



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



TESE DE DOUTORADO

MUDANÇAS PALEOAMBIENTAIS E PALEOCLIMÁTICAS
DURANTE O QUATERNÁRIO TARDIO NA SERRA DO CABRAL,
MINAS GERAIS, BRASIL, POR MEIO DE ANÁLISES
PALINOLÓGICAS E DE ISÓTOPOS C E N

Autora: Makênia Oliveira Soares Gomes

Orientação: Profa. Dra. Karin Elise Bohns Meyer (*in memoriam*)

Orientação: Prof. Dr. Jonathas Souza Bittencourt

Coorientação: Prof. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda

Nº35

BELO HORIZONTE
DATA (28/07/2017)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
Área de Concentração: Geologia Regional Análise

**Mudanças Paleoambientais e Paleoclimáticas durante o Quaternário
Tardio na Serra do Cabral, Minas Gerais, Brasil, por meio de Análises
Palinológicas e de isótopos C e N**

Makênia Oliveira Soares Gomes

Orientação: Profa. Dra. Karin Elise Bohns Meyer (*in memoriam*)
Orientação: Prof. Dr. Jonathas Souza Bittencourt
Coorientação: Prof. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geologia Regional.

Belo Horizonte, 28 de julho de 2017

G633m 2018 Gomes, Makênia Oliveira Soares.
Mudanças paleoambientais e paleoclimáticas durante o Quaternário tardio na Serra do Cabral, Minas Gerais, Brasil, por meio de análises palinológicas e de isótopos C e N [manuscrito] / Makênia Oliveira Soares Gomes. – 2018.

xi, 103 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Karin Elise Bohns Meyer.

Orientador: Jonathas Souza Bittencourt.

Coorientador: Luiz Carlos Ruiz Pessenda.

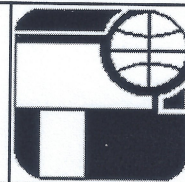
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2018.

Área de concentração: Geologia Regional.

Bibliografia: f. 98-103.

1. Paleontologia – Quaternário – Teses. 2. Palinologia – Minas Gerais – Teses. I. Meyer, Karin Elise Bohns. II. Bittencourt, Jonathas S. III. Pessenda, Luiz Carlos Ruiz. IV. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. V. Título.

CDU: 56(815.1)




FOLHA DE APROVAÇÃO

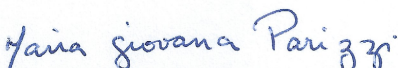
"MUDANÇAS PALEOAMBIENTAIS E PALEOCLIMÁTICAS DURANTE O QUATERNÁRIO TARDIO NA SERRA DO CABRAL (MINAS GERAIS, BRASIL), POR MEIO DE ANÁLISES PALINOLÓGICAS E DE ISÓTOPOS C E N"


MAKENIA OLIVEIRA SOARES GOMES

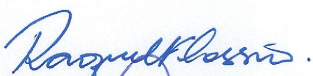
Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Doutora em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA REGIONAL.

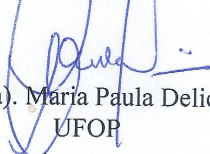
Aprovada em 28 de julho de 2017, pela banca constituída pelos membros:


Prof(a). Jonathas de Souza Bittencourt Rodrigues - Orientador
UFMG


Prof(a). Maria Giovana Parizzi
UFMG


Prof(a). Flávio Lima Lorente
USP


Prof(a). Raquel Franco Cassino
UFOP


Prof(a). Maria Paula Delicio
UFOP

Belo Horizonte, 28 de julho de 2017.

à Karin Elise Bohns Meyer (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

À minha família “os cebolas”, à minha saudosa vó Lucy, à família Lourenço Reis e à família Onilis; muito obrigada por sempre me apoiarem.

Ao Luciano, meu maior colaborador, apoiador e companheiro na vida!

À minha orientadora e amiga Karin (*in memoriam*), deixo aqui registrado minha gratidão, por ter me dado a oportunidade, pelos ensinamentos e amizade. Sempre disposta a ouvir e aconselhar. Espero de coração que esteja bem, em paz e feliz.

Ao Jonathas por aceitar ser meu orientador. Muito obrigada pela amizade, pelos conhecimentos transmitidos, pela paciência, por todo seu tempo e empenho despendidos muitas vezes em detrimento dos seus próprios projetos, para que eu pudesse concluir essa jornada.

Um agradecimento especial ao meu co-orientador, Luiz Carlos Ruiz Pessenda por ter me recebido no CENA e disponibilizado toda a infraestrutura necessária a realização das análises isotópicas, pelos seus ensinamentos e sugestões.

Aos meus amigos da Pós-graduação André e Gabriela pela ajuda, amizade nos momentos de descontração e também de dificuldade.

Agradeço ao Flávio e à Raquel que por diversas vezes me auxiliaram com sugestões e compartilharam valiosos ensinamentos.

A todos os colegas do curso de Pós-graduação do IGC.

Aos professores do IGC - UFMG, em especial: Márcia, Úrsula, Giovana, Alexandre Uhlein, Romano e Mário Chaves.

A todos os secretários da Pós-graduação em Geologia (IGC-UFMG).

Aos funcionários do Parque Estadual da Serra do Cabral, pelo auxílio no trabalho de campo.

Agradeço aos técnicos do CENA, Liz e Thiago por me receberem tão bem e auxiliarem na preparação das amostras. A todos os colegas do “Mamute” pela amizade e descontração, ainda que virtual.

Aos órgãos colaboradores:

Departamento de Pós-graduação em Geologia (IGC-UFMG), pela oportunidade;

CPMTC, pelo laboratório onde foram realizadas as análises palinológicas;

CENA - USP, pelas análises isotópicas;

CAPES, pela bolsa de Doutorado;

FAPEMIG, pelo apoio financeiro através do projeto “Reconstituição da Vegetação Quaternária da Serra do Cabral, Minas Gerais, através de Estudos Palinológicos”;

IEF, pela concessão de licença de pesquisa no Parque Estadual da Serra do Cabral.

Agradeço aos professores convidados a compor a Banca Examinadora Dr. Flávio Lorente (CENA - USP), Dra. Maria Giovana Parizzi (UFMG), Dra. Maria Paula Delácio (UFOP) e Dra. Raquel Cassino (UFOP).

Aos meus amigos e a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para que a realização desta pesquisa se tornasse possível, muito obrigada!

RESUMO

As principais mudanças paleoclimáticas e da paleovegetação ao longo dos últimos ~21.000 anos AP (Pleistoceno-Holoceno), na região da Serra do Cabral, centro-norte de Minas Gerais, foram reconstituídas a partir do estudo palinológico e isotópico de Carbono e Nitrogênio das Veredas Água Fria e Carrasco da Raposa, situadas no Parque Estadual da Serra do Cabral (PESC). Os resultados sugerem duas fases de mudanças climáticas e da vegetação na Vereda Água Fria. Na fase VAF I, entre 20.500 e 3.650 anos cal. antes do presente (AP) foi verificada menor umidade e ausência de *Mauritia flexuosa*. A partir de ~3.650 anos cal. AP até o presente na VAF II, as condições climáticas foram mais úmidas, semelhantes às atuais. No que diz respeito às mudanças fitofisionômicas, foi verificada uma sucessão da vegetação incluindo um mosaico de Formações Campestres do Cerrado, Campo Úmido, elementos de mata, árvores e arbustos do Cerrado da base do testemunho até a porção mediana do perfil. Já em direção ao topo houve aumento dos elementos de Campo Úmido e o surgimento da vereda a partir de ~3.650 anos cal. AP. Os dados isotópicos e elementares de C e N indicaram que entre 20.500 e 3.650 anos cal. AP havia uma provável mistura de plantas C3 e C4 como fonte da matéria orgânica sedimentar, mas com o predomínio de plantas C3. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram entre -22,09‰ e -20,04‰. Os valores de C/N apresentaram uma média de 36,3 na VAF I, e sugeriram matéria orgânica derivada de plantas terrestres, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ ficaram em torno de 6‰ e corroboram tal evidência. Na VAF II, a partir de 3.650 anos cal. AP até o presente houve uma diminuição nos valores de C/N, com 15 na amostra do topo, tais resultados confirmaram a tendência de ambiente mais úmido e com maior influência de fitoplâncton de água doce na composição da matéria orgânica sedimentar para esse intervalo de tempo da vereda. Por outro lado, na Vereda Carrasco da Raposa foram identificadas três fases; VCR I onde as condições climáticas foram mais frias, devido à provável influência do Último Máximo Glacial (entre 21.150 e 18.850 anos cal. AP) e com evidências de menor umidade. Na fase VCR II (entre 18.850 e 3.550 anos cal. AP) o clima passou a ser mais quente e com maior umidade que a fase anterior, e a partir de 3.550 anos cal. AP até o recente houve o estabelecimento da vereda em condições climáticas semelhantes às atuais assim como na Vereda Água Fria. Quanto às mudanças fitofisionômicas, foi observada uma sucessão da vegetação com predomínio de Formações Campestres do Cerrado associadas a traços de Formações Florestais na base (VCR I), Campo Sujo Úmido e Campo Rupestre associados a elementos de mata típicos do Cerrado na porção mediana do perfil (VCR II); em direção ao topo a partir de 3.550 anos cal. AP (VCR III) houve a instalação da vereda, com a ocorrência dos buritis (*M. flexuosa*) e expansão da mesma após 1.650 anos cal. AP. Os dados isotópicos de C e N indicaram que nas fases VCR I e VCR II havia uma provável mistura de plantas C3 e C4 como fonte da matéria orgânica sedimentar, mas com o predomínio de plantas C3, com valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre ~ -24‰ e -21,5‰. Os valores de C/N (1,5 a 11,5) indicaram o predomínio de matéria orgânica derivada de fitoplâncton e os valores de $\delta^{15}\text{N}$ (3,5‰ a ~1,0‰) evidenciaram a mistura de matéria orgânica de fitoplâncton de água doce e plantas terrestres. Em torno de 3.550 anos cal. AP até o presente (VCR III) houve uma diminuição nos valores de C/N (1,5 a ~6), o que confirmou a presença de ambiente alagado e com maior influência de fitoplâncton de água doce na composição da matéria orgânica sedimentar.

Palavras-chave: Palinologia, Isótopos estáveis de C e N, vereda, Paleoclima, Cerrado.

ABSTRACT

LATE QUATERNARY PALEOENVIRONMENTAL AND PALEOCLIMATIC CHANGES IN THE SERRA DO CABRAL, MINAS GERAIS STATE, BRAZIL, BASED ON PALYNOLOGICAL, C AND N ISOTOPE ANALYSES

The main paleovegetation and paleoclimatic changes over the last 21,000 years BP (Pleistocene-Holocene), in the Serra do Cabral, northern Minas Gerais state, were reconstructed based on pollen and stable isotope (C and N) analyses of the Palm Swamps known as Água Fria and Carrasco da Raposa, located in the Serra do Cabral State Park (PESC). The results suggest two phases of climate change and vegetation in the Água Fria Palm Swamp (VAF I and VAF II). In the former, between 20,500 and 3,650 calibrated years before the present (cal yr BP), a lower humidity and absence of *Mauritia flexuosa* were observed. From ~3,650 cal yr BP to the present (VAF II), the climate was more humid, similar to that of the present day. Concerning the plant physiognomy evolution, a succession of vegetation was verified, including a mosaic of *Cerrado* grassland formations, *Campo Úmido*, forest elements as trees and shrubs in the base until the median portion of the core sample. Toward the top, there was an increase of the typical elements of *Campo Úmido* and the appearance of the Palm Swamp, i.e. occurrence of the buriti palm *Mauritia flexuosa*. The isotopic data of C and N indicated that between 20,500 and 3,650 cal yr BP there was a probable mixture of C3 and C4 plants as source of the sedimentary organic matter, but with the predominance of C3 plants. Values of $\delta^{13}\text{C}$ varied between -22.09‰ and -20.04‰. The C/N ratio presented a mean of 36.3 in VAF I, and suggested the predominance of organic matter derived from terrestrial plants, which was corroborated by the $\delta^{15}\text{N}$ around 6‰. In VAF II, from 3,650 cal yr BP to present day, there was a decrease in the C/N values, with 15 in the uppermost sample. These results confirmed the tendency of increasing humidity and greater freshwater phytoplankton influence in the composition of the Palm Swamp sedimentary organic matter for this time interval. In the Carrasco da Raposa Palm swamp, three phases were identified. The lower one is here referred to as VCR I (from 21,150 to 18,850 cal yr BP), during which the climate was colder and less humid than in other phases, probably due to the influence of the Last Glacial Maximum. In VCR II (from 18,850 to 3,550 cal yr BP), the climate became warmer and wetter than in the previous phase, and from 3,550 cal yr BP until the present day (VCR III), the Palm Swamp appeared at climate conditions similar to the current one. These results are similar to those observed in the Água Fria Palm swamp. Concerning the plant physiognomy changes, a succession of vegetation was observed, with predominance of *Cerrado* grassland formations associated with traces of forest formations in the base (VCR I), *Campo Sujo Úmido* and *Campo Rupestre* associated to typical *Cerrado* forest elements in VCR II; and the establishment of Palm Swamp in VCR III (3,550 cal yr BP and its expansion after 1,650 cal yr BP. as in the Água Fria Palm swamp. The isotopic data of C and N suggests that there was a probable mixture of plants C3 and C4 as a source of the sedimentary organic matter at VCR I and VCR II, but with the predominance of plants C3. In this case, $\delta^{13}\text{C}$ ranged between -24‰ and -21.5‰. The values of C/N (from 1.5 to 11.5) indicate the predominance of organic matter derived from phytoplankton and the values of $\delta^{15}\text{N}$ (3.5‰ to ~ 1.0‰) may be associated with a mixture of organic matter from freshwater phytoplankton and land plants. From 3,550 cal yr BP until the present (VCR III), there was a decrease in the values of C/N (1.5 to ~6), which confirmed the presence of flooded environment with greater freshwater phytoplankton influence in the composition of the sedimentary organic matter.

Keywords: Palynology, stable C and N isotopes, Palm Swamp, paleoclimate, *Cerrado*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Visão geral das Veredas Carrasco da Raposa e Água Fria e perfil com altitudes e localização das mesmas no PESC.

Figura 2. Mapa geológico com a localização das Veredas Carrasco da Raposa e Água Fria e limites do PESC (modificado de Lopes, 2012).

Figura 3. Mapa de Classes Climáticas para o estado de Minas Gerais segundo classificação de Köppen & Geiger (1928).

Figura 4. Mapa da cobertura vegetal do PESC (modificado de IBGE, 2011).

Figura 5. Reconstituição das fases encontradas nas Veredas CR e AF.

Sumário

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
CAPÍTULO I	12
1.1- INTRODUÇÃO	12
1.1.1- Veredas, aspectos gerais	13
1.2- OBJETIVOS	15
1.2.1- Objetivo Geral	15
1.2.2- Objetivos Específicos	15
1.3- ÁREA DE ESTUDO	16
1.3.1- Contexto Geológico	16
1.3.2- Clima.....	19
1.3.3- Vegetação	20
1.3.3.1- Campo Rupestre.....	22
1.3.3.2- Cerrado Sentido Restrito.....	22
1.3.3.3- Formações Campestres	23
1.3.3.4- Formações Florestais – Matas	23
1.3.3.4.1- Mata Ciliar	23
1.3.3.4.2- Mata de Galeria.....	24
1.3.3.5- Veredas	24
CAPÍTULO II	26
2.1- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1.1- Palinologia do Quaternário no Cerrado	26
2.1.2- Cenário paleoclimático no Cerrado durante o Pleistoceno.....	27
2.1.3- Cenário paleoclimático no Cerrado durante o Holoceno.....	30
2.2- ESTUDOS PALINOLÓGICOS ASSOCIADOS A ESTUDOS ISOTÓPICOS	35

CAPÍTULO III.....	36
3.1- MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1.2- Processamento químico.....	36
3.1.2.1- Adição de marcador exótico.....	36
3.1.2.2- Eliminação dos Silicatos.....	37
3.1.2.3-Acetólise.....	37
3.1.3- Análise qualitativa dos palinomorfos.....	39
3.1.4- Análise quantitativa dos palinomorfos.....	39
3.1.5- Datação ¹⁴ C.....	39
3.1.6- Análise Isotópica.....	39
CAPÍTULO IV.....	41
4.1- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1.1 Artigo I.....	42
4.1.2 Artigo II.....	66
CAPÍTULO V.....	96
5.1- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

1.1- INTRODUÇÃO

Este trabalho de tese apresenta a reconstituição das mudanças da vegetação, do paleoambiente e climáticas ocorridas na Serra do Cabral, região centro-norte de Minas Gerais/Brasil nos últimos ~21.000 anos a partir da integração dos dados obtidos através da associação da análise palinológica, isotópica de C, N e datações ^{14}C , realizadas em sedimentos coletados em duas veredas, visando contribuir para o entendimento das modificações ocorridas na paisagem local. A área da Serra do Cabral e do Parque Estadual da Serra do Cabral (PESC) foi escolhida para este estudo por estar inserida numa região de altitudes que variam entre 900 e 1300 m, localizada no contexto de um dos mais importantes biomas brasileiros, o Cerrado, o qual abriga alta densidade de espécies da flora e fauna e está ameaçado devido à pressão antrópica constante; o que resulta na alteração das condições para a manutenção do equilíbrio hídrico-pedogeomorfológico, fundamental para garantir a preservação dos ecossistemas presentes dentro do bioma (Mendonça *et al.*, 2008). Essa abordagem e associação de técnicas são inéditas para a região, podendo contribuir para o entendimento da formação das veredas em diferentes relevos e altitudes, além de levantar hipóteses sobre particularidades regionais em um contexto que envolveu mudanças climáticas globais ocorridas no Último Máximo Glacial.

Na análise palinológica é possível investigar aspectos como a história das comunidades vegetais e suas rotas migratórias, as mudanças climáticas locais e regionais, os impactos provocados pela influência antrópica sobre a vegetação natural bem como a detecção das atividades agrícolas em determinada região (Salgado-Labouriau, 1997). Tais estudos têm ganhado maior ênfase nos últimos anos e são possíveis a partir do princípio de que os grãos de pólen e esporos quando depositados em ambientes sedimentares adequados tendem a refletir a vegetação existente ao redor, assim, as variações ocorridas na vegetação serão detectadas nos conjuntos polínicos preservados nestes sítios.

A análise palinológica associada à análise isotópica da matéria orgânica do solo e dos sedimentos tem sido empregada para a reconstituição da paleovegetação (Pessenda *et al.*, 2004; Pessenda *et al.*, 2005).

A aplicação dos isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) é baseada na diferença de sinal isotópico das plantas do grupo fotossintético C3 e C4. Plantas C3 compreendem cerca de 85% das espécies de plantas e consistem de vegetação arbórea e algumas gramíneas que se desenvolvem em regiões úmidas. Elas possuem valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -32 ‰ a -22 ‰, com uma média de -27‰. Já as plantas

C4 compreendem apenas 5% das espécies de plantas e são compostas pelas gramíneas que tendem a se desenvolver em ambientes de elevadas temperaturas e luminosidade, predominando nas áreas de Cerrado e pastagens, ou seja, regiões mais secas. Os valores $\delta^{13}\text{C}$ de plantas C4 variam de -16‰ a -9‰ com a média de -13‰ (Boutton, 1991; O'Leary, 1988).

A razão entre os valores elementares do carbono e nitrogênio (C/N) é utilizada para auxiliar na discriminação das fontes da matéria orgânica, já que o carbono está presente em abundância na composição da lignina e celulose das plantas terrestres e o nitrogênio nas proteínas e ácidos nucléicos das algas. Plantas vasculares possuem valores da razão C/N em torno de 20 ou mesmo maiores, devido ao alto conteúdo de celulose e lignina, enquanto que a matéria orgânica originada de fitoplâncton apresenta valores menores, entre 4 e 10 (Meyers, 1994).

1.1.1- Veredas, aspectos gerais

As veredas são consideradas uma fitofisionomia do Cerrado associada às zonas onde há maior concentração de umidade no solo e representam 0,02% da vegetação do PESC (IEF, 2005). Este ambiente é também identificado como cabeceira ou nascente de rios (Melo, 1992) e caracterizado pela presença da palmeira arbórea buriti, *Mauritia flexuosa*, em meio a agrupamentos mais ou menos densos de espécies arbustivas e herbáceas. Ao contrário de outras formações do Cerrado, como o buritizal, os buritis das veredas não formam dossel. Os buritis possuem altura média entre 12 a 15 m e cobertura de dossel entre 5% e 10% (Ribeiro e Walter, 2008).

A existência de gramíneas nas bordas das veredas ocorre devido à estrutura de suas raízes (Elhaï, 1968) que permite seu desenvolvimento em terreno arenoso, alagado periodicamente. Além das gramíneas, algumas espécies arbustivas da família Melastomataceae, também são comuns nas veredas. Em estágios mais avançados de formação de matas, podem ser encontradas espécies arbóreas e outras espécies que caracterizam a Mata de Galeria inundável, como por exemplo espécies das famílias Annonaceae, Burseraceae, Clusiaceae, Euphorbiaceae, Magnoliaceae e Rubiaceae associadas à palmeira buriti (Silva, 2007).

Pouco se conhece sobre a capacidade regenerativa das veredas e as consequências diretas e indiretas do desaparecimento ou degradação muito intensa das mesmas, uma vez que elas constituem os principais contribuintes dos rios, pois são nascentes de cursos d'água; funcionam como abrigo e corredor ecológico para a fauna local (Castro, 1980; Vianna, 1987; Melo, 1992). Além disso, as veredas são um fator de fixação do homem na região do Cerrado, onde a principal característica restritiva é a disponibilidade hídrica, assim a população local encontra nas veredas do Cerrado água para utilização doméstica ou práticas agrícolas (Boaventura, 1988).

De acordo com Biodiversitas (2005), outro aspecto importante das veredas em relação às comunidades locais, é o seu valor econômico devido ao grande potencial do buriti na confecção de diversos produtos alimentícios, medicinais, artigos artesanais e até em telhados que utilizam suas folhas e pecíolos como cobertura.

Tendo em vista a importância socioeconômica e ambiental das veredas, a legislação brasileira ratifica sua preservação, através da inclusão deste ambiente no escopo de leis ambientais específicas. Por se tratar de uma formação ribeirinha, o ambiente de vereda pode ser definido como uma Área de Preservação Permanente - APP, no que se refere às faixas de proteção ao longo dos rios e áreas de nascentes, definidas pelo Código Florestal Brasileiro artigo 2º da Lei Federal no 4771/65.

1.1.2- Aspectos geomorfológicos da vereda

A vereda é um sistema baseado na geomorfologia fluvial (Ab'saber, 1971), e, de acordo com Boaventura (1988) apresenta a seguinte definição: são vales rasos, com vertente côncavas e arenosas de caimento pouco pronunciado e fundo plano, preenchidos por argilas hidromórficas. A palmeira buriti (*Mauritia flexuosa*) é um elemento característico, ocorrendo tanto em alinhamentos que acompanham os pontos de maior umidade, como em formações e associações mais densas que se destacam em meio ao Cerrado adjacente. O escoamento é geralmente perene, notando-se, entretanto, nítida variação sazonal de vazão.

Complementando esta definição, incorporando o aspecto hidrográfico, temos a definição de veredas adaptado pelo IBGE (2002): zona deprimida, com forma que pode ser ovalada, linear ou dirigida dentro de uma área estruturalmente plana ou aplainada pela erosão. A vereda resulta de processos epidérmicos e exsudação do lençol freático, cujas águas geralmente convergem para um talvegue de drenagem concentrada, assinalada por um renque arbustivo e/ou arbóreo, caracterizado pela palmeira buriti.

As veredas desempenham papel de drenos naturais nas extensas chapadas areníticas, uma vez que este ambiente possui uma drenagem superficial incipiente, predominando processos de infiltração. Quando os aquíferos interceptam uma camada impermeável, os mesmos são conduzidos lateralmente até as veredas onde ocorre a exsudação hídrica e posterior conexão com o restante da rede hidrográfica.

As veredas possuem diferenças morfológicas internas. Melo (1992) identificou quatro sub-unidades morfológicas: Zona do Envoltório, Zona Seca, Zona Encharcada e Zona do Canal.

1- Zona do Envoltório (como o próprio nome sugere, não constitui propriamente uma feição das veredas) é a área de superfície tabular que contorna a vereda, com vegetação do Cerrado, em solos areno-quartzoso com predomínio de areia muito fina.

2- Zona Seca inicia-se no limite da Zona do Envoltório com o vale, e equivale praticamente às vertentes da vereda. Apresenta solo hidromórfico, com textura de areia muito fina e sílica e coberto por uma camada vegetal de gramíneas.

3- Zona Encharcada, que corresponde ao fundo plano da vereda, é preenchida por uma camada de solo areno-argiloso e capeado por turfa.

4- Zona do Canal corresponde ao escoamento de água na vereda, num talvegue pouco aprofundado, mas bem marcado no fundo da vereda.

1.2- OBJETIVOS

1.2.1- Objetivo Geral

O principal objetivo desta tese é a reconstituição da vegetação e dos paleoambientes quaternários da região da Serra do Cabral a partir da associação dos resultados obtidos da análise palinológica e isotópica de C, N dos sedimentos orgânicos das Veredas Carrasco da Raposa e Água Fria, localizadas no PESC, em Minas Gerais.

1.2.2- Objetivos Específicos

- Caracterizar os conjuntos de palinomorfos contidos em amostras sedimentares de dois testemunhos das Veredas Carrasco da Raposa e Água Fria e identificar as variações na cobertura vegetal da Serra do Cabral nos últimos 21.000 anos;

- Utilizar a combinação dos valores isotópicos e elementares do carbono e nitrogênio para auxiliar na discriminação das fontes da matéria orgânica;

- Integrar os dados dos estudos palinológico e isotópico (C, N) com as datações ^{14}C a fim de caracterizar as principais mudanças ocorridas na paisagem e no clima durante o Quaternário na região;

- Comparar os resultados obtidos na Serra do Cabral com outros sítios onde foram realizados estudos palinológicos e/ou isotópicos (C,N).

1.3- ÁREA DE ESTUDO

As Veredas do Carrasco da Raposa (1.050 m) e Água Fria (1.018 m) estão localizadas na área do PESC (17°40'S, 44°11'W e 17°54'S, 44°13'W), e estão em altitudes diferentes, havendo entre os locais uma distância de ~30 km (Figura 1). Os limites do PESC estão entre os municípios de Buenópolis e Joaquim Felício - MG, região centro-norte do Estado de Minas Gerais. O acesso a partir de Belo Horizonte é feito pela BR-040, sentido Sete Lagoas, até a cidade de Corinto, posteriormente pela BR-135 sentido Montes Claros por mais 117 Km até Buenópolis. Joaquim Felício dista 13 Km ao norte de Buenópolis.

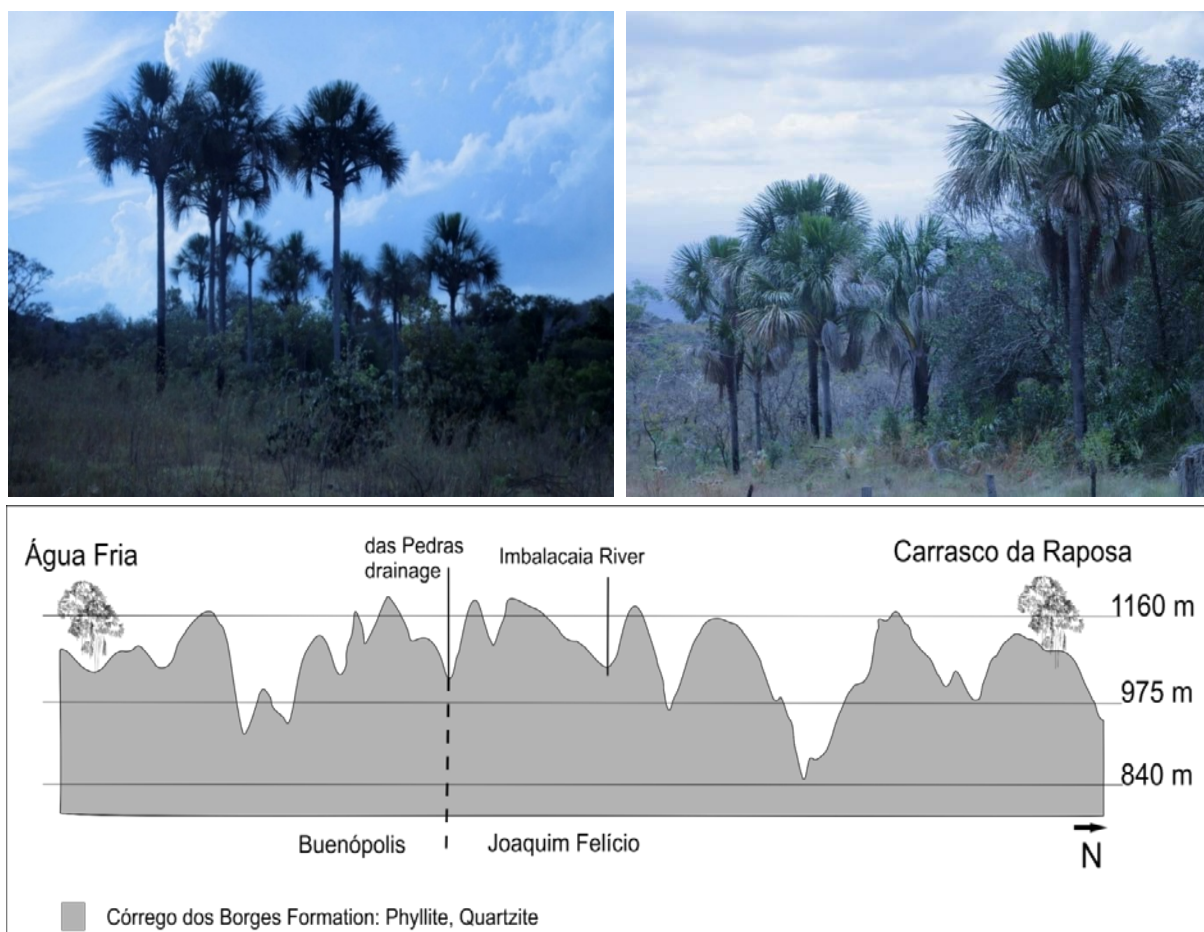


Figura 1. Visão geral das Veredas Carrasco da Raposa e Água Fria e perfil com altitudes e localização das mesmas no PESC.

1.3.1- Contexto Geológico

A Serra do Cabral está inserida no contexto da evolução geológica regional da Serra do Espinhaço (Figura 2). Com altitudes que variam entre 900 e 1300 m, a Serra é um divisor de águas entre os rios das Velhas e Jequitaiá, ambos afluentes da margem direita do rio São Francisco (Uhlein, 1991).

A Serra do Cabral em Minas Gerais corresponde a uma grande estrutura braquianticlinal que expõe, no interior do Cráton do São Francisco, os metassedimentos proterozoicos do Supergrupo Espinhaço. A leste da Serra do Cabral ocorre uma depressão sinformal dominada por metassedimentos do Supergrupo São Francisco, em especial o Grupo Bambuí, que recebe o nome de sinclinal de Buenópolis (Viveiros & Walde, 1976; Walde, 1978; Uhlein, 1991; Souza Filho & El-Robrini, 1995).

Assim, a região da Serra do Cabral propriamente dita e a região adjacente, o sinclinal de Buenópolis, representam uma área de metassedimentos proterozoicos, representados pelo Supergrupo Espinhaço e pelo Supergrupo São Francisco (Figura 1). Existem na região afloramentos bem preservados da erosão e com baixa taxa de deformação, por ocorrerem em área cratônica (Uhlein *et al.*, 1995; Uhlein *et al.*, 2004).

O relevo da Serra é formado de chapadas quartzíticas na cota de 900 a 1000 m, resultante da estrutura braquianticlinal combinada com denudação diferencial entre os quartzitos (ou meta-arenitos) do Supergrupo Espinhaço e os metapelitos (principalmente metassiltitos) do Grupo Bambuí, estes em cotas de 500 a 600 m. Dentro da Serra existe um relevo irregular, onde alguns picos podem atingir até 1.500 m de altitude. Este relevo íngreme dentro da Serra permitiu o desenvolvimento de coberturas terciárias e quaternárias, de composição arenosa, às vezes conglomeráticas, representadas por colúvios, elúvios e depósitos aluvionares. Localmente desenvolvem-se também coberturas areno-pelíticas ricas em matéria orgânica, de origem lacustre ou fluvial denominadas veredas.

Na Serra do Cabral propriamente dita, o Supergrupo Espinhaço inicia-se com os meta-arenitos da Formação Galho do Miguel, geralmente finos e bem selecionados, mostrando mega-estratificações cruzadas, de ambiente eólico. Para o topo, ocorrem metapelitos da Formação Santa Rita, de ambiente marinho plataformal e os meta-arenitos da Formação Córrego dos Borges, de ambiente litorâneo, marcando um ciclo transgressivo importante na sedimentação proterozoica. Sobre estes metassedimentos do Supergrupo Espinhaço, em discordância angular, ocorrem metadiamicítitos de origem glacial da Formação Jequitáí, marcando uma profunda mudança paleogeográfica, representando a base do Supergrupo São Francisco (Neoproterozoico). Para o topo ocorrem os metassiltitos, calcários e arenitos do Grupo Bambuí. A unidade de topo do Grupo Bambuí, a Formação Três Marias, aflora no núcleo do sinclinal de Buenópolis, constituída por arenitos de ambiente fluvial (Lopes, 2012).

Segundo Silva (2007), a origem das veredas ocorre em regiões de maior umidade devido a condicionantes geológicos, como a sobreposição de camadas litológicas de permeabilidade diferenciada, que ocasiona a migração do lençol freático. As veredas são constituídas por vales rasos de vertentes arenosas de pouca declividade, fundo plano e solos do tipo organossolos.

Os sedimentos siltico-argilosos a areníticos finos das Veredas Carrasco da Raposa e da Água Fria estão assentados sobre os Quartzitos, Metargilitos e Metassiltitos do Super Grupo Espinhaço, distribuídos entre o Grupo Conselheiro Mata e Grupo Diamantina (Figura 2).

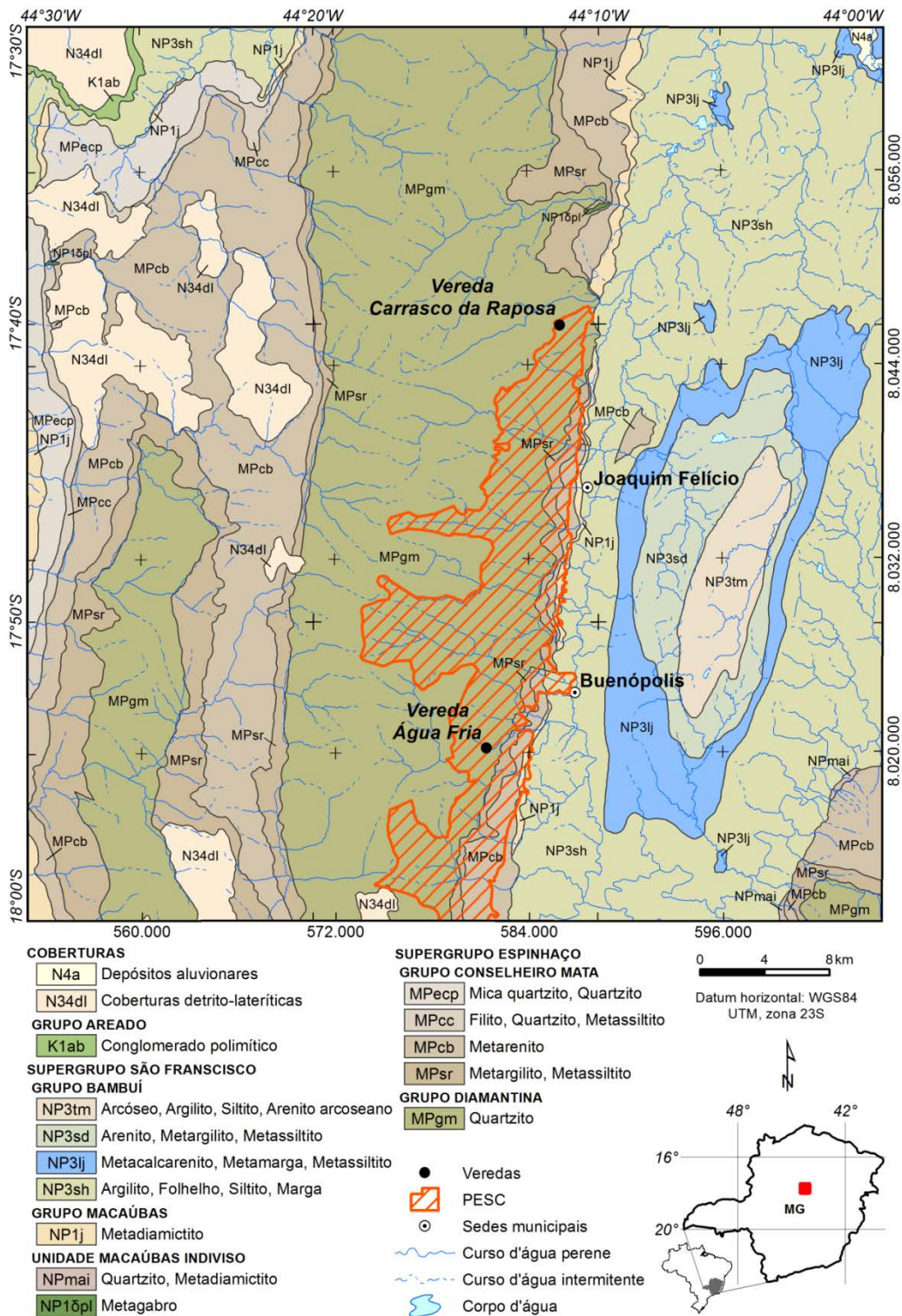


Figura 2. Mapa geológico com a localização das Veredas Carrasco da Raposa e Água Fria e limites do PESC (modificado de Lopes, 2012).

1.3.2- Clima

O estado de Minas Gerais é influenciado durante todo o ano pela circulação do anti-ciclone subtropical do Atlântico Sul caracterizado por ventos predominantemente do quadrante nordeste-leste, nos baixos níveis da troposfera. Devido à variação significativa no perfil de altitude na região da Serra do Cabral, uma variação climática também é observada na área. De acordo com a classificação de Köppen & Geiger (1928), o clima no PESC inclui o tipo de Cwa subtropical, que tem como características o inverno seco com temperaturas abaixo de 18°C e verão quente com temperaturas acima de 22°C; e o tipo Cwb de altitude subtropical, com inverno seco e verão suave com uma temperatura média abaixo de 22°C no mês mais quente (Antunes, 1986). Além disso, duas estações distintas ocorrem no PESC: uma estação úmida com precipitação frequente e uma estação seca, onde há uma redução significativa das médias de precipitação (Geominas, 1996). A precipitação média anual do PESC é de ~750 mm, mas nas porções mais altas da serra, onde as temperaturas são mais baixas e os períodos secos são mais curtos (3 a 4 meses), a precipitação pode atingir até 1.250 mm (Geominas, 1996).

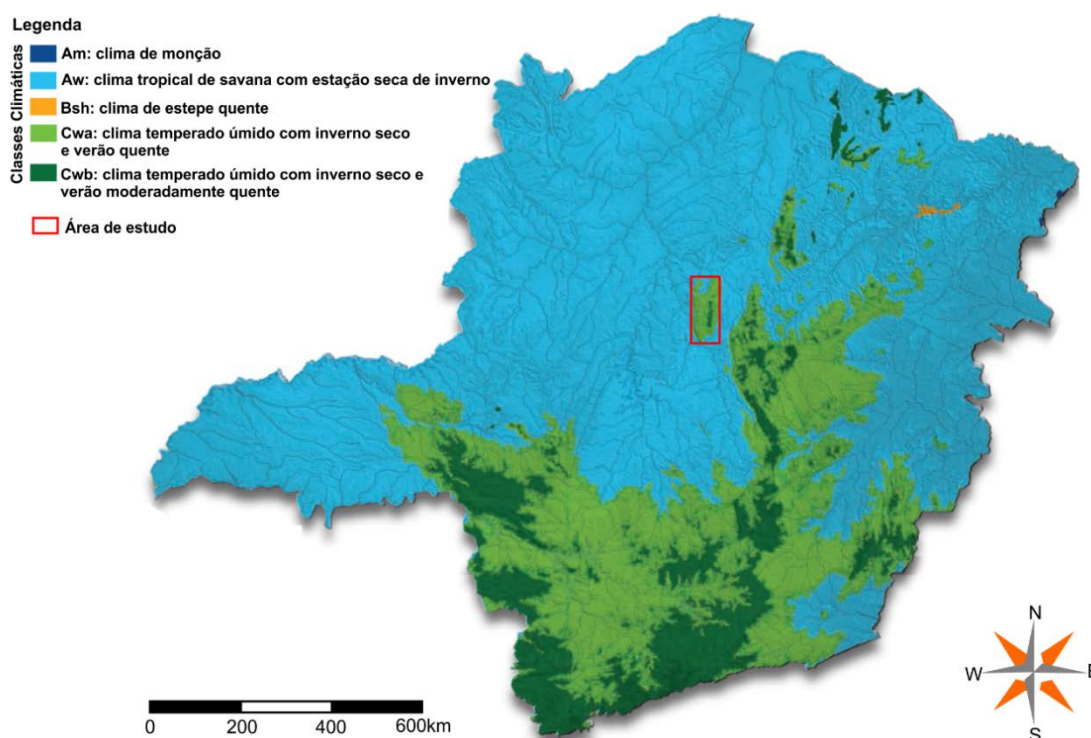


Figura 3. Mapa de classes climáticas para o estado de Minas Gerais segundo classificação de Köppen & Geiger (1928).

1.3.3- Vegetação

Situado na região centro-norte do Estado de Minas Gerais, o PESC, tem cobertura vegetal do tipo Cerrado, bioma caracterizado por apresentar a flora mais rica entre as savanas do mundo, com mais 6.450 espécies já catalogadas (Mendonça *et al.*, 2008). As interfaces com os demais biomas brasileiros são particularmente importantes para o Cerrado, pois na região de tensão ecológica entre grandes biomas, são registrados elementos pioneiros que quando se adaptam ao novo ambiente colonizado e refletem no aumento da biodiversidade (Silva & Santos 2005).

No PESC é possível identificar principalmente as fitofisionomias (Figura 4): Campo Rupestre (35,27%), Cerrado sentido restrito (25,15%), Formações Campestres (20,2%), Veredas (0,02%) e Formações Florestais (Matas) (0,87%) (IEF 2005).

A padronização das diferentes fitofisionomias encontradas na região seguiu principalmente o trabalho de Ribeiro e Walter (2008) para as áreas de Cerrado (sentido amplo), incluindo as Formações Campestres (Campo Sujo e Limpo), Formações Florestais (Cerrado - Matas), as Veredas e os Campos Rupestres.

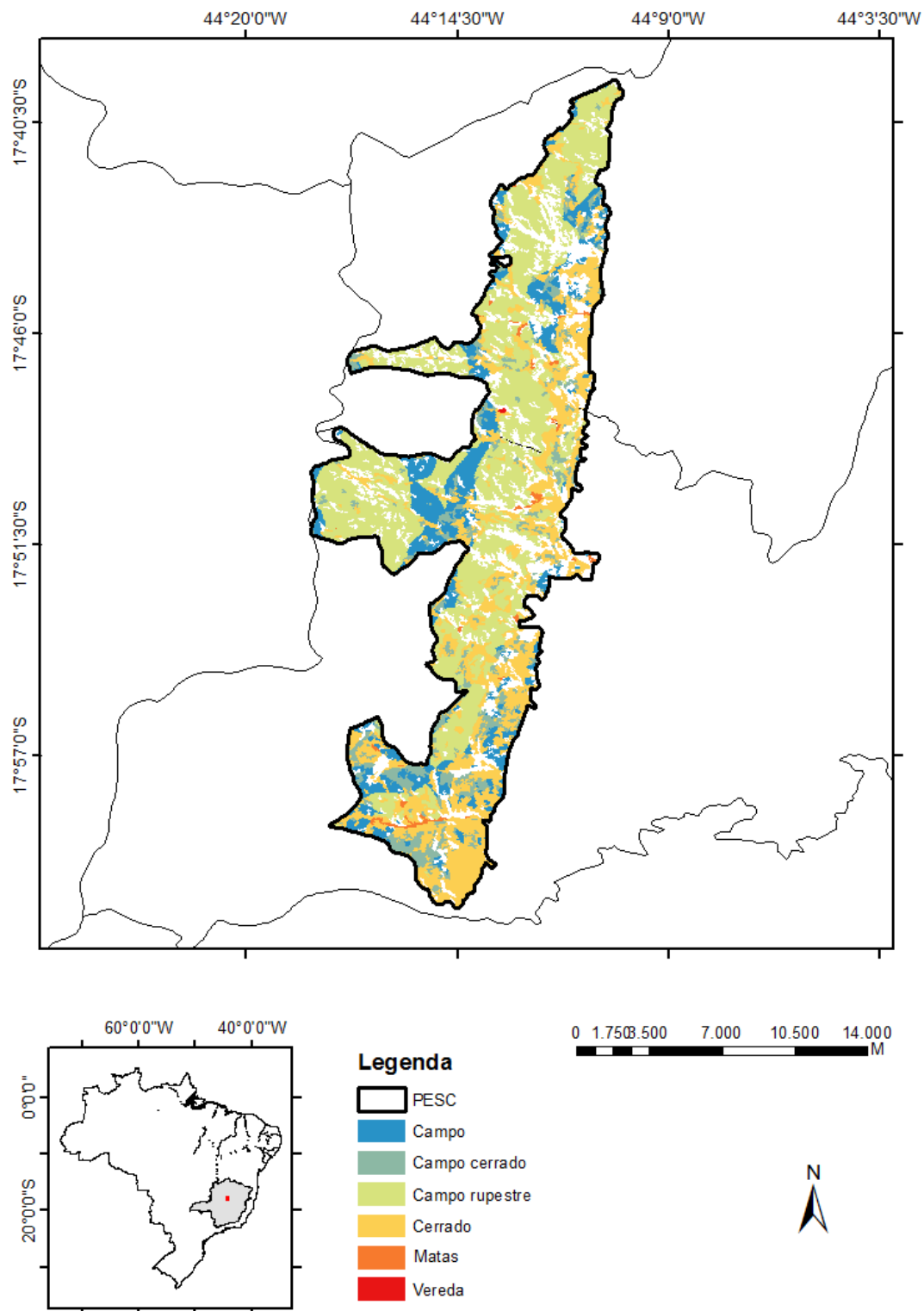


Figura 4. Mapa da cobertura vegetal do PESC (modificado de IBGE, 2011).

1.3.3.1- Campo Rupestre

O Campo Rupestre ocupa aproximadamente 35,27% da vegetação do PESC, e é um tipo de vegetação predominantemente herbáceo-arbustiva, com a presença eventual de arvoretas pouco desenvolvidas de até 2m de altura. Na Serra do Cabral, o Campo Rupestre é formado por um mosaico de vegetações, geralmente acima dos 1000 m em áreas onde há ventos constantes e variações extremas de temperatura, com dias quentes e noites frias, e no qual o substrato é composto por rochas quartzíticas e solos arenosos. O complexo de afloramentos rochosos é formado por espécies arbustivas e herbáceas que crescem de maneira heterogênea em meio às fendas das rochas e onde se observa o acúmulo de matéria orgânica (IEF 2005).

Segundo Ribeiro e Walter (2008), este tipo de vegetação ocorre geralmente em solos ácidos, pobres em nutrientes ou nas frestas dos afloramentos rochosos. A composição da flora em áreas de Campo Rupestre pode variar muito em poucos metros de distância, e a densidade das espécies depende dentre outros fatores do substrato, da profundidade e fertilidade do solo, da disponibilidade de água e da posição topográfica. Os agrupamentos de uma única espécie são comuns, e sua ocorrência está diretamente relacionada à umidade disponível no solo. Devido a todos esses fatores a flora do Campo Rupestre possui muitos endemismos, entre elas há inúmeras com características xeromórficas, com estruturas que diminuem a perda de água, tais como folhas pequenas, espessadas e com textura de couro (coriáceas), além de folhas com disposição opostas cruzadas, determinando uma coluna quadrangular escamosa (Ribeiro & Walter, 2008).

1.3.3.2- Cerrado Sentido Restrito

O Cerrado Sentido Restrito (25,15%) ocupa a segunda maior extensão do PESC, e tem como característica a presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, e geralmente com evidências de queimadas. Os arbustos e subarbustos encontram-se espalhados, com algumas espécies apresentando órgãos subterrâneos perenes (xilopódios), que permitem a rebrota após queima ou corte. Na época chuvosa as camadas subarbustiva e herbácea tornam-se exuberantes, devido ao seu rápido crescimento. Os troncos das plantas lenhosas em geral possuem cascas com cortiça espessa, fendida ou sulcada, e as gemas apicais (responsáveis pelo crescimento dos vegetais) de muitas espécies são protegidas por densa quantidade de pelos. As folhas em geral são rígidas e com consistência de couro. Esses caracteres indicam adaptação a condições de clima seco (Ribeiro & Walter, 2008).

1.3.3.3- Formações Campestres

As Formações Campestres do PESC (20,2%) representam diversas variações de campos alagados ou brejosos na Serra do Cabral. O Campo Sujo é um tipo fisionômico exclusivamente arbustivo-herbáceo, com arbustos e subarbustos esparsos cujas plantas são menos desenvolvidas que as árvores do Cerrado sentido restrito. Este tipo de vegetação é encontrado em solos rasos, eventualmente com pequenos afloramentos rochosos de pouca extensão (sem caracterizar um Campo Rupestre), ou ainda em solos profundos e de baixa fertilidade (álícos ou distróficos). Em função de particularidades ambientais, o Campo Sujo pode apresentar dois subtipos fisionômicos distintos: Campo Sujo Seco e Campo Sujo Úmido. Na presença do lençol freático profundo, ocorre o Campo Sujo Seco. Se o lençol freático é alto, próximo à superfície do solo, há o Campo Sujo Úmido (Ribeiro & Walter, 2008).

1.3.3.4- Formações Florestais – Matas

As Formações Florestais (Matas) (0,87%) são encontradas na Serra do Cabral através de Mata Ciliar, Cerradão, e, pequenas ilhas de Mata Atlântica pouco representada. Segundo Ribeiro & Walter (2008), as formações florestais do Cerrado englobam os tipos de vegetação com predominância de espécies de árvores e formação de cobertura pela proximidade das copas das árvores (dossel). A Mata Ciliar e a Mata de Galeria são os tipos de vegetação florestal associadas a cursos de água, que podem ocorrer em terrenos bem drenados ou mal drenados. A Mata Seca e o Cerradão ocorrem nos níveis de relevos que separam os fundos de vales (interflúvios), em terrenos bem drenados. A Mata de Galeria possui dois subtipos: não-Inundável e Inundável. A Mata Seca três: Sempre-Verde, Semidecídua e Decídua. O Cerradão pode ocorrer em solos com condições médias em relação à disponibilidade de nutrientes, ou seja, solos com fertilidade moderada ou em solos pobres em relação à disponibilidade de nutrientes, ou seja, solos com baixa fertilidade.

1.3.3.4.1- Mata Ciliar

Sua principal característica é que se localiza ao longo dos rios de médio e grande porte da região do Cerrado, em que a vegetação arbórea não forma galerias. Em geral essa Mata é relativamente estreita, dificilmente ultrapassando 100 m de largura em cada margem. É comum a largura em cada margem ser proporcional à do leito do rio, embora em áreas planas a largura possa ser maior. Porém, a Mata Ciliar ocorre geralmente sobre terrenos acidentados, podendo haver uma transição nem sempre evidente para outras fisionomias florestais como a Mata Seca e o Cerradão. Diferencia-se da Mata de Galeria pela forma de queda das folhas e pela composição florística. Na

Mata Ciliar há diferentes graus de queda das folhas na estação seca enquanto que na Mata de Galeria as plantas nunca perdem inteiramente as folhas. Floristicamente é similar à Mata Seca, diferenciando-se desta pela associação ao curso de água e pela estrutura, que em geral é mais densa e mais alta, com elementos florísticos específicos no trecho de contato com o leito do rio. As árvores, predominantemente eretas, variam em altura de 20 a 25 m, com alguns poucos indivíduos emergentes alcançando 30 m ou mais. As espécies típicas são predominantemente do tipo que perdem as folhas (caducifólias), com algumas sempre-verdes, conferindo à Mata Ciliar um aspecto semidecíduo. Ao longo do ano as árvores fornecem uma cobertura arbórea variável de 50 a 90%. Na estação chuvosa a cobertura chega a 90%, dificilmente ultrapassando este valor, ao passo que na estação seca pode até mesmo ser inferior a 50% em alguns trechos (Ribeiro & Walter, 2008).

1.3.3.4.2- Mata de Galeria

Vegetação florestal que acompanha os rios de pequeno porte e córregos dos planaltos do Brasil Central, formando corredores fechados (galerias) sobre o curso de água. Geralmente localiza-se nos fundos dos vales ou nas cabeceiras de drenagem onde os cursos de água ainda não escavaram um canal definitivo. Esse tipo de formação florestal mantém permanentemente as folhas (perenifólia), não apresentando queda significativa das folhas durante a estação seca. Quase sempre é circundada por faixas de vegetação não florestal em ambas as margens, e em geral ocorre uma transição brusca com formações savânicas e campestres. A transição é quase imperceptível quando ocorre com Matas Ciliares, Matas Secas ou mesmo Cerradões, o que é mais raro, muito embora pela composição florística seja possível diferenciá-las (Ribeiro & Walter, 2008).

1.3.3.5- Veredas

As veredas são consideradas uma fitofisionomia do Cerrado associada às zonas onde há maior concentração de umidade no solo e representam 0,02% da vegetação do PESC. Este ambiente é também identificado como cabeceira ou nascente de rios (Melo, 1992) e caracterizado pela presença da palmeira arbórea buriti, *Mauritia flexuosa*, em meio a agrupamentos mais ou menos densos de espécies arbustivas e herbáceas. Ao contrário de outras formações do Cerrado, como o buritizal, os buritis das veredas não formam dossel. Os buritis possuem altura média entre 12 a 15 m e cobertura de dossel entre 5% e 10% (Ribeiro & Walter, 2008).

A existência de gramíneas nas bordas das veredas ocorre devido à estrutura de suas raízes (Elhaï, 1968) que permite seu desenvolvimento em terreno arenoso, alagado periodicamente. Além das gramíneas, algumas espécies arbustivas da família das Melastomataceae, também são comuns

nas veredas. Em estágios mais avançados de formação de mata, podem ser encontradas espécies arbóreas e outras espécies que caracterizam a Mata de Galeria inundável associada à palmeira buriti (Silva, 2007).

2.1- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1.1- Palinologia do Quaternário no Cerrado

Segundo Salgado-Labouriau (1994), os grãos de pólen da flora atual são semelhantes aos grãos encontrados nos registros palinológicos desde o início do Quaternário, desta maneira podem ser feitas correlações das famílias, gêneros e espécies modernos com o registro fóssil, possibilitando a reconstrução dos ecossistemas, o estudo da sucessão da vegetação de determinada região e a observação de seu comportamento frente às mudanças e oscilações climáticas.

O Quaternário, período que abrange ~2,6 milhões de anos até presente (Cohen *et al.*, 2013), apresentou grandes variações no clima e foi marcado por longos intervalos de tempo com temperaturas muito baixas, durante as glaciações, intercalados por intervalos de temperaturas mais elevadas, como a atual, nos chamados períodos interglaciais (Meyer *et al.*, 2014).

O estudo dos ciclos glaciais e de suas consequências sobre a Terra fornecem os modelos para compreensão dos eventos de mudanças climáticas e sua influência sobre as comunidades vegetacionais (Salgado-Labouriau 1994).

As análises das mudanças climáticas e vegetacionais ocorridas durante o Quaternário no Brasil, através da palinologia, aumentaram nas últimas duas décadas, possibilitando a reconstituição do panorama paleoclimático do Cerrado. Dessa forma, neste trabalho foram considerados estudos palinológicos realizados em sedimentos quaternários de 19 sítios onde houve predomínio de vegetação típica do Bioma Cerrado: Carajás (Absy *et al.*, 1991), Lagoa de Serra Negra (De Oliveira, 1992), Lagoa Olhos d'Água (De Oliveira, 1992; Raczka *et al.*, 2012), Turfeira de Salitre (Ledru, 1993), Lago do Pires (Behling, 1995), Vereda de Cromínia (Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 1996), Lagoa Santa (Parizzi *et al.*, 1998), Vereda de Águas Emendadas (Barberi *et al.*, 2000), Lagoa da Confusão (Behling, 2002), Lagoa Nova (Behling, 2003), Lagoa do Caçó (Ledru *et al.*, 2006), Lagoa dos Mares (Raczka *et al.*, 2012), Turfeira Pau-de-Fruta (Horák, 2009), Vereda Urbano (Lorente *et al.*, 2010), Vereda Laçador (Cassino & Meyer, 2013), Fazenda Jataí (Souza *et al.*, 2013), Vereda da Fazenda São José (Cassino, 2014), Vereda Juquinha Cuba (Pires, 2016). Para possibilitar a comparação entre os trabalhos citados acima, todas as idades apresentadas foram calibradas com o programa *Calib 7.0.2* (Stuiver & Reimer, 1993), com a base de dados *IntCal09* (Reimer *et al.*, 2009).

2.1.2- Cenário paleoclimático no Cerrado durante o Pleistoceno

Com relação aos eventos climáticos ocorridos no Pleistoceno, as fases glaciais e interglaciais estão refletidas nos registros palinológicos, dessa forma é possível observar mudanças na vegetação que refletem mudanças climáticas locais sob a ótica do Último Máximo Glacial, evento de magnitude global, com influências possivelmente proporcionais a geomorfologia e particularidades de cada região.

Absy *et al.* (1991), publicaram o primeiro trabalho palinológico na parte leste da Amazônia; num perfil sedimentar lacustre que foi recuperado no topo de um platô na Serra dos Carajás - PA, onde a vegetação atual é referencialmente de floresta tropical úmida. O testemunho coletado apresentou mais de 51.200 anos AP. No período entre ~37.400 a ~27.500 anos cal. AP (idade interpolada), havia o domínio da vegetação arbórea na região e frequência significativa de algas do gênero *Botryococcus*, sugerindo um clima muito úmido, com presença de um lago com florestas ao redor. Algum tempo após este período, por volta de ~14.600 anos cal. AP foi constatado um hiato na sedimentação e ressecamento do lago, possivelmente em consequência das condições climáticas secas e/ou semi-áridas, dessa forma no topo do platô o registro polínico foi marcado pela presença dominante de espécies típicas de vegetação de campo, como grãos de pólen de Gramíneas, Asteraceae, *Borreria* e *Cuphea*.

O mesmo padrão climático encontrado em Carajás (Absy *et al.*, 1991), foi observado por Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau (1996) em análises palinológicas realizadas em uma vereda em Cromínia - GO. Foi possível determinar que no período entre ~37.000 e ~32.400 anos cal. AP, o paleoclima era mais úmido e mais frio que o atual. A vereda, uma Mata de Galeria e um Cerrado com elementos arbóreos ocuparam o local onde foram registrados grãos de *Mauritia*, *Hedyosmum* e Melastomataceae, dentre outros, dados que indicam semelhança com a vegetação atual para a região. Tais registros, possivelmente indicam um clima semi-úmido e quente, com durabilidade da estação seca de 4 a 5 meses, semelhante aos dias atuais. No final do Pleniglacial Médio, a partir de ~32.400 anos cal. AP (idade interpolada) as árvores e arbustos começaram a diminuir, e a partir de ~27.000 anos cal. AP (idade interpolada) até aproximadamente 20.400 anos cal. AP a região da vereda foi substituída por um lago raso e vegetação campestre com predomínio de Poaceae e Cyperaceae, o clima era úmido e, provavelmente, mais frio do que nos períodos anteriores. Após este período houve diminuição na concentração dos palinomorfos e desaparecimento dos grãos de *Mauritia* até aproximadamente 11.300 anos cal. AP, o que sugeriu uma fase seca e, talvez fria, ao final do Pleistoceno.

O paleoclima frio e úmido também estava presente em Minas Gerais e foi comprovado a partir do registro palinológico estudado na Lagoa de Serra Negra - MG por De Oliveira (1992).

Entre ~44.000 até ~17.500 anos cal. AP, as condições climáticas eram mais úmidas e frias do que as atuais. Para este intervalo de tempo, os grãos de pólen recuperados eram de elementos tropicais associados a elementos de vegetação de altas altitudes como *Araucaria*, *Podocarpus*, *Ilex* e *Ericaceae*. Após ~17.500 anos cal. AP os grãos de pólen dos táxons de vegetação de altas altitudes não foram registrados na sequência sedimentar enquanto os táxons de savana começaram a aumentar, sugerindo que a partir do Pleistoceno médio houve uma redução na precipitação pluviométrica e um possível aumento da temperatura.

Em Minas Gerais, na região de Lagoa Santa, nas Lagoas dos Olhos d' Água e dos Mares, o registro polínico sugeriu que durante o UMG a temperatura era mais baixa que a atual. De Oliveira (1992) e Raczka *et al.* (2012), observaram que entre ~23.000 e ~15.000 anos cal. AP o clima era frio e semi-úmido com uma estação seca de menor duração para a região. A vegetação tinha elementos de Mata de Galeria e Cerrado, com a ocorrência de *Podocarpus* e *Caryocar*. Após aproximadamente 15.000 anos cal. AP, da mesma maneira que foi observado nos sítios anteriormente aqui citados, houve uma diminuição na umidade e um aumento gradual na temperatura.

Na Turfeira de Salitre, localizada na região oeste de Minas Gerais, Ledru (1993) observou que no período entre ~37.000 e ~32.400 anos cal. AP o clima era frio, e a cobertura vegetal tinha elementos de florestas inundadas. Após este período houve um hiato na sedimentação até ~18.000 anos cal. AP. No registro polínico do intervalo entre ~15.000 e ~12.250 anos cal. AP foi registrado um aumento nas ocorrências de grãos de *Araucaria*, *Ilex*, *Symplocos* e *Drymis* o que sugeriu uma provável expansão das Florestas de Araucária e continuidade do clima frio com umidade elevada.

Na Vereda de Águas Emendadas, Barberi *et al.* (2000) constataram que a deposição de palinórfos começou após ~28.000 anos AP e indicaram a presença de pântanos no local com presença de táxons arbóreos que são comuns em altas altitudes, sugerindo um clima mais úmido e frio que o atual até ~25.600 anos AP. Porém, este clima provavelmente úmido deu lugar a uma fase seca semelhante ao clima semi-árido que se instalou a partir de ~25.200 anos cal. AP até o início do Holoceno, ~7.500 anos AP, o que levou a desertificação do topo do platô devido a um hiato deposicional.

Ao contrário do que foi observado nos sítios palinológicos em outras áreas do Cerrado, os registros obtidos por Behling (2002), na Lagoa da Confusão - TO indicaram que a região foi dominada por este bioma entre ~29.000 e ~27.400 anos cal. AP, com presença de principalmente *Poaceae*, *Cyperaceae* e *Borreria*. O clima neste período era seco e com taxa de precipitação baixa, além de uma longa estação seca anual - devido à baixa concentração de grãos típicos de mata, como *Melastomataceae*, *Urticaceae*, *Myrtaceae* e *Alchornea*. A partir deste intervalo de tempo até

aproximadamente 14.000 anos cal. AP surgiram pequenas áreas de Mata de Galeria em meio à vegetação do Cerrado, sugerindo melhora na umidade local.

Os sedimentos lacustres da Lagoa do Caçó - MA estudados por Ledru *et al.* (2006), permitiram constatar um padrão climático semelhante ao registrado em Carajás, Cromínia, Serra Negra, Lagoa Santa e Águas Emendadas (Absy *et al.*, 1991; Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 1996; De Oliveira, 1992; De Oliveira, 1999; Raczka *et al.*, 2012; Barberi *et al.*, 2000), pois as condições climáticas também eram secas há aproximadamente 19.000 anos cal. AP e a região da lagoa era dominada por uma vegetação esparsa e arbustiva com predomínio de gramíneas em solo arenoso, assim, a paisagem não apresentava características ecológicas do Cerrado, exceto pelos gêneros *Byrsonima* e *Mimosa*, o que sugeriu que algumas espécies deste bioma foram capazes de sobreviver sob o clima árido predominante, provavelmente como pequenos arbustos. Após ~17.000 anos cal. AP, a expansão progressiva de elementos de floresta tropical sugeriu um aumento na taxa de umidade. O desenvolvimento da floresta apresentou períodos de retração em ~15.000 e ~13.500 anos cal AP, e foram registrados ao longo desse intervalo de tempo, indícios de incêndios e expansão das gramíneas na região.

Na Vereda da Fazenda Urbano, no município de Buritizeiro - MG, Lorente *et al.* (2010) observaram condições climáticas mais secas que as atuais ao final do Pleistoceno, no intervalo de tempo de ~15.950 a ~13.500 anos cal. AP houve predomínio de grãos de pólen herbáceo-arbustivos como Poaceae, Asteraceae, Rubiaceae e *Drosera*, e ausência de elementos arbóreos o que caracterizou a fitofisionomia Campo Limpo. Somente após este intervalo surgiu a palmeira *Mauritia flexuosa* no registro polínico, o que representa o aumento gradativo da umidade e começo do desenvolvimento da vereda no local.

A análise palinológica na Vereda Laçador, em Buritizeiro - MG (Cassino & Meyer, 2013), mostrou que ao final do Pleistoceno, por volta de ~13.250 anos cal. AP o clima era mais frio que o atual na região do Chapadão dos Gerais, as temperaturas eram mais baixas e estavam possivelmente relacionadas à presença de Mata de Galeria com grãos de pólen de *Podocarpus*, *Ilex* e *Myrsine* e à ausência de táxons típicos do Cerrado. No entanto, as temperaturas baixas não afetaram a ocorrência, ainda que restrita, de *Mauritia flexuosa*. Após essa fase, houve um período entre ~13.000 e ~11.600 anos cal. AP (idades interpoladas), onde o clima se tornou quente e semi-úmido e conseqüentemente foi possível observar uma mudança na vegetação e a expansão da vereda. As gramíneas foram representativas como parte do estrato herbáceo da vereda. Na vegetação do entorno, houve a substituição do Campo Limpo por Cerrado sentido restrito, com presença de árvores típicas como *Caryocar brasiliensis*, dentre outras.

Na Fazenda São José, região noroeste de Minas Gerais no período compreendido entre ~15.700 e ~14.200 anos cal. AP havia influência de um clima mais frio, relativamente seco e

ausência da palmeira buriti. Após aproximadamente 14.200 anos cal. AP, um clima mais quente se instalou, e a vereda se estabeleceu, além de uma vegetação do tipo Cerrado sentido restrito em seu entorno. A partir de ~12.370 anos cal. AP houve o início da expansão da vereda e da fitofisionomia Cerrado sentido restrito em seu entorno, sob um clima relativamente mais úmido e quente que o atual (Cassino, 2014).

No que diz respeito às condições paleoclimáticas no PESC, os resultados mostraram em linhas gerais que no período de ~21.150 a 18.850 anos cal. AP o clima era mais frio que o atual na Vereda Carrasco da Raposa, onde foram registrados elementos arbóreos como *Podocarpus*, *Ilex*, *Drymis* e Ericaceae. Após este período a tendência climática foi de aumento de temperatura e umidade. Na Vereda Água Fria, o panorama climático a partir de ~20.000 ano cal. AP, não apresentou indícios no registro polínico de que era frio como na VCR.

Em síntese, no panorama geral do Pleistoceno durante o último ciclo glacial-interglacial, o clima foi relativamente mais úmido e mais frio no período compreendido entre ~50.000 e ~25.000 anos AP e após ~21.000 anos AP, foi possível observar uma tendência a condições climáticas mais secas, porém igualmente frias, como no período anterior. Após ~13.000 anos o clima ficou gradativamente mais quente e a umidade voltou a ocorrer em determinadas regiões.

2.1.3- Cenário paleoclimático no Cerrado durante o Holoceno

O clima durante o Holoceno seguiu tendências de aumento gradativo na temperatura, o que gerou como consequência mudanças nas características da vegetação nas regiões estudadas dentro do contexto do Bioma Cerrado citadas a seguir.

É importante ressaltar que alguns sítios, divergem deste quadro geral devido a particularidades do local de coleta, à utilização de métodos diferentes na interpretação dos dados palinológicos, e ainda, devido à extensão do bioma Cerrado em locais de diferentes latitudes (Cassino & Meyer, 2013).

Em Salitre - MG, Ledru (1993) observou que no início do Holoceno houve indícios de que o nível relativo da umidade precedeu a expansão progressiva de espécies de Cerrado, mais especificamente das Formações Florestais. No período após ~8.900 anos cal. AP, a floresta de Araucária foi substituída por uma floresta semi-decídua, a qual se desenvolveu em temperaturas mais altas. Entre ~6.350 e ~4.350 anos cal. AP, foi registrado um período mais seco, com diminuição da ocorrência de grãos de pólen arbóreo. Porém a partir de ~4.350 anos cal. AP, houve novamente expansão da floresta semi-decídua, o que caracterizou o retorno das condições mais úmidas.

Esse mesmo período seco foi encontrado nos registros da Vereda em Cromínia - GO estudada por Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau (1996), porém no início do Holoceno, por volta de ~10.400 anos cal. AP, onde foi registrada baixa concentração de palinórfos, e os grãos de pólen arbóreos chegaram a um valor mínimo, provavelmente em decorrência de condições mais secas e talvez mais frias. As condições mais secas continuaram no Holoceno superior entre ~10.400 e ~8.000 anos cal. AP. A palmeira *Mauritia* retornou a região somente a partir de ~8.000 anos cal. AP, e juntamente com outros tipos polínicos, indicou aumento de umidade e de condições climáticas semelhantes aos dias atuais.

Behling (1995) registrou no Lago do Pires - MG, por volta de ~11.200 e ~9.900 anos cal. AP, que a região em torno do lago foi dominada por formações campestres do Cerrado com indícios de incêndio. Algumas espécies formavam pequenas Matas de Galeria ao longo dos cursos de água. A partir do intervalo entre ~8.300 até ~5.460 anos cal. AP houve expansão da Mata de Galeria o que marcou o início de um período com maior pluviosidade e incêndios menos frequentes, apesar da fitofisionomia de Campo Cerrado permanecer dominante, o reflexo de um período mais úmido era evidente. Após ~5.460 até ~2.890 anos cal. AP houve a redução dessas matas provavelmente relacionada a um retorno de condições climáticas mais secas e com menor taxa de precipitação, como consequência os incêndios foram mais frequentes e a vegetação sobre as colinas era de um Cerrado mais aberto.

As análises palinológicas realizadas por Parizzi *et al.* (1998), em Lagoa Santa - MG, indicaram que o período compreendido entre ~5.100 e ~3.600 anos cal. AP havia um lago intermitente no fundo do vale e o clima na região era mais seco do que no presente, os grãos de pólen das gramíneas seguidos por Portulacaceae eram predominantes. Após ~3.600 anos cal. AP foi observado um aumento de grãos de pólen arbóreo que formaram um mosaico de florestas e Cerrado que cobriu a região ao redor do lago, provavelmente devido ao clima que passou a ser quente e semi-úmido, com maior taxa de precipitação.

Em Águas Emendadas houve um hiato no registro sedimentar desde o Pleistoceno que se estendeu até ~8.000 anos cal. AP. A partir daí, foi possível através dos dados palinológicos, registrar um aumento na umidade, porém este aumento não foi suficiente para promover o desenvolvimento da vegetação que se manteve esparsa e arbustiva. Entre ~6.680 a ~5.000 anos AP foi registrada a expansão da vegetação e o surgimento de grãos de pólen de *Mauritia* o que evidenciou o início da formação da vereda no local. A partir de ~5.000 anos AP houve mudança das condições climáticas que se assemelharam as atuais (Barberi *et al.*, 2000).

Na região da Lagoa da Confusão - TO ocorreu à instalação de uma vegetação do tipo Campo Cerrado e de Matas de Galeria no entorno do lago no início do Holoceno provavelmente devido ao aumento nas taxas de precipitação e a uma estação seca anual mais curta se comparada a estação

seca vigente durante o Pleistoceno. A partir de ~6.200 anos cal. AP foi registrada uma expansão de elementos arbóreos típicos do Cerrado, das Matas de Galeria, e da Floresta amazônica como *Celtis* e *Lithraea* (*Schinus*), possivelmente devido a condições mais úmidas que as anteriores na região (Behling, 2002).

Como nos trabalhos de Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau (1996) no Brasil Central e Behling (1995) no Lago do Pires, o registro polínico da Lagoa Nova - MG (Behling, 2003) também indicou que no período entre ~11.800 e ~9.500 anos cal. AP possivelmente havia baixa taxa de precipitação e a estação seca durava aproximadamente 6 meses. A vegetação refletiu esse clima e era predominantemente de Campo Cerrado com domínio de *Curatela americana*, e em meio a esta fitofisionomia havia pequenas áreas de Mata de Galeria. Já entre ~9.500 e ~8.300 anos cal. AP houve um aumento de espécies arbóreas tais como *Cecropia*, *Alchornea* e *Celtis*, devido provavelmente a uma expansão da Mata de Galeria em consequência do aumento da umidade, como observado também na região da Lagoa da Confusão - TO (Behling, 2002). Após ~8.300 até ~6.060 anos cal. AP, houve uma regressão da Mata de Galeria devido a uma longa estação seca, porém mais amena do que a anterior. Assim como na Lagoa da Confusão (Behling, 2002), após ~6.060 anos cal. AP, as condições climáticas voltaram a ficar mais úmidas e como consequência foram registrados elementos de Floresta semi-decídua nos Vales e expansão da vegetação típica do Cerrado no topo dos morros. A partir de ~600 anos AP, houve expansão da Floresta semi-decídua com o início de condições climáticas modernas e estação seca anual com duração de 4 meses.

Na Lagoa do Caçó - MA, houve melhora da umidade em relação às condições climáticas observados ao final do Pleistoceno na região, todavia o período compreendido entre ~11.000 e ~8.500 anos cal. AP foi seco se comparado ao atual e com vegetação de características herbáceo-arbustivas. A partir de ~8.500 anos cal. AP até o presente ocorreu à instalação de um clima quente e semi-úmido semelhante ao clima observado no dias atuais (Ledru *et al.*, 2006).

Na turfeira Pau-de-Fruta em Minas Gerais (Horák, 2009), o clima era mais quente no Holoceno Inferior/Médio no intervalo entre ~8.100 anos cal. AP e ~4.100 anos cal. AP (idade interpolada), porém com constantes oscilações de umidade. Foi possível verificar ainda que, nos períodos úmidos e quentes do Holoceno Inferior/Médio ocorreu a expansão do Campo Úmido, da Floresta Estacional de Galeria, do Campo Rupestre e Cerrado. O aparecimento da “Floresta de Galeria de Myrtaceae” e a formação de uma lagoa entre ~5.700 e ~4.700 anos cal. AP foi o período mais úmido registrado. Porém, após este intervalo, ocorreu uma queda brusca da umidade e o clima permaneceu seco até ~2.900 anos cal. AP (idade interpolada), foram registradas condições climáticas mais secas que as atuais e a mata regrediu, predominando a vegetação de campo. Após esse período mais seco, a umidade aumentou até ficar semelhante às condições atuais.

Foi possível observar esse mesmo período mais úmido na região da Vereda da Fazenda Urbano (Lorente *et al.* 2010), onde a umidade aumentou gradativamente desde o final do Pleistoceno e a partir de ~6.000 anos cal. AP (idade interpolada) até ~1.400 anos cal. AP, quando foi observado no registro polínico o aumento na concentração de elementos arbóreos e maior diversidade de táxons herbáceo-arbustivos. Houve também o estabelecimento da vereda como reflexo de condições climáticas mais úmidas do que as descritas para o período anterior. A presença de *Mauritia* mostrou que o clima deveria ser igual ou semelhante ao semi-úmido, possivelmente com índice pluviométrico acima de 1.000 mm e com estação seca com duração de 5 a 6 meses, condições estas semelhantes às condições climáticas atuais da região.

Já em Lagoa Santa - MG, Raczka *et al.* (2012), registraram na Lagoa dos Mares o aumento gradual da temperatura durante a primeira metade do Holoceno entre ~9.200 e ~8.000 anos cal. AP, o que possibilitou o surgimento de novas espécies e houve então uma rara composição florística, em que elementos de Cerrado coexistiram com táxons de florestas temperadas como *Araucaria*, *Ericaceae*, *Hedyosmum*, *Myrsinaceae*, *Podocarpus*, *Protium* e *Sapindaceae*, o que sugere a presença de um mosaico floresta e Cerrado com predomínio de um clima relativamente úmido, semelhante ao atual. Apesar de indícios de um clima com uma estação seca mais pronunciada entre ~4.000 e ~2.700 anos cal. AP poucas variações da umidade ao longo da segunda metade do Holoceno foram observadas no local do estudo.

Na mesma região da Lagoa dos Mares, na Lagoa dos Olhos d' Água, durante a transição Pleistoceno/Holoceno houve gradual substituição dos elementos de clima frio por elementos característicos de floresta tropical de climas mais quentes, como *Protium*, *Sebastiania*, *Rubiaceae* e alguns elementos do Cerrado como *Caryocar* e *Pseudobombax*. O registro palinológico mostra que durante o Holoceno médio, ocorreram amplas oscilações climáticas, atribuídas como consequências de fenômenos do tipo *El Niño*. Nos últimos 2.000 anos AP, a vegetação no local foi dominada por elementos arbóreos/arbustivos como *Alchornea*, *Apocynaceae*, *Arecaceae*, *Cecropia*, *Ficus*, *Melastomataceae*, *Mimosa*, *Peixotoa* e *Sebastiania*, e componentes herbáceos terrestres como *Asteraceae* e *Poaceae*, semelhante a vegetação que se encontra na paisagem atual. Os estudos não demonstraram qualquer existência de vegetação característica de clima seco (De Oliveira, 1992; Raczka *et al.*, 2012).

Na região do Chapadão dos Gerais, na Vereda Laçador, Cassino & Meyer (2013) registraram uma fase de clima mais frio que o atual, entre aproximadamente 11.600 e 9.900 anos cal. AP. Depois deste intervalo, o clima se tornou gradativamente mais quente e semi-úmido e ocorreu a expansão da vereda. Ao contrário do que foi observado na Turfeira Pau-de-Fruta e na Vereda Urbano (Horák, 2009; Lorente *et al.*, 2010), o período após ~7.000 anos cal. AP na Vereda Laçador foi de um clima quente e mais seco que o atual, além disso, foi observada a retração da

vereda em consequência das condições climáticas mais secas, com aumento de elementos herbáceos e presença de elementos arbóreos adaptados ao clima semi-árido.

Assim como em Cromínia, Serra Negra e Lagoa Nova (Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 1996; Behling, 1995; Behling, 2003) as análises palinológicas realizadas por Souza *et al.* (2013) na Fazenda Jataí em São Paulo, evidenciaram um clima mais seco que o atual por volta de 10.250 anos cal. AP, com altas taxas de fragmentos de carvão o que pode estar associado a períodos de ocorrência de paleoincêndios e de uma abertura florestal. A partir de ~10.186 até ~2.100 anos cal. AP ocorreu um aumento da frequência de grãos de pólen típicos de Cerrado como *Byrsonima* e *Dydimopanax* e o registro polínico indicou a presença de uma vegetação mais fechada, devido provavelmente ao clima mais úmido. Após ~2.100 anos cal. AP até os dias atuais as condições paleoclimáticas seriam as mesmas, com uma vegetação do tipo Cerradão.

Na Vereda da Fazenda São José (Cassino, 2014), a partir de aproximadamente 9.400 anos cal. AP houve o início de uma fase de clima mais seco que resultou na redução da zona úmida da vereda e no desenvolvimento de uma vegetação mais aberta do tipo Campo Sujo. A partir de ~7.600 anos cal. AP, esta fase seca foi interrompida com a volta de condições mais úmidas e novamente com a expansão da vereda. Entre ~6.200 e ~5.500 anos cal. AP, houve um período de máxima umidade e extensão da zona central da vereda. Após ~5.500 anos cal. AP, a tendência foi de um clima relativamente mais seco e novamente em seu entorno a vegetação do tipo Campo Sujo se desenvolveu. Um período um pouco mais úmido ocorreu por volta de 3.500 anos cal. AP, mas posteriormente as condições mais secas voltaram a ocorrer a partir de ~1.800 anos cal. AP até o presente.

Após o final do Pleistoceno, na região da Serra do Cabral - MG (Pires *et al.*, 2016; Gomes *et al.*, 2016), entre ~18.850 e 3.550 anos cal. AP o clima ficou mais quente que o período anterior e mais úmido. A partir de ~1.650 anos cal. AP o padrão climático registrado foi semelhante ao atual, possivelmente com média pluviométrica anual acima de 1.000 mm e a duração da estação seca entre 5 e 6 meses o que possibilitou o estabelecimento das veredas nos locais estudados dentro do PESC a partir deste período.

De maneira geral, o panorama climático global durante o Holoceno foi de um clima gradualmente mais quente no início do Holoceno e Holoceno médio, com indícios de temperaturas médias anuais mais elevadas cerca de 1°C a 2°C que as atuais. A partir do Holoceno superior, após ~3.000 anos cal. AP, as condições climáticas possivelmente se assemelharam às atuais nos locais estudados, com particularidades que podem estar relacionadas a características geomorfológicas de cada região (Mayewski, 2004).

2.2- ESTUDOS PALINOLÓGICOS ASSOCIADOS A ESTUDOS ISOTÓPICOS

No que diz respeito a estudos isotópicos associados a dados palinológicos na reconstituição dos paleoambientes, em diferentes ecossistemas brasileiros, são conhecidos trabalhos de regiões costeiras que apresentaram resultados de acordo com a variação do nível relativo do mar (*e.g.* Pessenda *et al.*, 2005; Pessenda *et al.*, 2009; Buso Junior, 2010; Lorente *et al.*, 2014); na região da Mata Atlântica (Pessenda *et al.*, 2010); no planalto do sul do Brasil (Oliveira *et al.*, 2008), dentre outros. No bioma Cerrado até o momento foram realizados poucos estudos que utilizaram a associação de isótopos e análise palinológica (*e.g.* Salgado-Labouriau *et al.* 1996; Souza *et al.* 2013; Horák, 2009)

Salgado-Labouriau *et al.* (1996), realizaram além das análises palinológicas, análises isotópicas no testemunho de Cromínia - GO, porém os resultados apresentados em gráficos com as curvas isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e a razão isotópica do carbono/nitrogênio não foram discutidos no trabalho.

Souza *et al.* (2013) a partir de análises palinológicas juntamente com o uso dos isótopos do carbono nos sedimentos e, análises antracológicas, evidenciaram mudanças na vegetação e por consequência mudanças no clima do município de Luís Antônio, na Fazenda Jataí na porção nordeste do Estado de São Paulo. As amostras com idades entre ~10.000 e ~7.000 anos cal. AP mostraram a presença de vegetação C₄ com valores de $\delta^{13}\text{C}$ em torno de -14,3‰, escassa frequência de palinomorfos e fragmentos de carvões. Esse intervalo foi interpretado como o resultado da predominância de um clima mais seco que o atual no início do Holoceno (que se estendeu até o Holoceno médio), sob o qual paleoincêndios já ocorriam. Do Holoceno médio, com ênfase a partir de ~2.100 anos cal. AP, até os dias atuais, ocorre o predomínio de vegetação C₄ e C₃ com valores -20,86‰. Houve o aumento da frequência de grãos de pólen, indicadores de Cerrado como *Byrsonima* e *Didymopanax*, que sugerem que a área foi coberta por uma vegetação mista composta por elementos de campo e floresta, com uma regressão do campo provavelmente associada ao clima atual mais úmido, que favorece o “cerradão” como vegetação de cobertura.

Horák (2009) aplicou bioindicadores como os isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$), datação ^{14}C e palinomorfos em um perfil de organossolo, juntamente com dados de descrição e caracterização do solo, com intuito de inferir as condições do ambiente na região da turfeira Pau-de-Fruta, localizada em Minas Gerais durante o Quaternário. Dessa forma foi possível reconstituir cronologicamente a sequência de eventos que ocorreram durante a formação do depósito no local. Os resultados deste estudo demonstraram que a gênese inicial do perfil de solo estudado, antes de ~8.100 anos cal. AP apresentou elevada contribuição de uma matéria orgânica mais herbácea, e gradualmente no Holoceno Inferior/Médio, entre ~8.100 anos cal. AP e ~4.100

anos cal. AP (idade interpolada) houve com expansão de uma mata. No período entre ~2.500 anos cal. AP (idade interpolada) e 430 anos cal. AP houve regressão da mata e predomínio da vegetação de campo devido à redução da umidade. Após esse período mais seco, a umidade aumentou até chegar a condições semelhantes às atuais.

Dessa forma, é importante incentivar a intensificação de estudos palinológicos associados aos estudos isotópicos no sentido de contribuir para um melhor entendimento da dinâmica da paleovegetação e das mudanças paleoambientais.

CAPÍTULO III

3.1- MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.1- Coleta do testemunho

Os sedimentos (organossolo) analisados foram coletados de dois testemunhos obtidos na Vereda Carrasco da Raposa e na Vereda da Água Fria, através de amostragem com um testemunhador do tipo RUSSIAN/russo até a profundidade de 100 cm e 359 cm respectivamente.

3.1.2- Processamento químico

O tratamento químico das amostras sedimentares para a extração dos palinomorfos foi realizado no Laboratório de Palinologia do Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa-CPMTC, Instituto de Geociências da UFMG. A extração seguiu o método de Faegri & Iversen (1989), com modificações introduzidas por Colinvaux *et al.* (1999) que consiste na utilização de HF para eliminação de silicatos, HCl para dissolução da matriz carbonática, KOH para eliminação dos ácidos húmicos e acetólise: 9 partes de anidrido acético (CH₃CO)₂O: 1 parte de ácido sulfúrico (H₂SO₄).

3.1.2.1- Adição de marcador exótico

O início do processamento químico começa com a desagregação da pastilha *Lycopodium clavatum*. Foi colocada uma pastilha em um tubo de propileno, foi adicionado 5 ml de uma solução de HCl a 10% ao tubo para dissolução da matriz carbonática. Em seguida, foi acrescentada água destilada até completar 12 ml e levado em uma centrífuga de 8 tubos com timer. Posteriormente a amostra foi lavada. A este tubo foi adicionado 1 cm³ de sedimento, o

tubo foi acrescido de água destilada e a amostra foi lavada três vezes, ou até que o sobrenadante estivesse claro (Stockmar, 1971).

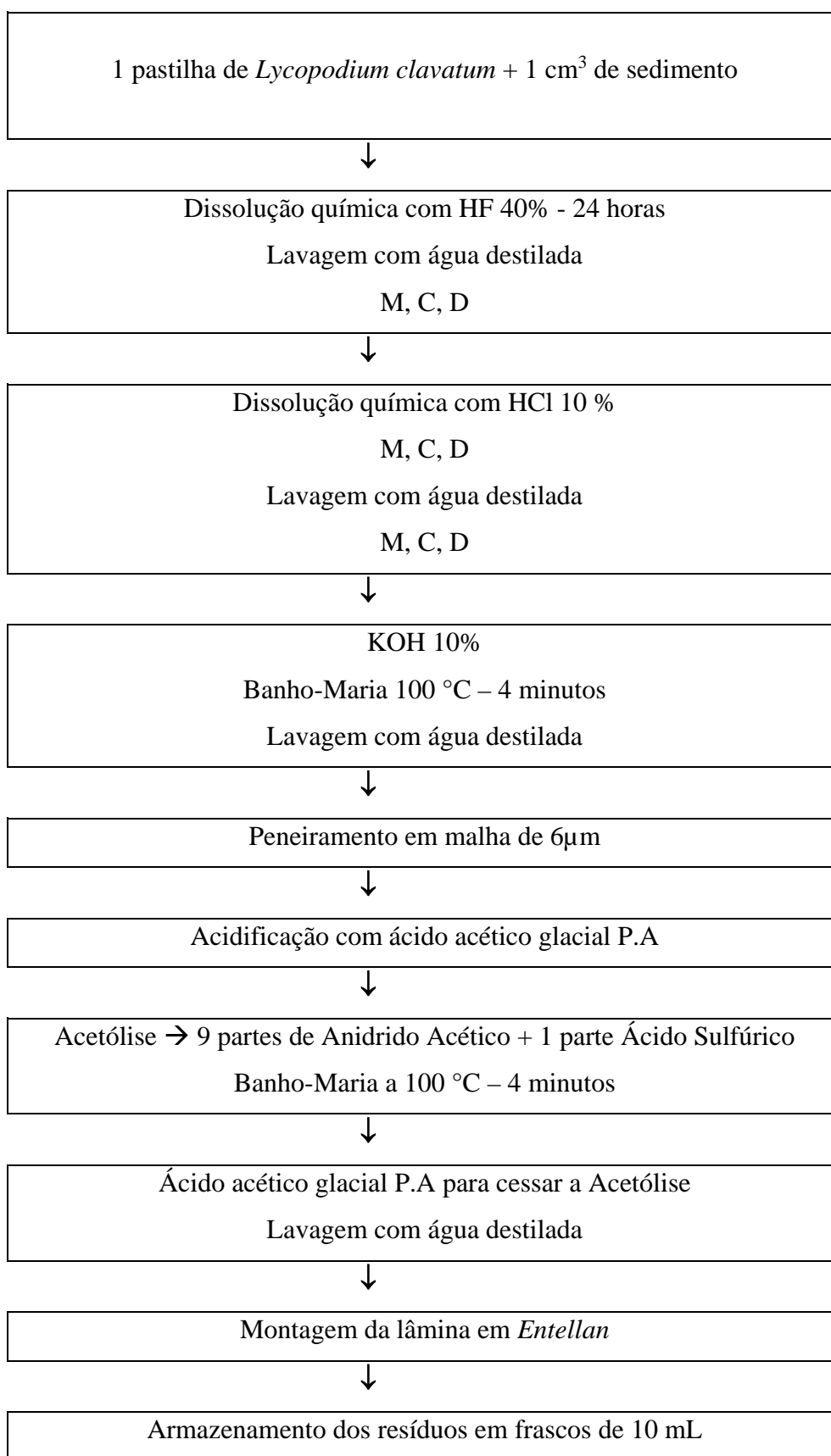
3.1.2.2- Eliminação dos Silicatos

Foi adicionado aos tubos 8 ml de HF concentrado, a amostra repousou por 24 horas, no processo denominado digestão a frio. M, C, D (Mistura, Centrifuga - 2.500 rpm e Decanta). A amostra foi lavada com 12 ml de água destilada, 2 ou 3 vezes ou até que o sobrenadante estivesse claro. O resíduo do ácido fluorídrico foi eliminado com 8 ml de HCl a 10%.

3.1.2.3-Acetólise

Cada amostra foi lavada com 8 ml de ácido acético glacial. Em seguida foram preparados 7 ml de mistura de acetólise equivalente a 9 partes de anidrido acético (CH_3COCH_3) por volume para uma parte de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) para cada tubo. Esses componentes foram misturados em uma proveta graduada. Os tubos foram aquecidos em banho-maria, até que o líquido se tornasse escuro. Foi adicionado aproximadamente 5 ml de ácido acético glacial em cada tubo, para cessar a ação da acetólise. M, C, D. As amostras foram lavadas com 8 ml de ácido acético glacial.

Etapas do processamento químico



3.1.3- Análise qualitativa dos palinomorfos

Os palinomorfos foram identificados de acordo com a ornamentação e espessura da parede celular e com o número, tipo, posição e forma das aberturas (Punt *et al.*, 2007). Para as dimensões e formato dos grãos foi empregado o método proposto por Erdtman (1952) e Salgado-Labouriau (1973). Para a identificação dos esporos de monilófitas e briófitas e dos grãos de pólen foi consultada a palinoteca de referência do Laboratório de Palinologia do Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa (CPMTC), IGC-UFMG, além de literatura especializada (*e.g.* Salgado-Labouriau, 1973; Tryon & Tryon, 1982; Barth & Melhem, 1988; Colinvaux *et al.*, 1999; Lorente, 2010; Cassino & Meyer, 2013; Bauermann *et al.*, 2003).

3.1.4- Análise quantitativa dos palinomorfos

A identificação e a contagem dos palinomorfos foram feitas em um microscópio óptico ZEISS AXIO IMAGERM2. A análise quantitativa foi feita através da contagem de pelo menos 300 grãos de pólen de gimnospermas e angiospermas por amostra (Ybert *et al.* 1992), os esporos do marcador exótico, *Lycopodium clavatum*, e os demais palinomorfos foram contados separadamente. Os dados foram apresentados em forma de diagramas gerados no Programa *Tilia*, *Tilia Graph*, que descrevem a porcentagem e a concentração de grãos identificados taxonomicamente, e de diagramas de agrupamento obtidos através do *Coniss* (Grimm, 1987)

3.1.5- Datação ^{14}C

As datações ^{14}C foram feitas em 12 amostras sedimentares “*in natura*” dos testemunhos da Vereda Carrasco da Raposa VCR05, VCR07, VCR13, VCR18 e VCR23 e da Vereda da Água Fria VAF03, VAF09, VAF18, VAF22, VAF25, VAF33 e VAF40; pela técnica AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*) no *Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory*, Miami, EUA. A profundidade das amostras datadas, as idades ^{14}C convencionais obtidas, os intervalos de calibração e as idades médias calibradas (para a Vereda Carrasco da Raposa) fornecidas pelo programa *Calib 7.0.2* (Stuiver & Reimer, 1993).

3.1.6- Análise Isotópica

Um total de 106 amostras sedimentares das Veredas Carrasco da Raposa e Água Fria foram coletadas a cada 2 - 4 cm e preparadas no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, com

determinação em Espectrômetro de Massa acoplado a um Analisador Elementar ANCA-SL, Europa *Scientific*. Para tanto, as amostras foram secas em estufa a 40°C, homogeneizadas em almofariz de ágata e pesadas em cápsulas de estanho (~1 mg para $\delta^{13}\text{C}$ e ~5 mg para $\delta^{15}\text{N}$) de acordo com o método descrito por Pessenda *et al.* (1996). Os valores de Carbono Orgânico Total - COT (%) e Nitrogênio-total - NT (%) juntamente com os valores de C/N, $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰).

CAPÍTULO IV

4.1- RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados, em forma de 2 manuscritos, das análises palinológica e isotópica de C e N combinados à geologia, clima e vegetação locais com modelos paleoambientais para a região do PESC contextualizados a trabalhos anteriores em localidades próximas ou com ocorrência do Bioma Cerrado.

4.1.1 Artigo I

“Reconstituição paleoambiental da Vereda Carrasco da Raposa, Parque Estadual da Serra do Cabral, MG, Brasil, por meio de estudos palinológico e isotópico”

Periódico: Revista Pesquisas em Geociências (Publicado).

Reconstituição paleoambiental da Vereda Carrasco da Raposa, Parque Estadual da Serra do Cabral, MG, Brasil, por meio de estudos palinológico e isotópico

Em memória de Karin Elise Bohns Meyer (1967-2016)

Makênia Oliveira Soares GOMES¹, Karin Elise Bohns MEYER² & Luiz Carlos Ruiz PESSENDA³

¹ Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antonio Carlos, 6627, CEP 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil (makenia@ymail.com).

² Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa/Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

³ Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Av. Centenário, nº 303, Caixa Postal 9613400-970, Piracicaba, SP, Brasil (pessenda@cena.usp.br).

Recebido em 06/2015. Aceito para publicação em 11/2016.

Versão online publicada em 08/05/2017 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - A análise palinológica e de isótopos estáveis (C e N) dos sedimentos da Vereda Carrasco da Raposa (VCR) permitiu a reconstituição paleoambiental dos últimos 21.000 anos AP na região do Parque Estadual da Serra do Cabral (PESC), MG, Brasil. Os resultados mostraram que durante a influência do Último Máximo Glacial, entre 21.150 e 18.850 anos cal. AP, as condições climáticas na Serra do Cabral eram mais frias e com menor umidade do que as atuais; entre 18.850 e 3.550 anos cal. AP o clima passou a ser mais quente e com maior umidade; a partir de 1.650 anos cal. AP houve o estabelecimento da vereda, em condições semelhantes e/ou comparáveis às atuais. Quanto às mudanças fitofisionômicas, foi observada uma sucessão da vegetação com predomínio de Formações Campestres do Cerrado associadas a traços de Formações Florestais na base, Campo Sujo Úmido e Campo Rupestre associados a elementos de mata típicos do Cerrado na porção mediana do perfil; em direção ao topo a partir de 1.650 anos cal. AP houve a instalação da vereda, com a ocorrência dos buritis (*Mauritia flexuosa*). Os dados isotópicos de C e N indicaram que entre 21.150 e 6.500 anos cal. AP havia uma provável mistura de plantas C3 e C4 como fonte da matéria orgânica sedimentar, mas com o predomínio de plantas C3, com valores de $\delta^{13}C$ entre $\sim -24\text{‰}$ e $-21,5\text{‰}$. Os valores de C/N (1,5 a 11,5) indicaram o predomínio de fitoplâncton e os valores de $\delta^{15}N$ (3,5‰ a $\sim 1,0\text{‰}$) evidenciaram a mistura de algas e plantas terrestres. Em torno de 3.550 anos cal. AP até o presente a diminuição nos valores de C/N (1,5 a ~ 6) confirmou um ambiente alagado e com maior influência algal na composição da matéria orgânica sedimentar.

Palavras-chave: Palinologia, Isótopos estáveis de C e N, Vereda, Paleoclima, Cerrado.

Abstract - PALEOENVIRONMENTAL RECONSTRUCTION OF THE CARRASCO DA RAPOSA PALM SWAMP, PARQUE ESTADUAL DA SERRA DO CABRAL, MG, BRAZIL, BY MEANS OF PALYNOLOGICAL AND ISOTOPIC STUDIES. Pollen and stable isotopes (C and N) analyses from sediments of Carrasco da Raposa palm swamp (VCR) allowed the paleoenvironmental reconstruction of the last 21,000 years in the region of the Parque Estadual da Serra do Cabral- PESC, MG, Brazil. The results demonstrated that during the influence of Last Glacial Maximum, between 21,150 and 18,850 cal. years BP, the climate conditions in the Serra do Cabral were colder and less humid than in the present; between 1,850 and 3,550 cal. years BP a warmer and wetter climate was recorded; from 1,650 cal. years BP the establishment of the palm swamp occurred in the studied area. Concerning the phytophysionomic changes, a succession of vegetation with a predominance of grassland formations was observed: "Campo Limpo" associated with forest formations at the base, "Campo Sujo" and "Campo Rupestre" associated with Cerrado forest formations in the middle, and the installation of the palm swamp with the presence of *Mauritia flexuosa* trees towards the top. The isotopic data (C and N) indicated that between 21,150 and 6,500 cal. years BP, there was a probable mixture of C3 and C4 plants as sedimentary organic matter source, but with the predominance of C3 plants, with $\delta^{13}C$ values of $\sim -24\text{‰}$ to -21.5‰ . Values of C/N (1.5 to 11.5) suggested the predominance of phytoplankton and the $\delta^{15}N$ values (3.5‰ to $\sim 1.0\text{‰}$) evidenced the mixture of algae and land plants. Around 3,550 cal. years BP to the present, there has been a decrease in the values of C/N (1.5 to ~ 6), confirming a flooded environment with greater influence of algae in the sedimentary organic matter.

Keywords: Palynology, stable C and N isotopes, Palm Swamp, Paleoclimate, Cerrado.

1 Introdução

Estudos palinológicos constituem uma importante ferramenta para interpretações das modificações climáticas e paisagens pretéritas. As análises palinológicas em sedimentos quaternários fornecem valiosas informações sobre a migração das plantas, a composição da vegetação, as mudanças climáticas e consequentes mudanças no ecossistema (Salgado-Labouriau, 1994). É possível reconstruir o tipo de vegetação do passado de uma determinada região a partir do estabelecimento de relações entre os grãos de pólen e esporos e as respectivas plantas as quais eles pertenceram. Portanto uma das mais importantes aplicações da palinologia no Quaternário consiste em estudar a sucessão da vegetação e observar o seu comportamento frente às mudanças climáticas (Salgado-Labouriau, *op. cit.*).

Neste contexto os trabalhos prévios em palinologia do Cerrado (*e.g.* Absy *et al.*, 1991; De Oliveira, 1992; Ledru, 1993; Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 1996; Barberi *et al.*, 2000) oferecem um panorama paleoclimático desde aproximadamente 50.000 anos AP, onde a maior influência das temperaturas mais baixas do Último Máximo Glacial (UMG) sobre os ecossistemas do Planeta se deu no intervalo de tempo em torno de 18.000 a 13.000 anos AP. Na região tropical a temperatura média durante o UMG foi aproximadamente 5°C mais baixa que a temperatura média atual (Stute *et al.*, 1995). De acordo com Ab'Saber (1971), no Brasil, o UMG está relacionado a condições climáticas mais secas do que as atuais, decorrentes do declínio do índice de precipitação e da retenção das águas dos oceanos nos pólos Norte e Sul. Já nos períodos interglaciais, houve aumento da umidade, típica do clima tropical atual.

Segundo Pessenda *et al.* (2004), a análise palinológica quando associada à técnica isotópica e a datação ^{14}C da matéria orgânica do solo é amplamente empregada para a reconstituição da paleovegetação. Apesar disso, existem poucos estudos que utilizam tal associação para interpretação das variações paleovegetacionais, paleoclimáticas e paleoambientais no bioma Cerrado durante o Quaternário (*e.g.* Horák, 2009; Souza *et al.*, 2013).

A aplicação dos isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) é baseada na diferença de sinal isotópico das plantas do grupo fotossintético C3 e C4. Plantas C3 compreendem cerca de 85% das espécies de plantas e consistem de vegetação arbórea e algumas gramíneas que se desenvolvem em regiões úmidas. Elas possuem valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -32‰ a -22‰, com uma média de -27‰. Já as plan-

tas C4 compreendem apenas 5% das espécies de plantas e são compostas pelas gramíneas que tendem a se desenvolver em ambientes de elevadas temperaturas e luminosidade, com predomínio nas áreas de cerrados e pastagens, ou seja, regiões mais secas. Os valores $\delta^{13}\text{C}$ de plantas C4 variam de -16‰ a -9‰ com a média de -13‰ (O'Leary, 1988; Boutton, 1996).

A razão entre os valores elementares do carbono e nitrogênio é utilizada para auxiliar na discriminação de ambas as fontes, já que o carbono está presente em abundância na composição da lignina e celulose das plantas terrestres e o nitrogênio nas proteínas e ácidos nucléicos das algas. Plantas vasculares possuem valores da razão C/N em torno de 20 ou mesmo maiores, devido ao alto conteúdo de celulose e lignina, enquanto a matéria-orgânica originada de fitoplâncton apresenta valores menores, entre 4 e 10 (Meyers, 1994).

A fim de permitir o entendimento dos dados obtidos destes métodos analíticos na interpretação paleoambiental e paleoclimática do Quaternário no contexto do Cerrado de Minas Gerais, este trabalho apresenta os resultados do estudo palinológico, das análises dos isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) e razão elementar de C e N (C/N) obtidos dos sedimentos da Vereda do Carrasco da Raposa, cuja deposição se deu nos últimos 21.150 anos cal. AP, influenciada pelas variações paleoclimáticas desde o UMG.

2 Área, materiais e métodos

2.1 Área de estudo

A Vereda Carrasco da Raposa está localizada na área do Parque Estadual da Serra do Cabral - PESC, (17°40'S, 44°11'W), entre os municípios de Buenópolis e Joaquim Felício - MG, região centro-norte do estado de Minas Gerais. O acesso a partir de Belo Horizonte é feito pela BR-040, sentido Sete Lagoas, até a cidade de Corinto, posteriormente pela BR-135 sentido Montes Claros por mais 117 km até Buenópolis. Joaquim Felício dista 13 km ao norte de Buenópolis.

2.1.1 Aspectos geológicos

A Serra do Cabral está inserida no contexto da evolução geológica regional da Serra do Espinhaço (Fig. 1). Com altitudes que variam entre 900 e 1300 m, a Serra é um divisor de águas entre os rios das Velhas e Jequitaí, ambos afluentes da margem direita do rio São Francisco (Uhlein, 1991).

A Serra do Cabral em Minas Gerais corres-

ponde a uma grande estrutura braquianticlinal que expõe, no interior do Cráton do São Francisco, os metassedimentos proterozoicos do Supergrupo Espinhaço. À leste da Serra do Cabral ocorre uma depressão sinformal dominada por metassedimentos do Supergrupo São Francisco, em especial o Grupo Bambuí, que recebe o nome de Sinclinal de Buenópolis (Viveiros & Walde, 1976; Walde, 1978; Uhlein, 1991; Souza Filho & El-Robrini, 1995).

A região da Serra do Cabral propriamente dita e a região adjacente, o Sinclinal de Buenópolis, representam uma área de exposição de metassedimentos proterozoicos, representados pelo Supergrupo Espinhaço e pelo Supergrupo São Francisco (Fig. 1). Existem na região afloramentos bem preservados da erosão e com baixa taxa de deformação, por ocorrerem em área cratônica (Uhlein *et al.*, 1995).

O relevo da Serra é formado de chapadas quartzíticas na cota de 900 a 1.000 m, resultante da estrutura braquianticlinal combinada com denudação diferencial entre os quartzitos (ou meta-arenitos) do Supergrupo Espinhaço e os metapelitos (principalmente metassiltitos) do Grupo Bambuí, em cotas de 500 a 600 m. Dentro da Serra existe um relevo irregular, onde alguns picos podem atingir até 1.500 m de altitude. Este relevo íngreme dentro da Serra permitiu o desenvolvimento de coberturas cenozoicas, de composição arenosa, às vezes conglomeráticas, representadas por colúvios, elúvios e depósitos aluvionares. Localmente desenvolvem-se também coberturas areno-pelíticas ricas em matéria orgânica, de origem lacustre ou fluvial denominadas veredas (Lopes, 2012).

Na Serra do Cabral, o Supergrupo Espinhaço inicia-se com os meta-arenitos da Formação Galho do Miguel, geralmente finos e bem selecionados, com mega-estratificações cruzadas, de ambiente eólico. Para o topo, ocorrem metapelitos da Formação Santa Rita, de ambiente marinho plataformar e os meta-arenitos da Formação Córrego dos Borges, de ambiente litorâneo, que marcam um ciclo transgressivo importante na sedimentação proterozoica. Sobre estes metassedimentos do Supergrupo Espinhaço, em discordância angular, ocorrem metadiamictonitos de origem glacial da Formação Jequitá que marcam uma profunda mudança paleogeográfica e representam a base do Supergrupo São Francisco (Neoproterozoico). Para o topo ocorrem os metassiltitos, calcários e arenitos do Grupo Bambuí. A unidade de topo do Grupo Bambuí, a Formação Três Marias, aflora no núcleo do Sinclinal de Buenópolis, constituída por arenitos de ambiente fluvial (Lopes, 2012).

Os sedimentos siltico-argilosos a arenosos finos da Vereda Carrasco da Raposa estão assentados sobre os quartzitos, metargilitos e metassiltitos do Supergrupo Espinhaço, distribuídos entre os grupos Conselheiro Mata e Diamantina (Fig. 1).

2.1.2 Clima e vegetação

O estado de Minas Gerais é influenciado durante todo o ano pela circulação do anticiclone subtropical do Atlântico Sul caracterizado por ventos predominantemente do quadrante nordeste-leste, nos baixos níveis da troposfera. O clima da região da Serra do Cabral é quente, úmido, chuvoso a sudoeste da região e moderadamente chuvoso a nordeste, com precipitação média anual entre 1.000 e 1.500 mm (Geominas, 1996a). As chuvas se concentram nos meses de novembro a março, que constituem a estação chuvosa, enquanto de abril a outubro, na estação seca, são muito escassas. As temperaturas médias anuais variam entre 22 e 24°C (Geominas, 1996b) e, segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw (Cwa) (EMBRAPA, 2008).

Situado na região centro-norte do estado de Minas Gerais, o PESC, tem uma cobertura vegetal do tipo Cerrado. É possível identificar principalmente cinco fitofisionomias desde bioma: Campo Rupestre, Cerrado sentido restrito, Formações Campestres do Cerrado e Campo Sujo, Formações Florestais - Matas e Veredas (IEF, 2009).

O Campo Rupestre ocupa aproximadamente 35,27% da vegetação do PESC (IEF, 2009). Segundo Ribeiro & Walter (2008) é um tipo de vegetação predominantemente herbáceo-arbustiva, com a presença eventual de arvoretas pouco desenvolvidas de até 2 m de altura. Na Serra do Cabral, o Campo Rupestre encontra-se formado por um mosaico de vegetações, geralmente acima dos 1.000 m em áreas onde há ventos constantes e variações extremas de temperatura, com dias quentes e noites frias, e no qual o substrato é composto por rochas quartzíticas e solos arenosos. Algumas das espécies mais frequentes pertencem às seguintes famílias e gêneros: Asteraceae (*Baccharis*, *Calea*, *Lychnophora*, *Wunderlichia* e *Vernonia*), Bromeliaceae (*Dyckia*, *Tillandsia*), Cactaceae (*Melocactus*, *Pilosocereus*), Cyperaceae (*Bulbostylis*, *Rhynchospora*), Eriocaulaceae (*Eriocaulon*, *Leiothrix*, *Paepalanthus*, *Syngonanthus*), Gentianaceae (*Curtia*, *Irlbachia*), Iridaceae (*Sisyrinchium*, *Trimezia*), Labiatae (*Eriope*, *Hyptis*), Leguminosae (*Calliandra*, *Chamaecrista*, *Galactia*, *Mimosa*), Lentibulariaceae (*Genlisea*, *Utricularia*), Lythraceae (*Cuphea*, *Diplusodon*), Melastomataceae (*Cambessedesia*, *Mico-*

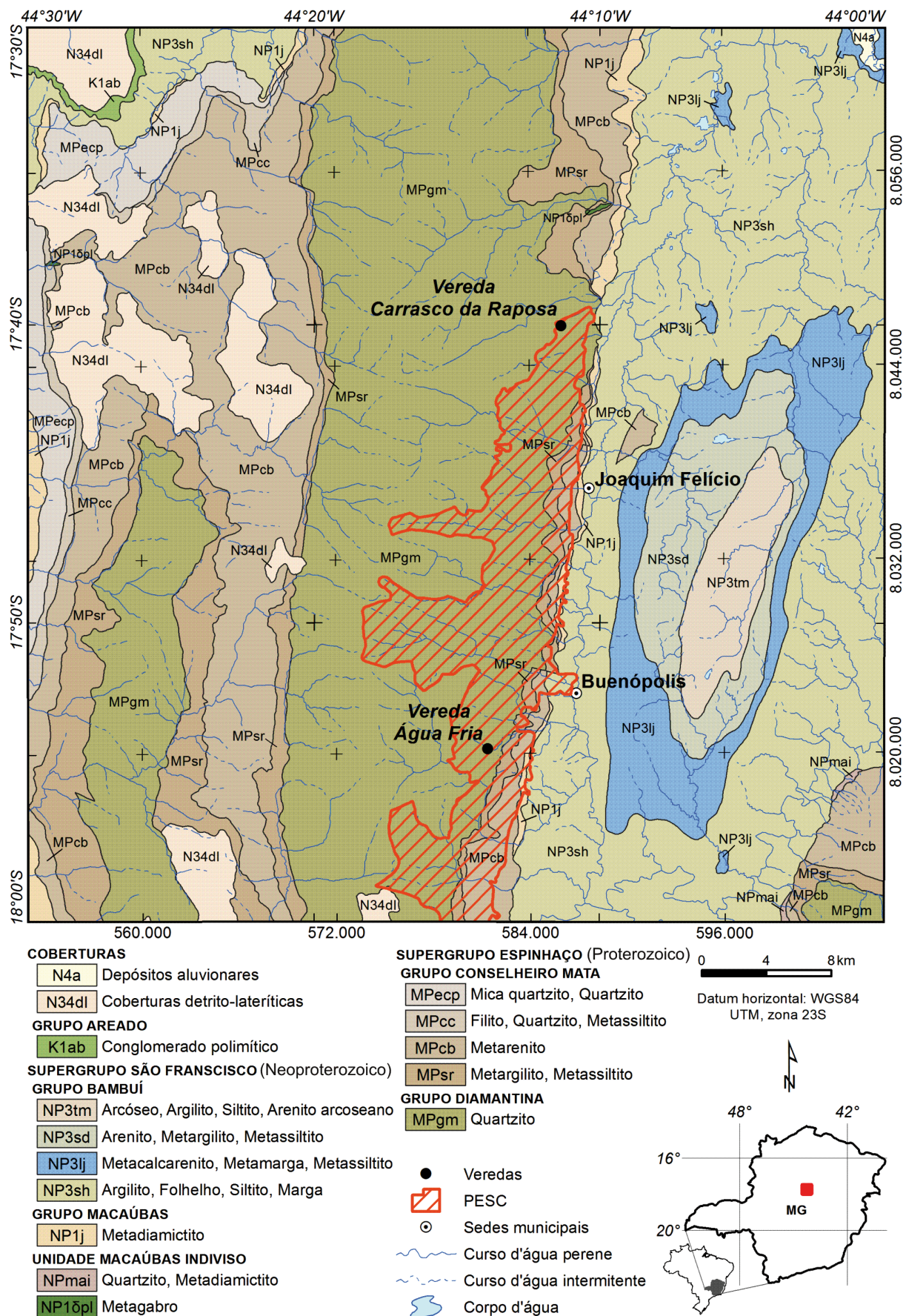


Figura 1. Mapa geológico com a localização da Vereda Carrasco da Raposa e limites do PESC (modificado de Lopes, 2012).
Figure 1. Geological Map of Serra do Cabral with the location of Carrasco da Raposa palm swamp and limits of PESC (modified from Lopes, 2012).

nia, *Microlicia*), Myrtaceae (*Myrcia*), Orchidaceae (*Cleistes*, *Cyrtopodium*, *Epidendrum*, *Habenaria*, *Koellensteinia*, *Pelexia*), Poaceae (*Aristida*, *Axonopus*, *Panicum*, *Mesosetum*, *Paspalum*, *Trachypogon*), Rubiaceae (*Chiococca*, *Declieuxia*), Velloziaceae (*Barbacenia*, *Vellozia*), Vochysiaceae (*Qualea*) e Xyridaceae (*Xyris*).

O Cerrado sentido restrito ocupa a segunda maior extensão do PESC, 25,15% e, dentre suas principais características, está a presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, geralmente com evidências de queimadas (IEF, 2009). Os arbustos e subarbustos encontram-se espalhados, com algumas espécies que apresentam órgãos subterrâneos perenes, que permitem a rebrota após queima ou corte. Na Serra do Cabral são encontradas as seguintes espécies arbóreas típicas desta fitofisionomia: *Acosmium dasycarpum*, *Annona coriacea*, *Aspidosperma tomentosum*, *Astronium fraxinifolium*, *Brosimum gaudichaudii*, *Bowdichia virgilioides*, *Byrsonima coccolobifolia*, *Byrsonima crassa*, *Byrsonima verbascifolia*, *Caryocar brasilienses*, *Casearia sylvestris*, *Connarus suberosus*, *Curatella americana*, *Davilla elliptica*, *Dimorphandra mollis*, *Diospyros hispida*, *Eriotheca gracilipes*, *Erythroxylum suberosum*, *Hancornia speciosa*, *Himatanthus obovatus*, *Hymenaea stigonocarpa*, *Kielmeyera coriacea*, *Lafoensia pacari*, *Machaerium acutifolium*, *Ouratea hexasperma*, *Pouteria ramiflora*, *Plathymenia reticulata*, *Qualea grandiflora*, *Qualea multiflora*, *Qualea parviflora*, *Roupala montana*, *Salvertia convallariaeodora*, *Sclerolobium aureum*, *Tabebuia aurea*, *Tabebuia ochracea*, *Tocoyena formosa*, *Vatairea macrocarpa* e *Xylopia aromatica* (Ribeiro & Walter, 2008).

Algumas espécies arbustivas e subarbustivas do Cerrado sentido restrito frequentes na região são: *Anacardium humile*, *Annona monticola*, *Annona tomentosa*, *Byrsonima basiloba*, *Campomanesia pubescens*, *Cissampelos ovalifolia*, *Cochlospermum regium*, *Duguetia furfuracea*, *Eremanthus glomerulatus*, *Erythroxylum tortuosum*, *Esenbeckia pumila*, *Jararanda decurrens*, *Kielmeyera rubriflora*, *Maprounea guianensis*, *Palicourea rigida*, *Parinari obtusifolia*, *Protium ovatum*, *Sabicea brasiliensis* e *Vellozia squamata*. Dentre as espécies de gramíneas: *Axonopus barbigerus*, *Echinolaena inflexa*, *Loudetiopsis chrysotrix*, *Mesosetum loliiforme*, *Paspalum*, *Schizachirium tenerum* e *Trachypogon*; além de algumas espécies de orquídeas e bromélias terrestres dos gêneros *Cyrtopodium* e *Habenaria*, *Bromelia* e *Dyckia* (Ribeiro & Walter, 2008).

Segundo levantamento florístico realizado pelo IEF (2009), as Formações Campestres do

PESC representam 20,2% da vegetação total e abrangem diversas variações de campos alagados ou brejosos. O Campo Sujo é um tipo fisionômico exclusivamente arbustivo-herbáceo, com arbustos e subarbustos esparsos cujas plantas são menos desenvolvidas que as árvores do Cerrado sentido restrito. Este tipo de vegetação é encontrado em solos rasos, eventualmente com pequenos afloramentos rochosos de pouca extensão (sem caracterizar um Campo Rupestre), ou ainda em solos profundos e de baixa fertilidade (állicos ou distróficos). Em função de particularidades ambientais, o Campo Sujo pode apresentar dois subtipos fisionômicos distintos: Campo Sujo Seco e Campo Sujo Úmido. Na presença do lençol freático profundo, ocorre o Campo Sujo Seco, se o posicionamento do lençol freático é próximo à superfície do solo ocorre o Campo Sujo Úmido.

Segundo Ribeiro & Walter (2008), as famílias comumente encontradas nesta fitofisionomia são: Poaceae, com espécies dos gêneros *Aristida*, *Axonopus*, *Echinolaena*, *Ichnanthus*, *Loudetiopsis*, *Panicum*, *Paspalum*, *Trachypogon* e *Tristachya*; Asteraceae, com *Aspilia*, *Baccharis*, *Calea*, *Chromolaena*, *Vernonia* e *Wedelia* e Cyperaceae, com os gêneros *Bulbostylis* e *Rhyncosphora*. Fazem parte do Campo Sujo Úmido espécies das famílias Leguminosae (*Andira*, *Mimosa*), Lamiaceae (*Hyptis*), Myrtaceae e Rubiaceae, além de várias espécies de outras famílias que se destacam pela floração exuberante na época chuvosa, ou mesmo logo após queimadas, tais como *Alstroemeria*, *Gomphrena officinalis*, *Griffinia*, *Hippeastrum* e *Paepalanthus* (Ribeiro & Walter, 2008).

As Formações Florestais - Matas somam 0,87% e são representadas na Serra do Cabral por meio de Mata Ciliar, Cerradão, e pequenas ilhas de Mata Atlântica (IEF, 2009). Como atuais espécies arbóreas frequentes na região podem ser citadas: *Anadenanthera* spp., *Apeiba tibourbou*, *Aspidosperma* spp., *Casearia* spp., *Cecropia pachystachya*, *Celtis iguanaea*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Inga* spp., *Lonchocarpus cultratus*, *Sterculia striata*, *Tabebuia* spp., *Tapirira guianensis* e *Trema micrantha*, *Protium heptaphyllum*, *Psychotria carthagenensis*, *Schefflera morototoni*, *Styrax camporum*, *Symplocos nitens*, *Tapirira guianensis*, *Virola sebifera*, *Protium eptaphyllum* e *Tapirira guianensis* (Ribeiro & Walter, 2008).

As veredas constituem ambientes deposicionais redutores favoráveis à preservação de grãos de pólen, esporos e outros palinómorfs e na área de estudo representam apenas 0,02% do total da cobertura vegetal. Sua principal característica é a presença da palmeira buriti, *Mauritia flexuosa*, tá-

xon de ocorrência específica deste tipo de fitofisionomia, e constitui um dos principais indicadores de ambientes inundados e condições climáticas tropicais (Fig. 2). Sua ocorrência está condicionada ao afloramento do lençol freático; dessa maneira, as veredas exercem papel fundamental na manutenção do sistema hidrológico (Ab'Saber, 1971). Devido à relação direta com as nascentes, as veredas são consideradas áreas de preservação permanente pelo Código Florestal Brasileiro e pela Lei Estadual (14.309 de 20/06/2002), e apesar dessa importância, as mesmas têm sido progressivamente afetadas e destruídas pelas atividades agrícolas e pastoris (IEF, 2009).

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Análise palinológica

Os sedimentos analisados foram coletados de um testemunho de sondagem obtido na Vereda

Carrasco da Raposa (Fig. 2), por meio de amostragem com um testemunhador do tipo *Russian*, até a profundidade de 100 cm (Fig. 3). A testemunhagem VCR (Vereda Carrasco da Raposa) recuperou integralmente os 100 cm e foi dividida em seis camadas da base para o topo: 100 cm-89 cm, 89 cm-75 cm, 75 cm-51 cm, 51 cm-45 cm, 45 cm-36 cm e 36 cm-00 cm.

O tratamento químico das amostras sedimentares para a extração dos grãos de pólen foi realizado no Laboratório de Palinologia do Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa-CPMTC, Instituto de Geociências da UFMG, de acordo com o método de Faegri & Iversen (1989), com modificações introduzidas por Colinvaux *et al.* (1999). O método consiste na utilização de HF para eliminação de silicatos, HCl para dissolução da matriz carbonática, KOH para eliminação dos ácidos húmicos e acetólise: 9 partes de anidrido acético (CH₃CO)₂O:1 parte de ácido sulfúrico (H₂SO₄).

Cada amostra de 1 cm³ recebeu uma pasti-



Figura 2. Vista geral da Vereda Carrasco da Raposa no PESC, com flechas indicando a ocorrência dos buritis (*Mauritia flexuosa*).
Figure 2. General view of Carrasco da Raposa palm swamp in PESC, with arrows indicating the occurrence of *Mauritia flexuosa* trees.

lha do marcador exótico *Lycopodium clavatum*, com uma concentração média de 18.584 esporos/pastilha (lote 17.7745) para determinação da concentração dos grãos de pólen por cm³ (Stockmar, 1971). As lâminas foram montadas em *Entellan Merck* e depositadas na coleção do Laboratório de Palinologia do CPMTCC, sob a numeração MP-P-0158 a MP-P-0183.

Os palinómorfs foram descritos e identificados de acordo com a ornamentação e espessura da parede celular e com o número, tipo, posição e forma das aberturas. Na descrição das dimensões e da forma dos grãos foi empregado o método proposto por Salgado-Labouriau (1973). Para a identificação dos esporos de pteridófitos e briófitos e dos grãos de pólen, foi consultada a palinoteca de referência do Laboratório de Palinologia do CPMTCC, além de literatura especializada (e.g. Salgado-Labouriau, 1973; Tryon & Tryon, 1982; Barth & Melhem, 1988; Colinvaux *et al.*, 1999; Punt *et al.*, 2007; Lorente, 2010; Cassino, 2011; Bauermann *et al.*, 2013).

A identificação e a contagem dos palinómorfs foram feitas em um microscópio óptico ZEISS, modelo AXIO IMAGERM2. A análise quantitativa foi feita através da contagem de 300 grãos de pólen de gimnospermas e angiospermas por amostra (Ybert *et al.*, 1992); separadamente foram contados os esporos de *Lycopodium clavatum*, marcador exótico. Os dados são apresentados em forma de diagramas de porcentagem e concentração dos diferentes palinómorfs, gerados no Programa *Tilia*, *Tilia Graph* e *CONISS* (Grimm, 1987).

2.2.2 Datação ¹⁴C

As datações ¹⁴C foram feitas em cinco amostras sedimentares (VCR23, VCR18, VCR13, VCR07 e VCR05) “*in natura*” do testemunho VCR, pela técnica AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*) no *Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory*, Miami, EUA. A profundidade das amostras datadas, as idades ¹⁴C convencionais obtidas, os intervalos de calibração e as idades médias calibradas fornecidas pelo programa *Calib 7.0.2* (Stuiver & Reimer, 1993) são mostrados na tabela 1, assim como uma estimativa das taxas de sedimentação ao longo do perfil.

Através dos resultados obtidos pelas análises citadas acima, foi observada uma variação na dinâmica deposicional da vereda ao longo do tempo. Os primeiros 59 cm de sedimento da base até a porção mediana do testemunho foram depositados em cerca de 14.650 anos, enquanto os 41 cm até o topo foram depositados em aproximadamen-

te 6.500 anos. Isto indica taxas de sedimentação variáveis, as quais foram de 0,27 cm/100 anos da base até a porção mediana e 0,66 cm/100 anos em direção ao topo.

2.2.3 Análise isotópica

Um total de 26 amostras sedimentares coletadas a cada 4 cm foram preparadas no Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP), com determinação em Espectrômetro de Massa acoplado a um Analisador Elementar ANCA-SL, *Europa Scientific*. Para tanto, as amostras foram secas em estufa a 40°C, homogeneizadas em almofariz de ágata e pesadas em cápsulas de estanho (~1 mg para δ¹³C e ~5 mg para δ¹⁵N) de acordo com o método descrito por Pessenda *et al.* (1996). Os teores de Carbono Orgânico Total - COT (%) e Nitrogênio-total - NT (%) juntamente com os valores de C/N, δ¹³C (‰) e δ¹⁵N (‰) são apresentados na figura 9.

3 Resultados

3.1 Perfil sedimentar

A testemunhagem VCR recuperou integralmente os 100 cm perfurados com o predomínio de intercalações de sedimentos siltico-argilosos a arenosos finos (Fig. 3). A sequência sedimentar foi dividida em seis camadas assim designadas da base para o topo: camada argilo-arenosa de coloração cinza-clara (100 cm-89 cm), camada siltico-argilosa de coloração preta (89 cm-75 cm), camada argilo-arenosa de coloração cinza-escura (75 cm-51 cm), camada siltico-argilosa de coloração preta (51 cm-45 cm), camada argilo-arenosa de coloração cinza-clara (45 cm-36 cm) e no topo da sequência sedimentar uma camada siltico-argilosa de coloração preta (36 cm-00 cm).

3.2 Datação ¹⁴C

Os dados obtidos a partir das datações convencionais e idades calibradas (Tabela 1) revelaram uma variação na dinâmica deposicional da vereda ao longo do tempo. Enquanto os 42 cm mais profundos (90 cm a 48 cm) foram depositados em cerca de 14.650 anos cal. AP, os 32 cm da porção mediana do testemunho até o topo, foram depositados em aproximadamente 4.850 anos cal. AP. Na porção basal do testemunho (100 cm-89 cm), uma camada argilo-arenosa de coloração cinza-clara foi desprezada por não apresentar material adequado

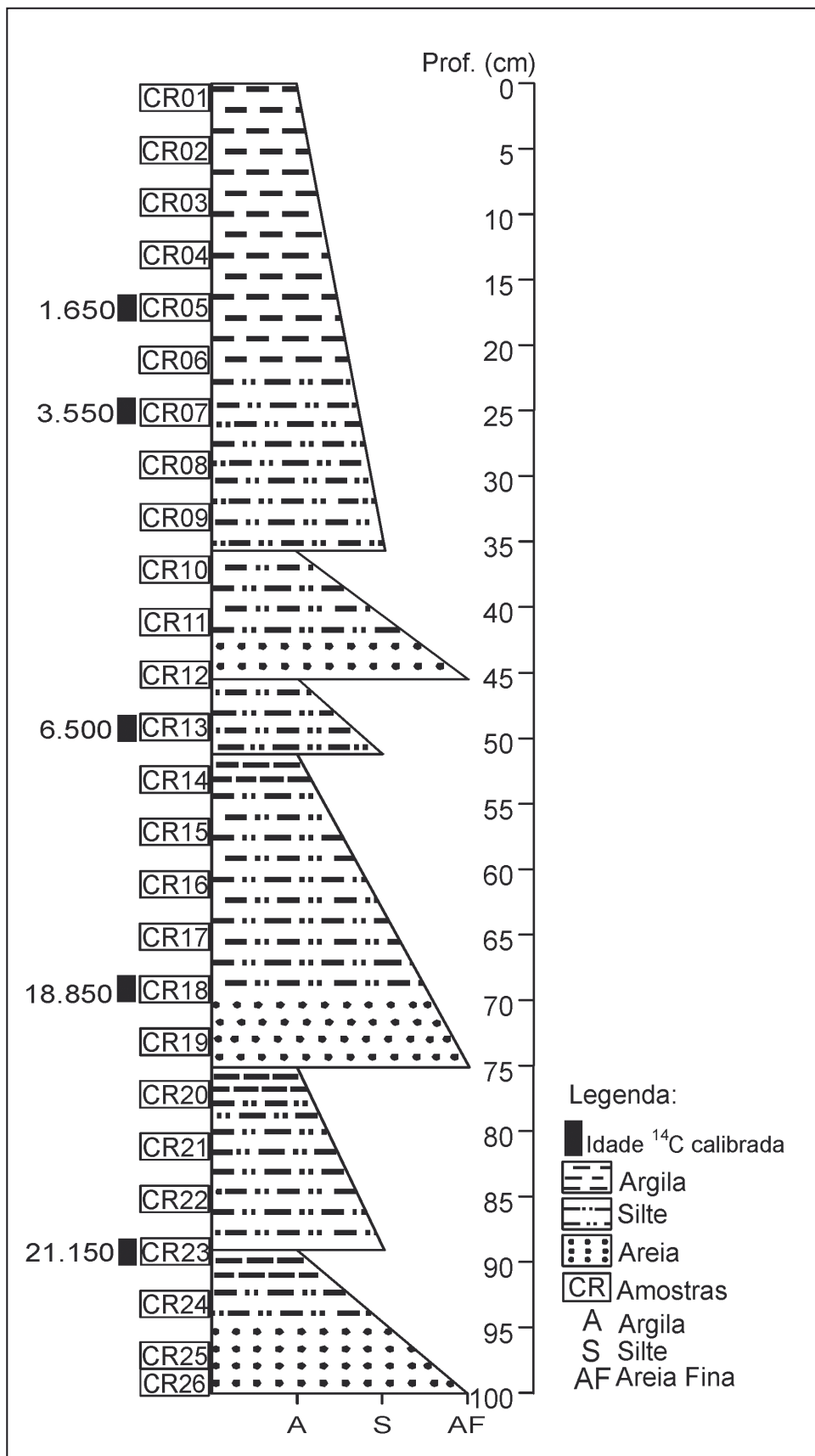


Figura 3. Perfil sedimentar da Vereda Carrasco da Raposa, com a profundidade das 26 amostras, utilizadas na análise palinológica (*amostras datadas por 14C e calibradas no Calib 7.0.2, Stuiver & Reimer, 1993).

Figure 3. Sedimentary profile of Carrasco da Raposa palm swamp, with depth of 26 samples used in pollen analysis (*samples dated by 14C and calibrated in Calib 7.0.2, Stuiver & Reimer, 1993)

às análises polínica e isotópica.

3.3 Análise palinológica

Três intervalos polínicos foram estabelecidos a partir da análise de agrupamento obtida com o programa *Coniss* (Grimm, 1987): Intervalo VCRI, Intervalo VCRII e Intervalo VCRIII (Figs. 4 a 6).

A interpretação do significado paleoambiental e paleoclimático destes intervalos foi feita com base na variação da frequência dos palinóforos em conjunto com os dados obtidos na análise isotópica. Os táxons foram identificados (Apêndice 1) e agrupados de acordo com a fitofisionomia a qual pertencem atualmente (Fig. 7 e 8). A associação das diferentes espécies encontradas na Vereda Carrasco da Raposa à determinada fitofisionomia, seguiu principalmente o trabalho de Ribeiro & Walter (2008).

A seguir são apresentadas as principais características dos conjuntos polínicos em cada um dos intervalos.

3.3.1 Intervalo VCRI (100 - 72 cm, amostras VCR26 a VCR19, de 21.150 a 18.850 anos cal. AP)

A flora herbácea-arbustiva neste intervalo apresentou elevado percentual, representada por Poaceae (51%) e Cyperaceae (26%). Em menores porcentagens foram identificados: Tipo Baccharis (4%), *Begonia* (2%), *Brosimum gaudichaudii* (1,7 %), Tipo Borreria (1,0 %), Tipo Gomphrena (0,8%), *Solanum* (0,5%), *Richardia* (0,2%), Tipo *Aspilia* (0,2%), Tipo *Vernonia* (0,2%), *Polygala* (0,1%), *Drosera* (0,11%) e *Eryngium* (0,1%). A

soma destes táxons foi de 88% do total do registro polínico no intervalo.

Os elementos arbóreos totalizaram 12%, representados por grãos de pólen de *Roupala* (1,8%), *Podocarpus* (1,8%), *Ilex* (1,7%), Anacardiaceae Tipo 1 (1,2%), *Euplassa* (1%), Tipo Butia (1%), *Cecropia* (0,8%), Ericaceae Tipo 1 (0,4%), Bignoniaceae Tipo 1 (0,4%), *Daphnopsis* (0,4%), Tipo *Eremanthus* (0,3%), *Myrsine* (0,2%), *Schefflera* (0,1%), *Drymis brasiliensis* (0,07%) e Araliaceae Tipo 1 (0,03%).

Foram registrados 1.597 palinóforos pertencentes a pteridófitos, algas e fungos que não foram incluídos na contagem polínica para a reconstituição paleovegetacional. No entanto estão aqui citados com o objetivo de complementar as informações paleoambientais.

Dentre os pteridófitos o gênero *Blechnum* foi predominante, *Schizae*, *Lycopodiella cernua*, *Lycopodiella alopecuroides*, *Cyathea* Tipo 1, *Pteris* e *Polypodium* foram identificados em menores concentrações. As algas foram representadas principalmente por *Spyrogira* e *Debarya* com maior representatividade, seguidas por *Mougeotia* e *Zygnema*.

3.3.2 Intervalo VCRII (72 - 26 cm, amostras VCR19 a VCR07, de 18.850 a 3.550 anos cal. AP)

Neste intervalo a alta porcentagem de Cyperaceae e Poaceae (63%) se repetiu. Permaneceram no registro dos elementos herbáceos, Tipo Baccharis (4%), Tipo Borreria (3,5%), *Solanum* (1,5%), Tipo Gomphrena (1,1%), *Brosimum gaudichaudii* (0,7 %), *Richardia* (0,4%) e *Eryngium* (0,1%). Fo-

Tabela 1. Amostras datadas, profundidade das amostras, código do laboratório, idades ^{14}C convencionais, intervalos de calibração das idades ^{14}C , idades médias calibradas e estimativa das taxas de sedimentação.

Table 1. Dated samples, depth of samples, laboratory code, conventional ^{14}C ages, calibration intervals of ^{14}C ages, average calibrated ages and sedimentation rates estimate.

Amostras	Profundidade (cm)	Código/Laboratório	Idade ^{14}C convencional (anos AP)	Idade calibrada 2σ (95% probabilidade) Intervalos (anos cal. AP)	Idade média (^{14}C)	Taxa de Sedimentação
VCR05	17 cm	Beta 388510	1.770 ± 30	[1.606 - 1.744]	1.650	Entre CR13 e CR05: 0,66 cm/100 anos
VCR07	25 cm	Beta 432596	3.340 ± 30	[3.450 - 3.590]	3.550	
VCR13	49 cm	Beta 388511	5.710 ± 30	[6.410 - 6.567]	6.500	Entre CR23 e CR13: 0,27 cm/100 anos
VCR18	69 cm	Beta 432597	15.650 ± 60	[18.755 - 18.945]	18.850	
VCR23	89 cm	Beta 359715	17.520 ± 70	[20.907 - 21.425]	21.150	

ram observados os primeiros registros de *Peperomia* (1,5%), Tipo Senecio (0,9%), Euphorbiaceae Tipo 1 (0,8%), *Hedyosmum* (0,7%), *Sapium* (0,4%), Tipo Aspilia (0,4%), *Drosera* (0,2%), *Hydrocotyle* (0,2%), *Mimosa* (0,2%), *Maprounea* (0,2%), Apocynaceae Tipo 1 (0,2%), *Begonia* (0,1%), Tipo *Trixis* (0,1%). Com percentuais menores, ocorreram *Alternanthera* (0,07%), *Cuphea* (0,03%) e Tipo Alchornea (0,03%). Como verificado no Intervalo VCR I a vegetação herbáceo-arbustiva continuou sendo a mais representativa, e apresentou um percentual de 80,4%.

A vegetação arbórea mostrou um declínio na porcentagem de *Ilex* sp. (0,8%) e desaparecimento de *Podocarpus* e *Drymis brasiliensis*. Em contrapartida, foi registrado um aumento considerável no percentual do gênero *Roupala* (de 1,85% para 7%), não houve alteração para o gênero *Myrsine* (0,2%). Ainda dentre as espécies arbóreas, foi registrado aumento nos percentuais dos gêneros: *Euplassa* (2,0%), *Daphnopsis* (1,0%), *Cecropia* (0,9%), Tipo *Eremanthus* (0,7%), Anacardiaceae Tipo 1 (0,7%), Tipo *Butia* (0,7%), Araliaceae Tipo 1 (0,5%) Ericaceae Tipo 1 (0,6%) e Fabaceae Tipo 1 (0,4%). Surgiram os táxons *Pseudobombax* (0,4%),

Smilax (0,3%), *Stryphnodendron* (0,03%), Symplocaceae Tipo 1 (0,07%), Tipo *Campomanesia* (0,2%) e Tipo *Senna* (0,07%) com o total de 18,37% da vegetação arbórea para o Intervalo VCR II. Foi possível observar ainda, o registro dos gêneros *Eryngium*, *Hedyosmum*, *Alternanthera* e o Tipo *Gnaphalium* em menores percentuais.

Os pteridófitos foram representados no Intervalo VCR II principalmente pelos esporos de *Lycopodiella cernua*, *Lycopodiella alopecuroides*, *Lycopodiella caroliniana*, *Cyathea* Tipo 1, *Schizae*, *Blechnum* e *Pteris* e totalizaram 372 esporos na contagem complementar.

Dentre as algas foram registrados os mesmos táxons do intervalo anterior *Spyrogira*, *Debarya* e *Mougeotia*, além de *Chlamydomonas*.

3.3.3 Intervalo VCR III (26 - 00 cm, amostras VCR07 a VCR01, de 3.550 anos cal. AP ao presente)

Dentre a flora herbáceo-arbustiva, neste intervalo os percentuais de Poaceae continuaram representativos, porém em declínio (48% a 36%) como já observado no intervalo anterior. Permaneceram semelhantes ao intervalo anterior as porcentagens dos táxons Tipo *Borreria* (3,5%), Tipo *Senecio* (0,8%), Tipo *Eupatorium* (0,4%) e Tipo *Gnaphalium* (0,3%). Houve aumento nos percentuais dos táxons Tipo *Baccharis* (4,7%), *Peperomia* (3,4%), *Solanum* (2%), *Hedyosmum* (1%),

Begonia (0,4%), *Hydrocotyle* (0,4%), *Mimosa* (0,4%), Apocynaceae Tipo 1 (0,3%) e *Alternanthera* (0,1%). Os gêneros *Maprounea* (0,17%), Tipo *Vernonia* (0,5%), Tipo *Alchornea* (0,2%), *Cuphea* (0,2%) e *Polygala* (0,05%), voltaram a ocorrer neste intervalo. Os grãos de pólen típicos de vegetação herbáceo-arbustiva tiveram uma soma em torno de 67%. Dentre os táxons arbóreos foram registrados Bignoniaceae Tipo 1 (0,3%), *Pouteria* (0,2%), *Roupala* (7%), *Euplassa* (6%), Tipo *Butia* (1,2%), *Ilex* (1,1%), *Cecropia* (0,8%), Anacardiaceae Tipo 1 (0,4%), *Daphnopsis* (0,5%), Fabaceae Tipo 1 (0,4%) e Araliaceae Tipo 1 (6%). Os táxons que desapareceram em relação ao intervalo anterior foram *Commiphora*, *Plenckia*, *Protium*, *Stryphnodendron* e Symplocaceae Tipo 1.

Foi registrada a primeira ocorrência de *Mauritia flexuosa* (5%) com considerável aumento nas porcentagens de *Mauritia flexuosa* em direção ao topo (9,6%). Houve o aumento no registro dos táxons *Cecropia*, Anacardiaceae Tipo 1, *Daphnopsis*, Fabaceae Tipo 1, Araliaceae Tipo 1, *Roupala*, Tipo *Eremanthus*, *Mimosa*, *Campomanesia*, *Pseudobombax* e *Eriotheca*.

Os esporos de pteridófitos registrados foram *Lycopodiella cernua*, *Lycopodiella caroliniana*, *Blechnum* e *Cyathea* Tipo 1.

Dentre as algas, continuaram presentes *Spyrogira* e *Mougeotia* e *Chlamydomonas*.

3.4 Análises isotópicas

Os resultados dos teores de COT e NT-t, e valores de C/N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, são apresentados na figura 9. Quando analisados do ponto de vista da caracterização paleoambiental, esses resultados permitem o estabelecimento dos teores de matéria orgânica e do nitrogênio no depósito sedimentar, das variações das condições mais ou menos úmidas do ambiente de sedimentação, identificação de plantas C3 e C4 e misturas, além da origem da matéria orgânica sedimentar em relação às plantas terrestres e/ou fitoplâncton.

Os valores de COT (Fig. 9A) das amostras do testemunho da Vereda Carrasco da Raposa variaram de 0,76% a 12,01%. As amostras VCR26 a VCR24 (100 cm a 93 cm) na base do perfil registraram valores entre 0,76% e 2,27%, as amostras VCR23 a VCR12 (89 cm a 45 cm) valores de 4,32% a 9,82%. Na amostra VCR11 (41 cm) o valor diminuiu e ficou próximo aos valores encontrados na base do testemunho, com 2,23%. A partir da amostra VCR10 (37 cm) houve uma tendência de aumento progressivo nos valores de COT que variaram de 6,48% a 12,01%.

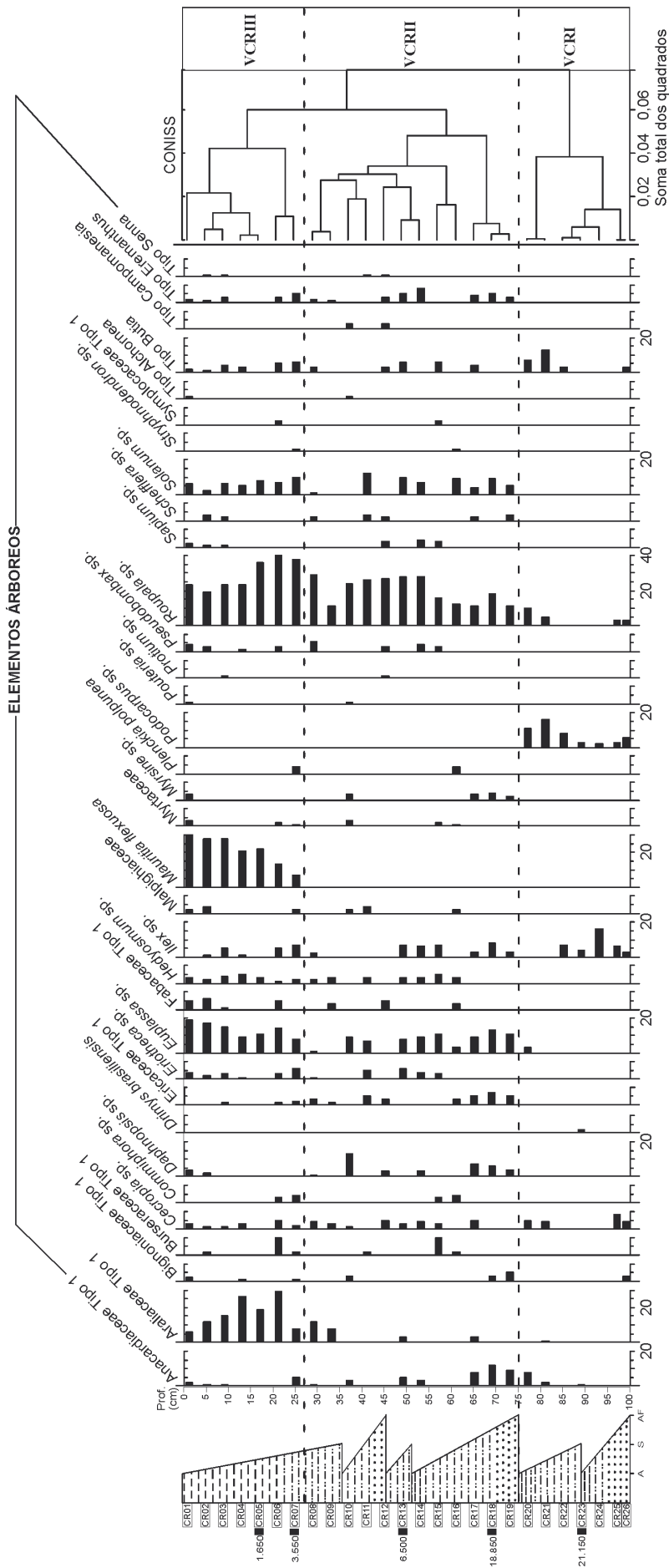


Figura 4. Diagrama de porcentagem dos elementos arbóreos (VCR I, VCR II e VCR III: intervalos polínicos).
 Figure 4. Percentage diagram of arboreal elements (VCR I, VCR II and VCR III: pollen intervals).

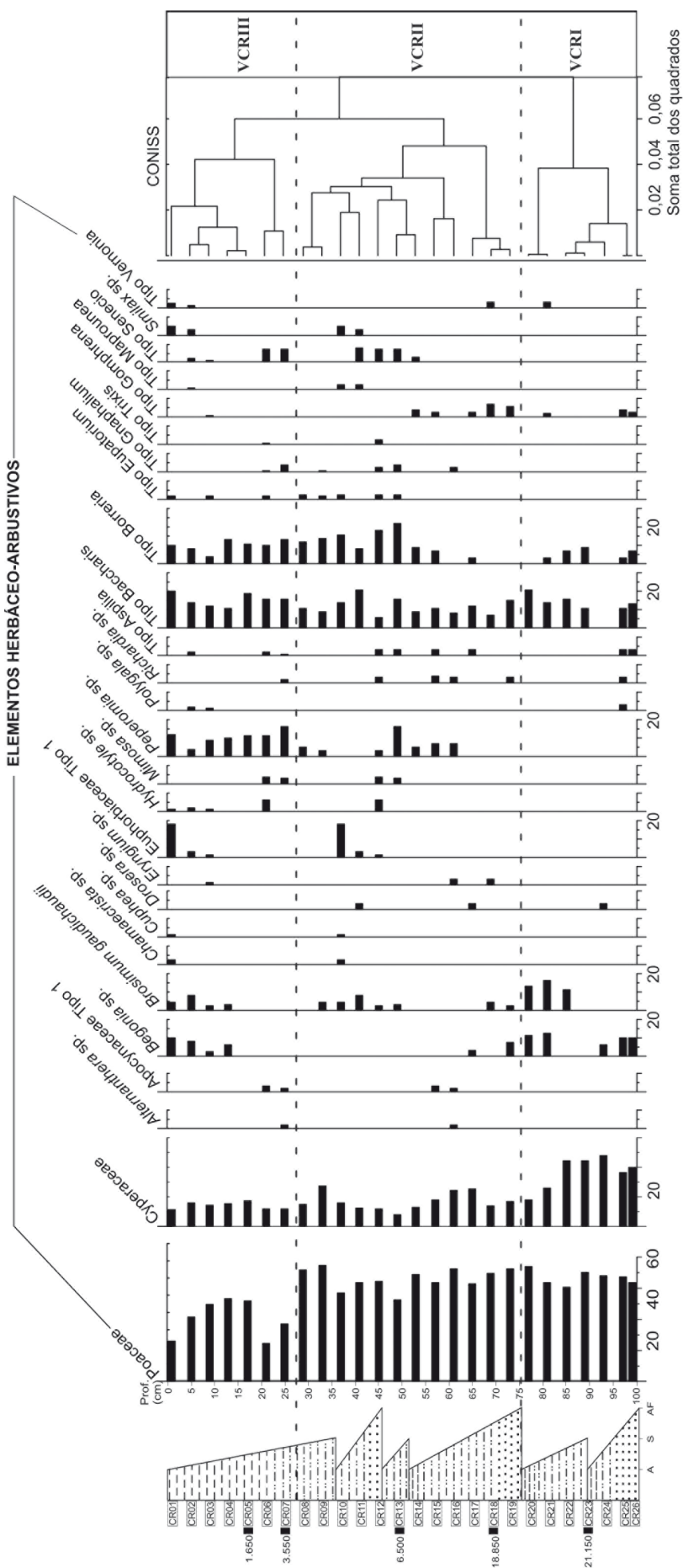


Figura 5. Diagrama de porcentagem dos elementos herbáceo-arbustivos (VCRI, VCRII e VCRIII: intervalos polínicos).
 Figure 5. Percentage diagram of herbaceous-shrub elements (VCRI, VCRII and VCRIII: pollen intervals).

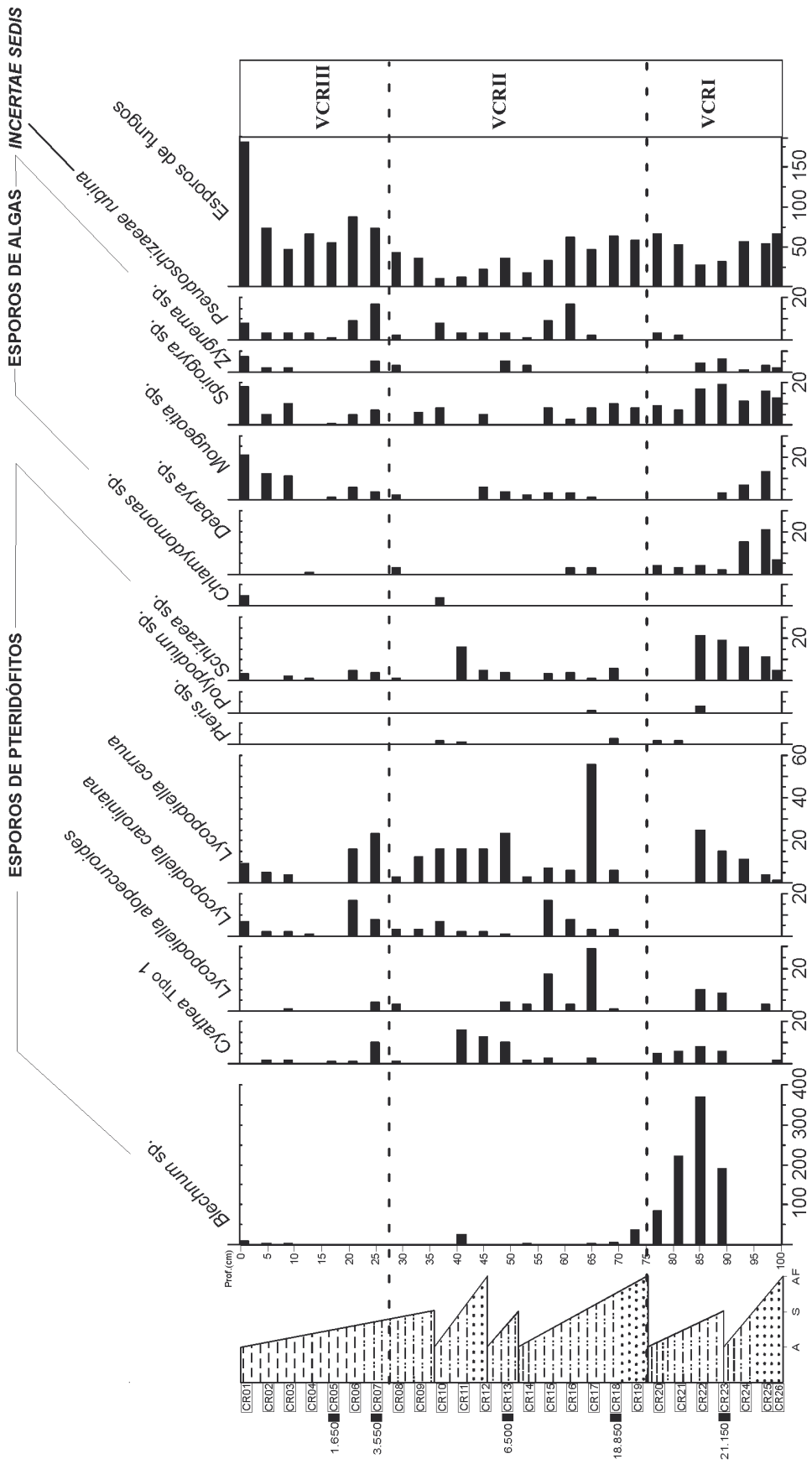


Figura 6. Diagrama de concentração dos Esporos de Pteridófitos, Esporos de Algas, *Incertae Sedis* e Esporos de Fungos (VCRI, VCRII e VCRIII: intervalos polínicos).
 Figure 6. *Concentration diagram of Pteridophyte Spores, Algal Spores, Incertae Sedis and Fungal Spores (VCRI, VCRII and VCRIII: pollen intervals).*

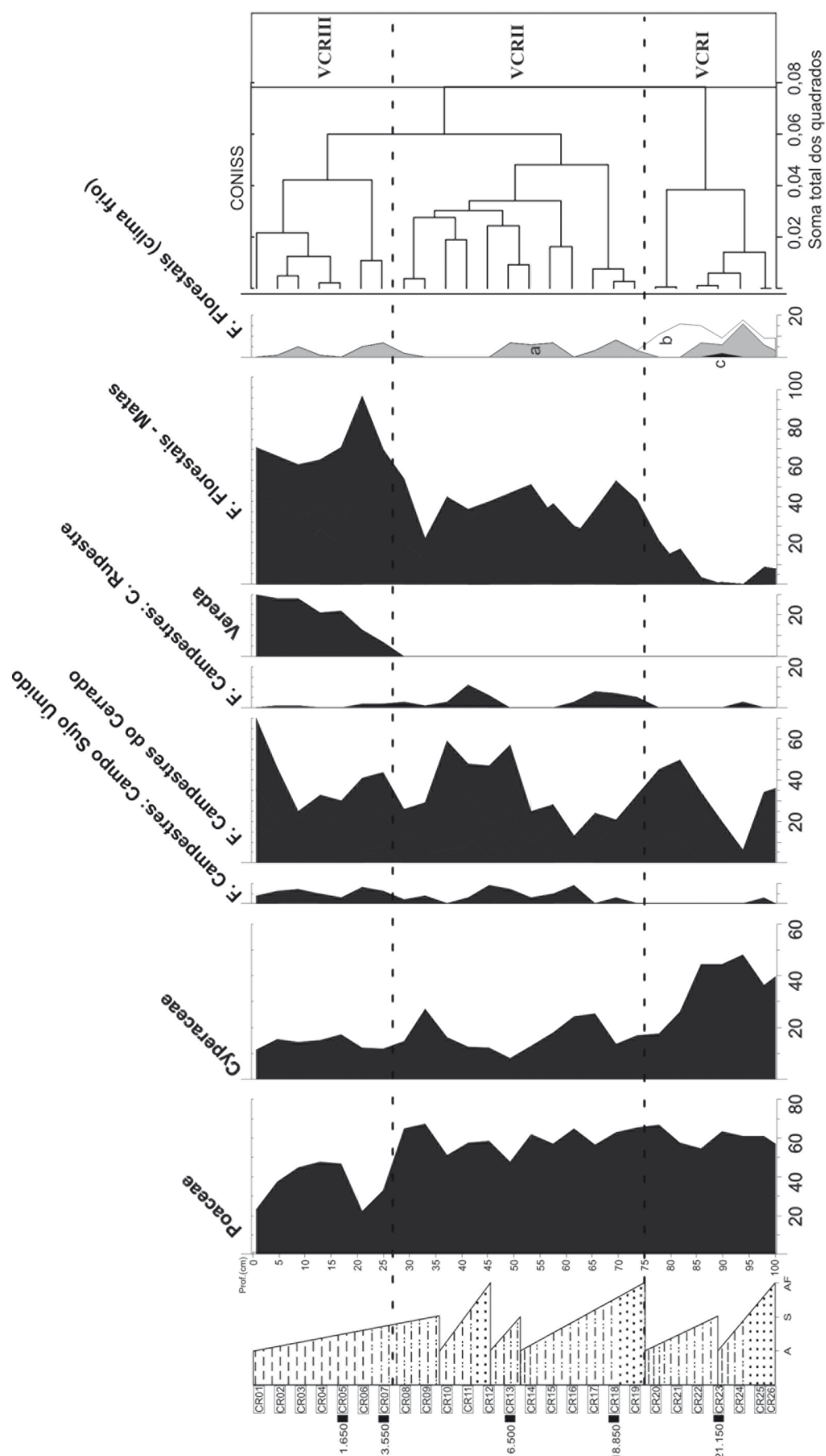


Figura 7. Diagrama de porcentagem dos grupos polínicos (a, b e c = *Ilex*, *Podocarpus* e *Drymis*; VCR I VCR II e VCR III: intervalos polínicos).
 Figure 7. Percentage diagram of pollen groups (a, b, c = *Ilex*, *Podocarpus* and *Drymis*; VCR I, VCR II and VCR III: pollen intervals).

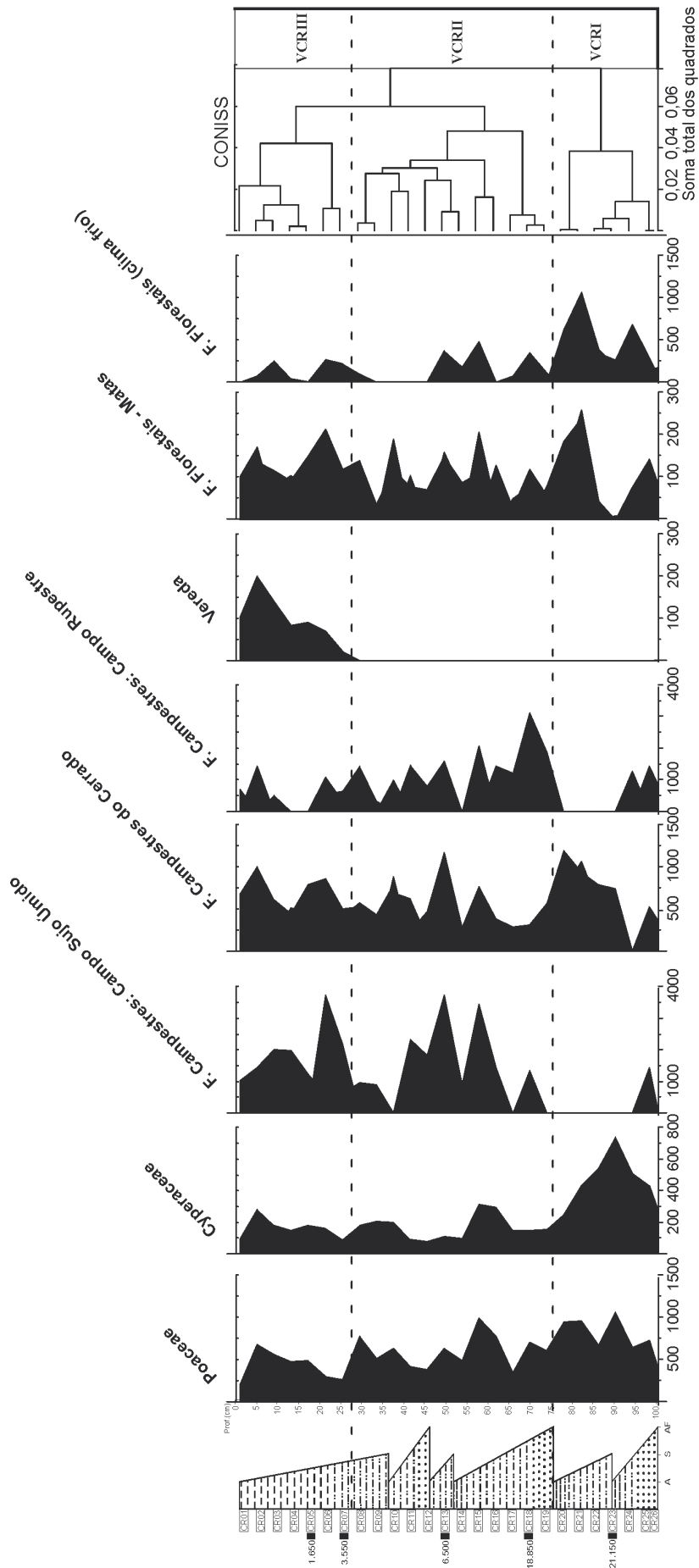


Figura 8. Diagrama de concentração dos grupos polínicos (VCR I, VCR II e VCR III: intervalos polínicos).
 Figure 8. Concentration diagram of pollen groups (VCR I, VCR II and VCR III: pollen intervals).

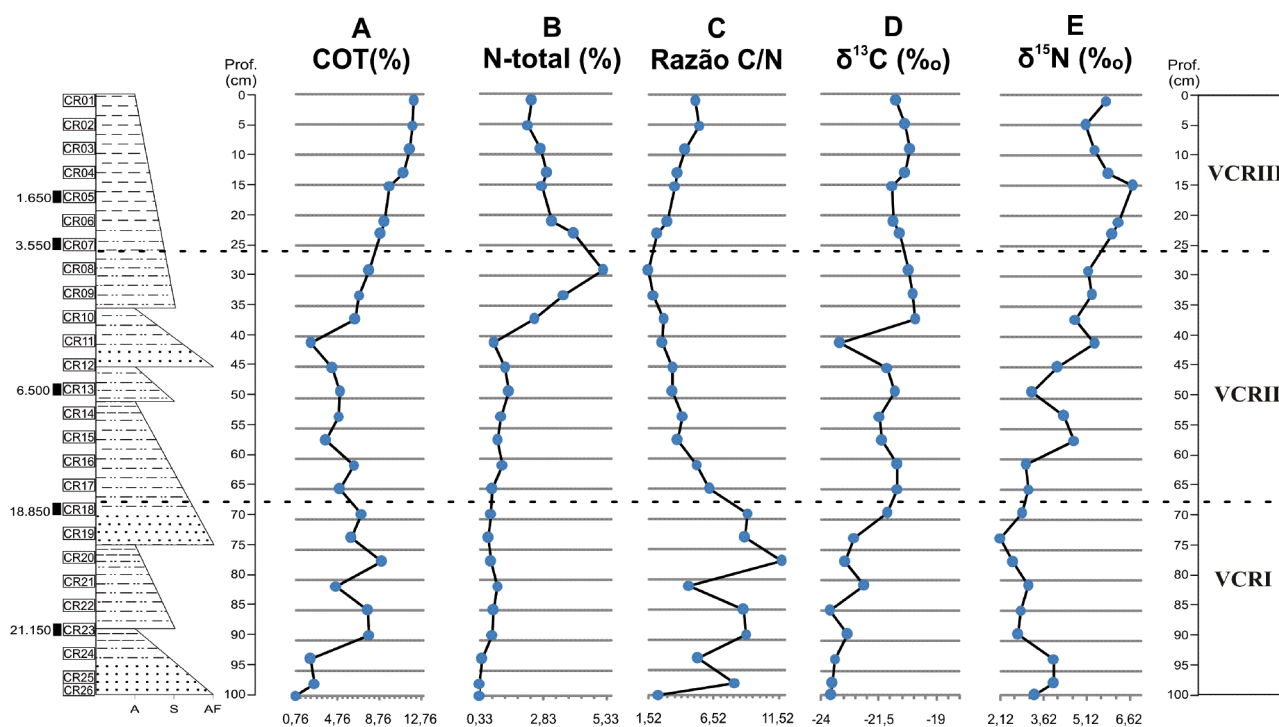


Figura 9. Perfil com curvas das análises isotópicas. A) COT (%); B) N-total (%); C) Razão C/N, D) $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e E) $\delta^{15}\text{N}$ (‰) (VCRI, VCRII e VCRIII: intervalos polínicos).

Figure 9. Profile with curves of isotopic analysis. A) COT (%); B) N-total (%); C) Rate C/N, D) $\delta^{13}\text{C}$ (‰) and E) $\delta^{15}\text{N}$ (‰) (VCRI, VCRII and VCRIII: pollen intervals).

Quanto aos teores de N-total (Fig. 9B), o conjunto de amostras da base VCR26 a VCR11 (100 cm a 41 cm) apresentou uma média de 1,27%, nas amostras VCR10 a VCR08 (37 cm a 29 cm) houve uma elevação de 2,46% - 5,15%, e nas amostras VCR07 até VCR01 (25 cm a 01 cm) um declínio de 4,03% - 2,38%.

Os valores de C/N (Fig. 9C) entre as amostras VCR26 e VCR19 (100 cm a 73 cm) oscilaram de 2,30 a 11,65 com tendências crescentes e decrescentes. A partir da amostra VCR18 (69 cm) os valores de C/N sofreram um declínio gradual em direção ao topo do perfil até a VCR08 (29 cm), que variou de 9,05 a 1,52. A partir da amostra VCR07 (25 cm), os valores de C/N aumentaram de 2,22 a 5,04.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (Fig. 9D) variaram de -19,95‰ a -23,65‰. Na base do perfil, amostras VCR26 a VCR18 (100 cm a 69 cm), os valores de $\delta^{13}\text{C}$ registrados foram de -23,55‰ a -21,15‰; já entre as amostras VCR17 e VCR01 (65 cm e 01 cm), os valores se mantiveram em torno de -20,79‰.

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ nas amostras VCR26 a VCR16 (100 cm a 61 cm) foram em torno de 3,30‰ e nas amostras VCR15 a VCR01 (57 cm a 01 cm) de 4,12‰ a 6,70‰ (Fig. 9E).

4 Discussão dos resultados

A seguir estão representadas (Fig.10) as localizações de 17 sítios do bioma Cerrado, onde foram desenvolvidos estudos palinológicos e/ou isotópicos: Carajás (Absy *et al.*, 1991), Lagoa de Serra Negra (De Oliveira, 1992), Lagoa Olhos d'Água (De Oliveira, 1992; Raczka *et al.*, 2012), Turfeira de Salitre (Ledru, 1993), Lago do Pires (Behling, 1995), Vereda de Cromínia (Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 1996), Lagoa Santa (Parizzi *et al.*, 1998), Vereda de Águas Emendadas (Barberi *et al.*, 2000), Lagoa da Confusão (Behling, 2002), Lagoa Nova (Behling, 2003), Lagoa do Caçó (Ledru *et al.*, 2006), Lagoa dos Mares (Raczka *et al.*, 2012), Turfeira Pau-de-Fruta (Horák, 2009), Vereda Urbano (Lorente *et al.*, 2010), Vereda Laçador (Cassino & Meyer, 2013), Vereda Juquinha/Cuba (Pires, 2014) e Vereda Carrasco da Raposa (este trabalho). A figura 11 apresenta um esquema com a variação da umidade nesses 17 sítios.

4.1. VCRI - 21.150 a 18.850 anos cal. AP

Neste intervalo de tempo, na Vereda Carrasco da Raposa não foram registrados grãos de pólen de *Mauritia flexuosa* o que pode estar associado ao ambiente mais frio que o atual e permite afirmar que a vereda ainda não havia se estabelecido no local. O conjunto de elementos herbáceos-arbustivos

registrados caracterizou uma fitofisionomia típica das Formações Campestres do Cerrado, composta por arbustos e subarbustos esparsos. Houve registro dos táxons arbóreos *Podocarpus*, *Ilex*, *Drymis* e *Ericaceae*, a associação destes táxons indica condições climáticas mais frias do que as atuais (Salgado-Labouriau, 1994; Mendonça *et al.*, 2008).

Entre 19.000 e 11.500 anos AP, os registros palinológicos do Cerrado mostraram em linhas gerais que houve uma estação seca prolongada com condições climáticas mais frias do que as atuais nas localidades onde as altitudes variam de 700 a 1100 m, como em Cromínia (GO), Lagoa dos Olhos d' Água (MG), Carajás (PA), Águas Emendadas (DF) e Buritizeiro (MG) (Absy *et al.*, 1991; De Oliveira, 1992; Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 1996; Barberi *et al.*, 2000; Lorente *et al.*, 2010; Raczka *et al.*, 2012). Entretanto condições climáticas mais úmidas e mais frias do que as atuais foram registradas na Turfeira de Salitre por Ledru (1993) e em Lagoa de Serra Negra por De Oliveira (1992).

Neste período as características da vegetação e ausência dos buritis na Vereda Carrasco da Raposa sugerem que as condições ambientais durante o final do Pleistoceno e início do Holoceno eram mais secas, porém com umidade suficiente para a formação de zonas úmidas. As mesmas condições foram observadas nos registros de Carajás (Absy

et al., 1991), Lagoa de Serra Negra (De Oliveira, 1992), Cromínia (Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 1996), Águas Emendadas (Barberi *et al.*, 2000), Turfeira Pau-de-Fruta (Horák, 2009), Vereda Urbano (Lorente *et al.*, 2010), Vereda Laçador (Cassino & Meyer, 2013) e Vereda Juquinha/Cuba (Pires, 2014). Nestes locais, assim como na Vereda VCR, foi registrada a ocorrência de ambientes úmidos e/ou encharcados e de clima frio, com presença de grãos de pólen provenientes de ervas higrofitas e plantas aquáticas como *Drosera*, *Cyperaceae*, *Eryngium*, associados a táxons indicativos de temperaturas mais frias como *Drymis brasiliensis*, *Podocarpus*, *Ilex* e *Ericaceae*.

Os dados isotópicos corroboraram a presença de um ambiente úmido na Vereda Carrasco da Raposa. Na base do perfil sedimentar da vereda (89 cm - 68 cm), de 21.150 a 18.850 anos cal. AP, os valores do sinal isotópico do carbono ($\delta^{13}C$) foram de -24‰ a -21,5‰. Esses valores indicam predomínio de plantas C3, com provável mistura de plantas C4. Já os valores de C/N variaram de 1,5 a 11,5 e indicam predomínio de algas na MO. Os valores de $\delta^{15}N$ foram de 3,5‰ a ~1,0‰ o que representa mistura de matéria orgânica de algas e plantas terrestres.

Este mesmo padrão foi observado por Horák (2009) na Turfeira Pau-de-Fruta, em torno de

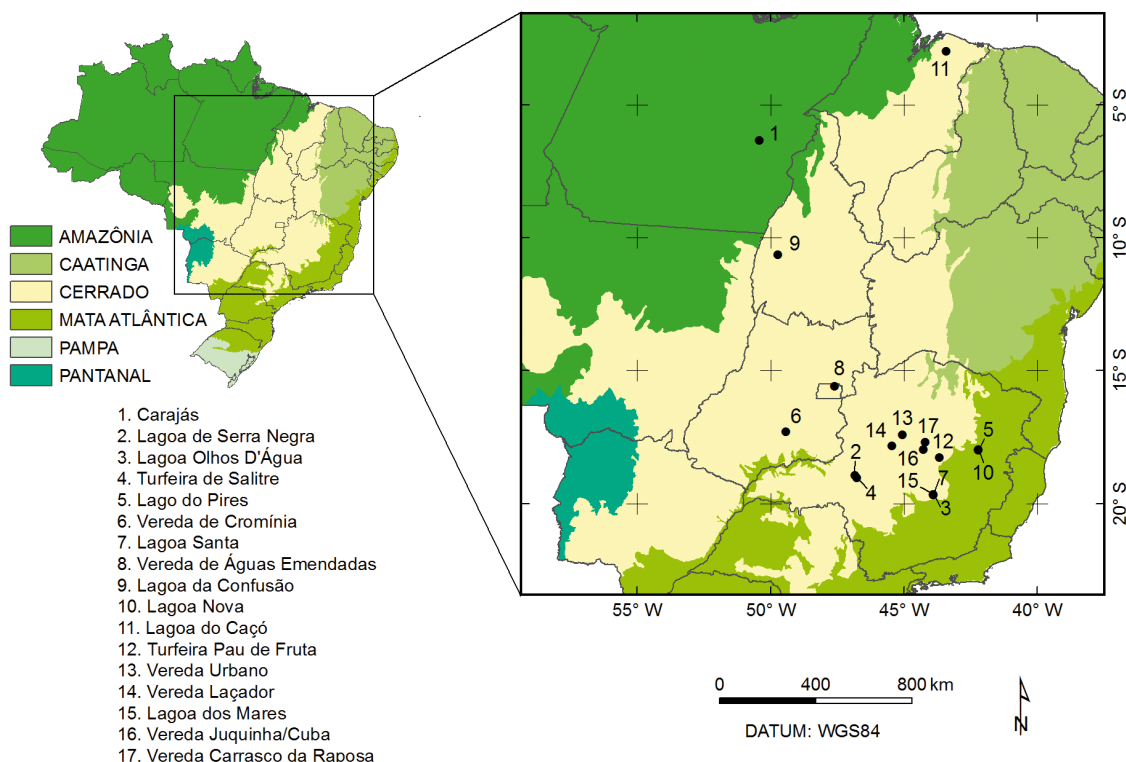


Figura 10. Localização de 17 sítios no Bioma Cerrado, onde foram desenvolvidos estudos palinológicos e/ou isotópicos (modificado de Meyer *et al.*, 2014).

Figure 10. Location of 17 sites in the Cerrado, which were developed palynological and/or isotopic studies (modified of Meyer *et al.*, 2014)

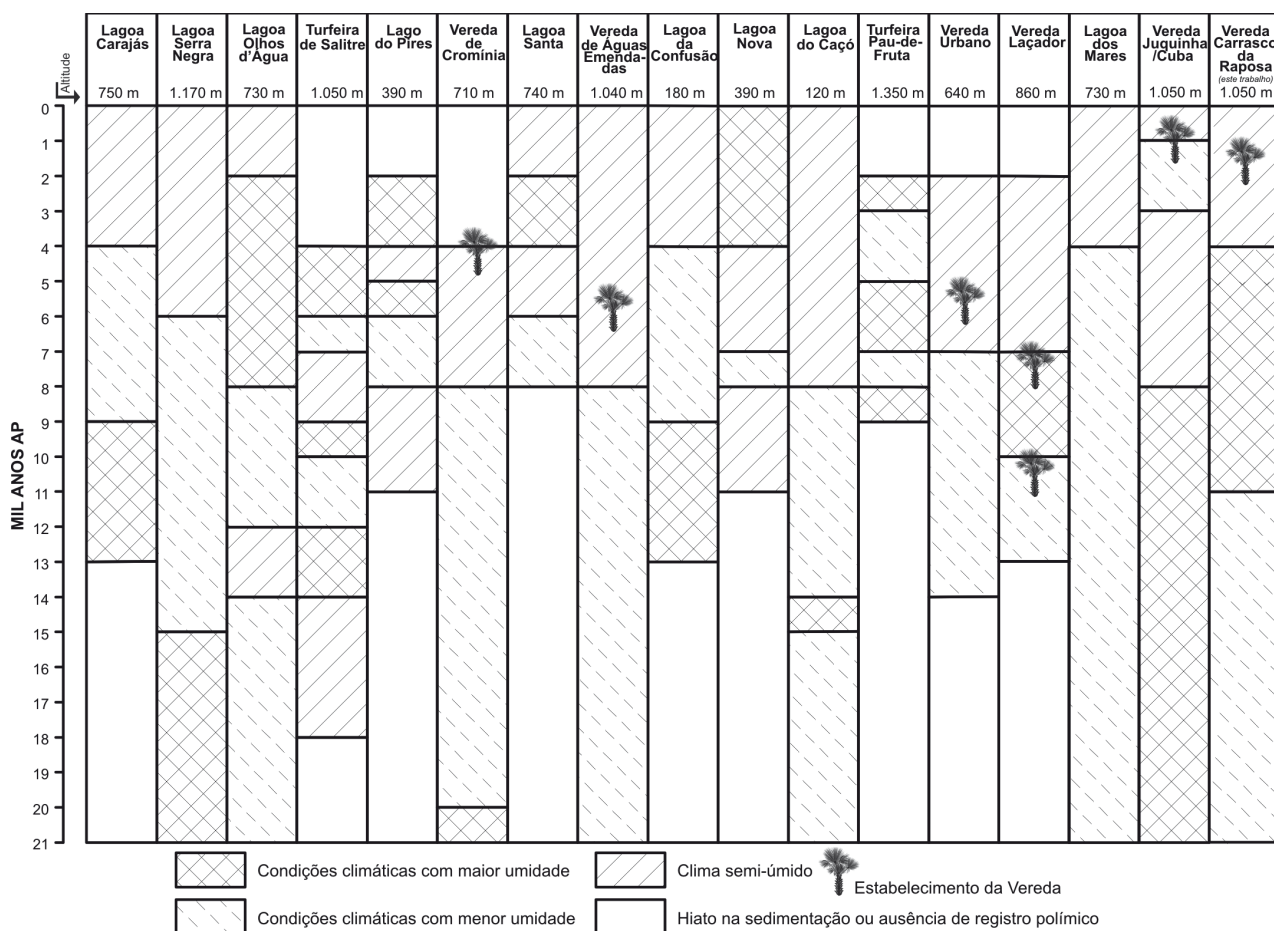


Figura 11. Representação esquemática da variação da umidade nos 17 sítios estudados no Bioma Cerrado (modificado de Salgado-Labouriau *et al.*, 1997).

Figure 11. Schematic representation of the humidity variation in the 17 sites studied in the Cerrado (modified of Salgado-Labouriau *et al.*, 1997)

20.350 anos AP. Os valores do sinal isotópico de $\delta^{13}C$ iguais a $-20,9\text{‰}$ corroboram o desenvolvimento da Mata (C3) e do Campo Rupestre (C3 e CAM) no topo dos morros em meio à vegetação campestre (C4). Já na região do Cerrado no estado de São Paulo, Souza *et al.* (2013) observaram há cerca de 10.000 anos AP, valores de $\delta^{13}C$ por volta de $-14,24\text{‰}$ que representam o predomínio de plantas C4, e sugerem redução da umidade próximo ao limite Pleistoceno Superior - Holoceno Inferior.

No que diz respeito à fitofisionomia predominante, indicada pelos dados da análise palinológica e isotópica, estima-se que havia um mosaico vegetacional de Formações Campestres do Cerrado que circundavam os elementos das Formações Florestais - Matas.

4.2 VCR II - 18.850 a 3.550 anos cal. AP

No início do Holoceno foram observadas de maneira geral, condições climáticas mais quentes, como resultado do aumento das temperaturas

depois do UMG, além de variações na circulação atmosférica que culminaram em mudanças na vegetação em todo o Bioma Cerrado (Salgado-Labouriau, 1997).

Neste intervalo de tempo, na Vereda Carrasco da Raposa as mudanças da vegetação observadas foram marcadas pelo registro de novos táxons herbáceo-arbustivos que evidenciaram a diversidade das Formações Campestres do Cerrado. A fitofisionomia com características de vegetação mais aberta, identificada na base do perfil, deu lugar um mosaico composto por Formações Campestres do Cerrado com Campo Sujo Úmido e Campo Rupestre.

Houve considerável aumento e surgimento de elementos arbóreos típicos das Formações Florestais como *Roupala*, *Euplassa*, *Daphnopsis*, Tipo *Eremanthus*, *Myrsine*, *Smilax*, *Stryphnodendron*, *Symplocaceae*, *Campomanesia*, *Senna*, *Anacardiaceae*, *Araliaceae* e *Fabaceae* provavelmente devido ao aumento da temperatura após o UMG.

Foi possível observar a associação dos gêneros *Eryngium*, *Hedyosmum*, *Alternanthera* e o Tipo

Gnaphalium, que sugere ambientes encharcados ou muito úmidos (Ribeiro & Walter, 2008).

Dentre as algas foram registrados os mesmos táxons do intervalo anterior *Spyrogira*, *Debarya*, *Mougeotia* e *Chlamydomonas*, o que confirma a presença de lâmina d'água no ambiente deposicional.

Diferente do que ocorreu na região da Serra do Cabral, em Carajás, Águas Emendadas, Cromínia, Lagoa Olhos d'Água e em Lagoa Santa o máximo da fase seca no Cerrado do Brasil Central perdurou até cerca de 7.000 anos AP (Absy *et al.*, 1991; De Oliveira, 1992; Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 1996; Parizzi *et al.*, 1998; Barberi *et al.*, 2000; Raczka *et al.*, 2012).

Após esta fase seca, no Brasil central uma fase relativamente menos seca ocorreu a partir de 5.000 anos AP, onde houve registros de chuvas torrenciais, deslizamentos de terra e grandes depósitos aluviais que culminaram na formação de lagos, charcos e veredas. Dessa forma, o clima passou a ser semi-úmido com uma estação seca prolongada de três a cinco meses e continuou até o presente (Salgado-Labouriau, 1997).

Na margem esquerda do Rio São Francisco e na região do Chapadão dos Gerais os estudos realizados na Vereda Urbano (Lorente *et al.*, 2010) e na Vereda Laçador (Cassino & Meyer, 2013) evidenciaram o início de uma fase mais úmida em torno dos 6.000 anos AP para a primeira, e entre 9.000 a 7.000 anos cal. AP para a segunda através do registro do estabelecimento da vereda.

Na Vereda Carrasco da Raposa, por volta de 6.500 anos cal. AP (~48 cm) houve um aumento na deposição de areia no registro sedimentar, possivelmente devido ao aumento da zona encharcada na borda da vereda, e consequente redução da matéria orgânica no sedimento o que resultou em um empobrecimento do carbono total, com valores de COT iguais a 2,23% (Fig. 9A). Os valores de C/N da MO variaram de <6 a 1,5 com predomínio de algas e umidade local. Os valores de $\delta^{13}C$ ficaram entre de -19,5‰ (~35 cm) a -23,5‰ (~41 cm) e indicaram predomínio de plantas C4 com provável mistura com plantas C4 (Fig. 9D). Os teores de $\delta^{15}N$ ficaram em torno de 4,5‰ a ~5‰, ou seja, houve mistura de algas e plantas terrestres na MO. Esse resultado também foi observado por Horák (2009), na Turfeira Pau-de-Fruta, porém por volta de 9.400 anos AP e por Souza *et al.* (2013) no estado de São Paulo, onde no período de 2.100 anos cal. AP até os dias atuais os valores de $\delta^{13}C$ foram de aproximadamente -20,26‰.

Na Turfeira Pau-de-Fruta, Horák (2009) entre 7.300 anos AP e 6.400 AP (idades interpoladas) as

condições foram menos úmidas e os sinais isotópicos do carbono ($\delta^{13}C$) tornaram-se mais enriquecidos e os do nitrogênio ($\delta^{15}N$) mais empobrecidos, o que caracterizou o aumento da contribuição da vegetação campestre e a redução da contribuição algal no sedimento.

4.3 VCR III - 3.550 anos cal. AP ao presente

Neste intervalo foi registrada a primeira ocorrência de *Mauritia flexuosa*, além de elementos herbáceos de Matas (Formações Florestais) e de locais encharcados como *Peperomia*, *Hedyosmum*, *Hydrocotyle*, Tipo Trixis e *Symplocos*. Estes táxons, em conjunto com o surgimento de *Mauritia*, sugerem um aumento considerável da umidade local e o início da instalação da vereda no ambiente deposicional. Para que o buriti (*Mauritia flexuosa*) ocupe e colonize determinado local, é necessário que o clima seja quente e úmido, com valores de precipitação superiores a 1.000 mm anuais e solos permanentemente úmidos (Rull, 1998).

O aumento e surgimento no registro de táxons arbóreos como *Cecropia*, Anacardiaceae, *Daphnopsis*, Fabaceae, Araliaceae, *Roupala*, Tipo *Eremanthus*, *Mimosa*, *Campomanesia*, *Pseudobombax* e *Eriotheca*, confirmaram a presença da fitofisionomia típica do Cerrado, Formações Florestais - Matas, já observada desde o Intervalo VCRI.

Foram registrados e complementaram o panorama fitofisionômico os táxons: *Hedyosmum*, *Symplocos*, *Hydrocotyle* e Araliaceae, comuns em regiões inundadas como bordas de Matas, áreas brejosas do Cerrado, em corpos d'água ou solos úmidos de forma emergente, flutuante ou anfíbia (Bauermann, 2003; Souza & Lorenzi, 2005).

A partir de 3.500 anos cal. AP (25 cm), a porcentagem de *Mauritia flexuosa* aumentou significativamente e por volta de 1.650 anos cal. AP (17 cm) houve o estabelecimento da vereda no depósito do Carrasco da Raposa. Assim como na Serra do Cabral, em Águas Emendadas um período de clima mais úmido também foi registrado em aproximadamente 1.500 anos cal. AP, quando houve um pico de *Mauritia flexuosa* (Barberi *et al.*, 2000). Na Lagoa da Confusão, a partir de 6.200 anos cal. AP, um aumento nos registros de árvores de Mata de Galeria indicou condições mais úmidas que as vigentes na primeira metade do Holoceno (Behling, 2002).

A ocorrência de elementos arbustivos e herbáceos, o aumento de árvores do Cerrado e o surgimento da palmeira *Mauritia flexuosa*, sugerem que as condições climáticas na Serra do Cabral entre 3.550 (25 cm) e 1.650 anos cal. AP (17 cm) se tornaram mais úmidas e quentes em relação aos pe-

ríodos anteriores, com média pluviométrica anual acima de 1.000 mm e a duração da estação seca entre cinco e seis meses, condições estas semelhantes aos dias atuais para a região.

Segundo Meyer *et al.* (2014) nas Veredas de Águas Emendadas (DF), Cromínia (GO) e na Lagoa do Caçó (MA), o clima quente e semi-úmido, semelhante ao atual, se instalou há aproximadamente 8.000 anos cal. AP e permaneceu até o presente. De acordo com Behling (2002), na Lagoa da Confusão (TO), foi a partir de 6.200 anos cal. AP, que houve uma maior quantidade de árvores de Mata de Galeria e possíveis condições climáticas mais úmidas que as vigentes na primeira metade do Holoceno.

Na Vereda Carrasco da Raposa, em torno de 4.100 anos cal. AP (33 cm) houve uma queda na razão C/N, os valores variaram de 1,5 a 6 (Fig. 9C). Valores muito baixos da razão C/N (≥ 3) evidenciam a presença de ambientes alagados e por isso com maior influência algal na composição da matéria orgânica depositada no sedimento. Este dado associado ao aumento considerável nas porcentagens de *Mauritia flexuosa* desse intervalo corrobora o surgimento e estabelecimento da vereda, que por sua vez, só se desenvolve em ambientes encharcados.

5 Conclusões

Os resultados da análise palinológica da Vereda Carrasco da Raposa, associados às datações ^{14}C , aos dados isotópicos e ao significado ambiental dos palinomorfos identificados, possibilitaram estabelecer as condições paleoambientais e paleoclimáticas a partir de 21.150 anos cal. AP no contexto do Último Máximo Glacial até o presente na região da Serra do Cabral.

No que diz respeito às condições paleoclimáticas na Vereda Carrasco da Raposa, os resultados mostraram em linhas gerais que no período de 21.150 a 18.850 anos cal. AP o clima era mais frio que o atual, devido à presença de elementos arbóreos como *Podocarpus*, *Ilex*, *Drymis* e *Ericaceae* no registro polínico. Após 18.850 até 3.550 anos cal. AP o clima ficou mais quente e mais úmido. A partir de 1.650 anos cal. AP o padrão climático registrado foi semelhante ao atual (clima semi-úmido) em direção ao topo do perfil, provavelmente com média pluviométrica anual acima de 1.000 mm e a duração da estação seca entre cinco e seis meses.

Quanto às mudanças fitofisionômicas na Serra do Cabral, foi observada uma sucessão da vegetação com predomínio de Formações Campestres: Campo Sujo Úmido e Campo Rupestre, associadas a traços de Formações Florestais (de clima frio)

na base do perfil de 21.150 a 18.850 anos cal. AP, Campo Sujo Úmido e Campo Rupestre, associadas a elementos de Mata (Formações Florestais) típicos do Cerrado na porção mediana do perfil de 18.850 a 3.550 anos cal. AP. Em direção ao topo houve o estabelecimento da vereda a partir de 1.650 anos cal. AP.

Por meio de dados isotópicos e elementares do $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ associados às datações ^{14}C e intervalos polínicos, foi possível observar evidências de que durante o final do Pleistoceno e início do Holoceno na região da Serra do Cabral, houve constantes flutuações na umidade e nas condições climáticas que refletiram no desenvolvimento e composição da vegetação da Vereda Carrasco da Raposa.

Agradecimentos - Este trabalho é parte integrante da tese de doutoramento desenvolvida pela primeira autora junto ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFMG, realizado no âmbito do projeto "Reconstituição da Vegetação Quaternária da Serra do Cabral, Minas Gerais, através de Estudos Palinológicos" com recursos da FAPEMIG (APQ 01697-11, FAPEMIG, Demanda Universal, 2012-2014). A primeira autora agradece à CAPES pela concessão de bolsa de doutorado. Os autores agradecem ao IEF pela concessão de licença de pesquisa no Parque Estadual da Serra do Cabral (SIGED - IEF/DPBIO/GPROP - 03921012013).

Referências

- Ab'Saber, A.N. 1971. Contribuição à Geomorfologia da área dos Cerrados. *In: Simpósio sobre o Cerrado. Resumos expandidos*. São Paulo, EDUSP, p. 97-103.
- Absy, M.L., Cleef, A., Fournier, M., Martin, L., Servant, M., Sifeddine, A., Silva, M.F.D.A., Soubies, F., Suguio, K., Turcq, B. & Van der Hammen, T. 1991. Mise en évidence de quatre phase d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60.000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. *Comptes Rendus Académie des Sciences Paris*, 312: 673-678.
- Barberi, M., Salgado-Labouriau, M.L. & Suguio, K. 2000. Paleovegetation and paleoclimate of "Vereda de Águas Emendadas", central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 13: 241-254.
- Barth, O.M. & Melhem, T.S. 1988. *Glossário ilustrado de palinologia*. Campinas, Editora da Unicamp, 77p.
- Bauermann S.G. 2003. *Análises palinológicas e evolução paleovegetacional e paleoambiental das turfeiras de Barrocadas e Águas Claras, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre, 137p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Bauermann, S.G., Radaeski, J.N., Evaldt, A.C.P., Queiroz, E.P., Mourelle, D., Prieto, A. & Silva, C.I. 2013. *Pólen nas angiospermas diversidade e evolução*. Canoas,

- Editora da ULBRA, v. 1, 216p.
- Behling, H. 1995. A high resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: vegetation, climate and fire history. *Journal of Paleolimnology*, 4(3): 253-268.
- Behling, H. 2002. Late Quaternary vegetation and climate dynamics in southeastern Amazonia inferred from Lagoa da Confusão in Tocantins State, Northern Brazil. *Amazoniana*, 17(1/2): 27-39.
- Behling, H. 2003. Late glacial and Holocene vegetation, climate and fire history inferred from Lagoa Nova in the southeastern Brazilian lowland. *Vegetation History and Archaeobotany*, 12: 263-270.
- Boutton, T.W. 1996. Stable carbon isotope ratios of soils organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In: Boutton, T. W., Yamasaki, S.I. (Ed.). *Mass spectrometry of soils*. New York, Marcel Dekker, p. 47-82.
- Cassino, R.F. 2011. *Reconstituição da vegetação e do clima do Chapadão dos Gerais durante o Holoceno, a partir da análise palinológica da vereda Laçador*. Belo Horizonte, 215p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Cassino, R.F. & Meyer, K.E.B. 2013. Reconstituição Paleoambiental do Chapadão dos Gerais durante o Quaternário Tardio, a partir da Análise Palinológica da Vereda Laçador. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 16(1): 127-146.
- Colinvaux P., De Oliveira, P.E. & Patino, J.E.M. 1999. *Amazon Pollen Manual and Atlas/Manual e Atlas Palinológico da Amazônia*. Amsterdam, Harwood Academic Publishers, 322p.
- De Oliveira, P.E. 1992. *A palynological record of Late Quaternary vegetational and climatic change in southeastern Brazil*. Ohio, 238p. Ph.D. thesis., The Ohio State University.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. 2008. Disponível em: <<https://www.embrapa.br>>. Acesso em: 11 jan. 2013.
- Faegri K. & Iversen J. 1989. *Textbook of Pollen Analysis*. New York, Hafner Pub., 486p.
- Ferraz-Vicentini, K.R. & Salgado-Labouriau, M.L. 1996. Palynological analysis of a palm swamp in central Brazil. *Journal of South American Earth Science*, 9(3/4): 207-219.
- Geominas, 1996a. Mapa de Precipitação Média Anual de Minas Gerais. Zoneamento Agroclimático de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.geominas.mg.gov.br>>. Acesso em: 26 jun. 2016
- Geominas, 1996b. Mapa de Temperatura Média Anual de Minas Gerais. Zoneamento Agroclimático de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.geominas.mg.gov.br>>. Acesso em: 26 jun. 2016
- Grimm, E.C. 1987. Coniss: a 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geoscience*, 13: 13-35.
- Horák, I. 2009. *Relações pedológicas, isotópicas e palinológicas na reconstrução paleoambiental da turfeira da Área de Proteção Especial (APE) Pau de Fruta, Serra do Espinhaço Meridional*. São Paulo, 203p. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo.
- IEF. Instituto Estadual de Florestas. 2009. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/areas-protegidas/210>>. Acesso em: 14 set. 2013.
- Ledru, M.P. 1993. Late Quaternary Environmental and Climatic Changes in Central Brazil. *Quaternary Research*, 39(1): 90-98.
- Ledru, M.P., Ceccantini, G., Gouveia, S.E.M., López-Sáez, J.A., Pessenda, L.C.R. & Ribeiro, A.S. 2006. Millennial-Scale Climatic and Vegetation Changes in a Northern Cerrado (Northeast, Brazil) since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 25: 1110-1126.
- Lopes, T.C. 2012. *O Supergrupo Espinhaço na Serra do Cabral, Minas Gerais: contribuição ao estudo de proveniência sedimentar*. Belo Horizonte, 116p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Lorente, F.L. 2010. *Análise palinológica da vereda da Fazenda Urbano, município de Buritizeiro, Minas Gerais, Brasil*. Belo Horizonte, 230p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Lorente, F.L., Meyer, K.E.B. & Horn, A.H. 2010. Análise Palinológica da Vereda da Fazenda Urbano, Município de Buritizeiro, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, 18(2): 57-72.
- Mendonça, R.C., Felfili, J.M., Walter, B.M.T., Silva Júnior, M.C., Rezende, A.V., Figueira, J.S. & Nogueira, P.E. 2008. Flora vascular do bioma Cerrado: um "checklist" com 11.430 espécies. In: Sano, S.M., Almeida, S.P. & Ribeiro, J.F. (Ed.). *Cerrado: Ecologia e Flora*. v. 2. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, p. 423-1279.
- 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: Carvalho, I. S., Garcia, M.J., Lana, C.C., Strohschoen, O. (Eds.). *Paleontologia: Cenários da Vida*, v. 5, Interciência, Rio de Janeiro, p. 403-420.
- Meyers, P.A. 1994. Preservation of source identification of sedimentary organic matter during and after deposition. *Chemical Geology*, 114: 289-302.
- O'Leary, M.H. 1988. Carbon isotopes in photosynthesis. *Bioscience*, 38: 328-336.
- Parizzi, M.G., Salgado-Labouriau, M.L. & Kohler, C.H. 1998. Genesis and environmental history of Lagoa Santa, SE Brazil. *The Holocene*, 8(3): 311-321.
- Pessenda, L.C.R., Aravena, R.M. & Melfi, A.J. 1996. The use of carbon isotopes (^{13}C , ^{14}C) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. *Radiocarbon*, 38(2): 191-201.
- Pessenda, L.C.R., Gouveia, S.E.M., Aravena, R., Boulet, R. & Valencia, E.P.E. 2004. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. *Quaternary International*, 114: 35-43.
- Pires, G.L.P., 2014. *Estudo palinológico da Vereda do Juquinha/Cuba, Parque Estadual da Serra do Cabral*.

- Minas Gerais, Brasil. Belo Horizonte, 155p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Punt, W., Hoen, P.P., Blackmore, S., Nilsson, S. & Le Thomas, A. 2007. Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 143: 1-81.
- Raczka, M.F., De Oliveira, P.E., Bush, M. & McMichael, C.H. 2012. Two paleoecological histories spanning the period of human settlement in southeastern Brazil. *Journal of Quaternary Science*, 28(2): 144-151.
- Ribeiro, J.F. & Walter, B.M.T. 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano S.M., Almeida S.P., Ribeiro J.F. (Ed.). *Cerrado: Ecologia e Flora*. v. 2. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, p. 151-199.
- Rull, V. 1998. Biogeographical and evolutionary consideration of *Mauritia* (Arecaceae), based on palynological evidence. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 100: 109-122.
- Salgado-Labouriau, M.L. 1973. *Contribuição à Palinologia dos Cerrados*. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências, 291p.
- Salgado-Labouriau, M.L. 1994. *História ecológica da Terra*. São Paulo, Edgard Blücher, 320p.
- Salgado-Labouriau, M.L. 1997. Late Quaternary palaeoclimate in the savannas of South American. *Journal of Quaternary Science*, 12(5): 371-379.
- Souza, M.M.D., Branco, F.R., Jasper, A. & Pessenda, L.C.R. 2013. Evolução paleoambiental holocênica da porção nordeste do estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 16: 297-308.
- Souza, V.C. & Lorenzi, H. 2005. *Botânica Sistemática*. São Paulo, Instituto Plantarum, 608p.
- Souza Filho, P.W.M. & El-Robrini, M. 1995. Um exemplo de sistema deposicional dominado por macromarém: A Planície Costeira Bragantina - NE do Pará (Brasil). In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 5, 1995, Niterói, *Anais...*, ABEQUA, p. 278-284.
- Stockmar, J. 1971. Tablets spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*, 13(4): 615-621.
- Stuiver, M. & Reimer, P.J. 1993. Extended 14C Data Base and Revised Calib 3.0 14C Age Calibration Program. *Radiocarbon*, 35: 215-230.
- Stute, M., Forster, M., Frischkorn, H., Serejo, A., Clark, J.F., Schlosser, P., Broecker, W.S. & Bonani, G. 1995. Cooling of tropical Brazil (50C) during the last glacial maximum. *Science*, 269: 379-383.
- Tryon, R.M. & Tryon, A.F. 1982. *Ferns and allied plants*. New York, Springer-Verlag, p. 25-39.
- Uhlein, A. 1991. *Transição cráton-faixa dobrada: um exemplo do Cráton do São Francisco e da Faixa Araçuaí (Ciclo Brasileiro) no estado de Minas Gerais. Aspectos estratigráficos e estruturais*. São Paulo, 295p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Uhlein, A., De Trompette, R. & Egydio-Silva, M. 1995. Rifteamentos superpostos e tectônica de inversão na borda sudeste do Cráton do São Francisco. *Geonomos*, 3: 99-107.
- Uhlein, A., Alvarenga, C.J.S., De Trompette, R., Dupont, H.S.J.B., Egydio-Silva, M., Cukrov, N. & Lima, O.N.B. 2004. Glaciação neoproterozóica sobre o cráton do São Francisco e faixas dobradas adjacentes. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito-Neves, B.B. (org.) *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Editora Beca, São Paulo, p. 539-553.
- Viveiros, J.F.M. & Walde, D. 1976. Geologia da Serra do Cabral, Minas Gerais, Brasil. *Münsterische Forschungshefte Geologie und Paläontologie*, 38/39: 15-27.
- Walde, D. 1978. Desenvolvimento faciológico do Pré-cambriano entre a Serra Mineira e a Serra do Cabral (região sudoeste da Serra do Espinhaço, Minas Gerais). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. 1978. Recife. *Anais...* Recife, (2): 711-725.
- Ybert, J.P., Salgado-Labouriau, M.L., Barth, O.M., Lorscheitter, M.L., Barros, M.A., Chaves, S.A.M., Luz, C.F.P., Ribeiro, M., Scheel, R. & Ferraz-Vicentini, K.R. 1992. Sugestões para padronização da Metodologia Empregada em Estudos Palinológicos do Quaternário. *Revista do Instituto Geológico*, 13(2): 47-49.

Manuscrito 573

Editores: Marina Bento Soares & Paulo A. Souza.

4.1.2 Artigo II

“Palynological and C-N isotopic analyses of the Água Fria Palm swamp, northern Minas Gerais, Brazil, and their implications to late Quaternary environmental changes in the Cerrado”

Periódico: Review of Palaeobotany and Palynology (submetido)

Manuscript Details

Manuscript number	PALBO_2018_134
Title	Palynological and C-N isotopic analyses of the Água Fria Palm swamp, northern Minas Gerais, Brazil, and their implications to late Quaternary environmental changes in the Cerrado
Article type	Research paper

Abstract

Palynological analyses allow reconstructing the ancient vegetation of an area by means of the succession of pollen grains and spores and their responses to climate changes. In this paper, we assess the changes in vegetation and climate in the last ~20,000 years in the region of the Serra do Cabral State Park (PESC), northern Minas Gerais state, Brazil, via palynological and C-N isotopic analyses of the Água Fria Palm Swamp. The results indicate two environmental phases (VAF I and VAF II), with marked variation of climate and plant physiognomies between them. VAF I ranges from ~20,500 to ~3,650 cal yr BP and developed under lower humidity than phase II, with the presence of a mosaic of Cerrado grassland formations, Forests elements and Cerrado trees, followed by the increase of humid grasslands (Campo Úmido) and the appearance of *Mauritia flexuosa* (typical Palm Swamp tree). VAF II spans from ~3,650 cal yr BP to the present, and is characterized by the full establishment of Palm Swamps and similar climatic conditions to those of modern days. Isotopic data, notably the $\delta^{13}\text{C}$ with values ranging from -22,09‰ to -20.04‰ between 20,500 and 3,650 cal yr BP, suggest a probable mixture of C3 and C4 plants as organic source to the sediments, with the predominance of C3 plants. Values of C/N ratio and $\delta^{15}\text{N}$ suggest the predominance of the organic matter derived from terrestrial plants, and a general trend to more humid environmental conditions towards the last ~3,650 cal yr BP. The results presented here differ from other Palm Swamps data from northern Minas Gerais, reinforcing the non-uniform climate changes in the Cerrado vegetation across central Brazil during the late Quaternary.

Keywords	palynology; Serra do Cabral State Park; stable isotopes; climate change.
Manuscript category	Climate and environmental change
Corresponding Author	Makênia Gomes
Corresponding Author's Institution	UFMG
Order of Authors	Makênia Gomes, Jonathas Bittencourt, Luiz Pessenda, Karin Meyer, André Vasconcelos
Suggested reviewers	Flávio Lima Lorente, Hermann Behling, Soraia Bauermann, Marie-Pierre Ledru

Submission Files Included in this PDF

File Name [File Type]

Highlights.docx [Highlights]

Abstract.docx [Abstract]

Manuscript.docx [Manuscript File]

Figure 1 RPP.tif [Figure]

Figure 2 RPP.tif [Figure]

Figure 3 RPP.tif [Figure]

Figure 4 RPP.tif [Figure]

Figure 5 RPP.tif [Figure]

Table 1.docx [Table]

Table 2.docx [Table]

To view all the submission files, including those not included in the PDF, click on the manuscript title on your EVISE Homepage, then click 'Download zip file'.

Highlights

Climate in the *Cerrado* was less humid from 20,500 to 3,650 years before present.

Palm Swamps developed diachronically in the *Cerrado* of SE Brazil.

Quaternary climate changes affected variably distinct areas of the *Cerrado*.

ABSTRACT

Palynological analyses allow reconstructing the ancient vegetation of an area by means of the succession of pollen grains and spores and their response to climate changes. In this paper, we assess the changes in vegetation and climate in the last ~20,000 years in the region of the Serra do Cabral State Park (PESC), northern Minas Gerais state, Brazil, via palynological and C-N isotopic analyses of the Água Fria Palm Swamp. The results indicate two environmental phases (VAF I and VAF II), with marked variation of climate and plant physiognomies between them. VAF I ranges from ~20,500 to ~3,650 cal yr BP and developed under lower humidity than phase II, with the presence of a mosaic of *Cerrado* grassland formations, Forests elements and *Cerrado* trees, followed by the increase of humid grasslands (*Campo Úmido*) and the appearance of *Mauritia flexuosa* (typical Palm Swamp tree). VAF II spans from ~3,650 cal yr BP to the present, and is characterized by the full establishment of Palm Swamps and similar climatic conditions to those of modern days. Isotopic data, notably the $\delta^{13}\text{C}$ with values ranging from -22,09‰ to -20,04‰ between 20,500 and 3,650 cal yr BP, suggest a probable mixture of C3 and C4 plants as organic source to sediments, with the predominance of C3 plants. Values of C/N ratio and $\delta^{15}\text{N}$ suggest the predominance of the organic matter derived from terrestrial plants, and a general trend to more humid environmental conditions towards the last ~3,650 cal yr BP. The results presented here differ from other Palm Swamps data from northern Minas Gerais, reinforcing the non-uniform climate changes in the *Cerrado* vegetation across central Brazil during the late Quaternary.

Key words: palynology, Serra do Cabral State Park, stable isotopes, climate change.

Palynological and C-N isotopic analyses of the Água Fria Palm swamp, northern Minas Gerais, Brazil, and their implications to late Quaternary environmental changes in the Cerrado

Makênia O. S. Gomes¹, Jonathas S. Bittencourt², Luiz C. R. Pessenda³, Karin E. B. Meyer (*in memoriam*) and André G. Vasconcelos⁴

¹ Laboratório de Paleontologia e Macroevolução, Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil. Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901. makenia@ymail.com/ **corresponding author**

² Laboratório de Paleontologia e Macroevolução, Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil. Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901. sigmaorionis@yahoo.com.br

³ Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brazil. Av. Centenário, 303 - São Dimas, Piracicaba - SP, 13400-970. pessenda@cena.usp.br

⁴ Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil. Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901. andregomide86@gmail.com

The authors declare no competing interest.

1 **1. Introduction**

2 Information about climate and vegetation gathered from spore and pollen grain
3 analyses in distinct localities allow recognizing broader-scale environmental changes
4 and their impact on the biota (Salgado-Labouriau, 1994; 2001). Such an approach has
5 been applied to the study of the *Cerrado*, a complex of biomes scattered across the
6 central portions of Brazil, housing nearly 30% of its biodiversity (Françoso et al., 2015).
7 A vast bibliography covering extant diversity, ecology and conservation of the *Cerrado*
8 is available. Yet, studies on its evolution during the Quaternary are not as intense,
9 despite a discrete growth noticed in the last decades (Ferraz-Vicentini and Salgado-
10 Labouriau, 1996; Ledru et al., 1996; Parizzi et al., 1998; Barberi et al., 2000; Horák,
11 2011; Lorente et al., 2010; Cassino and Meyer, 2013; Meyer et al., 2014; Cassino et al.,
12 2015; Pires et al., 2016; Gomes et al., 2017). These studies demonstrated that the
13 vegetation of the *Cerrado* have been variably affected by the climate changes of the last
14 50,000 years, and those effects are intricately correlated not only to the geographical
15 position and altitude, but also to variable peculiarities of each locality, such as relief,
16 altitude and temperature.

17 Some palynological studies of the *Cerrado* have been conducted within Palm
18 Swamps, which are one of the eleven plant physiognomies of that biome complex
19 (Eiten, 1994). They are valuable resources of fossil palynomorphs due to its
20 successional deposition of fine-grained sediments invariably rich in organic matter
21 (Melo, 1992; Cassino et al., 2015). In addition, more recent palynological assessment
22 has been coupled with the analysis of carbon and nitrogen stable isotopes. Such analyses
23 have successfully used these isotopes as proxy to distinguish sources of organic input to
24 sediments, either from C3 and/or C4 plants or freshwater phytoplankton, as well as
25 markers of wet conditions during the formation of assorted types of organic sedimentary

26 deposits (Pessenda et al., 2009; Buso Junior, 2010; Horák et al., 2011; Lorente et al.,
27 2014; Gomes et al., 2017).

28 Considering that more detailed explanations of how climate changes influenced
29 the vegetation are partly hampered by poor sampling of localities, we report
30 palynological and isotopic analyses of a palm swamp in northern Minas Gerais state
31 (Southeast Brazil), a subsampled marginal area of the *Cerrado*. Our results yield data to
32 paleoclimate and paleoecological interpretation dating back to ~20,000 years before
33 present (BP). We also compare our data with works previously conducted in Palm
34 Swamps of other localities in central Brazil, aiming the reconstruction a broader picture
35 of the paleoenvironmental changes of this portion of the *Cerrado*.

36

37 *1.1 Geographical and Geological Context*

38 The Palm Swamp assessed here in is known as “Vereda Água Fria” (VAF). It is
39 inserted within the Serra do Cabral, a mountain range in northern Minas Gerais state
40 with altitudes varying from 600 to 1385 m. This relief structure and the associated biota
41 are partly protected by the Serra do Cabral State Park (PESC), a conservation unit with
42 nearly 225 km². The VAF is located on the south sector of the PESC (17°54’S,
43 44°13’W) with an altitude of ~1,0018 m (Fig. 1). The PESC is part of the regional
44 geological evolution of the Serra do Espinhaço, a larger mountain range between Velhas
45 and Jequitaiá rivers. The silty-clayey to fine-sandy sediments of the VAF come from the
46 quartzites, metamorphic claystones and siltstones of the Espinhaço Supergroup (Uhlein,
47 1991).

48

49 **Fig. 1.** Geological and satellite image of Serra do Cabral (Minas Gerais), (modified
50 from Lopes, 2012) with the location of Palm Swamp's, include the Água Fria Palm
51 Swamp and limits of PESC (modified from IEF, 2005).

52

53 The Palm Swamps within PESC are mainly concentrated on the plain areas at
54 high altitudes, and are formed from granular aquifers fueled mainly by rainfall water
55 (Boaventura and Peixoto, 1978). Due to the significant variation in the altitude profile
56 of the PESC, climate variation is also recorded in the area. According to Köppen and
57 Geiger (1928) classification, the climate in the PESC includes the subtropical Cwa type,
58 which is characterized as dry winter with temperatures below 18°C and hot summer
59 with temperatures above 22°C; altitude subtropical Cwb, with dry winter and mild
60 summer with an average temperature below 22°C at the hottest month (Antunes, 1986).
61 In addition, two distinct seasons occur in the PESC: a wet season with frequent rainfall
62 and a dry one, where there is a significant rainfall reduction (Geominas, 1996). The
63 PESC annual average precipitation is minimally 750 mm, but in the higher portions of
64 the mountain range, where temperatures are lower and the dry periods are shorter (3 to 4
65 months), the precipitation reaches up to 1,250 mm (Geominas, 1996).

66 The extant vegetation can be recognized as different plant physiognomies of the
67 *Cerrado*, and the most representative are: gallery forests, grassland formations (*Campo*
68 *Cerrado*, *Campo Sujo*, *Campo Limpo*, *Campo Rupestre* and *Campo Úmido*), *Cerrado*
69 *stricto sensu* (typical savanna), dry forests and Palm Swamps (Ribeiro and Walter,
70 2008). Distinct physiognomies may occur at distinct regions of the PESC or as a mosaic
71 at the same locality.

72

73

74 **2. Material and Methods**

75 *2.1. Palynological analysis*

76 The palynomorph-rich sediments were collected in the VAF with a Russian-type
77 probe to a depth of 400 cm. The sedimentary layers were described for the whole
78 section and 40 samples of 1 cm³ of sediment of the recovered core have been separated
79 for analysis.

80 The chemical extraction of the spores and pollen grains were conducted by
81 treatment with hydrofluoric acid to remove silicates, hydrochloric acid for dissolution of
82 the carbonates, potassium hydroxide to neutralize humic acids, and acetic anhydride
83 with sulfuric acid (9 parts per 1) for acetolysis – removal of cellulose and cytoplasmic
84 content (Faegri and Iversen, 1989; Colinvaux et al., 1999). Then, each sample received
85 a tablet with spores of the exotic marker *Lycopodium clavatum* (batch 177745, average
86 concentration of 18,584 spores per tablet), for assessing the concentration of the pollen
87 grains per cm³ (Stockmar, 1971). The slides were mounted with Entellan Merck® and
88 housed in the Laboratory of Paleontology and Macroevolution of the Centro de
89 Pesquisas Professor Manoel Teixeira da Costa (LPM-CPMTC) as MP-P-0158 to MP-P-
90 0488.

91 The palynomorphs were counted and analyzed under a Zeiss Axio Imagerm2
92 microscope. The pollen sum included grains from both arboreal and shrub-like plants.
93 Spores and algae were not included in the total sum, but their sum was included in the
94 pollen diagrams as raw environmental information.

95 The description and identification of the palynomorphs were based on the
96 ornamentation and thickness of the cell wall and the number, type, position and shape of
97 the apertures (Punt et al., 2007). The parameters of grain size and shape followed those
98 proposed by Salgado-Labouriau (1973). The identification of pteridophyte and

99 bryophyte spores were based on comparison with extant specimen housed in the LPM-
100 CPMTC and the literature (e.g. Salgado-Labouriau, 1973; Tryon and Tryon, 1982;
101 Barth and Melhem, 1988; Colinvaux et al., 1999; Lorente, 2010; Cassino, 2011;
102 Bauermann et al., 2003).

103 The quantitative analysis was performed by counting at least 300 pollen grains
104 of gymnosperms and angiosperms per sample (Ybert et al., 1992). The spores of
105 *Lycopodium clavatum* were counted separately. Data are presented here as diagrams
106 depicting the percentage and concentration of taxonomically identified grains, generated
107 by the softwares Tilia and Tilia Graph, and cluster diagrams produced by Coniss
108 (Grimm, 1987).

109

110 2.2. Radiocarbon dating

111 Six samples have been dated with ^{14}C at Beta Analytic Lab (Florida, USA) by
112 Accelerator Mass Spectrometry (AMS). These samples have been elected due to their
113 position on the base, mid-height and top of the recovered core. As demanded by
114 standard technique, a small fraction of each sample, completely free of plant remains,
115 has been analyzed. The radiocarbon dates yielded by Beta Analytic are presented as
116 conventional years Before Present (yr BP, where P: 1950). These dates were calibrated
117 with the software Calib 7.0.2 (Stuiver and Reimer, 1993), with the database *IntCal13*
118 (Reimer et al., 2013), then present as calibrated years Before Present (cal yr BP, Table
119 1).

120

121 2.3. Isotopic analysis

122 In order to refine the results obtained from the palynological analysis, stable
123 isotope analyses of carbon ($\delta^{13}\text{C}$), nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$), along with elementary ratio of C and

124 N (C/N) and Total organic Carbon (TOC) were quantified. We obtained such values by
125 isotope ratio mass spectrometry and elemental analysis (ANCA SL 20/20) at the Stable
126 Isotope Laboratory (SIL) of CENA/USP. TOC and TN values were expressed in
127 percentage by dry weight, and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ were expressed with respect to the
128 standards VPDB and N2 respectively, with a precision of 0.2‰. Elemental results were
129 used to calculate the C/N (weight/weight) for the sediment samples. These data provide
130 information on the organic matter sources found in sediments.

131 The parameters employed here for assessing of these isotopic variables were
132 based on several authors (O'Leary, 1988; Meyers, 1994; Boutton, 1996). According to
133 them, the carbon is abundantly present in the lignin and cellulose of terrestrial plants;
134 the nitrogen occurs in proteins and nucleic acids of algae.

135 The distinction between C3 and C4 plant input to organic matter were based on
136 distinct values of $\delta^{13}\text{C}$. C3 plants, which comprise about 85% of plant species and
137 consist of arboreal vegetation and some grasses that develop in wetlands, have $\delta^{13}\text{C}$
138 values between -32‰ and -22‰, with an average of -27‰. C4 plants, which comprise
139 only 5% of the plant species and are composed of grasses commonly found in high
140 temperature and light environments, have $\delta^{13}\text{C}$ values ranging from -16‰ to -9‰ with
141 an average of -13‰ (O'Leary, 1988; Boutton, 1996).

142 The ratio between elementary values of carbon and nitrogen is used on the
143 discrimination of terrestrial or aquatic sources. Vascular plants have C/N values around
144 20 or even higher, due to the high content of cellulose and lignin, while the organic
145 matter originated from phytoplankton has values between 4 and 10 (Meyers, 1994).

146

147 **3. Results**

148 *3.1. Sampled sediment and age*

149 The 359 cm sedimentary core sample is composed of organic material with
150 predominance of black clay-silt sediments, with variable contribution of sand grains,
151 notably at 183 cm (VAF20), 227 cm (VAF25), 271 cm (VAF31), 231 cm (VAF37) and
152 345 cm (VAF38). In these sections, no palynomorphs have been recovered.

153 The mean calibrated ages of the sedimentary core sample varied from ~20,500
154 cal yr BP at 359 cm depth to ~400 cal yr BP at 13 cm depth (Table 1).

155 Table 1 – AMS radiocarbon ages and sedimentation rates of the core VAF:

156

157 3.2. Palynological analysis

158 The pollen diagram was divided in two phases along the VFA sampled
159 sediments: VAF I and VAF II (Fig. 2 and 3). The VAF I ranges from 20,500 to 3,650
160 cal yr BP. Plants typical of *Cerrado* grassland formations are not uniformly distributed
161 across this phase: the Poaceae is represented by 32% of the total palynomorphs, whereas
162 *Begonia*, *Mimosa*, *Polygala*, *Richardia*, Type Eupatorium, Type Gomphrena and Type
163 *Senna* sum up to approximately 9%. Some taxa commonly associated to *Campo Úmido*,
164 including here Cyperaceae, *Cuphea*, Euphorbiaceae, *Eryngium*, *Hedyosmum*,
165 *Hydrocotyle*, *Hyptis*, *Peperomia* and Type Gnaphalium, occur as 20.70%. No grain of
166 *Mauritia flexuosa* has been recorded here. Elements of *Cerrado* forest formations (*Ilex*,
167 *Hyeronima*, *Myrsine*, *Symplocos* and Type Alchornea) correspond to 3.67%, whereas
168 the typical trees of the *Cerrado* represent 13.31%. In the latter case, the most frequent
169 taxa are Araliaceae, *Cecropia*, *Brosimum gaudichaudii* and *Chamaecrista*, whereas
170 Anacardiaceae, Bignoniaceae, *Caryocar brasiliensis*, Ericaceae, *Eriotheca*,
171 Malpighiaceae, Myrtaceae, *Pseudobombax*, *Roupala*, *Sapium*, Sapotaceae, *Solanum*,
172 Theaceae and Type *Butia* occur in minor proportion. Some grains of *Podocarpus*,
173 typical of altitude forests represent less than 1% of the pollen sum.

174

175 **Fig. 2.** Percentage diagram of pollen groups (VAF I and VAF II: pollen intervals).

176

177 **Fig. 3.** Concentration diagram of pollen groups (VAF I and VAF II: pollen intervals).

178

179 The VFA II encloses ~7.650 cal yr BP to the present. The main differences with regard
180 to VAF I are the increase in the percentages of the typical *Campo Úmido* taxa,
181 represented by 23,49% of Cyperaceae grains. Grains of *Cuphea*, *Eryngium*,
182 *Hedyosmum*, *Hydrocotyle*, *Hyptis*, *Peperomia* and Type Gnaphalium accounted for
183 11.68%. The first occurrence of *Mauritia flexuosa* was recorded with 0,12% at ~3,650
184 cal yr BP with considerable increase (~7%) in frequency towards the top of the
185 sediment record, 1.000– 400 cal yr BP. This phase also includes herbaceous-shrub
186 elements typical of the *Cerrado* grassland formations, including grains of Poaceae
187 (27.40%), Type Gomphrena (4,12%), *Mimosa* (0,11%), *Richardia* (0,21%) and *Begonia*
188 (0.04%). The arboreal elements sum up 13% of total palynomorphs and were
189 represented mainly by grains of *Roupala*, *Ilex*, Anacardiaceae, *Euplassa*, *Butia*,
190 *Cecropia*, Ericaceae, Bignoniaceae, *Daphnopsis*, Type Eremanthus, *Myrsine*, *Schefflera*
191 and Araliaceae. Grains of arboreal and shrub elements classified within assorted plant
192 physiognomies of the *Cerrado*, such as Burseraceae, *Daphnopsis*, Melastomataceae,
193 Type Eremanthus, *Declieuxia*, *Faramea*, Sapindaceae, *Smilax*, Type Aspilia, Type
194 Bidens, Type Borreria, Type Senecio, Type Vernonia, represent 8,33% .

195

196 3.3. Isotopic analyses

197

198 The values of TOC range from 1.75 to 12.35% (mean: 6.9%; standard error (se):
199 0.75%) in VAF I and 1.73–22.44% (mean: 11.5%; se: 1.49 %) in VAF II (Fig. 4 and 5).
200 These variations probably refers to a significant decrease at ~3,650 cal yr BP (130–120
201 cm), and an increase from ~1,000 (66 cm) to 400 cal yr BP (22–20 cm). The curve

202 depicting the variation of TN has a similar profile, with a smaller variation in VAF I
203 (0.04–0.38%, mean: 0.19, se: 0.02) than in VAF II (0.05–1.29%, mean: 0.54%, se:
204 0.09%).

205

206 **Fig. 4.** Profile with curves of isotopic analyses. VAF I and VAF II: corresponds pollen
207 intervals.

208

209 **Fig. 5. A)** $\delta^{15}\text{N} \times \delta^{13}\text{C}$ values of VAF matter. **B)** $\delta^{13}\text{C} \times \text{C/N}$ values of VAF organic matter
210 (Interpretation was based according to data presented by Meyers (1994).

211

212 The $\delta^{13}\text{C}$ range between -22.58‰ to -20.13‰, and is lowest at 49 cm depth. The
213 values suggest a mixture of C3 and C4 plants, with a probable predominance of C3
214 plants. The $\delta^{15}\text{N}$ values revealed a gradual enrichment from ~20,000 cal yr BP to
215 ~6,000 cal yr BP (interpolated age), in VAF I. Values found near ~1,000 cal yr BP in
216 VAF II are even more enriched, suggesting higher contribution of freshwater
217 phytoplankton content to the organic matter, probably associated to more humid
218 conditions from ~3650 cal yr BP to the present.

219 The C/N mean values varied from 36.3 to 24.8 from, reinforcing the results of
220 $\delta^{15}\text{N}$ that were associated to more humid conditions from ~3650 cal yr BP to the
221 present.

222 Samples of nine most representative modern plants found around the VAF were
223 collected, and analyzed for $\delta^{13}\text{C}$ (Table 2).

224 Table 2 – $\delta^{13}\text{C}$ analysis of modern plant around the VAF:

225

226 **4. Discussion**

227 The analyses presented herein complements previous assessments conducted on
228 two distinct PESC Palm Swamps (Fig. 1), namely Juquinha Cuba (17°56'57.91'S,
229 44°15'30.64'W – altitude ~1,050 m) (Pires et al., 2016) and Carrasco da Raposa

230 (17°40'S, 44°11'W – altitude ~1,050 m) (Gomes et al., 2017). We will present a
231 detailed comparison of our results with those studies and other sampled areas of the
232 *Cerrado* in Brazil.

233 The palynological analyses of the Palm Swamps Juquinha Cuba and Carrasco da
234 Raposa suggested colder climate than that of the present during ~18,500–8,250 cal yr
235 BP and ~21,150–18,850 cal yr BP, respectively (Pires et al., 2016; Gomes et al., 2017).
236 This was supported by the associated occurrence of *Podocarpus*, *Drimys brasiliensis*,
237 Ericaceae and *Hedyosmum*, and agrees with the mean global temperatures around the
238 LGM. In contrast, that association appears in low concentration or is absent in the
239 present work, suggesting that the climate influence in distinct regions of the Serra do
240 Cabral during the LGM was not uniform. On the other hand, in all sampled areas of
241 PESC, the lower sections of the analyzed sedimentary core samples retain less humid
242 conditions than today before ~ 3,650 cal yr BP (Pires et al., 2016; Gomes et al., 2017).

243 Other areas subject to palynological analyses in central Brazil, located in Goiás
244 and Brasília respectively, including Cromínia and Águas Emendadas Palm Swamps, the
245 climate inferences from pollen studies were associated to dry and arid conditions during
246 ~20,000 to ~8,000 cal yr BP. Semi-humid conditions similar to the present appeared
247 from 8,000 cal yr BP onwards, allowing the formation and expansion of the Palm
248 Swamps in that region (Ferraz-Vicentini and Salgado-Labouriau, 1996; Barberi et al.,
249 2000).

250 The establishment of Palm Swamps at PESC (Juquinha/Cuba, Carrasco da
251 Raposa and VAF) occurred from ~4,000–3,500 cal yr BP, when the predominant plant
252 community was grassland formations, notably *Campo Úmido* (Pires et al., 2016; Gomes
253 et al., 2017). The expansion of these Palm Swamps occurred around 1,000 cal yr BP,

254 with a significant increase of pollen grains of *Mauritia flexuosa* in all sites, probably
255 associated to a warm and more humid climate at PESC.

256 Several Palm Swamps in the Chapadão das Gerais region, northwestern Minas
257 Gerais, approximately 200 km from PESC, have been subject to palynological studies
258 (Lorente et al., 2010; Cassino and Meyer, 2013; Cassino, 2014). However, in these
259 studies C and N isotopes were not used to characterize the contribution of C3 and C4
260 plants and terrestrial and phytoplanktonic sources to the organic matter of the
261 sedimentary record. Lorente et al. (2010) noticed drier conditions at the end of the
262 Pleistocene (~15,900 to ~13,500 cal yr BP) in the Fazenda Urbano Palm swamp,
263 Buritizeiro. In that period, herbaceous and shrubby plants, including Poaceae,
264 Asteraceae, Rubiaceae and *Drosera* predominate, and tree-like plants were absent,
265 which suggests the occurrence of *Campo Limpo*. The appearance of *M. flexuosa*
266 occurred at ~6,000 cal yr BP, but the Palm Swamp expanded only at ~1,500 cal yr BP
267 (Lorente et al., 2010), similar to PESC. In the Laçador Palm swamp, it was observed
268 cold climate since ~13,250 cal yr BP without affecting the occurrence of *M. flexuosa*
269 (Cassino and Meyer, 2013). In this locality, distinct phases of expansion and retraction
270 of the Palm Swamp linked to humid condition were recorded since ~13,000 cal yr BP.
271 According to the authors, two expansion phases suggesting warm and wet climate have
272 been recorded: a) ~13,000 and ~11,600 cal yr BP (interpolated age), when the *Campo*
273 *Limpo* was replaced by *Cerrado stricto sensu* and b) ~9,900 and ~7,000 cal yr BP
274 (interpolated age), that was followed by the increase of herbaceous vegetation
275 retreatment of the Palm Swamp and intensification of dry conditions up to ~2,000 cal
276 yr BP (Cassino and Meyer, 2013). The palynological analysis conducted in the Fazenda
277 São José (Cassino, 2014) concluded that the Palm Swamp was formed at ~14,200 cal yr
278 BP and expanded ~12,370 cal yr BP, with *Cerrado stricto sensu* as predominant plant

279 physiognomy. This latter is very distinct from PESC, but the factors governing such
280 differences are elusive.

281 Concerning the isotopic analyses, the results presented are comparable to those
282 obtained from Carrasco da Raposa Palm swamp. Gomes et al. (2017) also noticed a
283 mixture of C3 and C4 plants since ~21,000 to ~6,500 cal yr BP, with a predominance of
284 C3 plants. In both sites, the $\delta^{15}\text{N}$ and C/N data also indicated higher local humidity
285 since ~3650 cal yr BP than the former period (from ~20,000 cal yr BP).

286 Isotopic analyses conducted in a Holocene lacustrine deposit (Lorente et al.,
287 2014) resulted in conspicuously distinct profiles of TOC, N-t, $\delta^{15}\text{N}$ and C/N ratio
288 variation from those of the Palm Swamps assessed so far. These differences include
289 monotonous TOC and N-total variation across most of the core sample, central tendency
290 of C/N ratio and a decreasing profile variation of $\delta^{15}\text{N}$.

291 Concern climate change occurring differently in each location, may result from
292 locality idiosyncrasies or patterns of similarly controlled environments, Bueno et al.
293 (2017), compiled a dataset of checklists of tree species for typical *Cerrado* vegetation
294 and other geographically co-occurring vegetation types from 21,000 years to the recent.
295 The data resulted in the conclusion that the inter-table land depressions and the highland
296 slopes in the central region of the *Cerrado* domain probably operated as refuge for the
297 flora during its retraction in the LGM, which corroborates the tendency to increase the
298 humidity in specific locals, which is highly congruent with that reported in Serra do
299 Cabral.

300

301 **5. Conclusions**

302 The results of the VAF palynological analysis, associated with the ^{14}C dates, the
303 isotopic data (C-N) allowed to recognize two environmental phases in the area. The first

304 one from ~20,500 to ~3,650 cal yr BP with lower humidity and a mosaic of *Cerrado*
305 grassland formations, forests elements and *Cerrado* trees followed by the increase of
306 humid grasslands (*Campo Úmido*) and the establishment of Palm Swamp, i.e. the
307 appearance of *M. flexuosa* trees. The second phase, from ~3,650 cal yr BP to the
308 present, presented more humid climatic conditions than the previous phase, with further
309 development of Palm Swamp, associated to an increase of humid grassland elements
310 (*Campo Úmido*).

311 The establishment of Palm Swamps as of ~3,650 cal yr BP at PESC was
312 possibly controlled by altitudinal gradient typical of mountain ranges and includes the
313 establishment of wetter conditions in this portion of northern Minas Gerais. These
314 results reinforce that the climate changes influences over distinct areas of *Cerrado*
315 during Quaternary, were not uniform, even at similar latitudes.

316

317 **Acknowledgments**

318 We acknowledge Liz Moraes and Thiago Campos of ¹⁴C Laboratory of CENA for
319 helping with sample preparation for C and N isotopes; the IEF for granting research
320 license to the Serra do Cabral State Park (SIGED - IEF/DPBIO/GPROP -03921012013).

321 This study was funded by the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas
322 Gerais (FAPEMIG) and CAPES (PhD fellowship to MOSG).

323

324

325 **References**

326

327 Antunes, F.Z., 1986. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. Informe

328 Agropecuário, 12(138), 9-13.

329 Barberi, M., Salgado-Labouriau, M.L., Suguio, K., 2000. Paleovegetation and

330 paleoclimate of “Vereda de Águas Emendadas”, central Brasil. Journal of South

331 American Earth Sciences, 13, 241-254.

332 Barth, O.M., Melhem, T.S., 1988. Glossário ilustrado de palinologia. Editora da

333 UNICAMP, Campinas, Brazil.

334 Bauermann, S.G., 2003. Análises palinológicas e evolução paleovegetacional e

335 paleoambiental das turfeiras de Barrocadas e Águas Claras, Planície Costeira do Rio

336 Grande do Sul, Brasil. Ph.D. thesis, Instituto de Geociências, Univ. Fed. Rio Grande

337 do Sul, Brazil.

338 Bauermann, S.G., Radaeski, J.N., Evaldt, A.C.P., Queiroz, E.P., Mourelle, D., Prieto,

339 A., Silva, C.I., 2013. Pólen nas angiospermas diversidade e evolução. Editora da

340 ULBRA, Canoas, Brazil.

341 Boaventura, R.S., Peixoto, C.A.M., 1978. Estudo das veredas da Serra do Cabral -

342 CETEC, Belo Horizonte, Brazil.

343 Boutton, T.W., 1996. Stable carbon isotope ratios of soils organic matter and their use

344 as indicators of vegetation and climate change. In: Boutton, T.W., Yamasaki, S.I.

345 (Eds.), Mass spectrometry of soils. Marcel Dekker, New York, NY, pp. 47-82.

346 Bueno, M.L., Pennington, R.T., Dexter, K.G., Kamino, L.H.Y., Pontara, V., Neves,

347 D.M., Ratter, J.A., De Oliveira-Filho, A.T., 2017. Effects of Quaternary climatic

348 fluctuations on the distribution of Neotropical savanna tree species. *Ecography*, 40,

349 403–414.

350 Buso Junior, A.A., 2010. Dinâmica ambiental holocênica (vegetação, clima e nível
351 relativo marinho) baseada em estudos interdisciplinares de alta resolução, no litoral
352 norte do estado do Espírito Santo. Master's thesis. Cen. Ener. Nucl. Agricultura,
353 Univ. São Paulo, Brazil.

354 Cassino, R.F., 2011. Reconstituição da vegetação e do clima do Chapadão dos Gerais
355 durante o Holoceno, a partir da análise palinológica da vereda Laçador. Master's
356 thesis. Univ. Fed. Minas Gerais, Brazil.

357 Cassino, R.F., Meyer, K.E.B., 2013. Reconstituição Paleoambiental do Chapadão dos
358 Gerais durante o Quaternário Tardio, a partir da Análise Palinológica da Vereda
359 Laçador. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 16(1), 127-146.

360 Cassino, R.F., 2014. Reconstituição paleoambiental da região dos cerrados do norte de
361 Minas Gerais baseada na análise palinológica de sedimentos de veredas e na
362 comparação com conjuntos polínicos atuais. Ph.D. thesis, Univ. Brasília, Brazil.

363 Cassino, R.F., Martinho, C.T., Caminha, S.A.F.S., 2015. Modern pollen spectra of the
364 Cerrado vegetation in two national parks of Central Brazil, and implications for
365 interpreting fossil pollen records. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 223, 71-
366 86.

367 Colinvaux, P., De Oliveira, P.E., Patino, J.E.M., 1999. Amazon: Pollen Manual and
368 Atlas. Harwood Academic Publishers, Amsterdam, Netherlands.

369 Eiten, G., 1994. Vegetação do Cerrado. In Pinto, M.N. (Ed.), *Cerrado: caracterização,*
370 *ocupação e perspectivas.* UNB, SEMATEC: Brasília, DF, pp. 1-65.

371 Faegri, K., Iversen, J., 1989. *Textbook of Pollen Analysis.* Hafner Pub, New York,
372 United States of America.

373 Ferraz-Vicentini, K.R., Salgado-Labouriau, M.L., 1996. Palynological analysis of a
374 Palm Swamp in central Brasil. *Journal of South American Earth Sciences*, 9, 207-
375 219.

376 Françoso, R.D., Brandao, R., Nogueira, C.C., Salmona, Y.B., Machado, R.B., Colli
377 G.R., 2015. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado
378 Biodiversity Hotspot. *Natureza & Conservação*, 13, 35-40.

379 Geominas, 1996. Mapa de Precipitação Média Anual de Minas Gerais. Zoneamento
380 Agroclimático de Minas Gerais. <http://www.geominas.mg.gov.br>.

381 Gomes, M.O.S., Meyer, K.E.B., Pessenda, L.C.R., 2017. Reconstituição paleoambiental
382 da Vereda Carrasco da Raposa, Parque Estadual da Serra do Cabral, MG, Brasil, por
383 meio de estudos palinológico e isotópico. *Pesquisas em Geociências*, 44(1), 41-62.

384 Grimm, E.C., 1987. Coniss: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained
385 cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers &*
386 *Geosciences*, 13(1), 13-35.

387 Horák, I., Vidal-Torrado, P., Silva, A.C., Pessenda, L.C.R., 2011. Pedological and
388 isotopic relations of a highland tropical peatland, Mountain Range of the Espinhaço
389 Meridional (Brazil). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(1), 41-45.

390 IEF. Instituto Estadual de Florestas. 2005.
391 available in: <<http://www.ief.mg.gov.br/areas-protegidas/210>>

392 Köppen, W., Geiger, R., 1928. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. (Wall-
393 Map 150cmx200cm).

394 Ledru, M.P., Braga, P.I.S., Soubiès, F., Fournier, M., Martin, L., Suguio, K., Turcq, B.,
395 1996. The last 50,000 years in the Neotropics (Southern Brazil): evolution of
396 vegetation and climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 123(1-
397 4), 239-257.

398 Lopes, T.C., 2012. O Supergrupo Espinhaço na Serra do Cabral, Minas Gerais:
399 contribuição ao estudo de proveniência sedimentar. Master's thesis. Univ. Fed.
400 Minas Gerais, Brazil.

401 Lorente, F.L., 2010. Análise palinológica da vereda da Fazenda Urbano, município de
402 Buritizeiro, Minas Gerais, Brasil. Master's thesis. Univ. Fed. Minas Gerais, Brazil.

403 Lorente, F.L., Pessenda, L.C.R., Oboh-Ikuenobe, F., Buso JR., A.A., Cohen, M.C.L.,
404 Meyer, K.E.B., Giannini, P.C.F., De Oliveira, P.E., Rossetti, D.F., Borotti Filho,
405 M.A., França, M.C., De Castro, D.F., Bendassolli, J.A., Macario, K., 2014.
406 Palynofacies and stable C and N isotopes of Holocene sediments from Lake Macuco
407 (Linhares, Espírito Santo, southeastern Brazil): Depositional settings and
408 palaeoenvironmental evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology,*
409 *Palaeoecology*, 415, 69-82.

410 Mayewski, P.A., Rohling, E.E., Stager, J.C., Karlen, W., Maasch, K.A., Meeker, L.D.,
411 Meyerson, E.A., Gasse, F., van Kreveld, S., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist,
412 G. Rack, F., Staubwasser, M., Schneider, R.R. and Steig, E.J., 2004. Holocene
413 climate variability. *Quaternary Research*, 62(3), 243-255.

414 Melo, D.R., 1992. As veredas nos planaltos do noroeste mineiro, caracterização
415 pedológica e os aspectos morfológicos e evolutivos. Master's thesis, Univ. Est.
416 Paulista, Brazil.

417 Meyer, K.E.B., Cassino, R.F., Lorente, F.L., Raczka, M., Parizzi, M.G., 2014.
418 Paleoclima e Paleoambiente do Cerrado durante o Quaternário com base em análises
419 palinológicas. In: Carvalho, I.S, Garcia, M.J., Lana, C.C., Strohschoen Jr, O. (Eds.),
420 *Paleontologia: Cenários de vida - Paleoclimas*, Interciência, Brasil, RJ, vol. 5, pp.
421 397-414.

422 Meyers, P.A., 1994. Preservation of source identification of sedimentary organic matter
423 during and after deposition. *Chemical Geology*, 114, 289-302.

424 O'Leary, M.H., 1988. Carbon isotopes in photosynthesis. *Bioscience*, 38, 328-336.

425 Parizzi, M.G., Salgado-Labouriau, M.L., Kohler, C.H., 1998. Genesis and
426 environmental history of Lagoa Santa, SE Brazil. *The Holocene*, 8, 311-321.

427 Pessenda, L.C.R, De Oliveira, P.E., Mofatto, M., Medeiros, V.B., Garcia, R.J.F,
428 Aravena, R., Bendassolli, J.A., Leite, A.Z., Saad, A.R., Etchebehere, M.L., 2009.
429 The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since
430 28,000 ¹⁴C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. *Quaternary*
431 *Research*, 71, 437-452.

432 Pires, G.L.P., Meyer, K.E.B, Gomes, M.O.S., 2016. Palinologia da vereda
433 Juquinha/Cuba, Parque Estadual da Serra do Cabral, Minas Gerais, Brasil. *Revista*
434 *Brasileira de Paleontologia*, 19, 95-110.

435 Punt, W., Hoen, P.P., Blackmore, S., Nilsson, S., Le Thomas, A., 2007. Glossary of
436 pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 143, 1-81.

437 Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C.,
438 Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson,
439 T. P., Haflidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A.
440 G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R.
441 W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. M.,
442 Plicht, J. V. D. & Reimer, P. J. *Radiocarbon*, 55(4):1869-1887.

443 Ribeiro, J.F., Walter B.M.T., 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In:
444 Sano, S.M, Almeida, S.P., Ribeiro, J.F. (Eds.). *Cerrado: Ecologia e Flora*. Embrapa,
445 Brasil, pp. 151-199.

446 Salgado-Labouriau, M.L., 1973. Contribuição à Palinologia dos Cerrados. Brasil. Anais
447 da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, Brazil.

448 Salgado-Labouriau, M.L., 1994. História Ecológica da Terra. Brasil: Edgard Blücher,
449 São Paulo, Brazil.

450 Salgado-Labouriau, M.L., 2001. Reconstruindo as comunidades vegetais e o clima no
451 passado. *Humanidades*, 48, 24-40.

452 Souza, C.R.G., Suguio K., Oliveira, M.A.S, Oliveira P.E., 2005. Quaternário do Brasil.
453 Holos Editora, Ribeirão Preto, Brazil.

454 Stockmar, J., 1971. Tablets spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*, 13,
455 615-621.

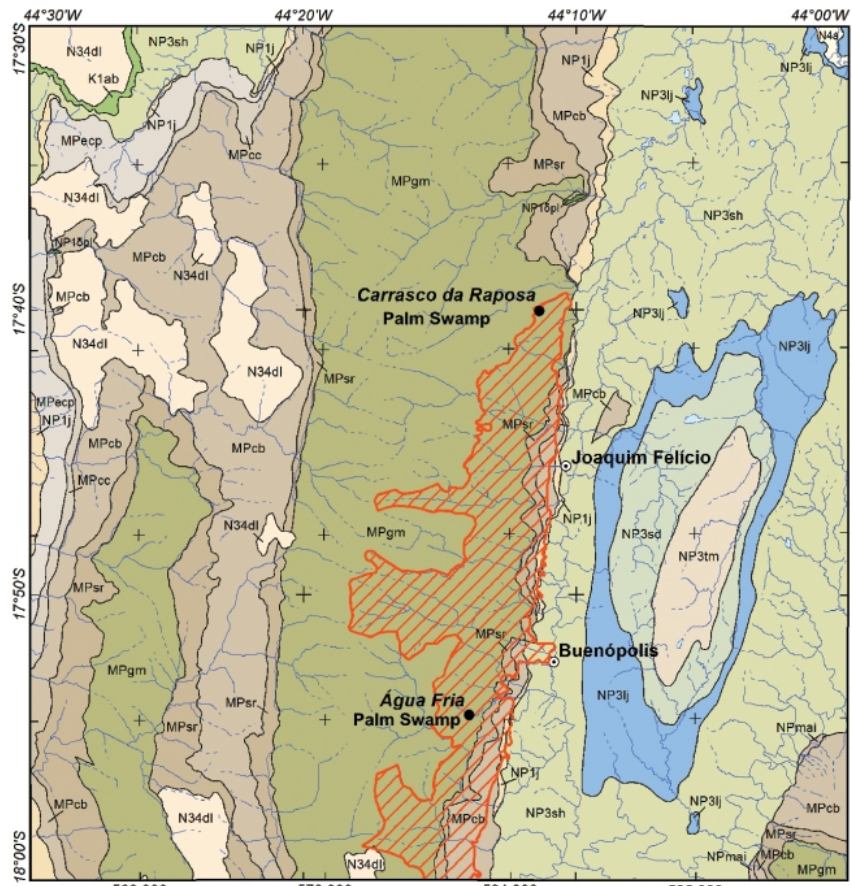
456 Stuiver, M., Reimer, P.J., 1993. Extended ¹⁴C Data Base and Revised CALIB 3.0 ¹⁴C
457 Age Calibration Program. *Radiocarbon*, 35: 215-230.

458 Tryon, R.M., Tryon, A.F., 1982. Ferns and allied plants with special reference to
459 tropical America. Springer-Verlag, New York, United States of America.

460 Uhlein, A. 1991. Transição cráton-faixa dobrada: um exemplo do Cráton do São
461 Francisco e da Faixa Araçuaí (Ciclo Brasileiro) no estado de Minas Gerais.
462 Aspectos estratigráficos e estruturais. São Paulo. Tese de Doutorado, Programa de
463 Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo p.
464 295.

465 Ybert, J.P., Salgado-Labouriau, M.L, Barth, O.M., Lorscheitter, M.L.,
466 Barros, M.A., Chaves, S.A.M., Luz, C.F.P., Ribeiro, M., Scheel, R., Vicentini, K.F.,
467 1992. Sugestões para padronização da metodologia empregada em estudos
468 palinológicos do quaternário. *Revista do Instituto Geológico*, 13, 47-49.

469

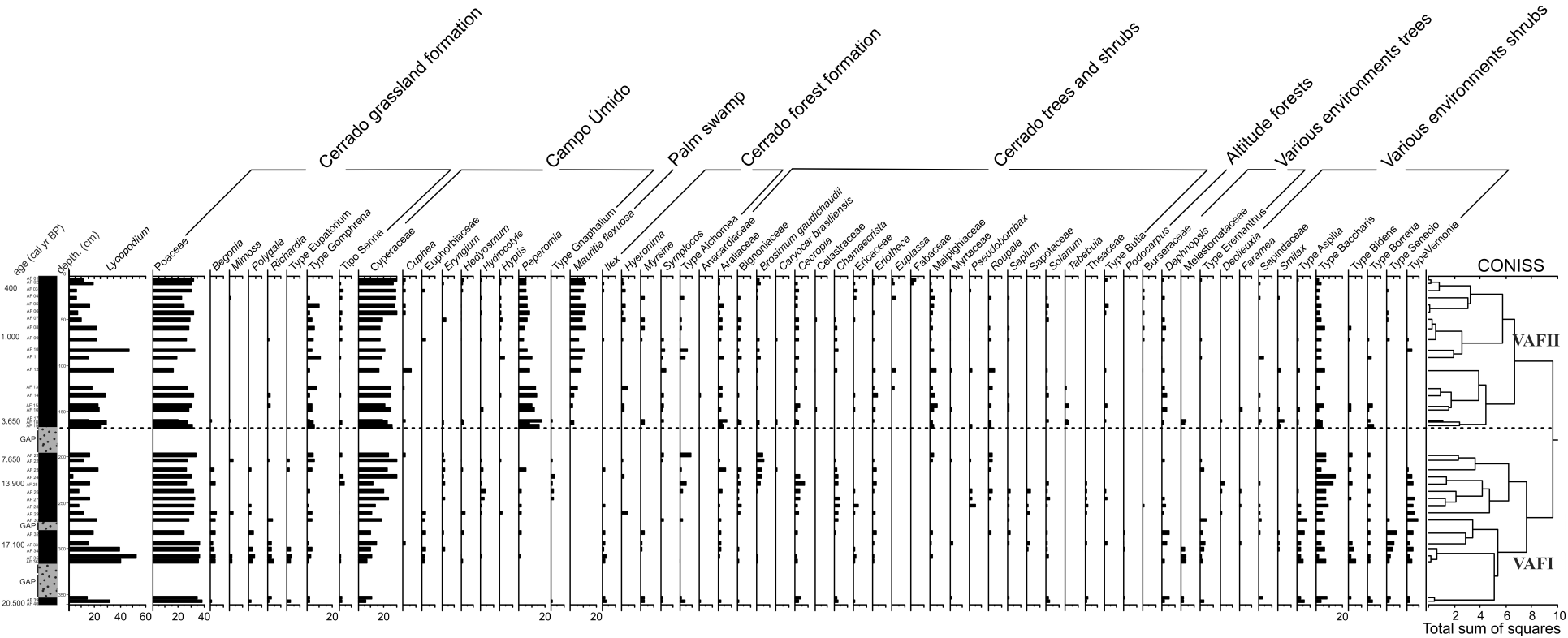


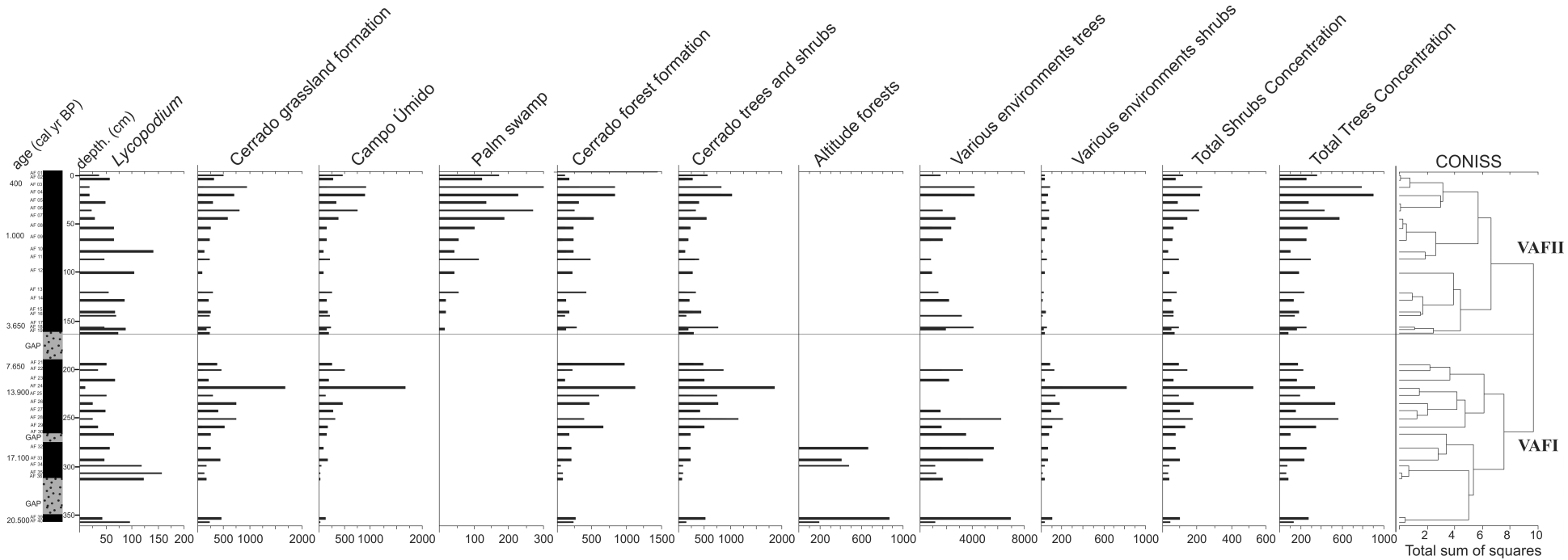
- COVERS**
- N4a Alluvial Deposits
 - N34dl Detrital and lateritic covers
 - Areado Group**
 - K1ab Polymictic conglomerate
 - Supergroup São Francisco**
 - Bambuí Group**
 - NP3tm Arkose, Metam. Claystone and Siltstone
 - NP3sd Metam. Sandstone, Claystone and Siltstone
 - NP3lj Calcarenite, Marl, Siltstone
 - NP3sh Claystone, Shale, Siltstone, Marl
 - Macaúbas Group**
 - NP1j Diamictite
 - Undivided Macaúbas Unit**
 - NPmai Quartzite, Metam. Diamictite
 - NP16pl Metam. Gabbro

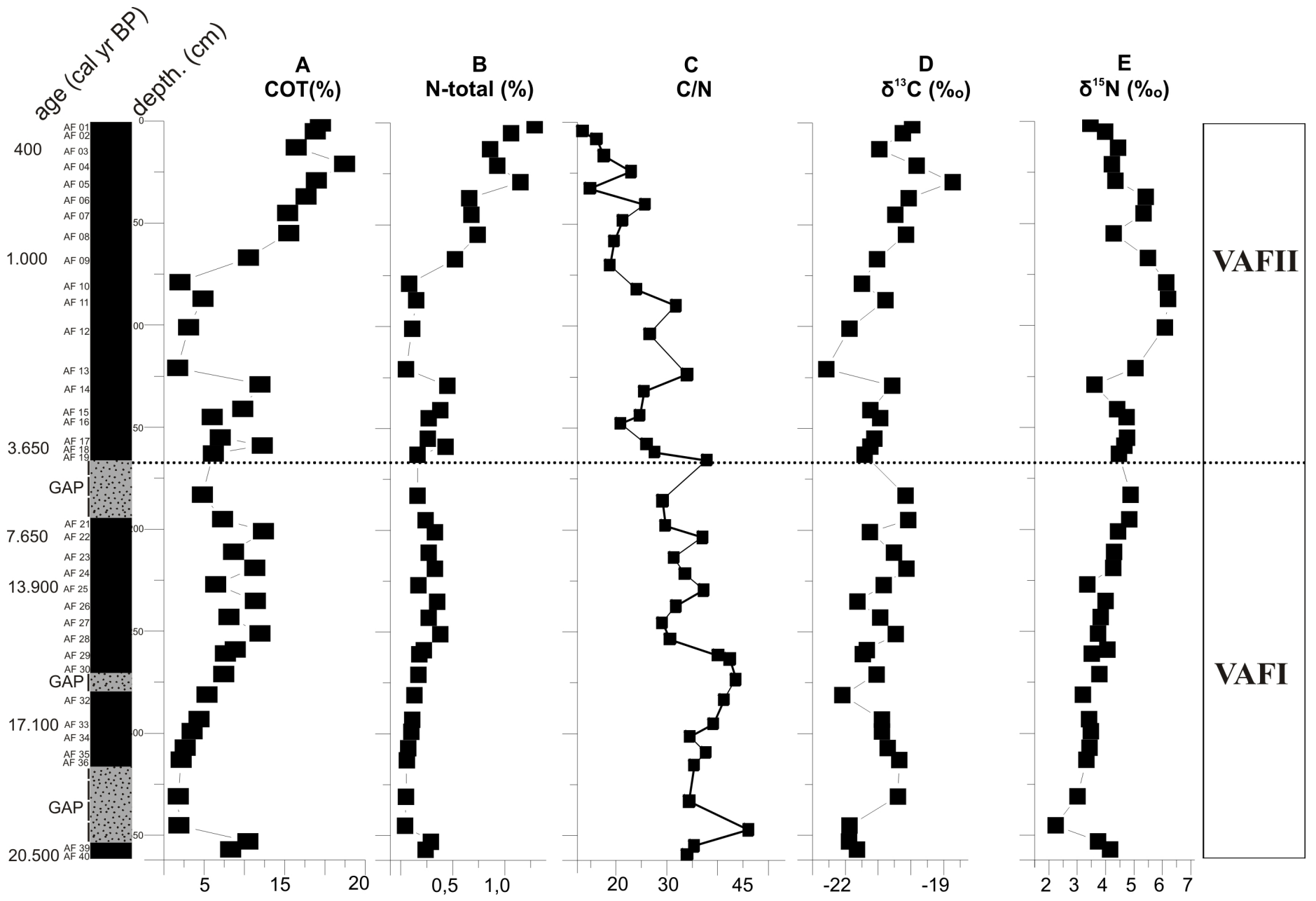
- Supergroup Espinhaço - Proterozoic**
- Conselheiro Mata Group**
- MPecp Mica quartzite, Quartzite
 - MPcc Phyllite, Quartzite, Siltstone
 - MPcb Metam. Sandstone
 - MPsr Metam. Claystone and Siltstone
- Diamantina Group**
- MPgm Quartzite

- Palm swamps
- ▨ PESC
- ⊙ City
- ~ Perennial water course
- - - Intermittent water course
- ☪ Waterbody









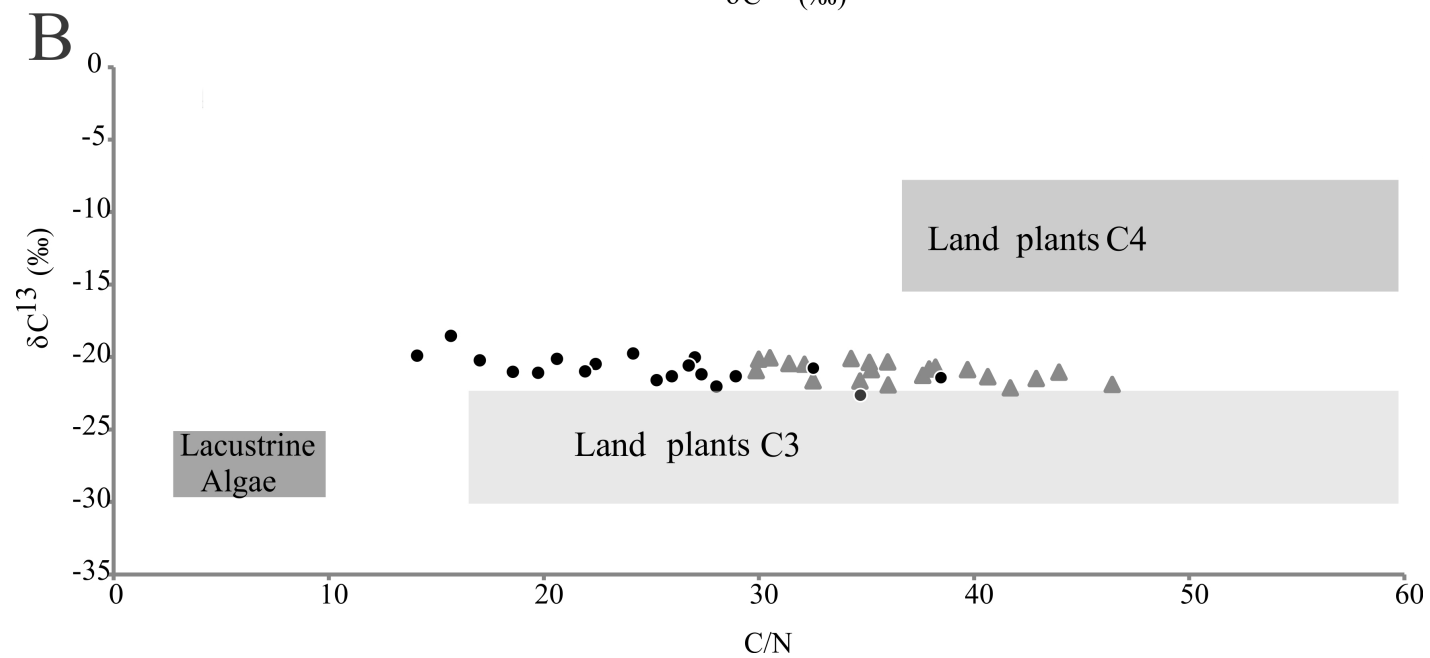
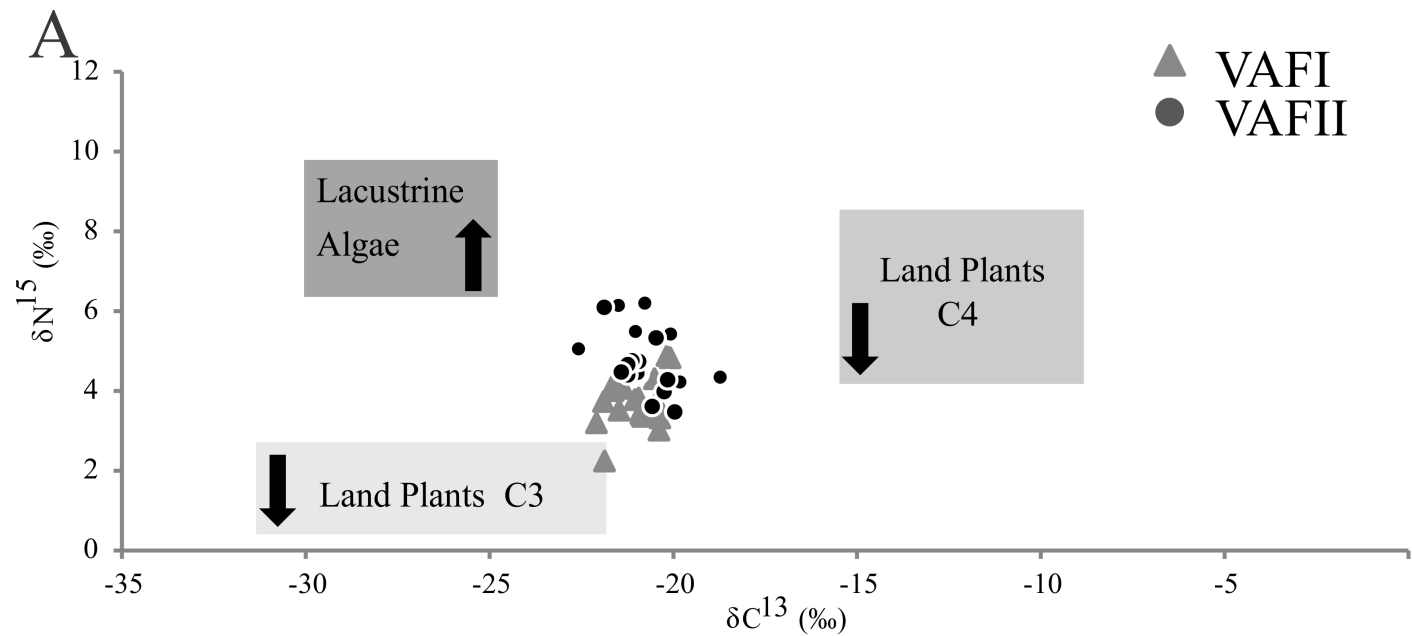


Table 1

AMS radiocarbon ages and sedimentation rates of the core VAF.

Laboratory number	Depth (cm)	Sample	Age (14C yr BP)	Age (cal yr BP, 2 σ)	Mean calibrated age (cal yr BP)	Deposition time (cm/yr)
Beta 415412	13	VAF03	290 \pm 30	[410 - 435]	~400	0,032
Beta 432593	69	VAF09	1170 \pm 30	[960 – 1070]	~1,000	0,069
Beta 432594	159	VAF18	3440 \pm 30	[3575 – 3700]	~3,650	0,043
Beta 4790	201	VAF22	6870 \pm 30	[7725- 7589]	~7,650	0,026
Beta 415411	227	VAF25	12,100 \pm 40	[13,775 – 14,030]	~13,900	0,016
Beta 432595	293	VAF33	14,120 \pm 40	[17,010 – 17,215]	~17,100	0,017
Beta 359714	359	VAF40	17,330 \pm 70	[20,390 – 20,590]	~20,500	0,018

Table 2 $\delta^{13}\text{C}$ analysis of modern plant around the VAF

Sample	Species	COT (%)	^{13}C (δ /pdb)
01 VAF	<i>M.flexuosa</i> (buriti)	39,68	-27,75
02 VAF	<i>Waltheria indica</i> (malva)	41,34	-30,79
03 VAF	<i>Cnidosculus urens</i> (cansanção)	39,94	-27,78
04 VAF	<i>Vernonia</i> (assa-peixe)	47,55	-28,86
05 VAF	<i>Byrsonima</i> (murici)	51,40	-29,46
06 VAF	<i>Poaceae</i> (capim vereda)	40,03	-12,94
07 VAF	<i>Asteraceae</i> (casadinha)	42,25	-25,21
08 VAF	<i>Paepalanthus</i> sp. (botão branco)	40,84	-24,04
09 VAF	<i>Paepalanthus</i> sp. (botão amarelo)	43,13	-11,33

CAPÍTULO V

5.1- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final dos trabalhos de pesquisa que envolveram esta tese, os resultados da análise palinológica das Veredas Carrasco da Raposa e Água Fria, associados às datações ^{14}C , aos dados isotópicos de C, N e ao significado ambiental dos palinomorfos identificados, foi possível estabelecer as condições paleoambientais e paleoclimáticas a partir de ~21.000 anos AP no contexto do Último Máximo Glacial até o presente na região da Serra do Cabral. Esta abordagem constitui um trabalho de temática e resultados inéditos na região do PESC-MG, não só pela natureza dos materiais estudados (sedimentos quaternários de uma vereda) quanto pela associação de dados palinológicos e isotópicos.

A correlação dos resultados mostrou que a influência das variações globais de temperatura não afetaram de forma uniforme os pontos amostrados na região do PESC, o que pode estar associado a idiosincrasias referentes ao relevo regional. A partir da associação do significado ambiental dos palinomorfos identificados, das datações ^{14}C e dos dados isotópicos de C e N foi possível verificar que nas áreas mais altas (~1.050 m) do PESC houve maior influência do UMG, porém, de maneira geral as condições mais úmidas nesta parte do norte de Minas Gerais nos últimos ~21 mil anos AP foi predominante nos registros.

Foram identificadas três fases com diferentes ocorrências de grupos fitofisionômicos e clima na Vereda Carrasco da Raposa (VCR I, VCR II e VCR III) e duas fases na Vereda Água Fria (VAF I e VAF II) (Figura 5). As semelhanças foram registradas a partir de ~3.550 anos AP, período de tempo que representou o marco da instalação das veredas no PESC. Nos dois locais estudados, foi verificada evidências,

através do registro polínico, de aumento na temperatura e também na umidade, com o aparecimento dos primeiros registros de *M. flexuosa* e aumento nas porcentagens de elementos típicos de Campo Úmido. No que diz respeito às análises isotópicas, na Vereda Carrasco da Raposa, havia uma ligeira predominância de plantas C3, na Vereda Água Fria predominância de plantas C4. As taxas de COT aumentaram significativamente nos níveis mais basais dos dois testemunhos (VAF 15 - 46 e VCR 1,5 - 11,5); e diminuíram em direção ao topo, tais dados permitiram inferir que o ambiente se tornou mais úmido na VAF, e alagado na VCR. A razão C/N nos dois locais amostrados apresentou resultados distintos, na VAF atingiu 46, enquanto na VCR não ultrapassou 11.5; o que confirmou maior influência de fitoplâncton de água doce nos sedimentos da Vereda Carrasco da Raposa.

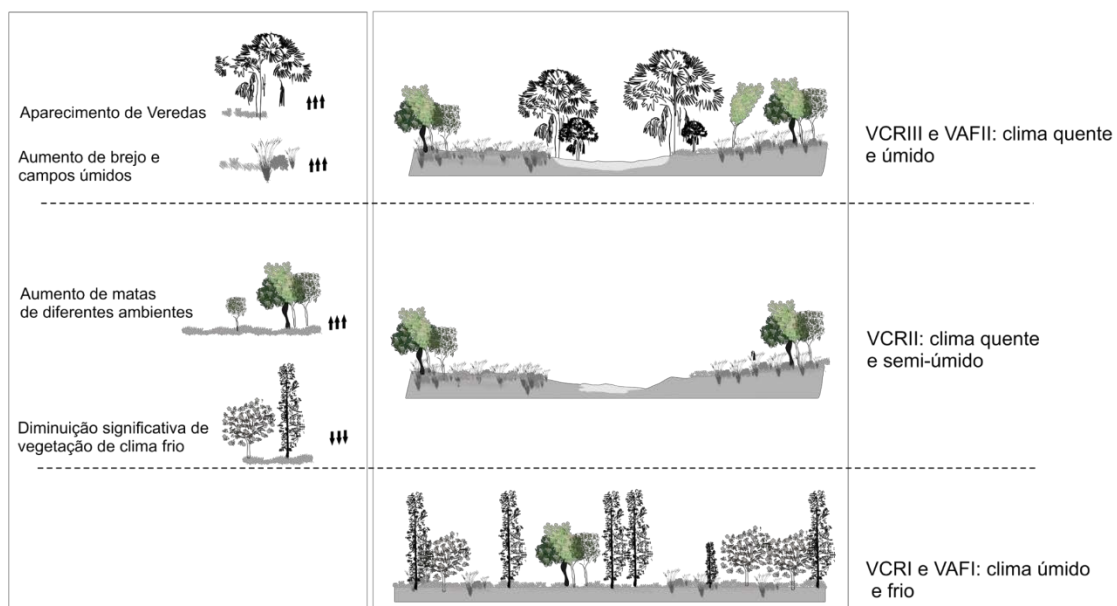


Figura 5. Reconstituição das fases encontradas nas Veredas CR e AF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Saber, A. N. 1971. Contribuição à Geomorfologia da área dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO. *Resumos expandidos*. São Paulo. EDUSP, p. 97-103.
- Absy, M.L., Cleef, A., Fournier, M., Martin, L., Servant, M., Sifeddine, A., Silva, M.F.D.A., Soubies, F., Suguio, K., Turcq, B. & Van der Hammen, T. 1991. Mise em évidence de quatre phase d'ouverture de La forêt dense dans Le sud-est de l'Amazonie au cours des 60.000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. *Comptes Rendus Academie des Sciences Paris*, 312: 673-678.
- Antunes, F.Z. 1986. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. Informe Agropecuário, Belo Horizonte. 12(138): 9-13.
- Barberi, M., Salgado-Labouriau, M.L. & Suguio, K. 2000. Paleovegetation and paleoclimate of "Vereda de Águas Emendadas", central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 13: 241-254.
- Barth, O.M. & Melhem, T.S. 1988. *Glossário ilustrado de palinologia*. Campinas, Editora da Unicamp, 77p.
- Bauermann S.G. 2003. *Análises palinológicas e evolução paleovegetacional e paleoambiental das turfeiras de Barrocas e Águas Claras, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre, 137p. Tese de Doutorado, Programa de pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Behling, H. 1995. A high resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: vegetation, climate and fire history. *Journal of Paleolimnology*, 4(3): 253-268.
- Behling, H. 2002. Late Quaternary Vegetation and Climate Dynamics in Southeastern Amazonia Inferred from Lagoa da Confusão in Tocantins State, Northern Brazil. *Amazoniana*, 17(1/2): 27-39.
- Behling, H. 2003. Late Glacial and Holocene Vegetation, Climate and Fire History Inferred from Lagoa Nova in the Southeastern Brazilian Lowland. *Vegetation History and Archaeobotany*, 12: 263-270.
- Biodiversitas. 2005. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação. Fundação Biodiversitas, 256p.
- Boaventura, R. S. 1988. Anais... 2o encontro latino-americano: relação ser humano-ambiente. Preservação das veredas - síntese. Belo Horizonte: 122p.
- Boutton, T.W. 1991. Stable carbon isotope ratios of soils organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In: Boutton, T. W., Yamasaki, S. I. (Ed.). *Mass spectrometry of soils*. New York: Marcel Dekker, 1996, p. 47-82.
- Buso Junior, A.A. 2010. *Dinâmica ambiental holocênica (vegetação, clima e nível relativo marinho) baseada em estudos interdisciplinares de alta resolução, no litoral*

norte do estado do Espírito Santo. São Paulo. 380p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Cassino, R.F. & Meyer, K.E.B. 2013. Reconstituição Paleoambiental do Chapadão dos Gerais durante o Quaternário Tardio, a partir da Análise Palinológica da Vereda Laçador. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 16(1): 127-146.

Cassino, R.F. 2014. *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*. 222 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade de Brasília.

Castro, J.P.C. 1980. *As veredas e sua proteção jurídica*. Fundação João Pinheiro - Análise e Conjuntura 10(5-6), 321-333.

Cohen, K.M., S.C. Finney, P. L. Gibbard, and J.-X. Fan. 2013. The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes* 36:199–204.

Colinvaux P., De Oliveira P.E. & Patino J.E.M. 1999. *Amazon Pollen Manual and Atlas/Manual e Atlas Palinológico da Amazônia*. Amsterdam, Harwood Academic Publishers, 322p.

De Oliveira, P.E. 1992. *A palynological record of Late Quaternary vegetational and climatic change in southeastern Brazil*. Ohio, 238p. Dissertation, The Ohio State University.

De Oliveira, P.E., Barreto, A.M.F. & Suguio, K. 1999. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of middle São Francisco River. *Palaeogeography, Paleoclimatology Palaeoecology* 152: 319-337.

Elhaï, H. *Biogéographie*. Armand Colin. 404p. 1968.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. 2008. Disponível em: <<https://www.embrapa.br>>.

Erdtman, G. 1952. *Pollen morphology and plant taxonomy*. Angiosperms. Stockholm: Almqvist & Wiksell. 539p.

Fægri K. & Iversen J. 1989. *Textbook of Pollen Analysis*. New York, Hafner Pub., 486p.

Ferraz-Vicentini, K.R. & Salgado-Labouriau, M.L. 1996. Palynological analysis of a palm swamp in central Brazil. *Journal of South American Earth Science*, 9(3/4): 207-219.

Geominas. 1996. Mapa de Precipitação Média Anual de Minas Gerais. Zoneamento Agroclimático de Minas Gerais. <http://www.geominas.mg.gov.br>.

Gomes, M.O.S, Meyer K.E.B & Pessenda L.C.R. 2017. Reconstituição paleoambiental da Vereda Carrasco da Raposa, Parque Estadual da Serra do Cabral, MG, Brasil, por meio de estudos palinológico e isotópico. *Pesquisas em Geociências* 44(1): 41-62.

Grimm, E.C. 1987. Coniss: a 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geoscience*, 13: 13-35.

Horák, I. 2009. *Relações pedológicas, isotópicas e palinológicas na reconstrução paleoambiental da turfeira da Área de Proteção Especial (APE) Pau de Fruta, Serra do Espinhaço Meridional*. São Paulo, 203p. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo.

Hyde H.A. & Williams D.A. 1945. Palynology. *Nature*, 155-265.

IBGE. 2002. *Vocabulário básico de recursos naturais e meio ambiente*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasília: 146p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>.

IEF. Instituto Estadual de Florestas. 2005. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/areas-protetidas/210>>.

Köppen, W. & Geiger, R. 1928. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. (Wall-Map 150cmx200cm).

Ledru, M.P. 1993. Late Quaternary Environmental and Climatic Changes in Central Brazil. *Quaternary Research*, 39(1): 90-98.

Ledru, M.P., Ceccantini, G., Gouveia, S.E.M., López-Sáez, J.A., Pessenda, L.C.R. & Ribeiro, A.S. 2006. Millennial-Scale Climatic and Vegetation Changes in a Northern Cerrado (Northeast, Brazil) since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 25: 1110-1126.

Lopes, T.C. 2012. *O Supergrupo Espinhaço na Serra do Cabral, Minas Gerais: contribuição ao estudo de proveniência sedimentar*. Minas Gerais, 116 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais.

Lorente, F.L. 2010. *Análise palinológica da vereda da Fazenda Urbano, município de Buritizeiro, Minas Gerais, Brasil*. Minas Gerais, 230p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais.

Lorente, F.L., Meyer, K.E.B. & Horn, A.H. 2010. Análise Palinológica da Vereda da Fazenda Urbano, Município de Buritizeiro, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, 18(2): 57-72.

Lorente, F.L. *et al.* 2014. Palynofacies and stable C and N isotopes of Holocene sediments from Lake Macuco (Linhares, Espírito Santo, southeastern Brazil): depositional settings and palaeoenvironmental evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 415: 69-82.

Mayewski, P., Rohling, E., Curt Stager, J., Karlén, W., Maasch, K., Meeker, L.,...Steig, E. 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62(3), p. 243-255.

Melo, D. R. 1992. *As veredas nos planaltos do noroeste mineiro; caracterização pedológica e os aspectos morfológicos e evolutivos*. Master's thesis, Universidade Estadual Paulista.

Mendonça, R.C., Felfili, J.M., Walter, B.M.T., Silva Júnior, M.C., Rezende, A.V., Figueira, J.S. & Nogueira, P.E. 2008. Flora vascular do bioma Cerrado: um "checklist" com 11.430 espécies. *In: Sano, S.M., Almeida, S.P. & Ribeiro, J.F. (Ed.). Cerrado: Ecologia e Flora*. v. 2. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, p. 423-1279.

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: Carvalho, I. S., Garcia, M.J., Lana, C.C., Strohschoen, O. (Eds.). Paleontologia: Cenários da Vida*, v. 5, Interciência, Rio de Janeiro, p. 403-420.

Meyers, P.A. 1994. Preservation of source identification of sedimentary organic matter during and after deposition. *Chemical Geology*, Amsterdam, v. 114, p. 289-302.

O'Leary, M.H. 1988. Carbon isotopes in photosynthesis. *Bioscience*, Washington, v. 38, p. 328-336.

Oliveira, M.A.T., Behling, H., Pessenda, L.C.R. 2008. Late Pleistocene and mid-Holocene environmental changes in highland valley head areas of Santa Catarina state, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 26: 55-67.

Parizzi, M.G., Salgado-Labouriau, M.L. & Kohler, C.H. 1998. Genesis and environmental history of Lagoa Santa, SE Brazil. *The Holocene*, 8(3): 311-321.

Pessenda, L.C.R., Aravena, R.M. & Melfi, A.J. 1996. The use of carbon isotopes (^{13}C , ^{14}C) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. *Radiocarbon*, New Haven, v. 38, n. 2, p. 191-201.

Pessenda, L.C.R., Gouveia, S.E.M., Aravena, R., Boulet, R. & Valencia, E.P.E. 2004. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. *Quaternary International*, Oxford, v. 114, p. 35-43.

Pessenda, L.C.R., Ledru, M.P., Gouveia, S.E.M., Aravena, R., Ribeiro, A.S., Bendassolli, J.A., Boulet, R. 2005. Holocene palaeoenvironmental reconstruction in northeastern Brazil inferred from pollen, charcoal and carbon isotope records. *The Holocene* 15(6), 814-822.

Pessenda, L.C.R., De Oliveira, P.E., Mofatto, M., Medeiros, V.B., Garcia, R.J.F., Aravena, R., Bendassolli, J.A., Leite, A.Z., Saad, A.R., Etchebehere, M.L. 2009. The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 ^{14}C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. *Quat. Res.* 71, 437-452.

Pessenda, L.C.R., Saia, S.E.M.G., Gouveia, S.E.M., Ledru, M.P., Sifeddine, A., Amaral, P.G.C., Bendassolli, J.A. 2010. Last millennium environmental changes and climate inferences in the Southeastern Atlantic forest, Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.* 82 (3), 717-729.

Pires, G.L.P., MEYER, K.E.B. & GOMES, M.O.S. 2016. Palinologia da vereda Juquinha/Cuba, Parque Estadual da Serra do Cabral, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia* 19: 95-110.

Punt, W., Hoen, P.P., Blackmore, S., Nilsson, S. & Le Thomas, A. 2007. Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 143: 1-81.

Raczka, M.F., De Oliveira, P.E., Bush, M. & McMichael, C.H. 2012. Two paleoecological histories spanning the period of human settlement in southeastern Brazil. *Journal of Quaternary Science*, 28(2): 144-151.

Reimer, P.J., Baillie, M.G.L, Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J. & Weyhenmeyer, C.E. 2009. Intcal09 and marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51:1111-1150.

Ribeiro, J. F. & Walter, B. M. T. 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. *In: Sano S.M., Almeida S.P., Ribeiro J.F. (Ed.). Cerrado: Ecologia e Flora. v.2. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, p. 151-199.*

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

Salgado-Labouriau, M.L. 1994. *História ecológica da Terra*. São Paulo, Edgard Blücher, 320p.

Salgado-Labouriau, M.L. 1997. Late Quaternary palaeoclimate in the savannas of South América. *Journal of Quaternary Science*, 12(5): 371-379.

Salgado-Labouriau, M.L. 2001. Reconstruindo as comunidades vegetais e o clima no passado. *Humanidades*, 48: 24-40.

Silva, J.M.C. & Santos, M.P.D. 2005. A Importância relativa dos processos biogeográficos na formação da avifauna do Cerrado e de outros biomas brasileiros. *In: Scariot, A.O., Silva, J.C.S., Felfili & J. Maria, org. Biodiversidade Ecologia e Conservação do Cerrado*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 224-23.

Silva, T. A. 2007. *Proposta Metodológica para Delimitação e Classificação do Ambiente de Vereda Utilizando Imagens Orbitais*. Minas Gerais, 88p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais.

Souza, M.M.D., Branco, F.R., Jasper, A. & Pessenda, L.C.R. 2013. Evolução paleoambiental holocênica da porção nordeste do estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 16, p. 297-308.

Souza Filho, P.W.M. & El-Robrini, M. 1995. Um exemplo de sistema deposicional dominado por macromaré: A Planície Costeira Bragantina - NE do Pará (Brasil). *In:*

CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 5, 1995, Niterói, *Anais...*, ABEQUA, p. 278-284.

Stockmar, J. 1971. Tablets spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*, 13 (4): 615-621.

Stuiver, M. & Reimer, P.J. 1993. Extended 14C Data Base and Revised Calib 3.0 14C Age Calibration Program. *Radiocarbon*, 35: 215-230.

Tryon, R.M. & Tryon, A.F. 1982. *Ferns and allied plants*. New York: Springer-Verlag. p. 25-39.

Uhlein, A. 1991. *Transição cráton-faixa dobrada: um exemplo do Cráton do São Francisco e da Faixa Araçuáí (Ciclo Brasileiro) no estado de Minas Gerais. Aspectos estratigráficos e estruturais*. São Paulo, 295p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Uhlein, A., De Trompette, R. & Egydio-Silva, M. 1995. Rifeamentos superpostos e tectônica de inversão na borda sudeste do Cráton do São Francisco. *Geonomos*, 3: 99-107.

Uhlein, A., Alvarenga, C.J.S., De Trompette, R., Dupont, H.S.J.B., Egydio-Silva, M., Cukrov, N. & Lima, O.N.B. 2004. Glaciação neoproterozóica sobre o cráton do São Francisco e faixas dobradas adjacentes. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito-Neves, B.B. (org.) *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, 539-553p.

Vianna, M. B. 1987. Programa de Preservação de Veredas na Área de Influência da UHE de Miranda. Universidade Federal de Minas Gerais.

Viveiros, J.F.M. & Walde, D. 1976. Geologia da Serra do Cabral, Minas Gerais, Brasil. *Münsterische Forschungshefte Geologie und Paläontologie*, 38/39: 15-27.

Walde, D. 1978. Desenvolvimento faciológico do Pré-cambriano entre a Serra Mineira e a Serra do Cabral (região sudoeste da Serra do Espinhaço, Minas Gerais). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. 1978. Recife. *Anais...* Recife, v. 2, p. 711-725.

Ybert, J.P., Salgado-Labouriau, M.L, Barth, O.M, Lorscheitter, M.L, Barros, M.A, Chaves, S.A.M., Luz, C.F.P., Ribeiro, M., Scheel, R. & Vicentini, K.F. 1992. Sugestões para padronização da metodologia empregada em estudos palinológicos do quaternário. *Revista IG*, São Paulo 13: 47-49.