

- PINTO, L. F. S. et al. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A. S.; PAULETTO, E. A. (Org.). **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 11-36, 1999.
- RADAESKI, J. N. et al. Diversidade de grãos de pólen e esporos dos Campos do sul do Brasil: descrições morfológicas e implicações paleoecológicas. **Iheringia**, v. 69, n. 1, p. 107-132, 2014.
- RADAESKI, J. N.; EVALDT, A. C. P.; BAUERMANN, S. G. Morfologia polínica de espécies da família Asteraceae Martinov nos cerros da Campanha do Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, v. 71, n. 3, p. 357-366, 2016.
- REDE DE CATÁLOGOS POLÍNICOS ONLINE – RCPOL. **Chave de identificação das espécies**. disponível em: <http://chaves.rcpol.org.br/>. Acesso em: 22 de abril de 2018.
- REDIN, C. G. **Relação solo-vegetação em ecótono campo-floresta no Bioma Pampa**. 2017. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2017.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Contribuição à Palinologia dos Cerrados**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1973. 291 p.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Crítérios e técnicas para o Quaternário**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. 387 p.
- SILVEIRA, V.; ROBAINA, L.; TRENTIN, R. Definição das áreas de perigo de inundação do rio Vacacaí no município de São Gabriel, RS. **GeoTextos**, v. 10, n. 2, p. 99-118, 2014.
- STOCKMARR, J. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. **Pollen et Spores**, v. 13, n. 4, p. 615-621, 1974.
- STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008, 222 p.
- SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010, 408 p.
- VERDUM, R. Paisagem do Pampa: monotonia que se rompe no espaço e no tempo. In: CHOMENKO, L.; BENCKE, C. A. (Org.). **Nosso Pampa desconhecido**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. cap. 3, p. 44-59.
- YBERT, J. P. et al. Sugestões para padronização da metodologia empregada em estudos palinológicos do Quaternário. **Revista IG**, v. 13, n. 2, p. 47-49, 1992.

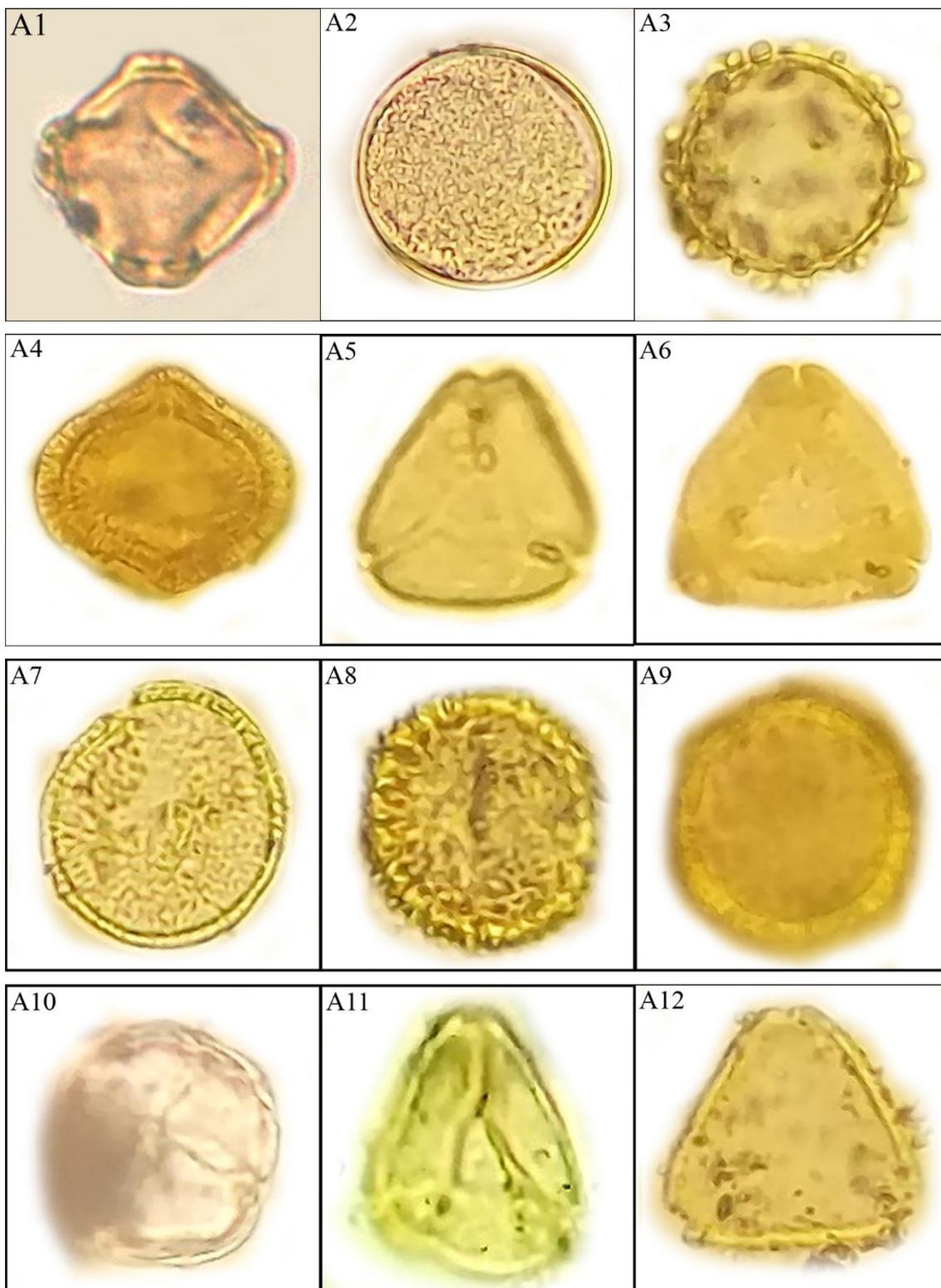
APÊNDICE A - PALINOMORFOS FUNGOS E ALGAS. (A) Fungos. (A1) Corpo de frutificação de fungo; (A2) *Gelasinospora* Cain.; (A3) *Glomus* Tul. & C.Tul.; (A4) Hifas de fungo; (A5) *Tetraplophaeria tetraploa* (Scheuer) Kaz. Tanaka e K. Hairayma; (A6-A11) Palinomorfos não identificados. (B) Algas. (B1) *Pseudoschizaea rubina* Rossignol ex Christopher; (B2) *Zignema* C. A. Agardh.



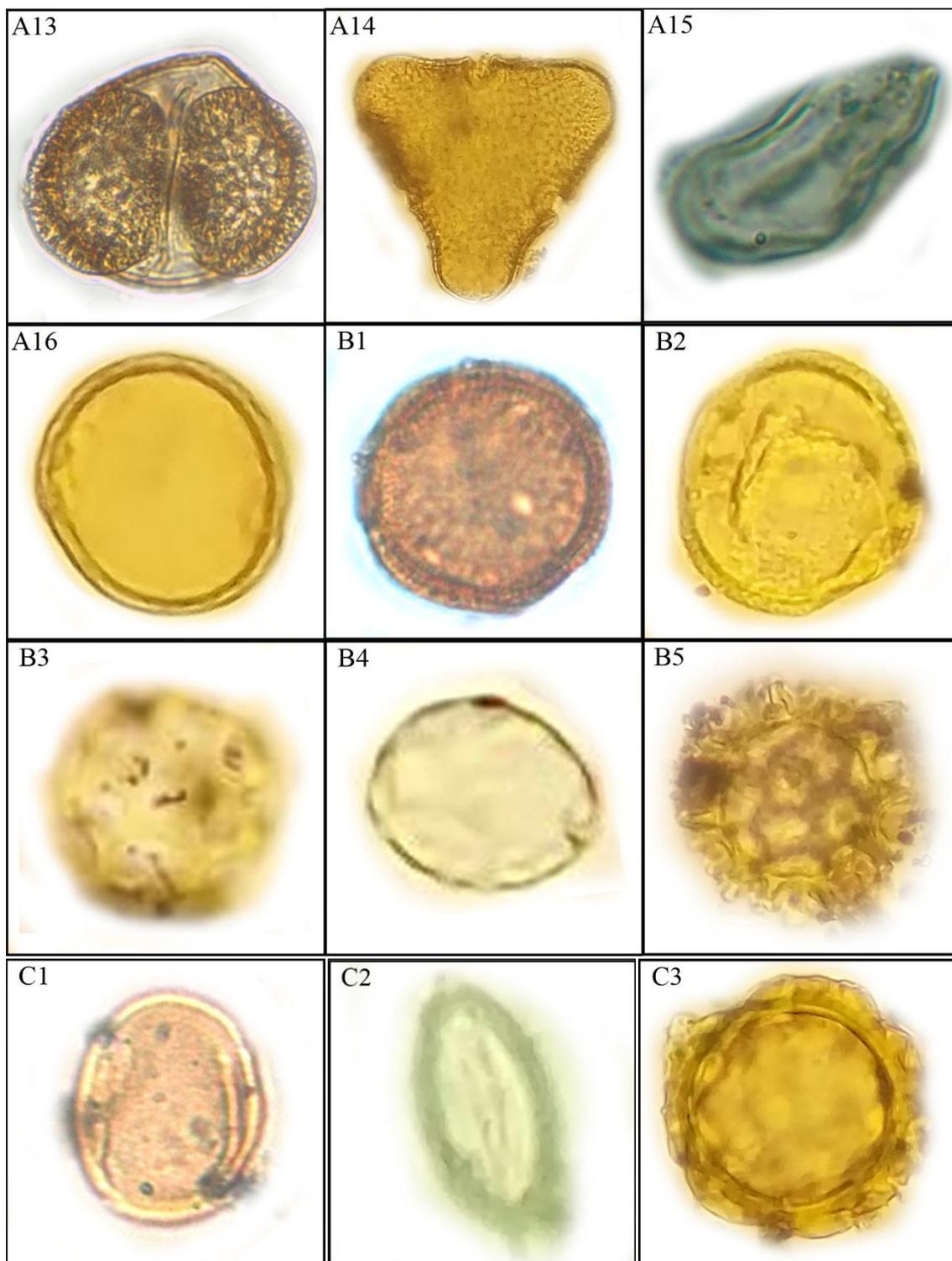
APÊNDICE B - PALINOMORFOS BRIÓFITOS E PTERIDÓFITOS. (A) Briófitos. (A1) Esporo indeterminado; (A2) *Phaeoceros laevis* (L.) Prosk. (B) Pteridófitos. (B1) *Blechnum* L.; (B2) *Cyatheaceae* Kaulf.; (B3) Esporo monolet; (B4) Esporo trilet; (B5) *Microgramma vaciinifolia* (Langsd. & Fisch.) Copel.; (B6) Esporo indeterminado



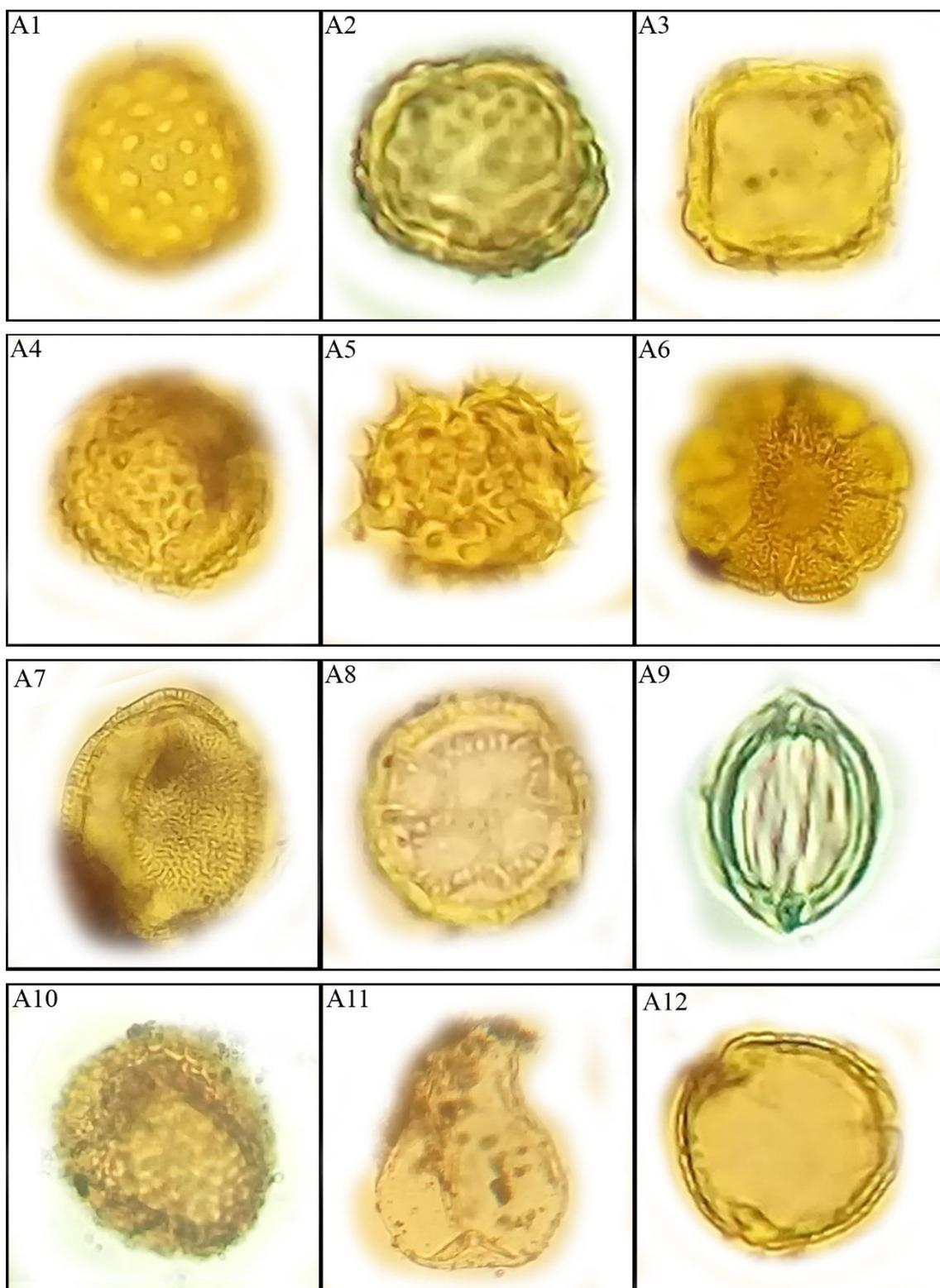
APÊNDICE C – GRÃOS DE PÓLEN DA FORMAÇÃO FLORESTAL. (A) Árvores.
 (A1) *Allophyllus* L.; (A2) *Annona* L.; (A3) *Bauhinia* L.; (A4)
Chrysophyllum L.; (A5) *Eugenia* L.; (A6) *Eucalyptus* L.; (A7)
 Fabaceae Lindl.; (A8) Lauraceae Juss.; (A9) Malvaceae Juss.; (A10)
Mimosa L.; (A11) *Myrrhinium* cf. *atropurpureum* Schott; (A12)
 Myrtaceae Juss.



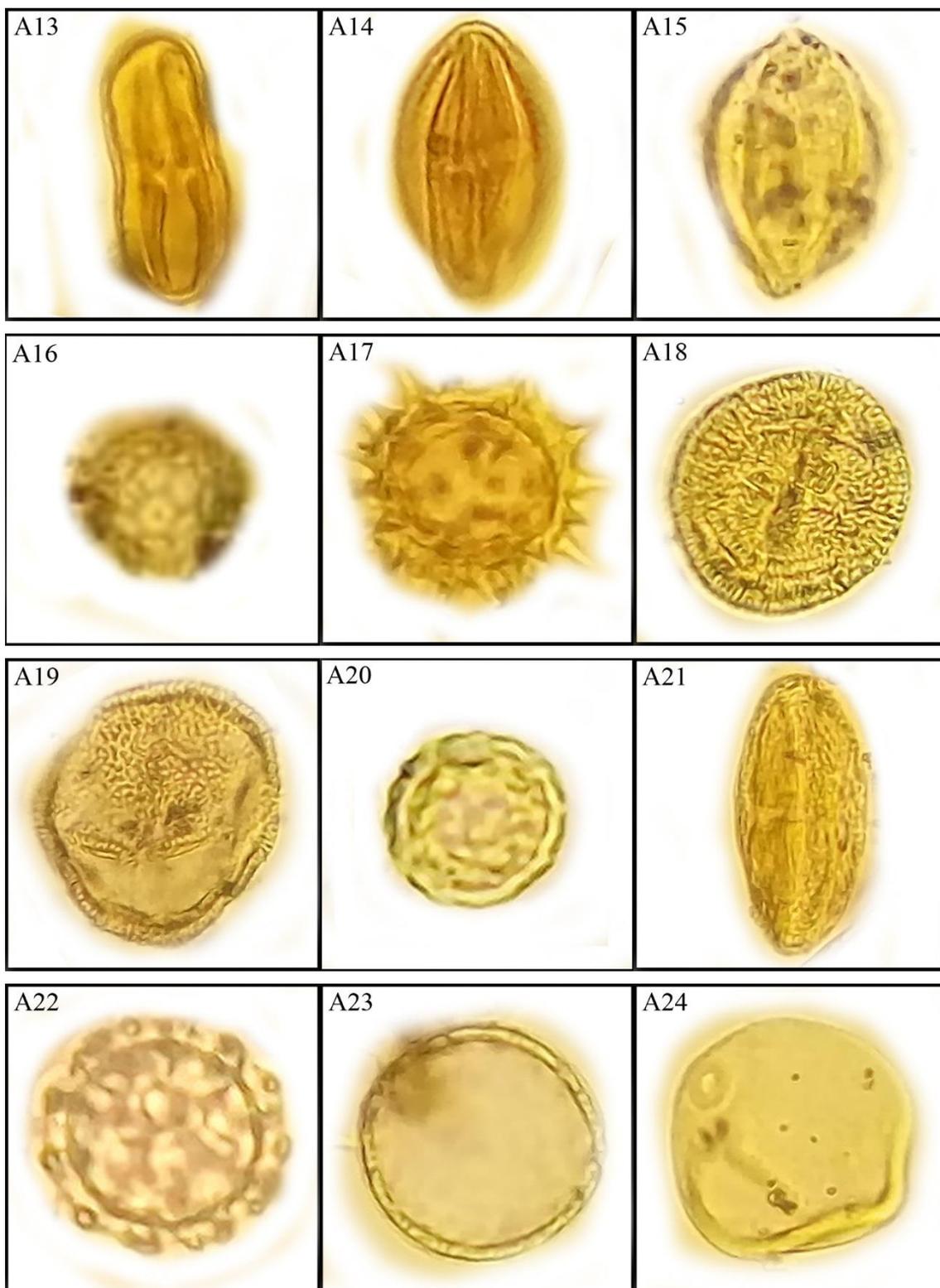
APÊNDICE C – GRÃOS DE PÓLEN DA FORMAÇÃO FLORESTAL. (A) Árvores. (A13) *Pinus* L.; (A14) *Pseudobombax* Dugand; (A15) *Syagrus* Mart. (A16) *Trema micrantha* (L.) Blume. (B) Arbustos. (B1) *Daphnopsis* Mart.; (B2) *Heimia myrtifolia* Cham. & Schltl.; (B3) *Opuntia* Mill.; (B4) *Piper* L.; (B5) *Vernonia* Schreb. (C) Lianas. (C1) *Dioscorea* L.; (C2) *Ephedra* Tourn. ex L.; (C3) *Janusia guaranitica* (A.St.-Hil.) A. Juss.



APÊNDICE D – GRÃOS DE PÓLEN DA FORMAÇÃO CAMPESTRE. (A1) *Amaranthus* L.; (A2) tipo *Ambrosia* L.; (A3) *Alnus* L.; (A4) Asteraceae Bercht. & J. Presl; (A5) tipo *Baccharis* L.; (A6) *Borreria* G. Mey.; (A7) Bromeliaceae A. Juss.; (A8) *Cerastium glomeratum* Thuill.; (A9) *Chuphea* P. Browne; (A10) Cucurbitaceae A. Juss.; (A11) Cyperaceae Juss.; (A12) *Desmodium adscendens* (Sw.) DC.



APÊNDICE D – GRÃOS DE PÓLEN DA FORMAÇÃO CAMPESTRE. (A13) *Eryngium* L.; (A14) *Euphorbia* L.; (A15) Euphorbiaceae Juss.; (A16) *Gomphrena celosioides* Mart.; (A17) tipo *Helianthus* L.; (A18) *Hyptis* Jacq.; (A19) *Oxalis* cf. *brasiliensis* Lodd.; (A20) *Peperomia* Ruiz & Pav.; (A21) *Petunia* Juss.; (A22) *Pfaffia tuberosa* (Spreng.) Hicken; (A23) *Plantago tomentosa* Lam.; (A24) Poaceae Barnhart.



APÊNDICE D – GRÃOS DE PÓLEN DA FORMAÇÃO CAMPESTRE. (A25) *Polygala brasiliensis* L.; (A26) *Polygonum* L.; (A27) tipo *Pterocaulon* Ell.; (A28) Rubiaceae Juss.; (A29) *Sagittaria* L.; (A30) *Scutellaria* L.; (A31) *Sida rhombifolia* L.; (A32) *Tradescantia* L. emend. M.Pell.; (A33) *Tripodanthus* (Eichler) Tiegh.; (A34) *Waltheria communis* A.St.-Hil.; (A35) *Zornia* J. F. Gmel.

