



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EVOLUÇÃO CRUSTAL  
E RECURSOS NATURAIS**

Área de concentração: Geologia Ambiental e Recursos Naturais

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Nº 418

**O HOLOCENO TARDIO NO PANTANAL DO PANDEIROS:  
PALEOECOLOGIA DE UMA ÁREA ÚMIDA EM MEIO AO  
SEMIÁRIDO DE MINAS GERAIS.**

por

Mestranda: Shirley Maria Lima Sabino

Orientadora: Eneida Eskinazi Sant'anna

Coorientadora I: Raquel Franco Cassino

Coorientadora II: Makenia Oliveira Soares Gomes

Ouro Preto, Dezembro, 2020



**O HOLOCENO TARDIO NO PANTANAL DO PANDEIROS:  
PALEOECOLOGIA DE UMA ÁREA ÚMIDA EM MEIO AO  
SEMIÁRIDO DE MINAS GERAIS.**

---





## **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

*Reitora*

Prof. Dra. Cláudia Aparecida Marlière de Lima

*Vice-Reitor*

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

*Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação*

Prof. Sérgio Francisco de Aquino

### **ESCOLA DE MINAS**

*Diretor*

Prof. Dr. Issamu Endo

*Vice-Diretor*

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

### **DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

*Chefe*

Prof. Me. Edison Tazava



## EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS

**CONTRIBUIÇÕES ÀS CIÊNCIAS DA TERRA – VOL. 79**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Nº 418**

**O HOLOCENO TARDIO NO PANTANAL DO PANDEIROS:  
PALEOECOLOGIA DE UMA ÁREA ÚMIDA EM MEIO AO  
SEMIÁRIDO DE MINAS GERAIS.**

**Shirley Maria Lima Sabino**

*Orientador*

Prof. Dra. Eneida Maria Sant'Anna Eskinazi

*Co-orientadora I*

Prof. Dra. Raquel Franco Cassino

*Co-orientadora II*

Prof. Dra. Makenia Oliveira Soares Gomes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciência Naturais, Área de Concentração: Geologia Ambiental e Conservação de Recursos Naturais, Linha de Pesquisa: Paleoecologia, Paleoambiente e Paleoclima.

**OURO PRETO**

**2020**

---

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>  
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>  
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>  
Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais  
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita  
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais  
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606 e-mail: [pgrad@degeo.ufop.br](mailto:pgrad@degeo.ufop.br)

Os direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Depósito Legal na Biblioteca

Nacional Edição 1<sup>a</sup>

Catálogo elaborado pelo Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN –  
Universidade Federal de Ouro Preto

S116o Sabino, Shirley Maria Lima.

O holoceno tardio no Pantanal do Pandeiros [manuscrito]:  
paleoecologia de uma área úmida em meio ao semiárido de Minas  
Gerais. / Shirley Maria Lima Sabino. - 2020.

145 f.: il.: color., gráf., tab., mapa. (Série: M)

Orientadora: Profa. Dra. Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna.

Coorientadores: Profa. Dra. Makenia Oliveira Soares Gomes, Profa.  
Dra. Raquel Franco Cassino.

Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Ouro  
Preto. Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em  
Evolução Crustal e Recursos Naturais.

Área de Concentração: Geologia Ambiental e Conservação de  
Recursos Naturais – Garn.

1. Paleontologia. 2. Cerrado. 3. Pólen. 4. Pântanos. I. Cassino, Raquel  
Franco. II. Gomes, Makenia Oliveira Soares. III. Sant'Anna, Eneida Maria  
Eskinazi. IV. Universidade Federal de Ouro Preto. V. Título.

CDU:551(815.1).

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues = CRB6/2526

<http://www.sisbin.ufop.br>





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Shirley Maria Lima Sabino**

O Holoceno tardio no Pantanal do Pandeiros: paleoecologia de uma área úmida em meio ao semiárido de Minas Gerais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

Aprovada em 17 de dezembro de 2020.

Membros da banca

Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro - Presidente da banca (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Profa. Dra. Raquel Franco Cassino - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Profa. Dra. Ingrid Horak Terra - (Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri)

A Prof. Dr<sup>a</sup> Eneida Maria Eskinazi Sant Anna, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 21/02/2020.



Documento assinado eletronicamente por **Glaucia Nascimento Queiroga, COORDENADOR DO PROGRAMA ALFA**, em 26/02/2021, às 13:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0137911** e o código CRC **4F319D8B**.

## Dedicatória

---

Dedico essa dissertação aos que são fontes de inspiração e força para minha caminhada

Aos meus amados e queridos pais, Maria Helena e Adilson;

Aos meus amados irmãos, Douglas, Israel, Shirlene e Sheyla;

Ao meu amado tio Carlos Henrique (*in memoriam*);

Aos meus amados Zé e Alex.

## Agradecimentos

---

A Deus por me guiar em projetos que nem eu mesma poderia sonhar para mim;

Aos meus pais, Adilson e Maria Helena, pelos cuidados e sacrifícios feitos por mim e meus irmãos;

Ao meu tio Carlos Henrique (*in memoriam*), por sempre ter me incentivado a lutar pelos meus sonhos, por mais inalcançáveis eles que possam parecer;

À toda minha família pelo apoio e suporte;

Aos meus amigos de jornada;

A todos os meus colegas de UFOP e UFMG que tanto contribuíram para minha evolução durante esta fase de minha vida;

Às minhas coorientadoras Raquel Cassino e Makenia Gomes por toda ajuda, conselhos e contribuições para a execução deste trabalho, sem vocês este trabalho não teria sido possível;

À professora Cristina Augustin, por me permitir participar do projeto “Sustentabilidade da bacia do rio Pandeiros-MG: *Projeto: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros* (FAPEMIG: CRA-APQ-03773-14) *Sub-Grupo 1a - Dinâmica das vertentes da bacia do rio Pandeiros*”;

À minha orientadora Eneida Eskinazi por aceitar minha orientação;

À CAPES e à FAPEMIG por fomentarem esta pesquisa.



*“Mestre não é quem sempre ensina, mas quem de repente aprende.”*  
*(Guimarães Rosa, Grande Sertão: Veredas).*

## Resumo

---

A bacia do rio Pandeiros representa uma importante área de conservação da flora e fauna do bioma Cerrado na região do médio rio São Francisco, sendo o Pantanal do Pandeiros (como é conhecida a área pantanosa a jusante do rio) um local de refúgio para 70% da ictiofauna do médio São Francisco durante a piracema. Além da sua importância para a fauna aquática, a bacia do rio Pandeiros também atua como corredor ecológico entre o parque Estadual Veredas do Peruaçu e a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Veredas do Acarí. Apesar dos diversos estudos sobre a dinâmica fitofisionômica da bacia durante o tempo presente, estudos que abordem tal dinâmica em períodos pretéritos ainda não tinham sido desenvolvidos até então. Este trabalho apresenta um registro paleoecológico de alta resolução para o Holoceno tardio (4.2000 a cal AP) no Brasil Central, a partir da análise de um testemunho sedimentar de 150 cm de profundidade, coletado em uma vereda do Pantanal do Pandeiros, o maior pântano do estado de Minas Gerais. Este pântano é um ecossistema de alta biodiversidade inserido em uma região de clima semiárido do Cerrado, uma savana neotropical, e apresenta importância fundamental para o equilíbrio ecológico e hidrológico no Brasil Central. A reconstituição paleoambiental do Pantanal do Pandeiros, foi feita com base em análises de pólen e sedimentos (Granulometria e estimativa de matéria orgânica pelo processo de Perda por Queima). Os resultados demonstraram que o Holoceno tardio no Brasil Central apresentou uma tendência geral de diminuição da cobertura arbórea, onde o registro mais abundante de florestas ocorreu entre 3.600 e 3.100 anos cal AP (Antes do Presente). Quanto ao clima regional, foi possível observar que o mesmo passou por oscilações entre condições mais úmidas e mais secas que a presente, durante o Holoceno tardio, com ocorrência de um evento seco marcante por volta de 2.900 anos cal AP e condições úmidas mais significativas entre aproximadamente 4.100 e 3.100 anos cal AP, e entre 2.600 e 1.000 anos cal AP. Entretanto, as alterações ocorridas nas estruturas vegetais da bacia nem sempre foram uma resposta à variabilidade da umidade, implicando que outros fatores determinantes, como, por exemplo, o fogo e as atividades antrópicas, afetaram a cobertura arbórea das savanas do Brasil Central.

Palavras-chave: Cerrado, Pólen, Holoceno tardio, Vereda

## Abstract

---

The Pandeiros River basin represents an important area of flora and fauna conservation of the *Cerrado* biome in the middle São Francisco River region. The Pandeiros Wetland is where 70% of the ichthyofauna of the middle São Francisco seeks as a breeding site during its reproduction period. In addition to its importance for aquatic fauna, the Pandeiros River basin also acts as an ecological corridor between the *Veredas do Peruaçu* State Park and the Sustainable Development Reserve *Veredas do Acari*. Despite several studies on the phytophysionomic dynamics on the Pandeiros River basin during the present time, studies addressing this dynamic in previous periods have not yet been developed. Thus, this study presents a high-resolution paleoecological record of the Late Holocene (4.200 a ac BP) in Central Brazil based on the analysis of a sediment core (150 cm Depth) collected in the largest wetland of Minas Gerais State, the Pandeiros wetland. This wetland is a high biodiversity ecosystem located within a semi-arid region of the *Cerrado*, a Neotropical savanna, and presents a key importance for ecological and hydrological balance in Central Brazil. The paleoenvironmental history of the wetland was reconstructed based on pollen and sedimentological analyses (grain-size and loss-on-ignition). The results show that Late Holocene in Central Brazil presents a general trend of decrease in arboreal cover, with most abundant occurrence of forest between 3,600 and 3,100 cal yr BP. The data shows that the wetland climate has oscillated between wetter and dryer-than-present conditions during Late Holocene; a particularly dry event occurred around 2,900 cal yr BP and the more significant wetter conditions were documented between 4,100 and 3,100 cal yr BP and from 2,600 to 1,000 cal yr BP. Nonetheless, the changes on the vegetation structure were not always a response to moisture variability implying that other drivers, such as fire and human activities, affected the arboreal cover of the savannas of Central Brazil.

Keywords: *Cerrado*, Pollen, Late Holocene, Vereda

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

---

<b>Figura 1.1-</b> Localização do Pantanal do Pandeiros .....	5
<b>Figura 2.1-</b> Mapa de representação geológica da bacia do rio Pandeiros .....	8
<b>Figura 2.2-</b> Mapa de Elevação e Malha Hidrográfica da APA Pandeiros.....	10
<b>Figura 2.3-</b> Solos arenosos que compõem a bacia do rio Pandeiros .....	11
<b>Figura 2.4-</b> Mapa de composição vegetal da bacia do rio Pandeiros.....	15
<b>Figura 2.5-</b> Fitofisionomia de vereda no Pantanal do Pandeiros .....	16
<b>Figura 2.6-</b> Veredas do Pantanal do Pandeiros em processo de colonização pela vegetação circundante .....	17
<b>Figura 2.7-</b> Macrófitas em áreas úmidas do Pantanal do Pandeiros. ....	18
<b>Figura 3.1-</b> Local de amostragem no Pantanal do Pandeiros .....	20
<b>Figura 3.2-</b> Produtos do sedimento preparado com a metodologia tradicional para a produção de lâminas polínicas. ....	22
<b>Figura 3.3-</b> Lâminas comparativas entre métodos de preparação de lâminas.....	23
<b>Figura 3.4-</b> Processo de granulometria por dispersão total. ....	24
<b>Figura 3.5-</b> Modelo de idades mostrando a curva de idades calibradas, o modelo esquemático do testemunho a percolação da matéria orgânica dentro da parte arenosa do testemunho .....	28
<b>Figura 4.1-</b> Modelo esquemático das fitofisionomias do Cerrado, de acordo com o modelo de Ribeiro e Walter (2008).....	31
<b>Figura 4.2-</b> Imagem adaptada de Ribeiro e Walter (2008).....	33
<b>Figura 5.1-</b> Location of the study area. ....	43
<b>Figura 5.2-</b> Schematic representation of the Pandeiros palm swamp core, with indication of sediment composition, radiocarbon and calibrated ages, and position of samples analyzed for pollen....	47
<b>Figura 5.3-</b> Pollen percentage diagram of the Pandeiros palm swamp plotted against ages, showing the frequency of Wetland/Vereda, Grassland and Several Environments groups .....	52
<b>Figura 5.4-</b> Pollen percentage diagram of the Pandeiros palm swamp plotted against ages, showing the frequency of Cerrado s.s., Cerrado+Forest, Cerrado Woodland/Dry Forest, Forest and Spores groups. ....	53
<b>Figura 5.5-</b> Summary diagram for the Pandeiros palm swamp record presenting curves of sediment and organic matter variability, pollen groups frequencies and total pollen concentration. ....	54
<b>Figura 5.6-</b> Schematic representation of the Palm Swamp Pandeiros through the Late Holocene, showing the vegetation changes and local water availability. ....	61
<b>Figure 6.1-</b> Location and physiographic aspects of the study area.....	67
<b>Figura 6.2-</b> Age-depth models for Pandeiros and Catolé cores. ....	70

**Figura 6.3-** Summary pollen diagram for the Pandeiros record and charcoal influx diagram for the Catolé core..... 71

**Figura 6.4-** Comparison of the charcoal and pollen records of the Catolé and Pandeiros palm swamps with paleoclimatic data from speleothem records. .... 74

**Figura 6.5-** a) PC1 scores representing relative variations in arboreal pollen at Pandeiros, São José and Pires during the last 4,500 years, compared to a dataset of surface samples representative of different degrees of arboreal cover. b) Charcoal influx for Catolé, São José and Pires. c) Paleoclimatic data:  $\delta^{18}O$  record of the Lapa Grande speleothem (Stríkis *et al.*, 2011), Sr/Ca record of the Botuverá speleothem (Bernal *et al.*, 2016), and April insolation variation at 15°S (data from Laskar *et al.*, 2004). .... 76

**Figura 6.6-** Pollen percentage diagram of the Pandeiros palm swamp plotted against ages, showing the frequency of “Trees”, “Herbs”, “Aquatic and swamp taxa”, and “Others”. .... 81

**Figura 6.7-** Principal components analysis (PCA), comparing the vegetation cover variability at the Pandeiros, São José and Pires palm swamps and the superficial samples found by Cassino *et al* 2015. .... 84





## Sumário

---

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xii</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. INTRODUÇÃO.....	1
1.2. OBJETIVO .....	3
1.2.1. Objetivo geral.....	3
1.2.2. Objetivo específicos .....	3
1.2.3. Hipótese.....	4
1.3. ÁREA DE ESTUDOS .....	4
<b>CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA</b> .....	<b>7</b>
2.1. GEOLOGIA .....	7
2.2. GEOMORFOLOGIA .....	8
2.3. HIDROGRAFIA.....	10
2.4. SOLO.....	11
2.5. CLIMA .....	12
2.6. BIODIVERSIDADE .....	14
<b>CAPÍTULO 3. MATERIAII E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
3.1. COLETAS DE AMOSTRAS .....	20
3.2. COLETA E ARMAZENAMENTO DO TESTEMUNHO .....	21
3.3. PREPARAÇÃO PALINOLÓGICA .....	21
3.4. GRANULOMETRIA .....	23
3.4.1. Ressalva ao Método de Granulometria .....	25
3.5. ESTIMAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA POR PERDA POR IGNIÇÃO (LOSS-ON-IGNITION- L.O.I).....	26
3.6. CARBONO 14 ( <sup>14</sup> C).....	27
3.6.1. Análise de Radiocarbono das Amostras.....	27
<b>CAPÍTULO 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>30</b>
4.1. O CERRADO E SUA ESTRUTURA VEGETAL.....	30
4.2. A AÇÃO DO FOGO SOBRE AS FITOFISIONOMIAS DO CERRADO .....	32

4.3. VEREDAS .....	32
4.4. PALEOECOLOGIA DO CERRADO.....	34
4.4.1. Paleoclima do Cerrado.....	35
4.4.2. Paleovegetação do Cerrado.....	36
<b>CAPÍTULO 5. LATE HOLOCENE IN CENTRAL BRAZIL: VEGETATION CHANGES AND HUMIDITY VARIABILITY IN A TROPICAL WETLAND. ....</b>	<b>38</b>
5.1. INTRODUCTION .....	39
5.2. STUDY AREA .....	40
5.3. MATERIAL AND METHODS .....	44
5.3.1. Field work and laboratory methods .....	44
5.3.2. Data analysis and presentation.....	45
5.4. RESULTS .....	46
5.4.1. Core sedimentology and chronology .....	46
5.4.2. Pollen analysis .....	46
5.5. DISCUSSION .....	55
5.5.1. Paleocological interpretation of the Pandeiros palm swamp record .....	55
5.6. COMPARISON WITH OTHER PALEO-ECOLOGICAL RECORDS .....	59
5.7. CONCLUSIONS .....	62
<b>CAPÍTULO 6. CLIMATE, FIRE AND HUMAN INFLUENCE ON THE VEGETATION OF A TROPICAL WETLAND IN THE CERRADO (CENTRAL BRAZIL) DURING LATE HOLOCENE .....</b>	<b>64</b>
5.1. INTRODUCTION .....	64
5.2. STUDY AREA .....	65
6.3. MATERIAL AND METHODS .....	68
6.3.1. Core collection and dating.....	68
6.3.2. Pollen and charcoal analysis.....	68
6.3.3. Comparison with other paleoecological data.....	69
6.4. RESULTS .....	70
6.4.1. Vegetation, fire and water dynamics at the Pandeiros wetland .....	70
6.4.2. Comparison with other sites .....	74
6.5. DISCUSSION .....	77
6.6. CONCLUSIONS.....	80
6.7. SUPPLEMENTARY MATERIALS .....	81
<b>CAPÍTULO 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>106</b>



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1- INTRODUÇÃO

O Cerrado, segundo maior bioma do Brasil, é uma savana Neotropical de grande importância ecológica e econômica a nível nacional e internacional. Considerado a savana mais rica em biodiversidade do mundo, o Cerrado é denominado como um *hotspot* mundial, além de abrigar as nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul, sendo elas a Tocantins, São Francisco e Prata, apresentando grande potencial hídrico (Ministério do Meio Ambiente, 2020). Com um ecossistema heterogêneo composto por diversas fitofisionomias (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão, Cerrado *sensu strictu*, Veredas e Campos), as características da vegetação do Cerrado podem ser consideradas como o resultado da interação de diversos fatores de controle tais como topografia, clima e características edáficas, além da frequência de fogos (Behling 1995; Henriques 2005; Miranda e Sato, 2005; Oliveira e Marquis, 2008).

O Cerrado tem como clima característico o tropical sazonal, com verões úmidos que concentram a maior parte das chuvas anuais, e invernos secos que têm uma duração de quatro a seis meses (Henriques 2005; Oliveira e Marquis, 2002). Sendo assim, esse bioma possui uma formação vegetal que inclui desde espécies formadoras de Mata úmida (Mata de Galeria e vegetação ripária) e Mata seca (Cerradão), até as fitofisionomias mais adaptadas ao solo mais seco, como o Cerrado *sensu strictu* (Cerrado s. s.) e as formações de Campo Sujo e Campo Limpo (Henriques, 2005). Cada uma dessas fitofisionomias terá sua melhor adaptação diante das combinações dos fatores de controle ambiental, sendo que as condições edáficas (disponibilidade de nutrientes e umidade do solo), clima e frequência de fogos, são os determinantes mais importantes nas suas dinâmicas.

Assim, diversos estudos têm focado no entendimento dos determinantes ambientais que controlam a coexistência das fitofisionomias desse bioma (Ribeiro & Walter, 2008; Miranda e Sato, 2005; Henriques, 2005; Bastos e Ferreira, 2010; Oliveira & Marquis, 2002) na idade moderna. Não obstante, o desenvolvimento das fitofisionomias durante períodos pretéritos também vem sendo estudado (Ledru, 1993; Behling, 1995; Salgado-Labouriau *et al.*, 1997; Parizzi *et al.* 1998; Barberi *et al.*, 2000; Cassino e Meyer, 2013; Cassino *et al.*, 2018; Horák-Terra *et al.*, 2020; De Oliveira *et al.*, 2020), contribuindo para o entendimento mais amplo da evolução do Cerrado ao longo do tempo, e de suas expansões e retrações. Porém, mais pesquisas abrangendo o papel das mudanças ambientais do Quaternário tardio sobre esta dinâmica ainda se fazem necessárias para que os conhecimentos sobre o comportamento fitofisionômico do Cerrado durante os últimos milênios seja refinado (Behling, 1995). Dessa forma, é fundamental realizar ações investigativas a despeito das mudanças que ocorreram na

estrutura e composição da vegetação e que estejam ligadas às variações na distribuição e sazonalidade das chuvas durante esse período.

No que se diz respeito aos fatores de formação da umidade que atua sobre certas áreas do Cerrado, as chuvas ocorridas na região do norte de Minas Gerais são respostas à dinâmica do Sistema de Monções da América do Sul (SMAS) (Stríkis, 2011). Vários autores (Ledru, 1992; Salgado-Labouriau, 2007; Adams *et al.*, 1999; Cassino, 2014; Horák-Terra *et al.*, 2015) relataram que durante o Holoceno houveram oscilações climáticas em escalas globais, regionais e locais, podendo o mesmo ser visto para a região norte do estado Minas Gerais. Estudos polínicos mostram que na região norte de Minas Gerais houve um momento de seca a partir de 5000 anos AP e seguido pela expansão do Cerrado (Salgado-Labouriau 2007). As oscilações climáticas ocorridas durante o Holoceno influenciaram as dinâmicas de sucessões da cobertura vegetal (Ledru 1993; Suguio 1999; Salgado-Labouriau 2007; Lorente 2010; Souza 2010; Cassino 2014; Horák-Terra *et al.*, 2015), conseqüentemente, influenciando a espacialidade da distribuição das fitofisionomias dentro do bioma Cerrado. Todavia, ainda há uma lacuna de informações sobre a dinâmica e periodicidade dessas espacialidades da savana brasileira diante dessas oscilações.

Ao oferecer uma rica fonte de dados para estudos paleoambientais, a palinologia, disciplina que estuda os palinomorfos (grãos de pólen, esporos de pteridófitas, zigósporos de algas, entre outros), se mostra uma importante ferramenta para o estudo histórico da evolução da vegetação (Salgado-Labouriau 1994; Lorente 2010). Os estudos da palinologia se baseiam, entre outros critérios, na análise morfológica dos grãos de pólen e esporos, e as possíveis fitofisionomias a eles ligadas. Essa análise parte do princípio de que cada espécie vegetal produz grãos polínicos ou esporos que possuem características intrínsecas (Salgado-Labouriau 2007). A palinologia do Quaternário, que se baseia nos estudos de registros palinológicos fósseis dos últimos 2,6 milhões de anos, considera o fato de que as espécies vegetais existentes nesse período geológico são basicamente as mesmas existentes no tempo moderno (Salgado-Labouriau 1994; Lorente 2010; Cassino 2014). Sendo assim, a identificação morfológica dos grãos de pólen ou esporos, e suas fitofisionomias correspondentes em um registro sedimentar, permite a reconstituição da distribuição dos conjuntos vegetais pretéritos ao longo do tempo.

Assim sendo, estudos paleoclimáticos realizados a partir da palinologia, se apoiam em identificar as assembleias polínicas existentes nos sedimentos quaternários, buscando compreender a cobertura vegetal pretérita e assim discorrer sobre as possibilidades climáticas que teriam sido necessárias para permitir o desenvolvimento dessa vegetação (Salgado-Laboriau 2007; Lorente 2010; Cassino 2014). Em resumo, o clima, correspondente ao desenvolvimento de uma determinada fitofisionomia detectada pela análise polínica, seria a principal chave para reconstituir um determinado paleoambiente e permitiria explicar muitos dos processos fundamentais e desencadeadores da evolução

da paisagem pretérita.

Em relação a composição do bioma Cerrado no norte de Minas Gerais, a Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Pandeiros desenvolve um papel importante na conservação e manutenção do bioma nessa região. Em meio ao Polígono da Seca, entre as peculiaridades ecológicas apresentadas pela APA, à jusante da bacia hidrográfica do rio Pandeiros, encontra-se o Refúgio da Vida Silvestre do rio Pandeiros (Decreto 43.910 de 05/11/2004), que corresponde a uma área pantanosa composta por lagoas permanentes e temporárias, veredas, meandros abandonados e campos úmidos. Esta área pantanosa, também conhecida como Pantanal do Pandeiros, tem importância para a manutenção da biodiversidade não só do Cerrado da região, mas também de todo o médio rio São Francisco, além de agir como barreira natural, colaborando para a retenção de sedimentos que chegam ao canal do rio São Francisco.

Sendo áreas de grande biodiversidade e importância ambiental, a APA Pandeiros e o Pantanal do Pandeiros veem sendo estudados do ponto de vista florístico e ecológico (Nunes *et al.*, 2009; Rodrigues *et al.*, 2009; Bahia *et al.*, 2011; Pivari *et al.*, 2013; Dias, 2017), porém, nenhum trabalho paleoambiental focado na história e evolução da vegetação dentro da APA, ou, em especial, do Pantanal do Pandeiros, foi feito até então. Desta forma, este trabalho tem o objetivo de desenvolver a primeiro estudo paleoambiental da dinâmica da vegetação do Pantanal do Pandeiros, a partir da análise polínica e usando como escala temporal o Holoceno tardio\*.

## 1.2- OBJETIVOS

### 1.2.1 – Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo geral reconstituir o paleoambiente e a paleoecologia de uma vereda do Pantanal do Pandeiros utilizando uma análise *multi-proxy*, que tem como principal elemento o estudo palinológico da área de estudo. Assim, busca-se contribuir para o entendimento da influência das mudanças climáticas ocorridas no Holoceno sobre a dinâmica da vegetação da área e sobre a evolução da paisagem até a consolidação do sistema nos dias atuais.

### 1.2.2 – Objetivos Específicos

- Determinar as fitofisionomias componentes da paisagem pretérita em torno da área de estudo, através da análise polínica dos registros sedimentares da Vereda Pandeiros;

---

\* Neste trabalho, o termo “Holoceno tardio” é utilizado para se referir ao Neo-Holoceno ou Idade Meghalayana, pois esse é o termo tradicionalmente usado em trabalhos palinológicos para se referir ao “Late Holocene”.

- Determinar a cronologia das sucessões fitofisionômicas da área, por meio de datação radiocarbônica;
- Discutir os determinantes ambientais desencadeadores das dinâmicas de sucessões fitofisionômicas sobre a Vereda Pandeiros;
- Criar um modelo que indique os cenários paleoambientais durante o Holoceno tardio, baseados nas repostas dadas pelas análises preliminarmente feitas.

### 1.3- HIPÓTESE

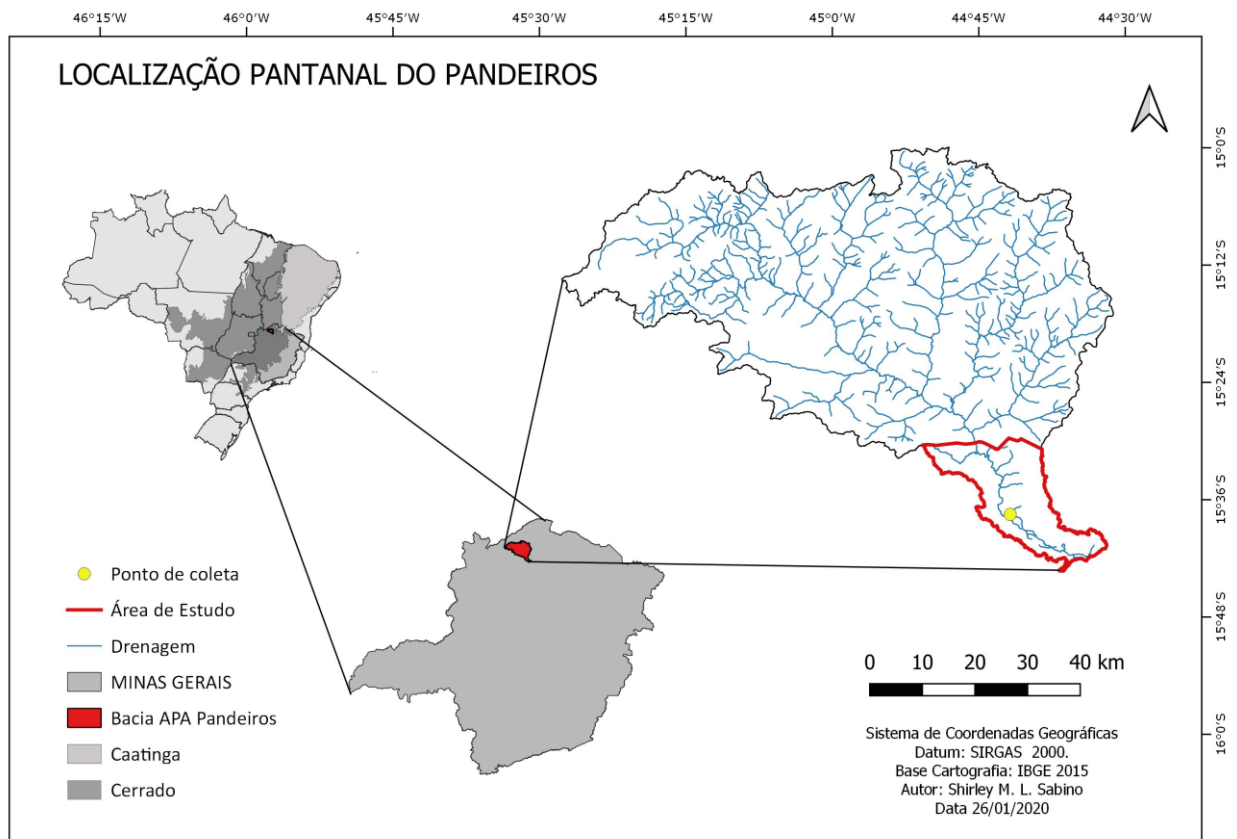
A principal preposição desta pesquisa é a de que as alterações climáticas para as regiões de Cerrado, incluído o norte de Minas, relatados em trabalhos anteriores (Garcia 1994; Salgado-Labouriau et al. 1998; Cassino 2014), também teriam afetado a evolução vegetal na região da bacia do rio Pandeiros, incluindo o Pantanal do Pandeiros.

Assim, a hipótese trabalhada aqui é de que a vegetação do Pantanal do Pandeiros e do seu entorno sofreu modificações ao longo do Holoceno no que diz respeito aos tipos de fitofisionomias predominantes, à composição florística e ao tipo de vegetação aquática, respondendo às mudanças climáticas, e particularmente, a oscilações na quantidade de precipitação ao longo dos últimos milênios-

### 1.4- ÁREA DE ESTUDOS

Inserida na região conhecida como Polígono da Seca (Nunes *et al.* 2009), a bacia hidrográfica do rio Pandeiros (BHRP) está localizada na região do norte de Minas Gerais (Figura 1), entre os municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho, entre as coordenadas 15° 0' 00" S até 15° 43' 00" S e 44° 30' 00" O até 45° 28' 00" O. O rio Pandeiros é um dos afluentes da margem esquerda do médio São Francisco (Jacomine, 1979), e possui características de biodiversidade intrínseca e geomorfologia peculiar, constituindo-se um ecossistema único, tornado essa bacia hidrográfica uma área de grande importância ecológica para o Cerrado no norte do estado de Minas Gerais (Bethônico 2009; Nunes *et al.* 2009; Dias, 2017) e até mesmo para o rio São Francisco (Bethônico 2009). Assim, diante de seu interesse ecológico, em 1995 o perímetro que compreende toda a extensão da BHRP, com uma área de 400.000 hectares, foi declarado como Área de Proteção Ambiental (APA Pandeiros), pela lei estadual nº 11.901/1995.





**Figura 1.1:** Localização do Pantanal do Pandeiros

A jusante da bacia, encontra-se uma área pantanosa denominada de Pântano do Pandeiros, ou Pantanal do Pandeiros, ou ainda Pantanal Mineiro, correspondendo aos limites do Refúgio da Vida Silvestre do rio Pandeiro e onde se localizam as terras com as cotas altimétricas mais baixas da BHRP, estando estas entre 432m e 442 m, mesma altitude onde se encontra o nível de base local, formado pelo canal do rio São Francisco (Oliveira *et al.*, 2017). De acordo com Rodrigues *et al.* (2009), durante a estação chuvosa, o Pântano do Pandeiros se encontra em situação de inundação permanente, chegando a abranger uma área de até 5.000 hectares e sendo considerada também como área da planície de inundação do rio São Francisco (Oliveira *et al.* 2017). As feições geomorfológicas observadas no Pântano do rio Pandeiros incluem lagoas perenes e temporárias, meandros abandonados, canais fluviais e veredas.

Possuindo uma dinâmica própria para a vegetação que o constitui (formações de Cerrado, Mata ciliar, Campos, Campos Úmidos e Veredas), é nessa área pantanosa onde, durante a piracema, 70% da população de peixes na região do médio São Francisco se reproduzem (Betônico, 2009; Nunes *et al* 2009), garantindo a manutenção de sua ictiofauna.

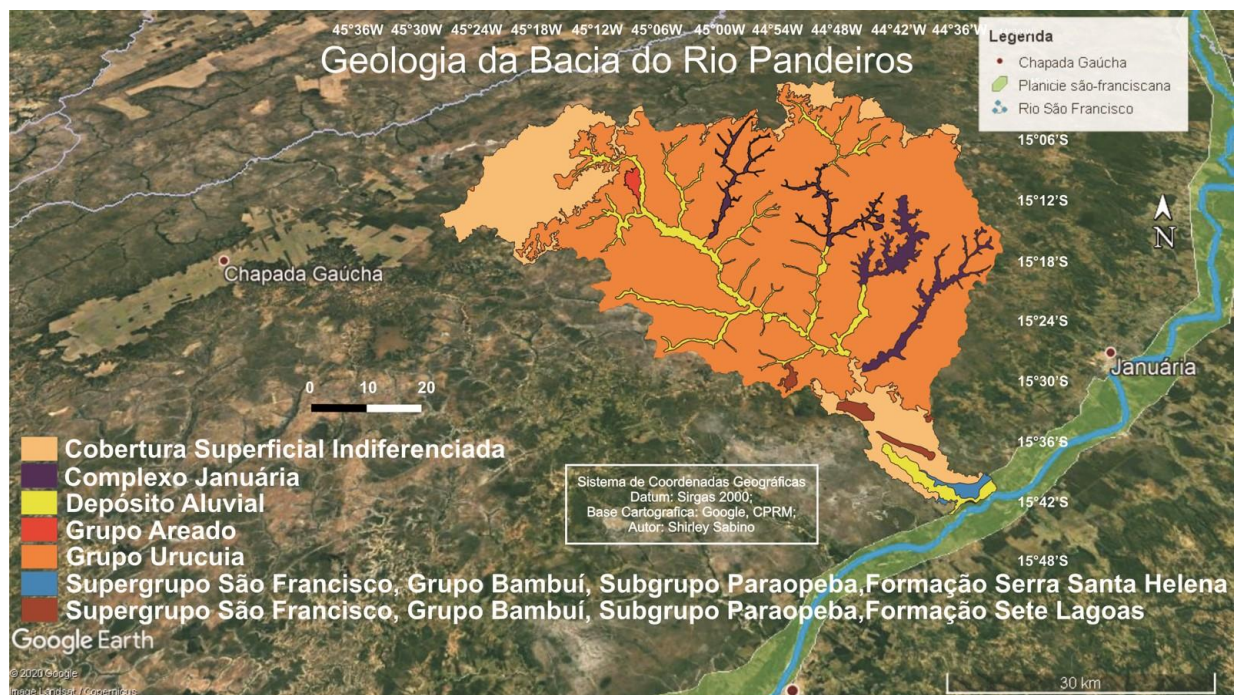


## CAPÍTULO 2

### CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA.

#### 2.1 - GEOLOGIA

A bacia hidrográfica do rio Pandeiros está inserida na porção central do Cráton São Francisco (CSF), fragmento do supercontinente Gondwana, gerado pela amalgamação de blocos continentais em múltiplas e sucessivas colisões que ocorreram no Arqueano e Paleoproterozoico (Cordani *et al.*, 2000). As rochas pertencentes ao embasamento do CSF na região fazem parte do Complexo Januária (CJ) e estão expostas ao longo de drenagens (Figura 2.1). O CJ é composto por gnaisses e granitoides, os quais constituem o núcleo cratônico com idades mais antigas que 1,8 Ga. O CJ funciona como um alto estrutural, formado por estruturas do tipo horst e graben determinadas por falhas normais de direção EW e N40-50W, com intrusões de rochas básicas e ultrabásicas encaixadas, que controlaram toda sedimentação do Grupo Bambuí na região (Paulsen *et al.*, 1974; Costa, 1978; Iglesias, 2007).



**Figura 2.1:** Mapa de representação geológica da bacia do rio Pandeiros, sobreposto em imagem do Google Earth demonstrando seu contexto regional, com a Chapada Gaúcha a noroeste, o rio São Francisco e sua planície de inundação ao sul da bacia.

Sobreposto ao CJ, encontram-se coberturas neoproterozóicas (Grupo Bambuí) sendo presentes a Formação Lagoa do Jacaré (calcário e siltito) e o Supergrupo Paraopeba (arcóseo, argilito, calcarenito, dolomito, folhelho, marga, ritmito e siltito). A Formação Lagoa do Jacaré é composta por calcários cinza escuro, em estratos paralelos e com presença de estratificação cruzada acanalada. O Supergrupo Paraopeba é formado pelas formações Sete Lagoas e Santa Helena, que são sequências pelítico-

carbonáticas (Chimpliganond, 2013).

Na região da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros, sobre o Grupo Bambuí encontram-se rochas do Grupo Urucuia (Cretáceo), que nesta região se caracteriza pela presença de siltitos e folhelhos cinza-esverdeados e avermelhados (Jacombine *et al.*, 1979) e de arenitos quartzosos, avermelhados e brancos, de granulação fina a média, com grãos arredondados, bem selecionados, matriz argilosa e com estratificação cruzada e leitos intercalados. Rochas do Grupo Areado (Cretáceo) também ocorrem na área, em proporção menor que o Grupo Urucuia, e têm sua litologia principal constituída por arenitos de matriz siltica, com intercalações de argilitos, siltitos e conglomerado (Jacombine *et al.*, 1979).

Depósitos cenozoicos referentes ao Paleógeno/Neógeno são comuns, e, conforme Oliveira *et al.*, (2017), trata-se de sedimentos inconsolidados compostos por cascalhos, argilas e siltes associados a planícies de inundação e coberturas detrito-lateríticas. Para Jacombine *et al.* (1979), o Holoceno é representado prioritariamente por sedimentos recentes, aluvionares distribuídos ao longo dos rios, além de depósitos orgânicos.

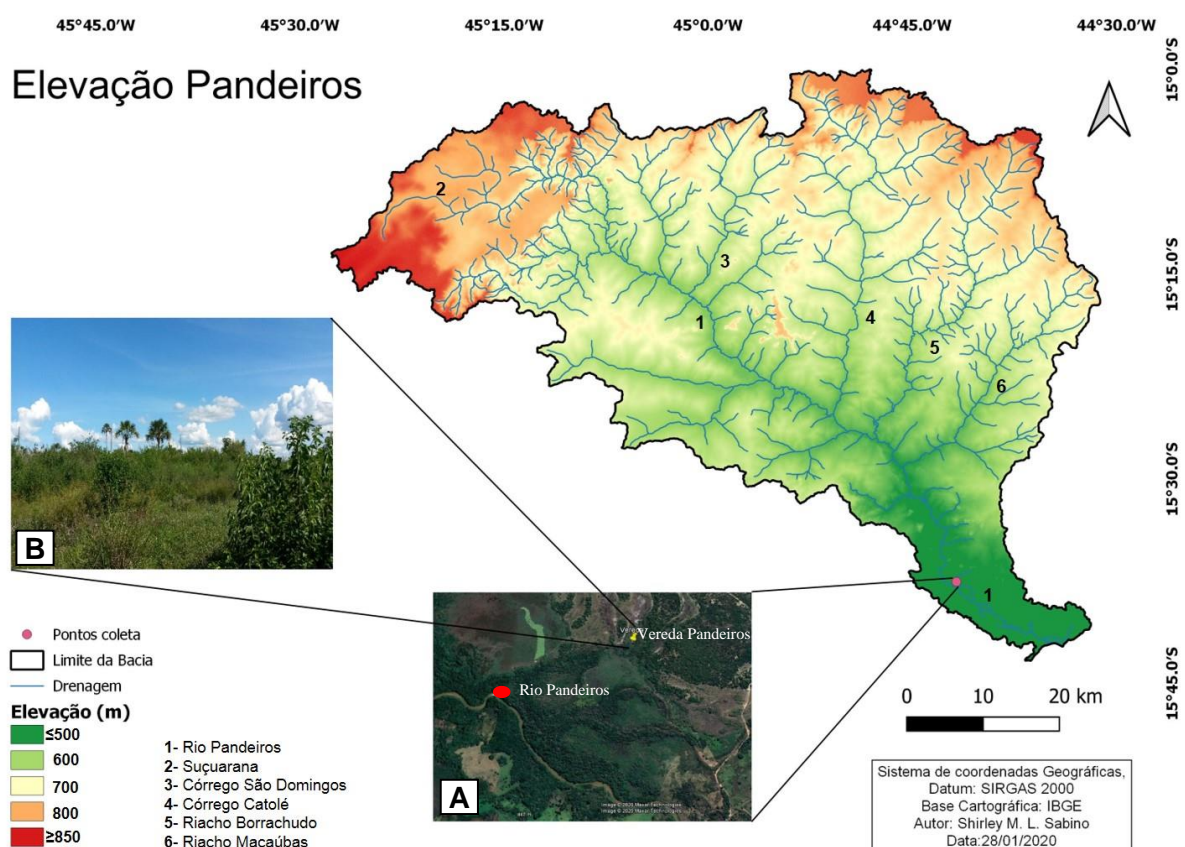
## 2.2 - GEOMORFOLOGIA

A bacia hidrográfica do rio Pandeiros está inserida na Depressão São Franciscana e nos Planaltos do São Francisco, fazendo fronteira a sudoeste com o planalto da Chapada Gaúcha, a 870 m de altitude. As terras mais altas da bacia se encontram ao seu norte podendo chegar a uma altimetria maior que 900 m, enquanto suas terras mais baixas se encontram a jusante, em sua região pantanosa (Pantanal do Pandeiros) a 446 m, próximo à foz do rio São Francisco (432 m), onde este último também desempenha sobre a bacia o papel de nível de base local (Oliveira *et al.*, 2019) (FIG. 2.1). A formação de suas superfícies geomorfológicas é o resultado de um grande ciclo de erosão, ocorrido durante o Cenozoico, que remobilizou rochas do Grupo Urucuia (Cretáceo) e da Formação Santa Helena (Neoproterozoico), resultando na exposição das camadas calcárias do Grupo Bambuí.

No relevo atual, próximo à foz do rio Pandeiros ocorre uma superfície suave alongada onde predominam as rochas sedimentares oriundas da Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí) (Lima *et al.* 2019; Bethonico, 2009) e que vai se elevando em direção a oeste, onde os calcários do Grupo Bambuí cedem espaço para as chapadas de forma tabular, que se desenvolvem sobre os planaltos formados sobre os arenitos dos grupos Areado e Urucuia, que se encontram diretamente depositados sobre o Grupo Bambuí (Silva, 2018; Bethonico, 2009; Jacombine *et al.* 1979) (FIG. 2.1). Nas zonas de cabeceira da bacia, o rompimento da camada protetora formada pelo Grupo Urucuia induz uma aceleração da erosão (Lima *et al.* 2019). O excesso de material sedimentar erodido, assim como o que se desprende das margens do rio, são depositados no leito da área pantanosa, no baixo curso do Rio Pandeiros (o “Pantanal do Pandeiros”) (Silva, 2018). O Pantanal do Pandeiros, sendo uma área de baixa energia com vertentes muito planas, sem orientação bem definida e muito baixa declividade, permite o

acúmulo de materiais. Esta condição também favorece a dinâmica de inundações que ocorrem na foz do rio Pandeiros com o rio São Francisco, inundações estas que ocorrem anualmente nas vertentes abaixo de 455 m de altitude, e somente diante de eventos extremos nas vertentes de maior altitude (Oliveira *et al.*, 2019).

Um mapeamento geomorfológico de maior detalhe da bacia do rio Pandeiros permitiu Oliveira *et al.* (2017) diagnosticar seis (6) grandes domínios morfológicos para a bacia: o Domínio 1, localizado no alto da Chapada Gaúcha (FIG. 2.1), com predominância de litologia detrito-arenítica do Grupo Urucua, de vertentes planas, sem orientação predominante, com ambiente de baixa energia e pouca incisão de drenagem; o Domínio 2, influenciado pelos arenitos com maior grau de intemperização e originados dos Grupos Areado e Urucua, com depósitos recentes no fundo de vale, tendo seus afluentes formados em domínios de veredas; o Domínio 3 corresponde à maior área da bacia, onde se encontram os principais afluentes do rio Pandeiros (São Domingos, Catolé e Borrachudo) (FIG. 2.2) e que tem como litologia predominante os arenitos do Grupo Urucua e depósitos aluvionares recentes no fundo dos vales, o Domínio 4, no qual também predominam os arenitos do Grupo Urucua e depósitos aluvionares, mas com a ocorrência de calcários da Formação Lagoa do Jacaré na sua porção sul, e que apresenta rede de drenagem muito comprida e de baixa densidade; o Domínio 5 com vertentes curtas de maior declividade sem direção predominante e os altos valores de declividade da rede de drenagem que quando concentradas, formam uma espécie de barreira na bacia; e por fim, o Domínio 6, que é representado pelo Pantanal do Padeiros, com litologia representada pelas coberturas detrito-lateríticas, depósitos aluvionares recentes e antigos e calcários da Formação Paraopeba, suas vertentes são muito planas, sem orientação predominante e declividade muito baixa.



**Figura 2.2:** Mapa de Elevação e Malha Hidrográfica da APA Pandeiros: A) Localização da Vereda Pandeiros em relação ao rio Pandeiros. B) Atual cobertura superficial da Vereda Pandeiros

### 2.3 - HIDROGRAFIA

Com cotas altimétricas que variam entre 850 m nas cabeceiras e 446 m na área do Pantanal do Pandeiros (Silva, 2018; Oliveira 2017) (FIG.2.2), o rio Pandeiros, com extensão de 145km, nasce no córrego Suçuarana, região noroeste da bacia, na vertente direita da Serra do Gibão, correndo no sentido sudeste, em direção ao rio São Francisco (Silva, 2018; Dias 2017; Bethonico, 2009) (FIG. 2.2), sendo seu canal concretado ao norte, enquanto apresenta um sistema muito disperso ao sul (Oliveira *et al.*2019).

Em seu percurso, o rio ganha volume ao ser alimentado pelos rios Pindaibal I, Pindaibal II, São Pedro, Alegre e Mandins pela sua margem esquerda e pela margem direita pelos rios Catolé, Borrachudo, Macaúbas e São Domingos, além de diversos córregos intermitentes. Seus afluentes de maior extensão são os rios Catolé, Suçuarana, Borrachudo e Macaúbas (Dias, 2017; Bethonico, 2009). No que se restringe à área do Pantanal do Pandeiros, praticamente todos seus afluentes estão localizados em sua margem esquerda, com exceção do rio Mandim, e todos eles se caracterizam como temporários, com canais de drenagem que tendem a ser afetados pelas condições da circulação

subterrânea (Oliveira *et al.*, 2019). As veredas têm vital importância para a manutenção da bacia do rio Pandeiros, uma vez que abrigam as nascentes de alguns de seus principais afluentes, ou agem como fornecedores para outros afluentes compositores de sua rede hidrográfica (Neves, 2011).

## 2.4 - SOLO

A bacia hidrográfica é essencialmente composta por solos arenosos (Quadro 2.1 e FIG. 2.3), em especial Neossolos Quartzarênicos, segundo o Sistema Brasileiro de Classificações de Solos (SiBCS - Santos *et al.*, 2018), apresentando características tais como pouca agregação, profundos e com drenagem elevada (Nunes 2009). Entretanto, Dias (2017) identificou também na APA Pandeiros as seguintes classes de solos: Cambissolos, Gleissolos Hápicos, Latossolos Vermelho-Amarelo, Latossolos Vermelho-escuro, Argissolos Vermelho-Amarelo, Neossolo Flúvico e Neossolo



**Figura 2.3:** Solos arenosos que compõem a bacia do rio Pandeiros, ao fundo a Lagoa do Jacaré, na área do Pantanal do Pandeiros.

Litólicos. Os solos da bacia são em geral secos, distróficos, Álicos, com pouca matéria orgânica nas áreas mais a montante da bacia, enquanto na área mais a jusante, se encontram os solos mais férteis e úmidos, presentes principalmente nas áreas de veredas (Almeida, 2016; Nunes 2009).

**Quadro 2.1:** Solos predominante na bacia hidrográfica do Pandeiros, adaptado de Bethonico (2009), de acordo com SiBCS (2008).

Área da Bacia	Classes de Solos	Relevo e Vegetação Associados
Alto Pandeiros	Rio Latossolo vermelhos-amarelo	Relevo plano e suave ondulado, Cerrado Denso, Floresta Semidecídua, Cerrado Típico.
	Litólicos ou Neossolos Litólicos	Relevo suave ondulado e com forte ondulação, camada de rocha sob o solo superficial.
	Areias Quartzozas Hidromórficas ou Neossolos Quartzarênicos (Órticos ou Hidromórficos)*	Cerrado Típico e Floresta Semidecídua Relevo Plano e suave ondulado. Floresta Semidecídua
	Grey pouco Húmico ou Grey Húmico	Relevo plano. Campo de várzea, Cerrado Típico e Vereda.
Médio Pandeiros	Rio Grey pouco Húmico ou Grey Húmico, Areias Quartzozas Hidromórficas ou Neossolos Quartzarênicos (Órticos ou Hidromórficos)*	Relevo Plano. Campo de Várzea com Vereda, Cerrado Típico e Cerrado Denso.
	Cambissolo	Relevo suave ondulado e forte ondulado. Cerrado Típico.
	Areias Quartzozas Hidromórficas ou Neossolos Quartzarênicos (Órticos ou Hidromórficos)*. Latossolos vermelho-amarelo	Relevo Plano e suave ondulado. Cerrado Típico.
	Solos Aluviais ou Neossolos Flúvicos	Relevo Plano. Campo de Várzea, Cerrado Denso e Veredas.
Baixo Pandeiros	Rio Cambissolo	Relevo Suave ondulado e ondulado. Cerrado Típico e Cerrado Ralo.
	Latossolo Vermelho-Amarelo	Relevo Suave Ondulado. Cerrado Típico.
	Areias Quartzozas Hidromórficas ou Neossolos Quartzarênicos (Órticos ou Hidromórficos)*	Relevo suave Ondulado. Cerrado Típico e Cerrado Ralo.
	Solos Aluviais ou Neossolos Flúvicos	Relevo Plano. Campo de Várzeas e Floresta Decídua.

## 2.5 - CLIMA

Em seu estudo sobre a dinâmica das chuvas, entre 2008 e 2017, na região da bacia do rio Pandeiros, Jardim (2018) ressalta que a bacia se encontra em uma área de transição climática, entre o regime tropical semiúmido e tropical semiárido. Pela classificação de Köppen o clima da bacia é o Aw,



tropical semiúmido com duas estações bem definidas, a estação seca e a úmida. O inverno, seco, dura aproximadamente 4 a 5 meses, enquanto o verão é úmido e a precipitação anual fica em média entre 900 mm e 1.250 mm (Nunes *et al.* 2009), com uma distribuição local de chuvas mais concentrada nas áreas do chapadão a oeste, montante da bacia (Jardim & Moura, 2018). Especificamente para a área do Pantanal do Pandeiros a precipitação anual é em média de 850 mm (Jardim & Moura, 2018). A amplitude térmica anual da bacia fica entre 9°C e 45°C (Nunes *et al.* 2009), com média anual de 26°C, sendo o período entre outubro e janeiro o mais quente do ano.

As dinâmicas das massas de ar são os principais agentes na gênese das chuvas sobre a região, podendo estas serem também afetadas por fenômenos de macroescala como o El Niño, La Niña, a atividade solar e as oscilações das máximas e mínimas temperaturas do Oceano Pacífico, regulando as condições de precipitação sobre a bacia (Jardim, 2018). Segundo Jacomine (1979), as massas de ar atuantes sobre a região em que se encontra a bacia do rio Pandeiros são a Massa Equatorial Continental (mEc), quente e úmida; a Massa Tropical Atlântica (mTa), quente e úmida; e a Massa Polar Atlântica (mPa), fria e seca. O mesmo autor ainda fala que o comportamento dessas três massas de ar é fator crucial para os processos que determinarão a duração dos períodos secos e úmidos em toda a região. Durante seu processo de penetração dentro do território brasileiro a mPa (fria e seca) formará frentes frias ao se chocar com a mTa (quente e úmida) provocando chuvas frontais sobre a região onde se encontram. Já durante seu recuo, em direção ao sul, a mPa também pode causar outros processos de pluviosidade, em especial quando sua movimentação ocorre sobre o oceano Atlântico, dinâmica que causará alterações em suas características físico-químicas, permitindo com que essa massa de ar se apresente com uma característica mais úmida, do que sua fase inicial. O avanço das frentes frias, a formação de linhas de instabilidade e a formação das Zonas de Convergência de Umidade são importantes fatores na produção de chuvas na região de Januária (Moura & Jardim, 2016).

Os ventos alísios de direção nordeste (NE), formadores da Massa Equatorial Norte (mEn), fortalecem a mEc em umidade e garantem o avanço das monções de verão sobre o Norte do Brasil (Nimer, 1989; Jacomine, 1979). Ainda, durante o verão, a mTa, formada pelas correntes de oeste e de sudeste, tem o comportamento de recuo em direção ao oceano e zona litorânea do território brasileiro, e, assim como a mPa, não afeta a região do médio São Francisco nesse período do ano. Essa dinâmica das massas se inverte durante o inverno austral, quando a mEc recua e a mTa avança e alcança seu maior poder de ação sobre o território. Quando a ação da mTa é conjunta com o avanço da mPa, o choque dessas duas massas de ar forma uma condição de instabilidade atmosférica, gerando chuvas sobre a região (Jacomine, 1979). A ação de linhas de instabilidade atmosférica são fatores fundamentais para a gênese das chuvas na região de Januária (Moura & Jardim, 2016). Em associação com os fenômenos zonais, os fenômenos de macro escala (El Niño, La Niña, atividade solar e oscilações de temperatura do oceano Pacífico, oscilações na temperatura superfície do Atlântico) podem intensificar ou reduzir o

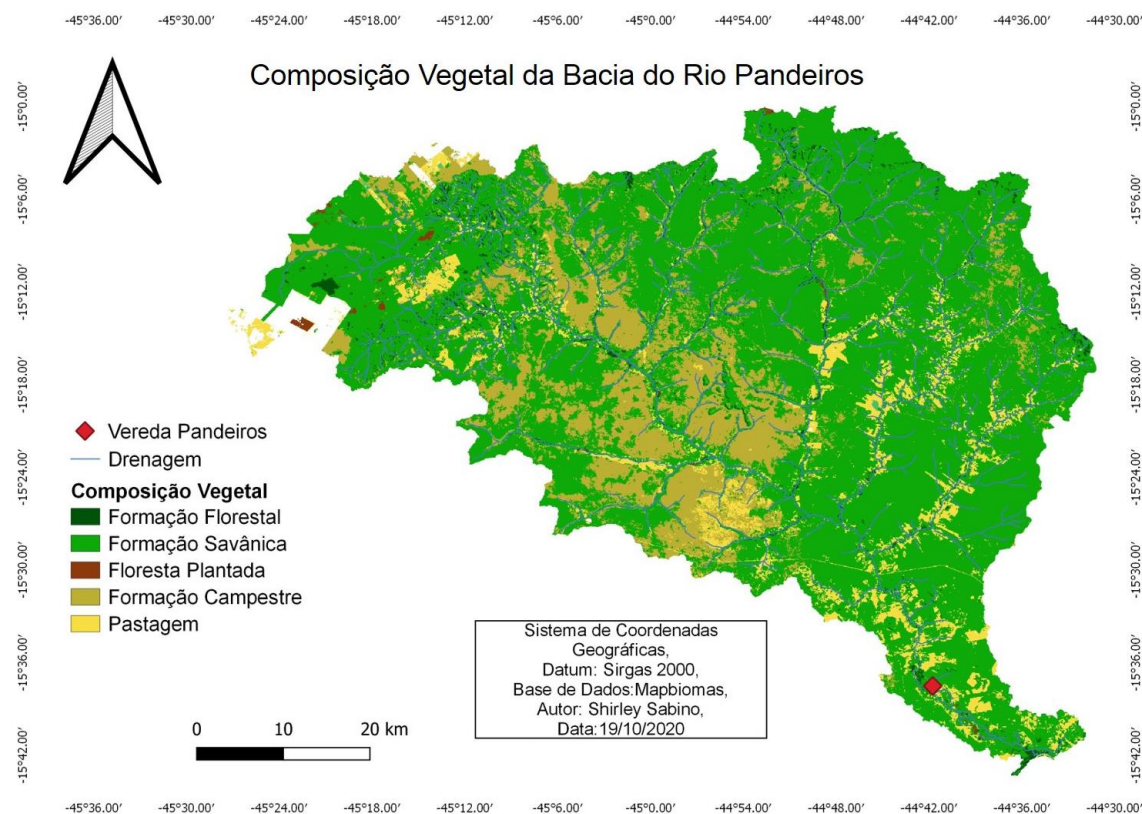
poder de ação das massas de ar, influenciando assim o regime de chuvas na região (Moura & Jardim, 2016; Jardim, 2018).

Apesar da bacia hidrográfica do rio Pandeiros estar a apenas 109 km de distância da Chapada Gaúcha, e, portanto, sob o domínio das mesmas massas de ar, Jardim (2018) mostra que os índices de pluviosidade são maiores na chapada. Dessa forma, o autor aponta que apenas a influência dos eventos atmosféricos não explica a diferença de umidade entre os dois pontos, e a topografia tende a agir como agente local para as diferenças de pluviosidade da região, uma vez que a diferença de altitude entre o Pandeiros e a Chapada Gaúcha permitiriam a formação de chuvas orográficas na região da Chapada Gaúcha.

## 2.6 - BIODIVERSIDADE

A APA Pandeiros é uma Unidade de Conservação (UC) de uso sustentável (Neves, 2011) que faz parte do mosaico de áreas Protegidas Sertão Veredas - Peruaçu (Dias, 2017; Nunes *et al.*, 2009), de grande importância para conservação da biodiversidade no Cerrado do norte de Minas Gerais (Dias, 2017; Bethonico, 2009). Dentro da APA, a jusante da bacia do rio Pandeiros, próximo à foz com o Rio São Francisco, se encontra o maior pântano do estado de Minas Gerais, conhecido como Pantanal do Pandeiros, Pantanal Mineiro ou ainda Pântano do Pandeiros, e que é uma UC de proteção integral (Nunes *et al.*, 2009; Pivari *et al.*, 2013). Devido a suas peculiaridades ecológicas, a APA apresenta conotação de prioridade de conservação e importância biológica para a manutenção de mamíferos, invertebrados, aves, répteis, anfíbios e especialmente para peixes (Nunes *et al.*, 2009).

O Pantanal do Pandeiros, na estação chuvosa, chega a ter uma área alagável de até 5.000 hectares e abriga lagoas marginais que, nos períodos de chuvas, tornam-se criadouros naturais (Nunes *et al.*, 2009). As lagoas marginais ao longo da bacia do rio Pandeiros apresentam ao menos 14 espécies de peixes (Souza, 2016). Essas características tornam essa área pantanosa um local preferencial para a ictiofauna durante a piracema do Médio São Francisco e é considerada berçário para 70% das espécies de peixes dessa região (Nunes *et al.*, 2009). Assim, a correlação entre a cobertura vegetal e manutenção dos recursos hídricos, faz com que a compreensão da dinâmica fitofisionômica da APA (FIG. 2.4), e em especial do Pantanal do Pandeiros, corrobore com os esforços de manutenção de sua biodiversidade, não só da APA Pandeiros como também na manutenção da biodiversidade do médio São Francisco. Dias (2017) mostra que, além do pântano à jusante da bacia, a importância ecológica da APA Pandeiros também abrange sua montante, onde a APA forma corredores ecológicos com o Parque Estadual Veredas do Peruaçu situado no município de Cônego Marinho, e com a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Veredas do Acari, no Distrito de Serra das Araras, município de Chapada Gaúcha (FIG. 2.1).



**Figura 2.4:** Mapa de composição vegetal da bacia do rio Pandeiros

Rodrigues *et al.* (2009) apontam que a APA Pandeiros pode ser dividida em três grupos florísticos, sendo esses grupos; o Alto Pandeiros, o Médio Pandeiros e o Baixo Pandeiros, o qual inclui seu pântano. Devido a sua posição em área de transição entre os biomas Cerrado e Caatinga, a APA Pandeiros apresenta um conjunto de fitofisionomias (Mata Ciliar, Cerrado, Mata Seca e Veredas) que adotam formações peculiares, incluindo espécies atualmente incluídas nas listas de espécies em extinção do estado de Minas Gerais e da flora brasileira. Entre estas se encontram *Myracrodruon urundeuva* (Anacardiaceae), *Schinopsis brasiliensis* (Anacardiaceae), *Pilocarpus trachylophus* (Rutaceae), *Maytenus rigida* (Celastraceae), *Pterodon emarginatus* (Fabaceae), além do *Astronium fraxinifolium* (Anacardiaceae) que aparece na lista de “Espécies com Deficiência de Dados da Flora Brasileira” (Nunes *et al.*, 2009). Cada uma das fitofisionomias, componentes do mosaico vegetacional encontrado ao longo da bacia do rio Pandeiros, apresentam características ambientais intrínsecas, com espécies distintas, e que relatam a dinâmica da vegetação nos tempos modernos.

As Matas Ciliares encontradas ao longo da bacia hidrográfica do rio Pandeiros são vegetações florestais que se associam aos cursos de água e às nascentes com uma diversidade botânica abundante, garantindo a manutenção da fauna e flora aquática local (Nunes *et al.*, 2009; Rodrigues *et al.*, 2009). Essa formação vegetal possui grande heterogeneidade ambiental, composta por espécies mistas de

diversas fitofisionomias e que são resultados das interações do solo, topografia e influência da vegetação circundante, garantindo a essa fitofisionomia uma alta diversidade florística (Rodrigues *et al.* 2009; Oliveira Menino, 2009). Entre as espécies que caracterizam as Matas Ciliares de bacia do rio Pandeiros estão espécies da família Fabaceae *Copaifera langsdorffii*, *Hymenaea eriogyne* e *Zygia latifolia*, além das espécies *Hirtella gracilipes* (Chrysobalanaceae) e *Myrciaria floribunda* (Myrtaceae) (Nunes *et al.*, 2009). Rodrigues *et al.* (2009) classificaram Apocynaceae como uma família encontrada em Mata de Galeria, todavia essa família só foi encontrada na região do Balneário do Pandeiros, que fica a jusante da bacia, próximo ao pântano, onde ocorre uma grande riqueza de espécies (Rodrigues *et al.* 2009), resultante do contato com outras fitofisionomias componentes da APA (Oliveira Menino, 2009).

As veredas são outra fitofisionomia marcante na paisagem (FIG. 2.5) e essenciais à APA Pandeiros devido à sua importância no processo de manutenção desta bacia hidrográfica (Neves, 2011). Esta fitofisionomia tende a ocorrer em áreas de exsudação de nível freático (Bethonico, 2009), fazendo com que este solo tenha uma característica mais úmida e, a depender da saturação hídrica do solo, é possível verificar a presença de lâmina d'água. Em planícies de inundação, os pulsos e períodos de inundação têm forte influência hidrológica sobre os ciclos de readaptação da biota local (Junk *et al.*, 1989). Assim, Barbosa (2010) ressalta que a singularidade desse tipo de ambiente permite a existência



**Figura 2.5:** Fitofisionomia de vereda no Pantanal do Pandeiros

de processos químicos e físicos específicos condicionando a existência de uma biota adaptada, logo,

suas peculiaridades garantem à vereda características próprias de formação vegetal (Oliveira Menino, 2009), já que apenas plantas adaptadas serão capazes de se desenvolver em alinhamento às suas características edáficas. Também, há de se considerar que diversas plantas aquáticas germinam apenas em fases em que há presença de solo emerso e úmido, enquanto, há a inibição de germinação diante de períodos de inundação longos, resultando em uma retração representativa de algumas populações características da fitofisionomia (Barbosa, 2010).



**Figura 2.6:** Veredas do Pantanal do Pandeiros em processo de colonização pela vegetação circundante, apresentando também distinção do estrato arbóreo e herbáceo-graminoso.

Ribeiro & Walter (1998) afirmam que nas veredas podem ser encontrados dois tipos de estratos vegetacionais: o herbáceo-graminoso, e o arbustivo-arbóreo, onde o segundo se faz predominante em veredas com estágio de evolução mais avançados. Nos estágios finais de sua evolução, o dossel das veredas se fecha, se assemelhando à fitofisionomia de Mata de Galeria (Carvalho, 1991). Na APA pandeiros, é comum encontrar veredas em fase de transição para Mata de Galeria (Nunes *et al.*, 2009, Bahia, 2011). Entre as espécies vegetais de estrato arbóreo encontradas nas veredas em maior grau de evolução do médio Pandeiros estão *Mauritia flexuosa* (Arecaceae), *Tapirira guianensis* (Anacardiaceae), *Cecropia pachystachya* (Urticaceae) e *Miconia* sp. (Melastomataceae) (Bahia, 2011).

Bahia (2011) demonstra que as veredas da APA Pandeiros que se encontram em maior nível de

desequilíbrio ambiental tendem a sofrer colonização da vegetação circundante (FIG. 2.6). Em especial, a colonização por espécies do Cerrado *sensu stricto* faz com que estas veredas apresentem uma composição florística que destoa daquelas encontradas nesse tipo de fitofisionomia em outras localidades (Bahia, 2011). Apesar de seu trabalho não abranger a composição florística do estrato herbáceo-graminoso, a autora ainda indica que a vegetação de estrato arbustivo tende a predominar nas veredas em maiores condições de perturbação ambiental, sendo comum a presença de *Byrsonima pachyphylla* (Malpighiaceae), *Cecropia pachystachya* (Urticaceae), *Miconia* sp. (Melastomataceae), *Miconia albicans* (Melastomataceae), *Vernonanthura phosphorica* (Asteraceae), *Solanum lycocarpum* (Solanaceae), *Curatella americana* (Dilleniaceae), *Ludwigia elegans* (Onagraceae) e *Ludwigia speciosa* (Onagraceae).

Devido à sua predisposição às inundações, a área do pântano da bacia do rio Pandeiros apresenta a existência considerável de macrófitas que se desenvolvem em seus solos alagados e lagoas perenes e temporárias (FIG. 2.7), sendo as espécies mais comuns *Sagittaria* sp. e *Echinodorus* sp. (Alismataceae), *Gymnocoronis spinosa*, *Erechitites hieraciifolius* e *Pluchea sagittalis* (Asteraceae); *Utricularia gibba* e *Utricularia foliosa* (Lentibulariaceae); *Ludwigia sedoides*, *Ludwigia leptocarpa* e *Ludwigia inclinata* (Onagraceae); e *Cuphea racemosa* (Lythraceae) (Barbosa, 2010; Pivari *et al.*, 2013).



**Figura 2.7:** Macrófitas em áreas úmidas do Pantanal do Pandeiros. A) Cobertura de macrófitas sobre os lagos do Pantanal do Pandeiros. B) Lago do Pantanal do Pandeiros coberto por macrófitas. C) Um exemplar da estrutura de uma das macrófitas encontradas em um dos lagos do Pantanal do Pandeiros, mostrando a parte submersa e, a parte emersa da planta. D) Macrófitas se desenvolvendo às margens das áreas alagadas do Pantanal do Pandeiros.

Quanto às outras fitofisionomias encontradas na APA Pandeiros, Nunes *et al.* (2009) relatam a presença de Mata Seca, representada principalmente pelas espécies *Anadenanthera colubrina* (Fabaceae), *Astronium fraxinifolium* e *Myracrodruon urundeuva* (Anacardiaceae), e *Dilodendron bipinnatum* (Sapindaceae). Os autores também relatam a presença de Cerrado *sensu stricto*, fitofisionomia dominante na paisagem da APA e que tem como principais representantes *Xylopia aromatica* (Annonaceae), *Curatella americana* (Dilleniaceae), *Eugenia dysenterica* e *Magonia pubescens* (Sapindaceae). De forma geral, as famílias de maior representatividade vegetal dentro da APA Pandeiros são Anacardiaceae, Fabaceae, Annonaceae e Clusiaceae (Bahia, 2010) e as espécies *Astronium fraxinifolium*, *Byrsonima pachyphylla* e *Curatella americana* são encontradas ao longo de toda a APA Pandeiros (Rodrigues *et al.* 2009). No que se refere à interação pluviosidade-vegetação da APA Pandeiros, Silva (2018) mostra, através de análises de sensoriamento remoto, que a vegetação da bacia do rio Pandeiros tem uma resposta positiva, quanto ao desenvolvimento da vegetação em anos com influência do fenômeno La Niña, fenômeno que tem como resultado característico o aumento dos índices de precipitação no norte e nordeste do Brasil, e o fenômeno contrário sendo visto para os anos de ação do El Niño.

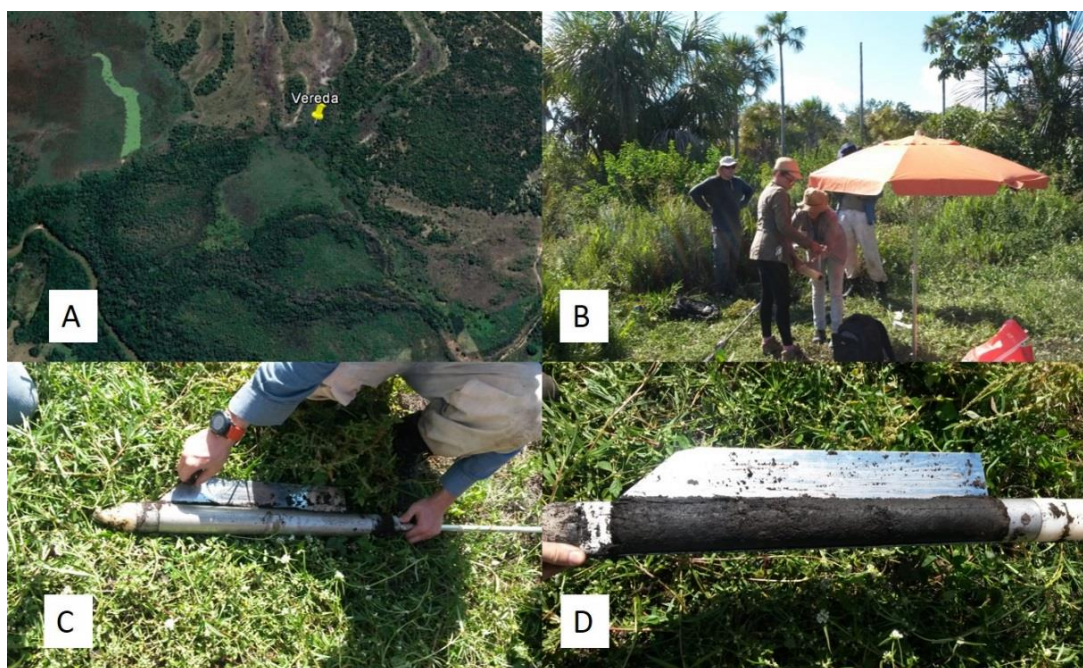
## CAPÍTULO 3

### MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente trabalho, foram analisados os palinomorfos (grãos de pólen e esporos) encontrados no testemunho sedimentar coletado na Vereda Pandeiros, localizada no interior do pântano da APA Pandeiros (Fig.3.1). Além da análise polínica, também foram realizadas a análise de outros proxies, a fim de dar maior suporte para as interpretações obtidas da análise principal. As análises suplementares para a elaboração desta pesquisa foram: análise granulométrica para a associação da variação do ambiente sedimentar onde a vereda se instalou; datação radiocarbônica ( $^{14}\text{C}$ ) para determinar a cronologia dos eventos identificados; e, por fim, a análise de teor de matéria orgânica, por meio do método de Perda por Queima (*Loss on ignition* / L.O.I).

#### 3.1- CAMPO

O trabalho de campo aconteceu entre os dias 8 e 13 de março de 2017 (fim do período de chuva) e foi realizado no âmbito do projeto de pesquisa “Sustentabilidade da bacia do rio Pandeiros-MG: Projeto: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros (FAPEMIG: CRA-APQ-03773-14) Sub-Grupo 1a - Dinâmica das vertentes da bacia do rio Pandeiros”, ao qual este trabalho está vinculado. A realização do campo foi uma parceria entre o Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e o Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).



**Figura 3.1** - Local de amostragem no Pantanal do Pandeiros. A) Imagem de satélite ilustrando a localização da Vereda Pandeiros dentro da área do Pantanal do Pandeiros (Fonte: *Google Earth*). B) Realização da coleta na Vereda Pandeiros. C) Testemunhador *Russian*. D) Seção do testemunho sedimentar da Vereda Pandeiros.



### 3.2- COLETA E ARMAZENAMENTO DOS TESTEMUNHOS

Para a coleta do testemunho sedimentar, foi utilizado uma sonda manual do tipo *Russian*. Esse tipo de sonda possui um meio-cilindro de metal, acoplado à uma placa, também em metal, que se move de forma bascular e, uma vez que o trado é introduzido dentro do sedimento, tem a função de cortar o material sedimentar e encapsulá-lo dentro do cilindro metálico. O cilindro metálico possui 50 cm de comprimento e a sonda possui hastes metálicas que permitem a anexação de hastes de extensão, permitindo atingir vários metros de profundidade. O trado *Russian* se mostrou eficiente para coletas em sedimentos pouco consolidados e pouco arenosos, bem como para coletas subaquáticas onde a lâmina de água tenha até um metro de profundidade.

Foi coletado um testemunho com 150 cm de profundidade, coletado em subsecções de mais ou menos 50 cm cada (comprimento do tubo metálico da sonda), em furos adjacentes. O testemunho foi acondicionado em caixa de isopor, tendo sua estrutura preservada. Já em laboratório o testemunho foi acondicionado sob refrigeração, a uma temperatura média de 4°C (Salgado-Labouriau, 2007), evitando a proliferação de fungos que poderia ser favorecida em caso de temperaturas mais altas que está. Buscando garantir durante o maior tempo possível a possibilidade de interpretação da deposição sedimentar registrada pela estrutura do testemunho só foi dissecado para as últimas análises desta pesquisa, sendo estas as análises de granulometria e teor de matéria orgânica.

### 3.3 -- PALINOLOGIA

Para a análise palinológica, já no laboratório de paleontologia da Universidade Federal de Ouro Preto, amostras de 1 cm<sup>3</sup> de sedimento foram retiradas do testemunho a cada 5 cm, totalizando 25 amostras. Um dos requisitos fundamentais para a análise palinológica é a produção de lâminas translúcidas, permitindo a observação das características da estrutura do grão (exina, ornamentação, quantidade de aberturas, etc.) e que são intrínsecas a cada família e/ou gênero. Entre outros fatores, assim como a maior concentração de sílica na amostra, o excesso de matéria orgânica pode dificultar a produção das lâminas palinológicas, sendo o segundo um fator de escurecimento do subproduto, gerando lâminas escuras e de difícil observação. Para a extração dos palinomorfos presentes no sedimento e preparação das lâminas, inicialmente optou-se por seguir a metodologia de Salgado-Labouriau (2007) e Ybert *et al* (1992) para preparação de registro polínico de origem sedimentar. Esta metodologia preconiza o tratamento das amostras com Ácido fluorídrico (HF) para a eliminação da sílica e início da digestão de matéria orgânica, Ácido clorídrico (HCl) para a eliminação dos carbonatos e neutralização do HF, além da digestão de matéria orgânica e eliminação de ácidos húmicos por meio de Hidróxido de potássio (KOH) à 10% em banho-maria.

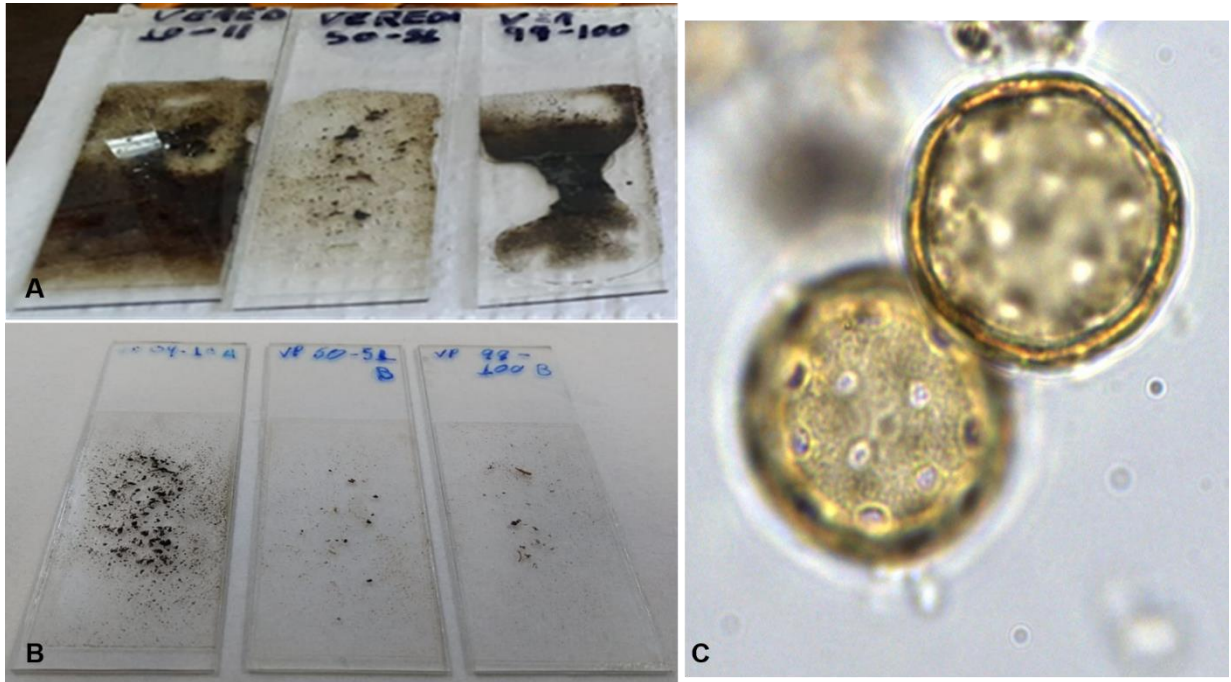
Por se tratar de um sedimento de predominância orgânica, a fase de digestão da matéria orgânica se mostra crucial para o sucesso da análise polínica da Vereda Pandeiros. Todavia, o método utilizado da forma tradicional de sua aplicação, que indica apenas um banho de 5 minutos em KOH, não foi suficiente para a limpeza das amostras. A utilização clássica da metodologia produziu lâminas muito opacas e escurecidas (Fig. 3.2 A), o que dificultava a observação das características morfológicas dos grãos, também dificultando ou mesmo, impossibilitando a classificação e identificação dos mesmos (Fig. 3.2 B).



**Figura 3.2.** A) Lâminas da Vereda Pandeiros, referentes às profundidades 10-11 cm, 50-51 cm e 99-100 cm testes preparadas conforme Ybert *et al.*, (1992) e Salgado-Labouriau (2007). B) Fotomicrografias dos palinórfos existentes nas lâminas preparadas segundo o protocolo padrão, obtidas com aumento de 1000x com em imersão em microscópio binocular Olympus Cx31.

Dessa forma, viu-se a necessidade da adaptação da metodologia usual, aumentando o tratamento com KOH, deixando-a mais adequada para as amostras utilizadas nesse trabalho. Tal adaptação propõe pelo menos três banhos aquecidos, de dez minutos cada, o que permitiu a produção de lâminas translúcidas (Fig. 3.3 A), mesmo quando os sedimentos são muito ricos em matéria orgânica. O maior número de banhos em KOH não apresentou nenhum dano perceptível à estrutura dos grãos de pólen e esporos (Figura 3,3 B). Essa proposta de adaptação do protocolo padrão é detalhada em Sabino *et al* (2019), em anexo a este volume. Foram preparadas uma média de duas lâminas para cada uma das vinte e cinco amostras, até totalizar uma contagem de 300 grãos incluindo pólen e esporos. Após a preparação das lâminas, a contagem dos grãos foi feita de forma manual, com o auxílio de um microscópio Trinocular BM2100 LE, acoplado a uma câmera digital modelo ISH130 de 1.3 megapixels. Para a classificação dos táxons, foram utilizados catálogos polínicos para a região de Cerrado, bem como os de revisão geral (Salgado-Labouriau 1973; Cassino 2014; Cassino e Meyer 2013; Punt *et al* 2007; Ybert *et al* 2012), para classificar os grãos de pólen e esporos e determinar suas

respectivas origens e habitat. Dessa forma foram classificados 9 grupos ecológicos aos quais foram analisadas suas dinâmicas ao longo dos 4.200 anos AP, sendo estes grupos; “Campo Úmido, Vereda”, “Campos”, “Ambientes Diversos”, Cerrado *sensu strictu* (Cerrado s.s), “Cerrado+Floresta”, “Cerradão, Mata Seca”, “Mata de Galeria”, “Floresta” e “Esporos”.



**Figura 3.3.** Lâminas comparativas entre métodos. A: lâmina de material localizado sedimentar entre 10 - 11 cm de profundidade, com preparação convencional e lâmina de material sedimentar localizado entre 09 – 10 cm de profundidade, preparada com metodologia adaptada; B) Fotomicrografia de dois grãos de pólen tipo *Amaranthus*, em lâminas preparadas com a metodologia adaptada, mostrando com clareza a ornamentação e espessura da exina e os poros do grão.

### 3.4 – GRANULOMETRIA

Para a caracterização dos ambientes deposicionais do sedimento coletado, foi realizada a análise granulométrica. Foi utilizando o método de dispersão total (Método da Pipeta) (EMBRAPA, 1997). O protocolo balizador do procedimento foi o do Laboratório de Geomorfologia, do Instituto de Geociências (IGC), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), mesmo laboratório onde a análise foi realizada. Tal protocolo toma como verdade que as classes de partículas individuais, provenientes de fragmentos de minerais e rochas, são definidas por limites de diâmetros. Todavia, essas partículas podem estar aglomeradas em agregados. Por isso, o procedimento sugere o rompimento desses agregados, através da combinação de métodos físico-químicos, a fim de proporcionar a produção de uma solução estável, e que permita a quantificação das partículas que compõem o sedimento. O processo é dividido nas seguintes etapas:

- *Determinação do Fator F:* essa etapa foi utilizada para corrigir as possíveis variações causadas pela presença de umidade na amostra total. Para isso, é separado 20 gramas de amostra de

sedimento que é seco ao ar e terá função de grupo controle no monitoramento das amostras que passarão pelos processos físico-químicos. Um recipiente apropriado (que neste caso foram latas de alumínio, especial para procedimentos laboratoriais), é pesado e seu peso é anotado. Em seguida, os 20 gramas de sedimento são adicionados ao recipiente que é pesado mais uma vez, o peso “recipiente + sedimento” também é anotado. Por fim, o recipiente com o sedimento já adicionado, é levado à estufa a uma temperatura de 105 °C, por 12 horas. Após esse período, o recipiente com o sedimento é retirado da estufa e deixado no dessecador para esfriar, e pesado em seguida. O fator F foi calculado pela divisão do peso “*recipiente + amostra*” anterior à estufa e o peso “*recipiente + amostra*” depois da estufa. Este cálculo forneceu uma porcentagem estimada da umidade residual do sedimento a ser analisado.

- *Preparação química da amostra*: Em um frasco plástico, tipo polietileno (Fig. 3.4 A), é adicionado outras 20 gramas da amostra e uma solução de 100 ml de água deionizada + 10 ml de Hidróxido de sódio 1 mol/L<sup>-1</sup>, e deixado no agitador tipo Wagner, por 16 horas a 50 rpm.

- *Separação mecânica da amostra*: Fração Areia - Passadas as 16 horas, a solução *sedimento + água deionizada + hidróxido de sódio* foi despejada em uma peneira de alumínio, com malha de 53 µm, apoiada sobre um funil suspenso, e uma proveta de 1000 ml posicionada logo abaixo, para o recebimento da solução a ser lavada da amostra. Todo o material retido na peneira foi lavado até ficar totalmente limpo. Porém, é preciso atentar que o volume do líquido residual da lavagem, recolhido na proveta (Fig. 3.4 A), não deve ultrapassar 1000ml.



**Figura 3.4.** Processo de granulometria por dispersão total. A) Fim do processo de preparação química da amostra, com solução de hidróxido de sódio, e início da separação mecânica das frações “areia” e “Silte+Argila”; B) Frações “Silte+Argila” a esquerda e “Areia” a direita da imagem, após etapa de secagem; C) Subproduto oriundo

do sedimento mais orgânico do testemunho, restando apenas um bloco seco composto basicamente por matéria orgânica, encontrado durante a etapa que busca calcular a fração “Areia”.

Depois de lavado, o sedimento maior que 53 micras (areia), que ficou na peneira, deve ser transferido para um recipiente de alumínio apropriado e previamente pesado. Em seguida o recipiente + areia úmida é pesado e deve ser levado à estufa, a uma temperatura de 105 °C, por 12 horas. Passadas as 12 horas, o recipiente + areia seca, são colocados no dessecador e, quando frios, são pesados novamente.

Após seco e pesado, as frações “areia fina” e “areia grossa” são separadas por peneiração, em uma peneira de malha 0,212 mm, acoplada a um depósito. A areia fina, retida no depósito, é transferida mais uma vez para o recipiente, e o conjunto recipiente + areia fina são pesados mais uma vez. A subtração do peso do recipiente + areia seca e peso recipiente + areia fina, resultarão no peso correspondente à areia grossa.

Fração silte e argila – As frações silte e argila são extraídas da solução recolhida em proveta de 1000 ml, durante a lavagem da fração areia. A solução é agitada com um agitador magnético por 3 minutos. Uma pipeta é introduzida na solução ainda em agitação, a uma profundidade de 5 cm e são retirados de uma só vez, 50 ml da solução, em seguida sendo transferida para uma cápsula de porcelana, que deve ser pesada com antecedência. Essa cápsula com a solução é armazenada em estufa a uma temperatura de 105 °C, por 24 horas, até que todo líquido evapore e fique apenas o resíduo sólido (Fig. 3.4 B). Esse residual sólido mais a cápsula de porcelana são pesados novamente e o valor da subtração cápsula + residual sólido – cápsula vazia fornecerá o peso demonstrativo para o cálculo das concentrações silte e argila.

Fração Argila – Assim que a proveta cessa a agitação do processo de coleta da fração silte + argila, ela, bem como a solução, são colocadas em repouso por tempo tabelado e predefinido, que leva em conta a temperatura da solução e o tempo de decantação de partículas de dimensão silte, para a temperatura correspondente. Ao alcançar o tempo estipulado para o repouso da solução, 50 ml da solução, ainda em repouso, é pipetada e transferida para uma cápsula de porcelana já pesada. Essa cápsula também é colocada em estufa, a 105 °C, por 24 horas. Após o tempo de estufa, o resíduo sólido restante na cápsula será correspondente à fração argila, enquanto a porcentagem da fração silte é um valor calculado.

Os valores encontrados para cada fração, foram inseridos em uma tabela Excel, fornecida por e-mail pelo próprio laboratório de Geomorfologia do IGC/UFMG, e as porcentagens de cada fração, são calculadas automaticamente pelos cálculos pré-definidos na tabela.

### **3.4.1 – Ressalva ao método de granulometria.**

O método de cálculo granulométrico, proposto por este procedimento, não atende

completamente as especificidades de sedimentos com alta concentração de matéria orgânica (Jorge & Lepsch 1982), por isso, adaptações, como a retirada mecânica do excesso de material orgânico sobrenadante, foram adotadas. Assim, para o material trabalhado, as amostras correspondentes as profundidades anteriores a 90 cm, e que são representantes da parte mais orgânica do testemunho, teve o excesso de matéria orgânica retido na peneira ainda na fase de separação da fração argila. Após a última secagem em estufa, ficou nítido que mesmo o subproduto das amostras mais orgânicas apresentava nenhum ou valores desprezíveis da fração areia, restando apenas resíduos orgânicos e da fração “argila+silte” (Fig. 3.4 C), porém, não foi possível fazer a diferenciação desses dois últimos componentes em meio ao material orgânico restante. Essa alta concentração de matéria orgânica foi duplamente constatada com a aplicação do procedimento de perda por ignição.

O método aplicado foi dividido em duas etapas, nas quais, a primeira quantifica a porcentagem de umidade residual e a segunda está diretamente ligada à estimativa da matéria orgânica da amostra..

### 3.5 – ESTIMAÇÃO DE MÁTERIA ORGÂNICA POR PERDA POR IGNIÇÃO (LOSS-ON-IGNITION – L.O.I.)

Para a primeira etapa, foi coletado uma quantidade de 1 cm<sup>3</sup> de sedimento para cada amostra de profundidade, adicionado a cadinhos previamente identificados e pesados. Após o sedimento ser acrescentado nos cadinhos, foi obtido o peso “cadinho+sedimento” e em seguida levados a estufa a uma temperatura de 100 °C, por um tempo estimado de 8 horas. Após o tempo de estufa, foi feita a pesagem “cadinho+sedimento após secagem” e a diferença dos pesos antes e depois da estufa, proporcionaram a estimativa percentual de umidade residual da amostra por meio da equação proposta por Dean (1974):

$$\left( \frac{\text{Peso sedimento}_{\text{antes } 105^\circ} - \text{Peso sedimento}_{\text{depois } 105^\circ}}{\text{Peso sedimento}} \right) \times 100$$

Par a segunda etapa, que busca mensurar a porcentagem de matéria orgânica na amostra, o sedimento seco a 105 °C é colocado em Mufla a 500 °C, por 3 horas. Após esse tempo o sedimento é pesado mais uma vez. A diferença entre sedimento antes da queima e sedimento após a queima fornecerá uma estimativa percentual da quantidade de matéria orgânica nas amostras (Dean 1974; Heiri *et al.* 2001), por meio da seguinte equação:

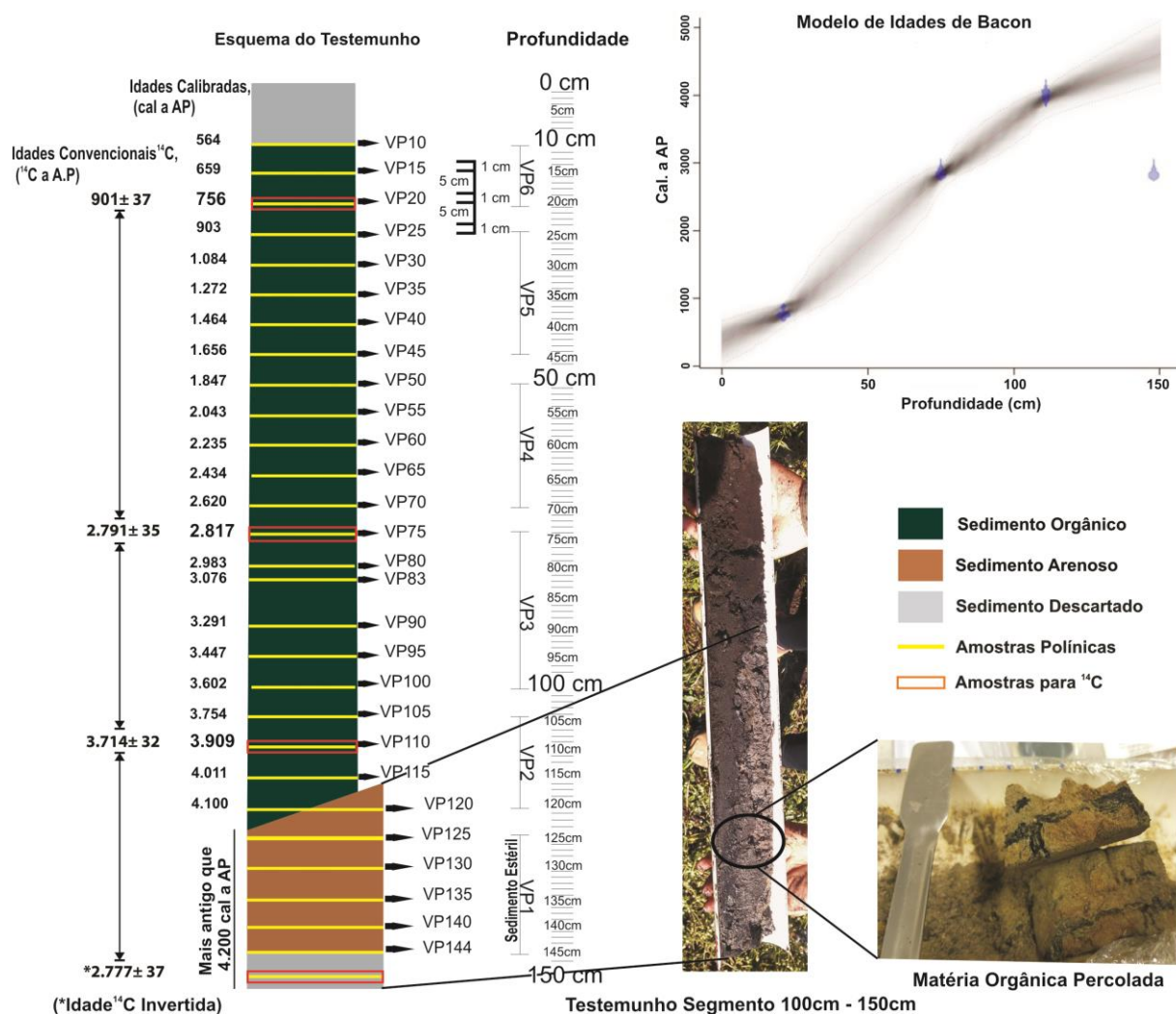
$$\left( \frac{\text{Peso sedimento}_{\text{sec } 105^\circ} - \text{Peso sedimento}_{500^\circ}}{\text{Peso sedimento}_{\text{sec } 105^\circ}} \right) \times 100$$

### **3.6 – CARBONO 14 ( $^{14}\text{C}$ ).**

As premissas e a técnica inicial utilizada no método do carbono 14 ( $^{14}\text{C}$ ) foram propostas por W. F. Libby e sua equipe (Suguio 2010; Suess 1986; Nilsson 1983). Dentre essas premissas, foi convencionalizado que uma vez formado o átomo de  $^{14}\text{C}$ , o mesmo é incorporado ao  $\text{CO}_2$  atmosférico e assim assimilado ao ciclo do carbono dos organismos vivos (Scheel-Ybert 1999). Logo, a concentração de  $^{14}\text{C}$  nos tecidos orgânicos entra em equilíbrio com o conteúdo atmosférico que o circunda, enquanto ainda estava vivo. Quando este organismo morre, suas trocas metabólicas cessam e a concentração das taxas radiocarbônicas começam o processo de decaimento contínuo ao longo do tempo. A partir do cálculo e interpretação das taxas desse decaimento, é possível se estimar o tempo cronológico desde a morte deste organismo.

#### **3.6.1 - Análise de radiocarbono das amostras**

Foram realizadas quatro datações radiocarbônicas. Três datações foram feitas no laboratório da Universidade de Glasgow (Escócia), *Scottish Universities Environment Research Centre* (SUERC) e uma quarta datação foi realizada no laboratório estadunidense DirectAms. Previamente, foram selecionadas 3 profundidades de coleta para a obtenção das idades radiocarbônicas, pontos esses que se encontram nas profundidades entre 20-21 cm do segmento 0-50 cm de profundidade do testemunho, a segunda datação foi para a profundidade de 74-75 cm do segmento 50-100 cm e a terceira datação para a profundidade de 147-148 cm, do segmento 100–150 cm.



**Figura 3.5.** Modelo de idades mostrando a curva de idades calibradas, o modelo esquemático do testemunho a percolação da matéria orgânica dentro da parte arenosa do testemunho.

Devido à similaridade de idades para as profundidades de meio e base do testemunho, com uma diferença de 70 cm de espessura de sedimento entre elas, e ao se observar uma possível migração de material orgânico em direção a sua base (Fig. 3.5), foi tomada a decisão de se fazer uma quarta datação, para fins de confirmação de idades. Essa quarta datação foi feita para a profundidade de 110-111 cm, área do testemunho que ocorre antes da área de transição entre o sedimento predominantemente orgânico e o predominantemente arenoso (Fig. 3.5), e permitiu-se elaborar um modelo de idades com maior acurácia, confirmando que a cronologia do testemunho coletado correspondia a todo o período do Holoceno tardio.





## CAPÍTULO 4

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

Este capítulo aborda uma breve revisão bibliográfica, que busca revisar alguns dos conteúdos balizadores e frequentemente abordados nos estudos palinológicos do Quaternário, vistos pela percepção ambiental do bioma Cerrado. Inicialmente, é apresentada uma visão geral da composição da savana brasileira. Em seguida, é discutida a influência do fogo sobre a dinâmica desta composição savânica; a partir daí, dá-se foco no entendimento da fitofisionomia de vereda, que é o ambiente de estudo deste trabalho. E, finalmente, busca-se apresentar os principais aspectos da evolução deste bioma durante o Quaternário, mais especificamente do Holoceno tardio em Minas Gerais.

#### 4.1- CERRADO E SUA ESTRUTURA VEGETAL

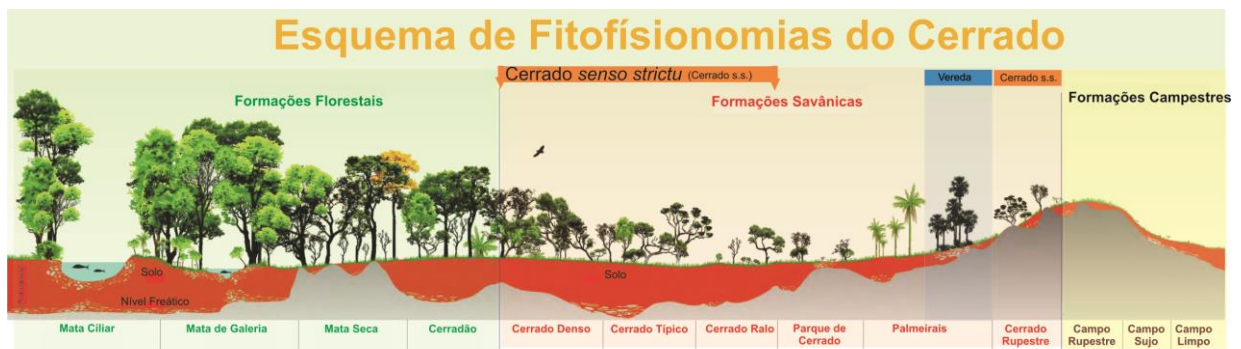
De acordo com Henriques (2005) e Ribeiro & Walter (2008), as fitofisionomias do Cerrado podem se apresentar tanto na forma de floresta primária, representada pelo Cerradão, transitando até à forma de vegetação totalmente aberta, como no caso do Cerrado tipo Campo Limpo. De acordo com Henriques (2005), dentro do Cerrado *sensu lato*, ou seja, a forma mais geral do bioma Cerrado, são encontradas quatro fitofisionomias principais, que apresentam diferentes composições de estrutura vegetal (altura e densidade) (Henriques, 2005; Ribeiro e Walter, 2008). Essas fitofisionomias principais se dividem em: Cerradão, uma formação florestal com maior cobertura vegetal e ausência de gramíneas; Cerrado *sensu strictu* (Cerrado s.s.), apresenta baixa cobertura de gramíneas, e maior cobertura arbusto-arbórea; Campo Sujo, com alta cobertura gramínea e baixa cobertura arbórea; e o Campo Limpo, que apresenta a cobertura mais alta de gramíneas (Henriques, 2005). O autor ainda fala que a composição fitofisionômica do Cerrado forma um *continuum* vegetacional, que não apresenta limites bem definidos entre si, permitindo a formação de formações intermediárias.

Além destes quatro principais grupos fitofisionômicos, em seu trabalho que procura detalhar as características da vegetação do Cerrado, Ribeiro & Walter (2008) relatam que ao se considerar os subtipos, é possível encontrar pelo menos 25 fitofisionomias dentro do bioma, tendo como alguns exemplos a Mata de Galeria (Inundável e não Inundável), Mata Seca (Sempre-verde, Semidecídua e Decídua), Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo, Cerrado Rupestre e Palmeirais que se dividem em Babaçual, Macaubal, Guerobal e Buritizal.

Mendonça *et al.* (2008), em seu trabalho que compila as principais listas publicadas sobre a composição florística do Cerrado, mostra que a flora do Cerrado é composta principalmente por angiospermas, seguidas de pteridófitas e gimnospermas, respectivamente. Neste levantamento florístico, as principais formações vegetais são: a savânica (2.880 espécies listadas), a florestal (2.540

espécies listadas) e a campestre (2.055 espécies listadas). Apesar da vegetação campestre ser a formação com menor número de espécies listadas, os táxons de hábito herbáceo são mais abundantes com 2.150 exemplares, seguidos pelos exemplares de hábito arbustivo (1.291), arbóreo (1.065), subarbustivo (835) e trepadeira (428). Na disputa pela ocupação do espaço pelas espécies de hábito arbóreo, as formações florestais tendem a competir com as formações savânicas, o que pode permitir a expansão da formação florestal sobre esta última (Bueno 2018). No que diz respeito ao avanço e recuo das formações, quando não influenciada pelo fogo, a distribuição dos tipos de vegetação do Cerrado tem como principais direcionadores as características edáficas do solo (disponibilidade de água e nutrientes que compõem o solo) (Henriques 2005; Oliveira e Marquis, 2002).

Assim, apesar do Cerrado ser composto por plantas tolerantes a solos com altas taxas de alumínio e baixo pH, característica esta que abrange grande parte dos solos deste bioma, Bueno (2018) relata que, no que se refere às formações florestais, estas tendem a se estabilizar apenas em áreas com maior teor de cálcio e magnésio, enquanto a formação Cerradão tende a ocorrer em áreas de concentração intermediária de alumínio. O autor também observou que a vegetação do Cerrado é altamente heterogênea, incluindo diferentes espécies de Campos, formações Savânicas, além de diferentes tipos de florestas (Fig. 4.1). A frequência das queimadas tende a alterar a composição florestal do Cerrado, que por sua vez tem uma flora adaptada aos fogos naturais sendo seus exemplares florísticos tolerantes ou dependentes destes fogos.



**Figura 4.1** - Modelo esquemático das fitofisionomias do Cerrado, modificado de Ribeiro & Walter (2008) e Embrapa <https://www.embrapa.br/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado>.

Furley (1999) lista seis formas e fenologias encontradas nas plantas do Cerrado, sendo elas: as espécies perenes com fase semi-dormente anual; as árvores perenes de crescimento sazonal; as espécies efêmeras de ciclo de crescimento e floração anual; as espécies anuais, ativas por 6 a 7 meses durante a estação úmida; as espécies perenes de repouso sazonal; e por fim, as espécies de crescimento e florescência contínua, sendo normalmente compostas por arbustos próximos a fontes de água.

#### 4.2- A AÇÃO DO FOGO SOBRE AS FITOFISIONOMIAS DO CERRADO

Vários trabalhos abordam a discussão sobre quais seriam os fatores determinantes para o desenvolvimento de cada fitofisionomia encontrada no bioma Cerrado (Bastos e Ferreira 2010, Ribeiro & Walter 2008, Miranda e Sato 2005, Henriques 2005, Oliveira e Marquis 2002), assim, muito se tem discutido a relação da ação dos fatores edáficos e climáticos na evolução deste bioma. Entretanto, a ação e frequência de fogos sobre essas fitofisionomias também merece destaque sobre o que concerne a dinâmica de abertura da vegetação e do desenvolvimento das paisagens dentro do Cerrado (Behling 1995, Miranda e Sato, 2005, Henriques 2005). É sabido que o fogo é um forte agente transformador da vegetação do Cerrado, impactando direta e drasticamente na dinâmica das populações das plantas, transformando a paisagem com fisionomias do tipo fechadas em uma paisagem do tipo aberta (Behling 1995; Henriques 2005; Miranda e Sato 2005; Pivello 2011).

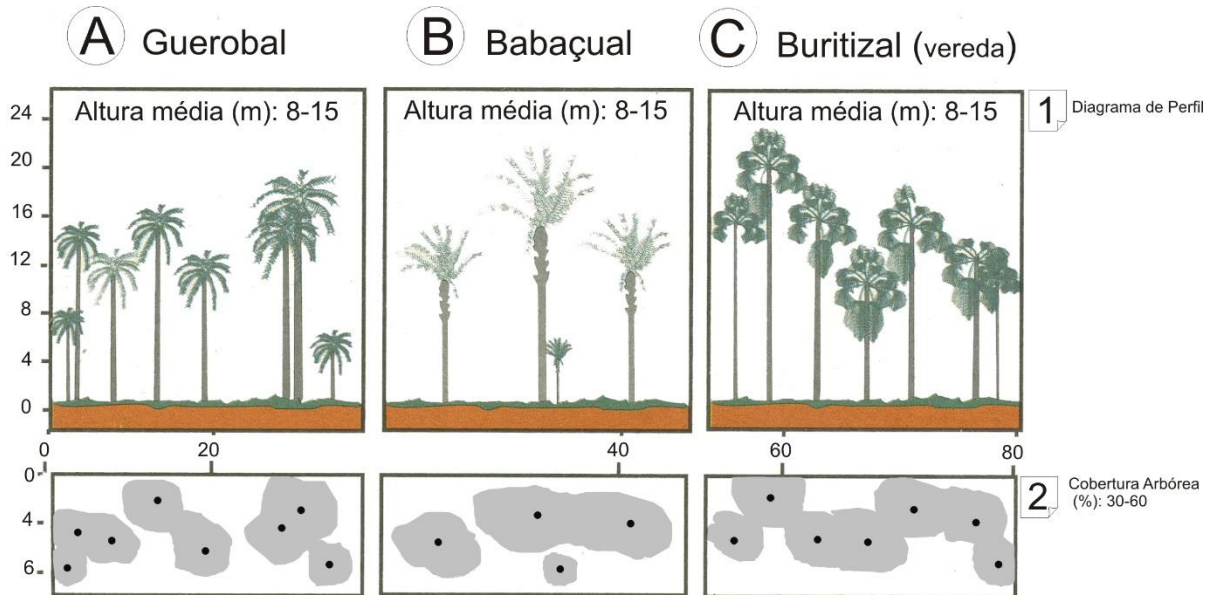
Uma das hipóteses para a formação do Cerrado, de acordo com Ledru (1993), seria de que o bioma é o resultado do desenvolvimento de Matas Secas sob a influência de fogos naturais. Simon *et al* (2009) falam que, a alta diversidade florística do Cerrado, tem origem na seleção feita pelos fogos naturais entre o Mioceno tardio e o início do Plioceno e que agiram sobre as plantas com grande capacidade de adaptação às queimadas, tendo, estas, origem em linhagens de plantas de biomas circundantes do Cerrado. Os fogos naturais têm sua maior recorrência nos períodos de transição entre a estação seca e chuvosa (Behling 1995; Miranda e Sato 2005; Pivello 2011), sendo a ocorrência de raios o principal agente desencadeador dos fogos naturais no Cerrado.

Henriques (2005) e Simon *et al* (2009) ainda ressaltam que a ação do agente fogo também pode causar tanto a redução da altura média da vegetação afetada, como também interferir na composição florística do Cerradão. De acordo com estes autores, em situações em que o fator fogo tenha maior frequência, as plantas de menor estrutura e que demandam de menor tempo de crescimento, como as gramíneas, têm seu desenvolvimento espacial favorecido em relação às plantas lenhosas (árvores e arbustos). Assim, as savanas, que são mais propensas à ocorrência de fogos naturais, têm um dossel tipicamente aberto, o que não acontece em regiões onde há uma menor incidência de fogos, favorecendo o desenvolvimento de florestas.

### **4.3- VEREDAS**

Como previamente mencionado, segundo Ribeiro & Walter (2008), dentre as fitofisionomias encontradas no bioma Cerrado está o Palmeiral, o qual é dividido em quatro subtipos, cada um de acordo com o tipo de palmeiras predominante em sua formação. Quando formados por palmeiras de macaúba tem-se o Macaubal; por palmeiras de gueroba, o Guerobal; por palmeiras de babaçu, o Babaçu; e, por fim, do palmeiral formado pelas palmeiras de buriti, origina-se o Buritizal (Fig. 4.2). Desses palmeirais as três primeiras espécies estão ligadas a terrenos bem drenados, normalmente

encontrados em áreas de interflúvio. Apenas o último tipo de palmeiral, o Buritizal, se encontra em região fundo de vale, sobre terrenos mal drenados, formando um dossel descontínuo, com uma altura que varia entre 12 m a 20 m e com cobertura quase que homogênea ao longo do ano. O Buritizal, quando se apresenta sem a formação de um dossel e sem associação com um trecho de campo, mas, associado a um estrato arbustivo-herbáceo, forma a fitofisionomia de vereda.



**Figura 4.2-** Imagem modificada de Ribeiro & Walter (2008). 1) Diagrama de perfil dos palmeirais de Guerobal (A), Babaçual (B) e Buritizal (C). 2) Imagem representando a porcentagem da cobertura arbórea correspondente a cada um dos três tipos de palmeirais.

Ecosistemas recorrentes dentro do bioma Cerrado, as veredas têm como principais características a ocorrência em terrenos deprimidos, onde há um fluxo hídrico lento e existência de uma fitofisionomia de origem hidrófila, sendo o buriti (*Mauritia flexuosa*), a vegetação mais marcante (Neves *et al* 2015; Araújo *et al* 2002; Rull e Montoya, 2014). Ribeiro & Walter (2008) classificam as veredas como palmeirais cuja ocorrência está ligada ao afloramento do nível freático, sendo este afloramento proveniente das camadas com permeabilidade diferenciadas, ocorrentes em áreas sedimentares do Cretáceo e Triássico.

As veredas desempenham um importante papel no processo de manutenção da biodiversidade do Cerrado. Estando elas associadas a áreas de nascentes de rios, também representam um local de refúgio para fauna, terrestre e aquática, desempenhando o papel de área de abrigo e ambiente de reprodução (Araújo *et al* 2002; Ribeiro & Walter 2008; Pinese *et al* 2015). Neves (2015) indica que os processos de erosão e deposição têm forte impacto no sistema de manutenção de uma vereda, sendo a baixa energia do fluxo hidráulico um contribuinte relevante na evolução da mesma e ainda na manutenção dos buritis. Por isso, ainda de acordo com Neves (2015), o funcionamento das veredas

estaria ligado a dinâmica dos fluxos superficiais e subsuperficiais, sendo os processos ligados a esses fluxos (erosão, sedimentação, pedogênese) indicadores eficazes sobre a forma como se deu a evolução desses ambientes.

No que se trata da morfologia das veredas, Ribeiro & Walter (2008) relatam que as veredas se dividem em três zonas de destaque, estando estas zonas ligadas às características topográficas e de drenagem de solo. Estas zonas são: a borda, onde existe um solo mais seco e arenoso, com trechos campestres, podendo existir árvores isoladas; o meio, com solo de umidade intermediária, e cobertura tipicamente campestre; e o fundo, caracterizado pelo solo hidrologicamente saturado, brejoso onde normalmente há a ocorrência dos buritis, além da abundância de arbustos e adensamento árvores de baixa estatura. Para cada uma dessas zonas há uma associação com características florísticas distintas (Ribeiro & Walter 2008) (Fig. 4.1).

No que envolve a composição florística das veredas, Lorente (2010) relata que as famílias mais comumente encontradas nesse ambiente são: Poaceae (*Andropogon*, *Axonopus*, *Aristida*, *Panicum*, *Paspalum*, *Schizachyrium*, *Trachypogon*), Asteraceae (*Baccharis*, *Eupatorium* e *Vernonia*), Cyperaceae (*Bulbostylis*, *Cyperus* e *Rhynchospora*), Melastomataceae (*Miconia*, *Microlicia* e *Tibouchina*), Fabaceae (*Desmodium* e *Stylosanthes*) e Eriocaulaceae (*Eriocaulon*, *Paepalanthus* e *Syngonanthus*). Segundo Silva (2007), é comum encontrar gramíneas nas bordas de veredas, nas regiões em contato com o cerrado, e isso se dá devido à estrutura de suas raízes que permitem sua fixação em terrenos com característica arenosa.

#### **4.4- PALEOECOLOGIA DO CERRADO NO QUATERNÁRIO**

O Quaternário se caracteriza por um período em que houve uma grande instabilidade climática com caráter cíclico, e esses ciclos causaram profundos impactos nos ecossistemas globais, influenciando a distribuição da cobertura florística regional e resultando em sucessivas expansões e retrações de vegetações mais abertas sobre vegetações mais arbóreas (Garcia, 1994). Esta instabilidade climática do Quaternário se reflete na alternância entre intervalos de clima glacial e clima quente, com durações distintas (Nunes *et al.* 2012). No que se refere ao Holoceno, que abrange os últimos 11.700 anos Antes do Presente (a. A.P.), apesar de ser caracterizado por um aumento global das temperaturas quando comparado à época anterior (o Pleistoceno), é possível perceber oscilações climáticas e diferenciações regionais (Cassino e Meyer 2011; Horák-Terra *et al.*, 2015). Essas oscilações holocênicas tiveram influência na distribuição das fitofisionomias dos biomas brasileiros ao longo do tempo, resultando na distribuição encontrada atualmente no Brasil. Essa característica de oscilação climática direcionando a respostas regionais não se mostra diferente quando é abordado o bioma Cerrado.

#### 4.4.1- Paleoclima do Cerrado

O sistema climático que traz a maior parte das chuvas na região do Cerrado é o Sistema de Monções Sul-Americano (SMSA) (Silva e Kousky, 2012), cujas principais feições climáticas são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). De acordo com Schneider *et al.* (2014), a ZCIT se movimenta em direção ao hemisfério sul como uma resposta ao resfriamento do hemisfério norte. Assim, estudos de modelagem climática apontam que durante os períodos de aumento do volume de gelo e diminuição das temperaturas nas altas latitudes do hemisfério norte, a ZCIT é empurrada mais ao sul sobre a América do Sul (Cruz *et al.*, 2015), trazendo mais chuvas para o Brasil central. Cruz *et al.* (2015) sugerem que, da mesma forma, o ZCAS também se desloca em direção ao sul, em resposta necessária da circulação de Hadley, onde há aumento do transporte de calor para o norte para compensar a perda de energia causada pelo aumento do volume de gelo nas altas latitudes do norte, ocasionando o aumento na quantidade relativa de precipitação no sul do Brasil. No norte de Minas Gerais, região estudada neste trabalho, a precipitação regional é resposta à ação dinâmica da ZCAS e as precipitações são basicamente resposta ao sistema de Monções Sul-americano (Strikis *et al.*, 2011)

A variabilidade do  $\delta^{18}\text{O}$  é uma proxy que permite determinar a intensidade regional das monções, ao refletir a proporção do isótopo  $^{18}\text{O}$  no vapor de água, em relação ao isótopo  $^{16}\text{O}$ , onde os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  são inversamente proporcionais ao volume de chuva (Worthman, 2017). No Brasil, ainda segundo Worthman, (2017), o vapor que vem da bacia amazônica carrega com ele a assinatura isotópica, onde este vapor levado no sentido norte-sudeste sobre do território brasileiro vai apresentando uma redução do  $\delta^{18}\text{O}$  conforme mais precipitações vão ocorrendo em seu percurso.

O estudo de Strikis *et al.* (2011), baseado nos registros de  $\delta^{18}\text{O}$  dos espeleotemas da caverna Lapa Grande localizada 140 km ao norte da APA Pandeiros, indica que abruptas flutuações de  $\delta^{18}\text{O}$  marcaram todo o Holoceno nesta região, sugerindo a alternância de eventos úmidos e secos durante este período. Os autores determinaram ainda diferenças na estrutura e duração destes eventos quando comparado o Holoceno inicial e médio (11.700 a 4.200 anos AP) ao Holoceno tardio (4.200 anos AP ao presente). Os eventos de pluviosidade do Holoceno tardio apresentam a mesma intensidade que aqueles do Holoceno inicial e médio, porém durações mais curtas, de no máximo 100 anos. O evento úmido mais longo do Holoceno tardio ocorreu em torno de 2.700 anos com duração de ~100 anos, seguido por outras flutuações de duração menores que 50 anos, em 3.200, 2.300, 2.200 e 1.900 anos AP. Em relação as causas destes eventos de maior intensidade das monções, Stríkis *et al.* (2011) relacionam alguns dos eventos úmidos do Holoceno aos chamados eventos “Bond”, i.e. eventos úmidos do Holoceno aos chamados eventos “Bond”, i.e., eventos de rápido depósitos de detritos de gelo no oceano Atlântico Norte e consequentes mudanças na circulação do Oceano Atlântico. Para Worthman *et al.* (2017), para

o último milênio, indicam uma possível relação entre o aumento da pluviosidade e o aumento da insolação de verão no Hemisfério Sul.

#### **4.4.2- Paleovegetação do Cerrado**

De acordo com Salgado-Labouriau (1994), quando se trata do Quaternário, toda a flora moderna já era existente, assim, os megafósseis de plantas, os esporos de pteridófitas e grãos de pólen encontrados em sedimentos do Quaternário Inferior e Médio, são os mesmos encontrados no Quaternário Superior. Dessa forma, a palinologia se mostra como uma ferramenta importante nas pesquisas que buscam reconstruir ecossistemas e estudar a sucessão da vegetação de uma determinada região durante esse período, auxiliando na discussão sobre as alterações climáticas ao longo do tempo (Suguio, 2010; Salgado-Labouriau, 1994). Tanto os micro-restos florísticos (grãos de pólen, esporos, células epidérmicas, fitólitos, etc.) quanto os macro-restos (sementes, folhas, frutos, etc.), são úteis na interpretação dos paleoambientes do Quaternário, porém, o primeiro tipo apresenta a vantagem de ser encontrado em uma concentração mais numerosa que o segundo (Suguio, 2010).

Nas últimas décadas diversos trabalhos voltados para a compreensão dos ambientes e climas pretéritos, especialmente os do período Quaternário, lançaram mão da análise polínica para a fundamentação de suas pesquisas (Miranda e Andrade, 1990; Ledru, 1992; Garcia, 1994; Oliveira *et al.*, 1999; Horak *et al.* 2020; Chevalier *et al.*, 2020). De uma forma geral, os registros polínicos do Cerrado indicam que esse bioma sofreu grande influência florística das florestas circundantes durante diferentes momentos do Holoceno (Oliveira *et al.* 2005), e que fitofisionomias mais arbóreas e mais abertas se alternaram ao longo do tempo, refletindo mudanças climáticas e no regime de fogos (Meyer *et al.*, 2014).

A partir dos registros polínicos do Cerrado que abrangem o Holoceno tardio, foco deste trabalho, algumas linhas gerais sobre tendências observadas na evolução das características da vegetação podem ser traçadas. Para a região do rio Icatu, um afluente do Rio São Francisco no norte do estado da Bahia, De Oliveira *et al.* (1999) observaram a partir de 4.000 a AP (~ 4.400 anos cal AP) uma expansão da Caatinga sobre o Cerrado, o que os autores associaram à instalação progressiva de um clima árido. Já no Lago do Pires, situado no leste de Minas Gerais, nos limites entre o Cerrado e a Mata Atlântica, Behling (1995) indica que entre 5.500 a AP e 2.700 a AP (entre 6.200 e 2.700 anos cal AP), os vales estavam ocupados por florestas enquanto a savana ocupava as vertentes e encostas, uma paisagem que o autor relaciona à ocorrência de estações secas, com duração de cinco meses, porém este clima seria relativamente mais úmido do que o observado no Holoceno Médio.

Na região de Lagoa Santa (região central de Minas Gerais), Parizzi *et al.* (1998) observam que entre 3.000 e 1.800 a. A.P. (entre ~ 3.100 e 1.700 a. cal A.P.), há uma redução nas concentrações de Poaceae e de outros táxons de campo, e aumento nos táxons de árvores e arbustos altos, resultando em



uma flora semelhante à encontrada nos dias atuais. No Espinhaço Meridional, Horák-Terra *et al.* (2020) indicam que até ~3.100 a. cal A.P., há uma redução de umidade indicada pela retração das florestas e expansão dos campos, entretanto, os campos úmidos permanecem presentes, condição tal que pode ser reflexo da melhor distribuição dos eventos de chuva, permitindo a formação de lagos rasos na região. Após ~3.100 a. cal A.P., o clima subúmido teria se instalado na região, criando condições para a estabilização do Cerrado.

Para a região do Lago do Pires, Behling (1995), indica que, entre 2.700 e 2.200 a AP (2.700 e 2.100 a. cal A.P.) houve uma maior expansão das florestas nas colinas e encostas, indicando um clima ainda mais úmido. Já na turfeira Pau de Fruta, na Serra do Espinhaço, Horák-Terra *et al.* (2015) indicam que entre 2.200 e 1.160 a. cal A.P. é a fase de máxima aridez, com resfriamentos pontuais e variações na umidade na área, sendo as savanas dominantes sobre a paisagem e ocorre há a máxima expansão do Cerradão. Já para o período entre 1.160 e 400, o clima começa a se assemelhar ao clima atual, com aumento na acumulação de matéria orgânica e marcante redução no fluxo regional de matéria mineral, indicando estabilidade do ambiente. De acordo com Parizzi *et al.* (1998), em Lagoa Santa é a partir de 1.440 a AP que as assembleias polínicas indicam um clima e vegetação muito similar à recente, sendo que, no início deste período ocorre um aumento de concentração e porcentagem de pólen herbáceo enquanto os táxons arbóreos têm uma redução em relação ao período anterior.

Este capítulo apresenta os resultados e a discussão do presente estudo sobre a dinâmica da vegetação local, e será apresentado em forma de artigo, já submetido no periódico *Journal of Quaternary Science*.

### **LATE HOLOCENE IN CENTRAL BRAZIL: VEGETATION CHANGES AND HUMIDITY VARIABILITY IN A TROPICAL WETLAND**

#### Holocene paleoecology of a tropical wetland

**SHIRLEY MARIA LIMA SABINO<sup>1\*</sup>, RAQUEL FRANCO CASSINO<sup>2</sup>, MAKÊNIA OLIVEIRA SOARES GOMES<sup>3</sup>, ENEIDA MARIA ESKINAZI SANT'ANNA<sup>4</sup>, CRISTINA HELENA RIBEIRO ROCHA AUGUSTIN<sup>5</sup>, DIEGO ALVES DE OLIVEIRA<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Brazil

<sup>2</sup>Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Brazil

<sup>3</sup>Departamento de Ciências Biológicas, Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

<sup>4</sup>Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Brazil

<sup>5</sup>Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

<sup>6</sup>Coordenação de Geografia, Instituto Federal de Minas Gerais, Ouro Preto, Brazil

\*corresponding author; address: Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Departamento de Geologia, UFOP, Campus Morro do Cruzeiro s/n – Bauxita, Ouro Preto, MG, Brazil; e-mail address: [shirley\\_sabino@hotmail.com](mailto:shirley_sabino@hotmail.com)

**ABSTRACT:** This study presents a high-resolution paleoecological record of the Late Holocene in central Brazil based on the analysis of a sediment core collected in the largest wetland of Minas Gerais State. This wetland is a high biodiversity ecosystem located within a semi-arid region of the *Cerrado*, a Neotropical savanna, and presents a key importance for ecological and hydrological balance in central Brazil. The paleoenvironmental history of the wetland was reconstructed based on pollen and sedimentological analyses (grain-size and loss-on-ignition). Our results show that Late Holocene in central Brazil presents a general trend of decrease in arboreal cover, with most abundant occurrence of forest between 3,600 and 3,100 cal a BP. We also show that the wetland was subject to oscillations between wetter and dryer-than-present conditions during Late Holocene; in particular, a dry event occurred around 2,900 cal a BP and wetter conditions were documented between 4,100 and 3,100 cal a BP and from 2,600 to 1,000 cal a BP. Changes on the vegetation structure were not always a response to moisture variability implying that other drivers, such as fire and human activities, affected arboreal cover of the savannas of central Brazil.

**KEYWORDS:** *Cerrado*, central Brazil, wetland, Late Holocene, pollen

## 5.1 - INTRODUCTION

The *Cerrado*, a Neotropical savanna, is the second largest biome of Brazil (Fig. 1), comprising almost one fourth of Brazilian territory. Its heterogeneous ecosystem is composed of several phytophysiognomies, which result from the interaction of topographic, climatic and edaphic factors (Oliveira and Marquis, 2002). The *Cerrado* is characterized by seasonality, with a humid austral summer, more specifically between October and March concentrating almost all of the annual rainfall, and a dry season, during the austral winter, that may last up four to six months between April and September (Henriques, 2005; Oliveira and Marquis 2002). *Cerrado* phytophysiognomies range from humid forests (Gallery and Riparian Forests), through dry woodlands (*Cerradão*) and savannas (*Cerrado sensu stricto*), to grasslands (*Campo Sujo* and *Campo Limpo*) (Henriques, 2005). Several studies have been focused on investigating the driving environmental factors that control the occurrence of each of these phytophysiognomies, that frequently coexist adjacently (Ribeiro and Walter, 2008; Miranda and Sato, 2005; Henriques, 2005; Bastos and Ferreira, 2010; Oliveira and Marquis, 2002). Among these environmental factors, the ones usually considered most important are edaphic conditions (soil nutrients and moisture), relief characteristics, fire, and climatic factors.

Climate, and more specifically precipitation, in the *Cerrado* region is known to have oscillated during the Quaternary, including during the Holocene (Stríkis *et al.*, 2011; Novello *et al.*, 2017). Wet and dry events during the Holocene were described from speleothem records in central Brazil (Stríkis *et al.*, 2011; Wortham *et al.*, 2017) indicating that the Late Holocene (from 4,200 a BP to the present) was punctuated by wet episodes that were shorter but as intense as those that occurred during the Early and Middle Holocene (Stríkis *et al.*, 2011). Each phytophysiognomy of the *Cerrado* has its own optimum development when specific climate conditions are present (Fagundes and Ferreira, 2016; Assis *et al.*, 2011), thus, variations of rainfall amount that occurred in the *Cerrado* possibly led to phytophysiognomy shifts. However, the impact of millennial-scale climate variation on the *Cerrado* physiognomies is still poorly understood (Horák-Terra *et al.*, 2020), and further investigation is needed to understand regional and local climate drivers that have influenced forest-savanna and phytophysiognomy shifts during Late Holocene (Silva, 2014; Ward *et al.*, 2019).

Among the *Cerrado* environments, wetlands are especially sensitive to seasonal variation in humidity availability (Junk *et al.*, 2013) and as such constitute suitable sites to investigate the effects of climate variability on the vegetation. Studies that investigated vegetation changes in the *Cerrado* during Late Holocene are still scarce; besides the pollen records of Lago do Pires (Behling, 1995), Lagoa Santa, (Parizzi *et al.* 1998) and Lagoa dos Olhos (Raczka *et al.*, 2013), all three located in the Atlantic Forest-

*Cerrado* ecotone, other palynological studies carried out in the *Cerrado* present very low resolution for the last four thousand years (i.e. Ledru, 1993; Salgado-Labouriau *et al.*, 1997; Barberi *et al.*, 2000; Cassino and Meyer, 2013; Cassino *et al.*, 2018; Horák-Terra *et al.*, 2020; De Oliveira *et al.*, 2019).

Here, we present a paleoecological study of the Pandeiros wetland (*Pantanal do Pandeiros*), an striking and important wetland of the *Cerrado* due to its large surface area (more than 5000 ha during flood season) and its ecological role in the semi-arid region of northern Minas Gerais State. This paleoecological study that aims to investigate how the vegetation of the Pandeiros wetland evolved during Late Holocene, is based on the palynological and sedimentological analyses of a sediment core collected in a savanna palm swamp (*vereda*), hereafter referred as the *Pandeiros palm swamp*. Thus, in this study, we present the first high-resolution palynological study in the *Cerrado* of central Brazil encompassing the Late Holocene and discuss how the vegetation of the Pandeiros wetlands evolved during the last 4,200 years.

## 5.2 - STUDY AREA

The Pandeiros River Basin constitutes the largest conservation unit in Minas Gerais (the *APA Rio Pandeiros*) and is a key ecological importance for the *Cerrado* conservation in its region (Benthonico, 2009; Nunes *et al.*, 2009). Additionally, this conservation unit forms an ecological corridor with the *Veredas do Peruaçu* State Park to the north and the *Veredas do Acari* Reserve to the south (Dias, 2017). The Pandeiros River is a left margin tributary of the São Francisco River (Fig. 1); in its lower course, the Pandeiros floodplain is characterized by the presence of a wetland that extends from its mouth at the São Francisco River until approximately 30 km upstream (Fig. 1B). Located in a topographic depression, this wetland is composed of several permanently or temporarily flooded ponds. The *Pandeiros* wetland is considered the “nursery” spot of the middle São Francisco River, accounting for almost 70% of the breeding of the downstream São Francisco ichthyofauna (Nunes *et al.*, 2009; Dias, 2017).

The Pandeiros River Basin is located in the sandy Upper Cretaceous rocks of the Urucuia Group, and its lower course is located on limestones and pelitic rocks of the Upper Proterozoic Sete Lagoas Formation. Quaternary sandy alluvial deposits, originating from both the São Francisco and Pandeiros rivers, occur along the drainage depressions. According to Nunes *et al.* (2009), during the Paleogene-Neogene, geomorphological processes led to the removal of the Cretaceous sedimentary rocks and to the exposure of the underlying limestone layers. The soils of Pandeiros River Basin are sandy, poor in nutrients and acids (Nunes *et al.*, 2009; Benthonico, 2009).

The Pandeiros River Basin geomorphological context is located in the São Francisco Depression and surrounded by the São Francisco Plateau (IGA, 2006), which is supported by sandstones of the Urucuia Group. Oliveira *et al.* (2017), propose six geomorphological units with different relief and

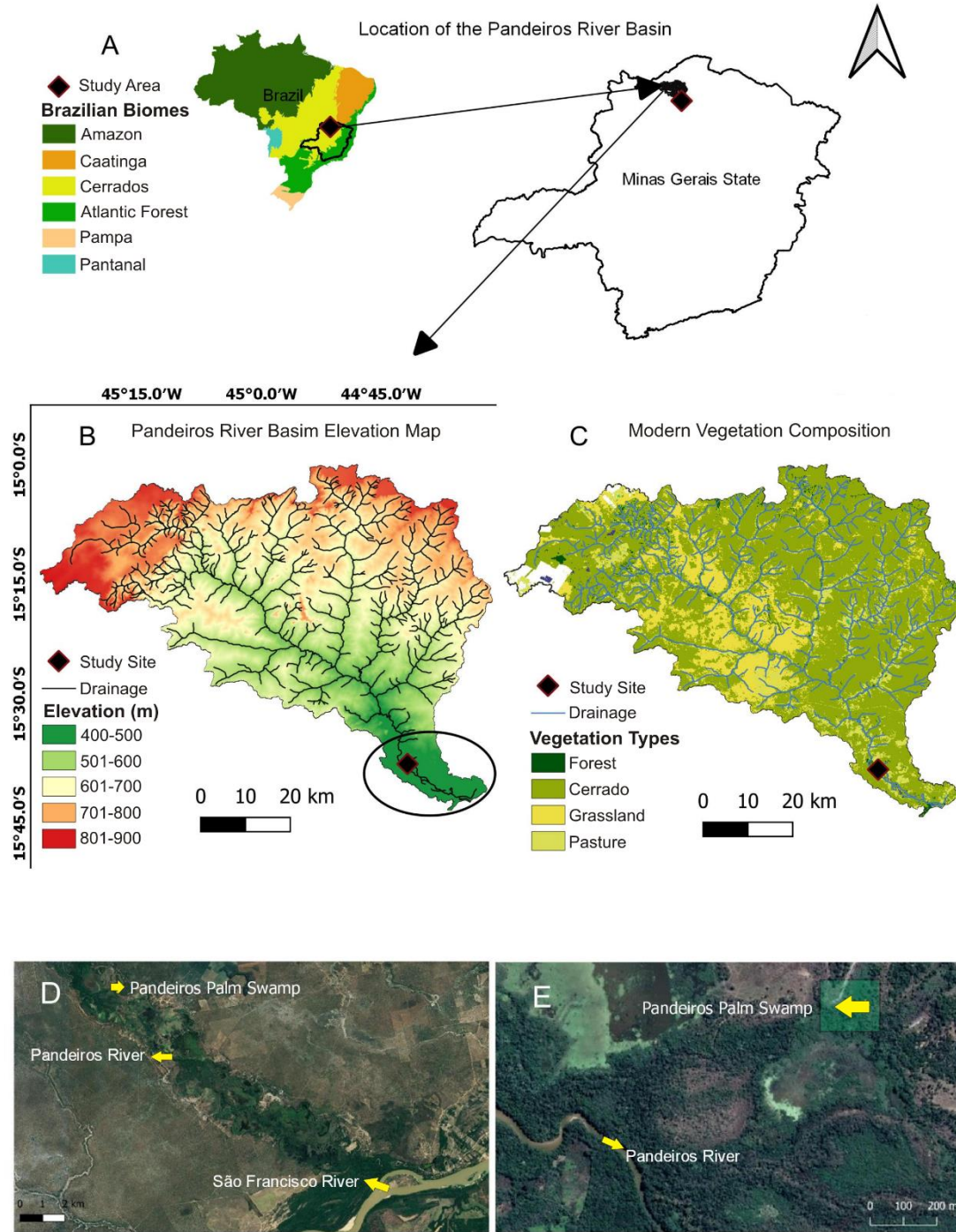
drainage characteristics, showing that the Pandeiros wetland corresponds to the unit with lower lands, with elevations below 500 m, that are characterized by flat hills with gentle slopes and low energy drainages. Within the Pandeiros wetland, the areas between 432 and 442 m elevation constitutes a depression that comprises the mouth of the Pandeiros River and other permanently or periodically flooded areas; the areas between 442 and 455 m, corresponds the most part of the wetland surface and are periodically flooded; while the areas above 455 m are only flooded during extreme flood events (Oliveira *et al.*, 2019).

The climate of the Pandeiros River Basin is classified as Aw (tropical with dry winter) in Köppen's classification (Alvarez *et al.*, 2013), and is characterized by well-defined seasons - dry winters, lasting four to five months, and wet summers. The mean annual precipitation ranging between 900 and 1250 mm (Nunes *et al.*, 2009). The Pandeiros River Basin is located on a transitional area between semi-humid and semi-arid climate (Jardim and Moura, 2017). Specifically, on the Pandeiros wetland, the annual mean precipitation is around 850 mm (Jardim and Moura, 2017). The annual thermal amplitude in the Pandeiros River Basin is between 9°C and 45°C (Nunes *et al.*, 2009), with an annual mean temperature of 26°C, and the warmest period between October and January.

Summer rainfall in the *Cerrado* is mainly controlled by the South American Summer Monsoon (SASM) system (Silva and Kousky, 2012); the monsoon season starts with the formation of convection over northwestern Amazon that progressively extends in direction of southeastern Brazil (Bombardi and Carvalho, 2008). The band of precipitation that extends from western Amazon to the Atlantic Ocean in Southeastern Brazil constitutes the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) that composes with the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) the main features of the SASM system (Vera *et al.*, 2006). Additionally, air masses and macroscale phenomena such as El Niño, La Niña, Solar activity, and warm-cool system in the Pacific Ocean control the annual rainfall variations in the Pandeiros region (Jardim, 2018).

Regarding modern vegetation, the Pandeiros River Basin is located on a transitional area between the biomes *Caatinga* (Brazilian xerophyte forest) and *Cerrado* (Fig. 1A) and shows a singular phytophysionomic mosaic. Most part of the basin is covered by open *Cerrado* (*Cerrado ralo*) or typical *Cerrado* (*Cerrado sensu stricto*) and *Cerrado* Woodland (*Cerradão*), with minor extensions of grasslands (*Campo Limpo*), dry forests (*Mata Seca*), riparian forests (*Mata Ciliar*) and palm swamps (*Veredas*) (Fonseca *et al.*, 2008; Lopes *et al.*, 2010). A floristic survey in the *Cerrado s.s.* formations of the Pandeiros River Basin performed by Sales *et al.* (2009a) indicated Fabaceae, Vochysiaceae, Anacardiaceae, Apocynaceae and Rubiaceae as most diverse families and *Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk, *Vochysia elliptica* (Spr.) Mart., *Qualea multiflora* Mart. and *Qualea grandiflora* Mart. as most common species. In the Dry Forests, another floristic survey, performed by Sales *et al.* (2009b), identified

Fabaceae as the most diverse family, followed by Bignoniaceae and Anacardiaceae. Nunes *et al.* (2009) highlighted *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, *Astronium fraxinifolium* Schott ex Spreng., *Dilodendron bipinnatum* Radlk. and *Myracrodruon urundeuva* Allemão as the most representative species of the Pandeiros Dry Forests. The three last species were also found in floristic surveys of the open *Cerrado* formations (Sales *et al.*, 2009a) and of the riparian forests along the Pandeiros River (Rodrigues *et al.*, 2009). In the riparian forests, the most diverse families were Fabaceae, Myrtaceae, Rubiaceae, Annonaceae and Anacardiaceae, and the most common species were *Astronium fraxinifolium* Schott ex Spreng, *Inga vera* Willd., *Myrcia tomentosa* (Aubl.) DC. and *Tocoyena formosa* (Cham. & Schldl.) K.Schum. (Rodrigues *et al.*, 2009). Finally, a floristic survey of the palm swamps arboreal stratum at the Pandeiros River Basin highlighted the presence of *Mauritia flexuosa* L.f., *Tapirira obtusa* (Benth.) J.D.Mitch and *Zygia latifolia* (L.) Fawc. & Rendle for the well-preserved palm swamps and of *Cecropia pachystachya* Trécul., *Byrsonima* sp. and *Miconia albicans* (Sw.) Triana. on the more disturbed palm swamps.



**Figure 5.1:** Location of the study area. A) Geographical distribution of Brazilian Biomes with the location of Minas Gerais State and of the Pandeiros River Basin. B) Elevation Map of the Pandeiros River Basin with the location of the Pandeiros palm swamp (sampling site). The circle indicates the area occupied by the Pandeiros wetland. C) Vegetation Map of the Pandeiros River Basin (from MapBiomas, 2020). D) Satellite image from GoogleEarth offering a general view of the Pandeiros wetland. E) Satellite image from GoogleEarth with a closer view of the Pandeiros palm swamp location..

The Pandeiros wetland is characterized by the presence of diverse aquatic and semi-aquatic environments such as temporary and perennial lakes, abandoned meanders and oxbow lakes, swamps and palm swamps. These environments allow the development of aquatic vegetation. Privari *et al.* (2013) inventoried 101 aquatic macrophyte species on the flood plains, oxbow lakes, and swamps belonging to the Pandeiros wetland; the most representative families were Cyperaceae, Poaceae, Asteraceae, Fabaceae, Plantaginaceae, Pontederiaceae, Alismataceae, Onagraceae and Rubiaceae, among which the most diverse genera were *Bacopa*, *Cyperus*, *Ludwigia*, *Borreria*, *Echinodorus* and *Polygonum*.

Our study was conducted in the Pandeiros palm swamp, located at 15°37'31"S 44°41'46.30"W, 446 m elevation, within the periodically flooded area of the Pandeiros wetland. The Buriti (*Mauritia flexuosa*) palm swamps develop in poorly drained soils (Ribeiro and Walter 2008) and constitute a distinctive feature of the *Cerrado* landscape. According to Ribeiro and Walter (2008), palm swamps are composed of three zones distinguished by soil topography and drainage: the “central zone”, where the soil is water-saturated and the *Buritis* grow; the “middle zone”, with humid soil and resembling a grassland; and the “border zone” that has well-drained soil and constitutes the transition into the surrounding vegetation. Each zone has its own floristic composition (Ribeiro and Walter 2008). Palm swamps have an important role in the maintenance of the *Cerrado* fauna (Rull and Montoya, 2014; Dias, 2017) and in the hydrological cycle of this biome (Ribeiro and Walter 2008).

## 5.3 - MATERIAL AND METHODS

### 5.3.1 - Sampling and laboratory methods

A 150 cm sediment core was collected in the central zone of the Pandeiros palm swamp with a Russian corer, stored in plastic tubes and kept under refrigeration at the Geology Department of the Federal University of Ouro Preto. Three samples, collected at depths 148, 75 and 21 cm, underwent radiocarbon dating by Accelerator Mass Spectrometry (AMS) at the Scottish Universities Environmental Research Center (SUERC - Glasgow, UK) and a fourth sample, taken at 111 cm, was dated at DirectAMS (Washington, USA).

For pollen analysis, 1-cm<sup>3</sup> samples were taken at 5-cm intervals throughout the core, excluding the top 10 cm that were not used due to sediment disturbance. For pollen extraction, standard laboratory methods, as described by Ybert (1992) and Salgado-Labouriau (2007), were used: samples were treated with HCl, HF, KOH and acetolysis. Successive 10-minutes KOH baths were necessary because of the high organic-matter content (cf. Sabino *et al.*, 2019). Before chemical treatments, a tablet of *Lycopodium*



*clavatum* spores (Batch 3862) was added to each sample for pollen concentration calculation, following the method of Stockmarr (1971).

Pollen identification was based on available pollen catalogs and pollen morphology studies (e.g. Salgado-Labouriau, 1973; Cassino, 2014; Cassino and Meyer 2013; Lorente *et al.*, 2017; Leonhardt and Lorscheitter, 2008; Bush and Weng, 2006; RCPol, 2020). Pollen, spores and the exotic marker *Lycopodium clavatum* were counted on each slide until a ~300-pollen sum was reached. Samples of the bottom of the core, below 125-cm-depth, were sterile for pollen; for sample at 105-cm-depth, pollen concentration was low, and the 300-pollen sum was not achieved (around 150 pollen were counted in this sample). Occurrence of Cladocera fragments and Algae zygospores was also registered but not analyzed quantitatively.

For the grain-size analysis, the core was divided in eight samples of approximately 15-cm-thick, provided that layers that were visually different were not mixed together in one sample. Samples were submitted to the *Total Dispersion* method (EMBRAPA, 1997) for determination of relative abundances of different granulometric classes (coarse sand, fine sand, silt, clay). For determination of organic matter content, sixteen samples of approximately 10-cm-thick were submitted to *Loss-on-Ignition* analysis (Dean, 1974). Total Dispersion and Loss-on-Ignition were performed at the Geomorphology Laboratory of the Federal University of Minas Gerais and at the Geochemical Laboratory of the Federal University of Ouro Preto, respectively.

### 5.3.2 Data analysis and presentation

For the paleoecological interpretation, a pollen percentage diagram was plotted with C2 software (Juggins, 2007). Pollen types were grouped according to the phytophysiognomy in which they are most common, following the *Cerrado* plant list of Mendonça *et al.* (2008), data from Flora do Brasil (2020), and floristic surveys conducted at the Pandeiros region (Rodrigues *et al.*, 2009; Sales *et al.*, 2009a; Sales *et al.*, 2009b). The total pollen concentration was calculated for each sample based on the counts of the exotic marker *Lycopodium clavatum*, and a total pollen concentration curve was plotted within the pollen diagram. A cluster analysis was used to define pollen zones; all pollen taxa were included in the cluster analysis that was performed with packages *Vegan* (Oksanen *et al.*, 2017) and *Rioja* (Juggins, 2017) on software *R* using the Bray-Curtis dissimilarity index and the agglomeration method Coniss. The four radiocarbon dates were calibrated with the SHcal13 curve (Hogg *et al.*, 2013) and an age-depth model for the Pandeiros palm swamp core was built using *BACON* (v2.3.9.1) (Blaauw and Christen, 2011).

## 5.4 - RESULTS

### 5.4.1 - Core sedimentology and chronology

Sedimentological analyses indicated two phases of sedimentation for the Pandeiros palm swamp record: from the bottom of the core, at 150-cm-depth, up to 117-cm-depth, the sediment is predominantly composed of coarse (max. 47%) and fine sand (max. 37%), and from 116-cm-depth up to the top, organic matter predominates in the sediment composition (Figs. 2 and 5).

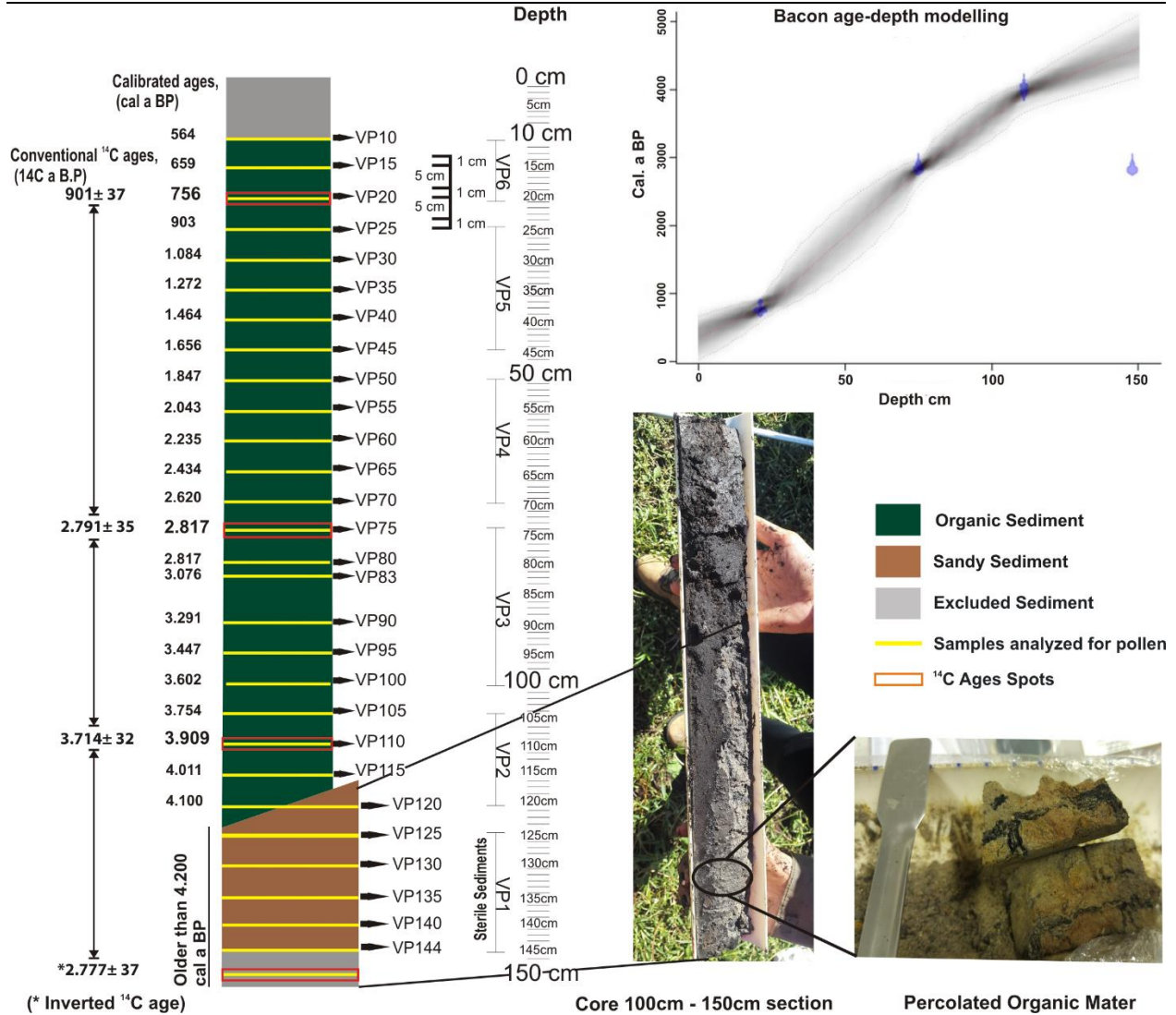
**Table 1:** Radiocarbon dates of the Pandeiros palm swamp record.

Laboratory Code	Depth (cm)	Conventional Radiocarbon Age ( $^{14}\text{C}$ a BP)	$2\sigma$ Calibrated Age Interval (cal a BP)	Material
SUERC-84447	20-21	901 $\pm$ 37	681 - 902	Plants Remains
SUERC-84447	74-75	2,791 $\pm$ 35	2,764 - 2,943	Plants Remains
D-AMS037642	110-111	3,714 $\pm$ 32	3,890 - 4,143	Bulk Carbon
SUERC-83389	147-148	2,777 $\pm$ 37	2,756 - 2,925	Plants Remains

Radiocarbon dating of the core yielded an inverted age at the bottom of the core (Table 1, Fig. 2), that was around 1,000 years younger than the overlying radiocarbon date. This inverted age was obtained from the sandy bottom part of the core in which signs of organic matter percolation were observed (Fig. 2). Percolation of water with small plant remains through this sandy layer probably explains the age inversion (Scheel-Ybert, 1999; Becker-Heidmann and Scharpenseel, 1992). The three other ages, used in the age-depth model (Fig. 2), indicate that the organic sediments were deposited during the Late Holocene (Table 1, Fig. 2).

### 5.4.2 - Pollen analysis

The cluster analysis (Fig. 4) identified five pollen zones, named VP2 to VP6 (Figs. 3 and 4); pollen zone VP1 includes the sterile or low pollen concentration samples from the bottom core that were not included in the cluster analysis (Figs. 2, 3 and 4).



**Figure 5.2:** Schematic representation of the Pandeiros palm swamp core, with indication of sediment composition, radiocarbon and calibrated ages, and position of samples analyzed for pollen. The Bacon age-depth model is also presented.

***Pollen Zone VP1 – 144 to 125cm, 5 samples.***

Pollen zone VP1 was deposited before *ca.* 4,200 cal a BP and is characterized by the presence of sterile samples or with low concentration of pollen grains (Figs. 3 and 4). In this zone, sediments are predominantly sandy (Figs. 2 and 5), with silt and clay fractions representing 6% and 10%, respectively, and with low organic matter concentration (max. 2%). At the top of the zone (Fig. 5), small pollen concentrations indicate the presence of herbaceous taxa associated with humid environments, such as *Cyperaceae*, *Sagittaria*, *Amaranthus* and *Blechnum* spores (Figs. 3 and 4). Pollen of *Poaceae* (2%),

Mimosoideae (4%), *Astronium* (2%) and *Euphorbia* sp.2 (2%) are also present.

This pollen zone represents a high-energy sedimentation, with low preservation of organic matter. As the concentration of pollen grains is very low, it is not possible to make inferences about the paleo-vegetation.

#### ***Pollen Zone VP2 – 120 to 105cm, 4 samples***

Pollen zone VP2 covers the period from *ca.* 4,100 to 3,700 cal a BP. In this portion of the core, there is a progressive decrease of coarse and fine sand and, from 3,900 cal a BP, a significant increase in organic matter concentration, reaching 50%. In VP2, the frequency of the group “Wetlands, *Veredas*” fluctuates but remains high throughout the zone (max. 85.4%) (Fig. 5) mainly due to high Cyperaceae frequencies (Fig. 3). At the zone top, the first and highest peak of *Mauritia flexuosa* frequency (max. 7.6%) occurs. *Amaranthus*, whose abundance throughout the core generally follows *M. flexuosa* frequency (Fig. 3), occurs at the base and at the top of the pollen zone (max. 8.9%). Frequencies of Poaceae (max. 11.6%) and *Euphorbia* (max. 3.6%) are relatively low.

The group of “Cerrado s.s.” presents in zone VP2 its highest frequency in the core (max. 4.8%) (Fig. 5), mainly due to the occurrence of *Borreria*-Type (Fig. 4). “Cerrado Woodlands/Dry Forests” taxa reach relatively high frequencies (max. 4.7%) in this pollen zone, while “Gallery Forests” (max. 1%), “Forest” (max. 0.35%) and “Cerrado + Forest” (0.7%) groups show low frequencies. Among the arboreal taxa, high frequencies of *Astronium* (max. 5.7%) and occurrences of *Dilodendron* (max. 1.35%), Apocynaceae (max. 0.7%), *Casearia* (max. 0.35 %), and *Pseudobombax* (max. 0.7%) are highlighted.

The decrease in particle size and the beginning of organic matter preservation in this pollen zone indicate a transition from a high-energy environment to a low-energy sedimentation, suggesting the establishment of the palm swamp, what is corroborated by the occurrence of *M. flexuosa* pollen. The pollen spectra described for this zone suggests that around the Pandeiros palm swamp, *Cerrado* Woodlands, Dry Forests and open *Cerrado* predominated.

#### ***Pollen Zone VP3 – 100 to 75 cm, 6 samples***

Pollen zone VP3 range between *ca.* 3,600 and 2,800 cal a BP. In VP3, sandy sediment continues to decrease and disappears after *ca.* 3,200 cal a BP, while a new increase in organic matter concentration occurs. Cladocera fragments are recorded in some samples. This pollen zone stands out for its very low frequencies of *M. flexuosa* (Fig. 3) and absence of *Amaranthus*. Among the aquatic taxa, *Polygonum* (max. 1.5%) and *Ludwigia* (max. 2%) are recorded mainly at the zone bottom, and at the zone top, around 2,900 cal a BP, wetland taxa other than Cyperaceae are virtually absent.

This zone presents the first major increase in Poaceae frequency (max. 15%), which then tends to decrease towards the zone top. Comparing to zone VP2, there is an increase in the frequencies of “Forests” (max. 1.35%) and “Cerrado Woodlands/Dry Forests” (max. 6%) and a decrease in “Cerrado s.s.” (max. 0.7%) (Fig. 5). Among “Cerrado Woodlands/Dry Forests” taxa, *Astronium* (max. 5%) is still the most abundant and *Anadenanthera* (max. 1%) is present; in the “Forests” group, *Dilodendron* (max. 1.4%), *Myroxylon* (max. 0.4%), and *Heliocarpus* (max. 0.3%) occur, while the “Cerrado s.s.” group registers the only occurrence of *Caryocar* (max. 0.3%) of the core. However, at the top of the zone, around 2,900 cal a BP, there is a general decrease of arboreal taxa, only *Astronium* remains present.

Sedimentological and pollen content described for this zone indicate the permanence of a low-energy depositional environment that allowed organic matter preservation, but without the presence of the palm *M. flexuosa*, possibly a marsh or shallow temporary lake. At the top of the zone, around 2,900 cal a BP, there are signs of reduced humidity, indicated by the coeval absence of aquatic plants and *M. flexuosa*. Regarding the phytophysiognomies around the depositional site, an increase of the arboreal and forest cover compared to the previous zone characterizes this zone between 3,600 and 3,000 cal a BP, followed by a replacement of forests by open *Cerrado* at around 2,900 cal a BP

#### ***Pollen Zone VP4 – 70 to 50cm, 5 samples***

The VP4 pollen zone starts at *ca.* 2,600 cal a BP and ends at *ca.* 1,800 cal a BP. In this zone, there is a significant oscillation in pollen concentration: while during zones VP2 and VP3 pollen concentration remains low and relatively steady, in VP4 a maximum value (600,000 grains/cm<sup>3</sup>) is reached around 2,400 cal a BP, and then, around 2,000 cal a BP, it drops back to around 45,000 grains/cm<sup>3</sup> (Fig. 5). Cladocera fragments and algae spores were found at the zone bottom.

This pollen zone stands out on the diagram for showing a decrease of the frequencies of all ecological groups except “Several Environments” and “Grasslands” (Fig. 5). Gallery Forest taxa disappear in samples from *ca.* 2,400 cal a BP and *ca.* 2,000 cal a BP and show low frequencies (max. 0.8%) in the other samples. It is noteworthy that this zone contains the only record of *Podocarpus* of the core (Fig. 4). For the “Cerrado s.s.” group, Apocynaceae (max. 0.3%) and *Borreria*-Type (max. 1.3%) occur alternately with low frequencies.

The frequency of *Astronium*, which is the most abundant arboreal taxa in the core, shows a significant decrease (min. 0.3%) in this zone. No record of “Forests” taxa was found in this zone.

The pollen spectra described for this pollen zone indicate, on the one hand, the resettlement of the Pandeiros palm swamp and, on the other hand, a decrease in the arboreal vegetation cover and the expansion of open *Cerrado* and grasslands.

### ***Pollen Zone VP5 – 45 to 25cm, 5 samples***

Pollen zone VP5 ranges from *ca.* 1,600 to 900 cal a BP. In this zone, *Amaranthus* disappears and *M. flexuosa* frequency drops from its peak at the end of VP4 to very low values (max. 0.7%) at the bottom of VP5, and then disappears around 1,100 cal a BP (Fig. 3). However, aquatic taxa such as *Echinodorus* (max. 3%) and *Polygonum* (max. 3%) have their highest frequencies on the bottom of this zone, along with occurrences of *Sagittaria* (max. 1.7%), *Ludwigia* (max. 0.7%) and *Utricularia* (max. 0.3%). These taxa disappear at the top of the zone (*ca.* 900 cal a BP) while an increase in Cyperaceae (max 73.54%) is observed (Fig. 3).

“Gallery Forests” (max. 2.3%) and “Forests” (max. 1%) are relatively abundant in this zone (Fig.5), with *Begonia* (0.33%) and *Dilodendron* (0, 98%) (Fig. 4) as most representative taxa, respectively. “Cerrado s. s.” frequency shows an increase (max. 2%) (Fig. 5) at the bottom part of the zone, due to the highest Apocynaceae frequencies observed throughout the core (1.3%) (Fig. 4). There is also an increase of “Grasslands” (max. 14.3%) (Fig. 5) at the zone bottom because of high *Gomphrena* (max. 13.6%) frequencies (Fig. 3). The highest peak of Asteraceae (max. 32.7%) and relatively high Mimosoideae frequencies (max. 1.3%) are also noteworthy features of zone VP5 (Fig. 3). The “Cerrado Woodland/Dry forest” curve shows high values between 1,600 cal aBP and 1,500 cal a BP, still with *Astronium* (max. 4.7%) as its main representative.

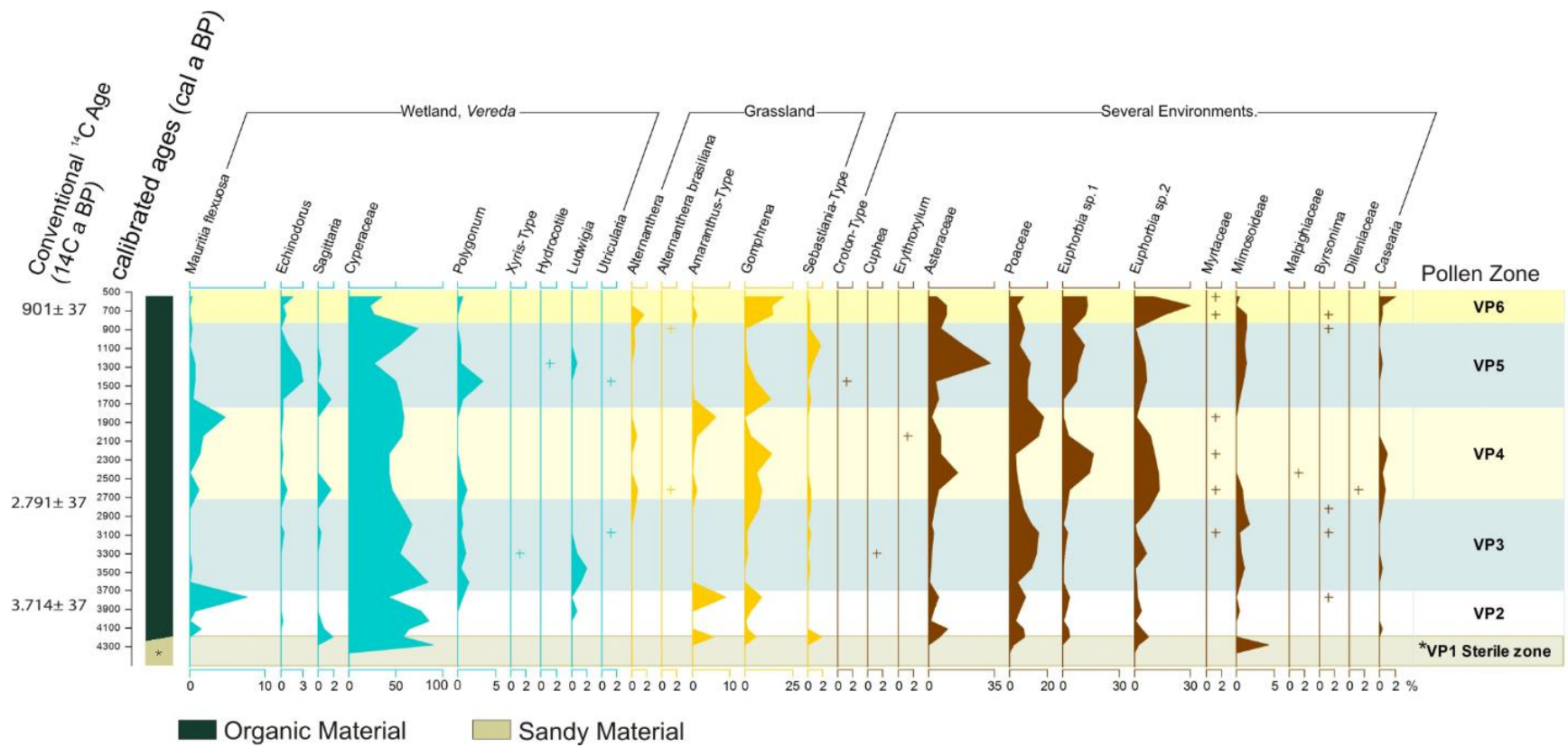
Spores are virtually absent in this zone (Fig. 4). Another feature of this pollen zone is the high pollen concentration (max. 400,000 grains/cm<sup>3</sup>) and reappearance of both Cladocera fragments and algae zygospores between *ca.* 1,600 and 1,400 cal a BP.

Pollen spectra described for VP5 indicate a retraction of the palm swamp that is replaced by an aquatic or swampy environment, such as a temporary shallow lake. At the zone top, around 900 cal a BP, aquatic taxa disappear, suggesting that the shallow lake dried out. Regarding the vegetation, this pollen zone indicates an increase of arboreal vegetation in relation to open formations, when compared to the previous zone.

### ***Pollen Zone VP6 – 20 to 10cm, 3 samples***

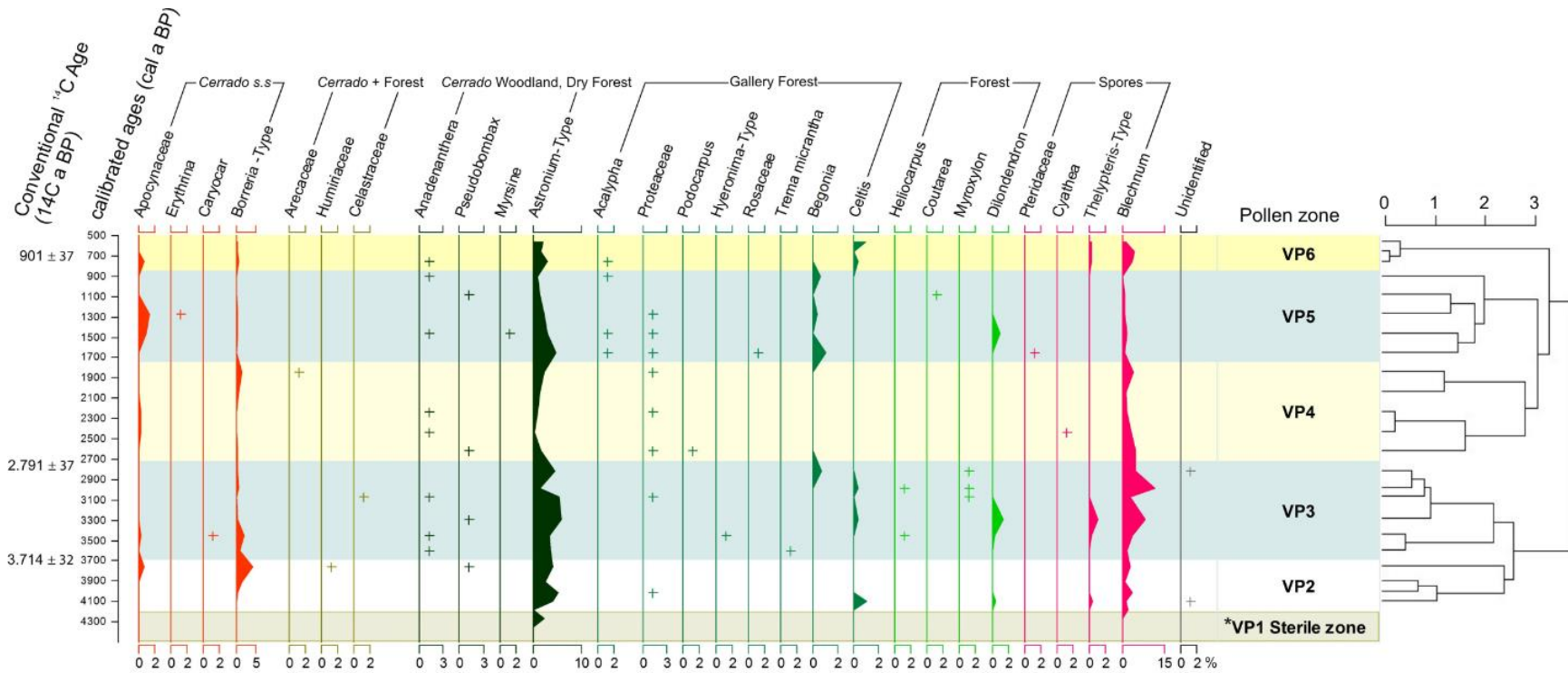
VP6 represents the most recent sediment of the core, deposited between *ca.* 750 and 550 cal a BP. In this zone, Cladocera fragments are recorded at the bottom and algae zygospores at the top. *M. flexuosa* disappears between *ca.* 750 and 600 cal a BP, and is registered with low frequency at the top sample, around 550 cal a BP. Among aquatic and swamp taxa, Cyperaceae (max. 27%), *Polygonum* (max. 0.3%)

and *Echinodorus* (max. 0.65%) are present but with generally low frequencies (Fig. 3). The zone is also marked by the maximum abundance of “Grasslands” taxa (max. 20.3%) (Fig. 5), with *Gomphrena* as the most significant taxon (max. 20.3%). “Several Environments” group also shows high frequency at the zone top (max. 57%), with *Euphorbia* sp.2 (max. 29.8), *Euphorbia* sp.1 (max. 13.3%), Asteraceae (max. 9.80%) and Poaceae (max. 7.3%), as most abundant taxa. The other ecological groups show generally low frequencies in this zone.

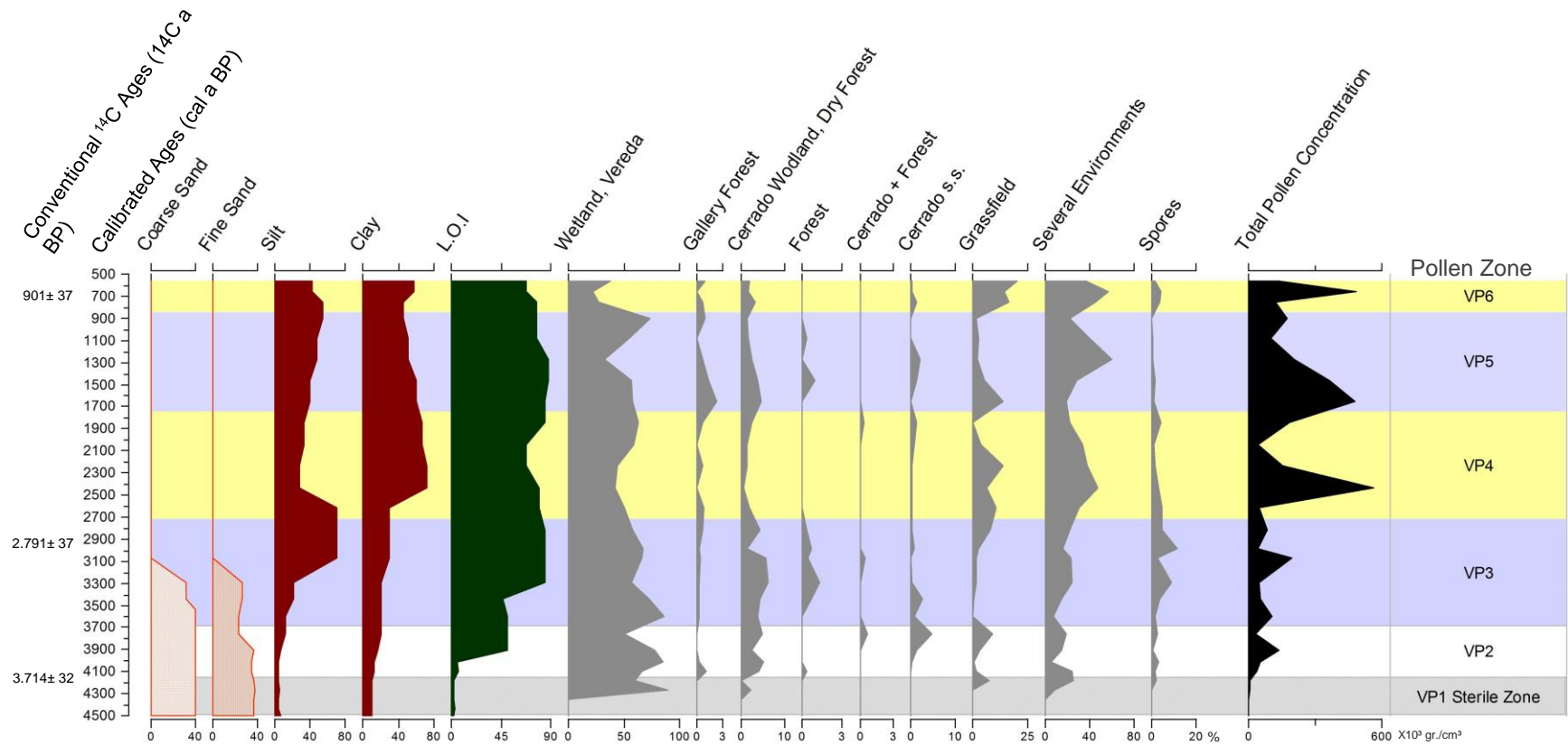


**Figure 5.3:** Pollen percentage diagram of the Pandeiros palm swamp plotted against ages, showing the frequency of Wetland/*Vereda*, Grassland and Several Environments groups. The Core scheme, pollen zones, and the radiocarbon ages are also shown.





**Figure 5.4:** Pollen percentage diagram of the Pandeiros palm swamp plotted against ages, showing the frequency of *Cerrado s.s.*, *Cerrado+Forest*, *Cerrado Woodland/Dry Forest*, *Forest* and *Spores* groups. The cluster dendrogram and pollen zones are also shown.



**Figure 5.5:** Summary diagram for the Pandeiros palm swamp record presenting curves of sediment and organic matter variability, pollen groups frequencies and total pollen concentration.

The pollen content of VP6 is consistent with the presence of a swampy environment surrounded by an open *Cerrado* vegetation with low arboreal cover.

## 5.5 - DISCUSSION

### 5.5.1 - Paleoeological interpretation of the Pandeiros palm swamp record

The Pandeiros record indicates a first phase of deposition, prior to *ca.* 4,200 cal a BP, characterized by clastic sediment input (coarse and fine sand, silt and clay). A sedimentological study conducted by Neves *et al.* (2015) in the palm swamps of northern Minas Gerais State, close to the Pandeiros River Basin, identified that sediment remobilization through the hillsides by superficial flows is the main source of clastic sediment input in the palm swamps, which the authors characterized as lentic environments in which organic matter is incorporated to the allochthonous sediments. Therefore, the occurrence of sandy sediment at the bottom of the Pandeiros palm swamp core can be interpreted as a result of the erosion of its hillsides and uplands of the Pandeiros River Basin during intense rainfall events.

Between *ca.* 4,100 and 3,700 cal a BP, the transition into organic sediments indicates a change into a lower-energy lentic environment with lower rates of erosion. This change in sedimentation favored the growth of *M. flexuosa* and other swampy taxa characterizing the establishment of the Pandeiros palm swamp. Studies of the modern vegetation of the Pandeiros wetland such as Barbosa (2010) and Pivari *et al.* (2013), show that macrophytes and *M. flexuosa* are ubiquitous in the palm swamps of the Pandeiros River Basin, although their abundance and diversity varies according to the degree of environment disturbance. Furthermore, a survey of the pollen signature of *M. flexuosa* in South America, presented by Rull and Montoya (2014), shows that pollen grains of this species have low mobility and are usually deposited very close to where the palms are growing. This low pollen mobility was also documented by pollen analysis of surface samples collected in the *Cerrado*: *M. flexuosa* pollen were only detected with significant frequencies in the samples collected in the central zone of palm swamps (Cassino *et al.*, 2015). Considering these studies, we can infer that a palm swamp was present at the study site since 4,100 cal a BP.

From 3,600 to 3,100 cal a BP, the disappearance of *M. flexuosa* and presence of taxa such as *Ludwigia*, *Polygonum* and other aquatic plants, along with the increase in organic matter content, suggest the occurrence of humid conditions and the formation of a marsh. According to Carvalho (1991) and Rodrigues *et al.* (2009), *Polygonum* and *Ludwigia* are indicators of a swampy environment, similar to the environments described by Barbosa (2010) and Pivari *et al.* (2013) on the Pandeiros wetland. The presence of Cladocera fragments, arthropods that are usually related to fresh-water environments (Simões *et al.*, 2011), in sample VP90 (around 3,200 cal a BP) also supports the occurrence of a marsh.

Regarding the vegetation, between 3,600 and 3,100 cal a BP, concomitant to the formation of the marsh, our results suggest that there was an increase of dry forest formations and respective decrease of grasslands at the Pandeiros River Basin. Bueno *et al.* (2018), in a study that analyses a large dataset of tree species inventories of the *Cerrado* biome, demonstrated that open *Cerrado* (*Cerrado s.s.*) is usually associated with a high flammability index, whereas Dry Forests are associated to nutrient-rich soils and moist forests (evergreen and semi-deciduous) are linked to high water availability. Therefore, the observed transition into a more forested landscape, predominantly with Dry Forest trees, could have resulted from lower flammability, i.e. lower fire frequency. Other studies, such as Coutinho (1990) and Durigan and Ratter (2016), that discuss the influence of fire frequency on the *Cerrado* vegetation, have also pointed out how low fire frequency, or its absence, can engender the transformation of open savannas into forests. Another hypothesis that can explain the increase of arboreal cover is an increase in soil water availability; for example, Assis *et al.* (2011) demonstrated that, at a local scale, water availability is the main factor that control gradient from *Cerrado s.s.* to *Cerrado* woodlands.

At around 2,900 to 2,800 cal a BP, the marsh disappears and Forests and Dry Forests decrease while there is an expansion of grasslands. These events suggest that during this period, the region was submitted to reduced humidity and higher water stress. This interpretation is supported by the study of Bahia (2011), which showed that, nowadays, water stress in soils causes changes in the structure of plant populations and engenders the expansion of grasslands over palm swamps in the Pandeiros wetland. This dry period would have lasted approximately 200 years, causing the disappearance of the marsh.

Around 2,600 cal a BP, the palm swamp reappears as well as Cladocera fragments, indicating the return of local humidity. Except for a retraction around 2,400 cal a BP, the Pandeiros palm swamp expands until around 1,900 cal a BP. At the same time, this period between 2,600 and 1,900 cal a BP is characterized by the continuing decline of arboreal and forests cover and by grasslands expansion. The presence of the unique *Podocarpus* occurrence of the core in this zone is concordant with the presence of large extensions of grasslands. In fact, observations of pollen spectra of *Cerrado* surface samples (Cassino *et al.*, 2015) showed that small quantities of the wind-dispersed *Podocarpus* pollen are usually found in samples collected on grasslands because these open areas receive larger amounts of long-distance pollen than denser savanna vegetation. The environmental factors driving the grassland expansion may be related to higher fire frequency and/or lower soil water availability, as previously discussed.

In the next phase, which starts at around 1,600 cal a BP, the palm swamp is again replaced by a marsh or swamp, as indicated by the sharp decrease of *M. flexuosa* and presence of aquatic plants such as *Echinodorus*, *Polygonum*, *Sagittaria* and *Ludwigia*. The family Alismataceae (*Echinodorus* and *Sagittaria*) is in fact associated by several studies on the Pandeiros wetland (Barbosa, 2010; Pivari *et*

*al.*, 2013), and by Araújo *et al.* (2002) in the *Triângulo Mineiro* region, to flooded areas of the *Cerrado* biome. At around 900 cal a BP, our data indicate that the marsh dried up as all humidity-related taxa disappeared.

**Table 2:** Summary of the environmental changes interpreted from the Pandeiros palm swamp record with most representative taxa of each phase.

Pollen zone	Age (cal a BP)	Data			Interpretation	
		Local taxa	Regional taxa	Sediment	Local environment	Vegetation
VP1	Before 4,200	-	-	Sandy	Valley prone to hillsides erosion while depositional process occurs on the lowlands	-
VP2	4,100 to 3,700	<i>Mauritia flexuosa</i>	<i>Astronium</i> , <i>Borreria</i>	Transition from sandy to organic sediment	Palm swamp	Mosaic of <i>Cerrado</i> Woodlands, Dry Forests and open <i>Cerrado</i>
VP3	3,600 to 3,100	<i>Ludwigia</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Echinodorus</i> , <i>Sagittaria</i> , Cladocera	<i>Astronium</i> , <i>Anadenanthera</i> , <i>Dilodendron</i> , <i>Celtis</i>	Organic sediment	Marsh	Higher proportion of forests (mainly Dry Forests) and arboreal cover
	2,900 to 2,800	Absence of significant water-related taxa	<i>Gomphrena</i> , <i>Euphorbia</i>		Dry valley	Open <i>Cerrado</i>
VP4	2,600 to 1,800	<i>Mauritia flexuosa</i>	<i>Gomphrena</i> , <i>Euphorbia</i> , Asteraceae		Palm swamp (except around 2,400)	Open <i>Cerrado</i> and grasslands
VP5	1,600 to 1000	<i>Echinodorus</i> , <i>Polygonum</i>	<i>Astronium</i> , <i>Anadenanthera</i> , Mimosoideae, Asteraceae, <i>Sebastiania</i>		Swamp	Mosaic of <i>Cerrado</i> Woodlands, Dry Forests and open <i>Cerrado</i>
	Approximately 900	Absence of significant water-related taxa	Cyperaceae		Dry valley	-
VP6	750 to 550	<i>Echinodorus</i>	<i>Alternanthera</i> , <i>Gomphrena</i> , <i>Euphorbia</i>		Humid soil	Predominance of open <i>Cerrado</i> , and patches of <i>Cerrado</i> Woodland

During the 1,600 to 1,000 cal a BP period, arboreal cover shows an increase but grasslands and open *Cerrado* are still abundant. The near absence of spores is an evidence of predominance of open vegetation close to the marsh. Closer canopy and consequent lower sunlight incidence are associated by Carvalho (1991) to the development of mosses and ferns in *Cerrado* palm swamps; thus, their absence could be due to higher incidence of sunlight in a more open environment.

The most recent phase of the core, encompassing 200 yrs between around 750 and 550 cal a BP, is characterized by the increase of grasslands. Humidity-related taxa show a slight recovery compared to the 900 cal a BP drying event but remain relatively low. This suggests that the Pandeiros palm swamp site was humid but did not form a permanent swamp as interpreted for previous phases (Fig. 5 and 6). This condition resembles the modern one, where few *M. flexuosa* palms grow at the site and water table only rises close to the surface during the rainy season. Therefore, from 750 cal a BP, a climate similar to the modern one, in which the dry season lasts 4 to 6 months and annual mean precipitation is close to 850 mm (Jardim and Moura, 2017), prevailed on the Pandeiros wetland.

## 5.6 COMPARISON WITH OTHER PALEO-ECOLOGICAL RECORDS

Our study of the Pandeiros palm swamp demonstrated that during the Late Holocene centennial-scale events of alternately high and low water availability influenced the water-related vegetation of the Pandeiros wetlands (Table 2). Some of these events can be linked to the centennial-scale events of rainfall variability described for central-Brazil by Stríkis *et al.* (2011) based on the  $\delta^{18}\text{O}$  record of Lapa Grande cave. For instance, wet events centered around 2,700 and 1,900 cal a BP that are described by Stríkis *et al.* (2011) can be respectively related to the onset of the palm swamp recovery at the base of pollen zone VP4 and to an expansion of *M. flexuosa* at the end of this pollen zone (Table 2, Fig. 3). However, other Pandeiros events of water variability do not coincide with the Lapa Grande events, indicating that mechanisms other than the intensity of the monsoon in northern Minas Gerais State influenced the Pandeiros wetlands water dynamics during Late Holocene.

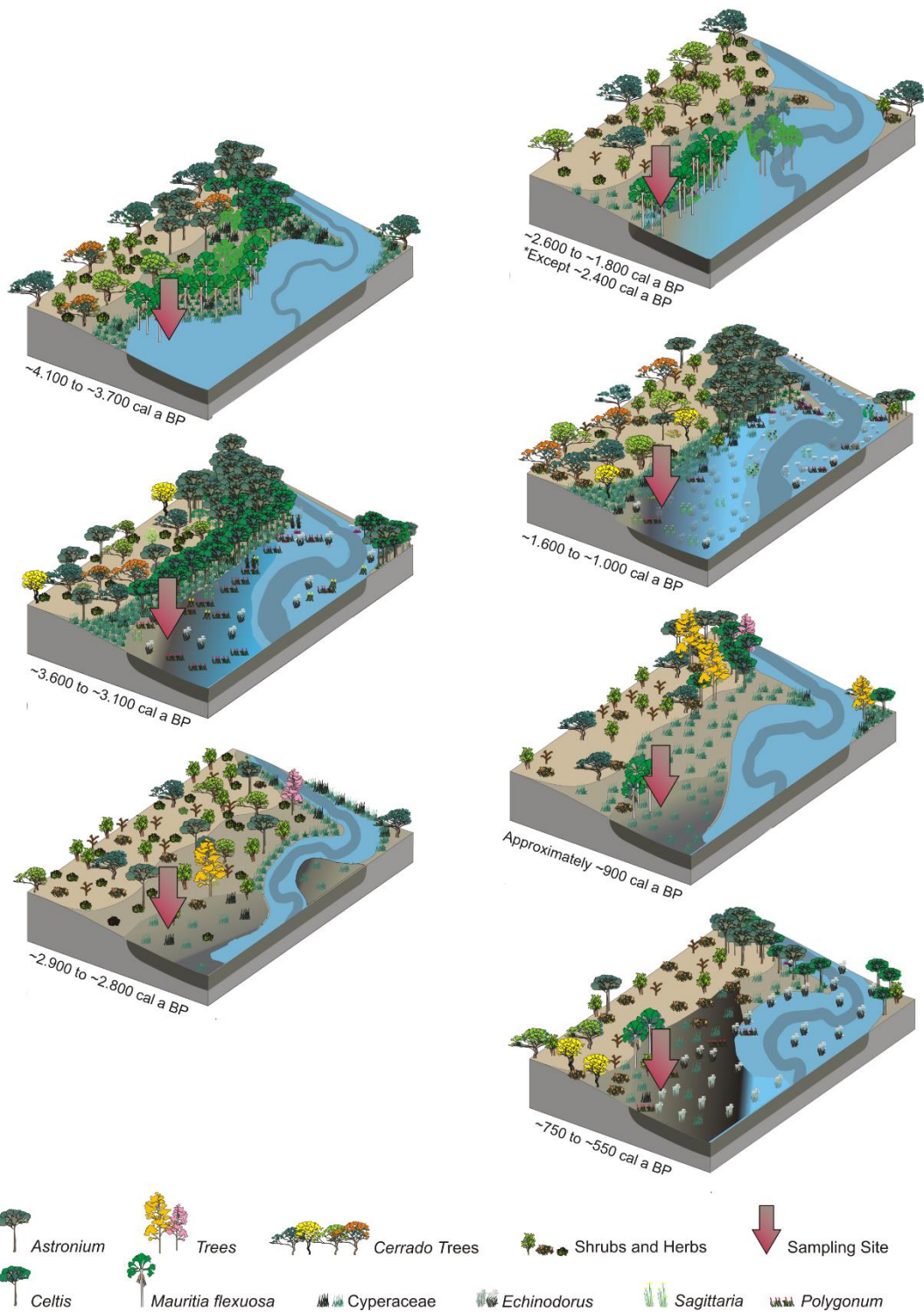
Regarding general vegetation trends, the Pandeiros record indicates that from the beginning of Late Holocene to around 3,100 cal a BP forest phytophysiognomies were generally more abundant at the Pandeiros wetland (Fig. 6) than in the subsequent 3,000 yrs. The same trend of decreasing forest cover during the Late Holocene is observed in other paleovegetation record, although with different onset timings. For instance, in Bahia State, the expansion of *Caatinga* and *Cerrado* taxa over Gallery Forests is reported by De Oliveira *et al.* (1999) at the Icatu River, also a São Francisco River tributary, from around 4,500 cal a BP to the present. In northern Minas Gerais State, the pollen records of the São José (Cassino *et al.* 2018) and Laçador (Cassino and Meyer, 2013) palm swamps, respectively located

160 and 250 km south of the Pandeiros palm swamp, also show a trend of decreasing arboreal cover during Late Holocene. In contrast, in the southern portion of Minas Gerais State, other records such as Salitre (Ledru, 1993), Lago do Pires (Behling, 1995), Lagoa Santa (Parizzi *et al.*, 1998) and Turfeira Pinheiros (Horák-Terra *et al.*, 2020) indicate a trend of increasing arboreal cover during the Late Holocene, in opposition to the described trend for northern sites.

The Pandeiros palm swamp record thus confirms this opposite vegetation trend between southeastern and central Brazil that was already suggested by the São José (Cassino *et al.* 2018) and Laçador (Cassino and Meyer, 2013) records. However, the Pandeiros record, with its higher resolution during Late Holocene, provides a much more detailed picture of the phytophysiognomic changes. Firstly, the Pandeiros record shows that although there was a general trend of decreasing arboreal formations, this trend was not continuous and there was at least one phase of relative recovery of the arboreal phytophysiognomies from around 1,600 to 1,000 cal a BP. Also, the Pandeiros record suggests that the arboreal vegetation changes were not necessarily dictated by the water-availability oscillation; for instance, the phase of expansion of the palm swamp from around 2,400 to 1,800 cal a BP, which indicates high water-availability, coincides with a phase of grasslands predominance.

The Pandeiros palm swamp record thus confirms this opposite vegetation trend between southeastern and central Brazil that was already suggested by the São José (Cassino *et al.* 2018) and Laçador (Cassino and Meyer, 2013) records. However, the Pandeiros record, with its higher resolution during Late Holocene, provides a much more detailed picture of the phytophysiognomic changes. Firstly, the Pandeiros record shows that although there was a general trend of decreasing arboreal formations, this trend was not continuous and there was at least one phase of relative recovery of the arboreal phytophysiognomies from around 1,600 to 1,000 cal a BP. Also, the Pandeiros record suggests that the arboreal vegetation changes were not necessarily dictated by the water-availability oscillation; for instance, the phase of expansion of the palm swamp from around 2,400 to 1,800 cal a BP, which indicates high water-availability, coincides with a phase of grasslands predominance.





**Figure 5.6:** Schematic representation of the Palm Swamp Pandeiros through the Late Holocene, showing the vegetation changes and local water availability.

## 5.7 - CONCLUSIONS

The study of the Pandeiros palm swamp record allowed the investigation of two aspects of the Pandeiros wetland vegetation: the first one, the variations of the structure of the palm swamp, presumably directly related to the water-dynamics of the wetland, and the second one, the phytophysiognomic changes occurred on the *Pandeiros* palm swamp surrounding vegetation.

With respect to the local water-related environment, the Pandeiros record showed that centennial-scale events of humidity variability affected the site engendering alternations from palm swamp to marsh, swamp or dry soil.

Regarding the evolution of the regional vegetation, a general trend of arboreal cover decreasing from the beginning of Late Holocene to the present is observed (Fig. 5.6), in phase with previously studied pollen records in Central Brazil. However, in detail, the Pandeiros record shows several oscillations of the vegetation cover: at the beginning of Late Holocene, arboreal cover increased and attained its maximum expansion during the 3,600 to 3,000 cal a BP period (Fig. 5.6), along with the formation of a marsh in the study site. Around 2,900 cal a BP, a dry period of around 300 years transformed the landscape and dried up the marsh; concomitantly forest and other arboreal formations have decreased. From around 2,600 cal a BP, the palm swamp reappears and expands until around 1,800 cal a BP; during this period, open *Cerrado* and grasslands continue to predominate on the landscape. From around 1,600 cal a BP, the site suffers a new transformation with a swamp formation that remains until around 1,000 cal a BP. During this phase, a recovery of the arboreal vegetation was observed, with the expansion of *Cerrado* Woodlands and/or Dry Forests close to the study site. From around 900 cal a BP to the present, relatively drier local conditions prevail, and a permanent water-body is no longer present on the study site. At the same time, open *Cerrado* formations expand again on the Pandeiros River Basin, establishing a vegetation distribution similar to the present one.



---

Este capítulo compõe segunda parte dos resultados e discussão do presente estudo sendo apresentado também em forma de artigo que, por sua vez, visa a compreensão da tendência regional da dinâmica dos fogos e da vegetação, diante das oscilações dos eventos de chuvas, nos últimos 4.200. Esse artigo ainda encontra em fase de finalização, visando sua submissão em um periódico internacional.

### **CLIMATE, FIRE AND HUMAN INFLUENCE ON THE VEGETATION OF A TROPICAL WETLAND IN THE *CERRADO* (CENTRAL BRAZIL) DURING LATE HOLOCENE**

Shirley Sabino, Raquel Cassino, Mariana Caixeta, Makenia Gomes, Eneida Sant'ana, Cristina Augustin, Diego Oliveira

#### **Abstract**

This work presents a paleoecological study in a wetland, located on the semiarid in the Minas Gerais State on central Brazil, named Pandeiros wetland (*Pantanal do Pandeiros*). This paleoecological study was associated with pollen and charcoal records from the Pires lake, in the Atlantic Forest biome, and from São José palm swamp, in the typical *Cerrado* biome. The data of  $\delta^{18}\text{O}$  from Lapa Grande cave study, and the Sr/Ca from Boutuverá was also associated to find a regional trends scale for the fire and vegetation dynamics during the last 4.200 years.

#### **6.1 - INTRODUCTION**

Wetlands are widely recognized as especially important ecosystems because of their key role in hydrological cycles, carbon storage, and as biodiversity hotspots (Maltby and Acreman, 2011). In South America, continental wetlands have as their main source of humidity the concentrated rainfall brought by the summer monsoon episodes (Junk *et al.*, 2014). These rainfall events affect the water circulation of fluvial basins generating flood pulses that regulate water supply on the floodplain-associated wetlands (Junk *et al.*, 1989). In semi-arid regions, such as the *Cerrado* of northern Minas Gerais State (central Brazil), wetlands play an essential role for vegetation biodiversity, fauna reproduction and feeding, and for human population sustainability. These wetlands rely on subtle ecological balances that are very sensitive to environmental and climatic changes. Understanding the environmental factors that influence water supply and vegetation development in these ecosystems is essential for their effective conservation and proper management. On this matter, paleoecological studies have much to contribute to our understanding of the long-term dynamics of these ecosystems and of the environmental and climatic processes that influence their ecological balance on centennial and millennial-scales (Willis *et al.*, 2010).

In this study, we investigate the environmental factors that have shaped the vegetation of a tropical wetland located within a semi-arid *Cerrado* region (central Brazil) during Late Holocene. The Pandeiros wetland (*Pantanal do Pandeiros*, in Portuguese) is a complex of shallow lakes, marshes and palm swamps occupying the floodplain of the Pandeiros River lower course (Fig. 1). We used paleoecological records (pollen and charcoal) to investigate two aspects of the Pandeiros history during the last 4,200 year: i) the influence of rainfall amount on the aquatic and swampy vegetation and ii) the relationship between fire frequency, climate and arboreal cover at millennial-scales. Further, to explore regional trends of fire and vegetation dynamics, we compared the Pandeiros records with two other pollen and charcoal records from the *Cerrado* and Atlantic Forest. Our findings highlight the multiple environmental aspects that have influenced the Pandeiros wetland history during the last four thousand years, including monsoon variability, insolation variation and human occupation.

## 6.2 - STUDY AREA

### *The Pandeiros wetland*

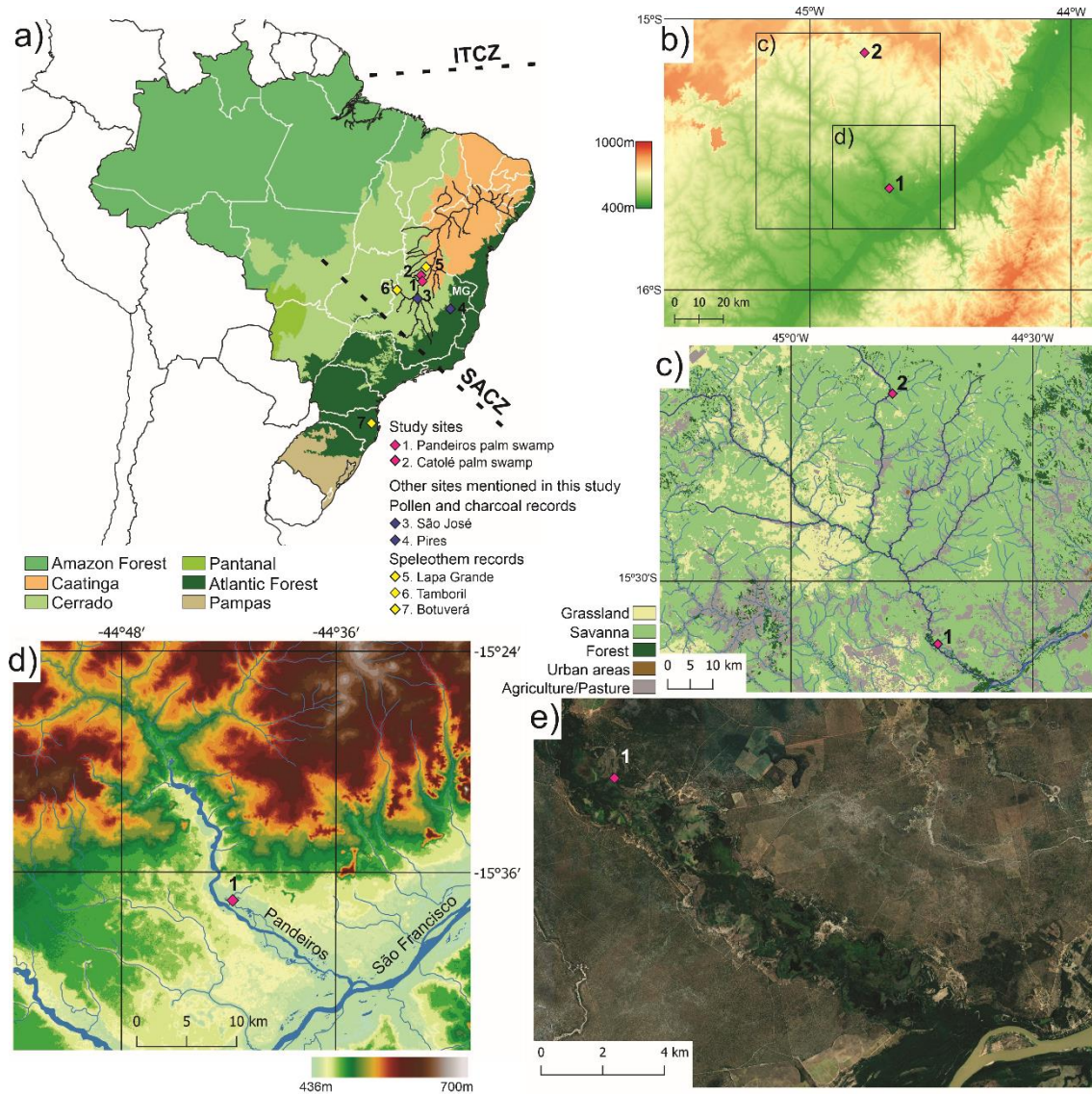
The Pandeiros River is a left-margin tributary of the middle course of the São Francisco River, one of the most important Brazilian rivers, which traverses the *Cerrado* and *Caatinga* biomes (Fig. 1a). The Pandeiros River basin is positioned close to the ecotone between these two biomes that also constitutes a transition between semi-humid and semi-arid climates. This hydrographic basin is mostly located on sandy Upper Cretaceous rocks of the *Urucuia* Group; only in its lower course the river flows directly over the underlying limestones and pelitic rocks of the Upper Proterozoic *Sete Lagoas* Formation. Additionally, Quaternary sandy alluvial deposits occur along the Pandeiros drainage depressions. In its lower course, the Pandeiros River forms an extensive wetland of around 40 km<sup>2</sup> (Fig. 1e) that includes permanent and temporary lakes, oxbow lakes, marshes, and river channels, and that can be partially or entirely flooded during the rainy season (Oliveira *et al.*, 2019). The Pandeiros wetland occupies a large depression in the mouth of the Pandeiros River that, due to its low relief, accumulates water incoming from flood pulses of both the Pandeiros and the São Francisco rivers (Oliveira *et al.*, 2019). The Pandeiros wetland has key ecological importance for biodiversity in central Brazil as both wetland and ecotone areas are known as high biodiversity ecosystems (Maltby and Acreman, 2011; Kark *et al.*, 2007). A high diversity of bird species has been documented at the Pandeiros River basin by Lopes *et al.* (2010), including endemic species of the *Cerrado*, *Caatinga*, and deciduous forest. Sato & Godinho (2003) highlight the role of the Pandeiros wetland as a nursery habitat for migratory fishes of the São Francisco River. As for vegetation, the Pandeiros River basin is characterized by a mixture of *Cerrado* and *Caatinga* species

resulting in physiognomies with peculiar floristic composition and of priority conservation importance (Nunes *et al.*, 2009).

The Pandeiros River basin is a Conservation Unit (*Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros*) of sustainable management. The area is mostly covered by open savannas, savanna woodlands and shrubby grasslands, with occurrences of dry forest, gallery forests and palm swamps (Fonseca *et al.*, 2008; Lopes *et al.*, 2010). At the Pandeiros Conservation Unit, floristic surveys identified Fabaceae as the most diverse family of the arboreal stratum in the open savannas as well as in dry and gallery forests (Sales *et al.*, 2009a; Sales *et al.*, 2009b; Rodrigues *et al.*, 2009). Anacardiaceae and Myrtaceae are also among most diverse families in these physiognomies; additionally, Vochysiaceae and Apocynaceae are typical of the open savannas and Malvaceae and Bignoniaceae are more diverse in dry and gallery forests. In the open savannas, the most frequent species are *Pouteria ramiflora* (Sapotaceae), *Vochysia elliptica*, *Qualea multiflora* e *Qualea grandiflora* (Vochysiaceae) (Sales *et al.*, 2009a). In the dry forests, *Anadenanthera colubrina*, *Copaifera langsdorfii*, *Machaerium acutifolium*, *M. hirtum* and *Senna spectabilis* are the most abundant Fabaceae species; *Tabebuia impetiginosa*, *T. chrysotricha*, *T. roseoalba* and *T. ochraceae* are the most abundant among Bignoniaceae; and *Astronium fraxinifolium*, *Myracrodruon urundeva* and *Schinopsis brasiliensis* among Anacardiaceae (Sales *et al.*, 2009b). The gallery forests along the Pandeiros River are characterized by a mixture of typical gallery forest taxa such as *Hirtella gracilipes* (Chrysobalanaceae), *Tapirira guianensis* (Anacardiaceae) and *Cecropia pachystachya* (Urticaceae), with arboreal taxa from the adjacent savannas and dry forests (Rodrigues *et al.*, 2009). In the preserved palm swamps of the Pandeiros River basin, the most abundant arboreal taxa are the palm *Mauritia flexuosa* (Arecaceae), *Tapirira obtusa* (Anacardiaceae) and *Zygia latifolia* (Fabaceae) (Bahia *et al.*, 2009). The aquatic environments of the Pandeiros wetland harbor abundant aquatic macrophytes; a survey performed by Pivari *et al.* (2013) on the river channel, floodplain, oxbow lakes and swamps inventoried a total of 101 species distributed in 37 families of which the most diverse were Cyperaceae, Poaceae, Asteraceae, Fabaceae, Plantaginaceae, Pontederidaceae, Alismataceae, Onagraceae and Rubiaceae. The following genera were the most represented in the survey: *Bacopa*, *Cyperus*, *Ludwigia*, *Borreria*, *Echinodorus* and *Polygonum*.

The climate of the Pandeiros basin is transitional between semi-humid and semi-arid. Mean annual precipitation is 898 mm close to the river mouth and 1030 mm on the high altitude (above 800 m) plateau at the northwestern area of the basin (Jardim & Moura, 2018). The mean annual temperature is 24.4 °C and the dry season lasts 4 to 6 months. Precipitation in northern Minas Gerais is mainly related to the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) (Jardim & Moura, 2018), a southeastward convection band that extends from southern Amazonia to the

Atlantic Ocean in southeastern Brazil (Fig. 1). SACZ convection is related to the South American Summer Monsoon (SASM) system; the SASM season starts in September at the equatorial Amazon and then migrates to the southeast bringing heavy rainfall to central and southeastern Brazil (Gan *et al.*, 2004; Vera *et al.*, 2006). While these regions are covered by deep convection during austral summer, a trough settles over northeast Brazil (the Nordeste low) (Gan *et al.*, 2004; Lenters and Cook, 1997) preventing rainfall in that region, resulting in its semi-arid climate.



**Figure 6.1:** Location and physiographic aspects of the study area. a) Geographic distribution of Brazilian biomes, location of the study sites (Pandeiros wetland and Catolé) and of other sites mentioned in the text (São José (Cassino *et al.*, 2018); Pires (Behling, 1995); Lapa Grande (Stríkis *et al.*, 2011); Tamboril (Wortham *et al.*, 2017) and Botuverá (Bernal *et al.*, 2016); the position of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) and of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) are shown, as well as the São Francisco River basin. White lines refer to Brazilian Federal States borders (MG = Minas Gerais). b) Elevation map (from Miranda *et al.*, 2005) of the study area. c) Vegetation map (from Project MapBiomias - Collection 3 of Brazilian Land Cover & Use Map Series) of the Pandeiros River basin; d) High-resolution elevation map of the Pandeiros wetland (Dataset: ASF DAAC, 2020, ALOS PALSAR\_Radiometric\_Terrain\_Corrected\_high\_res; Includes Material ©JAXA/METI 2010. Accessed

through <https://asf.alaska.edu> 10 September 2020. e) Google Earth Image of the Pandeiros wetland. In all images: 1. Location of the Pandeiros palm swamp and 2. Location of the Catolé palm swamp.

## 6.3 - MATERIAL AND METHODS

### 6.3.1 - Cores collection and dating

Two sediment cores were collected using a Russian peat corer: the Catolé core (96 cm-thick) was collected at 15°7'33"S, 44°47'25"W, in a palm swamp at the source of the Catolé River, a tributary of the Upper Pandeiros River; and the Pandeiros core (150 cm-thick) was collected at 15°37'31"S, 44°41'46"W, in a palm swamp located within the Pandeiros wetland (Fig. 1), close to the Pandeiros mouth on the São Francisco River. As the bottom 30 cm of the Pandeiros core were sterile for pollen, we only considered here the upper 120 cm. The two coring sites are distant of around 50 Km, and are both within the Pandeiros River basin; the Catolé palm swamp is at an elevation of 664m and the Pandeiros palm swamp at 446 m.

Three samples of the Pandeiros core and two samples of the Catolé core were sent for radiocarbon dating by Accelerator Mass Spectrometry (AMS): plant remains from samples collected at depths 21 and 75 cm of the Pandeiros core were dated at the Scottish Universities Environmental Research Center (SUERC - Glasgow, UK); organic sediment of sample collected at 111 cm of the Pandeiros core and a charcoal fragment of sample at 44 cm of the Catolé core were dated at DirectAms (Washington, USA) and organic sediment of sample collected at 96 cm of the Catolé core was dated at Beta Analytic (Florida, USA). Age-depth models were built for both cores using BACON (Blaauw and Christen, 2011) and calibration curve SHCal13 (Hogg *et al.*, 2013).

### 6.3.2 - Pollen and charcoal analyses

Sub-samples of 1 cm<sup>3</sup> were taken at 5cm intervals at the Pandeiros core for pollen analysis; here, only the upper 120 cm of the core are considered because the bottom 30 cm presented low or no pollen concentration. For pollen extraction, samples were submitted to treatments with HCl, HF, KOH and acetolysis (Bennet & Willis, 2001; Salgado-Labouriau, 2007). For pollen concentration calculation, tablets of *Lycopodium clavatum* spores (Batch 3862) were added to samples prior to chemical treatments. Slides were mounted on glycerin gelatin and 300 pollen were counted for each sample. Pollen taxa identified on the Pandeiros core were assigned to one of the following categories: "Aquatic and swamp taxa", "Herbs" and "Trees".

The 96 cm-thick Catolé core was divided in forty-eight samples of 2 cm-thick. Sub-



samples of 1 cm<sup>3</sup> were taken at each sample for charcoal analysis. Sub-samples were kept in a solution with NaOCl and KOH for at least 24 h and then were sieved through 100 µm mesh. Samples were analyzed in the microscope and charcoal particles were separated and photographed. Images were analyzed with software ImageJ (Abràmoff *et al.*, 2004) for charcoal counting and measuring. Charcoal data are expressed as charcoal influx (number of particles/cm<sup>2</sup>/year) and as charcoal area (charcoal total area/cm<sup>2</sup>/year).

### 6.3.3 - Comparison with other paleoecological data

To investigate the climate drivers that influenced water availability at the Pandeiros wetlands, we compared the “Aquatic and swamp taxa” pollen record of the Pandeiros palm swamp to the  $\delta^{18}\text{O}$  record of the Lapa Grande speleothem (Stríkis *et al.*, 2011) and to the Sr/Ca record of the Botuverá speleothem (Bernal *et al.*, 2016). The Lapa Grande cave is located around 140 Km north of the Pandeiros palm swamp (Fig.1a), its  $\delta^{18}\text{O}$  record represents rainfall amount variability in the northern Minas Gerais region, and is thus used here as an indicator of the centennial-scale rainfall variability at the Pandeiros River basin. The Botuverá cave is located in South Brazil (Fig. 1a) and its Sr/Ca record is here used as a proxy of rainfall variability at the meridional part of the area affected by the South Atlantic Convergence Zone (SACZ; Fig. 1a), i.e. south and southeastern Brazil, as suggested by the study of Bernal *et al.* (2016). The rainfall variability documented by the Botuverá record is thus not directly associated with the Pandeiros River basin climate dynamics, but reflects the rainfall variability at the upper São Francisco River region (Fig. 1a). Data for the  $\delta^{18}\text{O}$  record of the Lapa Grande speleothem are available at the SISAL database (Atsawawaranunt *et al.*, 2019) and Sr/Ca data for the Botuverá speleothem were obtained from the NOAA Paleoclimatology Dataset (<https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/study/21060>).

In order to further explore the regional drivers for arboreal cover variability at the Pandeiros River basin, we compared the Pandeiros pollen record and the Catolé charcoal record to two other sites: São José (Cassino *et al.*, 2018) and Pires (Behling, 1995) (Fig. 1a). These sites were chosen because both pollen and charcoal records are available and because their vegetation contains both arboreal formations and open savannas or grasslands. São José pollen data were presented in Cassino *et al.* (2018) and charcoal data in (Cassino *et al.*, 2020). Charcoal and pollen data for Pires (Behling, 1995) are available on the Neotoma Paleoecology Database (Williams *et al.*, 2018). For vegetation variability comparison, pollen spectra of the three sites were resumed to four variables: Aquatic and Swamp taxa; *Mauritia flexuosa*; Herbs; and Trees, and a Principal Components Analysis (PCA) of squared-root transformed data was performed. Surface samples of twenty-three *Cerrado* sites, with different degrees of arboreal cover, were also included in the PCA as parameters for how arboreal cover is represented in the

pollen spectra (for more information on the surface samples sites see Supplementary Materials, Table 01; and Cassino *et al.*, 2015).

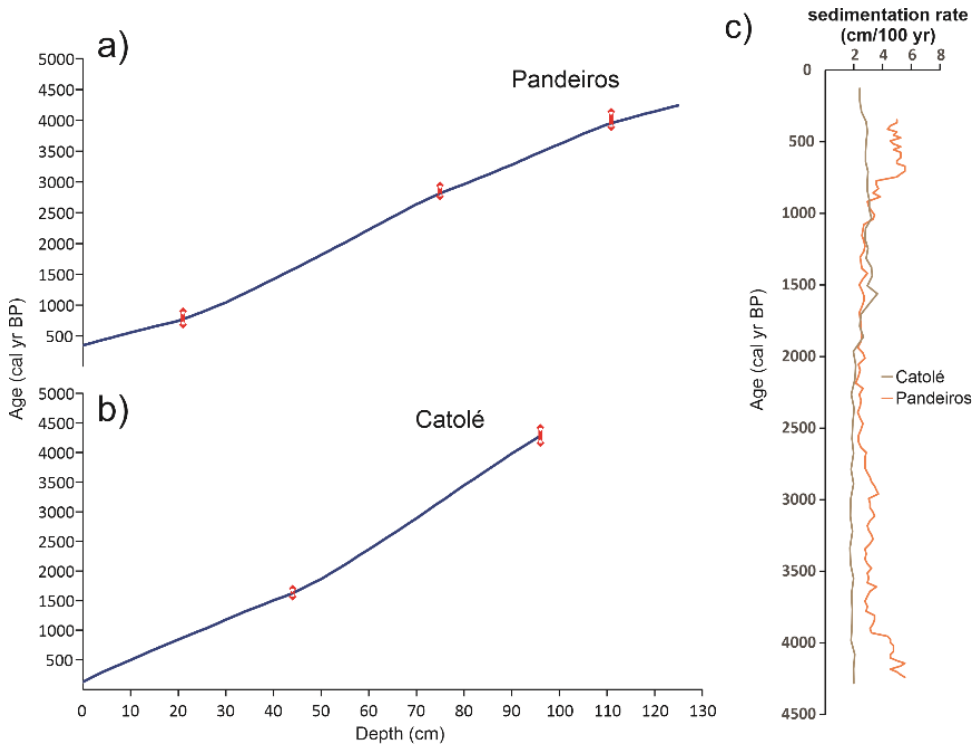
## 6.4 – RESULTS

### 6.4.1 - Vegetation, fire and water dynamics at the Pandeiros wetland

The radiocarbon dates obtained for the Catolé and Pandeiros cores indicate that they were both deposited within the last 4,200 cal yr BP (Table 01, Fig. 2). The sedimentation rates, calculated from the estimated ages provided by the age-depth models, are similar for both cores and range between 2 and 5 cm/100 years (Fig. 2c). The Pandeiros core shows slightly higher sedimentation rate for the bottom 20 cm that also correspond to a higher mineral clastic input in the palm swamp.

**Table 7.1:** Radiocarbon dates of the Pandeiros and Catolé cores.

	Lab Code	Depth (cm)	<sup>14</sup> C yr BP	Age range (cal yr BP) 2σ
Pandeiros	SUERC-84447	21	901 ± 37	681 – 902
	SUERC-84448	75	2,791 ± 35	2,764 – 2,943
	D-AMS037642	111	3,714 ± 32	3,890 – 4,143
Catolé	D-AMS037643	44	1,754 ± 23	1,566 – 1,702
	BETA-366918	96	3,920 ± 30	4,159 – 4,417

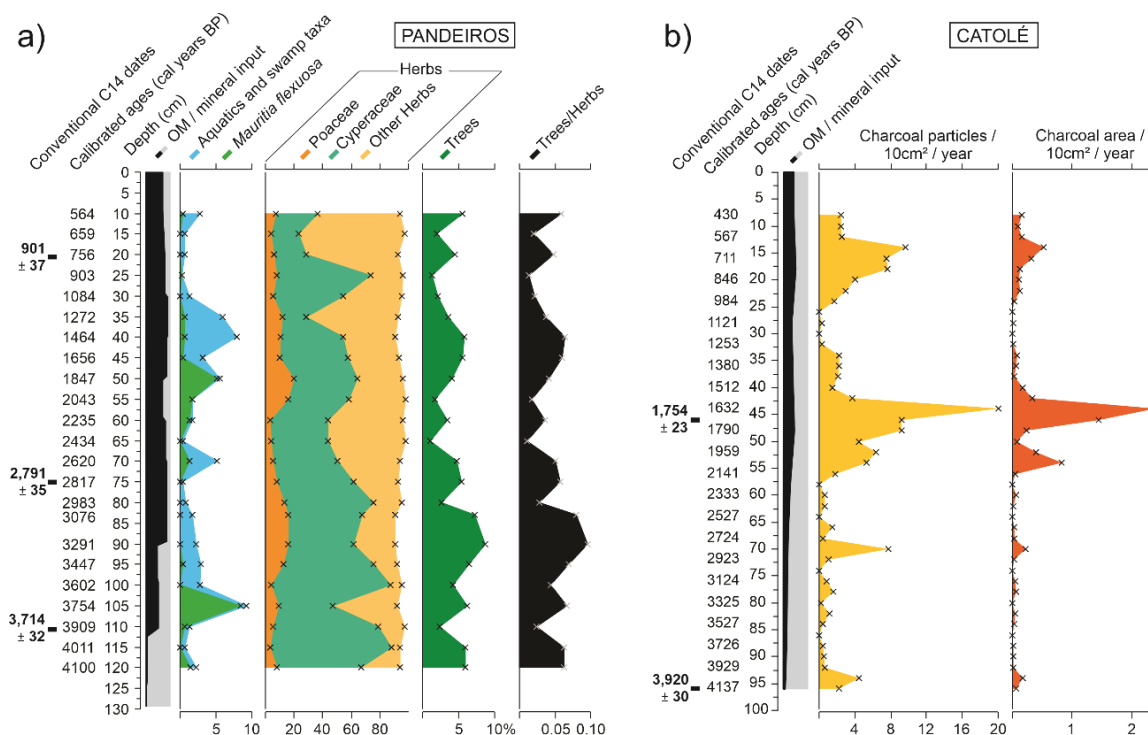


**Figure 6.2:** Age-depth models for the Pandeiros (a) and Catolé (b) cores. The blue line refer to the calculated median ages and the red lines to the calibration intervals for <sup>14</sup>C dates. c) Sedimentation rates for the Pandeiros and Catolé cores.

Pollen analysis of the Pandeiros core resulted in the identification of 48 pollen types

that were assigned to one of the following categories: “Aquatic and swamp taxa”, “Herbs” and “Trees”. *Mauritia flexuosa*, and Poaceae and Cyperaceae contributions are highlighted among “Aquatic and swamp taxa” and “Herbs”, respectively (Fig. 3a). Besides *M. flexuosa*, other abundant taxa included in “Aquatic and swamp taxa” are *Echinodorus*, *Polygonum* and *Sagittaria*; for the group “Herbs”, in addition to Poaceae and Cyperaceae, *Alternanthera*, *Amaranthus*, Asteraceae, *Borreria*, *Euphorbia* and *Gomphrena* are the most frequent taxa; and for the group “Trees”, *Astronium*, *Anadenanthera* and *Casearia* are among the most abundant taxa. A complete and detailed description of the Pandeiros pollen record (cf. Supplementary Materials, Fig. S1) is presented elsewhere (Sabino *et al.*, 2021).

“Aquatic and swamp taxa” frequencies vary from zero to around 8%; higher frequencies are found at depths 105 cm (3,740 cal yr BP), 70 cm (2,620 cal yr BP), and between 50 and 35 cm (1,847 to 1,272 cal yr BP) (Fig. 3a). Cyperaceae frequencies vary from around 20 to 80% and show a general decreasing trend from the bottom to the core top. An inverse trend is displayed by “Other Herbs” that present lower frequencies at the bottom (minimum values around 3%) and higher frequencies at the core top (maximum value around 70%); Poaceae contribution to the “Herbs” frequencies is more stable and ranges between 3 and 18%. “Trees” frequencies range from 1 to 9%; higher values are found between 95 and 83 cm (between 3,447 and 3,076 cal yr BP) and lower values occur between 65 and 55 cm (2,434 to 2,043 cal yr BP) and between 30 and 25 cm (1,084 to 903 cal yr BP).



**Figure 6.3:** a) Summary pollen diagram for the Pandeiros record. b) Charcoal influx diagram for the Catolé core.

The ratio of “Trees” to “Herbs” is higher from the bottom of the core until 83 cm

(except for two samples at 110 and 100 cm) compared to the upper part of the core (Fig. 3a). Tree taxa that present higher frequencies (*Astronium*, *Anadenanthera* and *Casearia*) are typical of the dry forests of the Pandeiros River basin (Nunes *et al.*, 2009; Sales *et al.*, 2009b), therefore, the ratio of “Trees” to “Herbs” is used as a proxy of the relative proportion of dry forests versus open savannas and grasslands. Higher “Trees/Herbs” at the bottom part of the core thus suggests higher arboreal cover around the Pandeiros palm swamp from around 4,100 to 3,076 cal yr BP, compared to the rest of the Holocene, although a regain of forest cover is observed between around 1,650 and 1,460 cal yr BP.

The charcoal record from the Catolé palm swamp shows a high variability of charcoal influx from 4,100 cal years BP to the present (Fig. 3b). Low charcoal influx, and smaller charcoal particles, are found in the bottom part of the core, in samples from 96 to 56 cm (4,137 to 2,141 cal yr BP). Higher charcoal influx that indicates the occurrence of fires close to the Catolé palm swamp is found from 54 to 40 cm (2,050 to 1,512 cal yr BP) and from 24 cm to the core top (914 to 430 cal yr BP).

### ***Water Availability***

As described previously, the current area of the Pandeiros palm swamp is within the periodically flooded zone of the Pandeiros wetlands but remains dry most of the year. The pollen record indicates, during the last 4,200 cal years BP, several phases of higher-than-modern “Aquatic and swamp taxa” pollen content (Fig. 4) that suggest periods during which the Pandeiros palm swamp area was more frequently, or permanently, flooded. The first phase of increased water availability occurred around 3,700 cal yr BP (P2 – Fig. 4); this phase coincides with a ~150 years-long event of increased rainfall in the Botuverá record that has no correspondence in Lapa Grande (Fig. 4). The second phase of increased aquatic pollen, at around 2,600 cal yr BP (P5 – Fig. 4), coincides with wet events at both Lapa Grande and Botuverá records, which lasted a little less than a hundred years. The third, and longer, phase of increased aquatic and swamp pollen took place between 1,850 and 1,270 cal yr BP (P7 – Fig. 4). The onset of this phase is concurrent with wet events at Lapa Grande and Botuverá but throughout its duration, only the Botuverá record shows a predominance of increased rainfall events.

Phases of lower water availability at the Pandeiros wetlands, suggested by very low (or zero) “Aquatic and swamp taxa” pollen, are documented between around 2,980 and 2,810 cal yr BP (P4 – Fig. 4), around 2,430 cal yr BP (initial P6 – Fig.4), and between around 900 and 660 cal yr BP (P8 – Fig. 4). Correspondence of these drier phases are identified on the Lapa Grande and Botuverá records: during phase P4, both Lapa Grande and Botuverá show relatively drier periods of around 200 years with no occurrence of wet events (Fig. 4), and at around 2,430 cal

yr BP, dry events are distinctive at both records. Finally, between around 1,000 and 650 cal yr BP, corresponding to phase P8, the Botuverá record also indicates drier conditions; there is no data for the Lapa Grande record for the last thousand year.

In summary, our results show that higher water availability at the Pandeiros wetlands happened when wet events occurred either at Lapa Grande or at Botuverá, and that lower water availability at the Pandeiros occurred when both Lapa Grande and Botuverá experienced dry events. This relationship between the Pandeiros pollen record and the Lapa Grande and Botuverá speleothem records indicate that both local rainfall at the Pandeiros River basin and southern rainfall at the upper São Francisco River have a dynamic role in the maintenance of the Pandeiros wetlands. Our findings suggest that water supply from the São Francisco River flood pulses maintains high water availability at the Pandeiros wetlands during times of low rainfall in northern Minas Gerais. On the other hand, dryness at the wetlands occurs when the SASM system is weaker at both southeast and central Brazil with consequent rainfall decrease for the Pandeiros River basin and for the upper São Francisco River at the same time.

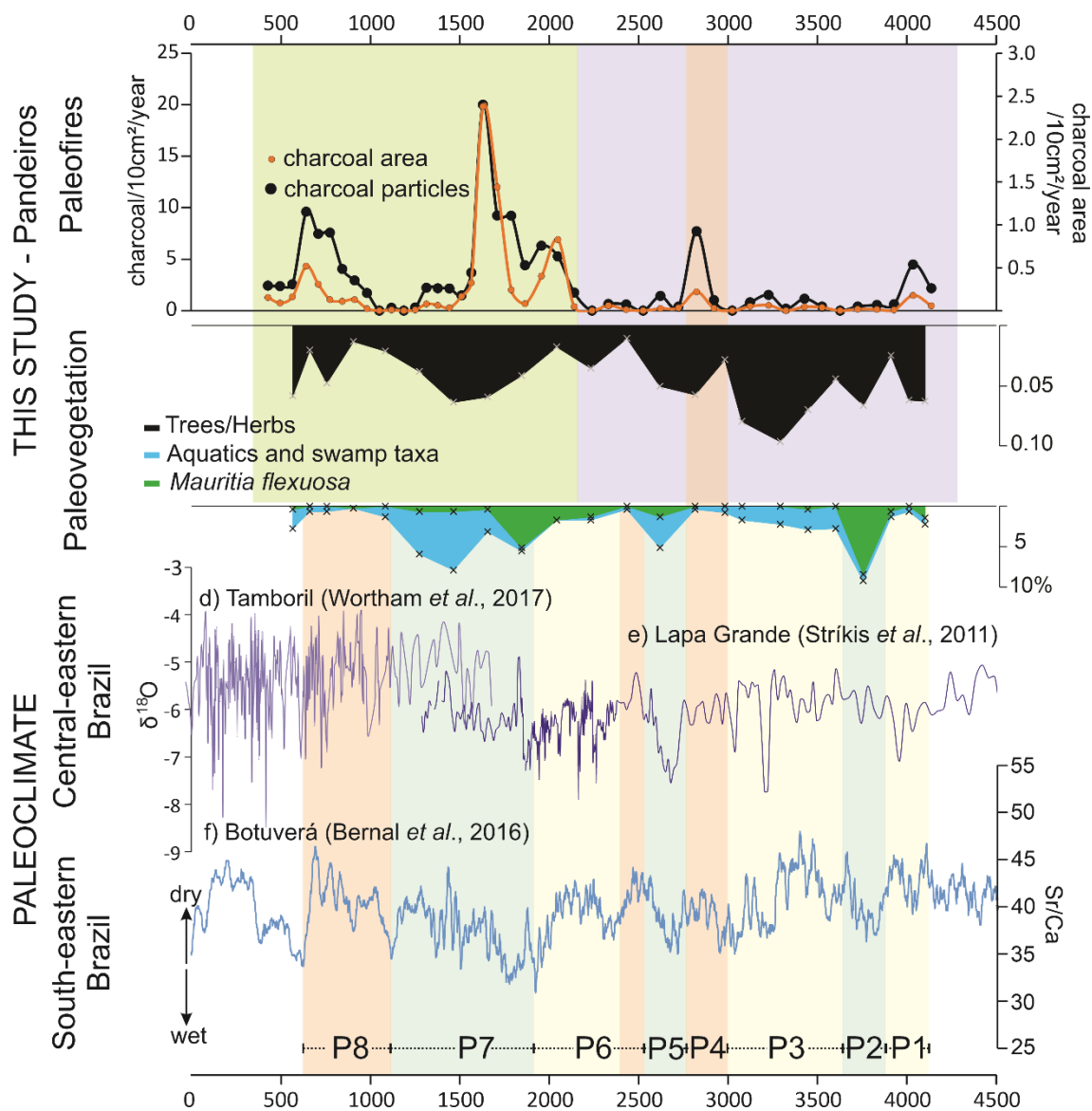
### ***Fires and Arboreal Cover***

The Catolé charcoal record revealed two phases of fire frequency at the Pandeiros River basin. During the first phase, between 4,100 and 2,140 cal yr BP, the charcoal influx is low, most samples contain no or very few small charcoal particles, except for one peak at around 2,800 cal yr BP that indicate the occurrence of a fire event at the Pandeiros River basin at that time (Fig. 4). During the second phase, between around 2,140 and 430 cal yr BP, charcoal influx is generally higher, most samples contain charcoal, and at least three peaks are documented at around 2,050, 1,630 and 640 cal yr BP (Fig. 4). The Catolé charcoal record thus suggests that fire became more frequent in the area after around 2,140 cal yr BP.

The single charcoal peak during the first phase coincides with the dry P4 event (2,980 to 2,810 cal yr BP; Fig. 4), during which both rainfall proxies (speleothem records) and local water availability (Pandeiros pollen record) suggest that the area was under hydric stress. The occurrence of this fire event is concurrent, within ages uncertainties, with a decrease in arboreal cover documented at the Pandeiros pollen record (Fig. 4). Both dryness and fire could have led to this increase of the herbaceous stratum over trees that occurred around 2,900 cal yr BP. However, after around 2,600 cal yr BP, the records show the return of humidity and the absence of fire with no correspondent increase of the arboreal cover that continues, inversely, to decrease.

Unlike the 2,800 cal yr BP charcoal peak, the increase in charcoal influx observed after 2,140 cal yr BP is not clearly related to dry events revealed by the speleothems or the Pandeiros pollen record. Notably, however, as we further discuss below, the timing of fire increase

corresponds to a change of human occupation in northern Minas Gerais with the arrival of ceramists-horticulturalists in this territory (Rodet, 2006; Freitas and Rodet, 2010; Shock, 2010).



**Figure 6.4:** Comparison of the charcoal and pollen records of the Catolé and Pandeiros palm swamps with paleoclimatic data from speleothem records.

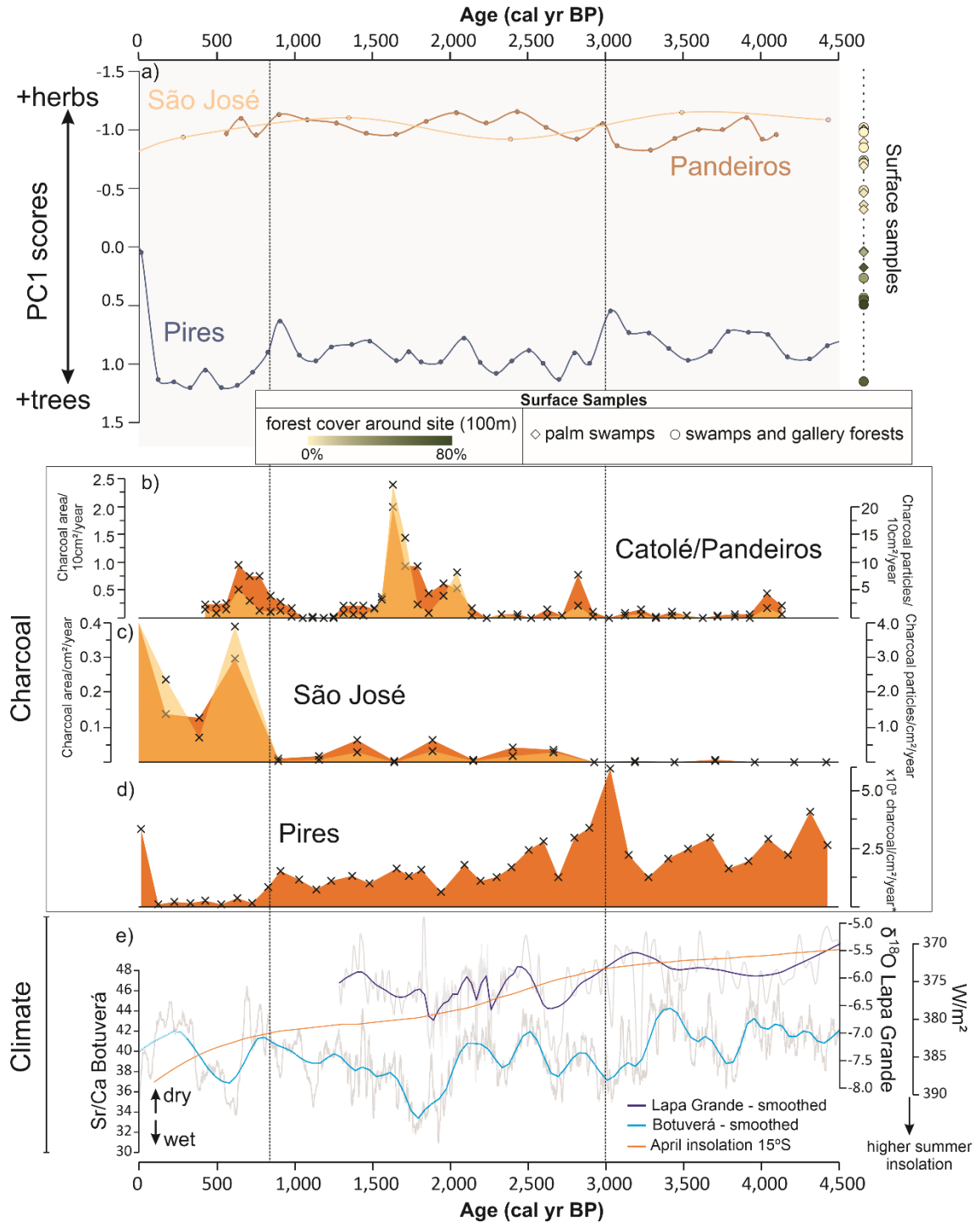
#### 6.4.2 - Comparison with other sites

The PCA comparing fire and arboreal cover variability at the Pandeiros with two other sites resulted in a PCA biplot (Supplementary Materials, Fig. 2) in which the first component (eigenvalue = 0.8) reflects the proportion of *Trees* versus *Herbs*. Samples characterized by high *Trees* values show scores above zero and samples with high *Herbs* values show scores below zero on the first axis. Surface samples from sites with higher percentage of forest cover also have, for the most part, high first axis scores (PC1 scores) attesting that the first axis reflects the

degree of arboreal cover around the sites.

PC1 scores were plotted against samples ages to highlight arboreal cover temporal variability at the three sites (Fig. 5a). To investigate how arboreal cover variability at Pandeiros, São José and Pires relates to fire frequency and rainfall amount, we compared PC1 scores to the charcoal records of the three sites and to the Botuverá and Lapa Grande records (Fig. 5). Smoothed curves for the  $\delta^{18}\text{O}$  Lapa Grande record and the Sr/Ca Botuverá record that reflect long-term (~250 years) precipitation variability are also presented.

In general, the PC1 scores obtained for Pandeiros and São José are in the same range, and significantly lower than those obtained for the Pires record (Fig. 5a). This result is concordant with the modern situation of the sites; whilst Pires is located within the Atlantic forest domain, Pandeiros and São José are typical *Cerrado* sites where savannas and grasslands predominate.



**Figure 6.5:** a) PC1 scores representing relative variations in arboreal pollen at Pandeiros, São José and Pires during the last 4,500 years, compared to a dataset of surface samples representative of different degrees of arboreal cover. b) Charcoal influx for Catolé, São José and Pires. c) Paleoclimatic data:  $\delta^{18}\text{O}$  record of the Lapa Grande speleothem (Stríkis *et al.*, 2011), Sr/Ca record of the Botuverá speleothem (Bernal *et al.*, 2016), and April insolation variation at 15°S (data from Laskar *et al.*, 2004).

During the last 4,500 cal yr BP, the PC1 scores indicate a general trend of increasing arboreal cover at Pires; in particular, three stages can be distinguished: before 3,000 cal yr BP, PC1 scores range between 0.5 and 1; between 3,000 cal yr BP and 840 cal yr BP, PC1 scores



are close to 1; and after 840 cal yr BP, PC1 scores are above 1 (except for the last, modern, sample) (Fig. 5a). These stages of arboreal cover variability at Pires are concordant with charcoal variability: before 3,000 cal yr BP, lower arboreal cover is coeval with higher charcoal influx (Fig. 5c); between 3,000 and 840 cal yr BP, the arboreal cover increase is coincident with lower charcoal influx, and after 840 cal yr BP charcoal influx is almost null. With respect to climate, both Botuverá and Lapa Grande records document the predominance of relatively drier climate before 3,000 cal yr BP compared to a wetter final part of Late Holocene (Fig. 5c).

During the first and second stages (i.e. before 3,000 cal yr BP and between 3,000 and 840 cal yr BP), the Pandeiros record show an opposite trend when compared to the one described for Pires. At Pandeiros, arboreal cover is higher, and fires are absent before 3,000 cal yr BP and arboreal cover is lower and fires more frequent after 3,000 cal yr BP (Fig. 5 a, b). The São José charcoal record shows a similar trend to the Catolé/Pandeiros record (Fig. 5c), which suggests that regional drivers controlled fire frequency in northern Minas Gerais. At Pandeiros, while paleoprecipitation records indicate a general trend of increased humidity during the 3,000-840 cal yr BP period, arboreal cover shows a slight decrease, an opposite trend to what would be expected.

## 6.5 - DISCUSSION

### *Centennial-Scale Rainfall Variability and its Impact on the Pandeiros Wetlands*

Due to its location at the junction of the Pandeiros River with the São Francisco River, the Pandeiros wetland is linked to the dynamic of both rivers. Nowadays, the wetland is filled out by floods of the Pandeiros and São Francisco Rivers (Oliveira *et al.*, 2009). While floods of the Pandeiros River are controlled by local rainfall at the Pandeiros basin, the São Francisco River travels more than 550 Km and receives several large tributaries before reaching this area; consequently, São Francisco floods are influenced by rainfall in all of southwestern and central Minas Gerais State. Differences in rainfall annual variability are observed between the Upper São Francisco River basin and the Pandeiros River region. During El-Nino events, the Upper São Francisco River region experiences higher-than-normal annual rainfall (Galvêncio and Sousa, 2002), whilst the opposite is observed at the Pandeiros region. For instance, the year of 1982, an El-Nino year, was a year of record rainfall amount in the upper and in most of the middle course of the São Francisco (Galvêncio & Sousa, 2002), but a drier-than-normal year in Januária (Jardim & Sousa, 2018), the closest city to the Pandeiros wetland.

This opposite behavior of rainfall variability is also observed at larger temporal scales. The  $\delta^{18}\text{O}$  record of the Lapa Grande speleothem (Stríkis *et al.*, 2011) and of the Sr/Ca record of

the Botuverá speleothem (Bernal *et al.*, 2016) both document centennial-scale events of rainfall variability, along with other shorter-term events (Fig. 4). Bernal *et al.* (2016) highlighted a general co-variance of the Botuverá and Lapa Grande paleo-precipitation records and related their rainfall variability to variations in SASM intensity. However, the authors also pointed out the occurrence of events during which Lapa Grande and Botuverá show inverse trends that they interpreted as events of southward or northward shifts of the SACZ.

Our results suggest that the Pandeiros wetland was kept wet during most of the last 4Kyr BP because of the alternate and/or conjoint action of the Pandeiros and São Francisco floods, which rely on different sources of rainfall. Our study highlights the sensibility of this peculiar ecosystem to the São Francisco River flow and reinforces the regional dimension that must be considered for the conservation of the wetland.

#### *Millennial-scale climate impact on vegetation and human influence*

At a larger temporal scale, speleothem  $\delta^{18}\text{O}$  records from sites within the area affected by the SASM suggest a progressive intensification of the SASM system during the Holocene, following an increasing summer insolation in Southern Hemisphere (Deininger *et al.*, 2019). This trend of increasing moisture is visible on the smoothed curves of both Lapa Grande and Botuverá records (Fig. 5e), that depict slightly wetter conditions after around 3,000 cal years BP. The previously described trends of vegetation and fire variability at Pires are in phase with this rainfall increase during Late Holocene. On the other hand, vegetation and fire variability at the Pandeiros and São José site are opposite to the expected trend. That is, while the Lapa Grande record suggests drier conditions from the beginning of the Late Holocene to around 3,000 cal years BP and slightly wetter conditions after 3,000 cal years BP, the Pandeiros and São José sites indicate lower fire activity and slightly higher arboreal cover before 3,000 cal years BP than subsequently. More precisely, the arboreal vegetation at Pandeiros declined during the dry event centered at around 2,900 cal years BP and didn't recovered during the subsequent millennium despite the increasing rainfall trend observed for the region from the Lapa Grande record.

These findings suggest that while at Pires the main driver for arboreal cover and fire activity variation was rainfall amount, at the northern Minas Gerais sites, other forcing factors influenced forest distribution and fire frequency. One factor that could have restricted forest expansion despite rainfall increase is the effect of increasing summer insolation on water availability. At Pandeiros latitude, insolation during rainy season (austral summer) increased throughout Late Holocene (Fig. 5e); for instance, mean daily insolation in April around 3,500 cal years BP was around 3% lower than around 1,500 cal yr BP. Miranda *et al.* (1997) studying water flux on the *Cerrado* showed that the evaporation rate closely follows incoming solar

radiation during the rainy season (data for the March-May period), while during the dry season (data for September) evaporation is constrained by low water availability. Increasing summer insolation could thus have resulted in higher evaporation rates. Further, Giambelluca *et al.* (2009) compared evapotranspiration in open and arboreal *Cerrado* sites and found that in the more open vegetation site, soil evaporation has a larger contribution to total evaporation than in the arboreal *Cerrado*. The Pandeiros site has a semi-arid climate, a more sparse arboreal vegetation and a flat landscape; in these conditions, higher evaporation rates could have led to water loss and lower water availability in soils. At Pires, on the other hand, the climate is semi-humid, the vegetation is more forested, the landscape is hilly, and cloudiness is greater; in this scenario, higher evapotranspiration could have returned as local rainfall, maintaining the high moisture. This different response to higher summer insolation might explain the opposite vegetation and fire trends observed at Pandeiros and Pires while both sites were submitted to relatively higher rainfall. Higher temperature and lower soil moisture at the end of the rainy season, due to the increasing insolation, might have restrained the development of woodlands and triggered the increase of fire events after 3,000 cal years BP at northern Minas Gerais.

Additionally, after 2,000 cal yr BP, human occupation could also have played a role in the intensification of fires events. The region around the Pandeiros and São José sites has a long history of human occupation that dates back to around 12,000 cal yr BP (Freitas & Rodet, 2010). Several archaeological sites have been studied in this part of the São Francisco valley, especially in the Peruaçu valley, located a few dozens of kilometers north of the Pandeiros, and at the municipality of Buritizeiro, 30 Km south of the São José palm swamp (Rodet, 2006; Shock, 2010; Rocha, 2011). At the archeological sites of the Peruaçu valley, that are more extensively studied, an important change in human occupation is observed from around 2,000 cal yr BP with the first arrival of horticulturalists (Freitas & Rodet, 2010). This arrival is documented by the presence of silos made of wood and palm and maize leaves and of ceramics. The silos often contain preserved rests of edible vegetables, including wild and domesticated plants (Freitas & Rodet, 2010). It is likely that these populations of horticulturalists used fire as a management tool for cultivation. Studies about fire management practices of descendants of Amerindians populations living in Brazil today have shown that indigenous groups developed refine fire knowledge and management practices ((Mistry *et al.*, 2005; Pivello, 2011; Melo, 2007). For example, the Xavante, Kayapó and Krahô groups living in indigenous reserves in the Brazilian savanna today, use fire for cultivation (land clearing and preparation, nutrient enrichment), hunting (game drive), harvesting natural resources, protection of areas from more intense fires, livestock grazing or to eliminate pests (Mistry *et al.*, 2005; Melo, 2007). High charcoal influx between around 2,000 and 1,500 cal yr BP at Catolé could thus be due to anthropic activity, as well as the increase in charcoal influx after around 800 cal yr BP observed

at both Catolé and São José records.

## 6.6 - CONCLUSIONS

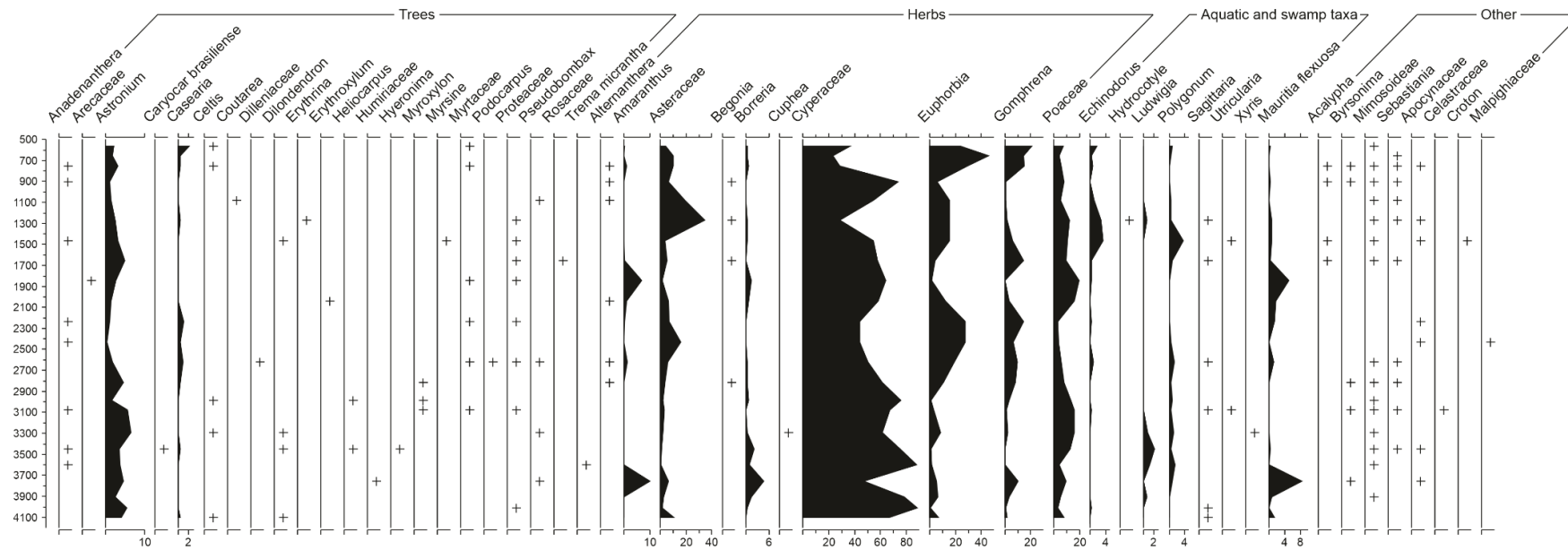
The paleoecological study of the Pandeiros River basin brings a novel understanding of the dynamics of the Pandeiros wetland during Late Holocene. The dynamics of water supply of this tropical wetland was controlled by centennial-scale SASM variability at northern Minas Gerais and at southern Brazil. This study indicated that during the last 4,200 cal yr BP, water availability at the wetland was highly influenced by wet events at the upper São Francisco valley. Construction of hydroelectric dams, deforestation, depletion of water sources, among other human interventions on the São Francisco course, thus constitute direct threats for the Pandeiros wetland conservation.

Our study has also showed that while millennial-scale SASM variability have directly influenced gradual arboreal cover and fire variation at the eastern Atlantic Forest-Cerrados ecotone, in the *Cerrado* of the Pandeiros region, greater impact of higher insolation on evaporation and water availability might have constrained the development of the arboreal stratum. Additionally, the arrival of ceramist-horticulturist in northern Minas Gerais around 2,000 cal yr BP may have led to increase fire frequency.

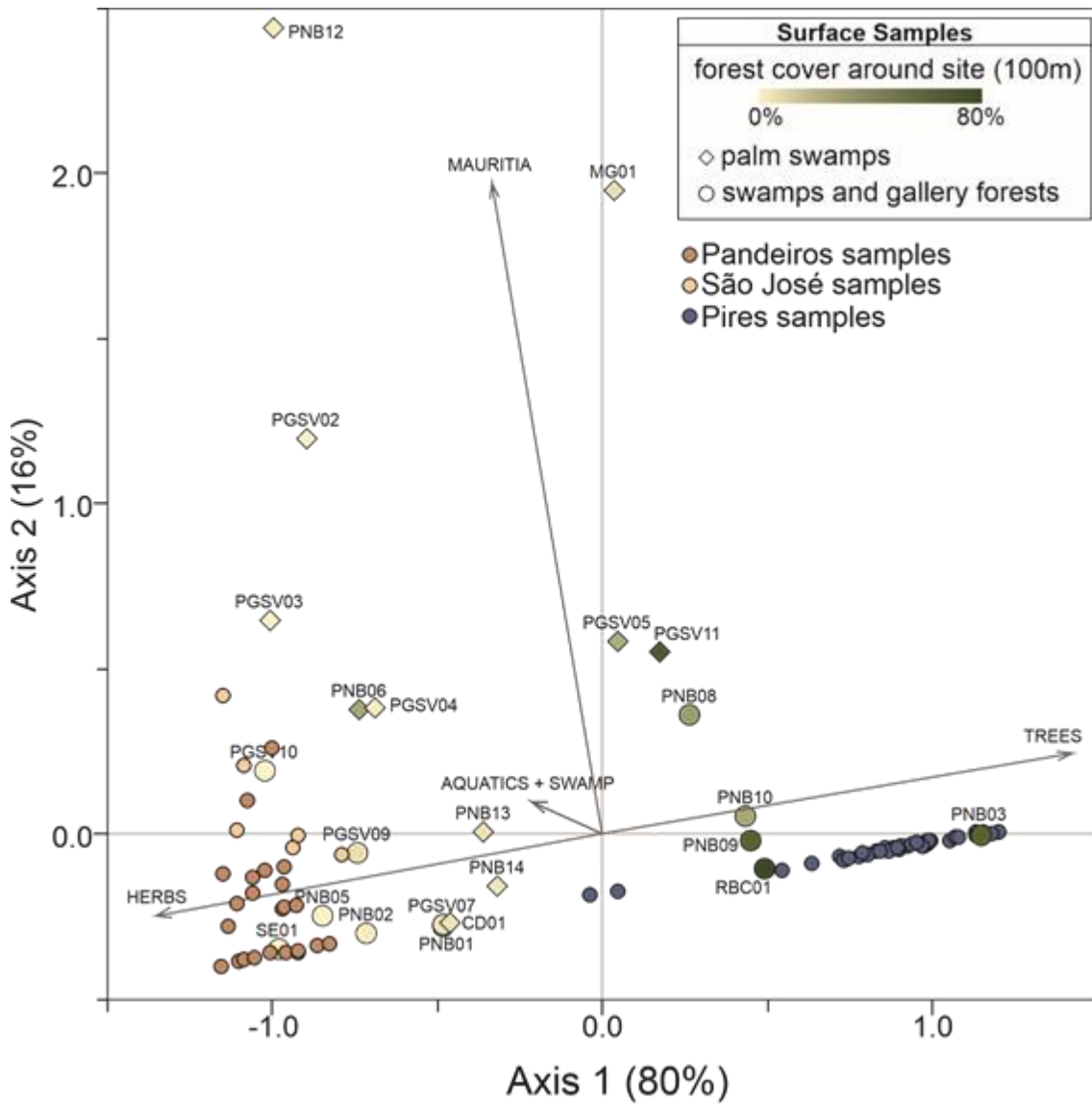
### Acknowledgements

This research was funded by the *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais* (FAPEMIG, Brazil) - Project CRA-APQ-03773-14. The first author was funded by a fellowship from the *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES, Brazil).

### 5.7 - SUPPLEMENTARY MATERIALS



**Figure 6.6:** Pollen percentage diagram of the Pandeiros palm swamp plotted against ages, showing the frequency of “Trees”, “Herbs”, “Aquatic and swamp taxa”, and “Others”



**Figure 6.7:** Principal components analysis, comparing the vegetation cover variability at the Pandeiros, São José and Pires palm swamps and the superficial samples found by Cassino *et al* 2015.

**Table 6.2:** PCA samples code description, according Cassino *et al.* (2015).

Sample Code	Local Environment	Phytophysionomies
PNB01	Swamp edge zone	<i>Campo Limpo</i> and Swamp
PNB02	Swamp	<i>Campo Limpo</i> and Forests
PNB03	Gallery Forest	<i>Cerrado stricto sensu</i>
PNB05	Swamp	<i>Campo Sujo</i>
PNB06	Arboreal Palm Swamp edge zone	<i>Campo Sujo</i>
PNB08	Arboreal Palm Swamp	<i>Campo Sujo</i>
PNB09	Gallery Forest	<i>Campo Sujo</i>
PNB10	Gallery Forest	<i>Campo Limpo</i>
PNB12	Typical Palm Swamp	<i>Campo Sujo</i>
PNB13	Typical Palm Swamp edge zone	<i>Campo Sujo</i>
PNB14	Typical Palm Swamp edge zone	<i>Campo Sujo</i>
PGSV02	Typical Palm Swamp	<i>Cerrado stricto sensu</i>
PGSV03	Sparse Palm Swamp	<i>Cerrado stricto sensu</i>
PGSV04	Typical Palm Swamp edge zone	<i>Cerrado stricto sensu</i>
PGSV05	Typical Palm Swamp	<i>Cerrado stricto sensu</i>
PGSV07	Swamp	Forests and <i>Cerrado stricto sensu</i>
PGSV09	Swamp	Forests and Swamp
PGSV10	Swamp	Forests and <i>Cerrado stricto sensu</i>
PGSV11	Typical Palm Swamp	<i>Campo Sujo</i> and <i>Cerrado stricto sensu</i>
RBC01	Gallery Forest	<i>Cerrado stricto sensu</i>
CD01	Typical Palm Swamp edge zone	<i>Campo Rupestre</i>
SE01	Swamp	<i>Campo Rupestre</i>
MG01	Typical Palm Swamp	<i>Cerrado stricto sensu</i>

## CAPÍTULO 7

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

A bacia do rio Pandeiros representa uma importante área de conservação da flora e fauna do bioma Cerrado na região do médio rio São Francisco, sendo a região pantanosa da bacia, conhecida como Pântano do Pandeiros, local onde ocorre a reprodução de aproximadamente 70% da ictiofauna do médio São Francisco. A bacia do rio Pandeiros também atua como corredor ecológico entre o parque Estadual Veredas do Peruaçu e a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Veredas do Acari. Apesar de já terem sido feitos estudos biogeográficos buscando entender as dinâmicas atuais da vegetação dentro da bacia, nenhum estudo voltado para o entendimento dessas dinâmicas abrangendo uma escala de tempo milenar, havia sido desenvolvido até então. Dessa forma, a abordagem da presente pesquisa constitui um trabalho de temática e resultados inéditos para a região, não só pela natureza dos materiais estudados (sedimentos quaternários de uma vereda) quanto pela associação de dados de diferentes *proxies*, constituindo o primeiro estudo palinológico de alta resolução que busca tratar a dinâmica fitofisionômica do Pantanal do Pandeiros durante o Holoceno tardio, propondo quais teriam sido seus processos de evolução da vegetação e sugerindo os possíveis fatores desencadeadores para tais cenários.

Em linhas gerais, por meio da análise polínica, com suporte da análise granulométrica e de matéria orgânica dos sedimentos da Vereda Pandeiros para a caracterização do ambiente deposicional, e da marcação cronológica dos eventos através da datação radiocarbônica, localmente, foi possível identificar ao menos sete fases de mudança de ambientes na Vereda Pandeiros e seu entorno. Em duas destas fases, ocorridas entre 4.100 e 3.700 anos cal AP e entre 2.600 até 1.800 anos cal AP, a vereda se encontra em seu maior estágio de desenvolvimento (exceto por evento de retração por volta de 2.400 anos cal AP), com uma vegetação circundante composta por um mosaico de Cerrado e Mata Seca no primeiro período e pelas fitofisionomias de Cerrado e Campos na fase entre 2.600 e 1.800 anos cal AP. Nesta fase, apesar do índice de umidade alto, não foi observado um maior desenvolvimento da vegetação arbórea. Uma fase de expansão da área pantanosa e da lâmina de água ocorreu entre 3.600 a 3.100 anos cal AP, momento em que se observa a maior proporção de vegetação arbórea circundante à Vereda Pandeiros, durante o Holoceno tardio. Duas fases que apresentaram um ambiente de vale seco ocorreram entre 2.900 e 2.800 anos cal AP e por volta de 900 anos cal AP, sendo que na primeira dessas fases foi possível observar a expansão do Cerrado e da Mata Seca sobre a vereda e na segunda fase havia a presença remanescente de *M. flexuosa*. Ainda, uma fase com a presença de um brejo e um ambiente remanescente de vereda foi observada entre 1.600 e 1.000 anos cal AP, caracterizando uma nova expansão da lâmina de água, porém em menor intensidade do que a vista entre 3.600 e 3.100 anos cal AP. Esse novo aumento de umidade permitiu uma nova retomada da predominância de



fitofisionomias florestais, porém com um dossel mais aberto. E, por fim, uma fase com ambiente de solo úmido e de clima que se assemelha ao atual, iniciou-se a partir de 750 anos cal AP.

Em caráter regional, o estudo da Vereda Pandeiros associado a estudos realizados em outras localidades sendo estas a Vereda Catolé, a Vereda São José (Cassino *et al.*, 2018) e o Lago do Pires (Behling, 1995) e ao estudos paleoclimáticos baseados em  $\delta^{18}\text{O}$  em Lapa Grande (Strikis *et al.*, 2011), Tamboril (Silva *et al.*, 2001) e Botuverá (Cruz *et al.*, 2005) mostraram que ao longo do Holoceno tardio a variação centenária da Sistemas de Monções da América do Sul (SMAS) tanto no norte de Minas Gerais quanto no sul/sudeste do Brasil controlou a disponibilidade de água na área do Pantanal do Pandeiros, uma vez que as chuvas na região sudeste do Brasil influenciam a disponibilidade de água que alimenta o rio São Francisco e as chuvas na região do norte de Minas Gerais alimentam diretamente o Rio Pandeiros. Em relação ao grau de cobertura arbórea, a comparação com outros registros polínicos indica que enquanto no leste de Minas Gerais, na transição Cerrado-Mata Atlântica, a tendência de aumento na quantidade de chuvas ao longo do Holoceno tardio resultou em um aumento da cobertura arbórea e uma diminuição na frequência de incêndios, na Bacia do Rio Pandeiros, apesar da tendência de relativo aumento da umidade, não houve uma expansão das matas. Nesta região, o concomitante aumento na insolação de verão ao longo do Holoceno tardio pode ter restringido o acúmulo de umidade nos solos das áreas drenadas e impedido o desenvolvimento da cobertura arbórea. A geomorfologia da área do Pantanal do Pandeiros pode ter sido um fator determinante no controle hídrico do solo, uma vez que sua característica de relevo suave, quando associado à maior incidência solar intensificam o processo de evaporação da umidade do solo, atuando como um fator de controle no desenvolvimento da vegetação local.

No que tange às marcas da ação antrópica sobre a vegetação, a ocupação dos primeiros grupos ceramistas no norte de Minas Gerais pode explicar a discrepância entre o aumento dos índices de pluviosidade, marcado pelos estudos realizados em espeleotemas, e o aumento da frequência de fogos na região da Bacia do Rio Pandeiros.

Em conclusão, os resultados deste estudo indicam que, apesar de haver uma tendência redução da umidade entre o início do Holoceno tardio e os tempos modernos, essa tendência não foi linear, havendo tanto períodos de maior umidade quanto os de seca marcante, podendo essas oscilações estarem ligadas às dinâmicas, tanto as de escala centenária quanto as de escala milenar, do Sistema de Monções da América do Sul. Entretanto há de se deixar registrado que o Pantanal do Pandeiros apresenta um ecossistema de baixa resiliência, lhe condicionando maior sensibilidade às alterações ambientais, sejam estas causadas por processos naturais ou por processos antrópicos e que, uma vez estabelecidas, estas alterações podem promover uma significativa modificação sobre as dinâmicas ecológicas essenciais para a manutenção da paisagem do Pantanal do Pandeiros.





## REFERÊNCIAS

---

- ABRÀMOFF, M. D.; MAGALHÃES, P.J.; RAM, S.J. Image processing with imageJ. **Biophotonics International**, v.11, p.36–41, 2004.
- ADAMS, J.; MASLIN, M.; THOMAS, E. Sudden climate transitions during the Quaternary. **Progress in Physical Geography**, v. 23, n. 1, p. 1–36, 1999.
- ALMEIDA, Jeferson Willian Lopes. **Métodos de sensoriamento remoto no mapeamento de veredas na apa rio pandeiros**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; JOSÉ, L. M.; SPAKOVER, G.. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- ARAÚJO, G. M.; BARBOSA, A.A.A.; ADRIANA, A. A.; ALICE F.A. Composição florística de veredas no município de Uberlândia, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 4, p. 475–493, dez. 2002.
- ASSIS, A. C. C. DE; COELHO, R. M; PINHEIRO, E. Da s.; DURIGAN, G. Water availability determines physiognomic gradient in an area of low-fertility soils under Cerrado vegetation. **Plant Ecology**, v. 212, n. 7, p. 1135–1147, 28 jul. 2011.
- ATSAWAWARANUNT, K.; HARRISON, S.; COMAS-BRU, L. SISAL (Speleothem Isotopes Synthesis and Analysis Working Group) database version 1b. University of Reading.Dataset, 2019. <http://dx.doi.org/10.17864/1947.189>.
- BAHIA, T. DE O. **Variação estrutural e florística da comunidade arbórea em veredas sob efeito de impacto ambiental na APA do rio Pandeiros, MG**. 2011. p. 94 Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Montes Claros- Unimontes. Montes Claros. 2011.
- BANDEIRA, J. V.; JARDIN. C. H. **Sustentabilidade da bacia do rio Pandeiros-MG: Projeto: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros (FAPEMIG: CRA-APQ-03773-14) Sub-Grupo 1a - Dinâmica das vertentes da bacia do rio Pandeiros**. 2014 - FAPEMIG. "[s.l: s.n.]. .
- BARBERI, M.; SALGADO-LABOURIAU, M. L.; SUGUIO, K. Paleovegetation and paleoclimate of “Vereda de Aguas Emendadas”, central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 13, n. 3, p. 241–254, 2000.
- BARBOSA, I. S. **Classificação e caracterização dos ambientes de terras úmidas do Refúgio de Vida Silvestre do Rio Pandeiros, a partir do uso de imagens Ikonos**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- BASTOS, L. A.; FERREIRA, I. M. Composições Fitofisionômicas Do Bioma Cerrado: estudo sobre o subsistema de Vereda. **Espaço em Revista**, v. 12, n. 1, p. 97–108, 2010.
- BEHLING, H. A high resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: vegetation, climate and fire history. **Journal of Paleolimnology**, v. 14, n. 3, p. 253–268, nov. 1995.
- BENNETT, K., & WILLIS, K. J. Pollen. In: H. J. B. BIRKS, & W. M. LAST (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3: Terrestrial, algal, and siliceous indicators*. Springer: 2001, p. 5-32.
- BERNAL, J.P.; CRUZ, F.W.; STRÍKIS, N.M.; WANG, X.; DEININGER, M.; CATUNDA, M.C.A.; ORTEGA-OBREGÓN, C.; CHENG, H., EDWARDS, R.L.; AULER, A.S. High-resolution Holocene South American monsoon history recorded by a speleothem from Botuverá Cave, Brazil. **Earth Planet. Sci. Lett.** 450, 186–196. 2016.
- BETHONICO, M. B. DE M. Rio Pandeiros: território e história de uma área de proteção ambiental no norte de Minas Gerais. **Revista ACTA Geográfica**, ano III, n.5, p. 23–38, JAN/JUN 2009.

- BLAAUW, M.; CHRISTEN, J. A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. **Bayesian Analysis**, v. 6, n. 3, p. 457–474, set. 2011.
- BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V. DE. Variabilidade do regime de monções sobre o Brasil: o clima presente e projeções para um cenário com 2xCO<sub>2</sub> usando o modelo MIROC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 1, p. 58–72, mar. 2008.
- BUENO, M. L. *et al.* The environmental triangle of the Cerrado Domain: Ecological factors driving shifts in tree species composition between forests and savannas. **Journal of Ecology**, v. 106, n. 5, p. 2109–2120, 2018.
- CARVALHO, P. G. A S. As Veredas e Sua Importância no Domínio dos Cerrados *In: Informe Agropecuário. Informe Agropecuário*, v. 15, n. 168, p. 47–54, 1991.
- CASSINO, R. F. **Reconstituição paleoambiental da região dos cerrados do norte de Minas Gerais baseada na análise palinológica de sedimentos de veredas e na comparação com conjuntos polínicos atuais**. 2014. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília - UnB, 2014.
- CASSINO, R. F.; MARTINHO, C. T.; DA SILVA CAMINHA, S. A. F. Modern pollen spectra of the Cerrado vegetation in two national parks of Central Brazil, and implications for interpreting fossil pollen records. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 223, p. 71–86, dez. 2015.
- CASSINO, R. F.; MARTINHO, C. T.; DA SILVA CAMINHA, S. A. F. A Late Quaternary palynological record of a palm swamp in the Cerrado of central Brazil interpreted using modern analog data. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 490, p. 1–16, jan. 2018.
- CASSINO, R. F.; MEYER, K. E. B. Morfologia de grãos de pólen e esporos de níveis holocênicos de uma vereda do Chapadão dos Gerais (Buritizero, Minas Gerais), Brasil. **Gaea - Journal of Geoscience**, v. 7, n. 1, p. 41–70, 2011.
- CASSINO, R. F.; MEYER, K. E. B. Reconstituição paleoambiental do Chapadão dos Gerais (Quaternário tardio) a partir da análise palinológica da Vereda Laçador, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 16, n. 1, p. 127–146, 30 abr. 2013.
- CHEVALIER, M.; Davis, B.A.S.; HEIRI, O.; SEPPA, H. CHASE, GAJEWSKI, K.; LACOUSE, T.; TELFORD, R. J.; FINSINGER, W.; GUIOT, J.; KUHL, N.; MAEZUMI, S. Y.; TIPTON, J. R.; CARTER, V. A.; BRUSSEL, T.; PHELPS, L. N.; DAWSON, A.; ZANON, M.; VALLÉ, F.; NOLAN, C.; MAURI, A.; VERNAL, A.; IZUMI, K.; HOLMSTROM, L.; MARSICEK, J.; GORING, S.; SOMMER, P. S.; CHAPUT, M.; KUPRIYANOV. Pollen-based climate reconstruction techniques for late Quaternary studies. **Earth-Science Reviews**, v. 210, p. 103384, NOV. 2020.
- CHIMPLIGANOND, C. N. **Estudos sobre a sismicidade de Caraíbas-Itacarambi, Minas Gerais : causas e características**. 2013. 100 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília 2013.
- CORDANI, U. G. *et al.* **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: 31° International Geological Congress, 2000.
- COSTA, P. C. G. **Geologia das Folhas de Januária, Mata do Jaíba, Japoré e Manga, Minas Gerais**. Belo Horizonte: CETEC., 1978.
- COUTINHO, L. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: GOLDAMMER, J. (Ed.). **Fire in the Tropical Biota. Ecological Studies**. Berlin, Germany: Springer Verlag, 1990. p. 82–105.
- CRUZ, F. W. *et al.* Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. **Nature**, v. 434, n. 7029, p. 63–66, mar. 2005.
- DE OLIVEIRA, P. E. *et al.* Climate change and biogeographic connectivity across the Brazilian cerrado. **Journal of Biogeography**, v. 47, n. 2, p. 396–407, 2020.
- DE OLIVEIRA, P. E.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene/Holocene climatic and

vegetational history of the Brazilian caatinga: The fossil dunes of the middle Sao Francisco River. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 152, n. 3–4, p. 319–337, 1999.

DE SOUZA, R. C. R. *et al.* Ampliando o conhecimento sobre os peixes do rio Pandeiros. **MG Biota**, v. 12, n. 1, p. 57–77, 2019.

DEAN, W. E. J. Determination of Carbonate and Organic Matter in Calcareous Sediments and Sedimentary Rocks by Loss on Ignition: Comparison With Other Methods. **SEPM Journal of Sedimentary Research**, v. 44, 1974.

DEININGER, M.; WARD, B.M.; NOVELLO, V.F.; CRUZ, F.W. Late Quaternary Variations in the South American Monsoon System as Inferred by Speleothems—New Perspectives using the SISAL Database. **Quaternary** v.2, n.6, 2019

DIAS, L. C. C. **Análise Da Paisagem Da Área De Proteção Ambiental Estadual Do Rio Pandeiros, Mg: Subsídios Para O Manejo E Conservação Da Fauna.** 2017. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de são Carlos, São Carlos, 2017.

DRECHSLER, M.; LOURIVAL, R.; POSSINGHAM, H. P. Conservation planning for successional landscapes. **Ecological Modelling**, v. 220, n. 4, p. 438–450, fev. 2009.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 1, p. 11–15, fev. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA **EMBRAPA: Manual de Métodos de Análise de Solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA- CNPS, 1997. v. 26

FAGUNDES, N. C. A.; FERREIRA, E. J. Veredas da região sudeste: peculiaridades florísticas e estruturais e situação de conservação. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 11, n. 3, 6 jul. 2016.

LORENTE, Flávio Lima; MEYER, Karin Elise Bohns; HORN, Adolf Heinrich. Análise Palinológica Da Vereda Da Fazenda Urbano, Município De Buritizeiro, Minas Gerais, Brasil. **GEONOMOS**, v. 18, n. 2, p. 57–72, 2010.

FONSECA, E. M. B. GROSSI W.R.; FIORINE, R. A. *et al.* 2008. PCH Pandeiros: uma complexa interface com a gestão ambiental regional. IN: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, Belo Horizonte, 1-16. 2008

FREITAS, F.D.O.; RODET, M.J. O que ocorreu nos últimos 2000 anos no vale do Peruaçu? Uma análise multidisciplinar para abordar os padrões culturais e suas mudanças entre as populações humanas daquela região. **Rev. do Mus. Arqueol. e Etnol.** 109, 2010.

FURLEY, P. A.; STREET, D.; EH, E. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian Cerrados. p. 223–241, 1999.

GALVÍNCIO, J.; SOUSA, F. Relação Entre o Fenômeno El Niño e os Totais Mensais Precipitados na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** 7, 113–119. 2002

GAN, M.A.; KOUSKY, V.E.; ROPELEWSKI, C.F. The South America Monsoon circulation and its relationship to rainfall over west-central Brazil. **Journal of Climate** 17, 47–66. 2004

GARCIA, M. J. **Palinologia de turfeiras Quaternárias do médio vale do rio Paraíba Do Sul, estado de São Paulo.** 1994. 306 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

GIAMBELLUCA, T.W., SCHOLZ, F.G., BUCCI, S.J., MEINZER, F.C., GOLDSTEIN, G., HOFFMANN, W.A., FRANCO, A.C., BUCHERT, M.P.. Evapotranspiration and energy balance of Brazilian savannas with contrasting tree density. **Agric. For. Meteorol.** 149, 1365–1376, 2009.

GUIMARÃES, A. J. M.; DE ARAÚJO, G. M.; CORRÊA, G. F. Estrutura fitossociológica em área natural e antropizada de uma vereda em Uberlândia, MG. **Acta Botanica Brasílica**, v. 16, n. 3, p. 317–329, 2002.

- HEIRI, O.; LOTTER, A. F.; LEMCKE, G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results Oliver. **Chemical Geology**, v. 25, n. 1–4, p. 101–110, 2001.
- HENRIQUES, R. P. . Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma do Cerrado. *In*: **CERRADO: ECOLOGIA, BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO**. Brasília: inistério do Meio Abiente- MMA,v.1, 2005.
- HOGG, A. G.; HUA, Q.; BLACKWELL, P. G.; NIU, M.; BUCK, C. E.; GUILDERSON, T. P.; HEATON, T. J.; PALMER, J. G.; REIMER, P. J.; REIMER, R. W.; TURNEY, C. S. M.; ZIMMERMAN, S. R. H. SHCal13 Southern Hemisphere Calibration, 0–50,000 Years cal BP. **Radiocarbon**, v. 55, n. 4, p. 1889–1903, 9 fev. 2013.
- HORÁK-TERRA, I.; CORTIZAS, A. M.; LUZ, C. F. P.; LÓPEZ, P. R.; SILVA, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Holocene climate change in central–eastern Brazil reconstructed using pollen and geochemical records of Pau de Fruta mire (Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 437, p. 117–131, nov. 2015.
- HORÁK-TERRA, I.; CORTIZAS, A. M.; LUZ, C. F. P. SILVA, A. C.; MIGHALL, T.; CAMARGO, P. BFILHO, C. V. M.; DE OLIVEIRA, P. E.; CRUZ, F. W.; VIDAL-TORRADO, P. Late Quaternary vegetation and climate dynamics in central-eastern Brazil: insights from a ~35k cal a BP peat record in the Cerrado biome. **Journal of Quaternary Science**, v. 35, n. 5, p. 664–676, 2020.
- INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS IGA. Áreas de Proteção Ambiental no Estado de Minas Gerais: demarcação e estudos para o prézoneamento ecológico - APA Bacia do Rio Pandeiros. Belo Horizonte, Relatório Técnico, Belo Horizonte, 2006.
- IGLESIAS, A.; WILF, P.; JOHNSON, K.; ZAUMER, A. B.; CUNEO, N.R.; MATHEOS, S. D.; SINGER, B.S. A Paleocene lowland macroflora from Patagonia reveals significantly greater richness than North American analogs. **Geology**, v. 35, n. 10, p. 947, 2007.
- JACOMINE, P. K. T. 1979. **Levantamento exploratório**: Reconhecimento de solos do norte de Minas Gerais. Recife, 1979. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/335992>>.
- JARDIM, C. H. Uso do solo e variações da temperatura do ar no baixo vale do Rio Pandeiros, Januária-MG- *In*: **Anais De Resumos Expandidos ISSN 2446-5879**. Editor Igor Rodrigues de Assis 12 e 13 de setembro de 2018 . Viçosa – MG – Brasil. 2018.
- JARDIM, C. H.; MOURA, F. P. DE. Variação temporal das chuvas no norte de Minas Gerais: eixo arinos, januária e salinas. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 192, p. 1–12, 2018.
- JORGE, J. A.; LEPSCH, I. F. Matéria orgânica das alíquotas das frações de argila e silte e sua influência na análise granulométrica pelo método da pipeta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 17, n. 12, p. 1777–1781, Brasília, 1982.
- JUGGINS, S. C2 Version 1.5 **User Guide. Software for Ecological and Palaeoecological Data Analysis and Visualisation**, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, United Kingdom, 73pp. 2007, Disponível em: <<https://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins/software/code/C2.pdf>>
- JUGGINS, S. **rioja: Analysis of Quaternary Science Data, R package version (0.9-21)**, 2017. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=rioja>>
- JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T.F.; LOUVRIAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; CUNHA, C. N.; MALTCHIK, L.; SCHONGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine And Freshwater Ecosystems**, 2013.

- JUNK, W. J.; BAYLEY, PETER B. P.B.; SPARKS, RICHARD E. R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. 1989, [S.l: s.n.], 1989. p. 110–127. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/256981220\\_The\\_Flood\\_Pulse\\_Concept\\_in\\_River-Floodplain\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/256981220_The_Flood_Pulse_Concept_in_River-Floodplain_Systems)>. Acesso em: 3 abr. 2018.
- KARK, S.; ALLNUT, T. F.; LEVIN, N.; MANNE, L. L. AND WILLIAMS, P. H. The role of transitional areas as avian biodiversity centers. **Global Ecology and Biogeography**, v.16, n.2, p.187-196. 2007
- LASKAR, J.; ROUBUTEL, P.; JOUTEL, F.; GASTINEAU M.; CORREIA, A. C. M.; LEVRARD, B. A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth. **Astronomy & Astrophysics**. v.428, n. 1, p. 261-285. 2004
- LENTERS, J.D., COOK, K.H. On the origin of the Bolivian high and related circulation features of the South American climate. **Journal of the Atmospheric Sciences**. v.54, n. 5, p. 656–677, 1997.
- LEDRU, M. P. Late Quaternary Environmental and Climatic Changes in Central Brazil. **Quaternary Research**, v. 39, n. 1, p. 90–98, 1993.
- LEONHARDT, A.; LORSCHREITER, M. L. Palinomorfos do perfil sedimentar de uma turfeira em São Francisco de Paula, Planalto Leste do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 1, p. 47–59, mar. 2007.
- LIMA, A. C. P. DE; AUGUSTIN, C. H. R. R.; OLIVEIRA, D. A. DE. Distribuição espacial de voçorocas e sua relação com o relevo em escala de bacia para fins de amostragem: Rio Pandeiros-Mg. **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (SBGFA) XVIII**, 2019.
- LOPES, L. E.; NETO, S. D.; LEITE, L. O.; MOTAES, L. L.; CAPUTUCHO, J. M. M.; . Birds from Rio Pandeiros, southeastern Brazil: a wetland in an arid ecotone. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 18, n. 4, p. 267–282, 2010.
- LORENTE, F. L.; OLIVEIRA, A. A. B.; PESSENDA, P. E.; RUIZ, L. C. **Palynological Atlas: Laboratory 14C - Cena/USP**. 2017, Piracicaba, Brazil: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz - FEALQ, 2017.
- MALTBY, E., ACREMAN, M.C. Services écosystémiques des zones humides: Éclaireur pour un nouveau paradigme. **Hidrological Science Journal**. v.56, p. 1341–1359, 2011.
- MELO, A. C. G.; DURIGAN, G.; GORENSTEIN, M. R. efeito do fogo sobre o banco de sementes em faixa de borda de floresta estacional semidecidual, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**. v. 21, n.4, 2007
- MENDONÇA, K.; MARCHINI, L. C.; SOUZA, B. A.; ALMEIDA-ANACLETO, D.; MORETI, A. C. C. C. Plantas apícolas de importância para *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) em fragmento de cerrado em Itirapina, SP. **Neotropical Entomology**, v. 37, n. 5, p. 513–521, out. 2008.
- MENINO, G. C. DE. **Florística E Estrutura Da Regeneração Natural Da Vegetação Ciliar Do Rio Pandeiros, Norte De Minas Gerais**. 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Montes Claros, 2009.
- MEYER, K. E. B.; CASSINO, R. F.; LORENTE, F. L.; RACZKA, M.; PARIZZI, M. G. 2014. Paleoclima e Paleoambiente do Cerrado durante o Quaternário com base em análises palinológicas. In: **Paleontologia: Cenários da Vida - Paleoclimas**. 1° ed. Rio de Janeiro, 2014
- MIRANDA, H. S.; SATO, M. N. **Efeitos do Fogo na Vegetação Lenhosa do Cerrado. In Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2005. v. 1
- MIRANDA, M. M. B.; ANDRADE, T. A. P. Fundamentos da Palinologia: principais tipos polínicos do litoral cearense. **Imprensa Universitária**: Universidade Federal do Ceará, Fortaleza 1990.
- MIRANDA, A.C.; MIRANDA, H.S.; LLOYD, J.; GRACE, J.; FRANCEY, R.J., MCINTYRE, J.A.; MEIR, P.; RIGGAN, P.; LOCKWOOD, R.; BRASS, J. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: An analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant, Cell and Environ**.



v.20, p. 315–328, 1997

MISTRY, J.; BERARDI, A.; ANDRADE, V.; KRAHÔ, T.; KRAHÔ, P.; LEONARDOS, O. Indigenous fire management in the cerrado of Brazil: The case of the Krahô of Tocantins. **Human Ecology**, v 33, p. 365–386, 2005

MOURA, F. P. DE; JARDIM, C. H. Tendência E Variabilidade Das Chuvas Em Januária – MG. **XII Simpósio Brasileiro Climatologia Geográfica**, p. 2226–2234, 2016.

NATIONAL CLIMATIC DATA CENTER, NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, **NCDC NOAA**. 2020. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/>

NEVES, W. V. **Avaliação da vazão em bacias hidrográficas com veredas, em diferentes estádios de conservação, na Apa do Rio Pandeiros - MG**. 2011, 58 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

NEVES, W. V.; MENEZES, E. P.; OLIVEIRA, F. S.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. Estudo Das Coberturas Superficiais Na Interface Cerrado- Vereda No Norte De Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 3, p. 351–367, 2015.

NILSSON, T. **The Pleistocene: Geology and Life in the Quaternary Ice Age**. 1° ed. [s.l.] Springer, 1983.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2° ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

NOVELLO, V. F.; CRUZ, F. W.; VUILLE, M.; STRIKIS, N. M.; EDWARDS, R. L.; CHENG, H.; EMERICK, S.; PAULA, M. S.; LI, X.; BARRETO, E. S.; KARMANN, I.; SANTOS, R. V. A high-resolution history of the South American Monsoon from Last Glacial Maximum to the Holocene. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 44267, 2017.

NUNES, Y. R. F.; AZEVEDO, I. F. P.; NEVES, W. V.; VELOSO, M. das D. M.; SOUZA, R.A.; FERNANDES, G. W. Pandeiros: O Pantanal Mineiro. **MG Biota**, v. 2, n. 2, p. 4–17, 2009.

OKSANEN, A.; SILES-LUCAS, M.; KARAMON, J.; POSSENTI, A.; CONRATHS, F. J.; ROMIG, T.; WYSOCKI, P.; MANNOCCI, A.; MIPATRINI, D.; LA TORRE, G.; BOUFANA, B.; CASULLI, A. The geographical distribution and prevalence of *Echinococcus multilocularis* in animals in the European Union and adjacent countries: a systematic review and meta-analysis. **Parasites & Vectors**, v. 9, n. 1, p. 519, 28 dez. 2016.

OLIVEIRA, D.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; LIMA, A. C. P. Proposta Preliminar De Unidades Hidrogeomorfológicas Para O Pantanal Do Rio Pandeiros – MG. *In: XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada* 2019.

OLIVEIRA, D. A. DE; AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B. M. Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Pandeiros-MG. *In: Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*. [s.l.] Instituto De Geociências - UNICAMP, 2017. p. 6253–6262.

OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrados of Brazil. Ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002.

PARIZZI, M. G.; SALGADO-LABOURIAU, M. L.; KOHLER, H. C. Genesis and environmental history of Lagoa Santa, southeastern Brazil. **Holocene**, v. 8, n. 3, p. 311–321, 1998.

PIVARI, M.O.D.; VIANA, P.L.; LEITE, F.S.F. The aquatic macrophyte flora of the pandeiros river wildlife sanctuary, minas Gerais, Brazil, **Check List**. v.9, n.2, p. 415–424. 2013

PIVELLO, V.R. The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: Past and present. **Fire Ecology**. v.7, n.1, p. 24–39, 2011.

PAULSEN, S.; BOSUM, W.; HAGEN, D.; LACERDA, G.M.; LIMA, J.E.S.; RIBEIRO, C.I.; GODOY, A.; SOUZA, A.A.; BICALHO, F.D.; FERRARI, P.G.; HEINECK, C.; STEINER, H.P.;

PAULINO, J.; RITCHER, P.; LANHER, L.; MOLLAT, H.; RESCH, M.; OSWALD, J.; JOCHMANN D. **Relatório de reconhecimento geológico-geoquímico Pratinha-Argenita Tapira-Serra da Canastra, Minas Gerais.** Belo Horizonte: [s.n.]. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/5456>>. Acesso em: 27 jul. 2020.

BECKER-HEIDMANN, Peter; SCHARPENSEEL, Hans Wilhelm. The Use Of Natural 14c And 13c In Soils For Studies On Global Climate Change. **Radiocarbon**, v. 34, n. 03, p. 535–540, 1992.

PINESE, O. P.; PINESE, J. F.; DEL CLARO, K. Estrutura e biodiversidade de comunidades zooplanctônicas em habitats de água doce de uma Região de Vereda, Minas Gerais, Brasil. **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 27, n. 3, p. 275–288, 2015.

PIVARI, M. O. D.; VIANA, P. L.; LEITE, F. S. F. The aquatic macrophyte flora of the pandeiros river wildlife sanctuary, minas Gerais, Brazil. **Check List**, v. 9, n. 2, p. 415–424, 2013.

PIVELLO, V. R. The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: Past and present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24–39, 2011.

**Projeto Flora Brasil.** Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ResultadoDaConsultaNovaConsulta.do#CondicaoTaxonCP>>.

PUNT, W. ; HOEN, P. P.; BLACKMORE, S.; NILSSON, S.; LE THOMAS, A. Glossary of pollen and spore terminology. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 143, n. 1–2, p. 1–81, 2007.

RACZKA, M. F. *et al.* Two paleoecological histories spanning the period of human settlement in southeastern Brazil. **Journal of Quaternary Science**, v. 28, n. 2, p. 144–151, 25 fev. 2013.

REDE DE CATÁLOGOS POLÍNICOS online. **RCPOL.** Disponível em: <<http://rcpol.org.br/pt/home/>>.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, T. M. B. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. In: **Cerrado: Ecologia e Flora. Brasília: EMBRAPA Informações Tecnológicas.** 1. ed. [s.l.] Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 152–212.

ROCHA, R., 2011. Descrição preliminar do sítio arqueológico Caixa d'Água e de seus remanescentes ósseos humanos (Buritizeiro, Minas Gerais - 6.000 BP). **Rev. do Mus. Arqueol. e Etnol.** v.11, p.101–107.

RODET, M. J. O. S. Etude technologique des industries lithiques taillees du nord de Minas Gerais - Bresil Depuis le passage Pléistocène / Holocène jusqu ' au contact - XVIII ème siècle 92001. **Rev. do Museu de Arqueologia e Etnologia.** v.15, n. 16, p.433-434, São Paulo, 2005-2006

RODRIGUES, P. M. S.; AZEVEDO, I. F. P.; SANTOS, R. M.; MENINO, G. C.; NUNES, Y. R. F.; FERNANDES, G.W. Diversidade florística da vegetação ciliar do rio Pandeiros, norte de Minas Gerais. **MG. MG Biota**, v. 2, n. 2, p. 18–35, 2009.

RULL, V.; MONTOYA, E. *Mauritia flexuosa* palm swamp communities: natural or human-made? A palynological study of the Gran Sabana region (northern South America) within a neotropical context. **Quaternary Science Reviews**, v. 99, p. 17–33, set. 2014.

SABINO, S. M. L.; MESSIAS, R.; ESKINAZI, E. M.S.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; OLIVEIRA, D. A.; GOMES, M. O. S. Palinológicas da vereda do pantanal , apa pandeiros, In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, n. c, p. 1–12, 2019.

SALES, H. R. SANTOS, R.M.; NUNES, Y.R.F.; MORAIS-COSTA, F.; SOUZA, S.C.A. Caracterização florística de um fragmento de cerrado na APA Estadual do Rio Pandeiros – bonito de Minas/MG. **MG. MG Biota**, v. 2, n. 3, p. 22–30, 2009a.

SALES, H. R.; SOUZA, S.C.A.; LUZ, G.R.; MORAIS-COSTA, F.; AMARAL, V.B.; SANTOS, R.M.; VELOSO, M.D.M.; NUNES, Y. R.F. Flora arbórea de uma Floresta Estacional Decidual na APA Estadual do Rio Pandeiros, Januária/MG. **MG. MG Biota**, v. 2, n. 3, p. 31–41, 2009b.

- SALGADO-LABOURIAU, M. L. 1973. **Contribuição á palinologia dos cerrados**. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 1973.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Hitória Ecológica da Terra**. 2° ed. São Paulo: Blucher, 1994.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L.; CASSETI, V.; FERRAZ-VICENTINI, K. R.; MARTIN, L.; SOUBIÈS, F.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. Late quaternary vegetational and climatic changes in cerrado and palm swamp from Central Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.128, n.1–4, p. 215–226, 1997.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L. Late quaternary palaeoclimate in the savannas of South America. **Journal of Quaternary Science**, v. 12, n. 5, p. 371–379, 1997.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L. 2007. **Crítérios e técnicas para o Quaternário**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.
- SATO, Y.; GODINHO, H. P. Migratory fishes of the São Francisco river. *In*: CAROLSFIELD J.; HARVEY, B.; ROSS C.; BAER, A. (eds) **Migratory fishes of South America**. 2003, Disponível em: <https://www.idrc.ca/sites/default/files/open ebooks/114-0/index.html>
- SCHEEL-YBERT, R. Considerações Sobre O Método De Datação Pelo Carbono-14 E Alguns Comentários Sobre. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, v. 9, p. 297–301, 1999.
- SCHNEIDER, T.; BISCHOFF, T.; HAUG, G. H. Migration and Dynamics of Intertropical Convergence Zone. **Research Review**. v.513, p. 45-53, September 2014.
- SILVA, C. G. DA. **Caracterização física e ambiental da bacia hidrográfica do rio Pandeiros- MG em eventos de El Niño-Oscilação Sul**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2018.
- SILVA, M. L. DA. A Dinâmica de Expansão e Retração de Cerrados e Caatingas no Período Quaternário: Uma Análise Segundo a Perspectiva da Teoria dos Refúgios e Redutos Florestais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 01, p. 057 - 073, 2011.
- SILVA, L. C. R. Importance of climate-driven forest–savanna biome shifts in anthropological and ecological research: Fig. 1. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 37, p. E3831–E3832, 16 set. 2014.
- SILVA, T. DE A. **Proposta Metodológica para Delimitação e Classificação do Ambiente de Vereda Utilizando Imagens Orbitais**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- SILVA, V. B. S.; KOUSKY, V. E. The south american monsoon system: Climatology and Variability. *In*: WANG, S.; GILLES, R. R. (Eds.) **Modern Cimatology**. London, United Kingdom: IntechOpen, 2012. p. 123–152.
- SIMÕES, N. R.; RIBEIRO, S. M. M. S.; SONODA, S. L. Diversity and structure of microcrustacean assemblages (Cladocera and Copepoda) and limnological variability in perennial and intermittent pools in a semi-arid region, Bahia, Brazil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 101, n. 4, p. 317–324, 2011.
- SIMON, M. F.; GREYER, R.; DE QUEIROZ, L. P.; SKEMAE, C.; PENNINGTON, R. T.; HUGHES, C. E. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 48, p. 20359–20364, 2009.
- SHOCK, M. P. **Holocene hunter-gatherer plant use and foraging choice: A test from Minas Gerais, Brazil**. 2010. Tese (Doutorado) - Departamento de Antropologia, Universidade da Califórnia, Santa Barbara, 2010.
- SOUZA, M. M. D. E. **Palinologia em sedimentos quaternários, localizados na estação do instituto florestal de Jataí**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de

Campinas, Campinas, 2010.

STOCKMARR, J. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. **Pollen et Spores**, v. XIII, n. January 1971, p. 615–621, 1971.

STRÍKIS, N. M.; CRUZ, F.W.; CHENG, H.; KARMANN, I.; EDWARDS, R. L.; VUILLE, M.; WANG, X.; DE PAULA, M. S.; NOVELLO, V. F.; AULER, A. S. Abrupt variations in South American monsoon rainfall during the Holocene based on a speleothem record from central-eastern Brazil. **Geology**, v. 39, n. 11, p. 1075–1078, 2011.

SUESS, H. E. Secular Variations of Cosmogenic  $^{14}\text{C}$  on Earth: Their Discovery and Interpretation. **Radiocarbon**, v. 28, n. 2A, p. 259–265, 18 jul. 1986.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais (passado + Presente = futuro? 1°**, Reimpr ed. São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas Ltda, 1999.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. 1° ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

TRAVERSE, A. Paleopalynology. **Topics in Geobiology**, 2. ed. [s.l.], Springer, 2007.

VERA, C.; HIGGINS, W.; AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAU, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUES-PAEGLE, J.; DIAS, P. L. S.; ZHANG, C. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. **Journal of Climate**, v. 19, n. 20, p. 4977–5000, 15 out. 2006.

WANG, X.; EDWARDS, R. L.; AULER, A. S.; CHENG, H.; ITO, E. Millennial-scale interhemispheric asymmetry of low-latitude precipitation: Speleothem evidence and possible high-latitude forcing. *In*: SCHMITTTNER, A.; HEMMING, S. R.; CHIANG, J. C. H. **Ocean circulation and impacts - Past and future changes of meridional overturning**, v. 173. p. 279–294, 2007.

WARD, B. M. WONG, C. I.; NOVELLO, V. F.; MCGEE, D.; SANTOS, R. V.; SILVA, L. C.R.; CRUZ, F.W.; WANG, X.; EDWARDS, R. L.; CHENG, H. Reconstruction of Holocene coupling between the South American Monsoon System and local moisture variability from speleothem  $\delta^{18}\text{O}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  records. **Quaternary Science Reviews**, v. 210, p. 51–63, abr. 2019.

WENG, C. WONG, C. I.; NOVELLO, V. F.; MCGEE, D.; SANTOS, R. V.; SILVA, L. C.R.; CRUZ, F.W.; WANG, X.; EDWARDS, R. L.; CHENG, H. Deglaciation and Holocene climate change in the western Peruvian Andes. **Quaternary Research**, v. 66, n. 1, p. 87–96, 20 jul. 2006.

WILLIAMS, J.W., GRIMM, E.G., BLOIS, J., CHARLES, D.F., DAVIS, E., GORING, S.J., GRAHAM, R., SMITH, A.J., ANDERSON, M., ARROYO-CABRALES, J., ASHWORTH, A.C., BETANCOURT, J.L., BILLS, B.W., BOOTH, R.K., BUCKLAND, P., CURRY, B., GIESECKE, T., HAUSMANN, S., JACKSON, S.T., LATORRE, C., NICHOLS, J., PURDUM, T., ROTH, R.E., STRYKER, M., TAKAHARA, H. The Neotoma Paleoecology Database: A multi-proxy, international community-curated data resource. **Quaternary Research** v. 89, p. 156-177, 2018

WILLIS, K.J., BAILEY, R.M., BHAGWAT, S.A., BIRKS, H.J.B. Biodiversity baselines, thresholds and resilience: Testing predictions and assumptions using palaeoecological data. **Trends Ecol. Evol.** v. 25, p. 583–591, 2010.

WORTHAM, B. E.; WONG, CORINNE I.; SILVA, L. C.R.; MCGEE, D.; MONTAÑEZ, I. P.; TROY, R.E.; COOPER, K. M.; SHARP, W. D.; GLESSNER, J J.G.; SANTOS, R. V. Assessing response of local moisture conditions in central Brazil to variability in regional monsoon intensity using speleothem  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 463, p. 310–322, abr. 2017.

YBERT, J.-P.; BOVE, C. P.; CARVALHO, M. de A. 1992. **Sugestões para padronização da metodologia empregada em estudos palinológicos do quaternário**. Revista do Instituto Geológico, v. 13, n. 2, p. 47–49, 1992.

YBERT, J.; CARVALHO, M.; SCHEEL-YBERT, R. 2012. **Dicionário Temático de Morfologia Esporopolínica**. Museu Nacional - Série Livros 47. n. January, 2012.



## Anexo 1

---

Artigo apresentado no XVIII simpósio de Geografia Física Aplicada (SBGFA), 2019, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 11 a 15 de junho de 2019. \*\*

### **TESTAGEM DE METODOLOGIA PARA CONFEÇÃO DE LÂMINAS PALINOLÓGICAS DA VEREDA DO PANTANAL, APA PANDEIROS, MINAS GERAIS**

Shirley Sabino<sup>(a)</sup>, Ramon Messias<sup>(b)</sup>, Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna<sup>(c)</sup>, Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin<sup>(d)</sup>, Diego Alves de Oliveira<sup>(e)</sup>, Makênia Oliveira Soares Gomes<sup>(f)</sup>

(a) Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, shirley\_sabino@hotmail.com

(b) Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, ramonbh6@hotmail.com

(c) Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, eskinazi@ufop.edu.br

(d) Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, chaugustin@hotmail.com

(e) Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, diego.oliveira@ifmg.edu.br

(f) Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, makenia@ymail.com

**Eixo: Geocronologia, estudos paleoambientais e mudanças globais**

#### **Resumo**

A identificação dos tipos de grãos de pólen e esporos em amostras de sedimentos do Quaternário é uma importante ferramenta para os trabalhos de reconstrução paleoambiental e paleoclimática, todavia, a boa diferenciação destes grãos depende da produção de lâminas translucidas. Este trabalho apresenta uma proposta de adaptação do protocolo base para preparação de sedimentos, que contenham grande quantidade de matéria orgânica. Nos protocolos de produção de lâminas a eliminação dos resíduos orgânicos dos sedimentos é feita através do ataque químico por KOH, entretanto, em alguns casos o método sugerido não é efetivo. Como resultado é proposto modificações no tempo e na quantidade de banhos em KOH, sendo estas modificações expressas na síntese em 5 etapas. O mesmo foi testado na

---

\*\* Buscando melhorar a qualidade do texto apresentado neste volume, pequenas partes da estrutura do texto, que foram identificadas como não satisfatórias após a publicação do mesmo, foram corrigidas em relação ao texto publicado.

produção de 25 lâminas palinológicas de sedimentos hidromórficos, da Vereda do Pantanal da APA Pandeiros – MG, que apresentaram subproduto substancialmente mais translúcido se comparado com as feitas pelo protocolo padrão.

**Palavras chave:** Metodologia, Palinologia, Vereda, Hidróxido de Potássio, Matéria Orgânica

## 1.1 - INTRODUÇÃO

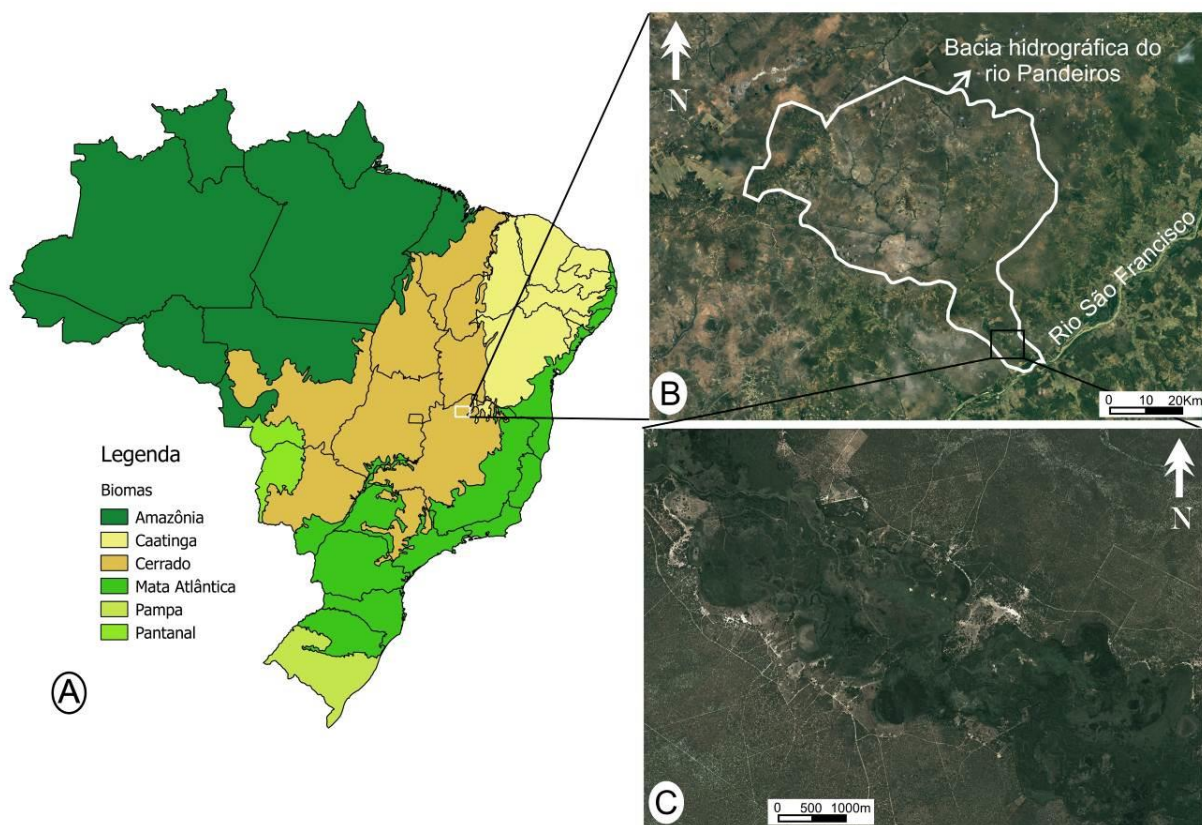
Os estudos palinológicos priorizam a análise e a identificação dos grãos de pólen e esporos, podendo estes estar contidos em sedimento ou não, a fim de estabelecer sua origem fitofisionômica através das características intrínsecas à estrutura do grão. Estes estudos podem ser então de grande importância para a compreensão das mudanças florísticas de dada localidade ao longo do tempo, e permitem inferências sobre alterações ambientais e paleoambientais correlacionadas a essas alterações (Ybert *et al.*, 1992; Salgado-Labouriau, 1973).

Para que a análise e identificação da estrutura dos grãos de pólen e esporos sejam realizadas com sucesso é necessário que o sedimento, no qual se espera encontrar uma assembleia polínica, seja tratado de forma a permitir a produção de lâminas em que a estrutura dos grãos fiquem bem visíveis à observação em microscópio (Salgado-Labouriau, 1973). Entretanto, diversos fatores podem comprometer a nitidez dessas lâminas, por exemplo, o excesso de matéria orgânica em sedimentos como é o caso das veredas.

Este trabalho apresenta uma adaptação da método de preparação de lâminas através da testagem do protocolo padrão proposto por Salgado-Labouriau (2007) e Ybert (1992). Para tal, foi coletado um testemunho sedimentar da Vereda do Pantanal da APA Pandeiros, subsistema úmido com material de textura argilosa, com agrupamentos mais ou menos densos de palmeira arbóreaalmerais (*Mauritia flexuosa*) e espécies arbustivo-herbáceas, localizada na região norte do estado de Minas Gerais, Brasil.

## 1.2 - ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, em que foi coletado o testemunho sedimentar, está localizada na região do norte de Minas Gerais (Figura 1), entre os municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho, entre as coordenadas geográficas 15° 0' 00" S até 15° 43' 00" S e 44° 30' 00" O até 45° 28' 00" (Bethonico, 2009; Nunes *et al.*, 2009).



**Figura 1.** Localização da área de coleta das amostras; A) Biomas brasileiros e localização da área de estudo, próximo ao limite entre o Cerrado e a Caatinga. B) Bacia hidrográfica do rio Pandeiros. C) Pântano do rio Pandeiros. Fonte: IBGE e Google Earth.

A lárea se insere na porção central do Cráton São Francisco (CSF), um fragmento do supercontinente Gondwana, gerado pela amalgamação de blocos continentais em múltiplas e sucessivas colisões, desde o Arqueano e que terminaram no final da Orogenia Riacciana-Orosiriana (Cordani *et al.*, 2000).

As rochas pertencentes ao embasamento do CSF na região, fazem parte do Complexo Januária (CJ) e estão expostas ao longo de drenagens. O CJ é composto por gnaisse e granitoides, os quais constituem o núcleo cratônico com idades mais antigas que 1,8 Ga. O CJ funciona como um alto estrutural, formado por estruturas do tipo *horst* e *graben* determinadas por falhas normais de direção EW e N40- 50W, com intrusões de rochas básicas e ultrabásicas encaixadas que controlou toda sedimentação do Grupo Bambuí na região (Paulsen *et al.*, 1974; Costa, 1978; Iglesias, 2007).

Sobrepostas, encontram-se coberturas pré-cambrianas (Grupo Bambuí) sendo presentes a Formação Lagoa do Jacaré (calcário e siltito) e o Supergrupo Paraopeba (arcóseo, argilito, calcarenito, dolomito, folhelho, marga, ritmito e siltito). A Formação Lagoa do Jacaré é composta por calcários cinza-escuros, em estratos paralelos e presença de estratificação cruzada acanalada. O Supergrupo Paraopeba é formado pelas formações Sete Lagoas e Santa Helena, que são sequências pelítico-



carbonáticas do Proterozóico (Chimpliganond, 2013). Também são presentes rochas do Grupo Urucuia que são caracterizadas como arenitos quartzosos, avermelhados e brancos, de granulação fina a média, com grãos arredondados, bem selecionados e matriz argilosa. Depósitos cenozoicos são comuns e conforme Oliveira *et al.*, (2017) são sedimentos inconsolidados compostos de cascalhos, argilas e siltes associados a planícies de inundação e coberturas detrito-lateríticas.

Quanto à geomorfologia, a bacia do rio Pandeiros está inserida na Depressão São Franciscana e nos Planaltos do São Francisco. A formação destas superfícies geomorfológicas é resultado de um grande ciclo de erosão, ocorrido durante o Cenozoico, que remobiliou rochas das formações Urucuia (Cretáceo) e Santa Helena (Neoproterozoico), resultando na exposição das camadas calcárias do Grupo Bambuí. As feições observadas incluem lagoas perenes e temporárias, meandros abandonados e canais fluviais.

### **1.3 - AMBIENTES DE VEREDAS**

Veredas são ecossistemas recorrentes dentro do bioma Cerrado que possuem como principal característica sua ocorrência em ambientes deprimidos, onde haja um fluxo hídrico lento e existência de uma fitofisionomia de origem hidrófila, sendo o Buriti (*Mauritia flexuosa*) a vegetação mais marcante (Neves *et al.*, 2015; Araújo *et al.*, 2002; Matos *et al.*, 2014; Cassino, 2014).

As Veredas estão associadas a áreas de nascentes de rios, bem como zonas de deposição e sedimentação em áreas deprimidas (Araújo *et al.*, 2002; Ribeiro & Walter, 2008; Pinese *et al.*, 2015). Neves (2015) indica que os processos de erosão e deposição têm forte impacto nas Veredas e, a baixa energia do fluxo hidráulico é um contribuinte relevante na evolução das mesmas. Conforme o autor, o funcionamento das Veredas está ligado à dinâmica dos fluxos superficiais e subsuperficiais, sendo os processos a eles associados como: erosão, sedimentação, pedogênese, etc.; responsáveis pela evolução da cobertura vegetal desse sistema.

Para Ribeiro & Walter (2008) as Veredas podem ser compartimentadas em três zonas associadas às características topográficas, de drenagem e das coberturas superficiais da área (Ribeiro & Walter, 2008). Estas zonas são: i- borda, onde existe solo com baixa umidade e arenoso, com trechos campestres, podendo existir árvores isoladas; ii- o meio, com solo de umidade intermediária, e cobertura tipicamente argilo-arenosa e; iii- fundo, caracterizado por solos hidromórficos, brejoso onde há a ocorrência dos buritis, arbustos e árvores de baixa estatura. Conforme os autores para cada uma dessas zonas é evidenciado, assim, características florísticas distintas.

## 1.4 - TÉCNICA BASE DE PREPARAÇÃO DE LÂMINAS PALINOLÓGICAS DO QUATERNÁRIO

O procedimento convencional na preparação de lâminas palinológicas surgiu com o intuito de melhorar a recuperação de palinomorfos existentes em sedimentos quaternários.

Ybert *et al.*, (1992) e Salgado-Labouriau (2007) preconizam os seguintes procedimentos:

- i- Introdução do marcador exótico (*Lycopodium clavatum*) no sedimento;
- ii- HCl a 10%;
- iii- Lavagem com água destilada;
- iv- KOH a 10% em fervura durante 5 min;
- v- Peneiramento com malha de 200 a 250µm;
- vi- Lavagem com água destilada;
- vii- Ácido acético concentrado;
- viii- Acetólise em fervura durante 4 min;
- ix- Lavagem com água destilada;
- x- HF a 40% durante uma noite;
- xi- Lavagem com água destilada;
- xii- HCl a 10% em fervura durante 15 minutos;
- xiii- Lavagem com água destilada;
- xiv- Montagem das lâminas.

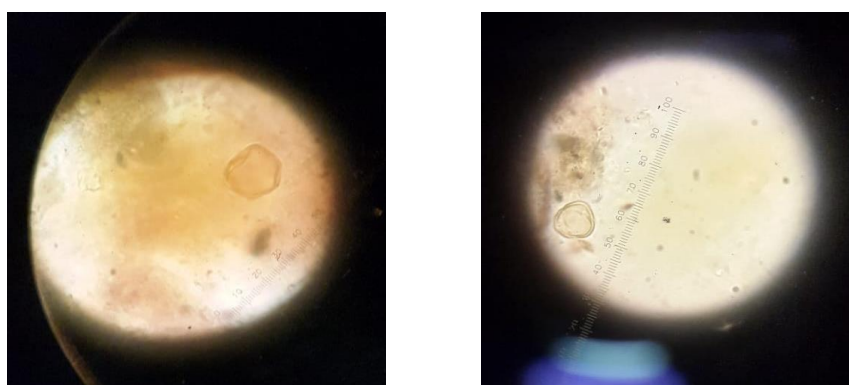
Segundo os autores o ideal é que todas as amostras sejam preparadas pelo mesmo método para permitir menores erros e distorções entre os espectros polínicos.

## 1.5 - MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução do estudo, inicialmente foram produzidas 6 lâminas seguindo as proposições acima de Ybert *et al.*, (1992) e Salgado-Labouriau (2007) e o procedimento foi realizado no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGQA) do Departamento de Geologia (DEGEO) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) obtendo-se as seguintes lâminas (Figura 2) e fotomicrografias (Figura 3).



**Figura 2.** Lâminas testes preparadas conforme Ybert *et al.*, (1992) e Salgado-Labouriau (2007).



**Figura 3.** Fotomicrografia das lâminas obtidas com 1000x em imersão em microscópio binocular Olympus Cx31. Proposta metodológica de Ybert *et al.*, (1992) e Salgado-Labouriau (2007).

## 1.6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi verificado que as metodologias de Ybert *et al.*, (1992) e Salgado-Labouriau (2007) não foram suficientes no processo de limpeza da matéria orgânica contida no sedimento utilizado na preparação das lâminas polínicas (Figura 2), o que dificultou a identificação das características de grande quantidade de grãos de pólen e esporos nas primeiras lâminas produzidas (Figura 3). Dessa forma, para que a análise palinológica fosse eficaz, optou-se pela adaptação dos protocolos sugeridos. Como resultado, descreve-se o procedimento abaixo, que foi aplicado em 25 alíquotas de 1 cm<sup>3</sup>, para a produção de lâminas de um testemunho sedimentar de 150 centímetros de profundidade. As análises foram realizadas no Laboratório de Paleontologia do Instituto de Geociências (IGC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

### *1ª Etapa – Preparação da Amostra*

Inicialmente procedeu-se a adição de alíquotas de 1 cm<sup>3</sup> dos sedimentos, já acrescentado o marcador exótico *Lycopodium clavatum*, em pequenos *beckers* de plástico de 50ml. Em seguida foram adicionados em cada alíquota ácido fluorídrico (HF) concentrado, até cobrir o sedimento. Para a

digestão a frio da sílica presente sugere-se repouso em capela de exaustão durante 12 horas. Após, adiciona-se água deionizada até completar os *beckers* e, após 6 horas de decantação o material sobrenadante é descartado. Em seguida acrescenta-se água deionizada até a borda dos *beckers* e a solução é colocada em repouso por 6 horas em capela de exaustão e faz-se o descarte do sobrenadante.

### ***2ª Etapa – Neutralização de HF e Dissolução de Carbonatos***

Após o procedimento inicial o sedimento é transferido para tubos plásticos com 15 ml de volume. Em seguida são acrescentados 8 ml de Ácido Clorídrico (HCL) a 10 % seguindo-se de uma etapa de repouso com duração de 15 minutos. O objetivo é de que a lavagem neutralize o HF residual e solubilize os carbonatos existentes. Após o repouso, os tubos são preenchidos com água deionizada e colocados em centrifuga por 4 minutos a 2000rpm e, posteriormente, é retirado o sobrenadante. Sugere-se que o processo de lavagem seja repetido por 2 vezes.

### ***3ª Etapa – Dissolução da Matéria Orgânica***

A quebra da matéria orgânica é realizada com ataque de Hidróxido de Potássio (KOH) á 10 %. São adicionados 8 ml de KOH ao sedimento e, este é aquecido em banho maria à 80 °C por 10 minutos. Após, coloca-se água deionizada para cessar a reação. A solução (sedimento, KOH e água deionizada) é centrifugada por 4 minutos a 2000rpm e o material sobrenadante é descartado. O processo de lavagem deve ser repetido 2 vezes. Os procedimentos desta etapa de dissolução devem ser repetidos por 3 vezes consecutivas para a eliminação da matéria orgânica.

### ***4ª Etapa – Processo de Acetólise***

Após finalizado os três ataques da KOH é feita uma lavagem com ácido acético glacial concentrado. Recomenda-se misturar e centrifugar por 4 minutos a 2000rpm. Essa etapa é importante para a eliminação da água existente no material.

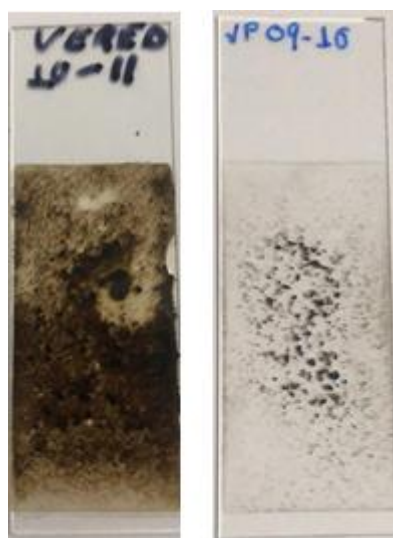
### ***5ª Etapa – Coragem das Paredes dos Grãos***

Para corar a exina dos grãos, que permite a observação da estrutura dos mesmos, o processo de acetólise é continuado por meio de 1 parte de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado para 9 partes de anidrido acético (CH<sub>3</sub>CO)<sub>2</sub>O. É colocado 8 ml desta solução em cada frasco, esses são aquecidos em banho maria por 4 minutos. Sequentemente a solução é centrifuga por 4 minutos a 2000rpm e descarta-se o sobrenadante.

Após descartado o sobrenadante, os tubos são preenchidos com água deionizada sendo, em seguida, centrifugados e o sobrenadante é descartado novamente. Por fim, esse processo de lavagem deve ser repetido por 3 vezes.

Foram montadas 2 lâminas com gelatina glicerinada para cada alíquota. Estas se mostram de uma qualidade superior (Figura 4) aos métodos dos tradicionais de ataque com KOH (Figura 2), no que

se refere ao sedimento trabalhado, apresentando uma característica suficientemente translúcida para a análise microscópica, sem prejuízo para a descrição da estrutura do grão, dispensando até mesmo a etapa de peneiramento sugerido pelos métodos Ybert *et al.*, (1992) e Salgado-Labouriau (2007).



**Figura 4.** Lâminas coparativas entre métodos. Em A: Lâmina de material localizado entre 10 – 11 cm de profundidade, com preparação convencional; B: Lâmina de material localizado entre 09 – 10 cm de profundidade, preparada com metodologia adaptada.

## 1.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os protocolos convencionais de tratamento para sedimentos, que fazem uso de um banho de Hidróxido de Potássio por 5 minutos não se mostraram eficazes para a limpeza do sedimento retirado da Vereda do Pantanal do Pandeiros. Assim, buscando chegar a uma nitidez maior das lâminas sem prejudicar as características da estrutura dos grãos de pólen e esporos, tanto o tempo de banho aquecido do sedimento em KOH, quanto a quantidade desses banhos foram aumentados, passando a serem banhos de 10 minutos e um total de três banhos seguidos de lavagens sucessivas entre eles. O resultado dessa experiência se mostrou efetivo, fazendo com que se chegasse à produção de amostras capazes de produzir lâminas translúcidas, que garantem a boa qualidade de observação microscópica, sem prejuízo para a estrutura dos palinomorfos.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao Laboratório de Paleontologia do IGC/UFMG, ao Laboratório de Geoquímica Ambiental DEGEO/EM/UFOP, ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do DEGEO/EM/UFOP, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

## Anexo 2

---

Aqui são apresentadas as fotomicrografias dos 49 grãos de pólen identificados e os não identificados, além dos esporos

### **Lista de táxons em ordem alfabética.....Ímpar**

#### **Alismataceae Vent.**

Tipo *Echinodorus* Rich. ex Engelm. .... 109

Tipo *Sagittaria* L. .... 109

#### **Amaranthaceae A.Juss.**

*Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze..... 109

*Alternanthera* sp. .... 109

Tipo *Amaranthus* L. .... 110

*Gomphrena* L. .... 110

#### **Anacardiaceae R.Br.**

*Astronium* Jacq. .... 110

#### **Apocynaceae Juss.**

Apocynaceae Juss. .... 110

#### **Arecaceae Schultz Sch.**

Arecaceae Schultz Sch. .... 111

*Mauritia Flexuosa* L.F. .... 111

#### **Araliaceae Juss.**

*Hydrocotyle* L. .... 111

#### **Asteraceae Bercht. & J.Presl.**

Asteraceae Bercht. & J.Presl ..... 111

#### **Begoniaceae C.Agardh**

*Begonia* L. .... 111

#### **Cannabaceae Martinov**

*Celtis* L. .... 112

*Trema Micrantha* (L.) Blume..... 112

#### **Caryocaraceae Szyszil.**

*Caryocar Brasiliense* Cambess. .... 112

#### **Celastraceae R. Br.**

Celastraceae R. Br. .... 112

#### **Cyperaceae Juss.**

Cyperaceae Juss. .... 113

#### **Dilleniaceae Salisb.**

Dilleniaceae Salisb. .... 113

**Erythroxyloaceae Kunth**

*Erythroxyllum* P. Browne ..... 113

**Euphorbiaceae Juss.**

*Acalypha* L. .... 113

Tipo *Croton* L. .... 114

*Euphorbia* sp1 L. .... 114

*Euphorbia* sp2 L. .... 114

*Sebastiania* Spreng. .... 115

**Fabaceae Lindl.**

*Anadenanthera* sp. .... 115

*Mimosa* Sp. L. .... 115

*Erythrina* L. .... 116

Tipo *Myroxylon* L.F. .... 116

**Humiriaceae A. Juss.**

Humiriaceae A. Juss. .... 116

**Lentibulariaceae Rich.**

*Utricularia* L. .... 116

**Lythraceae J. St.-Hil.**

*Cuphea* P.Browne ..... 117

**Malpighiaceae Juss.**

*Byrsonima* Rich. Ex Kunth ..... 117

Malpighiaceae Juss. Indeterminada ..... 117

**Malvaceae Juss.**

*Pseudobombax* Dugand ..... 117

*Heliocarpus* L. .... 118

**Myrtaceae Juss**

Myrtaceae Juss. .... 118

**Onagraceae Juss.**

*Ludwigia* L. .... 118

**Phyllanthaceae Martinov.**

*Hyeronima* Allemão ..... 119

**Poaceae Barnhart**

Poaceae Barnhart..... 119

**Podocarpaceae Endl.**

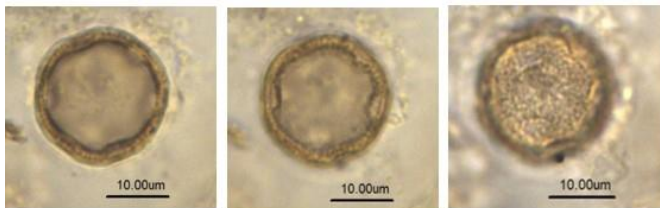
*Podocarpus* L'hér. Ex Pers. .... 119

**Polygonaceae A.Juss.**

<i>Polygonum</i> L. ....	120
<b>Primulaceae Bastsch Ex Borkh</b>	
<i>Myrsine</i> L. ....	120
<b>Proteaceae Juss.</b>	
Proteaceae Juss. ....	120
<b>Rosaceae Juss.</b>	
Rosaceae Juss. ....	120
<b>Rubiaceae Juss.</b>	
Tipo <i>Borreria</i> G.Mey. ....	121
Tipo <i>Coutarea</i> Aubl. ....	121
<b>Salicaceae Mirb.</b>	
<i>Casearia</i> Jacq. ....	121
<b>Sapindaceae Juss.</b>	
<i>Dilodendron Bipinnatum</i> Radlk. ....	121
<b>Xyridaceae C. Agardh</b>	
<i>Xyris</i> Gronov. Ex L. ....	121
<b>Esporos</b>	
<b>Blechnaceae Newman</b>	
Blechnaceae Newman .....	122
<b>Cyatheaceae Kaulf.</b>	
Cyathea Kaulf. ....	122
<b>Pteridaceae E.D.M.Kirchm.</b>	
Pteridaceae E.D.M.Kirchm.....	123
<b>Thelypteridaceae Pic. Serm.</b>	
Tipo <i>Thelypteris</i> .....	123



### Alismataceae

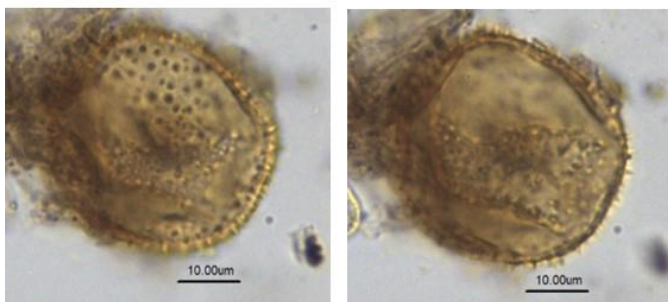


**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, pantoporado, âmbito circular esférico. Poros circulares, recobertos por membrana. Exina escabrada ou rugulada. E = 20 µm; P= 19 µm.

**Identificação:** *Echinodorus* (Alismataceae)

**Hábito:** ervas aquáticas

**Fitofisionomia:** brejo, vereda, campo úmido.



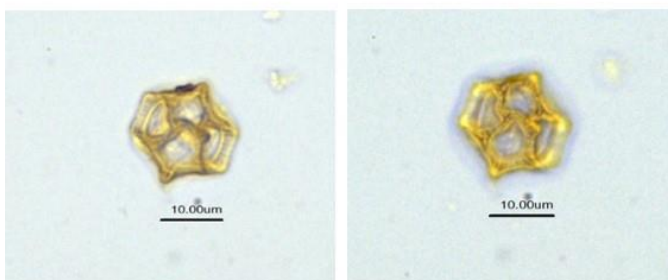
**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, pantoporado, âmbito circular esférico. Poros circulares, recobertos por membrana. Exina equinada. E = 34 µm; P= 36 µm.

**Identificação:** Tipo *Sagittaria* (Alismataceae)

**Hábito:** ervas aquáticas

**Fitofisionomia:** brejo, vereda, campo úmido.

### Amaranthaceae

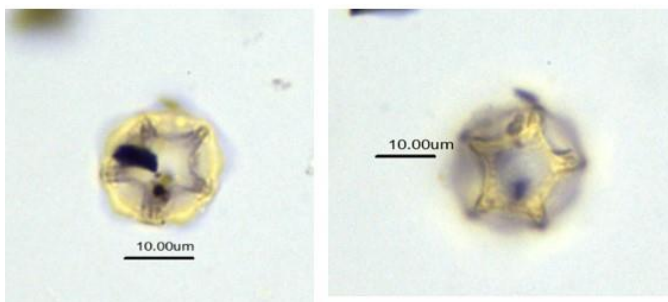


**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, radiosimétrico, âmbito circular, pantoporado. Poros circulares localizados nos lúmens dos retículos. Sexina reticulada, com malhas grandes pentagonais mal definidas, columelas não visíveis. D=15-16µm .

**Identificação:** *Alternanthera brasiliana*. (Amaranthaceae)

**Hábito:** erva

**Fitofisionomia:** campo rupestre, brejo, área antrópica

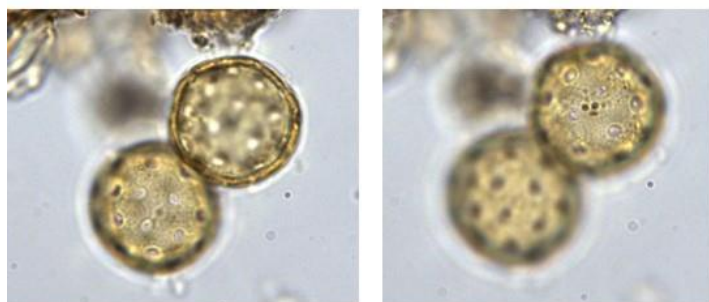


**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, âmbito circular, esférico, pantoporado. Poros circulares localizados nos lúmens dos retículos. Sexina reticulada, com malhas grandes pentagonais bem definidas, columelas marcadas nos vértices da malha pentagonal. D=15-16µm .

**Identificação:** *Alternanthera* sp. (Amaranthaceae)

**Hábito:** erva, raramente arbustos

**Fitofisionomia:** campo rupestre, brejo, área antrópica



**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, radioassimétrico, apolar, âmbito circular, esférico, pantoporado, poros circulares. Escabrado. D=24-34 $\mu$ m .

**Identificação:** Tipo *Amaranthus* (Amaranthaceae)

**Hábito:** árvore , arbusto

**Fitofisionomia:** brejo, vereda, campo úmido.



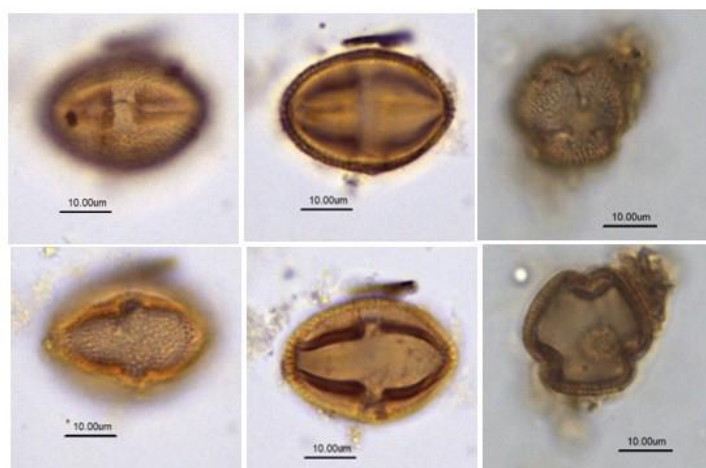
**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, radioassimétrico, apolar, âmbito circular, esférico, pantoporado. Sexina reticulada de malhas grandes, hexagonais ou pentagonais, com um poro circular em cada lúmem. Columelas evidentes, que sustentam os muros do retículo. D=17 $\mu$ m.

**Identificação:** *Gomphrena* (Amaranthaceae)

**Hábito:** subarbusto

**Fitofisionomia:** cerrado, campo rupestre, campo.

### Anacardiaceae



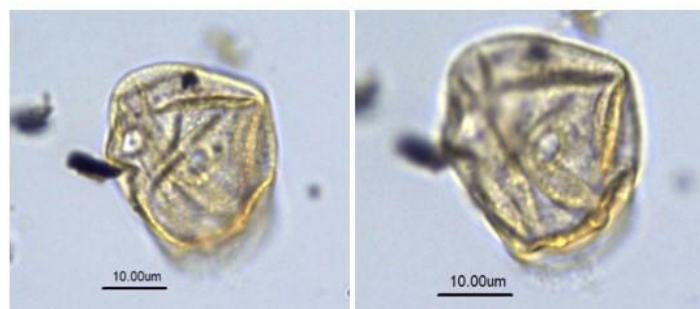
**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, isopolar, tricolporado, âmbito lobado ou triangular. Poros lalongados. Colpos longos. Exina reticulada-estriada. E = 23  $\mu$ m; P= 33  $\mu$ m.

**Identificação:** *Astronium* (Anacardiaceae)

**Hábito:** árvore

**Fitofisionomia:** mata seca, mata de galeria

### Apocynaceae



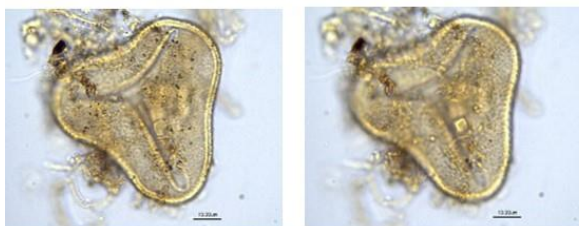
**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, radioassimétrico, isopolar, âmbito circular, triporado ou tetraporado, poros circulares com ânulos. Escabrado. Exina fina. E=25 $\mu$ m; P=28 $\mu$ m.

**Identificação:** Apocynaceae

**Hábito:** árvore, arbusto, liana.

**Fitofisionomia:** cerrado

### Arecaceae

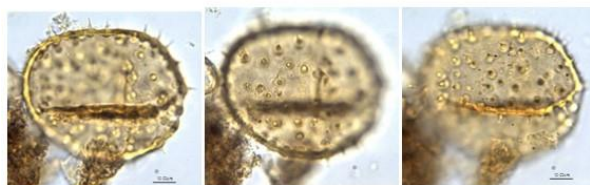


**Descrição:** Grão de pólen mônade, grande, tricotomosulcado, âmbito subtriangular ou elíptico a circular. Exina reticulada. E= 59,93 - 63,42 µm

**Identificação:** Arecaceae

**Hábito:** árvores

**Fitofisionomia:** cerrado, mata



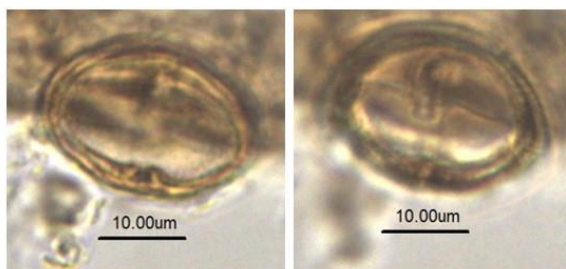
**Descrição:** Grão de pólen mônade, grande, heteropolar, monoporado com poros não visível, âmbito circular elíptico, esférico. Poros circulares. Exina equinada, com espinhos grandes e cônicos. D = 63 - 76µm

**Identificação:** *Mauritia flexuosa* (Arecaceae)

**Hábito:** árvores

**Fitofisionomia:** vereda e brejo.

### Araliaceae



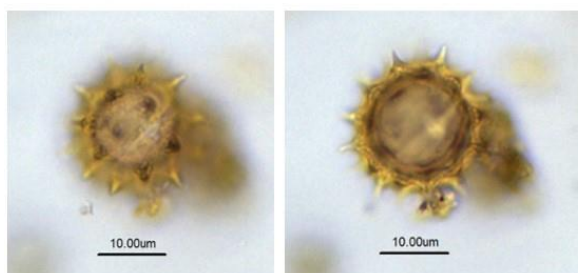
**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, isopolar, âmbito circular, subprolato. Tricolporado, colpos longos. Poros lalongados. Exina psilada. E= 18 µm; P= 25 µm.

**Identificação:** *Hydrocotyle* sp. (Araliaceae)

**Hábito:** erva

**Fitofisionomia:** campo úmido

### Asteraceae



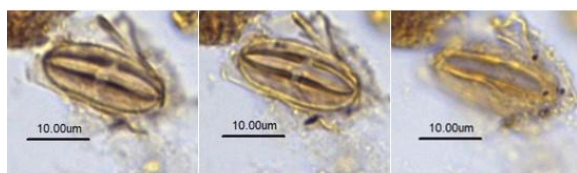
**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno a grande, radiossimétrico, isopolar, âmbito triangular ou circular, tricolporado. Sexina equinada. P=19-40 µm.

**Identificação:** Asteraceae

**Hábito:** erva ou arbusto

**Fitofisionomia:** várias.

### Begoniaceae



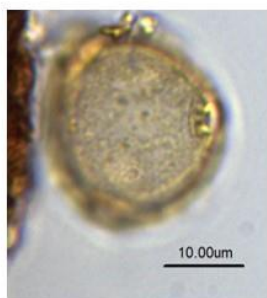
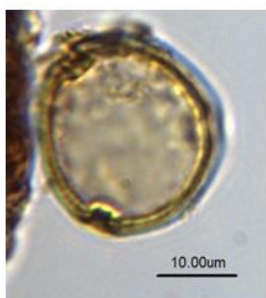
**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, isopolar, tricolporado, âmbito lobado. Poros lalongados. Exina psilada. E = 27 µm; P= 39 µm.

**Identificação:** *Begonia* sp. (Begoniaceae)

**Hábito:** ervas

**Fitofisionomia:** mata de galeria, campos

## Cannabaceae

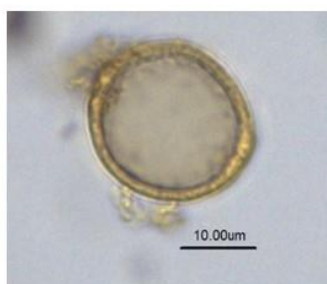


**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, radiosimétrico, âmbito circular, suboblato, triporado. Poros circulares, com ânulo. Exina escabrada. E = 26  $\mu$ m; P= 23  $\mu$ m.

**Identificação:** *Celtis* sp. (Cannabaceae)

**Hábito:** árvores

**Fitofisionomia:** mata de galeria



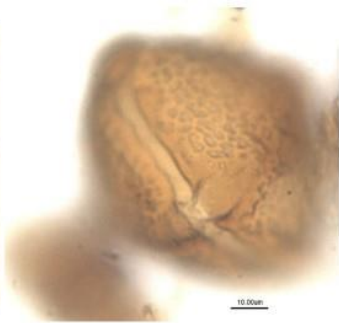
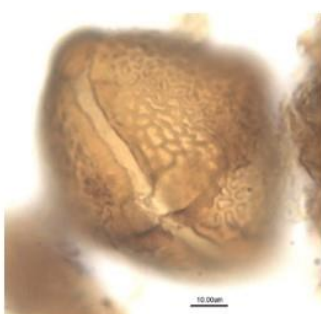
**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, bilateralmente simétrico, isopolar, biporado, âmbito circular, suboblato. Poros circulares, com ânulo. Exina escabrada. E = 26  $\mu$ m; P= 23  $\mu$ m.

**Identificação:** *Trema micrantha* (Cannabaceae)

**Hábito:** árvores

**Fitofisionomia:** mata de galeria

## Caryocaraceae



**Descrição:** Grão de pólen mônade, Subprolato, tricolporado, radiosimétrico, grande, âmbito triangular, exina reticulada com malhas grandes. Colpos longos, com margem, poros circulares muito salientes. E= 74  $\mu$ m; P= 80  $\mu$ m.

**Identificação:** *Caryocar* (Caryocaraceae)

**Hábito:** árvores

**Fitofisionomia:** cerrado.



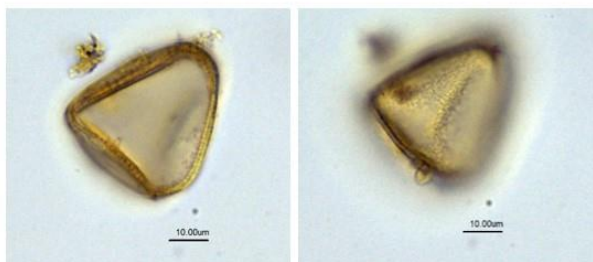
**Descrição:** Grão de pólen mônade, tricolporado, médio, âmbito subprolato, exina reticulada. Colpos curtos, com margem, poros circulares muito salientes. E= 74  $\mu$ m; P= 80  $\mu$ m.

**Identificação:** *Celastraceae*

**Hábito:** árvores, arbusto, liana

**Fitofisionomia:** cerrado, mata de galeria, campo úmido.

### Cyperaceae



**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio a grande, radioossimétrico, heteropolar, âmbito triangular. Aberturas tipo poróides constituídos por sulcos irregulares na região equatorial. Sexina psilada ou escabrada. E= 30 µm; 30 µm .

**Identificação:** Cyperaceae

**Hábito:** erva

**Fitofisionomia:** campo úmido, brejo, cerrado, campos.

### Dilleniaceae



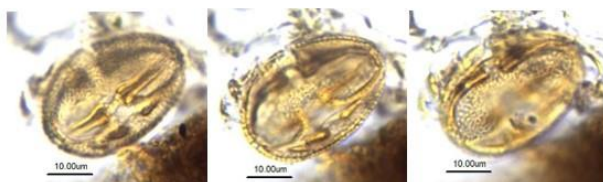
**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, âmbito triangular de lados convexos, subprolato a prolato, tricolporado. Colpos longos. Poros circulares. Exina reticulada. E = 20 µm; P= 27 µm.

**Identificação:** Dilleniaceae

**Hábito:** árvores, arbustos

**Fitofisionomia:** Várias

### Erythroxylaceae



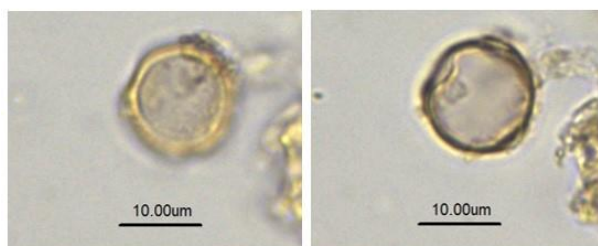
**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, isopolar, tricolporado, prolato. Poros lalongados. Colpos parecendo sincolorados, com margem. Exina reticulada, com malhas grandes. E =23 µm; P= 33 µm.

**Identificação:** *Erythroxylum* sp. (Erythroxylaceae)

**Hábito:** árvore, arbusto, subarbusto

**Fitofisionomia:** várias

### Euphorbiaceae

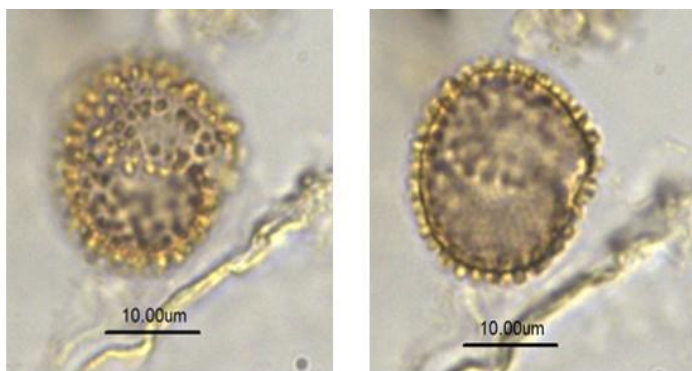


**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, radioossimétrico, isopolar, âmbito circular, suboblato, tricolporado. Poros circulares com anulo, escabrado. P=13 µm; E= 14 µm

**Identificação:** *Acalypha* sp. (Euphorbiaceae)

**Hábito:** erva, subarbusto, arbusto.

**Fitofisionomia:** mata de galeria, campo



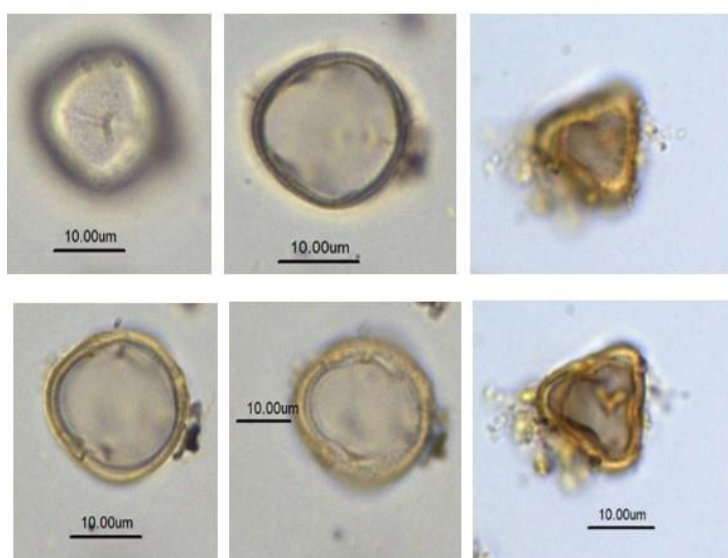
**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, radioassimétrico, apolar, âmbito circular, esférico, inaperturado. Exina pilada.

E = 21  $\mu$ m; P= 19  $\mu$ m.

**Identificação:** Tipo *Croton*  
(Euphorbiaceae)

**Hábito:** vários

**Fitofisionomia:** várias



**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, radioassimétrico, isopolar, âmbito triangular, tricolporado, microreticulado. P=20  $\mu$ m; E= 19  $\mu$ m

**Identificação:** *Euphorbia* sp.1  
(Euphorbiaceae)

**Hábito:** erva.

**Fitofisionomia:** vários

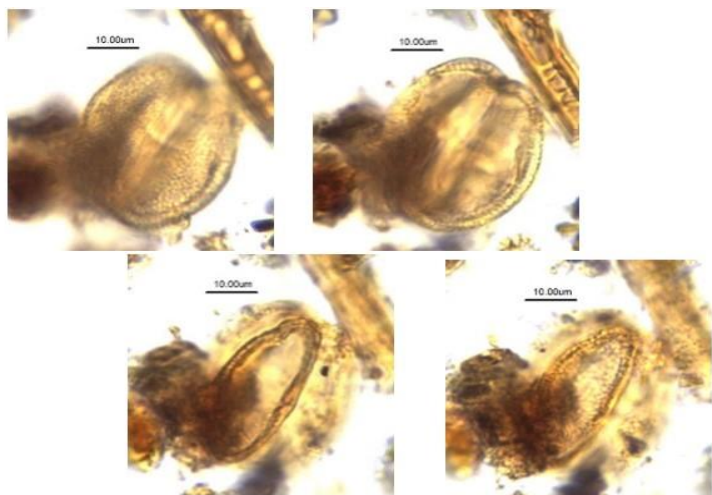


**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, radioassimétrico, isopolar, âmbito circular, microreticulado. P= 17  $\mu$ m; E= 15  $\mu$ m

**Identificação:** *Euphorbia* sp.2  
(Euphorbiaceae)

**Hábito:** erva.

**Fitofisionomia:** várias



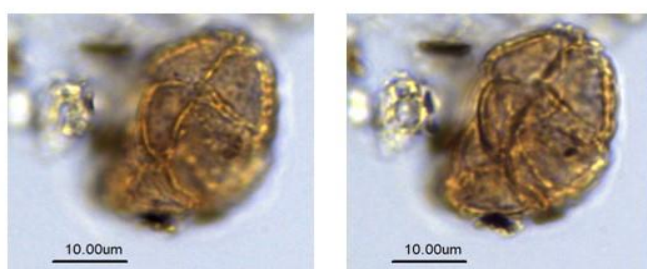
**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, radiossimétrico, subprolato, âmbito trilobado, tricolporado. Colpos longos, poros lalongados. Exina reticulada.

E = 27 µm; P= 36 µm.

**Identificação:** *Sebastiania* sp. (Euphorbiaceae)

**Hábito:** arbusto, erva

**Fitofisionomia:** cerrado, campo sujo



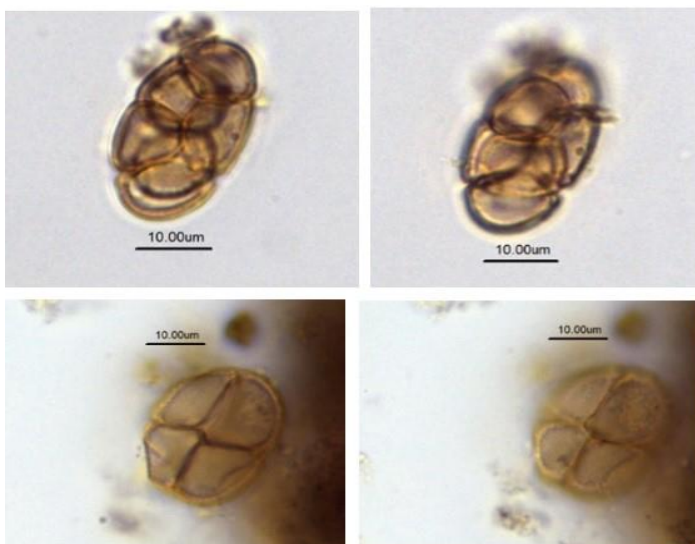
**Descrição:** Políade média. Com 8 a 10 grãos pequenos. Contorno elíptico. Exina verrucada. D (políade)= 30 - 21 µm

**Identificação:** *Anadenanthera* sp. (Fabaceae)

**Hábito:** Árvore

**Fitofisionomia:** Mata, Mata de Galeria, Cerradão

#### Fabaceae Mimosoideae



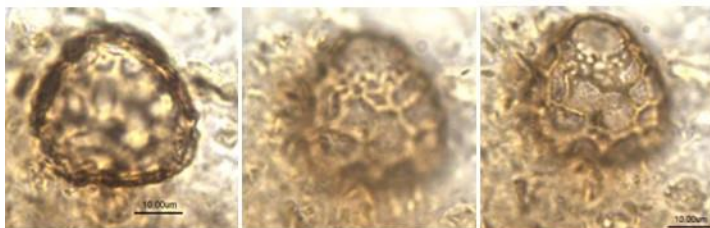
**Descrição:** Políade, Grãos suboblato, pequenos, inaperturados, exina psilada. E=28,35 µm; P= 15,95 µm.

**Identificação:** *Mimosa* sp. (Fabaceae)

**Hábito:** arbustos e árvores

**Fitofisionomia:** várias.

### Fabaceae Papilionoideae

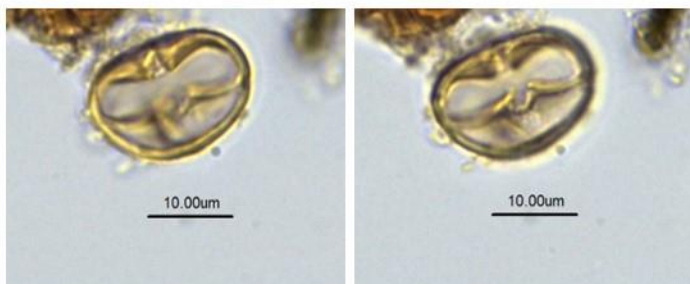


**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, triporado, âmbito triangular convexo, suboblato. Poros circulares com ânulo. Exina reticulada heterobrocada, com malhas grandes que diminuem próximo aos poros. E=34  $\mu$ m; P= 34  $\mu$ m.

**Identificação:** *Erythrina* sp. (Fabaceae)

**Hábito:** árvore

**Fitofisionomia:** cerrado, área antrópica.



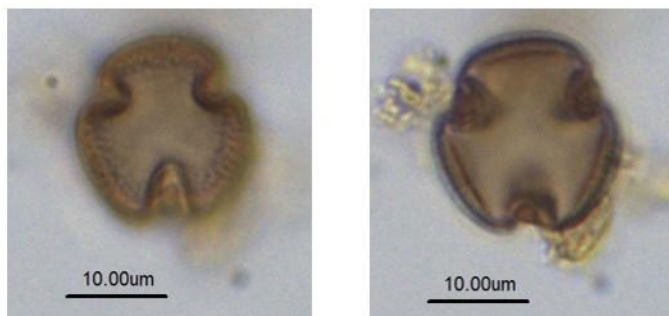
**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, tricolporado, âmbito triangular convexo, isopolar, subprolato. Colpos com constrição equatorial. Exina psilada. E=15  $\mu$ m; P= 21  $\mu$ m.

**Identificação:** Tipo *Myroxylon* (Fabaceae)

**Hábito:** árvore

**Fitofisionomia:** matas.

### Humiriaceae



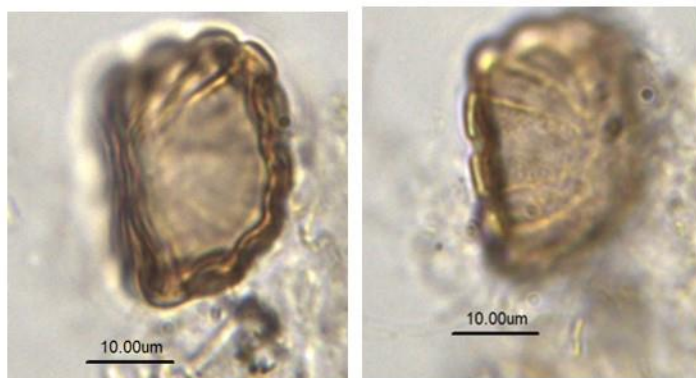
**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, tricolporado, âmbito triangular convexo, circular a suboblato. Colpos com margem. Exina reticulada. E= 17  $\mu$ m; P= 19  $\mu$ m.

**Identificação:** Humiriaceae.

**Hábito:** árvore

**Fitofisionomia:** cerrado, mata

### Lentibulariaceae



**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, radiossimétrico, isopolar, âmbito circular, suboblato, estefanocolporado. Poros unidos em uma faixa contínua ao longo da região equatorial. E= 19  $\mu$ m; P= 29  $\mu$ m.

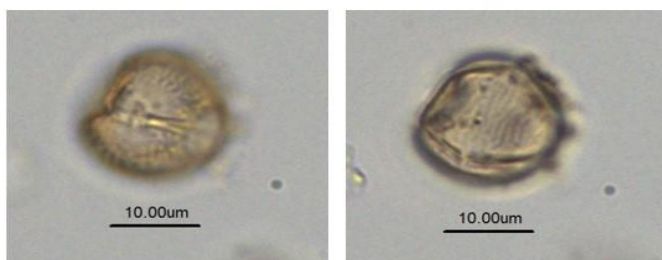
**Identificação:** *Utricularia* sp. (Lentibulariaceae)

**Hábito:** erva

**Fitofisionomia:** campo úmido, brejo.



### Lythraceae



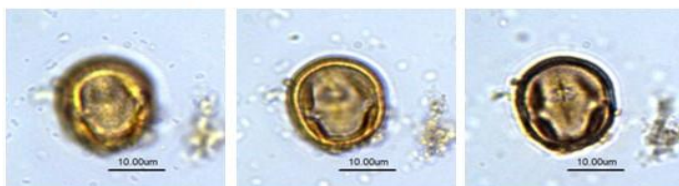
**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, radiossimétrico, isopolar, âmbito triangular de lados convexos, oblato, tricolporado, sincolporado. Poros circulares. Levemente estriado. E= 18 µm; P= 16 µm.

**Identificação:** *Cuphea* sp. (Lythraceae)

**Hábito:** erva, subarbusto

**Fitofisionomia:** vários

### Malpighiaceae



**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, tricolporado, radiossimétrico, âmbito circular, poros alongados. E = 18 µm; P= 19 µm.

**Identificação:** *Byrsonima* (Malpighiaceae)

**Hábito:** arbustos, subarbusto, árvore.

**Fitofisionomia:** várias.



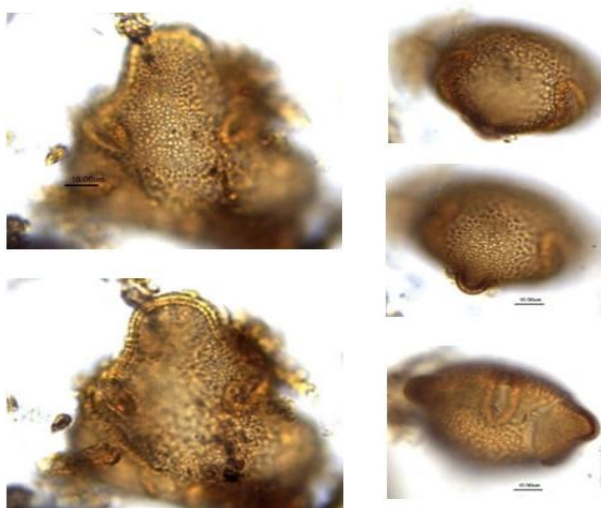
**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, hexacolporado, âmbito circular a subtriangular, sincolporado. Poros circulares. E = 42 µm; P= 36 µm.

**Identificação:** Malpighiaceae indeterminada

**Hábito:** vários

**Fitofisionomia:** várias

### Malvaceae



**Descrição:** Grão de pólen mônade, grande, pleuroaperturado, tricolporado, âmbito triangular com projeções apicais, oblato. Poros alongados, colpo curto. Exina reticulada, heterobrocada. E = 46 µm; P= 54 µm.

**Identificação:** *Pseudobombax* sp. (Malvaceae)

**Hábito:** árvore

**Fitofisionomia:** cerrado, cerradão, mata de galeria



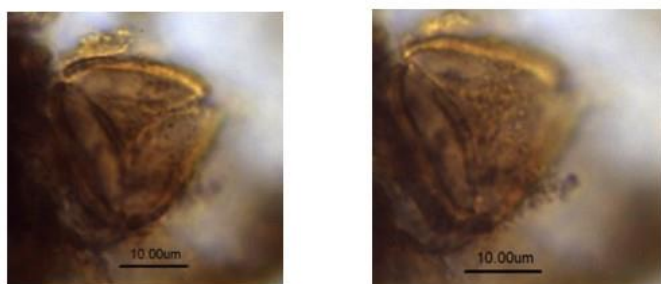
**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, radioassimétrico, perprolato, tricolporado. Poros alongados, com margem. Exina bi-reticulada, heterobrocada. E = 28  $\mu\text{m}$ ; P = 50  $\mu\text{m}$ .

**Identificação:** *Heliocarpus* sp. (Malvaceae)

**Hábito:** árvores

**Fitofisionomia:** matas

### Myrtaceae



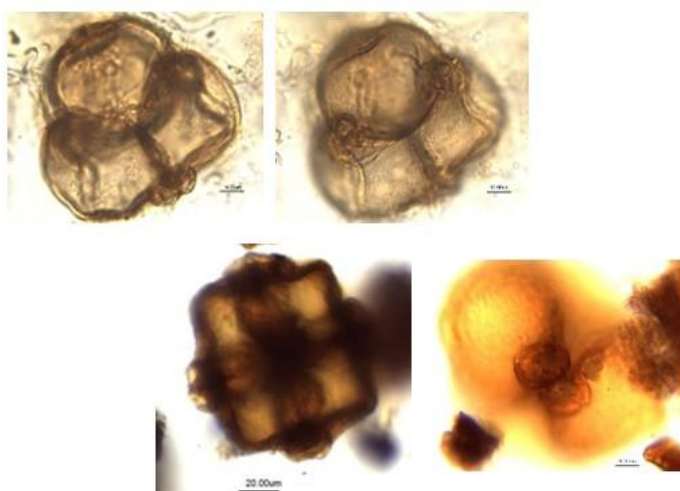
**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno a médio, radioassimétrico, isopolar, âmbito triangular de lados retos e ângulos arredondados, tricolporado. Sexina psilada. E = 25  $\mu\text{m}$ ; P = 26  $\mu\text{m}$ .

**Identificação:** Myrtaceae

**Hábito:** vários

**Fitofisionomia:** várias.

### Onagraceae



**Descrição:** Tétrade tetraédrica ou em grãos isolados, grãos médios a grandes, isopolar, âmbito triangular, oblatos, triporados, poros circulares grandes, parede espessa. Exina psilada ou escabrada.

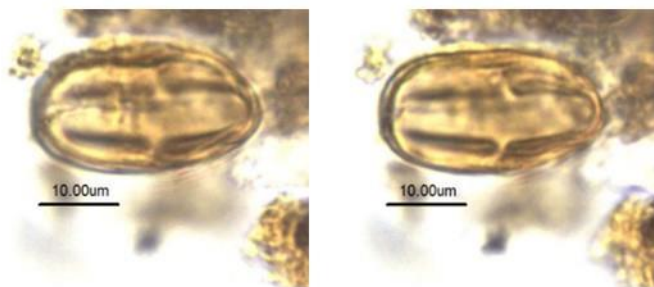
D (tétrade) = 75 – 72  $\mu\text{m}$ ;

**Identificação:** *Ludwigia* sp. (Onagraceae)

**Hábito:** erva, arbusto, subarbusto

**Fitofisionomia:** brejo, campo úmido

### Phyllanthaceae



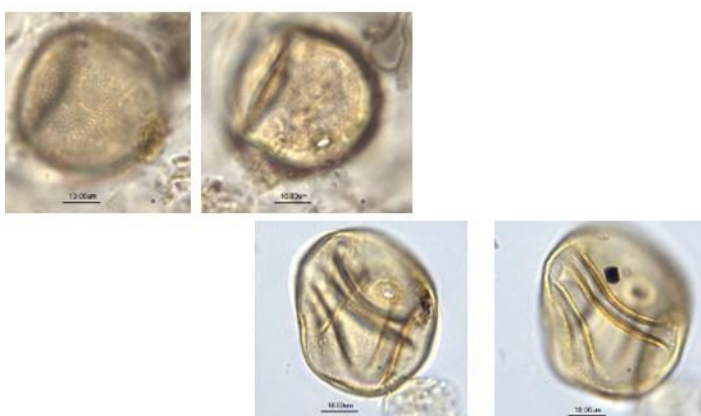
**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, radioassimétrico, isopolar, prolato a perprolato, tricolporado. Colpos longos, poros alongados microreticulado. P= 28 µm; E=15 µm.

**Identificação:** *Hyeronima* sp. (Phyllanthaceae)

**Hábito:** árvore

**Fitofisionomia:** mata de galeria, Mta úmida

### Poaceae



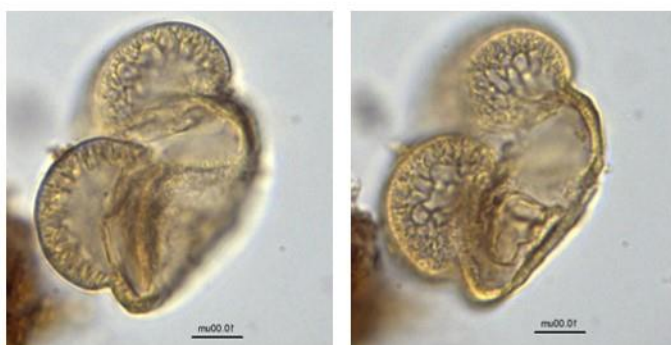
**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno a grande, radioassimétrico, heteropolar, âmbito circular, esférico, monoporado com ânulo. Sexina psilada ou granulada. E=20 - 58µm.

**Identificação:** Poaceae

**Hábito:** erva

**Fitofisionomia:** várias

### Podocarpaceae



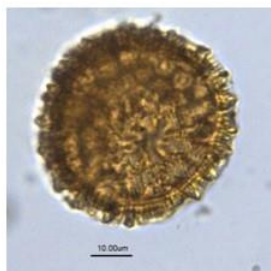
**Descrição:** Grão de pólen mônade, grande, bilateralmente simétrico, heteropolar, âmbito esferoidal a eipsoidal, bissacado, com sacos aéreos apresentando linhas irregulares, monoulcerado no polo distal. Corpo central: Emaior= 46 µm; Pmaior= 30 µm; Sacos aéreos: largura = 29 µm, comprimento = 15 µm

**Identificação:** *Podocarpus* sp. (Podocarpaceae)

**Hábito:** árvores

**Fitofisionomia:** mata de galeria

### Polygonaceae



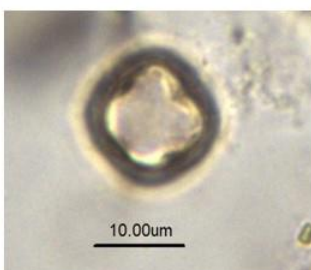
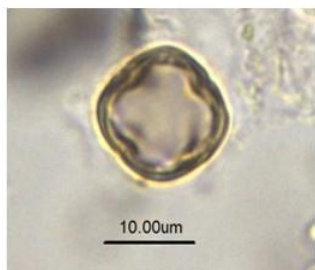
**Descrição:** Grão de pólen mônade, grande, pantoporado, âmbito circular, esférico. Poros circulares, exina reticulada com malhas grandes. E = 46 µm; P= 46 µm.

**Identificação:** *Polygonum* sp. (Polygonaceae)

**Hábito:** arbusto

**Fitofisionomia:** brejo, campo úmido, cerrado.

### Primulaceae



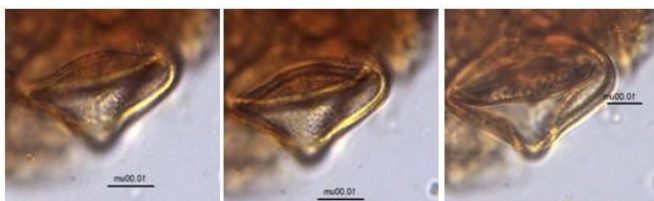
**Descrição:** Grão de pólen mônade, muito pequeno, isopolar, âmbito quadrangular lobado, subprolato, tetracolporado. Colpos curto, poros pouco visíveis. Exina psilada. E= 14 µm; P= 14 µm.

**Identificação:** *Myrsine* sp. (Primulaceae)

**Hábito:** árvore

**Fitofisionomia:** mata de galeria, cerradão

### Proteaceae



**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, heteropolar, radiossimétrico, âmbito triangular, triporado. Poros circulares, anguloaperturado. Exina psilada. E = 27 µm; P= 39 µm.

**Identificação:** Proteaceae

**Hábito:** árvores

**Fitofisionomia:** mata de galeria, cerrado.

### Rosaceae



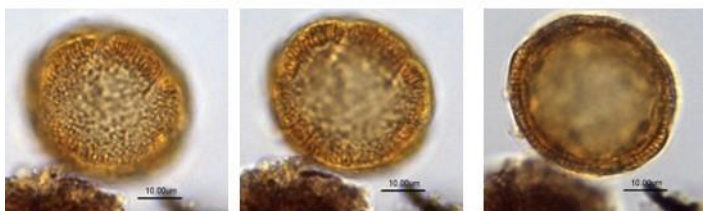
**Descrição:** Grão de pólen mônade, pequeno, radiossimétrico, isopolar, âmbito circular, tricolporado. Colpos longos. Exina reticulada. E = 18 µm; P= 19 µm.

**Identificação:** Rosaceae

**Hábito:** árvores, subarbusto

**Fitofisionomia:** mata de galeria

### Rubiaceae

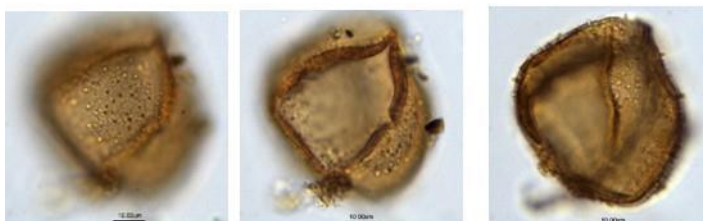


**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, isopolar, âmbito circular, oblato a esférico, zonocolporado com seis a dez cólporos. Exina baculada. P= 39 µm; E= 37 µm

**Identificação:** Tipo *Borreria* (Rubiaceae)

**Hábito:** erva.

**Fitofisionomia:** cerrado, Campo.



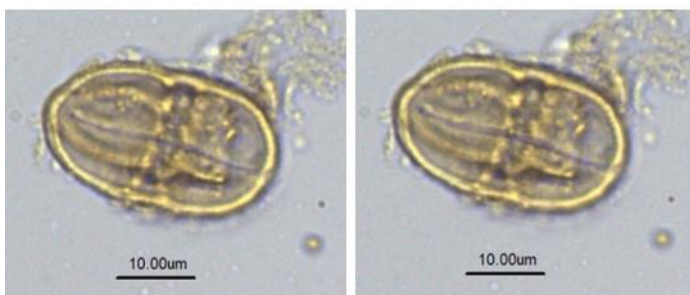
**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, âmbito trilobado, circular ou triangular convexo, tricolporado. Exina microequinada. Póros inconspícuos a circulares P= 48 µm; E= 52 µm

**Identificação:** Tipo *Coutarea* (Rubiaceae)

**Hábito:** árvore

**Fitofisionomia:** mata

### Salicaceae



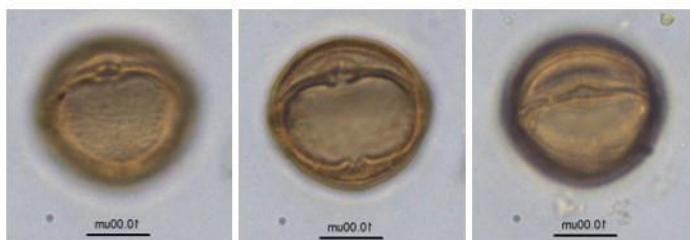
**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, isopolar, subprolato, zonocolporado com vários cólporos. Poros elípticos, com margem. Exina psilada. E = 27 µm; P= 39 µm.

**Identificação:** *Casearia* sp. (Salicaceae)

**Hábito:** arbusto, árvore

**Fitofisionomia:** mata de galeria, cerrado

### Sapindaceae



**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, âmbito triangular convexo, subprolato tricolporado, sincolporado. Poros circulares, com margem. Exina estriada. E = 28 µm; P = 50 µm.

**Identificação:** *Dilodendron bipinnatum* (Sapindaceae)

**Hábito:** árvores

**Fitofisionomia:** mata seca

### Xyridaceae



**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, bilateralmente simétrico, heteropolar, âmbito retangular, disulcado. Exina granulada.

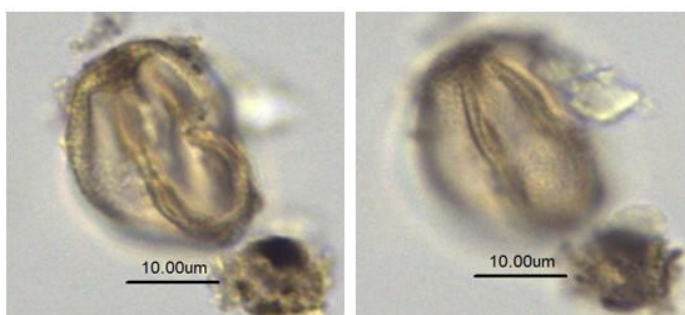
E = 13 µm; P= 29 µm.

**Identificação:** *Xyris* sp. (Xyridaceae)

**Hábito:** erva

**Fitofisionomia:** brejo, campo úmido

### Não Identificado

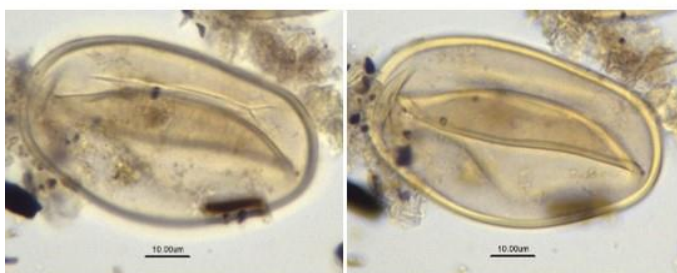


**Descrição:** Grão de pólen mônade, médio, prolato, . Exina reticulada.

E = 19 µm; P= 26 µm.

**Identificação:** Não identificado

### Esporos

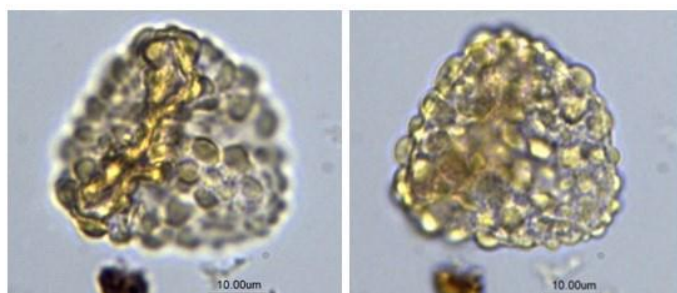


**Descrição:** Esporo grande, monolete, bilateral, elíptico, Esporoderme espessa e písilada. E= 43 µm; P= 71 µm.

**Identificação:** Tipo *Blechnum* (Blechnaceae)

**Hábito:** erva

**Fitofisionomia:** mata úmida, brejo



**Descrição:** Esporo médio a grande, trilete, subtriangular, esporoderme espessa e verrucada, lábios ornamentados ao longo da comissura. E=33 µm; P= 38 µm.

**Identificação:** *Cyathea* sp. (Cyatheaceae)

**Hábito:** arbusto

**Fitofisionomias:** mata úmida, cerrado brejo

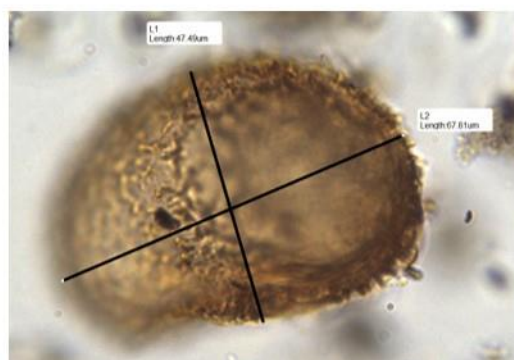


**Descrição:** Esporo médio a grande, monolete, subtriangular, esporoderme espessa e verrucada. E= 46  $\mu\text{m}$ ; P= 45  $\mu\text{m}$ .

**Identificação:** Pteridaceae

**Hábito:** erva

**Fitofisionomia:** várias



**Descrição:** Esporo grande, monolete, bilateral, elíptico, Esporoderme espessa e reticulada . E= 47,49  $\mu\text{m}$ ; P= 67,81  $\mu\text{m}$ .

**Identificação:** Tipo *thelypteris* (*thelypteridaceae*).

**Hábito:** erva

**Fitofisionomia:** mata úmida.