

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**MAGNETISMO AMBIENTAL DA TRANSIÇÃO APTIANO-
ALBIANO NO TESTEMUNHO POGGIO LE GUAINÉ, ITÁLIA
CENTRAL**

DJENIFFER SMANIOTTO SOUZA DA SILVA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Jairo Francisco Savian

Porto Alegre - 2022

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**MAGNETISMO AMBIENTAL DA TRANSIÇÃO APTIANO-
ALBIANO NO TESTEMUNHO POGGIO LE GUAINÉ, ITÁLIA
CENTRAL**

DJENIFFER SMANIOTTO SOUZA DA SILVA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Jairo Francisco Savian

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Everton Frigo – Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)

Prof. Dr. Gelvam André Hartmann – Universidade de Campinas (UNICAMP)

Profa. Dra. María Alejandra Gómez Pivel – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Dissertação de Mestrado apresentada como
requisito parcial para a obtenção do Título de
Mestre em Geociências

Porto Alegre – 2022

CIP - Catalogação na Publicação

Silva, Djeniffer Smaniotto Souza
Magnetismo ambiental da transição aptiano-albiano no
testemunho de Poggio le Guaine, Itália Central/ Djeniffer
Smaniotto Souza da Silva. 2022.

107 f.

Orientador: Prof. Dr. Jairo Francisco Savian.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-
Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Aptiano-albiano. 2. Cretáceo. 3. Magnetismo ambiental.
4. OAE 1b. 5. Bacia de Umbria Marche. 6. Testemunho de
Poggio le Guaine. I. Savian, Jairo Francisco, orient. II. Título.

“Bem sei eu que tudo podes, e que nenhum dos teus propósitos pode ser impedido”.

(Jó 42:2)

RESUMO

A formação pelágica Marne a Fucoidi, pertencente a Bacia de Umbria-Marche (Itália Central), é um dos registros mais preservados, do limite Aptiano-Albiano, que marca as perturbações oceânicas associadas ao Evento Anóxico Oceânico (EAO) 1b. A perturbação no ciclo do carbono durante o EAO 1b está associada a episódios de vulcanismo intensos no Platô Sul de Kerguelen (SKP). Entretanto, a causa e o efeito sugeridos para o EAO 1b permanecem desconhecidos. Evidências sedimentológicas e paleontológicas sugerem que tanto as mudanças na produtividade da água de superfície quanto nas condições da água de fundo contribuíram para os padrões de sedimentação observados. Neste estudo, investigamos se as assinaturas de magnetismo ambiental preservadas nestes sedimentos podem proporcionar uma melhor compreensão paleoceanográfica da transição Aptiano-Albiano. Utilizamos técnicas de magnetismo ambiental para a investigação de mudanças na concentração magnética, composição e tamanho de grãos que ocorrem no registro magnético de alta resolução em rochas. Especulamos que as variações apresentadas nos parâmetros de magnetismo ambiental são consistentes com o aumento do aporte de material terrígeno, portanto, aumento do fornecimento de nutrientes. Esses picos podem estar relacionados com pulsos vulcânicos do SKP dentro do EAO 1b. Demonstramos que os parâmetros magnéticos ambientais podem fornecer proxies úteis para a entrada terrígena e ajudar a resolver os fatores de mudanças paleoceanográficas e paleoambiental locais e globais.

Palavras-Chave: Magnetismo Ambiental; Marne a Fucoidi; Aptiano-Albiano; EAO 1b;

ABSTRACT

The pelagic Marne a Fucoidi Formation from the Umbria-Marche Basin (Central Italy) is one of the most preserved archive of the Aptian-Albian boundary marked by oceanic perturbations associated with Oceanic Anoxic Event (OAE) 1b. The perturbation in the carbon cycle during the OAE 1b is associated with volcanic episodes of extensively volcanism in the Southern Kerguelen Plateau (SKP). However, the cause and effect of the suggested for the OAE 1b remain unclear. Sedimentological and paleontological evidence suggests that both changes in surface water productivity and in bottom water conditions contributed to observed black-green-red sedimentation patterns. In this study we investigate if environmental magnetism signatures preserved in these sediments can provide an improved understanding of the Aptian-Albian paleoceanography. We use environmental magnetism techniques for the investigation of changes in magnetic concentration, composition, and grain size that occur in the high-resolution rock magnetic record. We speculate that systematic variations in environmental magnetism parameters are consistent with increased terrigenous input, therefore, increased nutrient supply. Spikes in terrigenous material can be related with volcanic pulses of the SKP within OAE 1b. We demonstrate that environmental magnetic parameters can provide useful proxies for terrigenous input that can help to resolve local versus global drivers of paleoenvironmental and paleoceanographic changes.

Keywords: Environmental magnetism, Marne a Fucoidi; Aptian-Albian; OAE 1b

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1: (A) Localização da Seção de Poggio le Guaine (PLG) na Itália central, no Monte Nerone. (B) Localização atual da perfuração do testemunho Poggio le Guaine (PLG). (C) Mapa paleogeográfico ~125 Ma mostrando a localização da seção de Poggio le Guaine (Extraído de Savian et al., 2016).....19

Figura 2: Fotografia do afloramento da seção de PLG, mostrando o local da perfuração do testemunho. A perfuratriz rotacional utilizada recuperou um total de 98.72 metros de testemunho, com recuperação de 100%.20

Figura 3: Arcabouço estratigráfico do testemunho de Poggio le Guaine com profundidades estratigráficas reais de acordo com as medições de mergulho obtidas no testemunho e afloramento. Ocorrência e distribuição dos folhelhos negros (*black shales*), ricos em matéria orgânica, incluindo os Eventos Anóxicos Oceânicos (*Oceanic Anoxic Events* - OAEs) e os intervalos discretos onde os níveis de cor avermelhada se tornam dominantes (*Cretaceous Oceanic Red Beds* - CORBs). A bioestratigrafia integrada é adaptada de Coccioni et al. (1987, 1989, 1990, 1992), Erba (1988, 1992), Tiraboschi et al. (2009).....22

Figura 4: Correlação entre o ajuste da susceptibilidade magnética e a solução astronômica de La2004 com o modelo de idade para o período Aptiano do testemunho PLG (Leandro et al., 2022). (a) Curva da taxa de sedimentação baseada na calibração astronômica de 405-kyr; (b) $\delta^{18}\text{O}$; (c) Dados de susceptibilidade magnética (MS) em escala logarítmica com interpolação linear e tendência linear (linha preta) e o filtro de saída de ~405 kyr (linha verde); (d) Solução orbital La2004 para os ciclos de excentricidade de ~100 kyr (linha azul) e ~405 kyr (linha vermelha); (e) Dados calibrados pela excentricidade (linha roxa). As bandas em cinza representam os eventos Selli, Wezel, Fallot, 113/Jacob e Kilian (início do EAO 1b). A banda azul hachurada representa o *cold snap*.24

Figura 5: Copilação de dados de $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ e outros dados geoquímicos correlacionando os eventos anóxicos oceânicos à episódios vulcânicos de grandes províncias ígneas (Matsumoto et al., 2022).25

Figura 6: Posição estratigráfica dos principais eventos anóxicos oceânicos (EAOs) entre os períodos Jurássico e Cretáceo (adaptado de Jenkyns, 2010).....	28
Figura 7: Registro isotópico do carbono e Os na seção de Poggio le Guaine definindo o EAO 1b (adaptado de Matsumoto et al., 2020).	30
Figura 8: Diagramas esquemáticos da aquisição de magnetização em sedimentos. (a) Magnetização Remanente Depositional (MRD); (b) Magnetização Remanente Pós-deposicional (pMRD); e (c) a pMRD ao lado de uma magnetização remanente biogeoquímica (MRB). (Adaptado de Roberts et al., 2013).....	34
Figura 9: Curvas de histerese (M-H) para uma substância ferromagnética (modificado de McElhinny & McFadden, 2000). Coercividade HC, magnetização de saturação Ms, remanência de saturação MRS e coercividade de remanência HCR.	39
Figura 10: Curvas de reversão de histereses parciais: (a) e série de FORCs obtidos através dos repetidos passos; e (b) Roberts et al. (2020a).....	40

CAPÍTULO II

Figure 1: Palaeogeographic reconstruction for the Aptian-Albian transition at ~113 Ma (modified after Sabatino et al., 2018) showing the location of the Poggio le Guaine (PLG) section and of the Kerguelen Plateau (KP). The inset figure shows the present day position of the PLG core.	61
Figure 2: Magneto-, Bio-, and isotope ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$) stratigraphy of the upper Aptian - lower Albian part of the PLG core. In the isotope curves dots are single data points and the dashed lines are the C-isotope stages of Herrle et al. (2004). .	66
Figure 3: Lithostratigraphic column for the interval between 52 and 64 m at Poggio le Guaine core and environmental magnetic parameters as a function of stratigraphic position. (a) magnetic susceptibility in three different frequencies (976, 3904 and 15616 Hz); (b) anhysteretic remanent magnetization at 100 mT; (c) isothermal remanent magnetization at 900 mT; (d) isothermal remanent magnetization at -100 mT and -300 mT; (e) hard isothermal remanent magnetization; (f) S-ratio; and (g)	

ARM_{100mT}/IRM_{900mT}. The shaded areas mark the intervals of the black-shales of the OAE1b, 113/Jacob, Kilian, Monte Nerone, Urbino/Parquier, Leenhardt, respectively.68

Figure 4: Hysteresis (a-c), IRM acquisition (d-f), and thermomagnetic curves (g-i), and FORC diagrams for representatives for the studied part of the PLG core.69

Figure 5: Day plot (Day et al., 1977) for representative samples from the PLG core. The data fields represented in the Mrs/Ms versus Bcr/Bc diagram are for Single Somain (SD), Pseudo-single Domain (PSD) and Multidomain (MD) titanomagnetite particles.70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGICO – *Advanced Geoscience Instruments Company*

ARM – *Anhyseretic Remanent Magnetization*

ASM – Anisotropia de Susceptibilidade Magnética

Corg – Sedimentos Ricos em Carbono Orgânico

CCD – Calcite Compensation Depth

CORE - Centro Oceanográfico de Registros Estratigráficos

DC – Campo Direto

DRM – Magnetização Remanente Deposicional

EAO - Evento Anóxico Oceânico

Fe – Elemento Químico Ferro

FORC - Curvas de Reversão de Primeira Ordem, traduzido do inglês *First-order Reversal Curve*

GTS – *Geological Time Scale*

IAG – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

IO-USP - *Oceanographic Institute of the University of São Paulo*

IRM – *Isothermal Remanent Magnetization*

LIPs – Grandes Províncias Ígneas, traduzido do inglês *Large Igneous Provinces*

MD – Multidomínios, do inglês *multidomain*

MRA – Magnetização Remanente Anisterética

MRB – Magnetização Remanente Biogeoquímica

MRD – Magnetização Remanente Deposicional

MRI – Magnetização Remanente Isotérmica

MRIS – Magnetização Remanente Isotérmica de Saturação

MRN – Magnetização Remanente Natural

MS – Susceptibilidade magnética

NRM – Natural Remanent Magnetization

OAE – *Oceanic Anoxic Event*

ODP - *Ocean Drilling Program*

OMZ – Modelo de Expansão de Camada de Oxigênio Mínimo, do inglês *Expansion of the Oxygen Minimum Layer*

OS – Osmium

pDRM – Remanência Pós-deposição

pIRM – Indução Parcial da Amostra

PLG – Poggio le Guaine

pMRD – Magnetização Remanente Pós-deposicional

PSD – Pseudodomínio Simples, do inglês *Pseudo-single Domain*

SD – Domínio Simples, do inglês *Single Domain*

SP - *Superparamagnetic*

SKP – Platô Sul de Kerguelen, do inglês *Southern Kerguelen Plateau*

STO – Modelo de Estagnação Oceânica, do inglês *Ocean Stagnation Model*

Tc – Temperatura de Curie

TOC – Carbono Orgânico Total

USP – Universidade de São Paulo

USPMag - *Paleomagnetic Laboratory of the University of São Paulo*

V-PDB - *Vienna Pee Dee Belemnite*

VRM – *Vertical Roller Mill*

LISTA DE SÍMBOLOS

H_c - Coercividade

H_{cr} – Coercividade de remanência

H_i – Campo magnético induzido

k_1 – Eixo de susceptibilidade magnética máximo

k_2 – Eixo de susceptibilidade magnética intermediário

k_3 – Eixo de susceptibilidade magnética mínimo

K – Susceptibilidade magnética total

K_f – Susceptibilidade magnética ferrimagnética

K_p – Susceptibilidade magnética paramagnética

K_d – Susceptibilidade magnética diamagnética

k_{ij} – Tensor de susceptibilidade magnética

K_m – Susceptibilidade magnética média

M – Magnetização

M_i – Magnetização induzida

M_s – Magnetização de saturação

M_{rs} – Magnetização remante de saturação

P – Grau de anisotropia

T – Parâmetro de forma

T_c – Temperatura de Curie

T_N – Temperatura de Néel

SUMÁRIO

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	15
CAPÍTULO I: TEXTO INTEGRADOR	16
1.1 INTRODUÇÃO	17
1.2 ÁREA DE ESTUDO	18
1.3 OBJETIVOS	26
1.4 ESTADO DA ARTE	26
1.4.1 Eventos Anóxicos Oceânicos (EAOs).....	26
1.4.2 Evento Anóxico Ocêânico 1b.....	28
1.5 METODOLOGIA	30
1.5.1 Amostragem e preparação das amostras.....	31
1.5.2 Parâmetros Magnéticos.....	31
1.5.2.1 Susceptibilidade magnética.....	32
1.5.2.2 Magnetização Remanente Natural (MRN).....	33
1.5.2.3 Magnetização Remanescente Isotérmica (MRI).....	35
1.5.2.4 Magnetização Remanescente Anisterética (MRA).....	36
1.5.2.5 MRIH e Razão S.....	36
1.5.3 Mineralogia Magnética.....	37
1.5.3.1 Curvas de Histerese.....	37
1.5.3.2 Diagramas FORC.....	39
1.5.3.3 Curvas termomagnéticas.....	40
1.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
1.6.1 Transição Aptiano-Albiano e o EAO 1b no testemunho PLG.....	40
1.6.2 Registros do magnetismo ambiental do evento OAE 1b na transição Aptiano-Albiano no núcleo PLG.....	42
1.7 CONCLUSÕES	44
Referências Bibliográficas.....	45
CAPÍTULO II: ARTIGO CIENTÍFICO	55
The paleoenvironmental magnetic expression of the Aptian-Albian transition in the Poggio le Guaine Core, (Umbria-Marche Basin, western Neo-Tethys).....	56
ABSTRACT	57
Highlights.....	58
2.1 INTRODUCTION	59

2.2 LOCATION AND STRATIGRAPHIC SETTING	60
2.3 MATERIAL AND METHODS	62
2.3.1 Sampling	62
2.3.2 Environmental and rock magnetism	62
2.3.3 Stable carbon and oxygen isotopic compositions of carbonates	64
2.4 RESULTS	64
2.4.1 Stratigraphic framework and Stable isotopes variations	64
2.4.2 Environmental magnetism.....	66
2.5 DISCUSSION	71
2.5.1 Aptian-Albian transition and OAE 1b at PLG core	71
2.5.2 Environmental magnetic records of the Aptian-Albian transition OAE 1b at PLG core.....	73
2.6 CONCLUSIONS	74
2.7 ACKNOWLEDGMENTS	75
References	76
CAPÍTULO III: ARQUIVOS COMPLEMENTARES	90
3.1 COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO CIENTÍFICO	91
3.2 PARECERES DA BANCA EXAMINADORA	92

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação contempla a análise do evento anóxico oceânico 1b (*Oceanic Anoxic Event 1b – OAE 1b*) – Albiano inferior, no testemunho de Poggio le Guaine (PLG), Itália Central, discutindo a assinatura magnética do evento com o uso de magnetismo ambiental e magnetismo de rochas. O estudo é resultado do trabalho desenvolvido para obtenção do título de Mestre em Geociências pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Esta dissertação está estruturada em torno de um artigo científico submetido ao periódico *Global and Planetary Change* da editora *Elsevier* (fator de impacto 5.114; estrato Qualis-CAPES A1) e segue a norma 118 do PPGGEO da UFRGS. Um texto integrador precede o corpo principal da dissertação com o intuito de estabelecer uma fundamentação teórica acerca do estudo. Sendo assim, a organização desta dissertação compreende três capítulos, conforme especificado a seguir.

O Capítulo I corresponde ao texto integrador que apresenta uma introdução sobre o tema e descrição dos objetivos do estudo, o estado da arte que contempla a contextualização teórica acerca dos temas da pesquisa, os materiais e métodos empregados, um breve resumo dos principais resultados e discussões obtidos, as conclusões e as referências bibliográficas.

O Capítulo II é composto pelo artigo científico “*The paleoenvironmental magnetic expression of the Aptian-Albian transition in the Poggio le Guaine Core, (Umbria-Marche Basin, western Neo-Tethys)*”. O capítulo está redigido em língua inglesa, visto que o artigo foi submetido em periódico internacional.

O Capítulo III compreende aos anexos e a documentação pertinente que complementam e agregam os tópicos abordados nos capítulos anteriores, como o comprovante de submissão do artigo e os pareceres da banca examinadora.

CAPÍTULO I: TEXTO INTEGRADOR

1.1 INTRODUÇÃO

Os registros do sistema climático *greenhouse* são pontuados pela ocorrência esporádica de Eventos Anóxicos Oceânicos (EAOs) de expressão regional ou global (Schlanger & Jenkyns, 1976). Os EAOs foram caracterizados pelo aumento na preservação orgânica, assim como o aumento da produtividade. O maior acúmulo desta matéria orgânica marinha está disposto na forma de folhelhos negros que contém alta concentração de material orgânico na sua composição (Jenkyns, 2010).

O evento OAE 1b é um evento de longo prazo (> 3 Ma) caracterizado por vários níveis de folhelhos negros (Leckie et al., 2002; Trabucho-Alexandre et al., 2011; Coccioni et al., 2014; Sabatino et al., 2015, 2018). O evento OAE 1b consiste principalmente em quatro níveis de maior expressão global (Coccioni et al., 2014; Matsumoto et al., 2020). O nível 113 / Jacob; o nível Kilian; Nível Urbino / Paquier; e nível equivalente de Leenhardt (por exemplo, Coccioni et al., 2014; Bottini et al., 2015; Sabatino et al., 2015; Bottini & Erba, 2018; Matsumoto et al., 2020). Este evento está associado a uma fase de aquecimento global (McAnena et al., 2013; Bottini et al., 2015; Bottini & Erba, 2018), que está relacionada à atividade das Grandes Províncias Ígneas (LIPs) do sul do Platô de Kerguelen e Nauru-Mariana (Eldhom & Coffin, 2000). Bottini & Erba (2018) classificam o evento OAE 1b como um evento hipertermal, com temperaturas médias entre 34 °C e 36 °C. Este evento também se caracteriza como um período de alta produtividade (Browning & Watkins, 2008). No entanto, a fonte de nutrientes necessária para aumentar a produtividade primária durante o evento OAE 1b é intensamente debatida, mas a hipótese de fertilização com ferro foi sugerida como o mecanismo de gatilho para o evento OAE 1b (e.g. Leckie et al., 2002). É possível que micronutrientes originados durante a formação do Platô de Kerguelen estimulem a produtividade marinha primária antes e durante OAE 1b (e.g. Leckie et al., 2002; Browning & Watkins, 2008).

Há um crescimento da utilização do magnetismo ambiental em estudos paleoceanográficos e paleoclimáticos (Liu et al., 2012). Os minerais magnéticos refletem a formação, transporte, processos deposicionais e alterações pós-deposicionais sobre o ambiente (e.g. Thompson & Oldfield, 1986; Verosub & Roberts, 1995; Evans & Heller, 2003; Liu et al., 2012). Avanços recentes nas técnicas de magnetismo ambiental, proporcionaram a identificação e a quantificação das

variações magnéticas em depósitos sedimentares. A Formação Marne a Fucoidi na Bacia Umbria-Marche (Itália Central) é um dos arquivos sedimentares mais preservados do OAE 1b. A litologia da Formação Marne a Fucoidi consiste em margas acinzentadas esverdeadas, bioturbadas, pelágicas e calcários *marly*, alternando com folhelhos negros, e pontuada por alguns metros de espessos níveis avermelhados (e.g. Coccioni et al., 2012; Sabatino et al., 2015, 2018). Esses sedimentos refletem condições *redox* altamente variáveis na bacia, demonstrando um ambiente instável.

Neste trabalho, apresentamos um novo estudo de magnetismo ambiental de alta resolução do testemunho Poggio le Guaine (PLG) (Coccioni et al., 2012; Savian et al., 2016; Matsumoto et al., 2021, 2022; Leandro et al., 2022) para o evento OAE 1b, que tem como objetivo principal testar se uma assinatura magnética associada ao OAE 1b está presente neste registro e, compreender melhor o evento paleoclimático. Também mostramos neste estudo um registro de isótopo estável ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$) para definir o OAE 1b no testemunho sedimentar. Os resultados de estudos anteriores realizados no núcleo PLG são usados para estabelecer a cronologia estratigráfica (Coccioni et al., 2014; Sabatino et al., 2015; Savian et al., 2016; Matsumoto et al., 2021, 2022; Leandro et al., 2022).

1.2 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia de Umbria-Marche, na Itália central, que compreende o Oceano Tétis, é mundialmente conhecida por ser uma das referências clássicas de sessões litoestratigráficas para períodos que compreendem desde o Jurássico até o Mioceno (e.g., Stampfli et al., 2003). Para o período Aptiano-Albiano, a Bacia de Umbria Marche possui uma seção bem preservado e completa, chamada de Poggio le Guaine, no Monte Nerone, Itália (Figura 1).

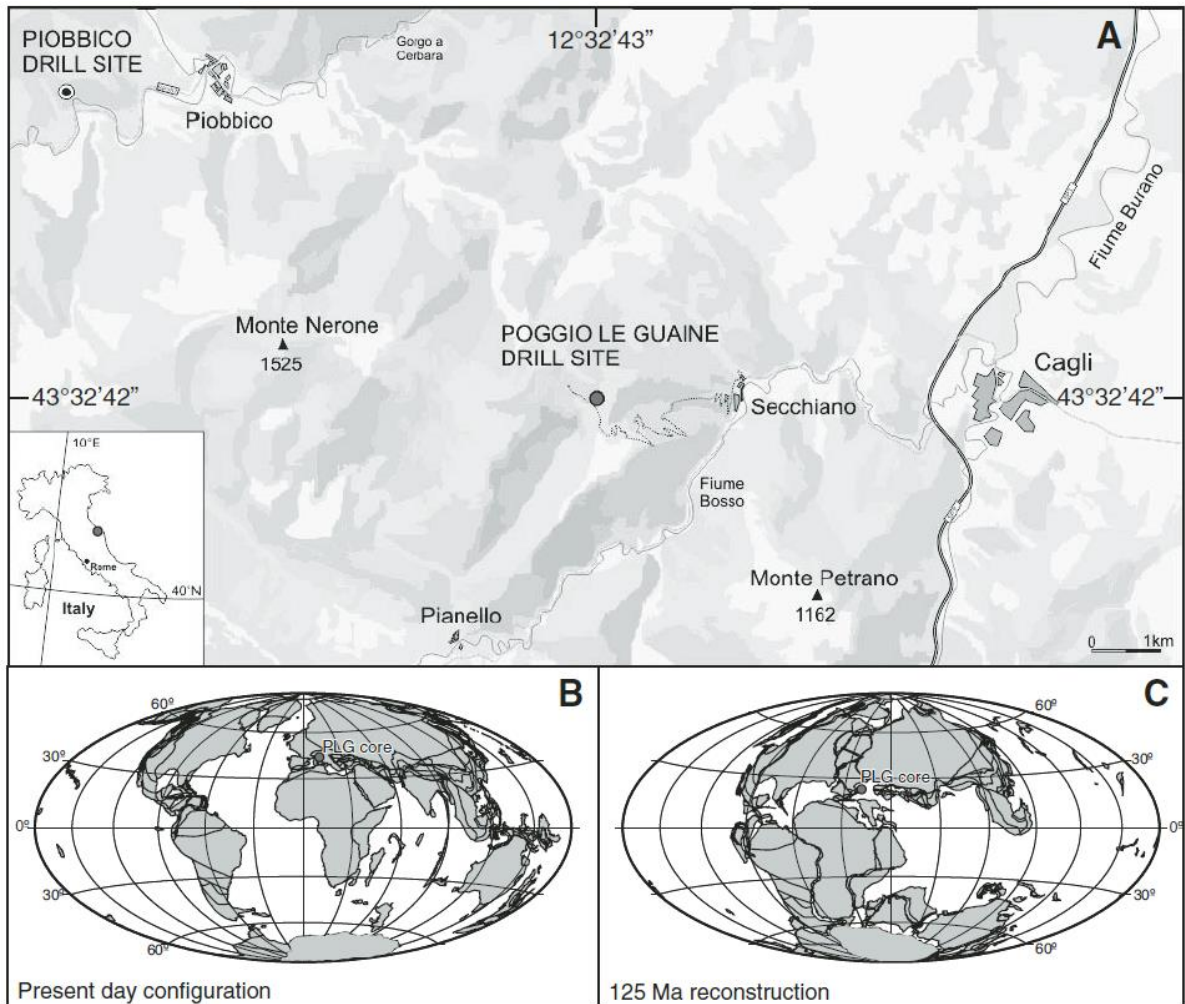


Figura 1: (A) Localização da Seção de Poggio le Guaine (PLG) na Itália central, no Monte Nerone. (B) Localização atual da perfuração do testemunho Poggio le Guaine (PLG). (C) Mapa paleogeográfico ~125 Ma mostrando a localização da seção de Poggio le Guaine (Extraído de Savian et al., 2016).

Em setembro de 2010, foi realizado a perfuração de um testemunho na seção de Poggio le Guaine (PLG), denominado PLG core (Coccioni et al., 2012). Este testemunho foi perfurado nesta seção, pois, ela foi designada como uma seção de referência para o intervalo Aptiano-Albiano após detalhadas investigações estratigráficas ao longo de décadas (Coccioni et al., 1987, 1989, 1990, 2012; Savian et al., 2016). A perfuração do testemunho PLG localiza-se na cordilheira do Monte Nerone, 888 metros acima do nível do mar, 6 km a oeste da cidade de Cagli (lat. 43°

32'42,72 "N; long. 12° 32'40,92" E). Na Figura 2 é apresentado o local de perfuração do testemunho na seção PLG.



Figura 2: Fotografia do afloramento da seção de PLG, mostrando o local da perfuração do testemunho. A perfuratriz rotacional utilizada recuperou um total de 98.72 metros de testemunho, com recuperação de 100%.

O testemunho obtido na seção de PLG possui 98,72 metros de comprimento por 8 centímetros de diâmetro oferecendo um registro estratigráfico completo para o Aptiano-Albiano, com recuperação de 100% de material em toda a perfuração (Figura 2). Após as correções de mergulho, o testemunho apresenta um comprimento total de 96.02 metros. A perfuração foi alocada acima da transição Albiano-Cenomaniano, baseado em logs litológicos da seção produzidos por estudos anteriores (Coccioni et al., 1987). O topo do testemunho tem uma pequena zona de intemperismo, que tem apenas alguns centímetros de espessura e foi descartada do

testemunho. As litologias registradas foram descritas em detalhe, à medida que cada seção do testemunho era recuperada, e as marcações de topo e base eram realizadas. Em seguida, as setenta e uma seções perfuradas foram embaladas e armazenadas em caixas plásticas de PVC para evitar a perda de umidade e contaminação. Considerando as medições de mergulho, o comprimento corrigido da seção compreende 82,53 m da Formação Marne a Fucoidi, 3,51 m correspondendo à Formação Maiolica, e 9,98 m correspondendo à Formação Scaglia Bianca sobreposta (Figura 3).

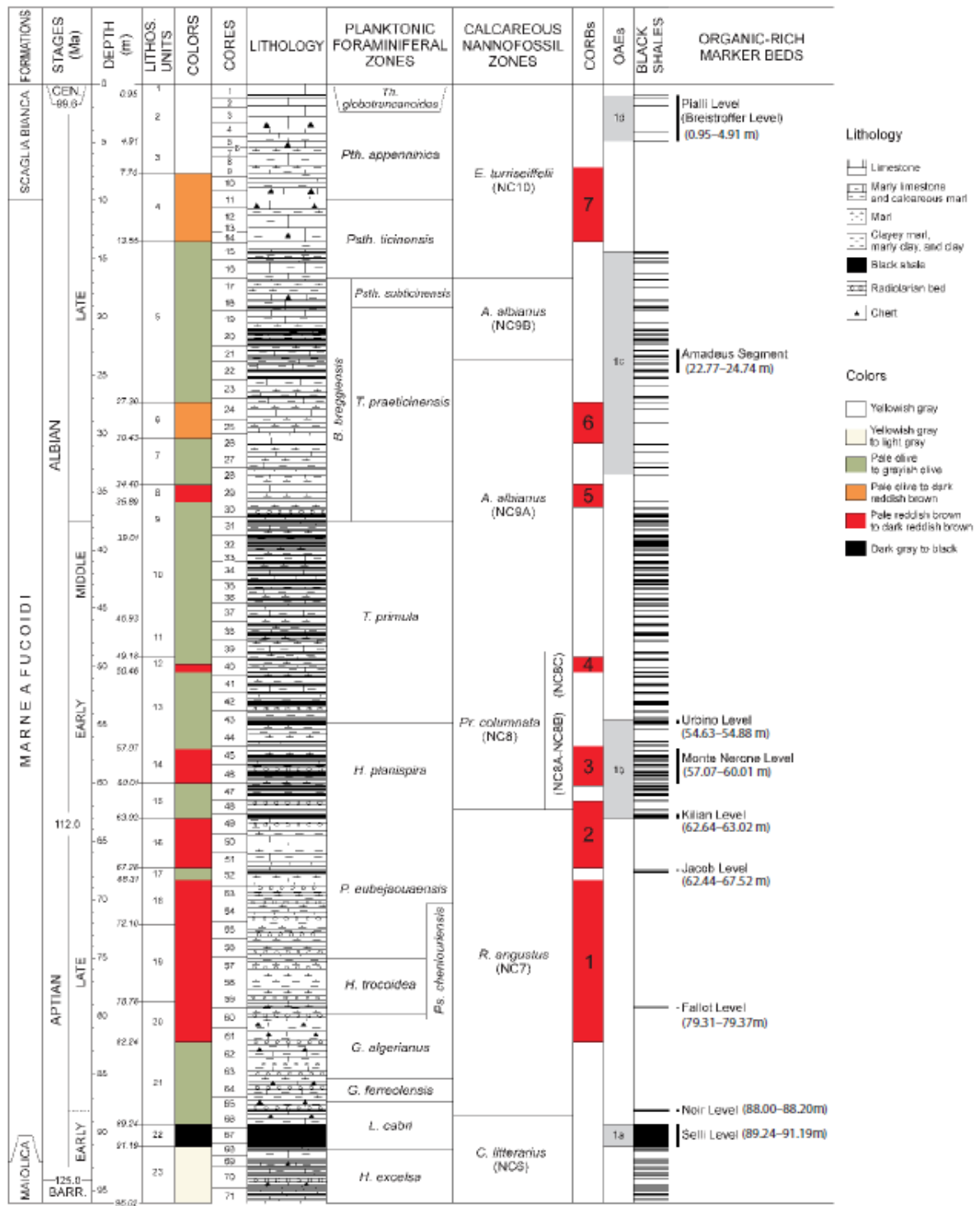


Figura 3: Arcabouço estratigráfico do testemunho de Poggio le Guaine com profundidades estratigráficas reais de acordo com as medições de mergulho obtidas no testemunho e afloramento. Ocorrência e distribuição dos folhelhos negros (*black shales*), ricos em matéria orgânica, incluindo os Eventos Anóxicos Oceânicos (*Oceanic Anoxic Events* - OAEs) e os intervalos discretos onde os níveis de cor avermelhada se tornam dominantes (*Cretaceous*

Oceanic Red Beds - CORBs). A bioestratigrafia integrada é adaptada de Coccioni et al. (1987, 1989, 1990, 1992), Erba (1988, 1992), Tiraboschi et al. (2009).

A idade e a duração dos OAEs ainda são controversas, principalmente a transição Barremiano-Aptiano (e.g., Leandro et al., 2022). Dessa forma, modelos de alta resolução são necessários para o melhor entendimento e discussão destes eventos. Leandro et al. (2022), realizaram um estudo cicloestratigráfico de alta resolução utilizando vários próxies ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, susceptibilidade magnética e magnetização remanente anisterética) do testemunho PLG (Figura 4). A identificação das impressões dos ciclos de Milankovitch permitiu construir um modelo de idade astronômicamente ajustado de 405 kyr que fornece novos vínculos para a estrutura climato-cronoestratigráfica Aptiana, não só para o testemunho PLG, mas na escala global. Baseado na calibração astronômica é possível determinar que: (i) A duração do Aptiano é de ~ 7.2 Myr; (ii) O chron M0r possui uma duração de ~ 420 kyr e a transição Barremiano-Aptiano é ~ 120.2 Ma; (iii) novas idades para os OAEs do Aptiano e para o *cold snap*. Estes novos resultados impactam significativamente na tabela do tempo geológico do Cretáceo.

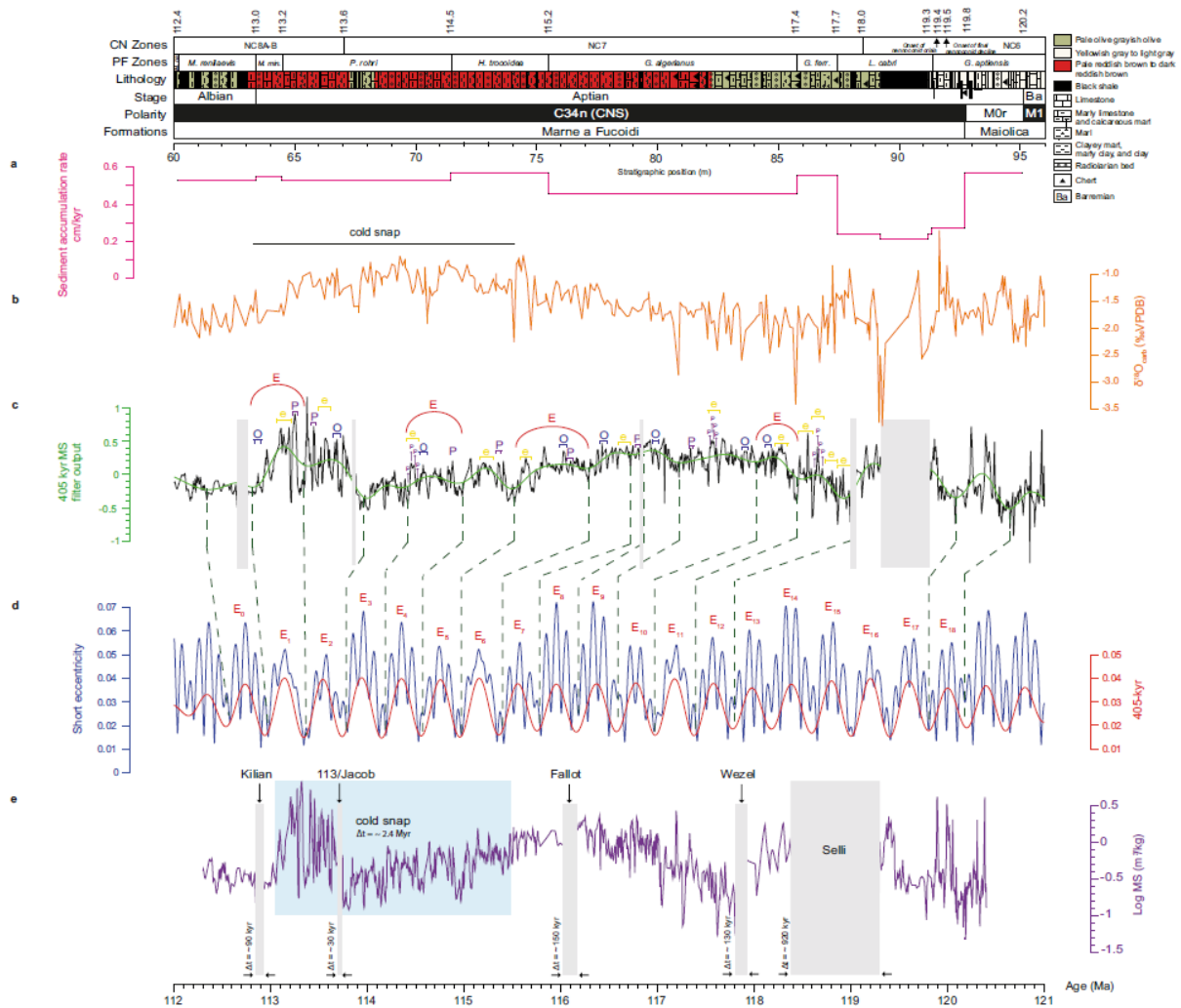


Figura 4: Correlação entre o ajuste da susceptibilidade magnética e a solução astronômica de La2004 com o modelo de idade para o período Aptiano do testemunho PLG (Leandro et al., 2022). (a) Curva da taxa de sedimentação baseada na calibração astronômica de 405-kyr; (b) $\delta^{18}O$; (c) Dados de susceptibilidade magnética (MS) em escala logarítmica com interpolação linear e tendência linear (linha preta) e o filtro de saída de ~405 kyr (linha verde); (d) Solução orbital La2004 para os ciclos de excentricidade de ~100 kyr (linha azul) e ~405 kyr (linha vermelha); (e) Dados calibrados pela excentricidade (linha roxa). As bandas em cinza representam os eventos Selli, Wezel, Fallot, 113/Jacob e Kilian (início do EAO 1b). A banda azul hachurada representa o *cold snap*.

Baseado em dados obtidos em amostras do testemunho PLG e do testemunho *Ocean Drilling Program* (ODP) 763B, Matsumoto et al. (2022) sugerem que o EAO 1b está associado ao intemperismo continental desencadeado pelo aquecimento global causado

pela liberação de gases de episódios vulcânicos no Platô de Kerguelen (Figura 5). Como a maior parte do Platô de Kerguelen foi colocado subaericamente em alta latitude no Oceano Índico, as entradas de Os (Osmium) não radiogênico da atividade hidrotermal e intemperismo da rocha basáltica foram insignificante e não influenciou o registro isotópico de Os marinho.

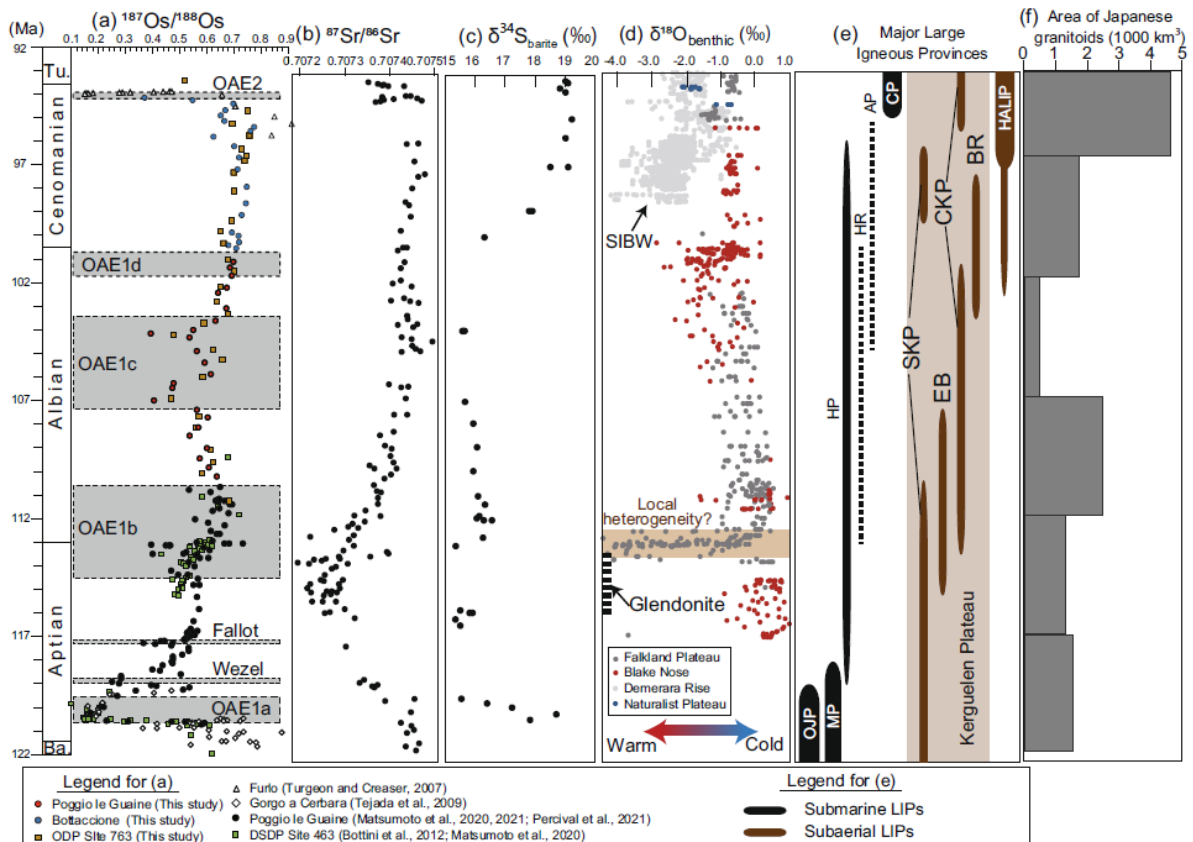


Figura 5: Copilação de dados de $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ e outros dados geoquímicos correlacionando os eventos anóxicos oceânicos à episódios vulcânicos de grandes províncias ígneas (Matsumoto et al., 2022).

A Bacia de Umbria-Marche é conhecida pelas seções pelágicas bem preservadas e contínuas que mostram resultados magnetoestratigráficos extraordinários (e.g., Savian et al., 2016). No entanto, trabalhos envolvendo magnetismo ambiental para tentar entender os EAOs ainda são raros (e.g., Liu et al., 2012). Dessa forma, estas seções são alvos importantes para estes tipos de estudos.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos da presente dissertação são: (i) obter dados de magnetismo ambiental e de rocha, a fim de estudar e compreender as variações da mineralogia magnética em resposta ao Evento Anóxico Oceânico 1b (EAO 1b), no testemunho Poggio le Guaine (PLG); e (ii) compreender melhor o evento paleoclimático utilizando dados isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$.

1.4 ESTADO DA ARTE

1.4.1 Eventos Anóxicos Oceânicos (EAOs)

Os EAOs são intervalos em que a oxigenação das águas intermediárias e profundas são muito baixas ou até mesmo nulas (Jenkyns, 2010). Estes eventos são associados a mudanças consideráveis de paleoclima e paleoceanografia do planeta, através de grandes perturbações no ciclo global do carbono (Arthur et al., 1990; Bralower et al., 1993; Jenkyns 2010).

Schlanger & Jenkyns (1976) introduziram o conceito de OAEs correlacionando Sedimentos Ricos em Carbono Orgânico (Corg) que foram obtidos em sucessões do Cretáceo nos Oceanos Atlântico, Pacífico e Índico (por exemplo, Berger & Von Rad, 1972; Veevers et al., 1974; Schlanger & Jenkyns 1976; Jenkyns 2010). Muitos desses folhelhos negros encontrados eram sincrônicos, sugerindo um soterramento maciço de matéria orgânica em determinados instantes de tempo e em diferentes bacias, sugerindo um carácter global para eventos.

O conceito de OAES como um fenômeno global foi apresentado a comunidade acadêmica a mais de 40 anos (Schlanger & Jenkyns, 1976). No entanto, ainda permanece um tópico de pesquisa em debate na literatura devido a importância do soterramento de grande quantidade de matéria orgânica em sedimentos do fundo do mar e do ciclo do carbono e seu efeito no clima global (e.g., Jenkyns et al., 2010).

A definição original foi baseada em critérios litológicos, e aplicada a dois intervalos do Aptiano-Albiano (EAO 1) e Cenomaniano-Turoniano (EAO 2), que são eventos clássicos do Cretáceo. Posteriormente, foi identificada a ocorrência do OAE

3 durante o Coniaciano-Santoniano (Jenkyns, 1980) e do EAO Toarciano (Jenkyns, 1988). Com os avanços da estratigrafia e dos métodos de datação radiométricos, o longo intervalo OAE 1 foi subdividido em eventos, enquanto os eventos EAO 2, EAO 3 e Tunoriano foram determinados com maior precisão (Arthur et al., 1990; Clarke & Jenkyns, 1999). Dentre os períodos anóxicos que causaram mudanças significativas na química dos oceanos incluem-se os eventos: Posidonienschiefer (Toarciano inferior, T-OAE, ~183 Ma); Selli (Aptiano inferior, OAE 1a); Paquier (Albiano inferior, EAO 1b); e Bonarelli (Cenomaniano-Turoniano, C/T EAO ou EAO 2) (Jenkyns, 2010) (Figura 6).

Oito intervalos dos EAOs são registrados por sedimentos oceânicos do Cretáceo, mas apenas dois deles, o EAO 1a (aproximadamente 120 Ma, com duração aproximada de 800 ky; Leandro et al., 2022) e EAO 2 (aproximadamente 93,5 Ma com duração de 300 ky) têm distribuição global bem documentada (Leckie et al., 2002, Erba, 2004). Mais tarde, no Cretáceo, o clima esfriou conforme os níveis de dióxido de carbono na atmosfera diminuíram (Clarke & Jenkyns, 1999). A maior queda na temperatura global ocorreu no início do Campaniano, marcando a transição de um clima de *greenhouse* para *icehouse* (Clarke & Jenkyns, 1999). As possíveis causas da diminuição do CO₂ atmosférico levando ao resfriamento global são a redução da atividade vulcânica do fundo do mar (Larson, 1991) e o soterramento de grandes quantidades de carbono orgânico.

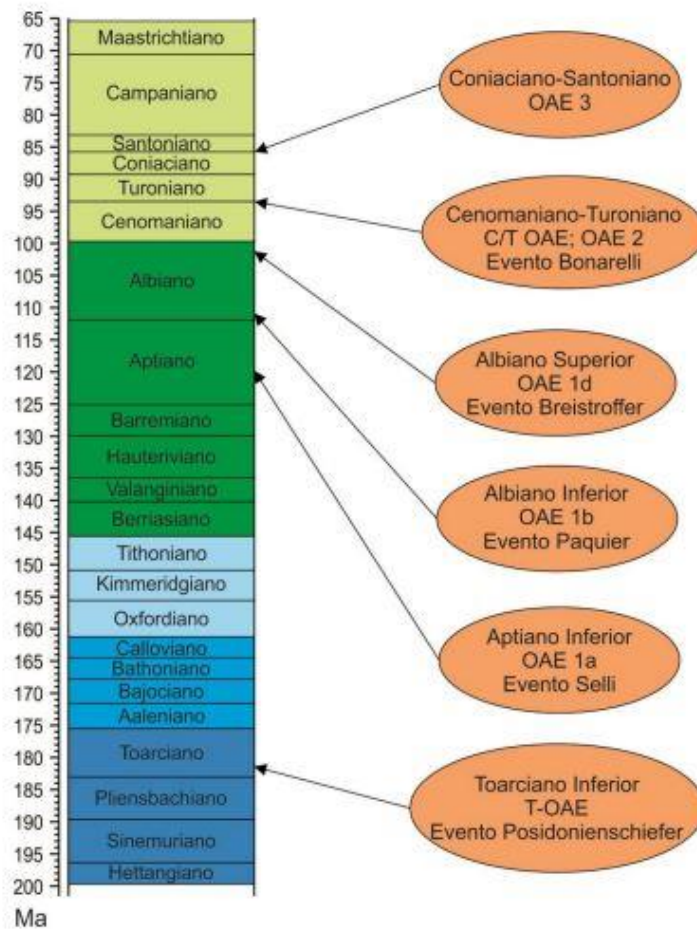


Figura 6: Posição estratigráfica dos principais eventos anóxicos oceânicos (EAOs) entre os períodos Jurássico e Cretáceo (adaptado de Jenkyns, 2010).

1.4.2 Evento Anóxico Oceânico 1b

Originalmente, o termo Evento Anóxico Oceânico (EAO) foi introduzido para descrever o episódio de expansão/intensificação no passado, de uma zona com baixos índices de oxigênio nos oceanos. Isso se reflete na distribuição global de sedimentos ricos em carbono orgânico laminado – folhelho negro (> 1%) de curta duração de tempo (> 1 Myr) que foram intercalados por sequências sedimentares pelágicas e geralmente estão associadas a excursões isotópicas positivas pronunciadas de carbono (Schlanger & Jenkyns, 1976).

O cálculo das durações precisas dos EAOs depende de sua definição em termos da expressão sedimentar do soterramento de carbono de curta duração e de

massa, associado à mudança brusca de isótopo de carbono. Com base na cicloestratigrafia e na bioestratigrafia de alta resolução, as durações de tempo do Toarciano EAO, do início do Aptiano EAO 1a ou C/T EAO 2 decaem num intervalo de tempo de algumas centenas de milhares de anos (e.g., Leandro et al., 2022). Diferentemente, o período do final do Aptiano – início do Albiano possivelmente é caracterizado por um longo intervalo de soterramento de carbono orgânico, apontado por um número discreto de eventos de curta duração. De acordo com as idades sugeridas por Gradstein et al. (2004) e Huang et al. (2010), esse intervalo é de aproximadamente 3,8 Ma, variando do nível 113/Jacob (o primeiro nível de folhelho negro do final do Aptiano, com valores Carbono Orgânico Total (TOC) de até 5,9%) até o nível Leenhardt (o último nível significativo de camadas grossas de folhelho negro no início do Albiano, apresentando valores de TOC de até 1,1%). No entanto, de acordo com a abordagem clássica proposta por Schlanger & Jenkyns (1976), apenas os níveis Kilian e Urbino/Paquier poderiam ser definidos como EAOs “puros”, pois estes são caracterizados por excursões de carbonos e isótopos de carbono orgânico, altos valores de TOC (até 9,8% no nível Urbino/Paquier) e uma distribuição global.

O EAO 1b abrange várias perturbações, em nível global, no ciclo do carbono, como testemunhado por sequências de folhelhos negros que são especialmente bem registradas no Tethys. Leckie et al. (2002) consideram o EAO 1b como um período de longa duração, do final do período Aptiano até o início do Albiano. Erbacher et al. (2001), foram um pouco mais restritivos, limitando o EAO 1b ao nível Paquier do período do Albiano inferior, que é o intervalo equivalente no tempo do nível Urbino proposto na Bacia de Umbria-Marche (Coccioni et al., 1990). Recentemente, uma nova discussão sobre a estratigrafia detalhada e as definições do EAO 1b foram propostas por Coccioni et al. (2012), que propõem que o EAO 1b é um longo intervalo de perturbações no ciclo do carbono de, aproximadamente 3,8 Ma, abrangendo desde o nível 113/Jacob até o nível Leenhardt (níveis estes de deposição de folhelhos negros), marcados por quatro períodos proeminentes de deposição de folhelho negro alternado com depósitos de curta duração de folhelhos negros contendo carbono orgânico relativamente aprimorado. O trabalho mais

recente que define o OAE 1b foi publicado por Matsumoto et al. (2020), definido na seção de Poggio le Guaine (Figura 7).

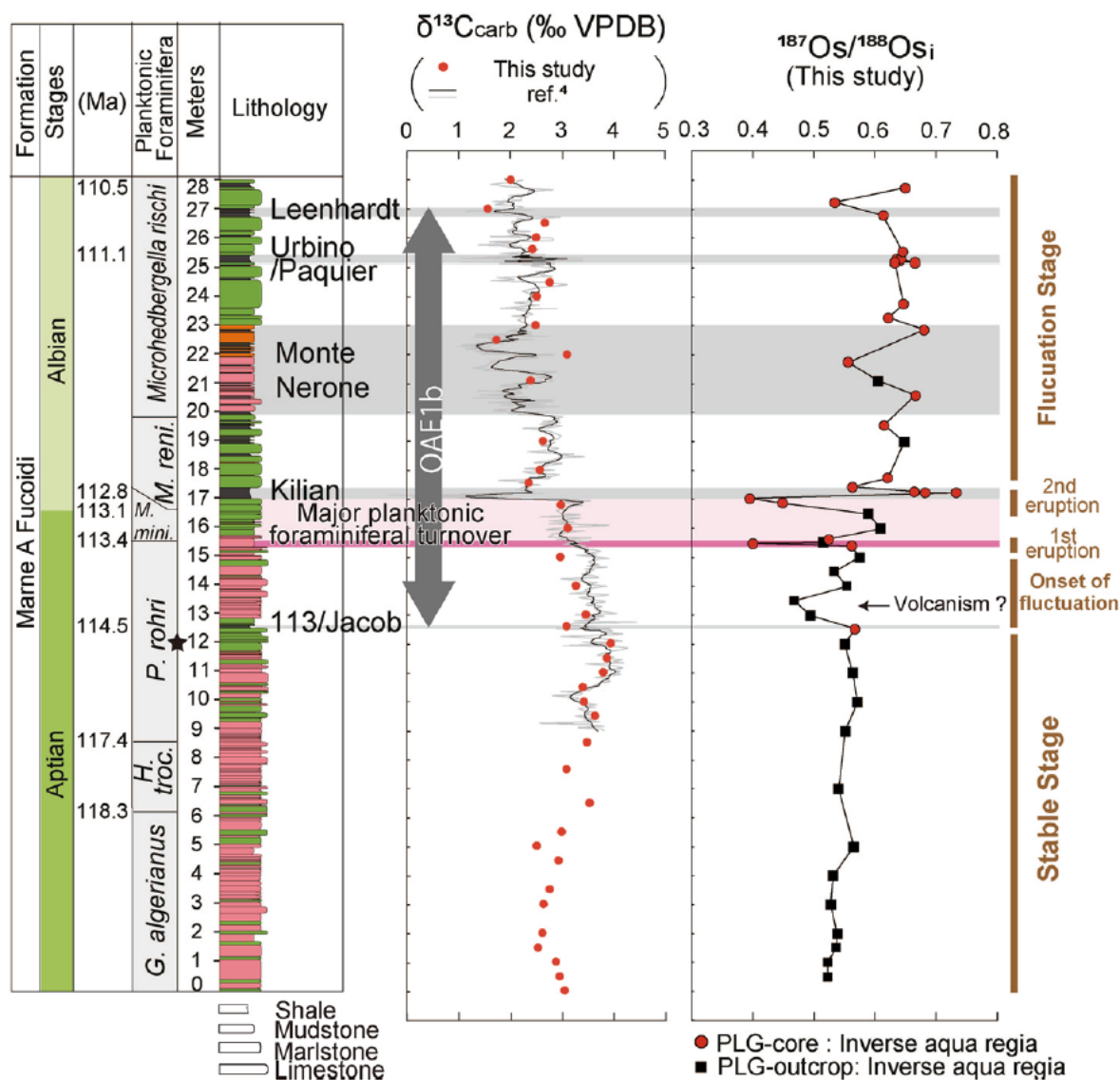


Figura 7: Registro isotópico do carbono e Os na seção de Poggio le Guaine definindo o EAO 1b (adaptado de Matsumoto et al., 2020).

1.5 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os principais métodos empregados nesta dissertação. A metodologia deste trabalho consiste principalmente em dados de Magnetização Remanente Natural (MRN), susceptibilidade magnética (χ), Magnetização Remanente Anisterética (MRA), Magnetização Remanente Isotérmica

(MRI), curvas de histerese e de aquisição de MRI e diagramas *First-order reversal curve* (FORC), acompanhada de uma análise de magnetismo de rocha para identificação da mineralogia magnética presente nas amostras através de curvas termomagnéticas. Todas as etapas estão descritas nos subitens seguintes e o grau de detalhamento abordado em cada método está em conformidade com sua relevância para esta dissertação de mestrado.

1.5.1 Amostragem e preparação das amostras

Neste trabalho, foram analisadas 592 amostras oriundas do testemunho PLG. A resolução média de amostragem é de ~3 cm e as amostras selecionadas para as análises compreendem o intervalo de 52 a 64 metros do testemunho.

As amostras foram preparadas em cubos de ~8 cm³ e levadas ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), com vistas a obter análises de mineralogia magnética, susceptibilidade magnética, MRN, MRA, MRI e curvas de histerese, aquisição de IRM e FORCs. As análises de magnetismo ambiental (χ , MRN, MRA, MRI) foram realizadas para todas as amostras. O magnetismo de rocha é realizado para amostras selecionadas para cada intervalo em específico.

1.5.2 Parâmetros Magnéticos

O estudo de mineralogia magnética permite identificar óxidos e sulfetos de Fe presentes em pequenas quantidades nos sedimentos, tanto como relação aos tipos mineralógicos e a proporção relativa entre eles, quanto à sua granulometria e orientação preferencial. Os parâmetros magnéticos são uma boa ferramenta para monitorar as variações nas ordens de grandeza que podem ocorrer para pequenas diferenças de concentração dos portadores magnéticos (Roberts et al., 1995).

1.5.2.1 Susceptibilidade magnética

Quando um material é exposto a um campo magnético H , ele adquire uma magnetização induzida, M , proporcional ao campo aplicado, conforme apresentado na Equação 1:

$$M = \chi H \quad (1)$$

em que o fator adimensional de proporcionalidade entre M e H é denominado susceptibilidade magnética (χ). Através da susceptibilidade magnética é possível separar o comportamento magnético em três classes principais: diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo. Materiais diamagnéticos, como o quartzo, apresentam uma susceptibilidade baixa e negativa; materiais paramagnéticos, como a biotita ou boa parte das argilas, apresentam susceptibilidade positiva, porém com valores baixos. Nestes dois casos a susceptibilidade é constante. Já os materiais ferromagnéticos, como a magnetita ou a hematita, apresentam susceptibilidades com valores altos e positivos, além de possuírem fortes propriedades magnéticas. Os valores de susceptibilidade neste caso não são constantes, sendo nulos após a completa saturação da magnetização induzida. Não existem materiais naturais com comportamento ferromagnético, porém a estrutura cristalina de certos minerais magnéticos permite que ocorra uma interação entre os momentos magnéticos em escala molecular. Esta ação confere propriedades ferrimagnéticas ou antiferrimagnéticas ao mineral, tornando-o capaz de adquirir magnetização remanente (Lowrie, 2007).

A susceptibilidade magnética é uma característica intrínseca de cada mineral e, portanto, faz com que este parâmetro seja importante em estudos de magnetismo ambiental (Thompson & Oldfield, 1986; Verosub & Roberts, 1995; Liu et al., 2012), podendo ser utilizado em correlações geológicas, determinação da trama magnética, caracterização de tamanho de grãos e domínios magnéticos. A susceptibilidade magnética mede, principalmente, a concentração de minerais magnéticos ao longo das seções.

1.5.2.2 Magnetização Remanente Natural (MRN)

Uma pequena concentração de minerais ferromagnéticos confere à rocha a habilidade de adquirir uma magnetização remanente (ou remanência). A remanência existente na rocha ou sedimento antes de qualquer tratamento laboratorial é chamada de Magnetização Remanente Natural (MRN) (Lowrie, 2007). Esta remanência depende do campo geomagnético e da história geológica da rocha. Portanto a MRN é o resultado da combinação de várias componentes magnéticas, cada uma com sua própria história, adquiridas através de diferentes mecanismos ao longo do tempo (Butler, 1992). Desta forma, através da MRN é possível investigar a trajetória da rocha, sua formação ou alterações subsequentes (Lowrie, 2007). Para isso, aos diferentes componentes da MRN devem ser separados e analisados cuidadosamente (Tauxe, 2010). A remanência adquirida no momento da formação da rocha (ou próximo a este instante) é chamada de magnetização primária. É o componente de interesse na maioria das investigações paleomagnéticas. A remanência adquirida subsequentemente à formação da rocha é denominada, por sua vez, magnetização secundária. Estes componentes posteriores podem alterar ou suplantam a NRM primária (Lowrie, 2007).

Os principais mecanismos de aquisição de remanente natural primária são: (i) magnetização termorremanente, adquirida durante a formação e o resfriamento de rochas ígneas (ou com alto grau de metamorfismo) em altas temperaturas; (ii) magnetização remanente química, resultante de alterações químicas que permitem a formação e crescimento de grãos ferromagnéticos abaixo de suas temperaturas de bloqueio e na presença de um campo magnético; e (iii) magnetização remanente detrítica, principal mecanismo de aquisição de remanência em rochas sedimentares.

Rochas sedimentares e rochas ígneas adquirem magnetização através de mecanismos distintos. Em corpos ígneos os minerais magnéticos são formados em temperaturas elevadas (acima da temperatura de Curie) ao mesmo tempo em que a rocha está cristalizando, portanto, os minerais magnéticos são sincrônicos à formação da rocha. Durante o resfriamento do magma, quando a temperatura de bloqueio é atingida, os minerais magnéticos são capazes de registrar o vetor remanência que, na ausência de uma anisotropia magnética significativa, é paralelo

ao campo magnético ambiente. Em contrapartida, os grãos ferromagnéticos detríticos, que correspondem a uma pequena fração dos sedimentos, já estão magnetizados antes de seu transporte e deposição, uma vez que esses grãos são o produto da erosão de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares que possuíam uma magnetização prévia.

Em um meio viscoso estas partículas magnéticas podem girar livremente e se orientar na direção do campo ambiente assim como a agulha da bússola, até serem depositadas no fundo da bacia (Figura 8). A magnetização total do conjunto de partículas corresponde a uma Magnetização Remanente Depositional (DRM, na sigla em inglês). Os modelos de aquisição de DRM (Figura 8a) têm foco no comportamento das partículas durante sua queda na coluna d'água, os efeitos de floculação de minerais agregados a estas partículas e o rolamento das partículas no local de deposição (Egli & Zhao, 2015). Porém, após a deposição, os sedimentos estão sujeitos a realinhamento (Tauxe et al., 2006), devido, por exemplo, à ação de organismos (bioturbação), compactação e diagênese. Estes fatores podem afetar a magnetização original, gerando uma Remanência Pós-deposição (pDRM) (Figura 8b).

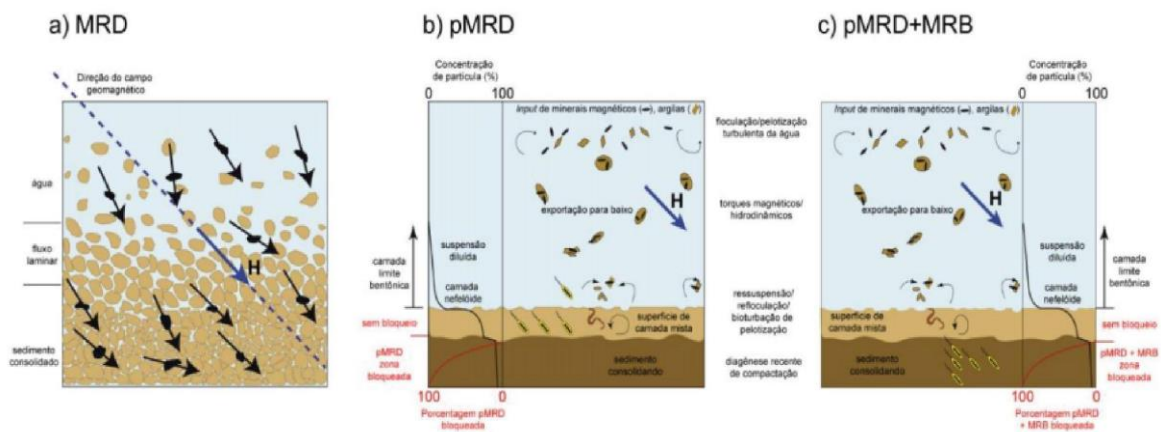


Figura 8: Diagramas esquemáticos da aquisição de magnetização em sedimentos. (a) Magnetização Remanente Depositional (MRD); (b) Magnetização Remanente Pós-deposicional (pMRD); e (c) a pMRD ao lado de uma magnetização remanente biogeoquímica (MRB). (Adaptado de Roberts et al., 2013).

Recentemente, a componente conhecida como Magnetização Remanente Biogeoquímica (MRB) (Figura 8c) vêm obtendo papel de destaque como uma componente importante na aquisição de magnetização em sedimentos (e.g., Roberts et al., 2013). Esta componente é formada por grãos de magnetitas e/ou greigita formadas pelas bactérias magnetotáticas. Depois da morte, as bactérias magnetotáticas são chamadas de magnetofósseis e são um excelente registro do campo geomagnético. Além disso, os magnetofósseis são um importante proxy de paleoprodutividade primária, sendo que a fertilização por ferro é o principal mecanismo de concentração de bactérias magnetotáticas (e.g., Roberts et al., 2011; Savian et al., 2014).

1.5.2.3 Magnetização Remanescente Isotérmica (MRI)

A Magnetização Remanente Isotérmica (MRI), como indicado pelo nome, é uma magnetização remanente adquirida em temperatura constante. Há muitos processos que podem produzir uma remanência isotermicamente (e. g. VRM, DRM, pDRM e ARM), mas por convenção nós restringimos o uso do termo MRI para denotar remanência resultante da aplicação e remoção subsequente de um Campo Direto (DC), em uma dada temperatura, que normalmente é a temperatura ambiente.

A Magnetização Remanente Isotérmica é utilizada para: (i) identificar os materiais que possuem propriedades magnéticas - medindo seus valores de intensidade e coercividade; (ii) examinar os fatores que influenciam a estabilidade da remanência - analisando a resistência à desmagnetização por meio de técnicas térmicas, de campo variável e/ou de baixa temperatura; e (iii) servir de referência para prever a paleointensidade relativa.

A aquisição de curvas de MRI é realizada a partir da Indução Parcial da Amostra (pIRM), submetendo-a a campos indutores crescentes até que esta atinja a sua saturação, ou Magnetização Remanente Isotérmica de Saturação (MRIS). O campo no qual a saturação é alcançada varia de acordo com a composição, o tamanho de minerais e o comportamento magnético dos grãos (interação entre os

portadores). A MRIS pode fornecer, então, informações sobre os grupos de minerais que compõem a população magnética e seu estado de domínios.

1.5.2.4 Magnetização Remanescente Anisterética (MRA)

Ao submeter uma rocha a um campo alternado, cuja amplitude é lentamente reduzida a zero, é possível desmagnetizar a amostra na ausência de um campo externo, uma vez que este procedimento distribui de forma aleatória os momentos magnéticos de grãos com coercividades menores do que a amplitude máxima do campo alternado. No entanto, se for aplicado um campo magnético direto, fraco e constante, enquanto o campo alternado é aplicado, os momentos magnéticos são distribuídos ao longo de uma direção preferencial próxima do campo externo. Isto produz uma MRA (Collinson, 1983). A MRA é uma magnetização estável que pode ser produzida deliberadamente, como foi descrito acima, ou que pode ser decorrente de um efeito espúrio durante o procedimento de desmagnetização progressiva em equipamentos com uma blindagem imperfeita para campos externos (Lowrie, 2007).

Nos casos de estudos de magnetismo ambiental, podemos utilizar as curvas de aquisição de MRA como parâmetro de concentração de magnetita (Sugiura, 1979), uma vez que a força de interação magnética aumenta com o aumento da concentração de grãos magnéticos (Dunlop & Özdemir, 1997). Desta forma, para baixa concentração de minerais magnéticos e baixa interação magnética (coercividade), a curva de aquisição de MRA não é linear e alcança uma fração substancialmente maior de magnetitas. Em oposição, a curva de MRA para a concentração elevada de magnetita é linear e uma parcela menor de grãos é remagnetizada.

1.5.2.5 MRIH e Razão S

MRIs parciais e suas razões são amplamente utilizadas na caracterização de sedimentos em magnetismo ambiental (Thompson & Oldfield, 1986; Oldfield, 1991; Verosub & Roberts, 1995; Dekkers, 1997; Maher & Thompson, 1999). Por

exemplo, a fração “dura”, *hard* (MRIH), é determinada subtraindo a MRI adquirida em 300mT (MRI₃₀₀) da MRIS. Através deste parâmetro é possível conhecer a contribuição dos minerais de alta coercividade magnética. Campos elevados (>1 T) tendem a saturar minerais antiferromagnéticos (e.g. hematita e goetita), enquanto campos menos intensos (>0.3 T) irão saturar minerais ferrimagnéticos (e.g. magnetita e titanomagnetita). O valor de MRIS é um parâmetro absoluto que depende da concentração dos minerais com alta coercividade. Em compensação, a fração “macia” (SoftMRIS) é quantificada em função da MRIH e MRIS. Este parâmetro determina a concentração relativa de minerais com baixa coercividade magnética.

Outro parâmetro bastante utilizado em investigações de magnetismo ambiental é a razão S (*S-ratio* em inglês), calculada a partir da razão entre MRI 300 mT e MRIS. Esta razão indica a porcentagem da contribuição de minerais menos coercivos (*soft*) na magnetização. A razão de MRA por MRIS pode ser considerada um indicativo de variações no tamanho dos grãos magnéticos. Neste caso, valores baixos na razão de MRA/MRIS representam um aumento no tamanho dos grãos magnéticos.

1.5.3 Mineralogia Magnética

A mineralogia magnética pode ser determinada através de curvas de histerese, curvas termomagnéticas e diagramas FORC.

1.5.3.1 Curvas de Histerese

As curvas de histerese consistem na medição da magnetização (M) que a amostra adquire em função da aplicação de um campo magnético aplicado (H). Parâmetros como magnetização de saturação (Ms), magnetização remanente de saturação (Mrs), coercividade (Hc) e coercividade de remanência (Hcr) são obtidos através dos ciclos de histerese (Figura 9), sendo importantes para a determinação das fases minerais ferromagnéticas presentes na rocha (e.g., Dunlop & Özdemir,

1997). Ao aplicar um campo magnético na amostra, os minerais presentes sofrem saturação da sua magnetização em campos que podem ser muito baixos (<300 mT) ou altos, indicativo de fases minerais ferromagnéticas de baixa e alta coercividade respectivamente. Quando o campo é retirado, permanece apenas a M_r . Aplicando-se um campo indutor reverso, a amostra perderá toda a magnetização em um determinado valor de campo, denominado H_c . O ciclo da histerese se encerra com o valor de campo necessário para ocorrer a anulação da magnetização remanente, definido como H_{cr} (Dunlop & Özdemir, 1997; Tauxe 2008).

Além disso, o formato das curvas também indica a presença de misturas de minerais de alta e baixa coercividade (Roberts et al., 1995; Tauxe et al., 1996). Com base nos dados obtidos, estes podem ser utilizados para definição das estruturas de domínio dos minerais ferromagnéticos (Domínio Simples – SD, Pseudodomínio Simples – PSD, e Multidomínios – MD) a partir dos parâmetros M_r/M_s versus H_{cr}/H_c interpretados no diagrama de Day (Day et al., 1977). Contudo, trabalhos como de Roberts et al. (2018) identificaram algumas limitações neste diagrama, sugerindo técnicas mais avançadas para determinação dos domínios magnéticos, como as Curvas de Reversão de Primeira Ordem (traduzido do inglês *First Order Reversal Curves* - FORCs).

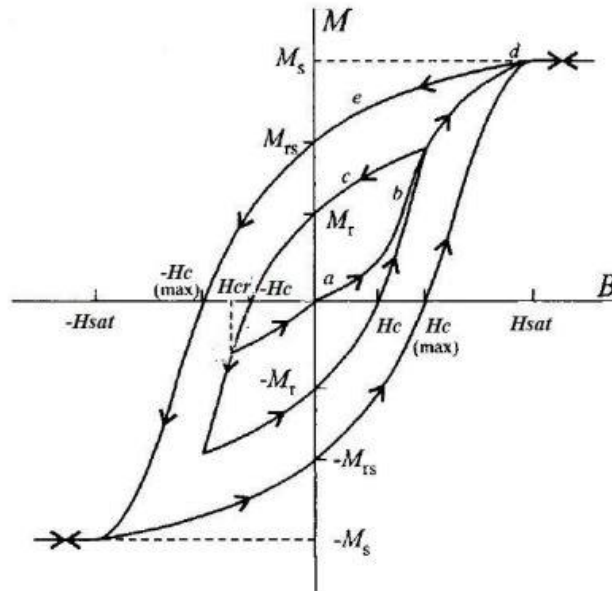


Figura 9: Curvas de histerese (M-H) para uma substância ferromagnética (modificado de McElhinny & McFadden, 2000). Coercividade HC, magnetização de saturação Ms, remanência de saturação MRS e coercividade de remanência HCR.

1.5.3.2 Diagramas FORC

Os diagramas FORC, também são conhecidos como diagramas de contorno, pois são criados a partir do modelamento de curvas de histerese com funções de distribuição bidimensional (Figura 10). Esta técnica moderna é usada para determinar a estrutura de domínio dos minerais (Roberts et al., 2000a).

Os diagramas FORC mostram a distribuição da coercividade e as forças de interação entre minerais magnéticos (Liu et al., 2012; Roberts et al., 2018). Isso indica a força de ligação dos grãos magnéticos em uma amostra, ou seja, o tamanho dos grãos magnéticos e o nível de interação magnética entre eles (Kodama, 2004). Uma quantidade expressiva de informações existentes hoje em dia é utilizada para identificar componentes magnéticos (Roberts et al., 2000b). Além disso, os diagramas FORC são consideravelmente mais precisos que as curvas de histerese, pois são realizados somente testes de saturação, redução e novamente saturação de magnetização (Tauxe, 2008).

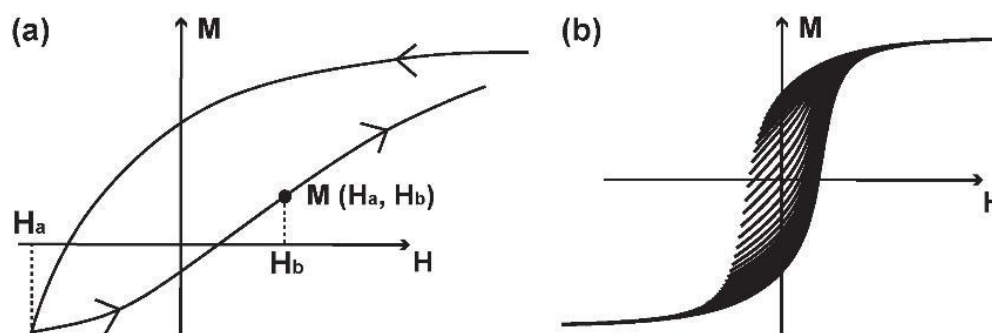


Figura 10: Curvas de reversão de histereses parciais: (a) e série de FORCs obtidos através dos repetidos passos; e (b) Roberts et al. (2020a).

1.5.3.3 Curvas termomagnéticas

As curvas termomagnéticas são medidas da susceptibilidade magnética ou momento magnético em função da temperatura. A amostra é aquecida progressivamente até uma temperatura máxima de 700 °C, e em seguida resfriada até a temperatura ambiente.

As curvas termomagnéticas são utilizadas para identificar os minerais magnéticos das rochas através da Temperatura de Curie (T_c), característica de cada mineral magnético (Dunlop & Özdemir, 1997). Uma curva termomagnética é dita reversível, quando apresentam a mesma trajetória no aquecimento e resfriamento. Quando as curvas de aquecimento e resfriamento apresentam trajetórias diferentes, são consideradas irreversíveis. Neste último caso, temos uma transformação mineralógica durante o ciclo.

1.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

1.6.1 Transição Aptiano-Albiano e o EAO 1b no testemunho PLG

A nova calibração astronômica do testemunho PLG determina que a transição entre o Aptiano e o Albiano é delimitada aos 63,4 metros e tem uma datação de 113,6 milhões de anos (Leandro et al., 2022). Esta idade está de acordo

com as idades reportadas no GTS 2020 (113,2 Ma) e *Microhedbergella renilaevis* no testemunho SER-03 da bacia de Sergipe-Alagoas (113,5 Ma) (Fauth et al., 2022).

A faixa de estudo do testemunho PLG também abrange o EAO 1b (e.g., Matsumoto et al., 2020, 2022). Há uma grande controvérsia sobre os mecanismos que depositaram os folhelhos negros. Os modelos mais aceitos para explicar a ampla presença dessas camadas de alta concentração de matéria orgânica envolvem dois processos distintos: o Modelo de Estagnação Oceânica (STO) e o Modelo de Expansão da Camada de Oxigênio Mínimo (OMZ). Conforme o primeiro modelo, o alto conteúdo de matéria orgânica dos folhelhos negros é atribuído à elevada capacidade de preservar a matéria orgânica no fundo do oceano, que é diretamente causada pela deficiência de oxigênio resultante da estagnação da água do fundo do mar, forte estratificação vertical e ventilação fraca (e.g., Schlanger & Jenkyns, 1976; Bralower, 1987; Erbacher et al., 2001). O segundo modelo destaca a importância da produtividade primária no fundo oceânico. O aumento da matéria orgânica no oceano profundo exige mais oxigênio para a decomposição, ultrapassando a capacidade de abastecimento de oxigênio e transformando o fundo do mar em um ambiente anóxico (sem oxigênio) (Pedersen & Calvet, 1990; Hochuli et al., 1999; Premoli Silva et al., 1989). Outros pesquisadores analisaram esses dois fatores juntos (Bralower et al., 1993; Bellanca et al., 1999). Estes modelos preveem a continuação da anoxia (euiníxia) até a recuperação da ventilação inferior e/ou a redução da produtividade primária.

O EAO 1b é aparentemente contrário aos outros EAOs do Cretáceo. Seu longo tempo de duração, o surgimento de vários períodos de curta duração expressas na deposição de folhelhos negros e a presença especialmente alta de biotita indicam a existência de sistemas e respostas diferentes no ciclo atmosférico, terrestre e oceânico. Esta série de mudanças sugere que tais mutações sejam resultado de : (a) várias perturbações de curta duração de alta frequência no ciclo do carbono; (b) elevação repentina da temperatura da superfície do mar; e (c) aumento da estratificação da água por densidade (Erbacher et al., 2001), levando a semelhança com o modelo STO. Além disso, há uma controvérsia persistente sobre este evento anóxico extenso, questionando se houve falta total ou parcial de

oxigênio, enquanto a maioria dos trabalhos apontam para condições de baixa oxigenação (Bralower et al., 1993; Holbourn & Kuhnt, 2001).

O clima do cretáceo médio era de estabilidade, porém foram detectados curtos períodos de aquecimento e resfriamento global (entre 1 a 5 milhões de anos), que estão associados a um aumento rápido de fluxo de água, níveis de mar mais elevados e transgressões marinhas (Weissert, 1990; Huber et al., 1995; Weissert et al., 1998; Clark & Jenkins, 1999; Wilson et al., 2002; Wortmann et al., 2004; Forster et al., 2007; Bornemann et al., 2008; Föllmi & Gainon, 2008; Mutterlose et al., 2009; Heldt et al., 2010; Herrle et al., 2010; McAnena et al., 2013).

1.6.2 Registros do magnetismo ambiental do evento OAE 1b na transição Aptiano-Albiano no núcleo PLG

Os dados de magnetismo ambiental oferecem evidências das variações de longo período ocorridas durante o período investigado. Por outro lado, variações de curto prazo são também notadas na litologia e nos proxies magnéticos, sendo que sua origem pode ser atribuída à produtividade e condições *redox*, que são desencadeadas pela forçante orbital durante a sedimentação dos folhelhos (Herbert & Fischer, 1986; Premoli Silva et al., 1989; Erba & Premoli Silva, 1994; Tateo et al., 2000; Galeotti et al., 2003). A variação das propriedades magnéticas pode ser controlada pelo processo de alterações temporais regulares na fonte vulcânica, associada a grandes eventos vulcânicos no Platô Sul de Kerguelen (Coffin et al., 2002), que talvez tenham emitido uma grande quantidade de minerais magnéticos através de atividades hidrotermais. Investigações anteriores, baseadas em Hg e $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ medidos em sedimentos, apontam para excursões de longo período que sugerem que a atividade vulcânica da grande província ígnea do Kerguelen desencadeou os eventos anóxicos ao final do Aptiano e início do Albiano (e.g., Sabatino et al., 2018; Matsumoto et al., 2020, 2022). A ocorrência, abundância e composição dos minerais magnéticos são conectadas às transformações paleoceanográficas que ocorreram no mar profundo, com uma ligação e/ou adaptação de fonte detrítica e biológica. As oscilações entre as baixas e altas concentrações de minerais magnéticos podem ser associadas a mudanças no fluxo

(biogênico vs terrígeno), fontes de sedimentação e/ou aos processos de transporte de sedimentos.

O EAO 1b no testemunho PLG tem sido um objeto de estudo em paleoceanografia (Coccioni et al., 2014; Sabatino et al., 2015, 2018; Matsumoto et al., 2020, 2022). Nossa análise magnética ambiental mostrou mudanças significativas na quantidade de detritos depositados. Porém, também observamos a presença de cristais de magnetita e/ou greigita domínio simples magneticamente não-interagentes, que são interpretados como magnetofósseis. As partículas detríticas podem transportar partículas para os sedimentos e, ao mesmo tempo, transportar nutrientes para os microorganismos marinhos estimulando a produtividade. Tais eventos de fertilização natural podem ser atribuídos a tempestades de poeira (e.g., Bishop et al., 2002), cinzas vulcânicas (e.g., Hamme et al., 2010; Abrajevitch et al., 2014), ou através dos eventos de deposição massivos (e.g., Blain et al., 2001, 2007).

Os indicadores de magnetismo ambiental evidenciam que as alterações percebidas podem representar uma resposta biológica à variação na disponibilidade de nutrientes. As mudanças na fertilidade por ferro podem ter implicações no clima global (e.g., Roberts et al., 2011). Os nossos resultados mostram que as mudanças no magnetismo ambiental e nos isótopos estáveis registrados no testemunho PLG provavelmente registram as variações na oferta local de sedimentos detríticos. Sugerimos que há uma associação entre as flutuações da produtividade a longo prazo com a entrada de ferro vulcânico resultante de grandes eventos vulcânicos na SKP (Coffin et al., 2002; Matsumoto et al., 2020, 2022).

Nosso conhecimento das relações entre as alterações das propriedades magnéticas, a produtividade, as mudanças paleoceanográficas e os folhelhos negros na Bacia Umbria-Marche ainda não estão definidos. Precisamos de mais estudos petrográficos, biográficos e magnéticos na região do Tethys para descobrir se as observações no núcleo do PLG têm ênfase local, regional ou global.

1.7 CONCLUSÕES

Uma análise de alta resolução de isótopos estáveis e magnetismo ambiental foi realizada em um intervalo de 12 m de comprimento do testemunho PLG (Bacia Umbria-Marche), Itália, o que corresponde ao período em torno do Evento Anóxico Oceânico 1b (EAO 1b). As variações nos parâmetros de magnetismo ambiental são indicativas de um aumento no suprimento e aporte de material terrígeno, o que sugere ligações entre vulcanismo global, fornecimento de nutrientes e produtividade superficial.

Mudanças na composição, concentração e tamanho do grão magnético são observadas durante o EAO 1b no núcleo do PLG. Os parâmetros magnéticos também indicam a ocorrência de magnetofósseis de magnetita produzidos por bactérias magnetotáticas, indicado pelos diagramas FORC, que são típicos da magnetita SD não-interagente. Especulamos que uma elevação na concentração de magnetofósseis corresponde a um aumento na produtividade primária que, possivelmente foi estimulada por fontes eólicas e vulcânicas de fluxos de ferro.

Referências Bibliográficas

- Arthur, M.A., Brumsack, H.-J., Jenkyns, H.C. & Schlanger, S.O., 1990. Stratigraphy, geochemistry, and paleoceanography of organic carbon-rich cretaceous sequences. In: Ginsburg, R.N., Beaudoin, B. (Eds.), *Cretaceous, Resources, Events, and Rhythms: Background and Plans for Research*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 75–119.
- Bellanca, A., Masetti, D., Neri, R., Venezia, F., 1999. Geochemical and sedimentological evidence of productivity cycles recorded in Toarcian black shales from the Belluno Basin, Southern Alps, northern Italy. *Journal of Sedimentary Research* 69(2).
- Berger, W. H. & Von Rad, U., 1972. Cretaceous and Cenozoic sediments from the Atlantic Ocean. Hayes, DE, Pimm, A. C, et al., *Init. Repts. DSDP*, 14, 787-954.
- Bornemann, A., Norris, R.D., Friedrich, O., Beckmann, B., Schouten, S., Damsté, J.S.S., Vogel, J., Hofmann, P., Wagner, T., 2008. Isotopic evidence for glaciation during the Cretaceous supergreenhouse. *Science* 319(5860), 189-192.
- Bottini, C., Erba, E., Tiraboschi, D., Jenkyns, H.C., Schouten, S. & Sinninghe Damsté, J.S., 2015. Climate variability and ocean fertility during the Aptian Stage. *Clim. Past*, 11, 383–402. <https://doi.org/10.5194/cp-11-383-2015>
- Bottini, C. & Erba, E., 2018. Mid-Cretaceous paleoenvironmental changes in the western Tethys. *Clim. Past*, 14, 1147–1163. <https://doi.org/10.5194/cp-14-1147-2018>.
- Bralower, T.J., 1987. Valanginian to Aptian calcareous nannofossil stratigraphy and correlation with the upper M-sequence magnetic anomalies. *Marine Micropaleontology*, v. 11, pp. 293 – 310.
- Bralower, T. J., Sliter, W. V., Arthur, M. A., Leckie, R. M., Allard, D., & Schlanger, S. O., 1993. Dysoxic/anoxic episodes in the Aptian-Albian (Early Cretaceous). *The Mesozoic Pacific: geology, tectonics, and volcanism*, 5-37.

- Browning, E.L. & Watkins, D.K., 2008. Elevated primary productivity of calcareous nanoplankton associated with ocean anoxic event 1b during the Aptian/Albian transition (Early Cretaceous). *Paleoceanography*, 23, PA2213. <https://doi.org/10.1029/2007PA001413>.
- Butler, R. F., 1992. *Paleomagnetism: magnetic domains to geologic terranes* (Vol. 319). Boston: Blackwell Scientific Publications.
- Clarke, L. J., & Jenkyns, H. C., 1999. New oxygen isotope evidence for long-term Cretaceous climatic change in the Southern Hemisphere. *Geology*, 27(8), 699-702.
- Coccioni, R., Nesci, O., Tramontana, M., Wezel, C.F. & Moretti, E., 1987. Descrizione di un livello-guida "Radiolaritico-Bituminoso-Ittiolitico" alla base delle Marne a Fucoidi nell' Appennino Umbro-Marchigiano. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, v. 106, p. 183-192.
- Coccioni, R., Nesci, O., Wezel, F.C., Battisti, F. & Pallecchi, P., 1989. Stratigraphy and mineralogy of the Selli Level (Early Aptian) at the base of the Marne a Fucoidi in the Umbro-Marchean Apennines, Italy. In: Wiedmann, J., ed., *Cretaceous of the Western Tethys: Proceedings 3rd International Cretaceous Symposium: Stuttgart*, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, pp. 563-584.
- Coccioni, R., Franchi, R., Nesci, O., Perilli, N., Wezel, F.C. & Battistini F., 1990. Stratigrafia, micropaleontologia e mineralogia delle Marne a Fucoidi delle sezioni di Poggio le Guaine e del Fiume Bosso (Appennino umbro-marchigiano). In: Pallini, G., Cecca, F., Cresta, S., Santantonio, M., eds., *Fossili, Evoluzione, Ambiente: Atti II Convegno Internazionale*, Pergola, v. 87, pp. 163-201.
- Coccioni, R., Erba, E. & Premoli Silva, I., 1992. Barremian–Aptian calcareous plankton biostratigraphy from the Gorgo a Cerbara section (Marche, central Italy) and implications for plankton evolution: *Cretaceous Research*, v. 13, p. 517–537. [https://doi.org/10.1016/0195-6671\(92\)90015-I](https://doi.org/10.1016/0195-6671(92)90015-I).

- Coccioni, R., Jovane, L., Bancalà, G., Bucci, C., Fauth, G., Frontalini, F., Janikian, L., Savian, J., Paes de Almeida, R., Mathias, G.L. & Trindade, R.I.F., 2012. Umbria–Marche Basin, Central Italy: a reference section for the Aptian–Albian interval at low latitudes. *Sci. Drill.* 13, 42–46.
- Coccioni, R., Sabatino, N., Frontalini, F., Gardin, S., Sideri, M. & Sprovieri, M., 2014. The neglected history of oceanic anoxic event 1b: insights and new data from the Poggio le Guaine section (Umbria–Marche Basin). *Stratigraphy* 11, 245–282.
- Coffin, M.F., Pringle, M.S., Duncan, R.A., Gladchenko, T.P., Storey, M., Müller, R.D. & Gahagan, L.A., 2002. Kerguelen Hotspot Magma Output since 130 Ma. *J. Petrol.* 43(7), 1121–1137. <https://doi.org/10.1093/petrology/43.7.1121>.
- Collinson, D. W., 1983. *Methods in rock magnetism and paleomagnetism*. New York: Chapman and Hall.
- Day, R., Fuller, M. & Schmidt, V.A., 1977. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain size and composition dependence. *Phys. Earth Planet. Inter.* 13, 260–266.
- Dekkers, M. J., 1997. Environmental magnetism: an introduction. *Geologie en mijnbouw*, 76(1), 163-182.
- Dunlop, D. J. & Özdemir, Ö. 1997. *Rock magnetism: fundamentals and frontiers*. Cambridge University Press, 572p.
- Egli, R., & Zhao, X. (2015). Natural remanent magnetization acquisition in bioturbated sediment: general theory and implications for relative paleointensity reconstructions. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 16(4), 995-1016.
- Eldhom, O., Coffin, M.F., 2000. Large igneous provinces and plate tectonics. In: Richards, M.A., Gordon, R.G., Van der Hilst, D. (Eds.), *The History and Dynamics of Global Plate Motions*, pp. 309–326.
- Erba, E., 1988. Aptian–Albian calcareous nannofossil biostratigraphy of the Scisti a Fucoidi cored at Piobbico (central Italy). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 94, 249– 284.

- Erba, E., 1992. Calcareous nannofossil distribution in the pelagic rhythmic sediments (Aptian-Albian Piobbico Core, Central Italy), *Rivista Ital. Paleontol. Stratigr.*, 97(3–4), 455–484.
- Erba, E., 2004. Calcareous nannofossils and Mesozoic oceanic anoxic events. *Marine micropaleontology*, 52(1), 85-106.
- Erba, E & Premoli Silva, I., 1994. Orbitally driven cycles in trace-fossil distribution from the Piobbico core (Late Albian, Central Italy). In: *Orbital Forcing and Cyclic Sequences* (Eds P.L. De Boer and D.G. Smith), IAS Spec. Publ., 19, 211–225.
- Erbacher, J., Friedrich, O., Wilson, P.A., Lehmann, J. & Weiss, W., 2011. Short-term warming events during the boreal Albian (mid-Cretaceous). *Geology* 39 (3), 223–226. <https://doi.org/10.1130/G31606.1>.
- Evans, M.E. & Heller, F., 2003. *Environmental magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetics* Academic Press, 299 p.
- Fauth, G., Krahl, G., Kochhann, K.G.D., Bom, M.H.H., Baecker-Fauth, S., Bruno, M.D.R., Guerra, R.N., Ceolin, D., Santos, A.S., Villegas-Martin, J., Strohschoen Jr, O., Savian, J.F., Leandro, C.G., Mello, R.G. & Lima, F.H.O., 2022. Astronomical calibration of the latest Aptian to middle Albian in the South Atlantic Ocean. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 602, 111175. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2022.111175>.
- Föllmi, K.B., Gainon, F., 2008. Demise of the northern Tethyan Urgonian carbonate platform and subsequent transition towards pelagic conditions: the sedimentary record of the Col de la Plaine Morte area, central Switzerland. *Sedimentary Geology* 205(3), 142-159.
- Forster, A., Schouten, S., Baas, M., Damsté, J.S.S., 2007. Mid-Cretaceous (Albian–Santonian) sea surface temperature record of the tropical Atlantic Ocean. *Geology* 35(10), 919-922.
- Galeotti, S., Sprovieri, M., Coccioni, R., Bellanca, A. & Neri, R., 2003. Orbital modulated black shale deposition in the upper Albian Amadeus Segment

(central Italy): a multi-proxy reconstruction. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 190, 441-458.

Heldt, M., Lehmann, J., Bachmann, M., Negra, H., Kuss, J., 2010. Increased terrigenous influx but no drowning: palaeoenvironmental evolution of the Tunisian carbonate platform margin during the Late Aptian. *Sedimentology* 57(2), 695-719.

Herbert, T.D. & Fischer, A.G., 1986. Milankovitch climatic origin of mid-Cretaceous black shale rhythms in central Italy. *Nature*. 321, 739–743.

Herrle, J.O., Kössler, P., Bollmann, J., 2010. Palaeoceanographic differences of early Late Aptian black shale events in the Vocontian Basin (SE France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297(2), 367-376.

Hochuli, P.A., Menegatti, A.P., Weissert, H., Riva, A., Erba, E., Silva, I.P., 1999. Episodes of high productivity and cooling in the early Aptian Alpine Tethys. *Geology* 27(7), 657-660.

HUANG, C., HINNOV, L. & FISCHER, A.G., 2010. Astronomical tuning of the Aptian stage from Italian reference sections. *Geology*, v. 30, pp. 899 – 902.

Huber, B.T., Hodell, D.A., Hamilton, C.P., 1995, Mid- to Late Cretaceous climate of the southern high latitudes: Stable isotopic evidence for minimal equator-to-pole thermal gradients. *Geological Society of America Bulletin*, v. 107, p. 1164-1191.

Jenkyns, H. C., 1980. Cretaceous anoxic events: from continents to oceans. *Journal of the Geological Society*, 137(2), 171-188. Jenkyns, H. C. (1999). Mesozoic anoxic events and palaeoclimate. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, 1997, 943-9.

Jenkyns, H., 1988. The early Toarcian (Jurassic) anoxic event-stratigraphic, sedimentary, and geochemical evidence. *American Journal of Science*, 288(2), 101-151.

Jenkyns, H. C., 2010. Geochemistry of oceanic anoxic events. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(3). <https://doi.org/10.1029/2009GC002788>.

- Kodama, K.P., 2004. Paleomagnetism of Sedimentary Rocks. First Edit. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2012. p. 94–123.
- Larson, R.L., 1991. Geological consequences of superplumes. *Geology* 19 (10), 963–966. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1991\)019<0963:GCOS>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1991)019<0963:GCOS>2.3.CO;2).
- Leandro, C.G., Savian, J.F., Kochhann, M.V.L., Franco, D.R., Coccioni, R., Frontalini, F., Gardin, S., Jovane, L., Figueiredo, M., Tedeschi, L.R., Janikian, L., Almeida, R.P. & Trindade, R.I.F., 2022. Astronomical tuning of the Aptian stage and its implications for age recalibrations and paleoclimatic events. *Nat. Commun.* 13, 2941. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30075-3>.
- Leckie, R.M., Bralower, T.J., Cashman, R., 2002. Oceanic anoxic events and plankton evolution: Biotic response to tectonic forcing during the mid-Cretaceous. *Paleoceanography*, 17, 1–29.
- Liu, Q., Roberts, A.P., Larrasoana, J.C., Banerjee, S.K., Guyodo, Y., Tauxe, L., Oldfield, F., 2012. Environmental magnetism: Principles and applications. *Rev. Geophys.* 50, RG4002. <https://doi.org/10.1029/2012RG000393>.
- Lowrie, W., 2007. Fundamentals of geophysics. Cambridge university press.
- Maher, B. A., & Thompson, R. (Eds.), 1999. Quaternary climates, environments and magnetism. Cambridge University Press.
- Matsumoto, H., Kuroda, J., Coccioni, R., Frontalini, F., Sakai, S., Ogawa, N.O. & Ohkouchi, N., 2020. Marine Os isotopic evidence for multiple volcanic episodes during Cretaceous Oceanic Anoxic Event 1b. *Sci. Rep.* 10, 12601. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69505-x>.
- Matsumoto, H., Coccioni, R., Frontalini, F., Shirai, K., Jovane, L., Trindade, R., Savian, J.F., Tejada, M.L.G., Gardin, S. & Kuroda, J., 2021. Long-term Aptian marine osmium isotopic record of Ontong Java Nui activity. *Geology*, 49. <https://doi.org/10.1130/G48863.1>.
- Matsumoto, H., Coccioni, R., Frontalini, F., Shirai, K., Jovane, L., Trindade, R., Savian, J. F. & Kuroda, J., 2022. Mid-Cretaceous marine Os isotope evidence

for heterogeneous cause of oceanic anoxic events. *Nat. Commun.* 13, 239. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27817-0>.

McAnena, A., Flögel, S., Hofmann, P., Herrle, J. O., Griesand, A., Pross, J., Talbot, H. M., Rethemeyer, J., Wallmann, K. & Wagner, T., 2013. Atlantic cooling associated with a marine biotic crisis during the mid-Cretaceous period. *Nat. Geosci.*, 6, 558–651. <https://doi.org/10.1038/ngeo1850>.

McELHINNY, M. W., McFADDEN, P. L., 2000. *Paleomagnetism: continents and oceans*, v. 73. Academic Press.

Mutterlose, J., Bornemann, A., Herrle, J., 2009. The Aptian–Albian cold snap: Evidence for. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen* 252(2), 217-225.

Oldfield, F., 1991. Environmental magnetism—a personal perspective. *Quaternary Science Reviews*, 10(1), 73-85.

Pedersen, T.F., Calvert, S.E., 1990. Anoxia vs. productivity: what controls the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary Rocks?(1). *AAPG Bulletin*, 74(4), 454-466.

Premoli Silva, I., Ripepe, M. & Tornaghi, M.E., 1989. Planktonic foraminiferal distribution record productivity cycles: evidence from the Aptian-Albian Piobbico core (central Italy). *Terra Nova*. 1, 443-448.

Roberts, A.P., Cui, Y. & Verosub, K.L., 1995. Wasp-waisted hysteresis loops: mineral magnetic characteristics and discrimination of components in mixed magnetic systems. *J. Geophys. Res.* 100, 17909–17924.

Roberts, A.P., Pike, C.R. & Verosub, K.L., 2000a. First-order reversal curve diagrams: a new tool for characterizing the magnetic properties of natural samples. *J. Geophys. Res.* 105, 28461–28475. <http://dx.doi.org/10.1029/2000JB900326>.

- Roberts, A.P., Pike, C.R. & Verosub, K.L., 2000b. FORC diagrams: a new tool for characterizing the magnetic properties of natural samples. *J. Geophys. Res.* 105, 28461–28475.
- Roberts, A.P., Florindo, F., Villa, G., Chang, L., Jovane, L., Bohaty, S.M., Larrasoaña, J.C., Heslop, D. & Fitz Gerald, J.D., 2011. Magnetotactic bacterial abundance in pelagic marine environments is limited by organic carbon flux and availability of dissolved iron. *Earth Planet. Sci. Lett.* 310, 441–452.
- Roberts, A.P., Florindo, F., Chang, L., Heslop, D., Jovane, L. & Larrasoaña, J.C., 2013. Magnetic properties of pelagic marine carbonates. *Earth-Sci. Rev.* 127, 111–139.
- Roberts, A.P., Tauxe, L., Heslop, D., Zhao, X. & Jiang, Z., 2018. A Critical Appraisal of the “Day” Diagram. *J. Geophys. Res: Solid Earth.* 123, 2618–2644.
- Sabatino, N., Coccioni, R., Manta, D.S., Baudin, F., Vallefucio, M., Traina, A. & Sprovieri, M., 2015. High-resolution chemostratigraphy of the late Aptian-early Albian oceanic anoxic event (OAE 1b) from the Poggio le Guaine section (Umbria–Marche Basin, central Italy). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 426, 319–333.
- Sabatino, N., Ferraro S. & Coccioni, R., et al., 2018. Mercury anomalies in upper Aptian-lower Albian sediments from the Tethys realm. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 495, pp. 163-170.
- Savian, J.F., Jovane, L., Frontalini, F., Trindade, R.I.F., Coccioni, R., Bohaty, S.M., Wilson, P.A., Florindo, F., Roberts, A.P., Catanzariti, R. & Iacoviello, F., 2014. Enhanced primary productivity and magnetotactic bacterial production in response to middle Eocene warming in the Neo-Tethys Ocean. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 414, 32–45.
- Savian, J., Trindade, R., Janikian, L., Jovane, L., de Almeida, R.P., Coccioni, R., Frontalini, F., Sideri, M., Figueiredo, M., Tedeschi, L.R. & Jenkyns, H.C., 2016. The Barremian-Aptian boundary in the Poggio le Guaine core (central Italy): evidence for magnetic polarity Chron M0r and oceanic anoxic event 1a. In:

Menichetti, M., Coccioni, R., Montanari, A. (Eds.), The Stratigraphic Record of Gubbio: Integrated Stratigraphy of the Late Cretaceous–Paleogene Umbria–Marche Pelagic Basin, Geological Society of America Special Paper, 524, pp. 57–78. [https://doi.org/10.1130/2016.2524\(05\)](https://doi.org/10.1130/2016.2524(05)).

Schlanger, S.O. & Jenkyns, H.C., 1976. Cretaceous Oceanic Anoxic events: Causes and consequences. *Geol. Mijnb.* 55, 179–184.

Sugiura, N., 1979. ARM, TRM and magnetic interactions: concentration dependence. *Earth and Planetary Science Letters*, 42(3), 451–455.

Tateo, F., Morandi, N., Nicolai, A., Ripepe, M., Coccioni, R., Galeotti, S. & Baudin, F., 2000. Orbital control on pelagic clay sedimentology; the case of the late Albian “Amadeus Segment” (central Italy). *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 171(2), 217–228.

Tauxe, L., Mullender, T.A.T. & Pick, T., 1996. Potbellies, wasp-waists, and superparamagnetism in magnetic hysteresis. *J. Geophys. Res.* 101, 571–583.

Tauxe, L., Steindorf, J. L. & Harris, A., 2006. Depositional remanent magnetization: toward an improved theoretical and experimental foundation. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 244(3), pp. 515–529.

Tauxe, L., Kodama, K. P. & Kent, D. V., 2008. Testing corrections for paleomagnetic inclination error in sedimentary rocks: a comparative approach. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 169(1–4), 152–165.

Tauxe, L., 2010. *Essentials of paleomagnetism*. Univ of California Press.

Tiraboschi, D., Erba, E. & Jenkyns, H. C., 2009. Origin of rhythmic Albian black shales (Piobbico core, central Italy): Calcareous nannofossil quantitative and statistical analyses and paleoceanographic reconstructions. *Paleoceanography* 24, PA2222. <http://dx.doi.org/10.1029/2008PA001670>.

Thompson, R. & Oldfield, F., 1986. *Environmental Magnetism*. Allen and Unwin, Winchester, Mass. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-0118036-8> (227 pp.).

- Trabucho Alexandre, J., Van Gilst, R.I., Rodríguez-López, J.P. & De Boer, P.L., 2011. The sedimentary expression of oceanic anoxic event 1b in the North Atlantic. *Sedimentology* 58, 1217–1246.
- Veevers, J. J., & Johnstone, M. H., 1974. Comparative stratigraphy and structure of the western Australian margin and the adjacent deep ocean floor. *Initial Reports of the DSDP*, 27, 571-585.
- Verosub, K.L. & Roberts, A.P., 1995. Environmental magnetism: past, present, and future. *J. Geophys. Res.* 100, 2175–2192. <http://dx.doi.org/10.1029/94JB02713>.
- Weissert, H., 1990. Siliciclastics in the Early Cretaceous Tethys and North Atlantic Oceans: Documents of periodic greenhouse climate conditions. *Mem. Soc. Geol. Ital*, 44, 59-69.
- Weissert, H., Lini, A., Föllmi, K. B. & Kuhn, O., 1998. Correlation of Early Cretaceous carbon isotope stratigraphy and platform drowning events: a possible link?. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 137(3-4), 189-203.
- Wilson, P.A., Norris, R.D., Cooper, M.J., 2002, Testing the Cretaceous greenhouse hypothesis using glassy foraminiferal calcite from the core of the Turonian tropics on Demerara Rise: *Geology* 30, 607–610.
- Wortmann, U.G., Herrle, J.O., and Weissert, H., 2004, Altered carbon cycling and coupled changes in Early Cretaceous weathering patterns: Evidence from integrated carbon isotope and sandstone records of the western Tethys: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 220, p. 69–82.

CAPÍTULO II: ARTIGO CIENTÍFICO

The paleoenvironmental magnetic expression of the Aptian-Albian transition in the Poggio le Guaine Core, (Umbria-Marche Basin, western Neo-Tethys)

Djeniffer S.S. Silva^{a,*}, Jairo F. Savian^a, Carolina G. Leandro^a, Martino Giorgioni^b, Paula Harethusia Pereira Costa Vidal^b, Ana Paula de M. de Souza^c, Luigi Jovane^c, Fabrizio Frontalini^d, Rodolfo Coccioni^d, Hironao Matsumoto^e, Junichiro Kuroda^e, Ricardo I.F. Trindade^f

^aInstituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91501-970 Porto Alegre, Brazil

^bInstituto de Geociências, Universidade de Brasília, ICC - Ala Central, Brasília 70910-900, Brazil

^cDepartamento de Oceanografia Física, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, Praça do Oceanográfico, 191, 05508-120 São Paulo, Brazil

^dDipartimento di Scienze Pure e Applicate, Università degli Studi di Urbino “Carlo Bo”, Campus Scientifico, Località Crocicchia, 61029 Urbino, Italy

^eAtmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa 277-8564, Japan

^fDepartamento de Geofísica, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, Rua do Matão, 1226, 05508-090 São Paulo, Brazil

*corresponding author: jairo.savian@gmail.com

ABSTRACT

The pelagic Marne a Fucoidi Formation from the Umbria-Marche Basin (Central Italy) is one of the most preserved archive of the Aptian-Albian boundary marked by oceanic perturbations associated with Oceanic Anoxic Event (OAE) 1b. The perturbation in the carbon cycle during the OAE 1b is associated with volcanic episodes of extensively volcanism in the Southern Kerguelen Plateau (SKP). However, the cause and effect of the suggested for the OAE 1b remain unclear. Sedimentological and paleontological evidence suggests that both changes in surface water productivity and in bottom water conditions contributed to observed black-green-red sedimentation patterns. In this study we investigate if environmental magnetism signatures preserved in these sediments can provide an improved understanding of the Aptian-Albian paleoceanography. We use environmental magnetism techniques for the investigation of changes in magnetic concentration, composition, and grain size that occur in the high-resolution rock magnetic record. We speculate that systematic variations in environmental magnetism parameters are consistent with increased terrigenous input, therefore, increased nutrient supply. Spikes in terrigenous material can be related with volcanic pulses of the SKP within OAE 1b. We demonstrate that environmental magnetic parameters can provide useful proxies for terrigenous input that can help to resolve local versus global drivers of paleoenvironmental and paleoceanographic changes.

Keywords: Environmental magnetism, Marne a Fucoidi; Aptian-Albian; OAE 1b.

Highlights:

The studied record spans the Aptian-Albian boundary at Poggio le Guaine section, Italy.

Geochemical and rock magnetic analyses were conducted.

Increase in volcanism content reflects enhanced iron supply during the OAE 1b.

Magnetofossils are observed during the OAE 1b.

2.1 INTRODUCTION

The records of the greenhouse climate system are punctuated by the sporadic occurrence of oceanic anoxic events (OAEs) of regional to global expression (Schlanger & Jenkyns, 1976; Leckie et al., 2002; Herrle et al., 2004). In general, the OAEs were characterized by an increase in organic matter preservation and marine productivity, leading to a greater accumulation of marine organic matter in the form of black shale deposits (Jenkyns, 2010).

The OAE1b is a long-term event (> 3 Ma) characterized by several levels of black shales (Leckie et al., 2002; Trabucho-Alexandre et al., 2011; Coccioni et al., 2014; Sabatino et al., 2015, 2018). It consists mainly in four levels of greatest global expression (Coccioni et al., 2014; Matsumoto et al., 2020); The 113/Jacob level, the Kilian level (Aptian–Albian boundary); Urbino/Paquier level; and Leenhardt equivalent level (e.g., Coccioni et al., 2014; Bottini et al., 2015; Sabatino et al., 2015, Bottini & Erba, 2018; Matsumoto et al., 2020). This event is associated with a global warming phase (McAnena et al., 2013; Bottini et al., 2015; Bottini & Erba, 2018), which is related to the activity of the Large Igneous Provinces (LIPs) of the south of the Kerguelen and Nauru-Mariana Plateau (Eldhom & Coffin, 2000). Bottini & Erba (2018) classify the OAE1b event as a hyperthermal event, with average temperatures between 34 °C and 36 °C. This event is also characterized as a period of high productivity (Browning & Watkins, 2008). However, the source of nutrients needed to increase primary productivity during the OAE1b event is intensely debated, but the hypothesis of iron fertilization has been suggested as the trigger mechanism for the OAE1b (e.g., Leckie et al., 2002). It is possible that micronutrients originating during the formation of the Kerguelen Plateau stimulated the marine primary productivity before and during the OAE1b (e.g., Leckie et al., 2002; Browning & Watkins, 2008).

Environmental magnetism has been increasingly used in paleoceanographic and paleoclimatic studies due to formation, transport, depositional processes, and post-depositional changes that magnetic minerals reflect on the environment (e.g., Thompson & Oldfield, 1986; Verosub & Roberts, 1995; Evans & Heller, 2003; Liu et al., 2012). Recent advances in environmental magnetism techniques have enabled the identification and quantification of the magnetic variations in sedimentary deposits. The Marne a Fucoidi Formation in the Umbria-Marche Basin (Central Italy)

is one of the best-preserved sedimentary archives of the OAE1b. The lithology of the Marne a Fucoidi Formation consists of grayish-greenish, bioturbated, pelagic marls and marly limestones, alternating with black-shales, but also punctuated by some meter thick red-beds (e.g., Coccioni et al., 2012, Sabatino et al., 2015; 2018). These sediments reflect highly variable redox conditions at the bottom of the basin, testifying to a very unstable environment (Giorgioni et al., 2012, 2017).

In this paper, we present a new high-resolution environmental magnetic study of the Poggio le Guaine (PLG) core (Coccioni et al., 2012; Savian et al., 2016; Matsumoto et al., 2021) for the OAE1b event, which is aimed first at testing whether a magnetic signature associated with the OAE1b is present in this record, and second, to better understand the paleoclimatic event. We also show in this study a new stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$) record to define the OAE1b in this sedimentary core. Results from previous studies on the PLG core are used to establish the stratigraphic chronology (Coccioni et al., 2014; Sabatino et al., 2015; Savian et al., 2016; Matsumoto et al., 2021; Leandro et al., 2022).

2.2 LOCATION AND STRATIGRAPHIC SETTING

The Cretaceous pelagic succession of the Umbria-Marche Basin was deposited in a complex basin with a topography that grew along the continental margin of the Apulian bloc, moving with Africa in relation to northern Europe (Centamore et al., 1980; Channell et al., 1979). After decades of research, the Aptian–Albian pelagic succession of the Umbria Marche Basin (Italy) has become a classic reference for studies on a regional to global scale. This was deposited well above the Calcite Compensation Depth (CCD) in the medium and low depths (1000–1500m) and at a paleolatitude of approximately 20°N, on the south western margin of the Tethys Sea (Arthur & Premoli Silva, 1982; Coccioni et al., 1987, 1989, 1990, 1992; Coccioni, 1996; Erba, 1988, 1992; Tornaghi et al., 1989; Coccioni & Galeotti, 1993; Satolli et al., 2008; Tiraboschi et al., 2009; Turchyn et al., 2009).

This pelagic succession extends from the upper part of the Maiolica Formation (Tithonian to lower Aptian) to the lower part of the Scaglia Bianca Formation (upper Albian to lower Turonian) and includes, the Marne a Fucoidi

Formation in between. The upper part of the Maiolica Formation is represented by centimeter thick beds of white to gray limestone interspersed with black shales. The lower part of the Scaglia Bianca Formation is characterized by centimeter thick beds of yellowish-gray limestones with reddish limestones and an interval with centimeter thick black shale layers in the lower part (Coccioni, 2001), which is the sedimentary expression of the last OAE1d in the upper the Albian. The Poggio le Guaine (PLG) section is located in the eastern portion of Monte Nerone, along the dirt road, 500m southwest of the PLG relief (latitude 43°32'29.06 "N, longitude 12°34'51.09"E).

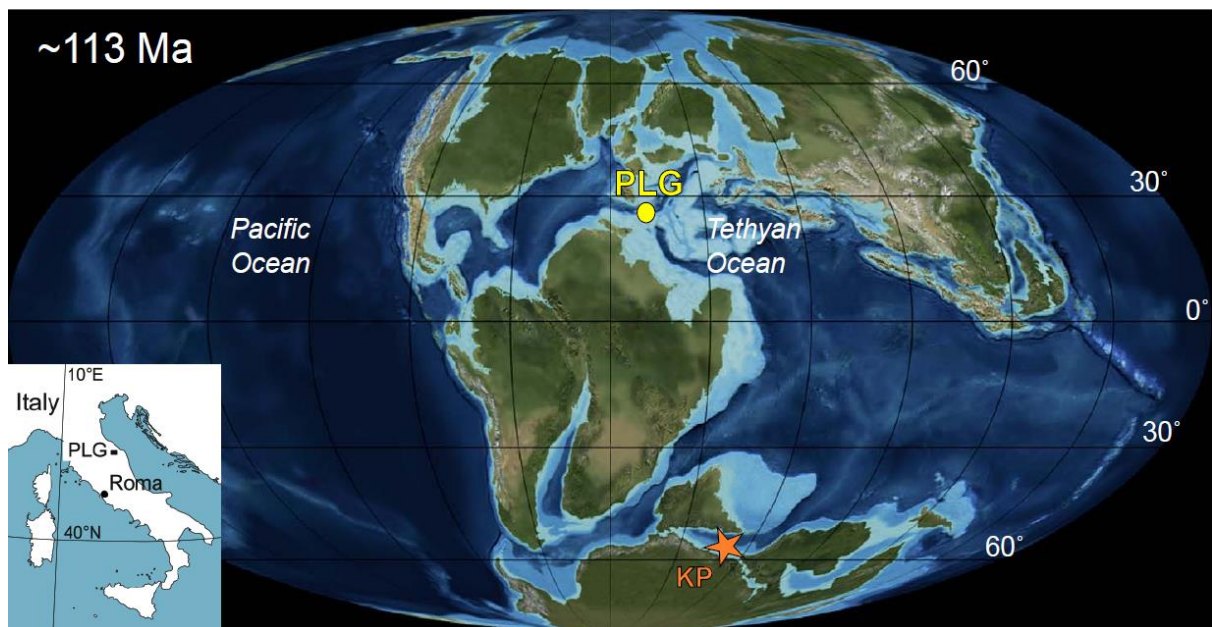


Figure 1: Palaeogeographic reconstruction for the Aptian-Albian transition at ~113 Ma (modified after Sabatino et al., 2018) showing the location of the Poggio le Guaine (PLG) section and of the Kerguelen Plateau (KP). The inset figure shows the present day position of the PLG core.

Organic-rich horizons (Figure 1) have been attributed to a regional expression of the global OAE 1b (Coccioni et al., 1990, 2012, 2014; Coccioni, 1996; Leckie et al., 2002; Trabucho Alexandre et al., 2011; Petrizzo et al., 2012, 2013; Sabatino et al., 2015, 2018; Matsumoto et al., 2020, 2022). These events include upper Aptian 113/Jacob level, the uppermost Aptian Kilian level, the Albian Urbino/Paquier, and the Leenhardt level (Coccioni et al., 2014; Sabatino et al., 2015,

2018; Matsumoto et al., 2020, 2022). According to the inferred ages of Leandro et al. (2022), the Aptian-Albian boundary is 113.6 Ma at Poggio le Guaine core.

2.3 MATERIAL AND METHODS

2.3.1 Sampling

The PLG core was split into two halves along the dip line of the bedding. The left side (archived) of the core was plastic coated and packed and housed at the University of Urbino, Italy. The right side (working half) of the core was cut into four parts, comprising two lateral sections, a bottom section, and the center of the split core. The center of the split core and bottom sections were cut in discrete cubic samples from the center of the split core sections in cubes of $\sim 8 \text{ cm}^3$ for environmental magnetism analyses. We collected 592 paleomagnetic samples with an averaging spacing of 3 cm, from 52 to 64 meters of the PLG core. The weight of each sample was determined for subsequent mass normalization of magnetic properties. The same samples were used to isotope analyses.

2.3.2 Environmental and rock magnetism

The magnetic properties were studied in order to obtain a quantitative inference of the variation in the composition, concentration and grain-size of magnetic minerals throughout the studied interval. The combined observations consist of the magnetic susceptibility (χ), the Natural Remanent Magnetization (NRM), the Anhyseretic Remanent Magnetization (ARM), the Isothermal Remanent Magnetization at 900 mT (IRM_{900mT}) and backfield Isothermal Remanent Magnetization at 100 mT (IRM_{-100mT}) and 300mT (IRM_{-300mT}). From these measurements, we calculated S-ratio and Hard Isothermal Remanent Magnetization (HIRM).

Environmental magnetism measurements were carried out at the Paleomagnetic Laboratory of the University of São Paulo (USPMag). Frequency dependence of the magnetic susceptibility was measured in a total of 592 samples

before remanence measurements. Magnetic-susceptibility measurements were made on an MFK1-FA Multi-Function Kappabridge (Pokorný et al., 2006) at 3 operating frequencies (976, 3904 and 15616 Hz), in a field of 200 A/m. Remanence measurements were all made in a u-channel pass-through 2G Enterprises model 755 SQUID magnetometer.

ARM was imparted in a 100 mT peak AF with a 0.05 mT biasing field. ARM is used to quantify low-coercivity magnetic minerals (e.g., magnetite) concentration. In the case of reduction by diagenesis, ARM also can indicate pyrrhotite and maghemite concentration (Peters & Dekkers, 2003). IRM at 900 mT, and backfield IRM at -100 mT and -300 mT were used to calculate S-ratio ($S\text{-ratio} = \text{IRM}_{-300\text{mT}}/\text{IRM}_{900\text{mT}}$) and hard isothermal remanent magnetization ($\text{HIRM} = (\text{IRM}_{900\text{mT}} + \text{BIRM}_{-300\text{mT}})/2$). IRM is also a measurement of magnetic mineral concentration in a sample, however, magnetic minerals with high-coercivity are activated by application of an IRM. The S-ratio and HIRM provide information on the stratigraphic variation of the magnetic coercivity and concentration of magnetic minerals (e.g., Liu et al., 2012).

To better understand the magnetic mineralogy of the magnetic minerals, we also investigated dependence of magnetic susceptibility up to a maximum temperature of 700°C on representative samples, measured with a Kappabridge MFK1-FA coupled with a CS4 furnace (AGICO), housed at Centro Oceanográfico de Registros Estratigráficos (CORE) at the Oceanographic Institute of the University of São Paulo (IO-USP). The data normalization and processing were performed by the CUREVAL8 software (AGICO, Czech Republic). We further characterized thirty-four representative samples by measuring hysteresis loops, IRM acquisition curves and backfield curves with maximum fields of 1.8 T. We used a Princeton Measurements Corporation MicroMag 3900 Vibrating Sample Magnetometer at CORE. From hysteresis loops and backfield curves, we obtained the saturation magnetization (M_s), saturation remanence (M_{rs}), the coercivity field (H_c) and the coercivity of remanence (H_{cr}). The ratios M_{rs}/M_s and H_{cr}/H_c provide information on the magnetic grain size and domain structures of the magnetic particles, as Superparamagnetic (SP), Single Domain (SD), Pseudo-single Domain (PSD) or vortex state, and Multidomain (MD) (Day et al., 1977; Roberts et al., 2018). IRM acquisition curves were also obtained stepwise up to 1.8 T. For a more detailed characterization of the magnetic fraction,

were acquired for each of the samples and processed in the FORCinel software package (Harrison & Feinberg, 2008) using VARIFORC smoothing (Egli, 2013). The smoothing factor adopted was $Sc0 = 2$, $Sb0 = 2$, $Sc1 = 5$, $Sb1 = 5$.

2.3.3 Stable carbon and oxygen isotopic compositions of carbonates

Carbonate stable carbon ($\delta^{13}C_{carb}$) and oxygen ($\delta^{18}O_{carb}$) isotopic compositions were measured in 22 samples from the PLG core using a continuous flow Gas Bench II system, coupled with a Delta V Plus IR mass spectrometer at the Stable Isotopes Laboratory of the University of Brasília.

Prior to the analysis, the samples were flushed with helium, using a specialized double-hole needle piercing the septa to remove the air and the vapor from the vials, and then were reacted with H_3PO_4 at a temperature of 72 °C. The generated CO_2 was carried by a He flow into the mass spectrometer for the analysis.

Stable isotope results were calibrated with the international standards NBS 18 and NBS 19, as well as two internal laboratory standards. The values are expressed in the conventional delta notation as per-mil variations relative to the Vienna Pee Dee Belemnite reference standard (V-PDB). Linear regression of the standard results followed by correction of the samples data were made to account for instrumental bias. Analytical errors (1σ) on $\delta^{13}C_{carb}$ and $\delta^{18}O_{carb}$ were estimated to be within $\pm 0.05\text{‰}$ and $\pm 0.1\text{‰}$, respectively.

2.4 RESULTS

2.4.1 Stratigraphic framework and Stable isotopes variations

Carbon isotope values vary between 2.4‰ and 3.5‰ through the upper Aptian - lower Albian sedimentary succession of the PLG core, displaying longer and shorter term variations. These variations correlate well with the global carbon isotope stages of the upper Aptian and lower Albian defined by Herrle et al. (2004) (Figure 2). According to this correlation, the high $\delta^{13}C_{carb}$ values in the lower part of the studied interval correspond to the upper part of the upper Aptian positive excursion,

or isotope stage Apt15. The following $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ decrease and subsequent increase match the lowermost Albian carbon isotope stage, AI1, including the abrupt fluctuations in its lower part, which, in the Vocontian Trough, occurs close to the black shales of the Jacob Level. The next isotope stage is marked by highly fluctuating and an abrupt negative shift in the $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ values, characterizing the AI2 stage of Herrle et al. (2004). This interval includes the black shales of the Urbino Level in the PLG succession, of the Paquier Level in the Vocontian Trough succession, and also of other successions out of the Tethys, indicating a global anoxic episode alongside a carbon cycle perturbation. The steadier $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ values above the AI2 interval mark the AI3 isotope stage. The good match with the isotope stages of Herrle et al. (2004) indicates that the $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ record of the PLG succession represents a global signature, and thus can be used to identify the different phases of the OAE 1b.

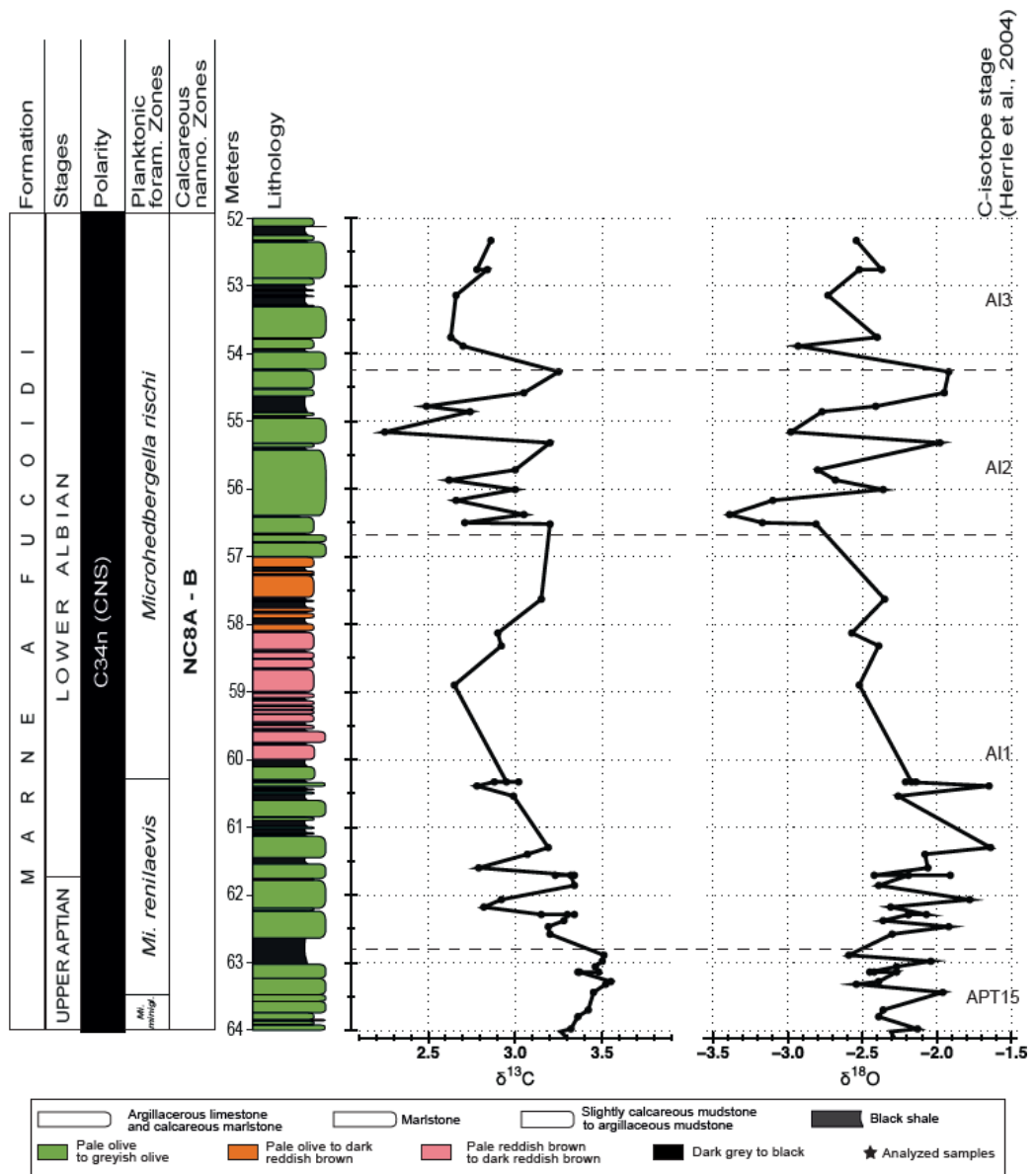


Figure 2: Magneto-, Bio-, and isotope ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$) stratigraphy of the upper Aptian - lower Albian part of the PLG core. In the isotope curves dots are single data points and the dashed lines are the C-isotope stages of Herrle et al. (2004).

2.4.2 Environmental magnetism

The magnetic records, from 64 to 52 m, of the magnetic susceptibilities (Figure 3a) (mean of $F_1 = 7.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, $F_2 = 7.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, $F_3 = 7.4 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), $\text{ARM}_{100\text{mT}}$ (Figure 3b) (mean of $4.1 \times 10^{-8} \text{ Am}^2/\text{kg}$), $\text{IRM}_{900\text{mT}}$ (Figure 3c) (mean of $1.5 \times 10^{-3} \text{ Am}^2/\text{kg}$), and magnetic low-coercivity indicators $\text{IRM}_{100\text{mT}}$ and

IRM_{300mT} (Figure 3d) (mean of 2.3×10^{-6} Am²/kg and 2.6×10^{-6} Am²/kg), show an alternating high and low-coercivity magnetic minerals concentration, which has no apparent relationship to the main lithostratigraphic features. The parameter sensitive to high coercivity variations (HIRMs) (Figure 3e), shows a bimodal variation. The same behavior is observed when the intervals with high magnetic (e.g., goethite-hematite) and a mixture of low magnetic (e.g., magnetite) mineral concentration by the S-ratio parameter (Figure 3f). The magnetic grain-size proxy ARM_{100mT}/IRM_{900mT} (Figure 3g) show alternating high (finer) and low (coarser) magnetic mineral concentration.

The intervals with high magnetic mineral concentration have a mixture of low and high coercivity minerals. The concentration of low coercivity minerals (interpreted to be magnetite) is dominant along the studied section. This is corroborated by the S-ratio near 0.9. However, in some intervals, the magnetic mineralogy changes abruptly for a high-coercivity mineral (S-ratio near 0), which is interpreted as goethite-hematite. This indicates that the magnetic mineralogy is a complex mixture of high and low coercivity components within these layers.

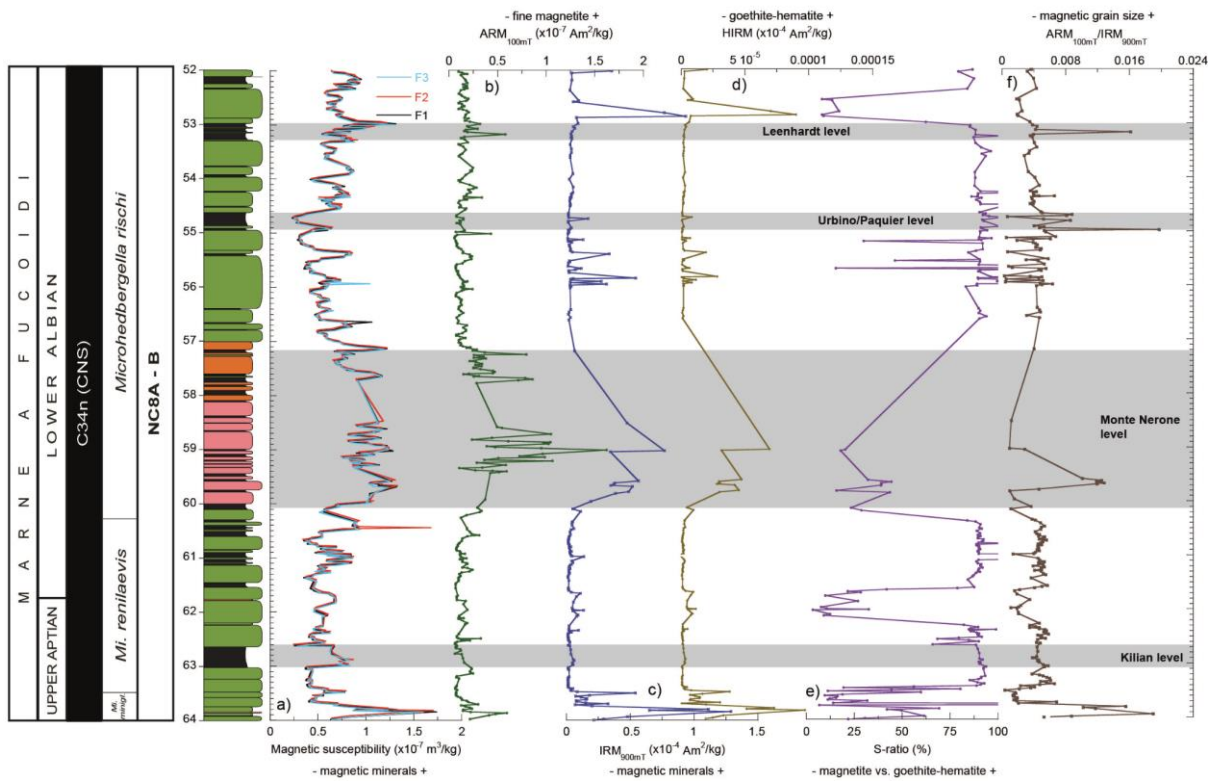


Figure 3: Lithostratigraphic column for the interval between 52 and 64 m at Poggio le Guaine core and environmental magnetic parameters as a function of stratigraphic position. (a) magnetic susceptibility in three different frequencies (976, 3904 and 15616 Hz); (b) anhysteretic remanent magnetization at 100 mT; (c) isothermal remanent magnetization at 900 mT; (d) isothermal remanent magnetization at -100 mT and -300 mT; (e) hard isothermal remanent magnetization; (f) S-ratio; and (g) ARM_{100mT}/IRM_{900mT} . The shaded areas mark the intervals of the black-shales of the OAE1b, 113/Jacob, Kilian, Monte Nerone, Urbino/Parquier, Leenhardt, respectively.

Hysteresis parameters, IRM acquisition curves, thermomagnetic curves and FORC diagrams indicate a variable mixture of low and high coercivity minerals (Figure 4). We interpret these results to indicate that magnetite is the dominant magnetic mineral, but the goethite and hematite are also present in some intervals. Hysteresis loops for representative discrete samples have two different behaviors (Figure 4a-c). The first behavior is typical of magnetite (Figure 4a). The second is characterized by wasp-waisted loops (Roberts et al., 1995; Tauxe et al., 1996), which suggests a mixture of high and low-coercivity magnetic minerals. Hysteresis data (Figure 4 and Table 1), including the ratio of saturation remanence to saturation

magnetization (M_{rs}/M_s) and the coercivity of remanence to coercive force (B_{cr}/B_c), from most part of studied samples of PLG core lie within the Pseudo-single Somain (PSD) field of Day et al. (1977), in the trend of mixtures of Single Domain (SD) and Multidomain (MD) grains Dunlop et al. (2002a, 2002b).

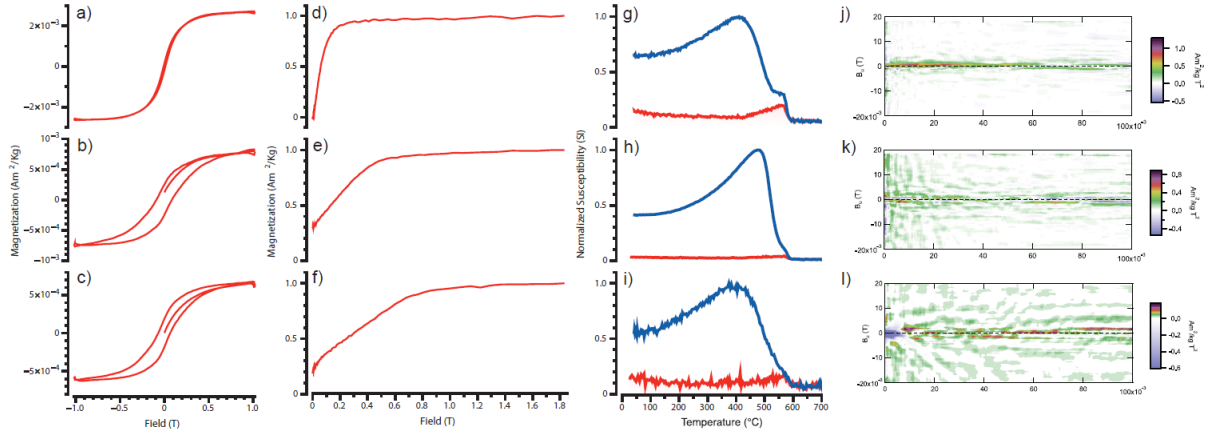


Figure 4: Hysteresis (a-c), IRM acquisition (d-f), and thermomagnetic curves (g-i), and FORC diagrams for representatives for the studied part of the PLG core.

Table 1: Measured hysteresis parameters for studied sediments from the PLG core.

Site	Sample ID	Depth (mbsf)	M_{rs} (Am ² /kg)	M_s (Am ² /kg)	M_{rs}/M_s	H_c (mT)	H_{cr} (mT)	H_{cr}/H_c
PLG	53.76	52.05	3.80E-08	5.92E-07	6.41E-02	1.08E-02	4.27E-02	3.95
PLG	53.89	52.18	2.74E-08	5.34E-07	5.13E-02	8.27E-03	3.94E-02	4.77
PLG	54.08	52.37	1.50E-08	3.88E-07	3.91E-02	6.88E-03	3.75E-02	5.46
PLG	54.27	52.56	2.40E-08	2.82E-07	8.52E-02	1.24E-02	3.71E-02	2.99
PLG	54.58	52.87	7.44E-08	4.88E-07	1.52E-01	2.75E-02	4.43E-01	1.61
PLG	54.69	52.98	4.59E-08	6.63E-07	6.93E-02	1.13E-02	4.79E-02	4.22
PLG	54.78	53.07	3.92E-08	5.18E-07	7.38E-02	1.14E-02	4.03E-02	3.55
PLG	54.95	53.24	7.85E-08	1.20E-06	6.53E-02	6.53E-02	1.01E-02	3.84
PLG	55.16	53.45	1.04E-07	1.26E-06	8.27E-02	1.19E-02	4.05E-02	3.40
PLG	55.28	53.57	1.95E-08	3.31E-07	5.88E-02	9.30E-03	3.73E-02	4.01
PLG	55.72	54.01	1.87E-08	2.54E-07	7.38E-02	1.14E-02	4.19E-02	3.69
PLG	55.87	54.16	2.73E-08	3.86E-07	7.06E-02	1.05E-02	3.58E-02	3.40
PLG	56.01	54.30	3.72E-08	5.12E-07	7.27E-02	1.07E-02	3.67E-02	3.44
PLG	56.09	54.38	6.07E-08	8.43E-07	7.20E-02	1.15E-02	4.27E-02	3.73
PLG	56.17	54.46	3.55E-08	4.75E-07	7.47E-02	1.18E-02	3.86E-02	3.27
PLG	56.38	54.67	9.62E-09	1.90E-07	5.05E-02	9.76E-03	4.11E-02	4.21
PLG	56.50	54.79	1.55E-08	2.65E-07	5.85E-02	8.86E-03	3.71E-02	4.19
PLG	56.62	54.91	3.29E-08	4.53E-07	7.25E-02	1.06E-02	3.52E-02	3.31

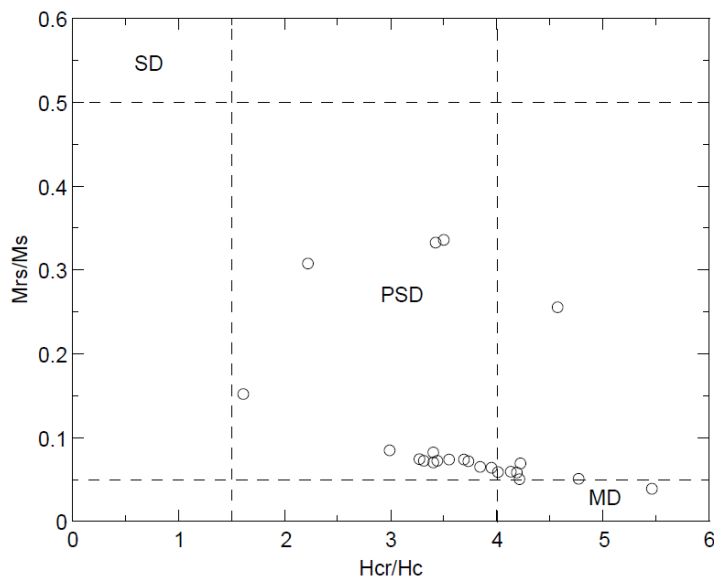


Figure 5: Day plot (Day et al., 1977) for representative samples from the PLG core. The data fields represented in the Mrs/Ms versus Bcr/Bc diagram are for Single Somain (SD), Pseudo-single Domain (PSD) and Multidomain (MD) titanomagnetite particles.

IRM acquisition curves for the representative studied samples are shown basically two different behaviors (Figure 4d-f). Two magnetic components with variable contributions to the total IRM are observed, which have different coercivities. The IRM acquisition curves that reach the saturation in fields below 300 mT, are characterized by low coercivity phase (Figure 4d). An additional component is identified with coercivities higher than 300 mT characteristic of goethite-hematite magnetic mineral.

As is typical of pelagic marine carbonates (Roberts et al., 2013), our samples have low susceptibility. However, our thermomagnetic curves (Figure 4g-i) shows a magnetic phase with a Curie temperature between 560–580 °C, which is characterized by magnetite. High temperature heating and cooling cycles always show irreversible behavior with the production of a strongly magnetic phase characterized by a strong increase in magnetic susceptibility at ~580 °C during cooling, which indicates the formation of a new magnetic phase during heating.

FORC diagrams for representative samples (Figure 4j-l) are indicative of a mixture of detrital and biogenic magnetic components. The biogenic fraction is evident in FORC diagrams with sharp horizontal ridge (Figure 4j) at $B_u = 0$ that indicate negligible magnetic interactions and a dominance of non-interacting SD particles (Roberts et al., 2000) that is characteristic of magnetofossils (e.g., Egli et al., 2010; Roberts et al., 2011; Jovane et al., 2012; Larrasoña et al., 2012; Roberts et al., 2012; Yamazaki, 2012; Yamazaki & Ikehara, 2012; Savian et al., 2014, 2016). The coercivity distribution has a broad peak approximately at 20 mT, which falls within the range expected for biogenic magnetite. Significant differences, however, do exist between those samples and those that have substantial high coercivity component (Figure 4k-l), which are an expression of magnetic grain-size changes.

2.5 DISCUSSION

2.5.1 Aptian-Albian transition and OAE 1b at PLG core

The Aptian-Albian transition at PLG core is based on recent astronomical calibration (Leandro et al., 2022). In the PLG core, this biohorizon which defines the Aptian–Albian boundary is placed at 63.40 m with an age of 113.6 Ma (Leandro et al., 2022), which is consistent with the age for the Aptian–Albian boundary reported in GTS 2020 (~113.2 Ma) (Gradstein et al., 2020), and the age of the FO of *Microhedbergella renilaevis* at Sergipe-Alagoas core SER-03 (113.5 Ma) (Fauth et al., 2022).

The studied interval of the PLG core also corresponds to part of OAE 1b (e.g., Matsumoto et al., 2020, 2022). There is a long-standing controversy about the mechanisms of black shale deposition. The most accredited models to explain the widespread occurrence of these organic-rich layers refer to two end-members: the Ocean Stagnation Model (STO) and the Expansion of the Oxygen Minimum Layer (OMZ) model. According to the first model, the high organic matter content in black shales is ascribed primarily to the elevated preservation efficiency of organic matter in the bottom of ocean, which was directly caused by oxygen deficiency resulting from seawater stagnation, strong vertical stratification and weak ventilation (e.g., Schlanger & Jenkyns, 1976; Bralower, 1987; Erbacher et al., 2001). Nonetheless, the

second model stresses the importance of elevated primary productivity in the surface ocean. The enhanced flux of organic matter sinking to the deep ocean increases the oxygen demand for degradation, until the overcoming of the oxygen supply and eventually causes the deep ocean to become anoxic (e.g., Pedersen & Calvert, 1990; Hochuli et al., 1999; Premoli Silva et al., 1989). However, some researchers considered a combination of both causes (e.g., Bralower et al., 1993; Bellanca et al., 1999). In both mechanisms, models involve continued and complete anoxia (an/o euxinia) until the oxygen content is restored by the reprise of bottom ventilation and/or the slowdown of the primary productivity.

The OAE 1b apparently differs from the other Cretaceous OAEs. Its prolonged duration, the presence of multiple short-intervals of black shales depositional and the occurrence of highly specialized biota argue in favor of different mechanisms and feedbacks of the atmosphere-land-ocean system. This multi-episodic OAE seems related to a) several high-frequency short-term perturbations of the carbon cycle; b) sudden increase of sea surface temperature and c) strengthening of density driven stratification of water column (Erbacher et al., 2001), suggesting similarity with the STO model. Moreover, the debate as to whether or not this multi-episodic event was completely anoxic is still open, whereas most of the studies would favor low oxygen conditions (Bralower et al., 1993; Holbourn & Kuhnt, 2001).

The late early-Cretaceous climate was for to be stable. Several brief global cooling and warming episodes (1 to 5 Myr-scale) have been identified during a generally extreme greenhouse climate (Weissert & Lini, 1991; Price, 2002; Weissert & Erba, 2004; Takashima et al., 2007), and basically, warming episodes are associated with accelerated water cycling increase terrigenous influx (siliclastics and nutrients, for exemplo), rise of sea level and marine transgression (Weissert, 1990; Huber et al., 1995; Weissert et al., 1998; Clark & Jenkins, 1999; Wilson et al., 2002; Wortmann et al., 2004; Forster et al., 2007; Bornemann et al., 2008; Föllmi & Gainon, 2008; Mutterlose et al., 2009; Heldt et al., 2010; Herrle et al., 2010; McAnena et al., 2013).

This climatic transition reasonably punctuated the environmental forcing resulting in the multi-episodic OAE 1b, characterized by a rapidly changing oceanic system.

2.5.2 Environmental magnetic records of the Aptian-Albian transition OAE 1b at PLG core

One of our primary observations is that the environmental magnetic record provides evidence of the long-term variations in sedimentation during the studied interval. However, there are also observed short-term apparent variations in the lithology and magnetic proxies. The origin of short-term variations appears to be related to productivity and bottom redox conditions driven by orbital forcing during the black shale-marls sedimentation (Herbert & Fischer, 1986; Premoli Silva et al., 1989; Erba & Premoli Silva, 1994; Tateo et al., 2000; Galeotti et al., 2003). The distribution of high and low magnetic properties fluctuations appears could be controlled by a process of systematic temporal changes in volcanic source, related to extensive volcanic events on the Southern Kerguelen Plateau (Coffin et al., 2002), which could have released a large amount of magnetic minerals through the hydrothermal activities. Previous studies based on Hg and $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_i$ isotopes measured in sediments shows long-term excursions that suggests that multiple phase volcanic activity of Kerguelen Large Igneous Province triggered the late Aptian-early Albian anoxic events (e.g., Sabatino et al., 2018; Matsumoto et al., 2020, 2022).

The presence, abundance, and composition of the magnetic minerals are related to paleoceanographic changes that occurred in the deep-sea environment as a coupling and/or alteration of detrital and biological origin. Fluctuations between the low and high magnetic minerals concentrations may be related to changes in flux (biogenic vs. terrigenous), sediment sources, and/or sediment transport process.

The OAE 1b in PLG core has been a focus of detailed paleoceanographic studies (Coccioni et al., 2014; Sabatino et al., 2015, 2018; Matsumoto et al., 2020, 2022). Our environmental magnetic study shows significant changes in detrital input. However, we also observed the signature of magnetically non-interacting single domain crystals, composed of magnetite, greigite, or both, which are interpreted as

magnetofossils (Figure 4j). The detrital input can carry the particles that are deposited in the sediments, and, at the same time, transport nutrients for the microorganisms stimulating high-productivity in the marine realm. Natural fertilization events can be attributed to dust storms (e.g., Bishop et al., 2002), volcanic ash falls (e.g., Hamme et al., 2010; Abrajevitch et al., 2014), or through the terrestrial mass events (e.g., Blain et al., 2001, 2007). Environmental magnetic proxies suggest that observed changes reflect a biotic response to changing nutrient supply. Variations in iron fertilization intensity can have global climatic significance (e.g., Roberts et al., 2011). Our results suggest that the environmental magnetic and stable isotopic changes documented from the PLG core likely record variations in local terrigenous nutrient supply. We suggest a link between the long-term productivity variations to volcanic iron inputs resulting from extensive volcanic events on the SKP (Coffin et al., 2002; Matsumoto et al., 2020, 2022). However, the relationships between magnetic properties fluctuations, productivity, paleoceanographic variations, and black-shales in the Umbria-Marche Basin are still being resolved. Further petrographical, biostratigraphical and magnetic analyses are needed in the Tethys region to clarify if the observations at PLG core are of local, regional, or of global significance.

2.6 CONCLUSIONS

An integrated high-resolution stable isotope and environmental magnetic analysis has been carried out over a 12-m-thick interval of the PLG core (Umbria-Marche Basin), Italy, which corresponds to the period around the Ocean Anoxic Event 1b (OAE 1b). Systematic variations in environmental magnetic parameters are indicative of increased terrigenous input, which suggests linkages between global volcanism, nutrient supply, and surface productivity. Changes in composition, concentration and magnetic grain size are observed during the OAE 1b at PLG core. Magnetic parameters also indicate an occurrence of magnetite magnetofossils produced by magnetotactic bacteria as indicated by FORC diagrams that are typical of non-interacting SD magnetite. We speculated that an enhanced magnetofossil concentrations correspond to an increase in primary productivity, which was probably stimulated by eolian and volcanic sources of iron fluxes.

2.7 ACKNOWLEDGMENTS

The Poggio le Guaine core is an integral part of the FUSP (Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo)-Petrobras 2405 project. The paper is an integral part of the Project: Processamento e interpretação de dados magnetoestratigráficos do Cretáceo das Bacias Brasileiras, which is financially supported by Petróleo Brasileiro S.A.—Petrobras (FAURGS 8368). Support for this work came from the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq—grants 141093/2018-8 to C.G.L., 201508/2009-5, 427280/2018-4 and 311231/ 2021-7 to J.F.S., 132076/2019-5 the Research Support Foundation of the State of Rio Grande do Sul (FAPERGS—grant 16/2551-0000213-4 to J.F.S.). M.G. and P.H.P.C.V. were financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

References

- Abrajevitch, A., Roberts, A.P. & Kodama, K., 2014. Volcanic iron fertilization of primary productivity at Kerguelen Plateau, Southern Ocean, through the Middle Miocene Climate Transition. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 410, 1–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.05.028>.
- Arthur, M. A. & Premoli Silva, I., 1982. Development of widespread organic carbon-Rich strata in the Mediterranean Tethys, in *Nature and Origin of Cretaceous Carbon-Rich Facies*, edited by S. O. Schlanger and M. B. Cita, pp. 6–54, Academic, London.
- Bellanca, A., Masetti, D., Neri, R., Venezia, F., 1999. Geochemical and sedimentological evidence of productivity cycles recorded in Toarcian black shales from the Belluno Basin, Southern Alps, northern Italy. *Journal of Sedimentary Research* 69(2).
- Bishop, J.K., Davis, R.E. & Sherman, J.T., 2002. Robotic observations of dust storm enhancement of carbon biomass in the North Pacific. *Science* 298, 817–821.
- Blain, S., Tréguer, P., Belviso, S., Bucciarelli, E., Denis, M., Desabre, S., Fiala, M., Martin Jézéquel, V., Le Fèvre, J., Mayzaud, P., Marty, J.-C. & Razouls, S., 2001. A biogeochemical study of the island mass effect in the context of the iron hypothesis: Kerguelen Islands, Southern Ocean. *Deep-Sea Res. I* 48, 163–187.
- Blain, S., Quéguiner, B., Armand, L., Belviso, S., Bombled, B., Bopp & L., Wagener, T., 2007. Effect of natural iron fertilization on carbon sequestration in the Southern Ocean. *Nature* 446, 1070–1074.
- Bornemann, A., Norris, R.D., Friedrich, O., Beckmann, B., Schouten, S., Damsté, J.S.S., Vogel, J., Hofmann, P., Wagner, T., 2008. Isotopic evidence for glaciation during the Cretaceous supergreenhouse. *Science* 319(5860), 189–192.

- Bottini, C., Erba, E., Tiraboschi, D., Jenkyns, H.C., Schouten, S., Sinninghe Damsté, J.S., 2015. Climate variability and ocean fertility during the Aptian Stage. *Clim. Past*, 11, 383–402. <https://doi.org/10.5194/cp-11-383-2015>.
- Bottini, C. & Erba, E., 2018. Mid-Cretaceous paleoenvironmental changes in the western Tethys. *Clim. Past*, 14, 1147–1163. <https://doi.org/10.5194/cp-14-1147-2018>.
- Bralower, T.J., 1987. Valanginian to Aptian calcareous nannofossil stratigraphy and correlation with the upper M-sequence magnetic anomalies. *Marine Micropaleontology*, v. 11, pp. 293 – 310.
- Bralower, T. J., Sliter, W. V., Arthur, M. A., Leckie, R. M., Allard, D., & Schlanger, S. O., 1993. Dysoxic/anoxic episodes in the Aptian-Albian (Early Cretaceous). *The Mesozoic Pacific: geology, tectonics, and volcanism*, 5-37.
- Browning, E.L., Watkins, D.K., 2008. Elevated primary productivity of calcareous nanoplankton associated with ocean anoxic event 1b during the Aptian/Albian transition (Early Cretaceous). *Paleoceanography*, 23, PA2213. <https://doi.org/10.1029/2007PA001413>.
- Centamore, E., Chiocchini, M., Jacobacci, A., Manfredini, M. & Manganelli, P., 1980. The evolution of the Umbrian–Marchean Basin in the Apennine section of the Alpine orogenic belt (Central Italy). In: Cogne, J., Slansky, M. (Eds.), *Mémoires du Bureau de Recherche Géologiques et Minières*. vol. 108. pp. 289–305.
- Channell, J.E.T., D'Argenio, B. & Horvath, F., 1979. Adria, the African promontory, in Mesozoic Mediterranean paleogeography. *Earth Sci. Rev.* 15, 213–292. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(79\)90083-7](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(79)90083-7).
- Clarke, L. J., & Jenkyns, H. C., 1999. New oxygen isotope evidence for long-term Cretaceous climatic change in the Southern Hemisphere. *Geology*, 27(8), 699-702.

- Coccioni, R., 1996. The Cretaceous of the Umbria-Marche Apennines (Central Italy). In: Wiedmann, Jost (Ed.), Symposium on Cretaceous Stratigraphy, Paleobiology and Paleobiogeography, Tübingen, 7–10 March 1996. Berichte-Reports. 76. Geologische–Paläontologisches Institut, Universität Kiel, pp. 129–136.
- Coccioni, R., Nesci, O., Tramontana, M., Wezel, C.F. & Moretti, E., 1987. Descrizione di un livello-guida “Radiolaritico-Bituminoso-Ittiolitico” alla base delle Marne a Fucoidi nell’ Appennino Umbro–Marchigiano. Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 106, p. 183–192.
- Coccioni, R., Franchi, R., Nesci, O., Perilli, N., Wezel, F.C. & Battistini, F., 1989. Stratigrafia, micropaleontologia e mineralogia delle Marne a Fucoidi (Aptiano inferiore-Albiano superiore) delle sezioni di Poggio le Guaine e del Fiume Bosso (Appennino umbro-marchigiano), in Proceedings of the Third Pergola International Symposium: Fossili, Evoluzione, Ambiente, edited by G. Pallini et al., pp. 163–201, Comitato Centenario Raffaele Puccini, Pergola, Italy.
- Coccioni, R., De Poli, A., Erba, E., Lottaroli, F. & Premoli Silva, I., 1990. Lithostratigraphy and biostratigraphy of the Aptian-Albian Scisti a Fucoidi Formation (central Italy): evidence for hiatuses and their paleotectonic and paleoenvironmental implications. In: Comitato Centenario Raffaele Piccinini (Ed.), Atti 3° Convegno Internazionale “Fossili, Evoluzione, Ambiente”. Pergola, Tecnostampa.
- Coccioni, R., Erba, E. & Premoli Silva, I., 1992, Barremian–Aptian calcareous plankton biostratigraphy from the Gorgo a Cerbara section (Marche, central Italy) and implications for plankton evolution: *Cretaceous Research*, v. 13, p. 517–537. [http://dx.doi.org/10.1016/0195-6671\(92\)90015-I](http://dx.doi.org/10.1016/0195-6671(92)90015-I).
- Coccioni, R., Galeotti, S., 1993. Orbitally induced cycles in benthonic foraminiferal morphogroups and trophic structures distribution patterns from the Late Albian “Amadeus Segment” (Central Italy). *Journal of Micropaleontology* 12, 227–239.

- Coccioni, R., 2001. The Piali Level from the latest Albian of the Umbria-Marche Apennines (Italy), *Geotitalia*, 38 Forum FIST, 192-193, 2001.
- Coccioni, R., Jovane, L., Bancalà, G., Bucci, C., Fauth, G., Frontalini, F., Janikian, L., Savian, J., Paes de Almeida, R., Mathias, G.L. & Trindade, R.I.F., 2012. Umbria–Marche Basin, Central Italy: a reference section for the Aptian–Albian interval at low latitudes. *Sci. Drill.* 13, 42–46.
- Coccioni, R., Sabatino, N., Frontalini, F., Gardin, S., Sideri, M. & Sprovieri, M., 2014. The neglected history of oceanic anoxic event 1b: insights and new data from the Poggio le Guaine section (Umbria–Marche Basin). *Stratigraphy* 11, 245–282.
- Coffin, M.F., Pringle, M.S., Duncan, R.A., Gladchenko, T.P., Storey, M., Müller, R.D. & Gahagan, L.A., 2002. Kerguelen Hotspot Magma Output since 130 Ma. *J. Petrol.* 43(7), 1121–1137. <https://doi.org/10.1093/petrology/43.7.1121>.
- Day, R., Fuller, M. & Schmidt, V.A., 1977. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain size and composition dependence. *Phys. Earth Planet. Inter.* 13, 260–266.
- Dunlop, D.J., 2002a. Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc). 1. Theoretical curves and tests using titanomagnetite data. *J. Geophys. Res.* 107 (B3). <http://dx.doi.org/10.1029/2001JB000486>.
- Dunlop, D.J., 2002b. Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc). 2. Application to data for rocks, sediments, and soils. *J. Geophys. Res.* 107 (B3). <http://dx.doi.org/10.1029/2001JB000487>.
- Egli, R., 2013. VARIFORC: an optimized protocol for calculating non-regular first-order reversal curve (FORC) diagrams. *Glob. Planet. Chang.* 110, 302–320.
- Egli, R., Chen, A.P., Winklhofer, M., Kodama, K.P., Horng, C.S., 2010. Detection of noninteracting single domain particles using first-order reversal curve diagrams. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 11, Q01Z11. <http://dx.doi.org/10.1029/2009GC002916>.

- Eldhom, O., Coffin, M.F., 2000. Large igneous provinces and plate tectonics. In: Richards, M.A., Gordon, R.G., Van der Hilst, D. (Eds.), *The History and Dynamics of Global Plate Motions*, pp. 309–326
- Erba, E., 1988. Aptian–Albian calcareous nannofossil biostratigraphy of the Scisti a Fucoidi cored at Piobbico (central Italy). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 94, 249– 284.
- Erba, E., 1992. Calcareous nannofossil distribution in the pelagic rhythmic sediments (Aptian-Albian Piobbico Core, Central Italy), *Rivista Ital. Paleontol. Stratigr.*, 97(3–4), 455–484.
- Erba, E. & Premoli Silva, I., 1994. Orbitally driven cycles in trace-fossil distribution from the Piobbico core (Late Albian, Central Italy). In: *Orbital Forcing and Cyclic Sequences* (Eds P.L. De Boer and D.G. Smith), IAS Spec. Publ., 19, 211–225.
- Erbacher, J., Huber, B.T. & Norris, R.D., et al., 2001. Increased thermohaline stratification as a possible cause for an oceanic anoxic event in the Cretaceous Period. *Nature* 409, 325–327.
- Evans, M.E. & Heller, F., 2003. *Environmental magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetics* Academic Press, 299 p.
- Fauth, G., Krahl, G., Kochhann, K.G.D., Bom, M.H.H., Baecker-Fauth, S., Bruno, M.D.R., Guerra, R.N., Ceolin, D., Santos, A.S., Villegas-Martin, J., Strohschoen Jr, O., Savian, J.F., Leandro, C.G., Mello, R.G. & Lima, F.H.O., 2022. Astronomical calibration of the latest Aptian to middle Albian in the South Atlantic Ocean. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 602, 111175. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2022.111175>.
- Föllmi, K.B., Gainon, F., 2008. Demise of the northern Tethyan Urogenian carbonate platform and subsequent transition towards pelagic conditions: the sedimentary record of the Col de la Plaine Morte area, central Switzerland. *Sedimentary Geology* 205(3), 142-159.

- Forster, A., Schouten, S., Baas, M., Damsté, J.S.S., 2007. Mid-Cretaceous (Albian–Santonian) sea surface temperature record of the tropical Atlantic Ocean. *Geology* 35(10), 919-922
- Galeotti, S., Sprovieri, M., Coccioni, R., Bellanca, A. & Neri, R., 2003. Orbital modulated black shale deposition in the upper Albian Amadeus Segment (central Italy): a multi-proxy reconstruction. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 190, 441-458.
- Giorgioni, M., Weissert, H., Bernasconi, S.M., Hochuli, P.A., Coccioni, R. & Keller, C.E., 2012. Orbital control on carbon cycle and oceanography in the mid-Cretaceous greenhouse. *Paleoceanogr. Paleoclimatol.* 27, PA1204. <https://doi.org/10.1029/2011PA002163>.
- Giorgioni, M., Tiraboschi, D., Erba, E., Hamann, Y. & Weissert, H., 2017. Sedimentary patterns and palaeoceanography of the Albian Marne a Fucoidi Formation (Central Italy) revealed by high-resolution geochemical and nanofossil data. *Sedimentology*, 64, 111–126.
- Gradstein, F. M., Ogg, J. G., & Smith, A. G., 2004. A geologic time scale 2004.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M., Ogg, G., 2020. *The Geologic Time Scale 2020*. Elsevier (1390 pp.).
- Hamme, R.C., Webley, P.W., Crawford, W.R., Whitney, F.A., DeGrandpre, M.D., Emerson, S.R. & Lockwood, D., 2010. Volcanic ash fuels anomalous plankton bloom in subarctic northeast Pacific. *Geophys. Res. Lett.* 37, L19604. <http://dx.doi.org/10.1029/2010GL044629>.
- Harrison, R.J. & Feinberg, J.M., 2008. FORC_{in}el: an improved algorithm for calculating first-order reversal curve distributions using locally weighted regression smoothing. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 9, Q05016. <https://doi.org/10.1029/2008GC001987>.
- Heldt, M., Lehmann, J., Bachmann, M., Negra, H., Kuss, J., 2010. Increased terrigenous influx but no drowning: palaeoenvironmental evolution of the

Tunisian carbonate platform margin during the Late Aptian. *Sedimentology* 57(2), 695-719.

Herbert, T.D. & Fischer, A.G., 1986. Milankovitch climatic origin of mid-Cretaceous black shale rhythms in central Italy. *Nature*. 321, 739–743.

Herrle, J.O., Kössler, P., Friedrich, O., Erlenkeuser, H., Hemleben, C., 2004. High resolution carbon isotope records of the Aptian to lower Albian from SE France and the Mazagan Plateau (DSDP Site 545): a stratigraphic tool for paleoceanographic and paleobiologic reconstruction. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 218, 149–161. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(03\)00646-0](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00646-0).

Herrle, J.O., Kössler, P., Bollmann, J., 2010. Palaeoceanographic differences of early Late Aptian black shale events in the Vocontian Basin (SE France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297(2), 367-376.

Hochuli, P.A., Menegatti, A.P., Weissert, H., Riva, A., Erba, E., Silva, I.P., 1999. Episodes of high productivity and cooling in the early Aptian Alpine Tethys. *Geology* 27(7), 657-660.

Holbourn, A. & Kuhnt, W., 2001. No extinctions during Oceanic Anoxic Event 1b: the Aptian–Albian benthic foraminiferal record of ODP Leg 171. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 183, 7392.
<http://dx.doi.org/10.1144/GSL.SP.2001.183.01.04>.

Huber, B.T, Hodell, D.A., Hamilton, C.P, 1995, Mid- to Late Cretaceous climate of the southern high latitudes: Stable isotopic evidence for minimal equator-to-pole thermal gradients: *Geological Society of America Bulletin*, v. 107, p. 1164-1191.

Jenkyns, H.C., 2010. Geochemistry of oceanic anoxic events. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 11. <http://dx.doi.org/doi:10.1029/2009GC002788>.

Jovane, L., Florindo, F., Bazylinski, D.A., Lins, U., 2012. Prismatic magnetite magnetosomes from cultivated *Magnetovibrio blakemorei* strain MV-1: a

magnetic fingerprint in marine sediments? *Environ. Microbiol. Rep.* 4, 664–668. <http://dx.doi.org/10.1111/1758-2229>.

Larrasoana, J.C., Roberts, A.P., Chang, L., Schellenberg, S.A., Fitz Gerald, J.D., Norris, R.D. & Zachos, J.C., 2012. Magnetotactic bacterial response to Antarctic dust supply during the Paleocene–Eocene thermal maximum. *Earth Planet. Sci. Lett.* 333–334, 122–133.

Leandro, C.G., Savian, J.F., Kochhann, M.V.L., Franco, D.R., Coccioni, R., Frontalini, F., Gardin, S., Jovane, L., Figueiredo, M., Tedeschi, L.R., Janikian, L., Almeida, R.P. & Trindade, R.I.F., 2022. Astronomical tuning of the Aptian stage and its implications for age recalibrations and paleoclimatic events. *Nat. Commun.* 13, 2941. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30075-3>.

Leckie, R.M., Bralower, T.J. & Cashman, R., 2002. Oceanic anoxic events and plankton evolution: Biotic response to tectonic forcing during the mid-Cretaceous. *Paleoceanography*, 17, 1–29.

Liu, Q., Roberts, A.P., Larrasoana, J.C., Banerjee, S.K., Guyodo, Y., Tauxe, L., Oldfield, F., 2012. Environmental magnetism: Principles and applications. *Rev. Geophys.* 50, RG4002. <https://doi.org/10.1029/2012RG000393>.

Matsumoto, H., Kuroda, J., Coccioni, R., Frontalini, F., Sakai, S., Ogawa, N.O. & Ohkouchi, N., 2020. Marine Os isotopic evidence for multiple volcanic episodes during Cretaceous Oceanic Anoxic Event 1b. *Sci. Rep.* 10, 12601. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69505-x>.

Matsumoto, H., Coccioni, R., Frontalini, F., Shirai, K., Jovane, L., Trindade, R., Savian, J.F., Tejada, M.L.G., Gardin, S. & Kuroda, J., 2021. Long-term Aptian marine osmium isotopic record of Ontong Java Nui activity. *Geology*, 49. <https://doi.org/10.1130/G48863.1>.

Matsumoto, H., Coccioni, R., Frontalini, F., Shirai, K., Jovane, L., Trindade, R., Savian, J. F. & Kuroda, J., 2022. Mid-Cretaceous marine Os isotope evidence for heterogeneous cause of oceanic anoxic events. *Nat. Commun.* 13, 239. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27817-0>.

- McAnena, A., Flögel, S., Hofmann, P., Herrle, J. O., Griesand, A., Pross, J., Talbot, H. M., Rethemeyer, J., Wallmann, K. & Wagner, T., 2013. Atlantic cooling associated with a marine biotic crisis during the mid-Cretaceous period. *Nat. Geosci.*, 6, 558–651. <https://doi.org/10.1038/ngeo1850>.
- Mutterlose, J., Bornemann, A., Herrle, J., 2009. The Aptian–Albian cold snap: Evidence for. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen* 252(2), 217-225.
- Pedersen, T.F., Calvert, S.E., 1990. Anoxia vs. productivity: what controls the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary Rocks?(1). *AAPG Bulletin*, 74(4), 454-466.
- Peters, C., Dekkers, M.J., 2003. Selected room temperature magnetic parameters as a function of mineralogy, concentration and grain size. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol. 28, no. 16–19, p. 659–667, 7.
- Petrizzo, M.R., Huber, B.T., Gale, A., Barchetta, A. & Jenkyns, H.C., 2012. Abrupt planktic foraminiferal turnover across the Niveau Kilian at Col de Pré-Guittard (Vocontian Basin, southeast France): new criteria for defining the Aptian/Albian boundary. *Newsl. Stratigr.* 45, 55–74.
<http://dx.doi.org/10.1127/0078-0421/2012/0013>.
- Petrizzo, M.R., Huber, B.T., Gale, A., Barchetta, A. & Jenkyns, H.C., 2013. Erratum: abrupt planktic foraminiferal turnover across the Niveau Kilian at Col de Pré-Guittard (Vocontian Basin, southeast France): new criteria for defining the Aptian/Albian boundary. *Newsl. Stratigr.* 46, 93.
<http://dx.doi.org/10.1127/0078-0421/2013/0026>.
- Pokorný, J., Suza, P., Pokorný, P., Chlupáčová, M. & Hrouda, F., 2006, Widening power of low-field magnetic methods in the investigation of rocks and environmental materials using the Multi-Function Kappabridge Set: *Geophysical Research Abstracts*, v. 8, abs. EGU 06-A-04141.

- Premoli Silva, I., Ripepe, M. & Tornaghi, M.E., 1989. Planktonic foraminiferal distribution record productivity cycles: evidence from the Aptian-Albian Piobbico core (central Italy). *Terra Nova*. 1, 443-448.
- Price, G. D., & Gröcke, D. R., 2002. Strontium-isotope stratigraphy and oxygen-and carbonisotope variation during the Middle Jurassic–Early Cretaceous of the Falkland Plateau, South Atlantic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 183(3), 209-222.
- Roberts, A.P., Cui, Y. & Verosub, K.L., 1995. Wasp-waisted hysteresis loops: mineral magnetic characteristics and discrimination of components in mixed magnetic systems. *J. Geophys. Res.* 100, 17909–17924.
- Roberts, A.P., Pike, C.R. & Verosub, K.L., 2000. FORC diagrams: a new tool for characterizing the magnetic properties of natural samples. *J. Geophys. Res.* 105, 28461–28475.
- Roberts, A.P., Florindo, F., Villa, G., Chang, L., Jovane, L., Bohaty, S.M., Larrasoaña, J.C., Heslop, D. & Fitz Gerald, J.D., 2011. Magnetotactic bacterial abundance in pelagic marine environments is limited by organic carbon flux and availability of dissolved iron. *Earth Planet. Sci. Lett.* 310, 441–452.
- Roberts, A.P., Chang, L., Heslop, D., Florindo, F. & Larrasoaña, J.C., 2012. Searching for single domain magnetite in the “pseudo-single-domain” sedimentary haystack: implications of biogenic magnetite preservation for sediment magnetism and relative paleointensity determinations. *J. Geophys. Res.* 117, B08104.
- Roberts, A.P., Florindo, F., Chang, L., Heslop, D., Jovane, L. & Larrasoaña, J.C., 2013. Magnetic properties of pelagic marine carbonates. *Earth-Sci. Rev.* 127, 111–139.
- Roberts, A.P., Tauxe, L., Heslop, D., Zhao, X. & Jiang, Z., 2018. A Critical Appraisal of the “Day” Diagram. *J. Geophys. Res: Solid Earth.* 123, 2618–2644.

- Sabatino, N., Coccioni, R., Manta, D.S., Baudin, F., Vallefucio, M., Traina, A. & Sprovieri, M., 2015. High-resolution chemostratigraphy of the late Aptian-early Albian oceanic anoxic event (OAE 1b) from the Poggio le Guaine section (Umbria–Marche Basin, central Italy). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 426, 319–333.
- Sabatino, N., Ferraro S. & Coccioni, R., et al., 2018. Mercury anomalies in upper Aptian-lower Albian sediments from the Tethys realm. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 495, pp. 163-170.
- Satolli, S., Besse, J., and Calamita, F., 2008, Paleomagnetism of Aptian–Albian sections from the Northern Apennines (Italy): Implications for the 150–100 Ma apparent polar wander of Adria and Africa: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 276, p. 115–128. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2008.09.013>.
- Savian, J.F., Jovane, L., Frontalini, F., Trindade, R.I.F., Coccioni, R., Bohaty, S.M., Wilson, P.A., Florindo, F., Roberts, A.P., Catanzariti, R. & Iacoviello, F., 2014. Enhanced primary productivity and magnetotactic bacterial production in response to middle Eocene warming in the Neo-Tethys Ocean. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 414, 32–45.
- Savian, J., Trindade, R., Janikian, L., Jovane, L., de Almeida, R.P., Coccioni, R., Frontalini, F., Sideri, M., Figueiredo, M., Tedeschi, L.R. & Jenkyns, H.C., 2016. The Barremian-Aptian boundary in the Poggio le Guaine core (central Italy): evidence for magnetic polarity Chron M0r and oceanic anoxic event 1a. In: Menichetti, M., Coccioni, R., Montanari, A. (Eds.), *The Stratigraphic Record of Gubbio: Integrated Stratigraphy of the Late Cretaceous–Paleogene Umbria–Marche Pelagic Basin*, Geological Society of America Special Paper, 524, pp. 57–78. [https://doi.org/10.1130/2016.2524\(05\)](https://doi.org/10.1130/2016.2524(05)).
- Schlanger, S.O. & Jenkyns, H.C., 1976. Cretaceous Oceanic Anoxic events: Causes and consequences. *Geol. Mijnb.* 55, 179–184.

- Stampfli, G.M., Vavassis, I., De Bono, A., Rosselet, F., Matti, B. & Bellini, M., 2003, Remnants of the Paleotethys oceanic suture-zone in the western Tethyan area: *Bollettino della Società Geologica Italiana, Special Volume 2*, p. 1–24.
- Takashima, R., Sano, S.I., Iba, Y., Nishi, H., 2007. The first Pacific record of the Late Aptian warming event. *Journal of the Geological Society* 164(2), 333-339.
- Tateo, F., Morandi, N., Nicolai, A., Ripepe, M., Coccioni, R., Galeotti, S. & Baudin, F., 2000. Orbital control on pelagic clay sedimentology; the case of the late Albian “Amadeus Segment” (central Italy). *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 171(2), 217–228.
- Tauxe, L., Mullender, T.A.T. & Pick, T., 1996. Potbellies, wasp-waists, and superparamagnetism in magnetic hysteresis. *J. Geophys. Res.* 101, 571–583.
- Thompson, R. & Oldfield, F., 1986. *Environmental Magnetism*. Allen and Unwin, Winchester, Mass. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-0118036-8> (227 pp.).
- Tiraboschi, D., Erba, E. & Jenkyns, H., 2009. Origin of rhythmic Albian black shales (Piobbico core, central Italy): Calcareous nannofossil *Trabucho* Alexandre, J., Van Gilst, R.I., Rodríguez-López, J.P., De Boer, P.L., 2011. The sedimentary expression of oceanic anoxic event 1b in the North Atlantic. *Sedimentology* 58, 1217–1246.
- Tornaghi, M. E., Premoli Silva, I. & Ripepe, M., 1989. Lithostratigraphy and planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Aptian-Albian “Scisti a Fucoidi” in the Piobbico core, Marche, Italy: Background for cyclostratigraphy, *Rivista Ital. Paleontol. Stratigr.*, 95(3), 223–264.
- Trabucho Alexandre, J., Van Gilst, R.I., Rodríguez-López, J.P. & De Boer, P.L., 2011. The sedimentary expression of oceanic anoxic event 1b in the North Atlantic. *Sedimentology* 58, 1217–1246.
- Turchyn, A. V., Schrag, D. P., Coccioni, R., Montanari, A., 2009. Stable isotope analysis of the Cretaceous sulfur cycle. *Earth and Planetary Science Letters* 285, 115–123.

Verosub, K.L. & Roberts, A.P., 1995. Environmental magnetism: past, present, and future. *J. Geophys. Res.* 100, 2175–2192.
<http://dx.doi.org/10.1029/94JB02713>.

Weissert, H., 1990. Siliciclastics in the Early Cretaceous Tethys and North Atlantic Oceans: Documents of periodic greenhouse climate conditions. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 44, 59-69.

Weissert, H. & Lini, A., 1991. Ice age interludes during the time of Cretaceous greenhouse climate. In: Müller, D.W., McKenzie, J.A., Weissert, H. (Eds.), *Controversies in Modern Geology*. Academic Press, London, pp. 173–191.

Weissert, H., Lini, A., Föllmi, K.B. & Kuhn, O., 1998. Correlation of early cretaceous carbon isotope stratigraphy and platform drowning events: a possible link. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 137, 189–203.

Weissert, H. & Erba, E., 2004. Volcanism, CO₂ and palaeoclimate: A Late Jurassic–Early Cretaceous carbon and oxygen isotope record, *J. Geol. Soc.*, 161, 695–702. <http://dx.doi.org/10.1144/0016-764903-087>.

Wilson, P.A., Norris, R.D., Cooper, M.J., 2002, Testing the Cretaceous greenhouse hypothesis using glassy foraminiferal calcite from the core of the Turonian tropics on Demerara Rise: *Geology* 30, 607–610.

Wortmann, U.G., Herrle, J.O., and Weissert, H., 2004, Altered carbon cycling and coupled changes in Early Cretaceous weathering patterns: Evidence from integrated carbon isotope and sandstone records of the western Tethys: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 220, p. 69–82.

Yamazaki, T., 2012. Paleoposition of the Intertropical Convergence Zone in the eastern Pacific inferred from glacial–interglacial changes in terrigenous and biogenic magnetic mineral fractions. *Geology* 40, 151–154.
<http://dx.doi.org/10.1130/G32646.1>.

Yamazaki, T., Ikehara, M., 2012. Origin of magnetic mineral concentration variation in the Southern Ocean. *Paleoceanography* 27, PA2206.
<http://dx.doi.org/10.1029/2011PA002271>.

CAPÍTULO III: ARCHIVOS COMPLEMENTARES

3.1 COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO CIENTÍFICO

Gmail - GLOPLACHA-D-22-00744 - Confirming your submission to ... <https://mail.google.com/mail/u/0/?ik=369505545b&view=pt&search=a...>



Jairo Savian <jairosavian@gmail.com>

GLOPLACHA-D-22-00744 - Confirming your submission to Global and Planetary Change

1 mensagem

Global and Planetary Change <em@editorialmanager.com>
Responder a: Global and Planetary Change <support@elsevier.com>
Para: Jairo Francisco Savian <jairosavian@gmail.com>

19 de dezembro de 2022 00:43



This is an automated message.

The paleoenvironmental magnetic expression of the Aptian-Albian transition in the Poggio le Guaine Core, (Umbria-Marche Basin, western Neo-Tethys)

Dear Dr Savian,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Global and Planetary Change. It has been assigned the following manuscript number: GLOPLACHA-D-22-00744.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at <https://www.editorialmanager.com/gloplacha/>, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,
Global and Planetary Change

More information and support

You will find information relevant for you as an author on Elsevier's Author Hub: <https://www.elsevier.com/authors>

FAQ: How can I reset a forgotten password?

https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28452/supporthub/publishing/

For further assistance, please visit our customer service site: <https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>

Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email

This journal uses the Elsevier Article Transfer Service. This means that if an editor feels your manuscript is more suitable for an alternative journal, then you might be asked to consider transferring the manuscript to such a journal. The recommendation might be provided by a Journal Editor, a dedicated Scientific Managing Editor, a tool assisted recommendation, or a combination. For more details see the journal guide for authors.

#AU_GLOPLACHA#

To ensure this email reaches the intended recipient, please do not delete the above code

3.2 PARECERES DA BANCA EXAMINADORA

ANEXO I
Título da Dissertação:
“MAGNETISMO AMBIENTAL DA TRANSIÇÃO ABTIANO-ALBIANO NO TESTEMUNHO POGGIO LE GAUINE, ITÁLIA CENTRAL”
Área de Concentração: Geologia Marinha
Autora: Djeniffer Smaniotto Souza da Silva
Orientador: Prof. Dr. Jairo Francisco Savian
Examinadora: Profa. Dra. María Alejandra Gómez Pivel
Data: 02/03
Conceito: C
PARECER:
<p>O artigo apresentado aborda um tema relevante e traz novos resultados que contribuem para compreender os mecanismos responsáveis pelos eventos anóxicos oceânicos, mais especificamente, o evento OAE1b. O trabalho se baseia no estudo da seção de sedimentos pelágicos do Aptiano-Albiano Poggio le Guiane, da Formação Marne a Fucoide, da Bacia Umbre-Marche (Itália). Esta bacia é referência para estudos do intervalo abordado, portanto, os dados obtidos têm alto valor como contribuição científica.</p> <p>Em relação ao artigo apresentado, o problema, os objetivos e os métodos são claros. Quanto aos resultados, sugere-se apenas que nas Figuras 2 e 3 sejam indicadas as profundidades das amostras selecionadas para as quais são exibidos os resultados das demais análises da Figura 4. A discussão é coerente e se sustenta nos resultados apresentados. Na última frase da seção de discussão se menciona a necessidade de mais estudos “petrográficos, bioestratigráficos e análises magnéticas”. Acredito que os microfósseis possam contribuir muito mais do que simplesmente como ferramenta bioestratigráfica, portanto, talvez fosse melhor trocar a palavra "biostratigraphical" pela mais abrangente "micropaleontological". Por exemplo, mudanças na fauna de foraminíferos bentônicos podem ajudar a elucidar as flutuações na concentração de oxigênio dissolvido no fundo. Já análises isotópicas em foraminíferos planctônicos de diferentes profundidades podem contribuir para reconstruir variações na estratificação da coluna d'água. Por último, nas conclusões, é apresentada uma síntese correta do que foi discutido.</p> <p>Como é natural, um artigo científico desta magnitude conta necessariamente com a participação de uma equipe de pesquisadores. Por causa disto, pode se considerar o texto introdutório como um indicador da contribuição da mestranda à pesquisa. Desta forma, é na análise deste texto integrador que se baseia o conceito atribuído.</p>

O **texto integrador** traz informação relevante quanto ao significado e utilidade das diferentes metodologias aplicadas, mas pouco acrescenta em relação à contribuição científica do trabalho. Por exemplo, a Introdução do texto integrador é praticamente uma tradução da Introdução do artigo. Da mesma forma, a seção 1.6 da dissertação, intitulada “Resultados e Discussões” não apresenta resultados, já que esta seção é na realidade uma tradução da seção de discussão do artigo, inclusive, com os mesmos subtítulos. Concordo em não haver necessidade de se apresentar os resultados de forma duplicada no texto integrador e no artigo, portanto, bastaria dizer que tanto os resultados como a discussão são apresentados no artigo. Por outro lado, no texto integrador poderia se desenvolver aquilo que é relevante, mas que foge à objetividade de um artigo científico.

Algumas pequenas observações e sugestões de texto serão encaminhadas junto com este parecer à mestrande e o seu orientador. Destaco aqui apenas a necessidade de as figuras no texto integrador estarem em português, o texto da Figura 4 do artigo ter uma fonte maior e, ao enviar a versão para o repositório digital (Lume), atentar às opções de salvamento para que as figuras preservem uma boa resolução e fiquem claramente legíveis.

Assinatura: 

Data: 05/03

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I
Título da Dissertação:
“MAGNETISMO AMBIENTAL DA TRANSIÇÃO ABTIANO-ALBIANO NO TESTEMUNHO POGGIO LE GAUINE, ITÁLIA CENTRAL”
Área de Concentração: Geologia Marinha
Autora: Djeniffer Smaniotto Souza da Silva
Orientador: Prof. Dr. Jairo Francisco Savian
Examinador: Prof. Dr. Éverton Frigo
Data: 06/01/2023
Conceito: B (Bom)
PARECER:
<p>Este trabalho apresenta uma interessante contribuição de dados de magnetismo ambiental para o melhor entendimento do evento anóxico oceânico 1b (OAE 1b). A seguir apresento uma breve análise e eventuais sugestões e considerações sobre cada parte do texto.</p> <p>1) O <i>Resumo</i> está bem escrito e apresenta adequadamente a essência do trabalho. Sugiro apenas substituir a palavra “paleoambiental”, apresentada na última frase, por “paleoambientais”.</p> <p>2) O texto <i>Organização da Dissertação</i> está muito claro e facilita a leitura e o entendimento geral do trabalho. Observei que as páginas do trabalho não estão numeradas.</p> <p>3) A <i>Introdução</i> (Capítulo I) descreve o evento OAE 1b e menciona os tipos de informações que podem ser obtidas a partir de estudos de magnetismo ambiental em registros sedimentares. Considero importante que o primeiro parágrafo da <i>Introdução</i> situe melhor, do ponto de vista climático e paleogeográfico, o período geológico que está sendo investigado. Mencionar, por exemplo, se a temperatura média estimada para o período em questão foi mais ou menos alta que a atual. Na primeira frase, sugiro substituir o termo “sistema climático greenhouse”. Ainda, recomendo melhorar a conexão entre o segundo e o terceiro parágrafos da <i>Introdução</i>. Isso poderia ser resolvido com a utilização de uma frase de conexão no final do segundo parágrafo.</p> <p>4) O texto <i>Área de Estudo</i> apresenta satisfatoriamente o local de amostragem do testemunho e o seu contexto geológico. Na última frase do primeiro parágrafo, sugiro substituir “preservado” por “preservada”. Na segunda frase da legenda da Figura 2, utilizar “vírgula” ao invés de “ponto” como separador decimal. Corrigir o mesmo problema no parágrafo subsequente. A fonte utilizada no texto é alterada após a legenda da Figura 3. O trecho “modelo de idade astronômica”</p>

ajustado de 405 kyr”, do quarto parágrafo, não está claro. Explicar melhor o que significa os “405 kyr”. Corrigir a concordância na última frase do penúltimo parágrafo.

5) Os *Objetivos* estão devidamente apresentados. Verifiquei a utilização de “EAO” no lugar de “OAE”. De acordo com os objetivos do trabalho, os dados isotópicos parecem ser de expressiva importância para as conclusões obtidas. Sugiro avaliar a possibilidade de mencionar os dados isotópicos no título da dissertação.

6) O Estado da Arte está satisfatoriamente apresentado. Observei que a troca entre “EAO” e “OEA” também ocorre nesta parte do texto. Considero que a utilização de uma figura mostrando a variação da temperatura média global para os últimos ~ 500 milhões de anos auxiliaria na contextualização do problema investigado. No item 1.4.2, conferir o termo “expressão sedimentar” na primeira frase do segundo parágrafo; verificar o termo “excursões de carbonos” na última frase do segundo parágrafo; substituir a palavra “testemunhado” na primeira frase do terceiro parágrafo; substituir a palavra “Recentemente” na quarta frase do terceiro parágrafo.

7) A *Metodologia* está razoavelmente apresentada e descrita. De maneira geral, percebi a falta da informação relativa à sequência de procedimentos a que as amostras foram submetidas no laboratório e também as especificações dos equipamentos que foram utilizados nas medições. Além disso, faltou descrever os procedimentos e significados das medidas das razões isotópicas de oxigênio e de carbono mencionadas nos *Objetivos*. Na segunda frase do primeiro parágrafo sugiro substituir “consiste principalmente em dados de” por “consiste principalmente na obtenção e análise de dados de”. No item 1.5.1: na segunda frase do primeiro parágrafo, substituir “é de ~3 cm” por “é de uma amostra a cada ~ 3 cm”; no segundo parágrafo substituir a palavra “obter” por “realizar”. No item 1.5.2.1: as variáveis da equação (1) não estão escritas em negrito, diferente da forma de apresentação da descrição da equação no texto; no texto logo após a descrição da equação (1) não está clara a diferença entre os termos “ferromagnético” e “ferrimagnético”. No item 1.5.2.2: verificar o trecho “aquisição de remanente natural primária” na primeira frase do segundo parágrafo; substituir a palavra “magnetitas” por “magnetita” no último parágrafo. No item 1.5.2.3: substituir a palavra “prever” por “estimar” no final do segundo parágrafo. No item 1.5.3.1: substituir “como de Roberts” por “como o de Roberts” na última frase do segundo parágrafo. No item 1.5.3.2: na última frase do segundo parágrafo, adequar o texto caso o trecho “pois são realizados somente testes de saturação...” se referir as “curvas de histerese”. No item 1.5.3.3: o termo “Tc”, mencionado na primeira frase do segundo parágrafo, é utilizado uma única vez no texto; substituir a palavra “apresentam” por “apresenta” na segunda frase do segundo parágrafo.

8) Os *Resultados e Discussões* estão apresentados de forma resumida. Por outro lado, estes estão detalhados no texto do artigo submetido apresentado na sequência da dissertação. Os resultados fornecem fortes evidências da presença de magnetita de origem biogênica nas amostras relativas ao OAE 1b. A presença deste tipo de magnetita respalda a proposição de que a fertilização por ferro foi um processo importante durante o período estudado. Considero que a utilização de figuras, até mesmo complementares àquelas apresentadas no artigo, facilitaria o

entendimento dos resultados e suas discussões. No item 1.6.1: caso a idade mencionada tenha sido obtida a partir da calibração astronômica apresentada em Leandro et al. (2022), sugiro substituir o trecho “tem uma datação de 113,6 ...” por “tem uma idade estimada de 113,6 ...” na primeira frase do primeiro parágrafo; melhorar a escrita da primeira frase do segundo parágrafo; a última frase do segundo parágrafo não está devidamente conectada com a frase anterior; substituir a palavra “contrário” por “diferente” e substituir “expressas na” por “indicados pela” na primeira frase do terceiro parágrafo; ainda na primeira frase do terceiro parágrafo, substituir o trecho “indicam a existência de sistemas e respostas diferentes no ciclo atmosférico, terrestre e oceânico” por “apontam para a existência de processos e respostas diferentes nos componentes do sistema climático terrestre”; reorganizar a segunda frase do terceiro parágrafo; melhorar a escrita da última frase do terceiro parágrafo; na primeira frase do quarto parágrafo substituir “cretáceo” por “Cretáceo”, “era de estabilidade” por “era estável”, e “entre 1 a 5 milhões” por “com duração entre 1 a 5 milhões”. No item 1.6.2: substituir “oferecem” por “fornecem” na primeira frase do primeiro parágrafo; substituir “fertilidade” por “fertilização” na segunda frase do terceiro parágrafo; a escrita da primeira frase do último parágrafo precisa ser melhorada; verificar a palavra “biográficos” na última frase do último parágrafo; substituir a palavra “descobrir” por “entender” na última frase do último parágrafo.

9) As *Conclusões* apresentadas estão de acordo com os *Objetivos* do trabalho. Sugiro substituir “o que” por “que” na primeira frase do primeiro parágrafo. Na primeira frase do segundo parágrafo sugiro substituir “do grão” por “dos grãos”. Na segunda frase do segundo parágrafo sugiro trocar “também indicam” por “também apontam”. Na terceira frase do segundo parágrafo sugiro substituir “Especulamos que” por “Com base nestes resultados, sugerimos que”.

10) Sugiro que seja realizada uma conferência na listagem e na formatação do texto das referências bibliográficas. Verifiquei que a referência Erbacher et al. (2001) está citada no texto, mas não está apresentada na lista de referências.

11) O artigo submetido (Capítulo II) detalha os principais resultados da pesquisa desenvolvida durante o mestrado. O manuscrito foi elaborado em conjunto com uma equipe excelente de profissionais e foi submetido a um dos periódicos científicos mais relevantes da área de geociências.

Diante dos aspectos listados, qualifico a Dissertação apresentada com conceito B (Bom).

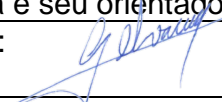


Assinatura:

Data: 06/01/2023

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I	
Título da Dissertação:	
“Magnetismo ambiental da Transição Aptiano-Albiano no testemunho Poggio le Guaine, Itália Central”	
Área de Concentração: Geociências	
Autora: Djeniffer Smaniotto Souza da Silva	
Orientador: Prof. Dr. Jairo Francisco Savian	
Examinador: Prof. Dr. Gelvam André Hartmann	
Data: 19 de janeiro de 2023.	
Conceito: Excelente	
PARECER:	
<p>O trabalho de dissertação intitulado: “Magnetismo ambiental da Transição Aptiano-Albiano no testemunho Poggio le Guaine, Itália Central” apresentado pela candidata a mestre, Djeniffer Smaniotto Souza da Silva, apresenta resultados inéditos e é de interesse da comunidade científica que estuda os eventos paleoclimáticos e paleoceanográficos desse intervalo de tempo.</p> <p>Os objetivos da dissertação foram determinar dados de magnetismo ambiental para compreender as variações da mineralogia magnética em resposta ao Evento Anóxico Oceânico 1b (EAO 1b), no testemunho Poggio le Guaine (PLG), Itália, e comparar com resultados de isótopos de carbono e oxigênio.</p> <p>As análises de magnetismo ambiental foram feitas em 592 amostras e as análises isotópicas em 22 amostras do testemunho PLG. Os resultados dessas análises foram integrados em um artigo submetido para a revista Global and Planetary Change, que se encontra inserido no corpo da dissertação.</p> <p>Os principais aspectos e recomendações a serem realizadas no texto da dissertação foram apontados e comentados no arquivo PDF da dissertação, anexo a este documento para avaliação pela candidata e pelo seu orientador.</p> <p>Considero a dissertação bastante satisfatória, recomendo sua aprovação e parabênizo a candidata e seu orientador pelo excelente trabalho realizado.</p>	
Assinatura: 	Data: 19 de janeiro de 2023.
Ciente do Orientador:	
Ciente do Aluno:	