



Universidade de Brasília

Instituto de Geociências

Programa de Pós-graduação em Geologia

**RECONFIGURAÇÃO TECTÔNICA NA AMAZÔNIA
CENTRAL A PARTIR DE DADOS DE U-Pb E Sm-
Nd EM ROCHAS DAS FORMAÇÕES NOVO
REMANSO E ALTER DO CHÃO**

Lucas César Vaz dos Santos

Dissertação de Mestrado Nº 526

Orientador: Prof. Dr. Roberto Ventura Santos

Brasília-DF

2025



Universidade de Brasília

Instituto de Geociências

Programa de Pós-graduação em Geologia

RECONFIGURAÇÃO TECTÔNICA NA AMAZÔNIA CENTRAL A PARTIR DE DADOS DE U-Pb E Sm- Nd EM ROCHAS DAS FORMAÇÕES NOVO REMANSO E ALTER DO CHÃO

Lucas César Vaz Dos Santos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia – Instituto de Geociências – IG da Universidade de Brasília – UnB como requisito parcial obrigatório para a obtenção do título de Mestre em Geologia.

Área de concentração:
Geoquímica

Orientador: Prof. Dr. Roberto Ventura Santos

Comissão Examinadora:

Prof. Dr.^a Lucieth Cruz Vieira (IG/UnB)

Prof. Dr. Jean Michel Lafon (Externo)

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

dS237r dos Santos, Lucas César Vaz
Reconfiguração Tectônica na Amazônia Central a partir de
dados de U-Pb e Sm-Nd em rochas das formações Novo Remanso e
Alter do Chão. / Lucas César Vaz dos Santos; orientador
Roberto Ventura Santos. Brasília, 2025.
123 p.

Dissertação (Mestrado em Geologia) Universidade de
Brasília, 2025.

1. Geologia Regional. 2. Estratigrafia. 3. Geoquímica
Isotópica. 4. Proveniência Sedimentar. I. Santos, Roberto
Ventura, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que foram essenciais para a conclusão desta dissertação:

Aos meus pais, Maria Aldenízia, Edvaldo Alves e Antônio Celso, por todo o amor, sacrifício e apoio incondicional ao longo dos anos. Vocês foram minha fonte de inspiração e força para superar desafios e alcançar meus objetivos acadêmicos. E claro, para minhas queridas e amadas irmãs, Gabriela Vaz e Julia Santos, obrigado por tudo.

Ao meu orientador, Roberto Ventura Santos, pela paciência eterna, conselhos valiosos, por acreditar no meu potencial e principalmente por me ouvir sempre que precisei externalizar minhas dúvidas acadêmicas. Sua orientação foi fundamental para o sucesso deste trabalho e serei eternamente agradecido ao senhor. Além é claro, de todo apoio oferecido através da infraestrutura e financeiro no Laboratório de Estudos Geodinâmicos, Geocronológicos e Ambientais da Universidade de Brasília.

Ao meu coorientador Roberto Barbosa, por ter acreditado em mim quando bati na sua sala pedindo por um PIBIC, por me empurrar quando realmente precisei ser empurrado, por ter salvado minha vida no afloramento whiteface e principalmente por me ensinar a ler os códigos incautos da estratigrafia.

Aos meus estimados professores Demerval do Carmo, Elton Luís, Lucindo Antunes, Humberto Lima e Carlos Alejandro, pela partilha de conhecimento, por concederem espaços em seus laboratórios, pelo apoio nos diversos campos e principalmente por me desafiarem a crescer academicamente.

Aos meus amigos da UFAM/UNB; André Senna, Vívian Marjorie, Igor Jacaúna e Tiago Maia, pela amizade de sempre e por compartilharem a mesma jornada na UNB.

Aos doutores da Paleogeografia Amazônica; Pâmela Costa, André Alvim, Michele Andriolli e Gabriel Moizinho, serei eternamente grato aos ensinamentos e os diversos conselhos.

Aos amigos da hidrogeologia; José Louzada, Bruno Santi, Artur Pimentel, Sérgio Fernandes, Vinícius Xavier e Pedro Henrique. Sou muito grato pelo apoio em que vocês me ofereceram ao longo desses anos de MDGEO.

E, de maneira especial, à minha querida companheira, Sabrina Gomes, por seu amor incondicional, paciência e compreensão. Você foi meu pilar emocional e minha fonte de equilíbrio durante este processo.

A todos vocês, meu mais sincero obrigado por fazerem parte deste caminho e contribuírem para o sucesso desta dissertação.

Por fim, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, imprescindível para a conclusão dessa pesquisa.

ABSTRACT

The Upper Cretaceous to Middle Miocene interval in the Amazon Basin is fundamental for understanding the paleogeographic evolution of sedimentary deposits in eastern Amazonia. Despite consensus on the paleoenvironment of these continental deposits, an integrated depositional model that accounts for both tectonic and sedimentary processes remain lacking. Additionally, limited detrital zircon dating and the absence of Sm-Nd isotopic data hinder comprehensive interpretations. Existing studies are fragmented and do not provide a robust regional framework. To address these gaps, we present new lithofacies data, U-Pb ages of detrital zircons, and the first Sm-Nd analyses of fine sediments from the Amazon Basin. Our findings indicate that during the Upper Cretaceous, a transcontinental fluvial system flowed west-southwest, transitioning from anastomosing to meandering as it moved away from the Gurupá Arch. This system was primarily sourced from the Amazon Craton, particularly from its eastern provinces (Central Amazonia, Maroni-Itacaiunas, Ventuari-Tapajós, and Rio Negro-Juruena), as indicated by negative ϵ_{Nd} values and Paleo- to Mesoproterozoic zircon ages. In the Middle Miocene, the fluvial system reoriented eastward. The Novo Remanso Formation represents a meandering transcontinental river linked to the proto-Amazon River, transporting sediments with negative ϵ_{Nd} values and a detrital zircon age spectrum predominantly from Paleo-Mesoproterozoic cratonic sources, while potential Neoproterozoic and Paleozoic contributions remain less constrained. Evidence of intense reworking of Paleozoic units within the Amazon Basin suggests that transgressive-regressive events influenced the regional equilibrium profile, driving fluvial incision near the Purus Arch. This phase of tectonic instability persisted into the Late Miocene, facilitating the erosion of the Purus Arch and the influx of proto-Andean sediments into the western Amazon Basin. This is supported by detrital zircon age peaks (470–1150 Ma) and ϵ_{Nd} values reflecting a mix of Amazon Craton and Andean-derived sources. Paleocurrent data (E-NE directions) suggest a transcontinental fluvial system flowing toward the Atlantic, resembling the modern Amazon River.

Key words: *Amazon Basin, Upper Cretaceous, Middle Miocene, detrital zircons, Sm-Nd isotopes, paleogeography, fluvial systems.*

RESUMO

O intervalo entre o Cretáceo Superior e o Mioceno Médio na Bacia Amazônica é fundamental para compreender a evolução paleogeográfica dos depósitos sedimentares na Amazônia Oriental. Apesar do consenso sobre o paleoambiente desses depósitos continentais, ainda falta um modelo deposicional integrado que leve em consideração tanto os processos tectônicos quanto sedimentares. Além disso, a limitação na datação de zircões detríticos e a ausência de dados isotópicos Sm-Nd dificultam interpretações mais abrangentes. Os estudos existentes são fragmentados e não fornecem um quadro regional robusto. Para preencher essas lacunas, apresentamos novos dados de litofácies, idades U-Pb de zircões detríticos e as primeiras análises Sm-Nd de sedimentos finos da Bacia Amazônica. Nossos resultados indicam que, durante o Cretáceo Superior, um sistema fluvial transcontinental fluía para oeste-sudoeste, passando de um regime anastomosado para meandrante à medida que se afastava do Arco de Gurupá. Esse sistema era alimentado principalmente pelo Cráton Amazônico, especialmente por suas províncias orientais (Amazônia Central, Maroni-Itacaiunas, Ventuari-Tapajós e Rio Negro-Juruena), conforme indicado por valores negativos de ϵNd e idades de zircão Paleoproterozoicas a Mesoproterozoicas. No Mioceno Médio, o sistema fluvial reorientou-se para leste. A Formação Novo Remanso representa um rio transcontinental meandrante associado ao proto-Rio Amazonas, transportando sedimentos com valores negativos de ϵNd e um espectro de idades de zircões detríticos predominantemente de fontes cratônicas Paleoproterozoicas e Mesoproterozoicas, enquanto as possíveis contribuições Neoproterozoicas e Paleozoicas ainda são pouco exploradas. Evidências de intenso retrabalhamento de unidades Paleozoicas dentro da Bacia Amazônica sugerem que eventos transgressivo-regressivos influenciaram o perfil de equilíbrio regional, promovendo a incisão fluvial nas proximidades do Arco de Purus. Essa fase de instabilidade tectônica persistiu até o Mioceno Tardio, facilitando a erosão do Arco de Purus e a entrada de sedimentos proto-Andinos na porção ocidental da Bacia Amazônica. Esse processo é sustentado por picos de idade de zircões detríticos (470–1150 Ma) e valores de ϵNd que refletem uma mistura de fontes do Cráton Amazônico e dos Andes. Os dados de paleocorrentes (direções E-NE) sugerem um sistema fluvial transcontinental fluindo em direção ao Atlântico, semelhante ao atual Rio Amazonas.

Palavras-chave: Proveniência; Bacia do Amazonas; Formação Alter do Chão; Formação Novo Remanso.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES (DISSERTAÇÃO)

Figura 1.1: A- Mapa do Brasil com limite geográfico da Bacia do Amazonas no estado do Amazonas. B- Mapa geográfico da Bacia intracratônica do Amazonas, delimitada ao norte e sul respectivamente pelos Escudos da Guianas e Brasil Central, a leste e oeste respectivamente pelos Arcos de Gurupá e Purus. B) Detalhe para a área amostrada, situado na região metropolitana de Manaus, às margens dos rios Negro e Amazonas. 4

Figura 2.1: Elementos Arquiteturais (EAs) relacionados a sistemas aluviais. As siglas ao lado de cada EAs remetem ao código de litofácies sedimentares. (A) EAs formados dentro de canais fluviais. (B) EAs preservados externamente aos canais fluviais (Modificado de Miall, 2006). 8

Figura 2.2: Ilustração esquemática do ciclo sedimentar que atua na determinação da composição de sedimentos. (Modificado de Morton & Hallsworth, 1994). 10

Figura 2.3: a) Diagrama de Concórdia de Wetherill (1956) utilizado para representação gráfica do sistema isotópico U-Pb. b) Representação gráfica alternativa para os isótopos U-Pb (Concórdia Tera & Wasserburg), comumente utilizada para rochas mais jovens que 1.0 Ga. 11

Figura 2.4: Diagrama de estimativa de densidade Kernel (Kernel Density Estimation - KDE) utilizados para a visualização das distribuições de idades U-Pb em populações de zircão detrítico, modificado de Vermeesch, 2012. 13

Figura 2.5: A) Evolução dos isótopos de Nd no manto e crosta B) Variação do parâmetro Nd em rochas do manto e crosta em relação ao reservatório condritico uniforme (CHUR). Modificado de (DePaolo e Wasseburg 1976a, 1976b). 14

Figura 4.1: A) Localização da área de estudo no norte da América do Sul B) Localização simplificada da Bacia do Amazonas com destaque para seus limites estruturais, delimitada ao norte pelo Escudo das Guianas, ao sul pelo Escudo Brasil–Central, a oeste pelo Arco de Gurupá e a Leste pelo Arco de Purus. C) Seção geológica da Bacia do Amazonas, modificada de Wanderley filho & Travassos, 2005. 22

Figura 4.2: Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas com a sua compartimentação litoestratigráfica. Destaque para a unidade sedimentar alvo desta pesquisa (Modificado de Cunha et al., 2007). 23

Figura 4.3: Coluna litoestratigráfica da porção local da área de estudo. Os limites entre as formações Alter do Chão e Novo Remanso são marcadas parcialmente por crostas lateríticas, S1, S2 e S3 (Modificado de; Abinader, 2008; Mendes et al., 2012; Rozo et al., 2012; Soares et al., 2015, 2016). 24

LISTA DE ILUSTRAÇÕES (ARTIGO)

Figure 1: A) Location of the study area in northern South America, in the northern portion of Brazil and northeast of the Amazonas State (Eastern Amazon) with the main tectonic controls. Red circles demonstrate outcrops previously visited and with published data. (a.b.c.d Mapes et al., 2006; 5.e.f.g.h.i.j - Mendes et al., 2015; 3.4.- Loiola et al., 2013). B) Detailed region for the new outcrops visited along the city of Manaus/AM, blue diamond's represent visited exposures with supplementary lithofacies data collection, red diamonds represent collection points for U-Pb analyses in detrital zircons and Sm/Nd.	34
Figure 2: Geological section for the Cretaceous–Neogene interval in the outcropped visited in Metropolitan Region of Manaus, including sampling intervals for U-Pb and Sm-Nd analyses.	36
Figure 3: Interpretation of the main paleocurrent directions of the Alter do Chão and Novo Remanso Formations. A) Location of paleocurrent data in relation to the Amazon Basin. B) Equal-area, Schmidt-Lambert diagram with paleocurrent data and measured hierarchical surface data. C) Depositional model reconstruction with lithofacies associations for the studied units.	44
Figure 4: Interpreted geological section for the Cretaceous–Neogene interval in the Metropolitan Region of Manaus, including sampling intervals correlated with Kernel Density Estimation (KDE) diagrams and the variation of epsilon neodymium (ϵ Nd) in vertical succession.	47
Figure 5: Kernel Density Estimation (KDE) and sectorial distribution plots were generated for each analyzed sample considering the possible sources: 1 - Mapes et al., 2006; 2 - Loiola et al., 2013; 3- Mendes et al., 2015; 4 - Kern et al., 2021; 5 - Moizinho et al., 2022.	48
Figure 6: Map of the northern portion of South America with the main geological provinces and ages of the most recent metamorphic events. Modified and adapted from Cordani et al. (2000), Chew et al. (2008, 2016), Bahlburg et al. (2009, 2011), and Spiking et al. (2016). 1- (Cordani and Sato, 1999); 2- (Klein et al., 2005, 2020), 3- Moura et al. (2008); Ribeiro & Alves (2017); 4- Bahlburg et al. (2009); Chew et al. (2007, 2008); Cordani et al. (2000). The red rectangle indicates the location of the study area.	49
Figure 7: A) ϵ Nd (0) vs $f(\text{Sm/Nd})$ (fractional deviation of $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ from CHUR - Chondritic Uniform Reservoir). The fields were defined based on the SPM of the Amazon River and its tributaries, as well as deposits of pelitic rocks from the Amazon Subaquatic Delta and fine sediment data from the Amazon plain (modified after All`egre et al., 1996; McDaniel et al., 1997; Figueiredo et al., 2009; Hatting, 2014; Hoorn et al., 2017; Van Soelen et al., 2017, Moizinho et al., 2022). B) Multidimensional scaling (MDS) non-metric scaling plot (Vermeesch, 2013) of detrital zircon ages from the Amazon Basin deposits, ranging from the Cretaceous to the Miocene in the study area along with data from Paleozoic sedimentary units and metasedimentary rocks from the Precambrian basement and Mobile Belts (Mappes et al., 2006; Moura et al., 2009; Santos, and Rossetti, 2008; Loiola et al., 2013; Mendes et al., 2015, and Klein et al., 2020b), data from adjacent sedimentary basins; Solimões (Kern et al., 2021), Marajó (Moizinho et al., 2022), and finally, data from the Eastern Andean Cordillera (Chew et al., 2008 and 2016).	52

Figure 8: Paleogeographic reconstructions of the Amazon Basin, central portion of Eastern Amazonia, integrating the main siliciclastic sedimentary filling events that occurred during the Cretaceous and Miocene with new ϵNd data (boxes with reference values, see Fig.7). A) Paleogeography during the Late Cretaceous (-30 Ma) illustrating deposition through a fluvial system southeastward, originated by the uplift of the Gurupá Arch due to compensation efforts resulting from the separation of the Gondwana continent, ϵNd values point to exclusively cratonic sources. B) Paleogeography during the Middle Miocene with the hypothesis of Paleozoic sediment recycling, exposed by the uplift of the Purus Arch, with sediment deposition through the fluvial system that migrated in the same direction as the current Amazon River. C) Paleogeography for the Middle Miocene with the novel proposition of Andean-sourced sediment input into the Amazon Basin, ϵNd data corroborate with the proposition that the source of these sediments has mantle separation model ages more recent than the Amazon Craton. These sediments would also be related to the proto-Amazonian fluvial system that migrated towards the current Atlantic Ocean. 54

LISTA DE TABELAS (DISSERTAÇÃO)

Tabela 2.1: Principais litofácies sedimentares modeladas para sistemas aluviais com ênfase no código, estrutura e o processo sedimentar (Modificado de Miall, 1977).....	6
Tabela 2.2: Principais características dos Elementos Arquiteturais (EAs) formados dentro das canalizações (Modificado de Miall, 2006).	8
Tabela 2.3: Elementos Arquiteturais (EAs) originados externamente as canalizações (Modificado de Miall, 2006).	9

LISTA DE TABELAS (ARTIGO)

Table 1: Summary of the main sedimentary lithofacies characteristics identified for the Alter do Chão and Novo Remanso formations in the metropolitan region of Manaus and along the Amazon River.....	42
Table 2: Summary of the seven architectural elements identified for the deposits of the Alter do Chão and Novo Remanso Formations, interpreted in deposits originated internally and externally to the main channels. (Modified from Ghazi and Mountney, 2009).	43
Table 3: Results of Sr-Nd isotopes for the analyzed samples.	45

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Estrutura da Dissertação	1
1.2	Apresentação	1
1.3	Objetivo	3
1.4	Área de estudo	3
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1	Litofácies Sedimentares Aluviais.....	5
2.2	Elementos Arquiteturais (EA'S).....	5
2.3	Proveniência Sedimentar	9
2.4	<i>U-Pb</i> em Zircão Detrítico	10
2.5	Método Sm/Nd.....	12
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1	Amostragem	15
3.2	Análises de Litofácies e Paleocorrentes	17
3.3	<i>U-Pb</i> em Zircão Detrítico	17
3.4	Sm-Nd em Rocha Total.....	19
4	GEOLOGIA REGIONAL.....	21
4.1	A Bacia do Amazonas	21
4.2	Litoestratigrafia da sequência Cretáceo-Neógeno na Bacia do Amazonas.....	24
4.3	Dados de Proveniência	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES – (ARTIGO CIENTÍFICO).....	30
1	INTRODUCTION	31
2	GEOLOGIC SETTING	33
2.1	Amazon Basin	33
2.2	Cretaceous – Neogene stratigraphic framework of the Amazon Basin.....	35
2.3	Tectonic and Geodynamic setting (the Gurupá and Purus arcs)	37
3	MATERIALS AND METHODS	37
3.1	Materials	38
3.2	Cretaceous	38
3.3	Middle - Miocene.....	38
3.4	Compiled and Complementary Data.....	39
3.5	Lithofacies Association and Paleocurrents Directions	39
3.6	Whole Rock Sm/Nd Isotopes.....	39

3.7	Detrital Zircon Geochronological Analysis	40
4	RESULTS	41
4.1	Lithofacies associations and Paleocurrents for Upper Cretaceous – Middle Miocene deposits.	41
4.1.1	Facies Association and Arquitetural Elements	41
4.1.2	Paleocurrents directions	42
4.2	Sm-Nd isotopes	45
4.3	U-Pb detrital zircons.....	45
5	DISCUSSION	46
5.1	Potential Source Areas	46
5.2	New Correlations from Sm-Nd data for the Cretaceous-Neogene of the Amazon Basin 51	
5.3	Paleogeographic evolution of the Central Amazon, Amazon Basin	53
5.3.1	Upper Cretaceous (66.0 Ma)	53
5.3.2	Middle Miocene (10.1-7.1 Ma).....	55
6	CONCLUSIONS	57
7	ACKNOWLEDGMENTS.....	58
8	REFERENCES	59
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
7	REFERÊNCIAS	68
	ANEXOS – DADOS DE U-PB DOS ZIRCÕES DETRÍTICOS DOS ARENITOS DA FORMAÇÃO ALTER DO CHÃO VIA LA-ICP-MS.....	78
	ANEXOS – DADOS DE U-PB DOS ZIRCÕES DETRÍTICOS DOS MATERIAIS DE REFÊRENCIAS GJ1, 91500 E PLES.	94
	ANEXOS – PARÂMETROS LABORATORIAIS DO LA-ICP-MS DO LABORATÓRIO DE ESTUDOS GEODINÂMICOS, GEOCRONOLÓGICOS E AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA.	101
	ANEXOS - SEÇÕES DOS AFLORAMENTOS VISITADOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE MANAUS (INTERPRETAÇÕES TECTONO SEDIMENTARES).....	103
	ANEXOS – IMAGENS DE BACKSCATTERED ELECTRONS	107

1 INTRODUÇÃO

1.1 Estrutura da Dissertação

A dissertação está organizada em 7 capítulos. O Capítulo 1 abrange a parte introdutória onde consta a apresentação da problemática, objetivos e área de estudo. O Capítulo 2 apresenta uma fundamentação teórica a respeito dos sistemas isotópicos escolhidos e sua aplicação em estudos de proveniência sedimentar. O Capítulo 3 descreve a metodologia de preparação das amostras e os procedimentos analíticos utilizados. O Capítulo 4 subsidia o contexto geológico da área de trabalho. Os resultados são apresentados e discutidos no Capítulo 5 na forma de artigo científico. Por fim, o Capítulo 6 e 7, respectivamente, sintetiza as conclusões e perspectivas abordadas pela pesquisa desenvolvida, além de todas as referências utilizadas. Por fim, ao final do presente documento são apresentados os anexos com todos os dados das análises realizadas.

1.2 Apresentação

A análise dos depósitos sedimentares recentes que recobrem grande parte do nordeste do estado do Amazonas na Bacia do Amazonas tem sido objeto de refinamentos e mudanças significativas nos últimos anos (Hoorn et al., 2010; Nogueira et al., 2013a; Horbe et al., 2014; Sacek, 2014; Bicudo et al., 2020). Novos dados sedimentológicos, estruturais e paleontológicos das Formações Novo Remanso e Alter do Chão levantaram importantes questionamentos, incluindo os processos que contribuíram para a reorganização da rede de drenagem da Bacia do Amazonas durante o Cretáceo e a transição para o Neógeno (Latrubesse & Franzinelli, 2002; Latrubesse et al., 2010; Shepard et al., 2010; Mendes et al., 2012; Rossetti et al., 2015; Caputo & Soares, 2016; D'Apolito et al., 2019), bem como seus efeitos sobre a diversificação e/ou endemismo de espécies existentes na Amazônia (Wesselingh et al., 2011; Albert et al., 2018).

Investigações recentes apontam que no período entre o Cretáceo superior (Maastrichtiano) e Paleógeno, a drenagem da porção oeste da América do Sul (SANOZAMA) fluía de leste a oeste (Hurtado et al., 2018; Louterbach et al., 2018; Bicudo et al., 2020). A direção da rede de drenagem foi revertida para oeste-

leste pela tectônica Andina (Campbell et al., 2006; Hoorn et al., 2017; Hurtado et al., 2018). Além disso, até o momento, poucos estudos têm abordado a reversão da drenagem dos rios Amazônicos e sua relação com os dados paleobatimétricos e estruturais. Embora haja estudos baseados em datações palinológicas (Dino et al., 2012; Nogueira et al., 2013; Guimarães, 2014; D'Apolito et al., 2019), as datações de zircões detríticos são limitadas e não há dados de Sm-Nd em rocha total nas Formações Novo Remanso e Alter do Chão. Os estudos existentes são isolados e não apresentam uma integração robusta em escala regional (Mapes, 2006; Mendes, 2015; Santos, 2020).

No contexto evolutivo da Bacia do Amazonas, a sedimentação continental representada pela Formação Alter do Chão ocorreu após um período de aridez em resposta ao surgimento de novas áreas fontes a leste, associadas ao Diastrofismo Juruá (Cunha et al., 2007; Caputo & Soares, 2016). Por outro lado, a Formação Novo Remanso é resultado de processos eustáticos decorrentes do soerguimento andino, que criaram novas áreas fontes a oeste (Caputo & Soares, 2016). Uma vez que existem estudos que abordam a reconstrução estratigráfica e paleoambiental das Formações Novo Remanso e Alter do Chão na região metropolitana de Manaus e ao longo da BR-174, poucos trabalhos se concentram na proveniência sedimentar, com base em estudos geoquímicos e isotópicos (Sarges, 2007, 2011). A dificuldade de acesso às florestas tropicais que recobrem o registro sedimentar dessas unidades, aliada à carência de datações estratigráficas precisas, representam desafios adicionais para a pesquisa nesta área.

Embora haja um consenso geral sobre o paleoambiente desses depósitos continentais, ainda não existe um modelo deposicional consistente que integre eventos tectônicos e deposicionais durante o período Cretáceo e sua transição para o Neógeno. Dado o significado desse período, tanto para a pesquisa acadêmica quanto para a exploração de hidrocarbonetos, é fundamental desenvolver um modelo evolutivo que relacione os processos tectônicos com as mudanças na rede de drenagem da Bacia do Amazonas e suas implicações paleoambientais regionais.

Nesse contexto, o presente estudo compila informações faciológicas e estratigráficas das Formações Alter do Chão e Novo Remanso, juntamente com novos dados geocronológicos U-Pb em zircões detríticos e Sm-Nd em

sedimentos finos inéditos, obtidos a partir de afloramentos ao longo da BR-174 e exposições nas margens do rio Amazonas. Esses novos dados permitirão avaliar a influência do Arco de Purus na sedimentação cretácea e seu papel como barreira geográfica para fontes andinas durante o Mioceno (Nogueira et al., 2013; Bicudo et al., 2020), além de sequenciar um novo modelo paleogeográfico no respectivo intervalo da Bacia do Amazonas.

1.3 Objetivo

O objetivo geral da presente dissertação foi desenvolver um modelo evolutivo que relacione os processos tectônicos com as possíveis mudanças na rede de drenagem originada no Cretáceo, e suas implicações paleoambientais regionais em relação a diversificação de fontes durante o Mioceno, para a Bacia do Amazonas. Nesse sentido, foi realizado um estudo integrado relacionando a assinatura isotópica por U-Pb em zircão detrítico e Sm-Nd em rocha total com dados faciológicos e medidas de paleocorrente.

Dessa forma, com base no presente escopo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Obter dados geocronológicos U-Pb em zircões detríticos e composição Sm-Nd em sedimentos finos inéditos.
- Obter os dados mencionados acima a partir de afloramentos ao longo da BR-174 e exposições nas margens do rio Amazonas.
- Avaliar a influência do Arco de Purus na sedimentação miocênica.
- Apresentar um novo modelo evolutivo paleogeográfico para a Bacia do Amazonas da transição Cretáceo – Neógeno. Abordando a diversificação de fontes e suas implicações ambientais a nível regional.

1.4 Área de estudo

A área de estudo está situada na região metropolitana de Manaus, na porção nordeste do Estado do Amazonas. Por sua vez, as oito exposições analisadas estão distribuídas na margem esquerda do Rio Negro/Amazonas e adjacentes a capital, bem como ao longo de cortes de avenidas e estradas, como por exemplo da rodovia federal BR-174 (Figura 1.1).

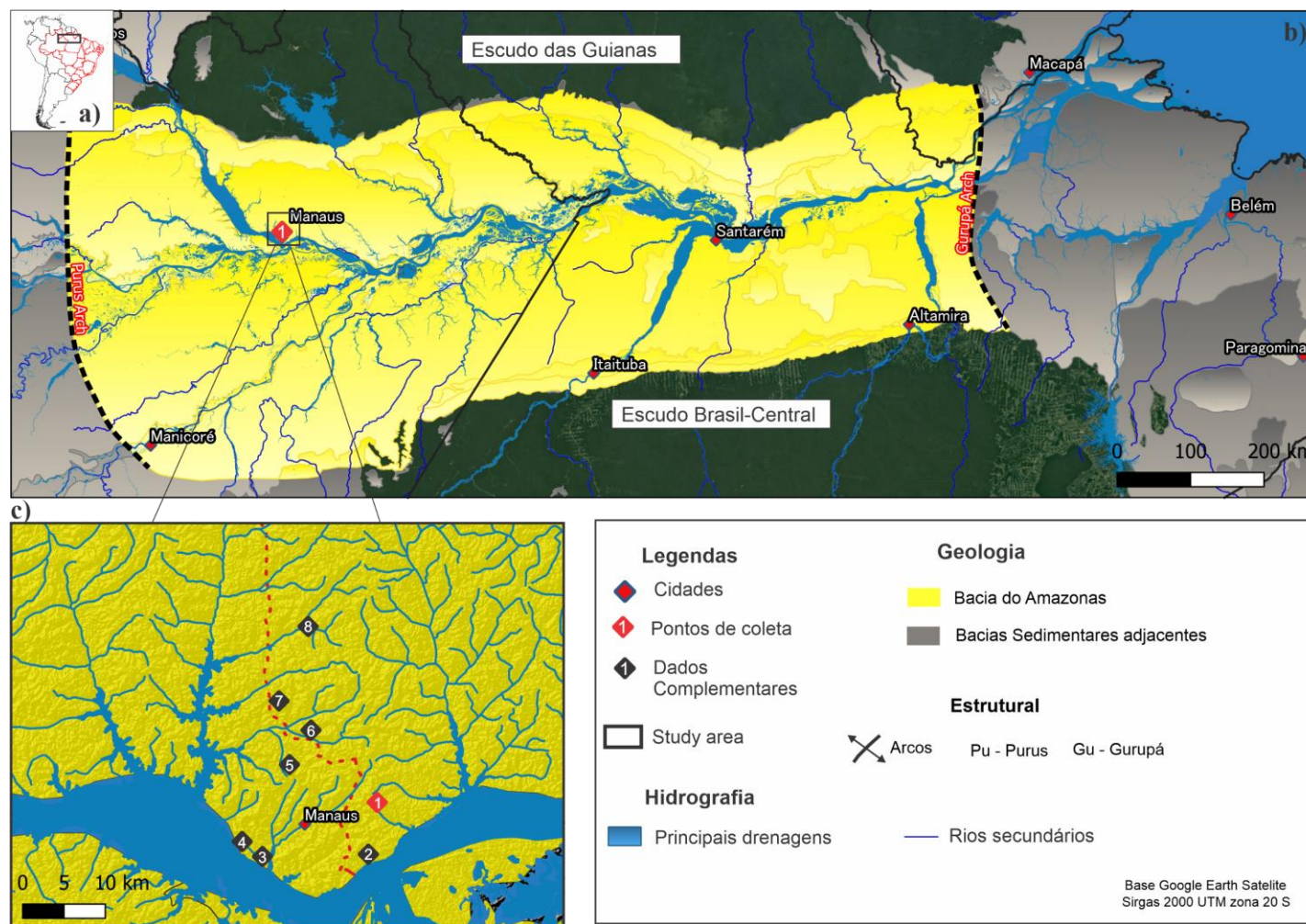


Figura 1.1: A- Mapa do Brasil com limite geográfico da Bacia do Amazonas no estado do Amazonas. B- Mapa geográfico da Bacia intracratônica do Amazonas, delimitada ao norte e sul respectivamente pelos Escudos da Guianas e Brasil Central, a leste e oeste respectivamente pelos Arcos de Gurupá e Purus. B) Detalhe para a área amostrada, situado na região metropolitana de Manaus, às margens dos rios Negro e Amazonas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Litofácies Sedimentares Aluviais

De acordo com Walker (1992), o conceito de litofácies está relacionado com a descrição da litologia, medidas de paleocorrente, textura, estruturas sedimentares, conteúdo fossilífero e geometria de determinado corpo rochoso, que permite a individualização e diferenciação de rochas adjacentes.

Ao longo do tempo, a identificação e a caracterização de antigos sistemas fluviais, estavam baseados exclusivamente em análises de perfis verticais. No entanto, trabalhos pioneiros como Jackson (1981) demonstraram que rios meandrantos e entrelaçados podem gerar empilhamento vertical de litofácies sedimentares semelhantes entre si. Um grande exemplo são os depósitos de acreção lateral, com gênese atribuída a migração de barras em pontal em rios meandrantos, que também podem ser encontrados em canais fluviais entrelaçados (Ghazi & Mountney, 2009; Plink-bjorklund, 2015).

Desta forma, o estudo sistemático de depósitos aluviais demonstra que estes mesmos depósitos são caracterizados por um número restrito de litofácies. Assim, Miall (1977) erigiu uma classificação para facilitar a comunicação técnica, amplamente utilizada na análise paleoambiental para os diversos padrões de rios (meandrantos, braided e efêmeros).

O código de litofácies sedimentares proposto por Mial (1977; 2006) é regido pelo nome da litofácies resumida em duas ou três letras. A letra inicial maiúscula se refere a textura da rocha (G = cascalho; S = areia; F = litofácies de granulação fina, para areia muito fina, silte e argila) e a segunda e/ou quarta são representados por letras minúsculas com a principal estrutura/textura sedimentar (t = estratificação cruzada acanalada; ms = suportado por matriz), observada diretamente na rocha (Tabela 2.1).

2.2 Elementos Arquiteturais (EA'S)

A partir da análise bi e tridimensional de afloramentos é possível individualizar diferentes EAs em depósitos fluviais. Um EA é definido por um litossoma com geometria externa e interna, associação específica de litofácies e dimensões (escala) que, quando combinados, representam um conjunto de

Tabela 2.1: Principais litofácies sedimentares modeladas para sistemas aluviais com ênfase no código, estrutura e o processo sedimentar (Modificado de Miall, 1977).

Código	Litofácies Sedimentares	Estruturas Sedimentares	Processo Sedimentar
Gmm	Cascalho maciço matriz-suportado	Maciça, gradação normal incipiente	Fluxo de detritos plástico, fluxo viscoso, alta coesão interna
Gmg	Cascalho matriz suportado	Gradação inversa a normal	Fluxo de detritos pseudoplástico, fluxo viscoso, baixa coesão interna
Gci	Cascalho clasto-suportado	Gradação inversa	Fluxo de detritos pseudoplástico (baixa coesão)
Gcm	Cascalho maciço clasto-suportado	Maciça	Fluxo de detritos pseudoplástico (fluxo turbulento)
Gh	Cascalho clasto suportado, acamamento incipiente	Acamamento horizontal, clastos imbricados	Formas de leito longitudinais, depósitos residuais (<i>lags</i>)
Gt	Cascalho estratificado	Estratificação cruzada acanalada	Preenchimento de pequenos canais
Gp	Cascalho estratificado	Estratificação cruzada planar	Migração de dunas transversais, crescimento deltaico a partir de barras remanescentes
St	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificação cruzada acanalada	Migração de dunas 3D, cristas sinuosas ou linguóides
Sp	Areia muito fina a grossa	Laminação cruzada	Migração de marcas onduladas 2D, cristas retas
Sr	Areia muito fina a grossa (podendo ser cascalhosa)	Laminação horizontal, lineação de partição	Migração de formas de leito retilínea em regime de fluxo inferior/superior
Sh	Areia muito fina a grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificação cruzada de baixo ângulo (<15°) (podendo ser sigmoidal)	Migração de dunas 2D, crista reta (regime de fluxo unidirecional superior/crítico)
Sl	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Amplas e suaves depressões	Preenchimento de suaves depressões (<i>scour fills</i>), dunas atenuadas, antidunas
Ss	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificação Sigmoidal	Preenchimento de suaves depressões (<i>scour fills</i>)
Sm	Areia fina a grossa	Maciça	Rápida deposição, ausência de contraste granulométrico ou intensa bioturbação
Fl	Areia, silte, argila	Laminação cruzada ou horizontal incipiente	Sedimentos de granulometria fina, depositados por decantação e pequenos intervalos de processos trativos
Fsm	Silte, argila	Maciço, greta de contração	Deposição de sedimentos de granulometria fina por decantação e ausência de processos trativos, seguida de exposição subaérea
Fm	Argila, silte	Maciço	Deposição de sedimentos de granulometria fina por decantação e ausência de processos trativos
Fr	Argila, silte	Maciço ou bioturbação	Solo incipiente

processos sedimentares que atuam em regiões particulares de um sistema deposicional, ou seja, definem subambientes deposicionais (Miall, 1985, Bridge & Tye, 2000).

Para descrições e classificações genéticas destes elementos, Miall (1985) e Holz (2012) propôs os seguintes parâmetros:

- Natureza das superfícies limitantes: superfície inferior e superior que limitam o elemento arquitetural podem apresentar caráter erosivo, gradacional, planar, irregular, curva;
- Geometria externa: lençol, lente, cunha, pá (scoop), preenchimento em U;
- Dimensão/Escala: espessura e extensão lateral (paralela e/ou perpendicular à direção de fluxo);
- Litologia: assembleia de litofácies e sequência vertical;
- Geometria interna: natureza e disposição das superfícies internas, relação entre o acamamento e as superfícies de 1ª e 2ª ordens (paralela, truncada, onlap, downlap);
- Padrão de paleocorrentes: orientação dos indicadores de fluxo em relação às superfícies internas e formas externas do elemento.

Neste sentido, Miall (1996; 2006) estabeleceu que os EAs que ocorrem associados a depósitos aluvionares podem ser agrupados de acordo com os principais sítios de deposição, ou seja, os que ocorrem dentro de canais fluviais e os que ocorrem fora das canalizações. Assim, para os depósitos que ocorrem dentro das canalizações foram estabelecidos oito EAs básicos e elementares, Canal (CH), Acresção Lateral (LA), Forma de Leito e Barras Cascalhosas (GB), Fluxo Gravitacional de Sedimentos (SG), Forma de Leito Arenosas (SB), Acresção Frontal (DA), Scour Hollows (HO) e Areia Laminada Horizontalmente (LS).

Por sua vez, os EAs representativos de depósitos preservados fora das canalizações seriam indicados por seis EAs, a saber: Finos de Overbank (OF), Dique Marginal (LV), Canal de Crevasse (CR), Espraçamento de Crevasse (CS), Finos de Planície de Inundação (FF) e Canal Abandonado (CH) (Figura 2.1; Tabelas 2.2 e 2.3).

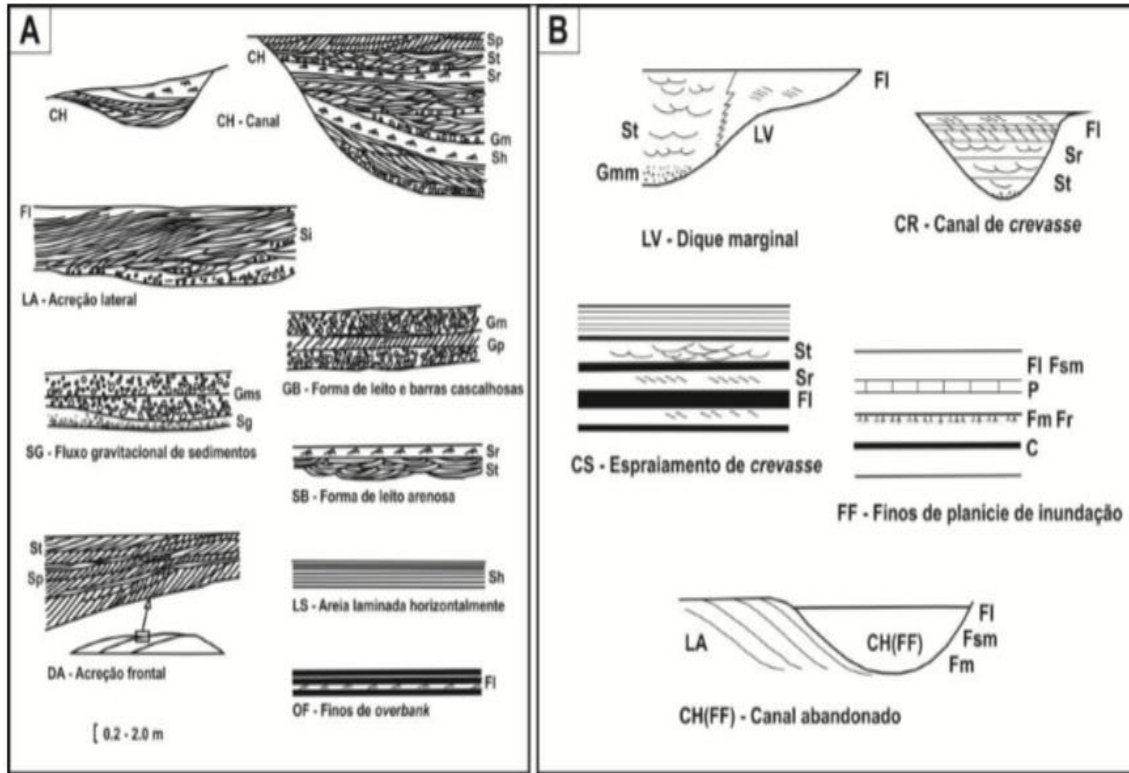


Figura 2.1: Elementos Arquiteturais (EAs) relacionados a sistemas aluviais. As siglas ao lado de cada EAs remetem ao código de litofácies sedimentares. (A) EAs formados dentro de canais fluviais. (B) EAs preservados externamente aos canais fluviais (Modificado de Miall, 2006).

Tabela 2.2: Principais características dos Elementos Arquiteturais (EAs) formados dentro das canalizações (Modificado de Miall, 2006).

Elemento Arquitetural	Simbologia	Associação de Litofácies	Geometria
Canalizações	CH	Variada	Lente ou folha, base erosiva côncava para cima, escala e forma altamente variáveis
Barras Cascalhosas	GB	Gm, Gp, Gt	Lente, lençol, geralmente corpos tabulares, comumente intercalado com SB
Forma de Leito Arenosa	SB	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lente, folha, lençol, cunha, ocorre como preenchimento de canal, crevasse <i>splays</i> ou na forma de barras menores
Macroforma de Acresção Frontal	DA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lente sobre base plana ou canalizada, com erosão interna com superfície convexa para cima
Macroforma de Acresção Lateral	LA	St, Sp, Sh, Sl, Se, Ss e com menor frequência Gm, Gt, Gp	Cunha, folha, lóbulo, caracterizado por superfícies internas de acresção lateral
<i>Scour Hollows</i>	HO	Gh, Gt, St, Sl	Cavidade em forma de colher com preenchimento assimétrico
Fluxo Gravitacional de sedimentos	SG	Gmm, Gmg, Gci, Gcm	Lóbulo, folha, normalmente intercalado com GB
Lençóis de Areia Laminado	LS	Sh, Si, Sp, Sr	Folha, Lençol

Tabela 2.3: Elementos Arquiteturais (EAs) originados externamente as canalizações (Modificado de Miall, 2006).

Elemento Arquitetural	Simbologia	Associação de Litofácies	Geometria
Dique	LV	Fl, Sr	Cunha com espessura de até 10 m e 3 km de largura
Canal de Crevasse	CR	St, Sr, Ss	Fita que apresenta espessuras milimétricas, 5 m de profundidade, 10 km de comprimento
Crevasse Splay	CS	St, Sr, Fl	Lente que pode alcançar até 10 km de comprimento e profundidade, 2-6 m de espessura
Finos de Planície de Inundação	FF	Fsm, Fl, Fm, Fr	Lente, com comprimento que podem alcançar quilômetros
Canal Abandonado	CH	Fsm, Fl, Fm, Fr	Faixa comparável em escala ao canal ativo

2.3 Proveniência Sedimentar

Os sedimentos siliciclásticos têm sua origem na erosão de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, que são posteriormente transportados pelo sistema de dispersão sedimentar e eventualmente depositados em bacias sedimentares. O objetivo principal dos estudos de proveniência é caracterizar as rochas fontes fornecedoras de sedimentos e reconstruir sua trajetória ao longo do tempo, proporcionando informações sobre todo o ciclo sedimentar (Morton, 1991). Assim, os sedimentos siliciclásticos contêm informações não apenas sobre as rochas que lhes deram origem, mas também sobre os processos envolvidos na sua formação e transporte. Essas informações são valiosas para a compreensão da história geológica da região onde os sedimentos são encontrados (Morton et al., 2005; Figura 2.2)

Os primeiros estudos sobre a proveniência sedimentar basearam-se, principalmente, em parâmetros sedimentológicos, como a análise da composição de arenitos em diagramas QFL, a caracterização morfológica de grãos de quartzo e minerais pesados, a análise da assembleia de argilo-minerais e dados de paleocorrente (Dickinson & Suczek, 1979; Morton & Hallsworth, 1999). Esses métodos permitiram uma interpretação significativa do contexto tectônico em que a unidade sedimentar foi depositada, além de identificar o tipo e a localização da rocha fonte. No entanto, com o avanço de métodos analíticos isotópicos e geocronológicos, a identificação da fonte primária de sedimentos tornou-se mais precisa.

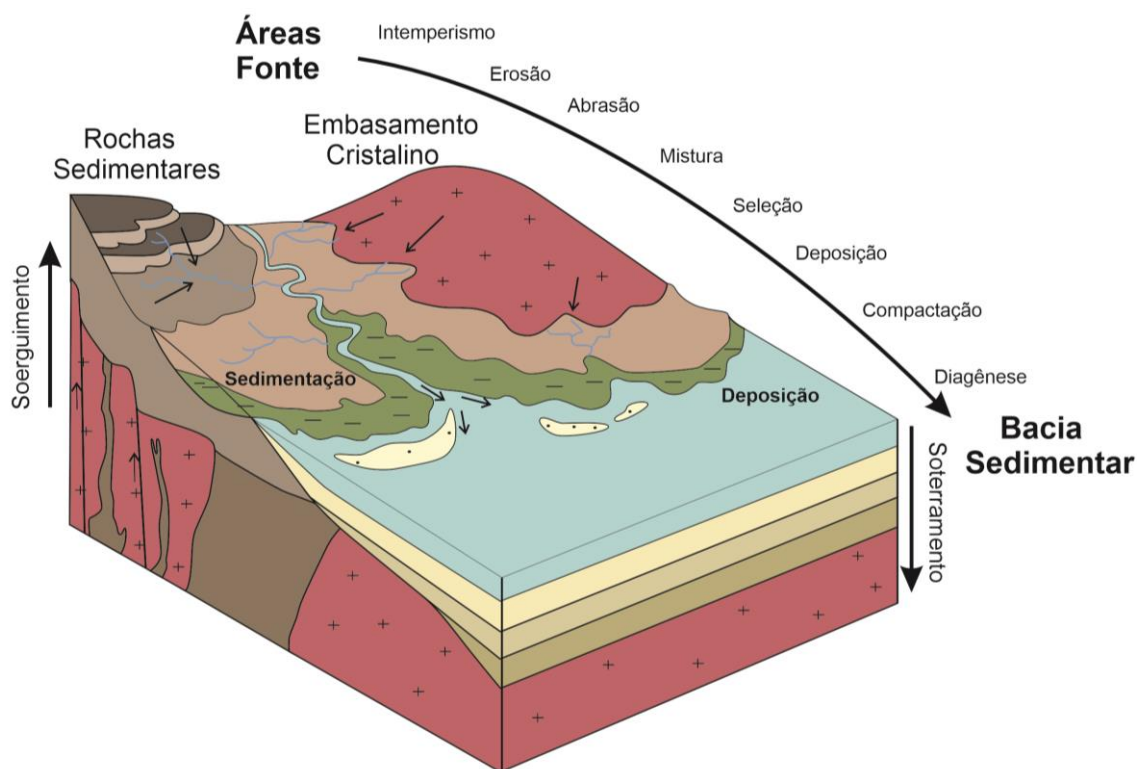


Figura 2.2: Ilustração esquemática do ciclo sedimentar que atua na determinação da composição de sedimentos. (Modificado de Morton & Hallsworth, 1994).

O uso de isótopos radiogênicos, como as idades U-Pb em zircão detrítico e os isótopos de Sm-Nd em sedimentos siliciclásticos, retêm as características das rochas fontes e pode ser utilizado para distinguir diferentes fontes de sedimentos com maior precisão (Schoene, 2004). De fato, a aplicação desses métodos tornou-se uma ferramenta indispensável em estudos de proveniência de rochas sedimentares.

2.4 U-Pb em Zircão Detrítico

O método de datação U-Pb é baseado no decaimento radioativo do Urânio (U, Z = 92) para o Chumbo (Pb, Z = 82) estável por meio da emissão de partículas α e β . O Urânio tem três isótopos radioativos, dos quais os isótopos ^{238}U e ^{235}U são utilizados na datação U-Pb. O isótopo ^{238}U se decompõe em ^{206}Pb com meia-vida de 4.468 Ga e constante de decaimento (λ) de 1.55×10^{-7} . Já o isótopo ^{235}U se decompõe em ^{207}Pb com meia-vida de 0.704 Ga e $\lambda = 9.84 \times 10^{-10}$ (Faure, 2005). A idade U-Pb pode ser calculada a partir das equações:

$$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}} = (e^{\lambda_{235}t} - 1) \quad \frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}} = (e^{\lambda_{238}t} - 1)$$

O Chumbo ocorre naturalmente na forma de quatro isótopos estáveis (^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb e ^{204}Pb). Três destes isótopos são radiogênicos, onde ^{206}Pb e ^{207}Pb são produzidos pela decomposição do Urânio e ^{208}Pb é produzido pelo Tório. O isótopo estável ^{204}Pb é o único não radiogênico (chumbo comum) e pode estar presente na estrutura cristalina

de alguns minerais, como zircão, no momento da cristalização (Faure, 2005). O chumbo comum pode também estar presente em inclusões minerais ou introduzido por processos químicos (Bowring & Schmitz, 2003). A presença do ^{204}Pb na estrutura cristalina do zircão pode alterar as medições dos isótopos radiogênicos ^{206}Pb e ^{207}Pb produzidos pelo ^{238}U e ^{235}U , respectivamente. As alterações provocadas pela presença de chumbo comum podem ser corrigidas com procedimentos apropriados (Bowring & Schmitz, 2003; Dickin, 2005; Buhn et al., 2009; Kooijman et al., 2011).

O mineral zircão (ZrSiO_4) é comumente utilizado como um cronômetro geológico no sistema isotópico U-Pb, pois incorpora átomos de urânio em sua rede cristalina. Além disso, sua resistência a processos metamórficos e intempéricos, juntamente com sua ampla distribuição em rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, fazem dele uma escolha popular para datação. A técnica U-Pb em zircão permite a determinação da idade de cristalização da rocha, bem como a idade de eventos metamórficos. Em grãos detriticos, essa técnica também permite a identificação de diferentes populações de zircão presentes em rochas de uma bacia, além de ser usada em conjunto com o sistema isotópico Lu-Hf para caracterizar as prováveis fontes desses sedimentos (Košler et al., 2002; Fedo et al., 2003; Andersen, 2005; Yao et al., 2011).

Na análise de rochas cristalinas, como as ígneas e metamórficas, a representação gráfica do sistema U-Pb é feita em um diagrama de eixos coordenados. Nesse gráfico, as razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ e $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ são plotadas em função do tempo, usando uma curva de referência denominada Concórdia (Wetherill, 1956). No entanto, para rochas cristalinas com idade inferior a 1.5 Ga, um diagrama alternativo pode ser utilizado (Tera & Wasserburg, 1972; Figura 2.3). Nesse caso, as razões $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ são plotadas no eixo X e as razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ no eixo Y, e a Concórdia é chamada de inversa.

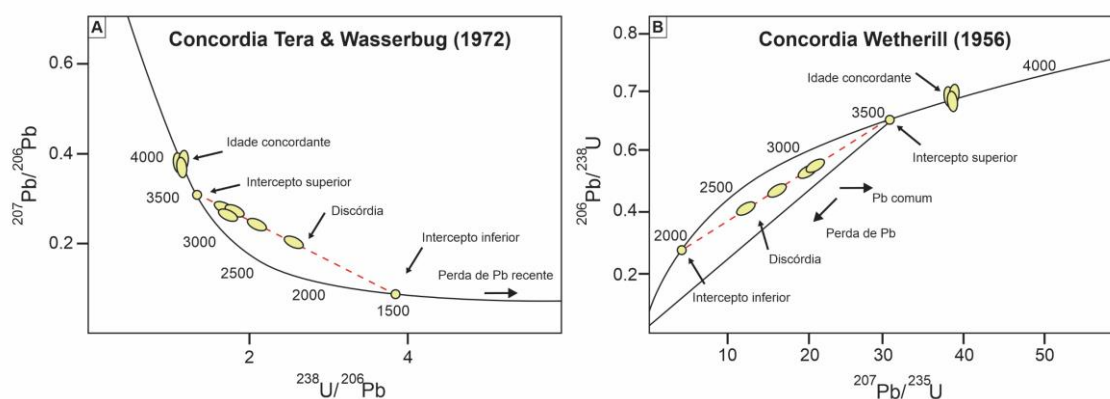


Figura 2.3: a) Diagrama de Concórdia de Wetherill (1956) utilizado para representação gráfica do sistema isotópico U-Pb. b) Representação gráfica alternativa para os isótopos U-Pb (Concórdia Tera & Wasserburg), comumente utilizada para rochas mais jovens que 1.0 Ga.

No contexto da análise de proveniência de zircão detritico, a representação gráfica é realizada por meio de um histograma de densidade, que reflete a distribuição das

populações de zircão encontradas no sedimento (Andersen, 2005). Quando se trabalha com grãos cujas idades superam 1.5 Ga, a construção do histograma é feita utilizando a razão $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, enquanto para aqueles com idade inferior a 1.5 Ga, a razão $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ é utilizada.

Os zircões detríticos encontrados em uma bacia sedimentar possuem uma variedade de origens resultantes do desgaste e transporte de distintos tipos de rochas, como aquelas de procedência fluvial, marinha, glacial e eólica. Para examinar a distribuição das fontes envolvidas na deposição sedimentar de uma bacia, é necessário analisar um considerável número de grãos (aproximadamente 60-100) (Dodson et al., 1988; Sircombe, 2000; Fedo et al., 2003; Vermeesch, 2004; Gehrels et al., 2008; Garzanti et al., 2014; Spencer et al., 2016), levando em consideração também a forma dos grãos (por exemplo, ígneos ou metamórficos), que pode fornecer indícios de eventos magmáticos nas regiões de origem (Dodson et al., 1988). Esses estudos demonstram a importância da análise dos zircões detríticos na reconstrução das histórias geológicas e processos sedimentares de uma bacia sedimentar.

Ademais, devido à extensa quantidade de análises em uma única amostra, a principal abordagem e interpretação das idades de zircões detríticos é executada por meio de técnicas estatísticas (Hurford et al., 1984; Gehrels, 2000; Ludwig, 2003; Sircombe, 2004; Andersen 2005; Vermeesch, 2012; Zimmerman et al., 2015). O método mais utilizado para a representação visual de populações de grãos detríticos é o KDE (Kernel Density Estimation; Vermeesch, 2012). Neste método, é expresso por meio de picos e vales, a probabilidade relativa das diversas idades em uma população (Figura 2.4).

2.5 Método Sm/Nd

O Samário é um elemento pertencente ao grupo dos lantanídeos, especificamente ao grupo das terras-raras leves. É encontrado naturalmente em sete isótopos diferentes, sendo que três deles são radioativos. O isótopo ^{147}Sm é utilizado no método de datação Sm-Nd de rochas, uma vez que ele se decompõe lentamente por emissão de partículas alfa, resultando no isótopo estável ^{143}Nd (Faure, 2005). A meia-vida do isótopo ^{147}Sm é bastante longa ($T_{1/2} = 1,06 \times 10^{11}$ anos; $\lambda = 6,54 \times 10^{-12}$ anos $^{-1}$), mas mesmo pequenas diferenças na abundância do isótopo filho ^{143}Nd podem ser medidas, permitindo a datação das rochas pelo método Sm-Nd (Dickin, 2005).

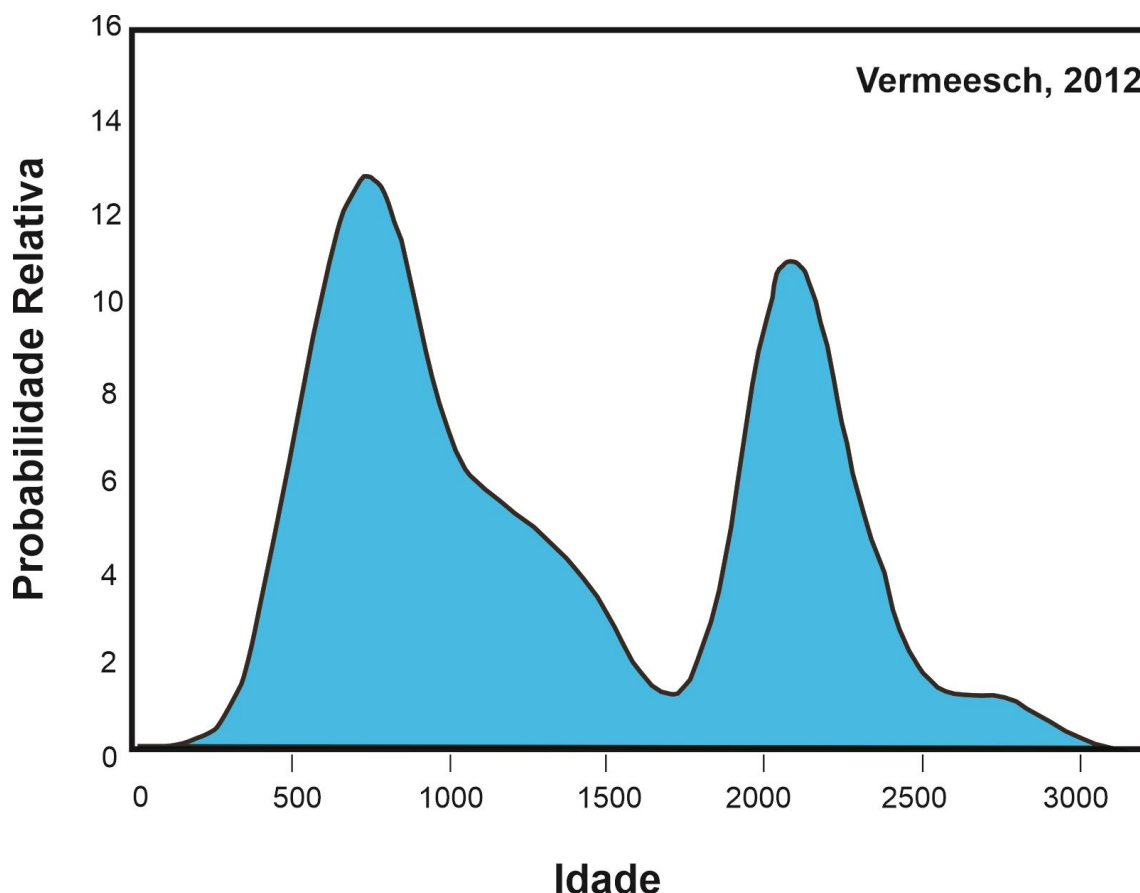


Figura 2.4: Diagrama de estimativa de densidade Kernel (Kernel Density Estimation - KDE) utilizados para a visualização das distribuições de idades U-Pb em populações de zircão detrítico, modificado de Vermeesch, 2012.

Durante o processo de fusão parcial no manto, o Samário apresenta uma tendência a permanecer restrito a fase *solidus*, retido entre a estrutura cristalina dos minerais, enquanto o Neodímio, por apresentar um comportamento mais incompatível que o Sm, se concentra no *liquidus* e se move em direção às porções mais rasas da litosfera. Com o aumento gradual e contínuo da quantidade de isótopos radioativos de Samário no manto ocasiona o gradual aumento das razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ em comparação com a crosta, uma vez que a crosta passa a ser enriquecida em Neodímio e apresentando uma manutenção das razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ que permanecem baixas.

Para a Terra, o sistema de fracionamento isotópico é explicado através de curvas evolutivas. De acordo com DePaolo e Wasserburg (1976) e DePaolo (1981), a curva evolutiva conhecida como "CHUR" sugere um sistema isotópico ideal e tem construção baseada por meio de análises de meteoritos condriticos. A análise da curva evolutiva 'CHUR' permite estimar a composição inicial do sistema solar. Além disso, a evolução do manto superior é atribuída por uma curva denominada "DM- Depleted Mantle", a qual relaciona-se com o processo de diferenciação magmática do manto. Essa curva pode ser calculada a partir da equação:

$$T_{DM} = \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{Amostra}} - \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{DM}}{\left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{Amostra}} - \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{DM}} + 1 \right]$$

O desvio do neodímio radiogênico de uma determinada amostra em relação ao CHUR é expresso pela notação ϵ_{Nd} , desenvolvida por DePaolo e Wasserburg (1976). O cálculo do ϵ_{Nd} possibilita determinar se a fonte de um magma é de origem crustal, quando seus valores são negativos, ou mantélica, quando positivos. A equação a seguir é utilizada para esse cálculo:

$$\epsilon_{\text{Nd}(t)} = \left[\frac{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{Amostra}}}{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}} - 1 \right] \times 10^4$$

O método Sm/Nd se baseia no aumento da razão radiogênica $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ao longo do tempo, decorrente da desintegração do ^{147}Sm . Os valores resultantes dos cálculos são representados em um diagrama binário, onde T (tempo) é plotado em função da razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ou do valor de ϵ_{Nd} (Figura 2.5).

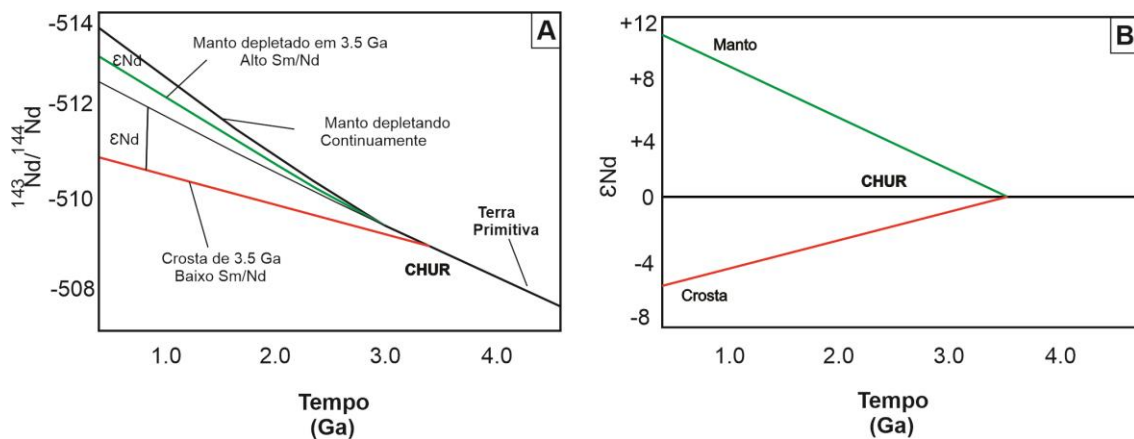


Figura 2.5: A) Evolução dos isótopos de Nd no manto e crosta B) Variação do parâmetro Nd em rochas do manto e crosta em relação ao reservatório condritico uniforme (CHUR). Modificado de (DePaolo e Wasseburg 1976a, 1976b).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente dissertação aborda técnicas de modelamento de litofácies sedimentares e dados de paleocorrentes, além de análises isotópicas de zircões detriticos e Sm/Nd. Com intuito de responder as principais questões e lacunas do registro sedimentar nas sequencias Cretáceo-Neógeno da Bacia do Amazonas, assim como estabelecer atualizações para o modelo paleogeográfico da Bacia do Amazonas.

3.1 Amostragem

A obtenção de informações detalhadas sobre as seções/afloramentos sedimentares é de suma importância em estudos de proveniência sedimentar. Nesse contexto, foram investigadas oito seções estratigráficas, nas quais foram identificadas e caracterizadas fácies sedimentares por meio de uma abordagem multidisciplinar, considerando parâmetros como composição, geometria, textura, estruturas sedimentares, conteúdo fossilífero e padrões de paleocorrente.

No total, foram coletadas 10 amostras ao longo de uma seção condensada que apresentava as melhores exposições sedimentares. Para realizar análises de U-Pb em zircão detrítico, foram selecionadas três amostras de arenitos, com pesos entre 5-10 kg. Para as análises de Sm-Nd, foram coletadas sete amostras de rochas sedimentares finas, tais como argilitos e siltitos, com aproximadamente 2 kg cada.

Ademais, o presente trabalho, além de empregar uma abordagem através das associações de litofácies, utiliza também algumas das seções clássicas de trabalhos anteriores (Mapes et al., 2006; Loiola et al., 2013; Mendes, 2015). Nesse sentido, os dados de amostras dos referidos trabalhos com foco em análises de U-Pb em zircões detriticos, foram compilados e novamente utilizados para auxiliar novas interpretações do potencial de contribuição das áreas fontes que abasteceram os depósitos siliciclásticos do Cretáceo Superior e Mioceno Médio da Bacia do Amazonas.

A Figura 3.1 apresenta os perfis estratigráficos sedimentares interpretados durante as atividades de campo, ao longo de oito afloramentos na região metropolitana de Manaus e ao longo da BR-174.

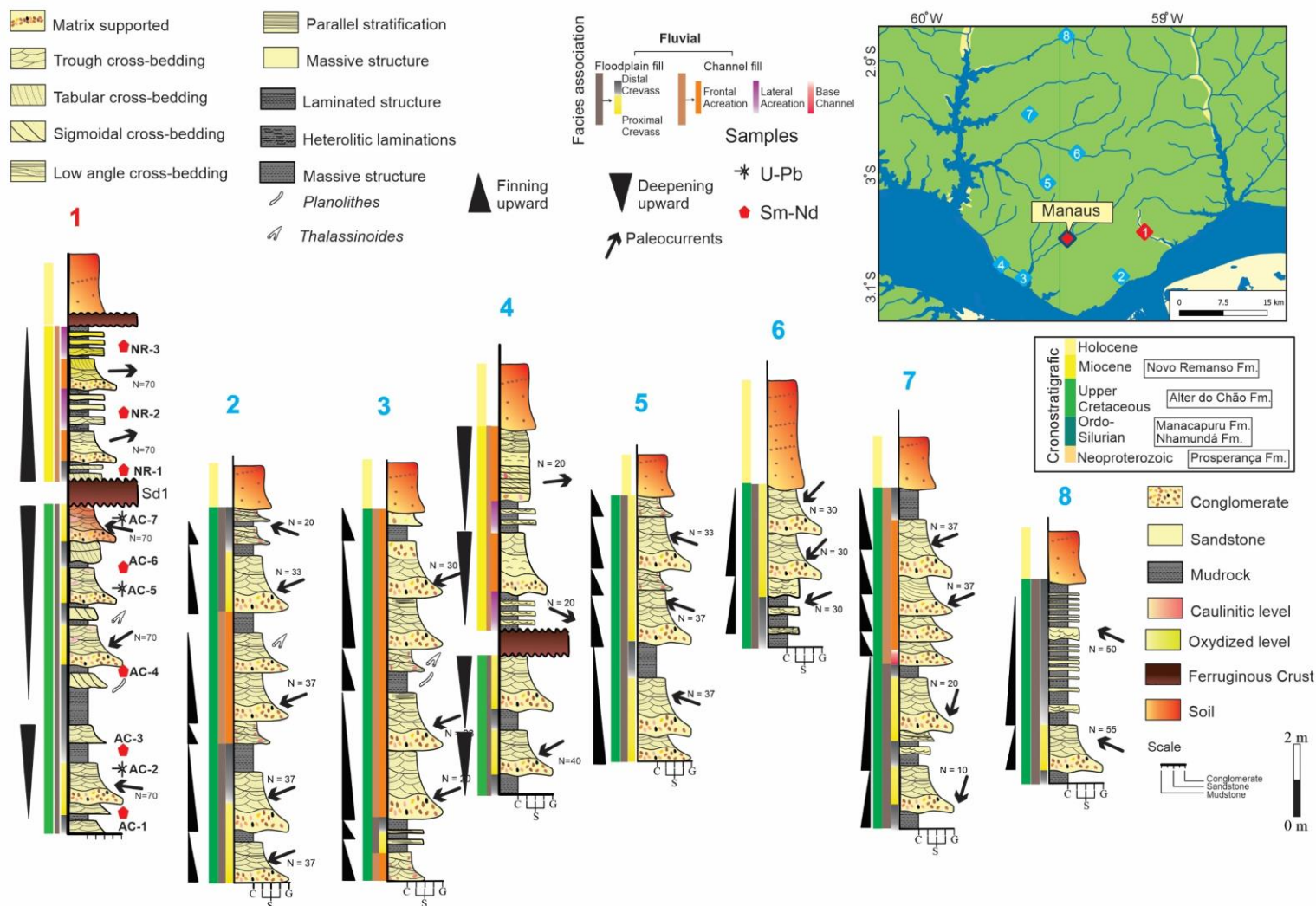


Figura 3.1: Perfis estratigráficos da Formação Alter do Chão, Novo Remanso e Depósitos Holocênicos, mapeados em oito afloramentos na região metropolitana de Manaus.

3.2 Análises de Litofácies e Paleocorrentes

Nesta pesquisa foi utilizada a técnica de modelamento de litofácies sedimentares que leva em consideração características como geometria, relação de contato, textura, litologia e estruturas sedimentares para individualização do corpo sedimentar (Walker, 1990). A individualização e descrição de litofácies tiveram como objetivo interpretar o processo sedimentar, enquanto o agrupamento de litofácies em elementos arquiteturais permitiu identificar os ambientes de sedimentação e sistemas deposicionais envolvidos (Holz, 2012).

Para a nomeação das litofácies sedimentares foi adotado um código (sigla) a fim de representá-las de forma simplificada, de acordo com a proposta de Miall (2006). Nesse sentido, informações como nome da litofácies, código, descrição, processo sedimentar e as respectivas associações de fácies/elementos arquiteturais foram organizadas em uma tabela de forma a sintetizar as informações litofaciológicas.

A análise litofaciológica foi complementada com a elaboração de perfis estratigráficos, registro fotográfico em macro e mesoescala, elaboração de seções panorâmicas, medidas de paleocorrente, além da obtenção da atitude dos estratos sedimentares, que auxiliaram na identificação dos elementos arquiteturais, definidores de subambientes sedimentares (Wizevic, 1991; Arnot et al., 1997; Tucker, 2014). Os registros das seções sedimentares identificadas em campo, são apresentados nas seções de Anexos, ao final do presente documento.

3.3 U-Pb em Zircão Detrítico

As amostras selecionadas passaram por um processo de desagregação e peneiramento, onde a fração com tamanho inferior a 300 µm foi retida. Esse material foi submetido à técnica de bateamento, com o objetivo de pré-concentrar os minerais pesados. O concentrado obtido foi submetido à secagem sob lâmpada infravermelha e, posteriormente, passou por um separador magnético Frantz. Dessa forma, obteve-se um concentrado de minerais pesados não magnéticos, que foi submetido à análise por meio de uma lupa binocular para a separação dos grãos de zircão detrítico. Por fim, 200 grãos de zircão na fração areia média (0,2 mm) foram selecionados aleatoriamente e dispostos em um

mount com resina epóxi e submetidos a um processo de polimento, a fim de expor as partes internas dos grãos.

Os suportes contendo os grãos de zircão detrítico foram então examinados em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), onde foram geradas imagens de retroespalhamento (*Backscattered* - BSE). A partir das análises dessas imagens, foram observados padrões de textura e estrutura dos grãos a serem analisados. De acordo com Corfu et al. (2003), a utilização de parâmetros morfológicos pode auxiliar na identificação de diferentes populações de zircão e na caracterização dos processos intrínsecos ao ambiente sedimentar. Além do mais, foram discernidos grãos de zircão que apresentassem discrepâncias entre as estruturas de núcleo e borda, a fim de delinear as zonas apropriadas para fins de datação, evitando, assim, análises nas regiões periféricas das zonas internas (Morton et al., 1991; Kosler & Sylvester, 2003).

Com relação a instrumentação, as análises de U-Pb em zircão detrítico foram realizadas por meio de um Thermo Finnigan Neptune MC-ICP-MS acoplado com ablação por laser Nd-YAG ($\lambda = 213 \text{ nm}$) (UP-213, *New Wave Research*) na UnB, com configurações de entrada de acordo com (Bühn et al., 2009). O diâmetro de ponto de laser foi de $25 \mu\text{m}$, frequência de 10 Hz e fluência de $\sim 3,0\text{-}3,5 \text{ J/cm}^2$. Foram utilizados zircão GJ1 (Jackson et al., 2004) como material de referência primário e zircão 91.500 (Wiedebeck et al., 1995) como secundário/validação. O método de *Bracketing* (SSB) foi empregado para correções do desvio instrumental e exatidão das análises, com duas análises GJ1 e 91.500 inseridas no início e fim de cada rodada.

As etapas de processamento de dados e correção do fracionamento induzido pelo laser foram realizadas utilizando o software IOLITE v4.0 (Paton et al., 2011) e VizualAge (Petrus & Kamber, 2012). Foram aplicados modelos exponenciais e lineares para essas análises. Os resultados das análises das relações de idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ para o zircão 91500 foram obtidos através de uma média ponderada, resultando em uma idade de $1063 \pm 10 \text{ Ma}$ (2σ , $n = 309$). Esses valores estão em concordância com a idade de referência recomendada de $1062.4 \pm 0.4 \text{ Ma}$ (Wiedenbeck et al., 1995). As razões isotópicas e as idades foram devidamente corrigidas levando em consideração o componente de Pb

comum, seguindo o modelo de evolução do Pb terrestre proposto por Stacey & Kramers (1975).

Por fim, a filtragem dos dados, foi realizada com base no grau de discordância entre as idades das razões $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ e $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ é calculado a partir da seguinte equação.

$$\text{Discordancia} = \left(1 - \left(\frac{\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}} \text{ idade}}{\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}} \text{ Idade}} \right) \right) * 100$$

Idades que apresentaram uma discordância superior a 10% não foram consideradas para fins de interpretação. Para zircões com idades inferiores a 1.5 bilhões de anos, utilizaram-se a relação de idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, enquanto para zircões com idades superiores a 1.5 bilhões de anos, foi empregada a diferença de idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Spencer et al., 2016). Essas escolhas metodológicas foram adotadas com base em estudos anteriores e visam garantir uma interpretação adequada dos dados obtidos.

3.4 Sm-Nd em Rocha Total

Antes da preparação química, as amostras de pelitos passaram por um processo de secagem a 60°C e foram submetidos à peneiração para separar a fração de tamanho inferior a 63µm, correspondente a silte e argila. Os argilitos, por sua vez, foram submetidos a uma secagem de aproximadamente 12 horas a 60°C. Em seguida, todas as amostras foram reduzidas a pó utilizando um moinho de panela.

O procedimento adotado para os ataques ácidos e a extração dos concentrados de Sm-Nd das amostras segue o protocolo proposto por Gioia & Pimentel (2000). Ademais, a separação cromatográfica de Sm e Nd também seguiu as técnicas convencionais, utilizando resina LN-Spec em colunas de teflon.

- 50-100mg de rocha pulverizada e misturada com 3 gotas de spike (mistura enriquecida em ^{149}Sm e ^{150}Nd), aproximadamente 10 mg cada gota;
- Mistura de 0,5mL HNO_3 concentrado e 3mL HF em recipiente teflon SAVILLEX com amostra, deixar em digestão em estufa por 24 horas à 180°C;

- Novo ataque com ácido com 0,5mL HNO₃ concentrado e 3mL HF em recipiente teflon SAVILLEX com amostra, deixar em digestao em estufa por 3 a 4 dias à 180 °C;
- Apos dissolução completa e amostra seca, sao adicionados 2mL de concentrado de HNO₃;
- Apos evaporação completa, 6ml de 6N HCl sao adicionados e deixados na estufa por 24 horas a 180°C. Neste ponto a solução já deve estar absolutamente homogênea. As amostras que nao se homogeneizaram são submetidas aos procedimentos anteriores.

A determinação das razões isotópicas foi realizada utilizando um espectrômetro de massa de ionização térmica (TIMS) *multicoletor Thermo Scientific* modelo *TRITON Plus*. Durante as análises de Nd, os dados foram normalizados utilizando a razão natural de $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$. A precisão das análises foi avaliada por meio de análises repetidas do padrão internacional BHVO-2, resultando em uma média ponderada da razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de 0.512996 ± 0.000006 (2SD, n = 50), em concordância com o valor recomendado de 0.512986 ± 0.00001 (2SD, n = 10) (Weis et al., 2005).

4 GEOLOGIA REGIONAL

4.1 A Bacia do Amazonas

A área de estudo está localizada na Bacia Sedimentar do Amazonas, situada na região central do Cráton Amazônico, delimitada na sua porção sul pelo Escudo Brasil-Central, a norte pelo Escudo das Guianas, a oeste pelo Arco de Purus (limite com a Bacia do Solimões) e por fim, a leste pelo Arco de Gurupá que estabelece um limite com a Bacia do Marajó (Cunha et al., 2007) (Figura 4.1).

A Bacia do Amazonas é classificada como intracontinental, apresenta geometria alongada de acordo com um trend SSW-NNE, com área aproximada de 500.000 km², além de ter mais de 5 km de preenchimento vulcano-sedimentar (Cunha et al., 2007). A origem da bacia está relacionada com a dispersão de esforços compressivos e extensionais durante o fechamento do Ciclo Brasileiro que serviram como um rifte primário e abortado (Cunha et al., 2007; Roddaz et al., 2010).

As rochas que compõem o embasamento da bacia são oriundas de processos metamórficos, além de apresentarem rochas graníticas das Faixas Móveis Ventuari-Tapajós e Maroni-Itacaiúnas acrescidas a um núcleo central, a Província Amazônia Central. Adicionalmente, completam o quadro do embasamento rochas sedimentares proterozoicas do Grupo Purus, constituída pelas formações Prosperança e Acari, que preencheram os riftes iniciais e não relacionadas com a fase sinéclise da bacia (Tassinari & Macambira, 1999).

A fase sinéclise teve início a partir da subsidência termal regional, ligada ao fim deste evento distensivo, que foi preenchido por duas megassequência de 1ª ordem: uma com idade paleozoica e outra meso-cenozoica (Figura 4.2) (Cunha et al., 2007). A megassequência paleozoica é subdividida em 4 sequências de 2ª ordem delimitadas por discordâncias regionais, a saber: Ordovício-Devoniana (Grupo Trombetas), Devoniano-Tournaisiana (Urupadi e Curuá), Neovisiana (Formação Faro), Pensilvaniano-Permiana (Grupo Tapajós). A última megassequência é constituída por duas sequências, são elas: Cretácea e Terciária, detalhadas no intervalo Cretáceo-Neógeno a seguir.

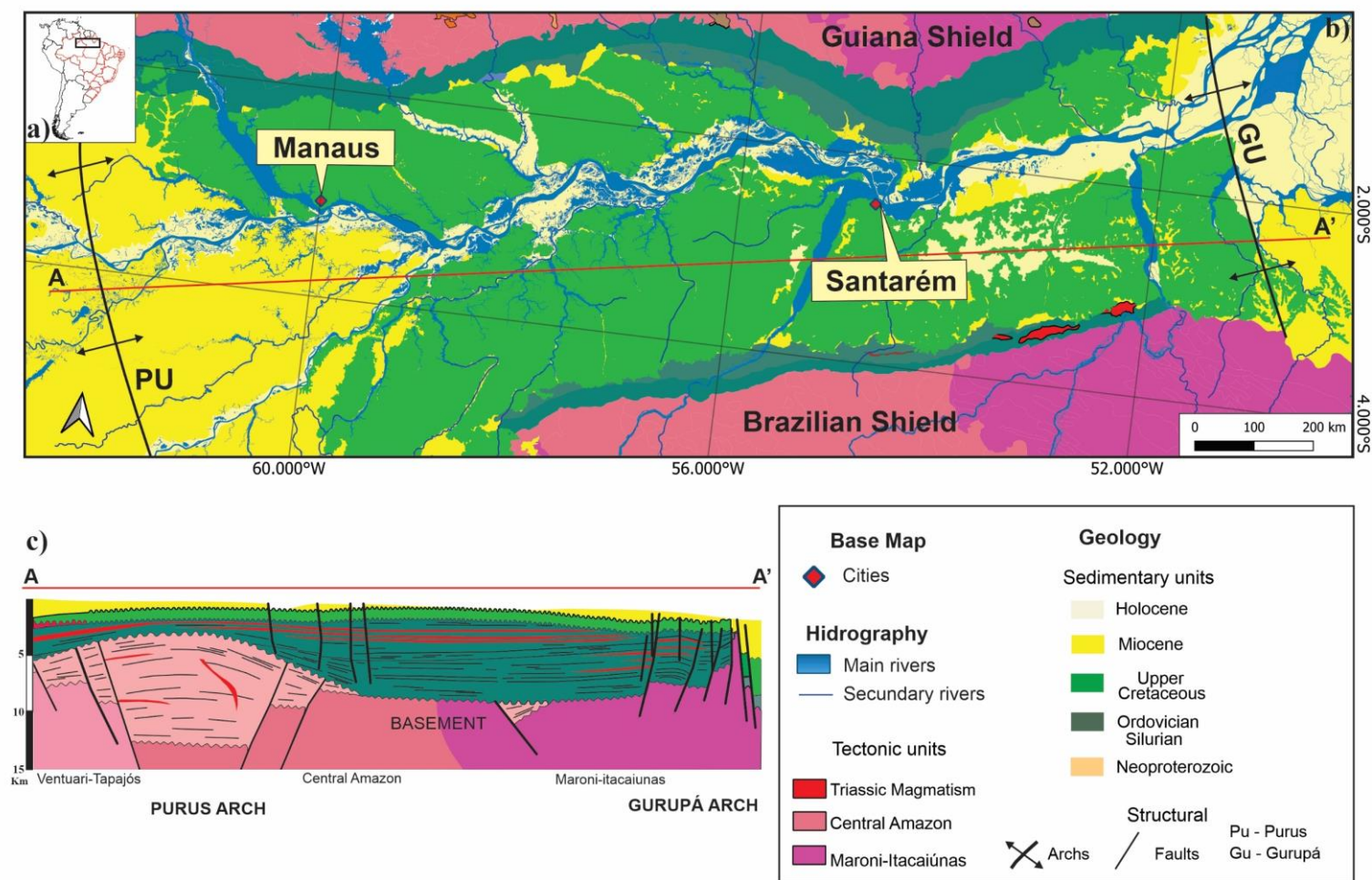


Figura 4.1: A) Localização da área de estudo no norte da América do Sul B) Localização simplificada da Bacia do Amazonas com destaque para seus limites estruturais, delimitada ao norte pelo Escudo das Guianas, ao sul pelo Escudo Brasil-Central, a oeste pelo Arco de Gurupá e a Leste pelo Arco de Purus. C) Seção geológica da Bacia do Amazonas, modificada de Wanderley filho & Travassos, 2005.

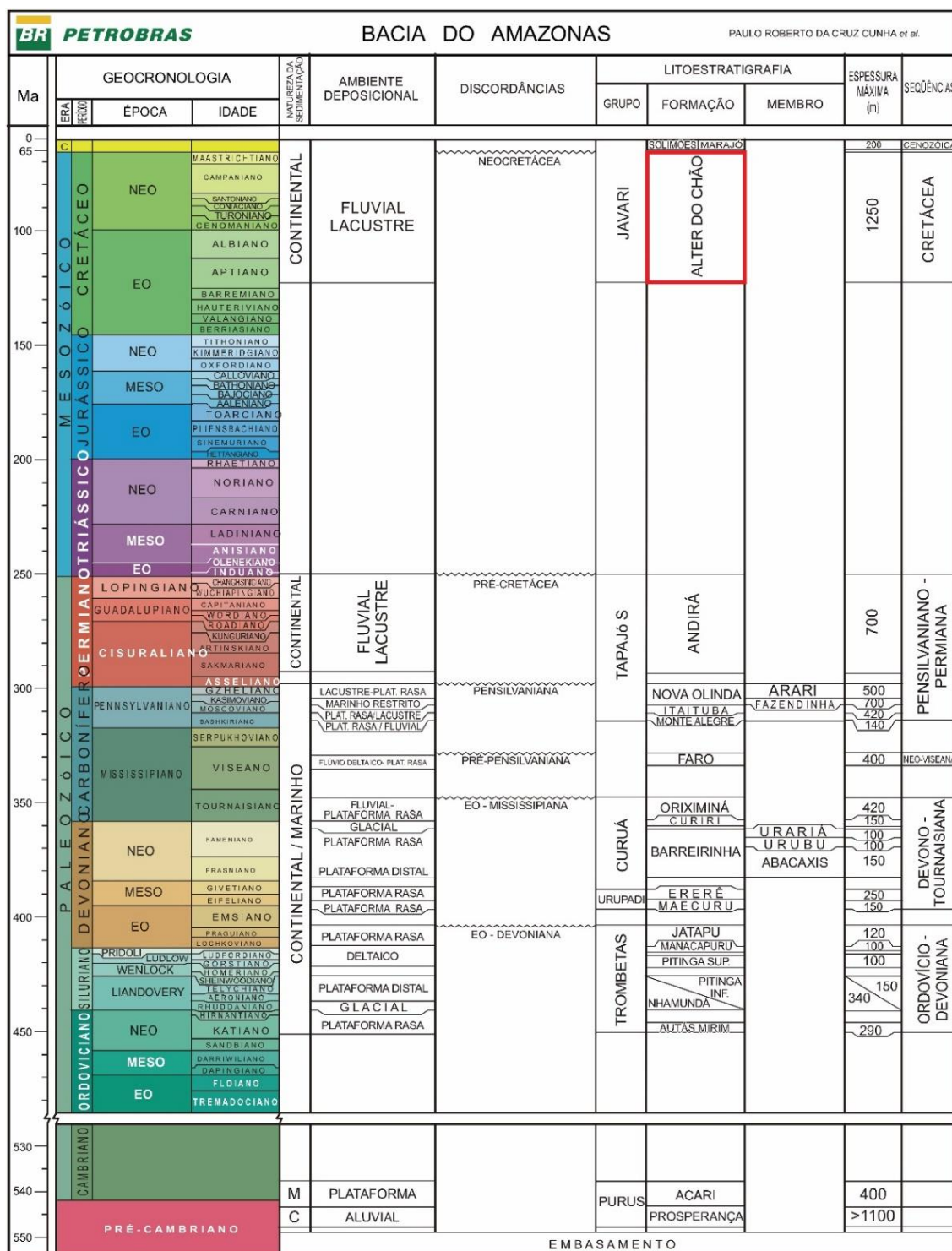


Figura 4.2: Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas com a sua compartimentação litoestratigráfica. Destaque para a unidade sedimentar alvo desta pesquisa (Modificado de Cunha et al., 2007).

Até a década passada, a ocorrência de depósitos cenozóicos na Bacia do Amazonas estava limitada à porção mais superficial da Formação Alter do Chão (Travassos & Barbosa Filho, 1990). Até então, a coluna estratigráfica construída pela Petrobras foi o principal referencial para os estudos estratigráficos na região, e a maioria dos depósitos neógenos permaneceu desconhecida. Roza et

al. (2004) deram início a essa discussão ao descobrirem uma unidade miocena, a Formação Novo Remanso, a qual será tratada mais detalhadamente posteriormente neste trabalho.

Ressalta-se que esse intervalo ainda carece de maiores discussões e dados com relação ao limite espacial dessas unidades. Entretanto, diversos estudos de cunho sedimentológicos já abordam que para a porção ocidental da Bacia do Amazonas, existem de fato, depósitos miocênicos associados a uma fase de instabilidade tectônica, promulgada pelo soerguimento andino/movimentação de placas do caribe (Costa et al., 1996, 2001; Rozo et al., 2012; Dino et al., 2012; Soares et al., 2015, 2016).

4.2 Litoestratigrafia da sequência Cretáceo-Neógeno na Bacia do Amazonas

Para a Bacia do Amazonas, a sequência Cretáceo-Neógeno, corresponde a Formação Alter do Chão e Formação Novo Remanso. Essas unidades são sobrepostas de maneira discordante ao embasamento cristalino, unidades paleozoicas, crostas lateríticas ferruginosas, e sotopostas por depósitos recentes de sedimentos inconsolidados (Figura 4.3).

PERÍODO	ÉPOCA	Idade (Ma)	UNIDADES	LITOESTRATIGRAFIA	PALEOAMBIENTE	PROVENIÊNCIA
Quaternário	Holoceno	0,01	Depósitos Quaternários	 Areias siltosas, moderadamente a bem selecionadas de coloração cinza S3	Não caracterizado	Área fonte Andina
	Pleistoceno	1				
Neógeno	Mioceno	5	Formação Novo Remanso Superior	 Arenito fino a médio (ferruginoso) e pelito e conglomerado. Marcas de raízes/lenhos fossilizados por óxidos/hidróxidos de ferro. S2	Fluvial meandrante de alta sinuosidade	Paleocorrentes para NE/ Área fonte-Andina
		23	Formação Novo Remanso Inferior	 Arenito médio a grosso, mal selecionado e friável. Marcas de Raízes/lenhos fossilizados por óxidos/hidróxidos de ferro. S1	Fluvial meandrante de alta sinuosidade	Paleocorrentes para E/ Área fonte-Rio Negro Jurueña
		33				
Paleógeno	Oligoceno	33				
	Eoceno	55				
Cretáceo	Superior	65	Formação Alter do Chão	 Arenito médio a grosso com contribuição de argilitos e conglomerados, Marcas de raízes silicificadas	Fluvial meandrante de baixa-alta sinuosidade/anastomosado	Paleocorrentes para SW/ Área fonte-Maroni-itacaiunas

Figura 4.3: Coluna litoestratigráfica da porção local da área de estudo. Os limites entre as formações Alter do Chão e Novo Remanso são marcadas parcialmente por crostas lateríticas, S1, S2 e S3 (Modificado de; Abinader, 2008; Mendes et al., 2012; Rozo et al., 2012; Soares et al., 2015, 2016).

• Formação Alter do Chão (~110-65 Ma, Aptiano - Maastrichtiano)

Os aspectos litológicos e relações estratigráficas da Formação Alter do Chão foram investigados na seção estratotipo no poço 1-AC-1-PA, localizado em Alter do Chão, no estado do Pará (Daemon, 1975). Essa unidade geológica é caracterizada por rochas siliciclásticas, compreendendo arenito médio a grosso avermelhado e silicificado (conhecido como Arenito Manaós), camadas

cauliníticas de coloração branco acinzentada, siltito e argilito avermelhados, bem como conglomerados e brechas intraformacionais.

A Formação Alter do Chão possui uma espessura máxima de até 1.250 metros e apresenta uma sobreposição discordante em relação à Formação Andirá, que data do Permiano Superior (Daemon, 1975). Essa sobreposição é seguida por uma erosão subsequente, e as formações Solimões, Novo Remanso e Marajó repousam erosivamente sobre a Formação Alter do Chão (Cunha et al., 2007).

As principais estruturas sedimentares observadas na Formação Alter do Chão são representadas por estratificação cruzada acanalada, tabular, laminação plano paralela e cruzada cavalgante. Dados de paleocorrentes sugerem um movimento predominante para o quadrante sudoeste, com tendências deposicionais orientadas principalmente para oeste (Mendes et al., 2012).

Com base em dados palinológicos, a idade da Formação Alter do Chão é atribuída ao Cretáceo Inferior-Aptiano (Daemon, 1975) até o Cretáceo Superior-Maastrichtiano (Daemon & Contreiras, 1971). Além disso, datações de zircões detríticos utilizando o método U-Pb, bem como interpretações de paleocorrentes, indicam idades correlatas ao embasamento da Província Geocronológica Maroni-Itacaiúnas (Mapes, 2006; Mendes, 2015; Santos, 2020).

Ao comparar a evolução deposicional das rochas da Formação Alter do Chão com registros de mesma idade na Amazônia Oriental, é notável uma mudança significativa nos aspectos paleogeográficos da Amazônia Ocidental. Acredita-se que a Formação Alter do Chão seja resultado de um sistema fluvial de mega escala transcontinental que atravessava a Bacia do Amazonas, migrando para sudoeste em direção ao Oceano Pacífico (Shephard et al., 2010; Sacek, 2014; Mendes, 2015; Santos, 2020).

Este sistema fluvial apresentava um padrão meandrante com uma carga de fundo mista que, em trechos a jusante, se transformava em um canal anastomosado, onde predominava a carga mista e de suspensão (Rozo et al., 2012; Mendes et al., 2012). A variação lateral geomorfológica desse sistema pode ser comparada com o atual rio Amazonas, pois o estreitamento dos vales

ocorria próximo às feições estruturais, enquanto entre essas feições, o vale se ampliava, associado a uma diminuição do gradiente energético com aumento de material em suspensão e uma taxa insignificante de migração lateral dos canais (Mendes et al., 2012; Mendes, 2015). As características flúvio-morfológicas da Formação Alter do Chão teriam alternado de montante a jusante, assemelhando-se à atual configuração do Rio Amazonas, mas com migração em direção ao Oceano Pacífico.

- Fomação Novo Remanso (~14.8 a 7.1 Ma, Burdigallano a Tortoniano)

A Formação Novo Remanso, designada informalmente por (Dino et al., 2012), tem sua seção estratotipo localizada no estado do Amazonas, no município de Itacoatiara, próximo à comunidade Novo Remanso (centro-oeste da Bacia do Amazonas). Os depósitos desta unidade geológica são delimitados no topo e na base por superfícies de erosão e/ou paleossolos lateríticos de 5ª ordem, que ocorrem sobre uma discordância relacionada ao intervalo do Paleógeno (Dino et al., 2012; Rozo et al., 2012; Soares et al., 2016).

A ocorrência da Formação Novo Remanso é identificada nos municípios de Manacapuru, Itacoatiara (principalmente ao longo dos taludes dos rios Solimões e Amazonas), Itapiranga e São Sebastião do Uatumã (em cortes de rodovias/estradas), de acordo com trabalhos restritos de natureza estratigráfica, faciológica e palinológica (Soares et al., 2015).

Uma das pesquisas mais destacadas, com ênfase na estratigrafia da Formação Novo Remanso, foi realizada por Dino et al. (2012). Em suas análises, indicam que essa unidade possui uma espessura máxima real em torno de 100 metros, subdividida em uma parte inferior e superior por três superfícies de descontinuidades (S1, S2 e S3), respectivamente relacionadas à base, meio e topo.

As rochas presentes nessas unidades são compostas por arenitos de granulometria variando de grossa a fina, com intercalações de argilitos e siltitos, além de conglomerados subordinados. Além disso, os afloramentos apresentam intemperização com colorações esbranquiçadas, avermelhadas ou amareladas, principalmente devido à presença de caulinitização e/ou ferruginização (Rozo et al., 2012; Soares et al., 2015).

As principais estruturas de origem hidrodinâmica são representadas por estratificações cruzadas incipientes, tabulares, acanaladas e fácies heterolíticas inclinadas, laminações plano-paralelas, além de acamamentos maciços (Dino et al., 2012; Soares et al., 2015). As medições de paleocorrentes em estratos cruzados indicam uma forte tendência para leste (Rozo, 2004; Abinader, 2008; Soares et al., 2015, 2016).

A partir das interpretações das associações de litofácies sedimentares, foram identificados elementos arquiteturais típicos de regimes fluviais na Formação Novo Remanso, como depósitos de canais, barras em pontal, canais abandonados, crevasse splay e planícies de inundação. Esses elementos sugerem a implantação de um sistema fluvial com padrão meandrante durante o Mioceno Inferior ao Mioceno Médio, com base em datações de palinomorfos (Dino et al., 2012; Guimarães et al., 2014; Soares et al., 2015; D'Apolito et al., 2019).

Quanto à proveniência e geocronologia, o estudo de Abinader (2008) analisou a assembleia de minerais da Formação Novo Remanso, que é composta principalmente por minerais opacos, zircão, turmalina e rutilo. Os dados de proveniência dos zircões detríticos, juntamente com as interpretações de paleocorrentes, apontam para depósitos relacionados à província geocronológica Rio Negro-Juruena na porção inferior e origem andina na porção superior da Formação Novo Remanso.

4.3 Dados de Proveniência

Os dados faciológicos referentes aos depósitos do período Mioceno na Bacia do Amazonas, dentro da área examinada, insinuam uma sobreposição de sistemas fluviais que migraram na direção leste. Estes sistemas se originaram em contextos paleogeográficos que substancialmente divergem da região onde a drenagem atual está situada. A evolução delineada neste tópico, esboça os eventos primordiais ocorridos desde o período Cretáceo até o Neógeno.

Durante o início da orogenia Andina, no intervalo do Meso ao Neocretáceo, a Bacia do Amazonas foi um cenário para a deposição de um sistema fluvial-deltaico-lacustre (denominado Formação Alter do Chão) que se deslocava na direção sudoeste em direção ao Oceano Pacífico. Essa direção oeste-sudoeste

é corroborada por análises de paleocorrentes obtidas de afloramentos da Formação Alter do Chão, nas margens do Rio Amazonas atual (Mendes et al., 2013, 2015; Soares et al., 2016, 2017; Santos, 2020). De acordo com Abinader (2008) essa unidade seria identificada como o "sanozama" real, termo alusivo ao nome proposto por Almeida (1981), que invertia a grafia de "Amazonas" para indicar a drenagem pré-miocênica em direção ao norte da América do Sul.

Para os autores (Abinader, 2008; Mendes et al., 2015; Caputo & Soares, 2016) durante o final do Cretáceo até o final do Paleógeno, a Bacia do Amazonas experimentou uma fase de elevação, acompanhada por variações climáticas e o desenvolvimento de paleossolos lateríticos extensos (superfície S1). Na transição do Eomioceno para o Mesomioceno, episódios neotectônicos desencadearam a exposição subaérea dos depósitos fluviais, possibilitando a formação da superfície estratigráfica S2. Em seguida, entre o final do Mesomioceno e o Neomioceno, tanto a Bacia do Amazonas quanto a Bacia do Solimões entraram em uma fase de subsidência, impulsionada pela interação dos movimentos neotectônicos, reflexos da deriva continental e da orogenia dos Andes (Costa et al., 1996; Abinader, 2008; Caputo & Soares, 2016).

Na Bacia do Amazonas, estabeleceu-se um sistema fluvial meandrante direcionado para leste-sudeste, caracterizando os depósitos da Formação Novo Remanso na região centro-oeste da bacia. A sedimentação desses depósitos foi influenciada pela atividade neotectônica, que persiste até os dias atuais. Ao final do Neomioceno, o soerguimento causado pela neotectônica expôs os depósitos da Formação Novo Remanso, favorecendo a lateritização e formação da superfície S3 ao término do Plioceno (Costa et al., 1996; Costa et al., 2001; Abinader, 2008).

No Pleistoceno, o preenchimento das bacias já havia coberto o Arco do Purus, e o sistema fluvial Solimões-Amazonas seguia a direção oeste-leste. Os sistemas fluviais miocenos originavam-se a partir da região do Arco do Purus, um divisor de drenagem, bem como de áreas elevadas do embasamento, particularmente da borda norte da Bacia do Amazonas, evidenciado pelas datas de proveniência de grãos detríticos de zircão. Idades predominantes de 1,9 e 1,4 Ma, sugerem fontes não-andinas, oriundas da Província geocronológica Ventuari-Tapajós (Abinader, 2008; Mapes, 2009; Mendes, 2015; Santos, 2020).

A paleogeografia da região adjacente ao Arco do Purus no Mioceno teria sido moldada por compartimentos de subsidência variada, separados por arcos estruturais que atuavam como barreiras geográficas. Esses compartimentos mais rebaixados e alagados na Bacia do Solimões contrastavam com áreas menos afundadas e de menor acomodação na Bacia do Amazonas. Essa dinâmica refletia o movimento colisional andino, que reativava lineamentos tectônicos antigos, criando um sistema forebulge/backbulge semelhante ao descrito na região do Arco de Iquitos (Roddaz et al., 2005b; DeCelles, 2011; Horton, 2018).

Resumidamente, o soerguimento andino gerou novos habitats aquáticos nas regiões elevadas, enquanto as diferentes subsidências nas bacias vizinhas ao Arco do Purus propiciaram o desenvolvimento de sistemas de drenagens meandranes, zonas de lagos extensos e a exposição de vastas áreas, sujeitas a variações climáticas que levaram à lateritização dos depósitos (Roddaz et al., 2005a, 2005b; Horbe et al., 2013; Hoorn et al., 2017; Horton, 2018). A orogenia andina também resultou na formação de barreiras geográficas sobre os arcos estruturais, controlando as incursões marinhas limitadas no noroeste da Amazônia e mudanças nos cursos dos rios (Caputo, 1988; Munis, 2009; Hoorn et al., 2010, 2017, 2022). Embora a grande maioria das pesquisas bem estabelecidas para as bacias amazônicas, atestam que o sistema de drenagem da Amazônia Central estava desconectado e migrando para leste, ainda são debatidas diversas hipóteses sobre a idade da transcontinentalização desse sistema. De acordo com Hoorn et al., (1995, 2010, 2017) e Figueiredo et al., (2009), esse sistema foi estabelecido durante a transição do Mioceno Médio a Superior, entre 7 a 10 Ma. Além disso, para Shepard et al., (2010), esse sistema apenas teria tido sua origem a partir dos 14 Ma. De forma análoga, os autores; Latrubesse et al., (2010) e Rossetti et al., (2015), atestam um sistema amazônico novo, com idades de 2.5 Ma.

Por fim, a mudança para uma drenagem transcontinental e o soerguimento atual dos Andes possivelmente representaram eventos cruciais para a combinação e diversificação das fontes sedimentares, ao longo do sistema Andes-Amazonas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES – (ARTIGO CIENTÍFICO)

Os resultados dos dados faciológicos e isotópicos das Formações Alter do Chão e Novo Remanso e suas implicações para as novas interpretações do contexto geodinâmico da Amazônia Oriental e Bacia do Amazonas, durante o intervalo Cretáceo e Mioceno Superior serão apresentados a seguir na forma de artigo científico a ser submetido para a revista “Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology”.

TECTONIC RECONFIGURATION IN CENTRAL AMAZON BASED ON U-Pb AND Sm-Nd DATA IN ROCKS FROM THE NOVO REMANSO AND ALTER DO CHÃO FORMATIONS.

ABSTRACT

The Upper Cretaceous to Middle Miocene interval in the Amazon Basin is fundamental for understanding the paleogeographic evolution of sedimentary deposits in eastern Amazonia. Despite consensus on the paleoenvironment of these continental deposits, an integrated depositional model that accounts for both tectonic and sedimentary processes remain lacking. Additionally, limited detrital zircon dating and the absence of Sm-Nd isotopic data hinder comprehensive interpretations. Existing studies are fragmented and do not provide a robust regional framework. To address these gaps, we present new lithofacies data, U-Pb ages of detrital zircons, and the first Sm-Nd analyses of fine sediments from the Amazon Basin. Our findings indicate that during the Upper Cretaceous, a transcontinental fluvial system flowed west-southwest, transitioning from anastomosing to meandering as it moved away from the Gurupá Arch. This system was primarily sourced from the Amazon Craton, particularly from its eastern provinces (Central Amazonia, Maroni-Itacaiunas, Ventuari-Tapajós, and Rio Negro-Juruena), as indicated by negative ϵ_{Nd} values and Paleo- to Mesoproterozoic zircon ages. In the Middle Miocene, the fluvial system reoriented eastward. The Novo Remanso Formation represents a meandering transcontinental river linked to the proto-Amazon River, transporting sediments with negative ϵ_{Nd} values and a detrital zircon age spectrum predominantly from Paleo-Mesoproterozoic cratonic sources, while potential Neoproterozoic and Paleozoic contributions remain less constrained. Evidence of intense reworking of Paleozoic units within the Amazon Basin suggests that

transgressive-regressive events influenced the regional equilibrium profile, driving fluvial incision near the Purus Arch. This phase of tectonic instability persisted into the Late Miocene, facilitating the erosion of the Purus Arch and the influx of proto-Andean sediments into the western Amazon Basin. This is supported by detrital zircon age peaks (470–1150 Ma) and ϵNd values reflecting a mix of Amazon Craton and Andean-derived sources. Paleocurrent data (E-NE directions) suggest a transcontinental fluvial system flowing toward the Atlantic, resembling the modern Amazon River.

KEY WORDS: *Amazon Basin, Upper Cretaceous, Middle Miocene, detrital zircons, Sm-Nd isotopes, paleogeography, fluvial systems.*

1 INTRODUCTION

A study on the sedimentary deposits covering a large part of the northeastern Amazonas state in the Amazon Basin has undergone significant refinements and changes in recent years (Hoorn et al., 2010; Nogueira et al., 2013; Horbe et al., 2014; Sacek, 2014; Bicudo et al., 2020). New sedimentological, structural, and paleontological data from the Novo Remanso and Alter do Chão formations have raised important questions, including the processes that contributed to the reorganization of the drainage network of the Amazon Basin during the Cretaceous and the transition to the Neogene (Shephard et al., 2010; Mendes et al., 2012; Sacek, 2014; Caputo & Soares, 2016), as well as their effects on the diversification and endemism of existing species in the Amazon (Wesselingh et al., 2011; Albert et al., 2018).

Recent investigations suggest that during the period between the Upper Cretaceous (Maastrichtian) and Paleogene, the drainage of the western portion of South America (SANOZAMA) flowed from east to west (Hurtado et al., 2018; Louterbach et al., 2018; Bicudo et al., 2020). The direction of the drainage network was reversed to west-east by the Andean tectonics (Campbell et al., 2006; Hoorn et al., 2017; Hurtado et al., 2018). So far, few studies have addressed the reversal of the Amazonian River drainage and its relationship with paleobathymetric and structural data. Although there are studies

based on palynological dating (Dino et al., 2012; Guimarães et al., 2012; Nogueira et al., 2013; D'Apolito et al., 2019), detrital zircon dating is limited, and there are no Sm-Nd data in whole rock in the Novo Remanso and Alter do Chão formations. Existing studies are isolated and do not present a robust integration at the regional scale (Mapes, 2006; Mendes, 2015).

In the evolutionary context of the Amazon Basin, continental sedimentation represented by the Alter do Chão Formation occurred after a period of aridity in response to the emergence of new source areas to the east, associated with the Juruá Diastrophism. On the other hand, the Novo Remanso Formation is the result of eustatic processes resulting from Andean uplift, which created new source areas to the west. Although there are studies on the stratigraphic and paleoenvironmental reconstruction of the Novo Remanso and Alter do Chão formations in the metropolitan region of Manaus and along the BR-174, few works focus on sediment provenance, based on geochemical and isotopic studies. The difficulty of access to the tropical forests that cover the sedimentary record of these units, combined with the lack of precise stratigraphic dating, represents additional challenges for research in this area.

Although there is a consensus on the paleoenvironment of these continental deposits, there is still no consistent depositional model that integrates tectonic and depositional events during the Cretaceous period and its transition to the Neogene. Given the significance of this period, both for academic research and for the exploration of hydrocarbons, it is essential to develop an evolutionary model that relates tectonic processes to changes in the drainage network of the Amazon Basin.

In this context, the present study compiles faciological and stratigraphic information from the Alter do Chão and Novo Remanso Formations, along with U-Pb geochronological data on detrital zircons and Sm-Nd composition in previously unreported fine sediments. These data were obtained from outcrops along BR-174 and exposures along the banks of the Amazon River (Figure 1). These new data will allow for assessing the Purus Arch's influence on Cretaceous sedimentation and its role as a

geographic barrier for Andean sources during the Miocene (Nogueira et al., 2013; Bicudo et al., 2020).

2 GEOLOGIC SETTING

2.1 Amazon Basin

The Amazonas Sedimentary Basin is located in the central region of the Amazonas Craton, delimited in its southern portion by the Brasil-Central Shield, to the north by the Guianas Shield, to the west by the Purus Arch (border with the Solimões Basin), and finally, to the east by the Gurupá Arch which establishes a limit with the Marajó Basin (Cunha et al., 2007). Classified as intracontinental, with an elongated geometry according to the SSW-NNE trend and an approximate area of 500,000 km², in addition to containing more than 5 km of volcano-sedimentary fill (Cunha et al., 2007). The origin of the basin is related to the dispersion of compressive and extensional efforts during the closure of the Brasiliano Cycle that served as a primary and aborted rift (Cunha et al., 2007; Roddaz et al., 2010).

The syncline phase began with regional thermal subsidence, linked to the end of this distensive event, which was filled by two 1st order mega-sequences: one with Paleozoic age and another with Mesozoic-Cenozoic age (Cunha et al., 2007). The Mesozoic-Cenozoic mega-sequence (target of the study) is composed of two sequences namely: the Cretaceous and Tertiary encompassed in the Javari Group, represented by the Alter do Chão Formation that establishes discordant boundaries sometimes underlain by bauxite and/or iron crusts, in addition to the Novo Remanso Formation. This research emphasizes the deposits of both units with data from the Amazon plain (metropolitan region of Manaus) and data from outcrops near the Amazon River channel (Figure 2).

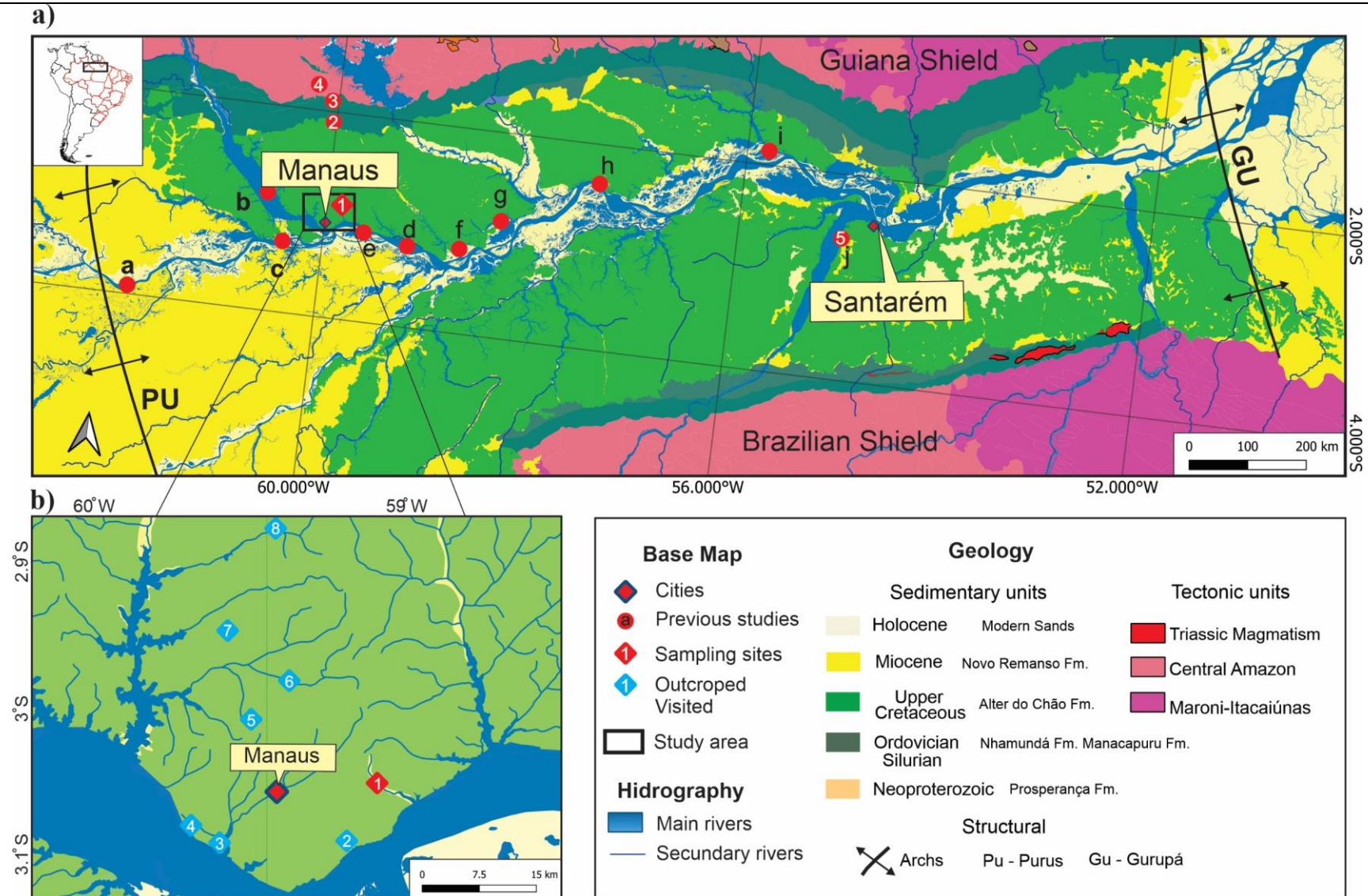


Figure 1: A) Location of the study area in northern South America, in the northern portion of Brazil and northeast of the Amazonas State (Eastern Amazon) with the main tectonic controls. Red circles demonstrate outcrops previously visited and with published data. (a.b.c.d Mapes et al., 2006; 5.e.f.g.h.i.j - Mendes et al., 2015; 3.4.- Loiola et al., 2013). B) Detailed region for the new outcrops visited along the city of Manaus/AM, blue diamond's represent visited exposures with supplementary lithofacies data collection, red diamonds represent collection points for U-Pb analyses in detrital zircons and Sm/Nd.

2.2 Cretaceous – Neogene stratigraphic framework of the Amazon Basin

For the Amazon Basin, the Cretaceous-Neogene interval corresponds to the Late Cretaceous epoch represented by the Alter do Chão Formation and the Middle Miocene represented by the Novo Remanso Formation. These units are unconformably covering the Paleozoic units, ferruginous lateritic crusts, underlain recent deposits of unconsolidated sediments (Figure 2).

The Upper Cretaceous Alter do Chão Formation has a maximum thickness of up to 1,250 meters and has been dated based on palynological data (Daemon, 1975). It is composed of siliciclastic rocks that include reddish medium to coarse sandstone, white-gray kaolinitic levels, reddish siltstone and claystone, as well as intraformational conglomerates and breccias. It is bounded at the base by Paleozoic rocks and at the top by lateritic paleosols (Caputo, 1984; Cunha et al., 2007; Mendes et al., 2012) (Figure 2). Paleohydrodynamic reconstructions indicate that its deposits are represented by conglomerate bars, sandy bedforms, point bars, marginal dykes, crevasse splays, suggesting the establishment of a fluvial system (Cunha et al., 2007; Mendes et al., 2012; Mendes, 2015).

The Middle Miocene Novo Remanso Formation has vertical successions that reach up to 10 meters and are representative of the fossiliferous framework constituted by continental palynomorphs (spores and pollen grains), as well as ferruginized fossilized wood representative of the families Annonaceae, Palmae, Podocarpus, Hedyosmum e Alsophila (D'Apolito et al., 2019). The deposits of this unit are delineated at the top and base by erosive surfaces and/or lateritic paleosols occurring over a Paleogene interval discordance with the Alter do Chão Formation (Dino et al., 2012a; Soares et al., 2016). The rocks in these units consist of coarse- to fine-grained sandstones, with intercalations of mudstones, siltstones, and subordinate conglomerates (Figure 2). The main hydrodynamic structures include incipient, tabular, grooved cross-bedding, inclined heterolithic facies, planar lamination, and massive bedding (Dino et al., 2012a; Soares et al., 2016). Measurements of paleoflows in the cross-stratified layers show a strong tendency towards the east (Abinader, 2008; Soares et al., 2016, 2015).

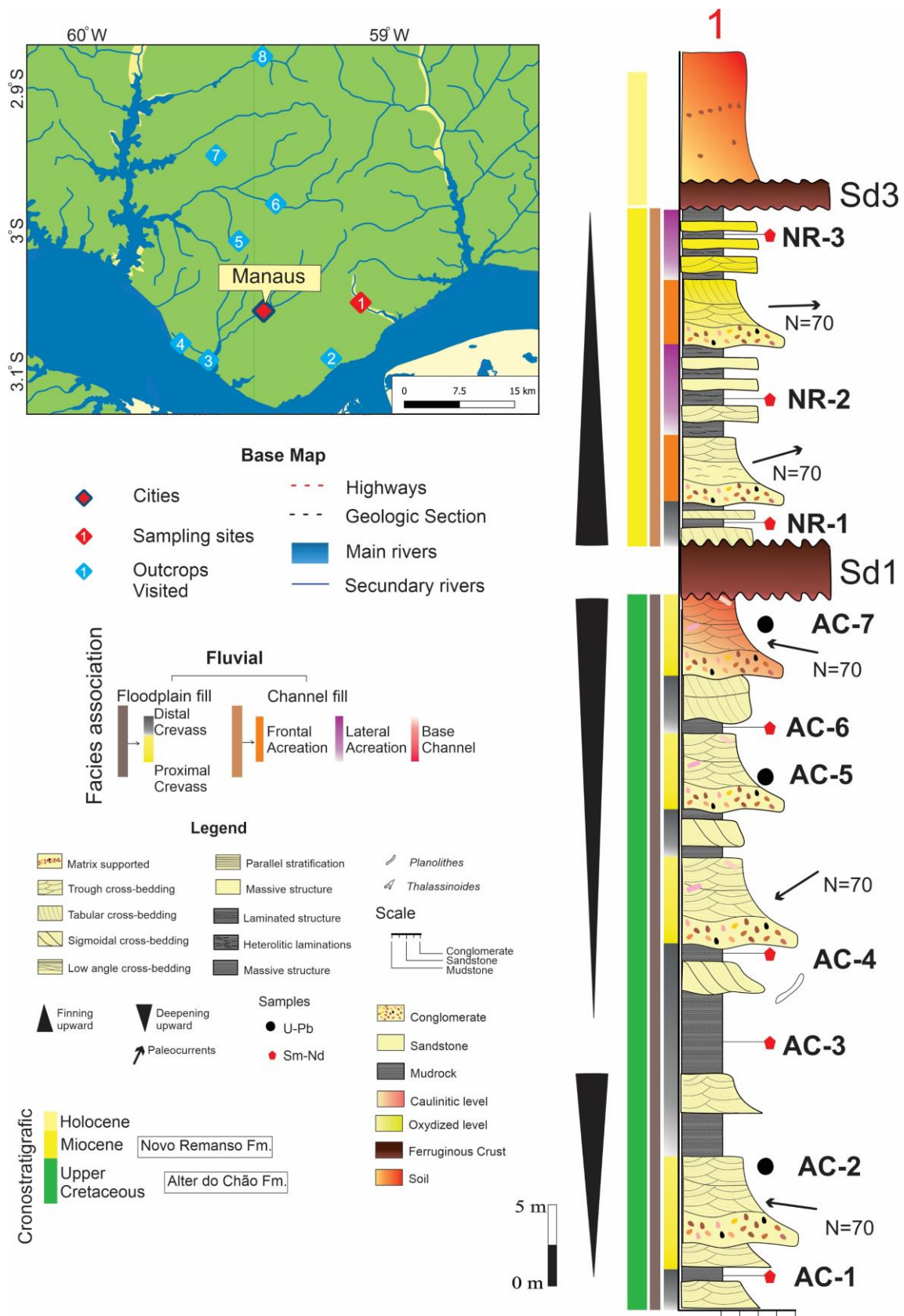


Figure 2: Geological section for the Cretaceous–Neogene interval in the outcropped visited in Metropolitan Region of Manaus, including sampling intervals for U-Pb and Sm-Nd analyses.

2.3 Tectonic and Geodynamic setting (the Gurupá and Purus arcs)

The Gurupá and Purus structural arches are the two main East-West limiters of the Amazon Basin. These structural features are originated through compressive or extensional tectonic processes that would have played fundamental roles in the sedimentation phases of the Amazon Basin.

The Gurupá tectonism was the most expressive event for the Amazon Basin during the Cretaceous period. As a result of the propagation of tectonic efforts in the Amazonian basin regions, which culminated in the physiographic separation of the Marajó and Amazonas basins through the uplift of Paleozoic rock units and Amazon Craton provinces (Soares-Jr et al., 2011). According to (Zalán, 2004), the upper portion of the Gurupá Arch would have remained exposed until the end of the Middle Miocene and acted as a connective barrier between the Marajó and Amazonas Basin (Caputo, 1984; Caputo and Soares, 2016).

For the Purus Arch, also known as the inverted graben of Purus, its origin is associated with extensional efforts with NW-SE directions during the late Paleoproterozoic. Based on outcrop and borehole investigations (Caputo, 1984; Barbosa and Nogueira, 2011; Caputo and Soares, 2016; Kern et al., 2020), it indicates that this uplift is composed of volcanic-sedimentary basement rocks (Prosperança Formation) in addition to Paleozoic sedimentary units. However, according to several paleoenvironmental reconstruction studies, it suggests that the Purus Arch would have undergone several cycles of uplift and erosion by isostatic compensation. The last uplift being the most important for the region during the Middle Miocene, which according to several studies (Figueiredo et al., 2009; Guimarães et al., 2012; Nogueira et al., 2013; Roddaz et al., 2010; Hoorn et al., 2022) suggest that this region would have been uplifted until the end of the Middle Miocene and served as an orographic barrier for Andean-sourced sediments.

3 MATERIALS AND METHODS

The present research addresses techniques for modeling sedimentary lithofacies and paleocurrent data, as well as isotopic analyses of detrital zircons and Sm/Nd on

whole rocks. The aim is to answer the main questions and gaps in the sedimentary record of the Cretaceous-Neogene sequences of the Amazon Basin, as well as to establish updates for the paleogeographic model of the central Amazon region.

3.1 Materials

For sampling, three samples were collected for U-Pb analysis of detrital zircon and seven for Sm-Nd isotopes. These samples represent a single condensed section, interpreted from stratigraphic section, exposed in the metropolitan region of Manaus (Figure 2). In this sense, the sample data from these previous works focused on U-Pb analysis of detrital zircon is again used to strengthen and assist in new interpretations of the potential contribution of source areas that supplied the Upper Cretaceous and Middle Miocene siliciclastic deposits of the Amazon Basin.

3.2 Cretaceous

The outcrops visited in the Mesozoic deposits of the central portion of the study area are referred to as belonging to the Alter do Chão Formation (Figure 2). These deposits consist of tabular and lenticular bodies of conglomerates, sandstones, and mudstones, inserted in ascending granodecreasing cycles, kaolinitized, and interpreted in anastomosed fluvial environments with deposition ages in the Upper Cretaceous (Daemon, 1975). Seven samples were collected, with three in sandstones destined for U-Pb analysis of detrital zircons (Samples AC-2/AC-05/AC-07), and four samples of fine sediments for Sm-Nd in whole rock (Samples AC-1/AC-3/AC-4/AC-6).

3.3 Middle - Miocene

The outcrops visited and integrated with previous data for the Cenozoic deposits in the study area are referred to as the Novo Remanso Formation. These deposits are made up of tabular and lenticular bodies of conglomerates, sandstones, and mudstones in ascending grain-size cycles and thickening upward, ferruginous, and interpreted in meandering fluvial environments, with deposition ages during the Middle to Upper Miocene (Dino et al., 2012; D'Apolito et al., 2019). Three mudstone samples were collected for Sm-Nd whole-rock analysis (Samples NR-1/NR-2/NR-3).

3.4 Compiled and Complementary Data

For further regional interpretations of the Amazon Basin, in addition to the 10 collected samples, data from previously studied sedimentary sections, as well as U-Pb analyses of detrital zircons and paleocurrents from the following works (Mapes et al., 2006; Loiola et al., 2013; Mendes, 2015; Kern et al., 2020; Moizinho et al., 2022) were also used. The compilation of these data resulted in 16 complementary samples which, when integrated with the new analyses, allowed for the updating of the provenance model of the Amazon Basin. In this sense, data were collected from Neoproterozoic units (Prosperança Formation), Paleozoic (Nhamundá and Pitinga Formations), Upper Cretaceous (Alter do Chão Formation), Middle Miocene (Solimões Formation of the Solimões Basin, Novo Remanso Formation, Barreiras Formation of the Marajó Basin), and finally, samples from Holocene sediments of recent fluvial deposits.

3.5 Lithofacies Association and Paleocurrents Directions

In this research, the sedimentary lithofacies modeling technique was used, which takes into account characteristics such as geometry, contact relationship, texture, lithology, and sedimentary structures for the individualization of sedimentary bodies (Walker, 1992). The individualization and description of lithofacies aimed to interpret the sedimentary process, while the grouping of lithofacies into architectural elements allowed the identification of sedimentary environments and depositional systems involved (Holz, 2012).

3.6 Whole Rock Sm/Nd Isotopes

The seven fine sediment samples were dried in a 60°C oven for approximately 24 hours and then ground using agate mills. The sample digestion and Sm-Nd isotope extraction followed the guidelines proposed by Gioia and Pimentel (2000). The isotopic ratios of both elements were measured using a thermo-scientific TRITON Plus thermal ionization mass spectrometer. Isotopic normalization was performed at the same time as the Nd measurement on the spectrometer, using natural ratios of $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$. The precision of the measurements was calculated from the repeated analysis of the

BHVO-2 standard, resulting in a value of $^{147}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ of 0.512996 ± 0.000006 (2DP, $n = 50$), in agreement with the recommended value of 0.512986 ± 0.00001 (2SD, $n = 10$) (Weis et al., 2005). Finally, the measured $^{143}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios are expressed in terms of $f\text{Sm}/\text{Nd}$ (DePaolo and Wasserburg, 1976) and Epsilon notation (DePaolo, 1988), reflecting the deviation from the fractionation of the Chondritic Uniform Reservoir (CHUR).

3.7 Detrital Zircon Geochronological Analysis

The concentration of detrital zircons was obtained through the process of sieving and separation with bromoform acid dense liquid. Zircon grains were randomly chosen and mounted in epoxy resin, with approximately 200 grains per mount, for subsequent polishing. The internal structures of the grains were investigated by backscattered electron (BSE) imaging using the FEI Quanta 450 Scanning Electron Microscope at the University of Brasília (UNB).

U-Pb analyses on detrital zircon were carried out using a Thermo Finnigan Neptune MC-ICP-MS coupled to a Nd-YAG laser ablation system ($\lambda = 213$ nm) (UP-213, New Wave Research) at UNB, with input settings according to (Bühn et al., 2009). The laser spot diameter was 25 μm , frequency of 10 Hz, and fluence of $\sim 3.0\text{--}3.5$ J/cm². GJ1 zircon (Jackson et al., 2004) was used as the primary reference material and 91.500 zircon (Wiedebeck et al., 1995) as the secondary/validation. The Bracketing (SSB) method was employed for instrumental drift corrections during the analyses, with two GJ1 and 91.500 analyses inserted at the beginning and end of each run. Data processing and correction for laser-induced fractionation (LIEF) were performed using IOLITE v4.0 software (Paton et al., 2011) and VisualAge (Petrus and Kamber, 2012), using exponential linear modeling.

Approximately 120 zircon grains from each sample were analyzed for U-Pb dating, with ages established based on the geochronometers $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ for grains with ages ≤ 1.5 Ga and $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ for grains with ages > 1.5 Ga. Grains with discordance $> 10\%$ were not considered due to low statistical representativeness (Vermeesch, 2004). The

visualization and comparison of detrital zircon age data were made using kernel density estimation (KDE) diagrams (Vermeesch, 2012).

To analyze the difference in U-Pb age distributions of detrital zircons, the multidimensional scaling (MDS) metric was used (Vermeesch, 2013), which consists of a superset of principal component analysis in a sample field, producing a "map" of points that shows geographic similarity between similar samples and dissimilarity between different samples. The data were subjected to the Kolmogorov-Smirnov stress test to produce an MDS map comparing the analyzed samples, according to Vermeesch (2018).

4 RESULTS

4.1 Lithofacies associations and Paleocurrents for Upper Cretaceous – Middle Miocene deposits.

4.1.1 Facies Association and Arquitetural Elements

The analysis of sedimentary lithofacies resulted in the identification of 12 lithofacies, namely: massive paraconglomerate (Gmm), massive orthoconglomerate (Gm), massive sandstone (Sm), planar cross-stratified sandstone (Sh), trough cross-stratified sandstone (St), tabular cross-stratified sandstone (Stb), low-angle cross-stratified sandstone (Sl), sigmoidal cross-stratified sandstone (Ss), massive mudstone (Fm), laminated mudstone (Fl), bioturbated mudstone (Pr), and mudstone with heterolithic bedding (Ph) (Figure 2, Table 1).

The analysis of the 12 sedimentary lithofacies from the Alter do Chão and Novo Remanso Formations, investigated in outcrops near Manaus and near Santarém, combined with geometric aspects and hierarchy of stratigraphic surfaces, allowed the grouping into seven facies associations (Channel-CH, Conglomerate Bar-GB, Sand Sheets-SB, Frontal Accretion Macroforms-DA and Lateral Accretion Macroforms-LA, Crevasse Splay-CS, Crevasse Channel-CR, Floodplain-FF) integrated and indicative of fluvial systems. Thus, the lithofacies associations allowed the classification of two main fluvial sub-environments, formed internally and externally to the fluvial channels, respectively (Figure 2, Table 2).

4.1.2 Paleocurrents directions

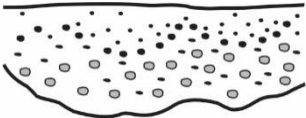
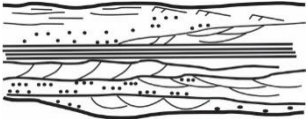
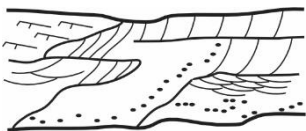
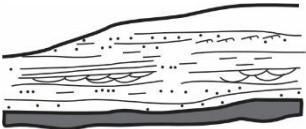
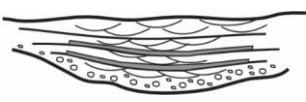
The paleoflow directions measurements of the Alter do Chão and Novo Remanso Formations were interpreted in outcrops in the metropolitan region of Manaus and along the banks of the Amazon River (Figure 3) from trough cross-stratified forsets of the depositional sub-environments formed internally (Channel-CH, Conglomerate Bar-GB, Sand Sheets-SB, Frontal Accretion Macroforms-DA and Lateral Accretion Macroforms-LA) and externally (Crevasse Splay-CS, Crevasse Channel-CR, Floodplain-FF) to the fluvial channels.

Table 1: Summary of the main sedimentary lithofacies characteristics identified for the Alter do Chão and Novo Remanso formations in the metropolitan region of Manaus and along the Amazon River.

Facies	Description	Interpretation
Gmm- Massive paraconglomerate	Oligomitic paraconglomerate with quartz or claystone clasts from pebbles to blocks and immersed in a coarse sand matrix. It presents lenticular geometry and massive structure or sometimes incipient planar layering.	Flow of low viscosity debris in the inner parts of the channel in the form of conglomeratic bars.
Gm -Massive ortoconglomerate	Oligomitic ortoconglomerate with quartz clasts from pebbles to blocks supported. It presents lenticular geometry and massive structure.	Flow of low viscosity debris in the inner parts of the channel in the form of conglomeratic bars.
Sm - Massive sandstone	Fine to coarse sandstone, with moderately selected subrounded to subangular grains. It has lenticular to tabular geometry.	Absence of granulometric contrast, total fluidification/liquefaction of sediments, weathering, rapid deposition and/or collapse of lateral sandy banks.
Sh - Horizontal lamination sandstone	Fine to medium sandstone with sub-angular to sub-rounded and moderately selected grains. Parallel plane layering in sets up to 0.10 m thick. Lenticular to tabular geometry.	Migration of planar subaqueous bedforms under unidirectional and upper flow regime conditions.
St - Trough cross-beds sandstone	Fine to coarse sandstone, which can be gravel, with sub-angular to sub-rounded grains and moderately selected. Cross bedding in sets with a thickness of 0.06 to 0.30 m in main pipes and 0.06 to 0.18 m in secondary pipes. Fluidification structures occur. Lenticular to tabular geometry.	Migration of 3D to 2D subaqueous dunes to SW and NW, under unidirectional flow regime, in addition to post-depositional deformations by partial fluidization processes of sediments.
Stb – Tabular cross-beds sandstone	Fine to coarse sandstone, with sub-angular to sub-rounded grains and very selected. Tabular cross bedding in sets with a thickness of 0.04 to 0.10 m in main pipes and 0.06 to 0.18 m in secondary pipes. Lenticular to tabular geometry.	Straight crest bar migration by unidirectional flow in bottom of flow regime
Sl – Low angle cross-beds sandstone	Fine to coarse sandstone, which can be gravel, with sub-angular to sub-rounded grains and moderately selected. Cross bedding in sets with a thickness of 0.03 to 0.15 m. Lenticular geometry	Migration of dunes in a low difference of sub-aquatic flow.
Ss - Sigmodal stratification sandstone	Fine to medium sandstone with sub-angular to sub-rounded grains. Sigmoidal cross bedding in sets up to 0.45 m thick. Coarse sand segregations in foretsets. Lenticular geometry.	3D subaqueous dunes migration to SW, with sigmoidal geometric elements under unidirectional flow regime.
Fm - Massive mudstone	Massive. Large columnar and slickenside peds top of lithofacies. Lenticular to tabular geometry.	Deposition by settling of fine sediments without traction. Pedogenesis and post-depositional brittle deformation.
Fl - Laminated Mudstone	Parallel plane laminations, subcritical cavalry cross. Lenticular to tabular geometry.	Deposition by settling of fine sediments, migration of wavy marks with contribution of suspended material.
Fr - Bioturbated Mudstone	Bioturbated on massive structure, with a low specialization.	Sub-aerial exposure with action of pedogenetic processes related to reworking by organisms (worms?) and vegetation.
Fh – heterolitic bar mudstone	Intercalation of massive lenticular sands from 0.1 to 0.15 m with tabular with clay layers from 0.2 to 0.3 m. With variation on deep 13° to 15°.	Deposition of fine sediments in the form of bars in areas of high sinuosity

For the sections of the Alter do Chão Formation related to the elements formed internally to the main channels, 70 direction measurements were made, indicating paleoflows to the southwest. They show a modal directional dominance between 193° to 265° and a mean vector of 240° . Additionally, for the deposits formed externally to the main channels, vector data were read in 70 measurements with predominance towards the northwest direction. In this sense, the largest sample set is associated with the modal variation between 290° to 345° and a mean vector of 343° (Figure 3b).

Table 2: Summary of the seven architectural elements identified for the deposits of the Alter do Chão and Novo Remanso Formations, interpreted in deposits originated internally and externally to the main channels. (Modified from Ghazi and Mountney, 2009).

Element	Geometry	Description	Facies Assoc.	Interp.
Channel-CH		Bodies with lenticular to tabular geometry, 1-9 m thick, and erosive basal surface, upper surfaces are gradational. Low-angle accretionary bounding surfaces produced by lateral migration.	Gmm St Stb	Filling of major or minor channels.
Gravel Bar-GB		Body with lenticular geometry with thicknesses of up to 1.5 m. They discontinuously highlight sub-horizontal erosion surfaces of the 5th and 4th hierarchical order when associated with the base of canalizations. Filled by sandy and conglomeratic facies.	Gmm	Conglomeratic bars formed by erosive debris flow at the base of channels.
Sandy Bedform-SB		Bodies with lenticular to tabular geometry, thickness from 3 to 5 m. The basal portion is wavy which towards the top is flat. Filled by only sandy facies.	Sh St Stb SI	Deposition an accumulation via migratory dune scale bedforms in either mid channel bars or on the flank of point bars.
Down-Stream & Lateral Accretion-DA/LA		Downstream accretion bodies present lenticular geometry, 4 to 6 m thick, erosive or slightly planar basal limit with filling upward. The lateral accretion bodies, have tabular geometry inclined to sigmoidal, thickness of up to 3 m; erosive basal limit and internally, nested sets and forsets. Filled by sandy, conglomeratic and pelitic facies.	Gmm St Stb Ss Sm	Lateral accretion is deposited by bed forms in the form of point bars, downstream migrations are by sinus crest dunes inserted in the mid-channel.
Crevass Splay-CS		Bodies with lobed lenticular geometry; 2 to 7 m thick, they present ascending thickening filled by sandy and pelitic facies.	St SI Sh Fm Fr Fh	Progradation by lobes over flood plains.
Channel Crevass-CR		Bodies with lobed to tabular lenticular geometry; 1 to 3 m thick; erosive basal surface and that tend to horizontality to the top in smaller thickness, filling upward. Filled by sandy, conglomerate and pelitic facies.	Gm St SI FI Fm Fh Fr	Dechanneling of the main channel towards the adjacent floodplain.
Floodplain-FF		Bodies with tabular geometry, up to 3 meters thick, internally tend to be horizontal. Mudcracks and ferruginous concretions are common. Filled by pelitic facies sometimes sandy.	Fm FI Fr	Flood plain deposits with intercalated palaeosol units. Originated by decantation of fine sediments.

The sedimentary paleoflow directions of the Alter do Chão and Novo Remanso Formations were analyzed based on cross-stratified sets from depositional subenvironments formed internally and externally to fluvial channels. For the sections related to elements formed internally to the main channels of the Alter do Chão Formation, 70 measurements were taken, indicating paleoflow towards the southwest, with a modal sector between 193° to 265° and a mean vector of 240° . For the deposits formed externally to the main channels, 70 vectorial data were read, showing predominance towards the northwest, with the highest sample field associated with a modal variation between 290° to 345° and a mean vector of 343° (Figure 3b).

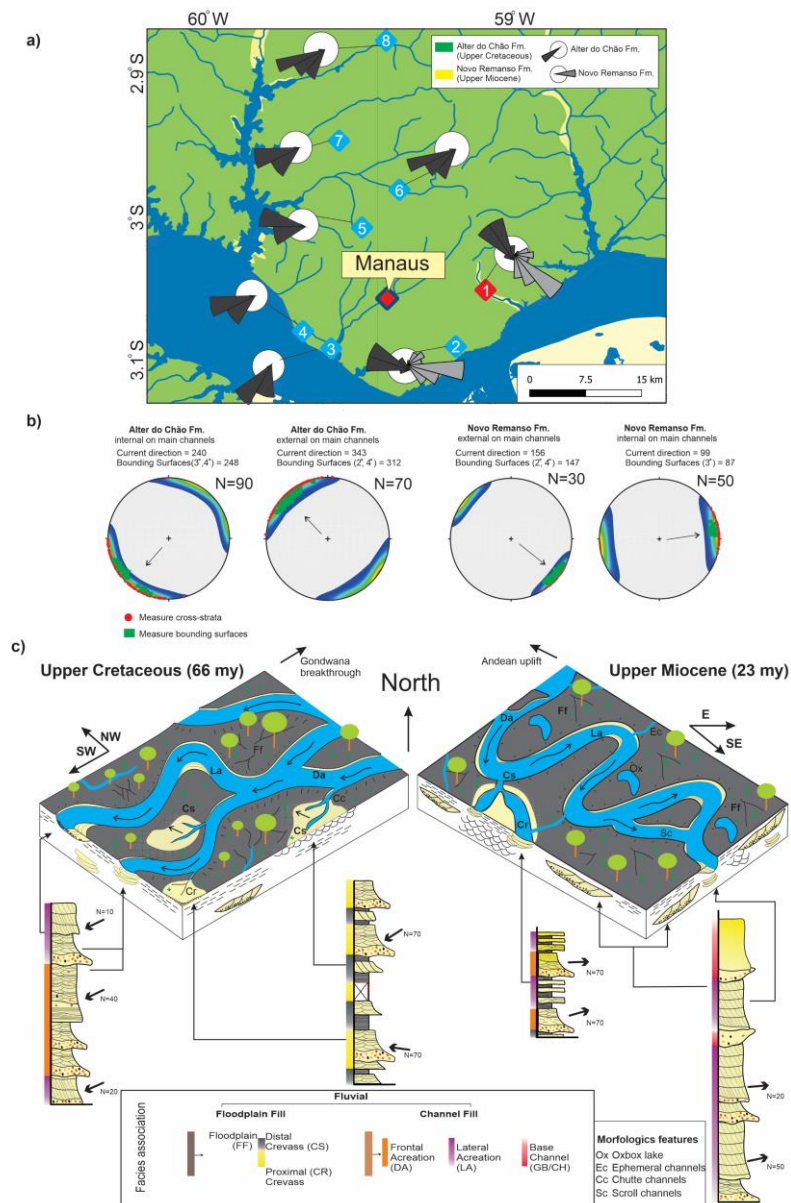


Figure 3: Interpretation of the main paleocurrent directions of the Alter do Chão and Novo Remanso Formations. A) Location of paleocurrent data in relation to the Amazon Basin. B) Equal-area, Schmidt-Lambert diagram with paleocurrent data and measured hierarchical surface data. C) Depositional model reconstruction with lithofacies associations for the studied units.

Regarding the sections of the Novo Remanso Formation, 50 measurements were taken for the deposits formed internally to the main channels, showing paleocurrents towards the east and southeast. The highest predominance of measurements was related to a variation between 64° to 130°, with a mean vector of 99°. For the deposits formed externally to the main channels, 30 measurements were taken, indicating predominantly southeast currents, with an additional modal variation between 113° to 158° and a mean vector of 156° (Figure 3c).

4.2 Sm-Nd isotopes

The analyzed ϵNd (0) values range from -13.8 to -20.9 (Table 3). The samples analyzed for the Cretaceous of the Amazon Basin showed the highest negative values for ϵNd (0) of -20.94 to -18.84. Similarly, for the Middle Miocene samples, they indicated slightly less negative ϵNd (0) ratios and values ranging from -19.9 to -13.7 (Table 3).

Table 3: Results of Sm-Nd isotopes for the analyzed samples.

Sample	Age	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 1\sigma$	fSm/Nd	ϵNd (0)	$\pm 1\sigma$
Nr-3	Middle Miocene	0.927	4.986	0.1124	0.511932	2.00E-06	-0.429	-13.76	0.04
Nr-2	Middle Miocene	0.457	3.932	0.0703	0.511671	2.00E-06	-0.643	-18.86	0.04
Nr-1	Middle Miocene	0.508	4.316	0.0712	0.511616	2.00E-06	-0.638	-19.94	0.04
AC-1	Cretaceous	3.555	22.531	0.0954	0.511564	4.00E-06	-0.515	-20.94	0.1
AC-3	Cretaceous	1.044	9.405	0.0671	0.511672	2.00E-06	-0.659	-18.84	0.03
AC-4	Cretaceous	0.527	3.088	0.1031	0.511672	5.00E-06	-0.476	-18.84	0.1
AC-6	Cretaceous	0.978	8.103	0.073	0.511644	2.00E-06	-0.629	-19.4	0.04

$\epsilon\text{Nd}(t) = [(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{sample}}(t)) / (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}}(t)) - 1] \times 10^4$, where t indicates the time at which ϵNd was calculated. No time correction was applied ($t = 0$) and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}}(0) = 0.512638$ (Jacobsen and Wasserburg, 1980). fSm/Nd represents the deviation of $^{143}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ from CHUR. fSm/Nd = $(^{143}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}_{\text{sample, today}} / ^{143}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR, today}}) - 1$.

4.3 U-Pb detrital zircons

A total of 321 U-Pb ages were obtained from the analyzed samples within the 10% discordance range. The age distribution data were plotted in Figure 4 based on the cumulative distribution function of U-Pb ages. For further evaluation, the data are grouped and tabulated in the supplementary materials, along with BSE images of the analyzed zircon grains.

321 zircon grain analyses were performed from the Alter do Chão Formation (Samples AC-2/AC-5/AC-7), ranging from angular to well-rounded shapes with sizes of

120 μm . The grains exhibit oscillatory and homogeneous zoning. Out of the 360 zircon grains analyzed, only 265 were randomly selected for interpretation. The age distribution of these samples is unimodal with a high concentration in the range of 1875 Ma. Sample AC-07 still shows slightly prominent and secondary peaks in the range of 1500-1580 Ma.

The detrital zircon results obtained are presented in the Kernel Density Estimation (KDE) and sectorial distribution plots were generated for each analyzed sample considering the possible sources, which shows the direct correlation with the lithofacies sedimentary data and the evolution of the (ϵNd) throughout the chronostratigraphic evolution of the studied interval (Figure 4).

5 DISCUSSION

5.1 Potential Source Areas

For a more robust and comprehensive interpretation, the detrital zircon data from the present study were integrated into a single dataset composed of the research from (Mapes et al., 2006; Loiola et al., 2013; Mendes, 2015; Kern et al., 2020; Moizinho et al., 202, Figure 5). The possible main source areas for the Upper Cretaceous and Middle Miocene sediments in the Amazon Basin are the Amazon Craton and the Eastern Andean Cordillera and/or Paleozoic sedimentary rocks from the Amazon Basin. Generally, U-Pb ages of detrital zircons have shown a primary contribution from Paleoproterozoic and Mesoproterozoic sources and, subordinately, Neoarchean, Neoproterozoic and Paleozoic ages (Figure 6).

According to the geological context of the area, sources with Paleoproterozoic ages are derived from the Amazon Craton, which usually reflects rock associations related to the Trans-Amazonian orogeny (Santos et al., 2000; Cordani et al., 2016). The Paleoproterozoic and Mesoproterozoic age patterns obtained are related to the Maroni-Itacaiunas (2200–1950 Ma), Ventuari-Tapajós (1950–1800 Ma), Rio Negro-Juruena (1500-1800 Ma), Rondoní-San Ignácio (1500-1300), and Sunsás (1250-1000 Ma) provinces. In addition, although less common, the presence of Neoarchean detrital zircons is associated with the Central Amazon Province (>2300 Ma), since older

associations are found in the Carajás region and rocks of the Colméia Complex (>2858 Ma) (Teixeira et al., 1989; Tassinari and Macambira, 1999, Moura et al., 2001).

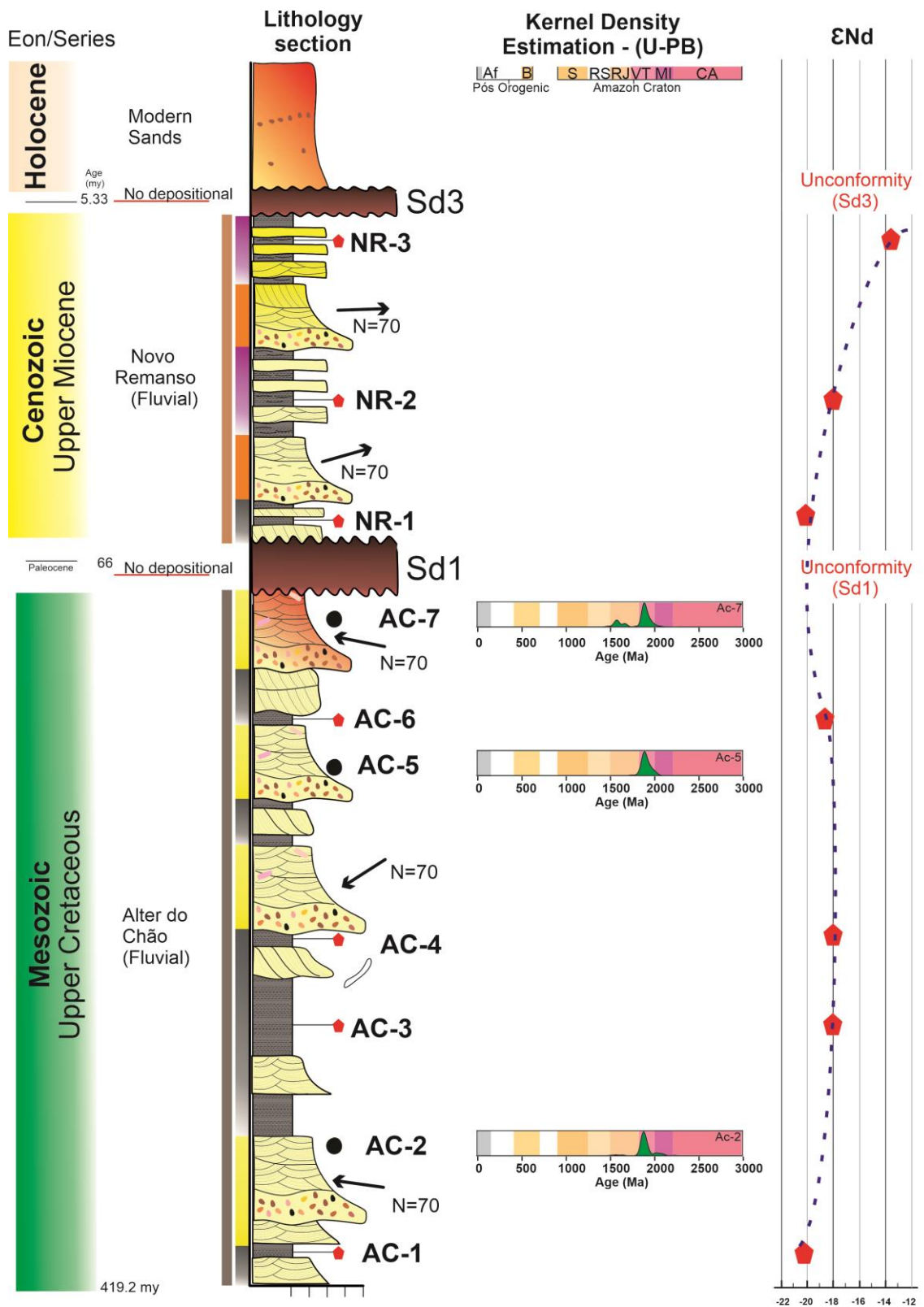


Figure 4: Interpreted geological section for the Cretaceous–Neogene interval in the Metropolitan Region of Manaus, including sampling intervals correlated with Kernel Density Estimation (KDE) diagrams and the variation of epsilon neodymium (ϵNd) in vertical succession.

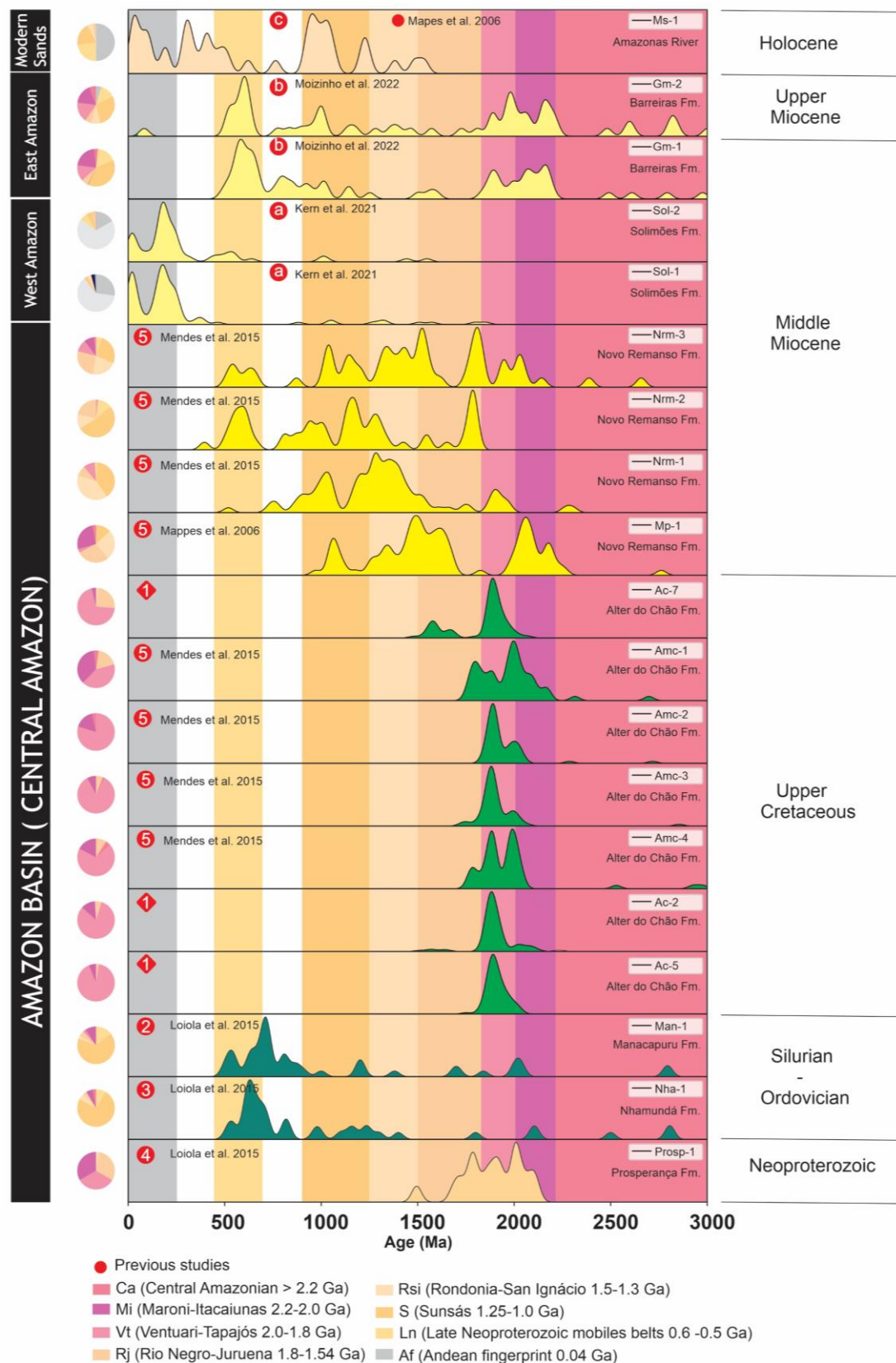


Figure 5: Kernel Density Estimation (KDE) and sectorial distribution plots were generated for each analyzed sample considering the possible sources: 1 - Mapes et al., 2006; 2 - Loiola et al., 2013; 3- Mendes et al., 2015; 4 - Kern et al., 2021; 5 - Moizinho et al., 2022.

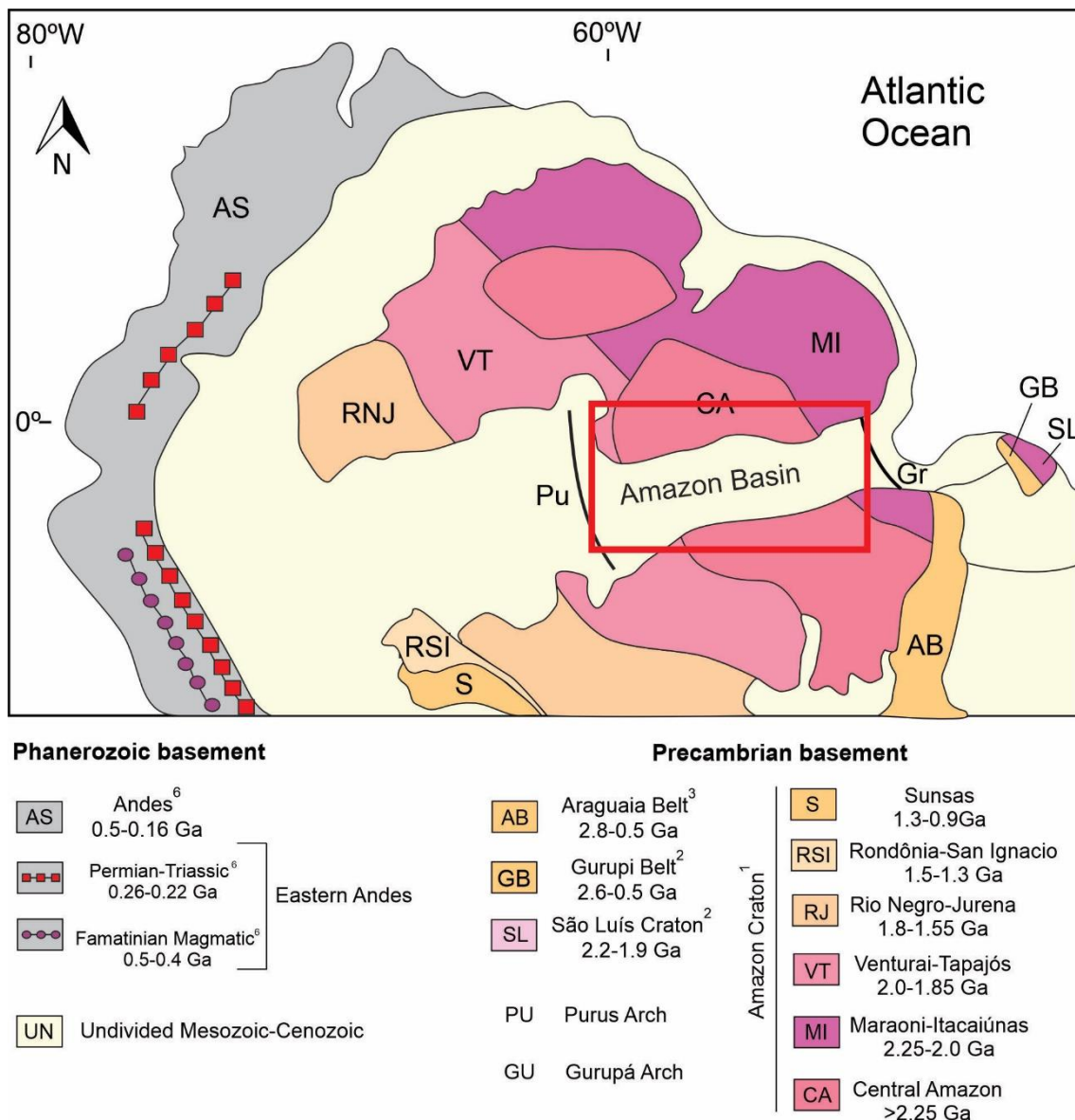


Figure 6: Map of the northern portion of South America with the main geological provinces and ages of the most recent metamorphic events. Modified and adapted from Cordani et al. (2000), Chew et al. (2008, 2016), Bahlburg et al. (2009, 2011), and Spiking et al. (2016). 1- (Cordani and Sato, 1999); 2- (Klein et al., 2005, 2020), 3- Moura et al. (2008); Ribeiro & Alves (2017); 4- Bahlburg et al. (2009); Chew et al. (2007, 2008); Cordani et al. (2000). The red rectangle indicates the location of the study area.

For Neoproterozoic and Paleozoic sources, two main correlation groups are identified. The first group has a strong association with rocks from the Eastern Andean Cordillera, related to the formation of the Proto-Andes and a magmatism attributed to the opening of the Rodinia continent, composed of metasedimentary and volcanic units: Chiquerlo Formation (955 ± 18 Ma), San Juan Formation (697 ± 11 Ma), Maraño Complex (849 ± 28 Ma), Goyllarisquizga Group (479 ± 41 Ma), Sabanilla Migmatite (431 ± 12 Ma), Isimanchi Formation (368 ± 14 Ma), Chuiguinda Unit (367 ± 12 Ma) (Chew et al., 2008). Although the hypothesis of contribution related to the Araguaia and Gurupi Mobile Belt cannot be completely ruled out, even though there is no high proximity, they indicate a

second possible association of source areas, metasedimentary rocks generated through the Brasiliano Cycle.

The patterns obtained for samples from the Alter do Chão Formation point to a high relationship with Paleoproterozoic rocks in the Ventuari-Tapajós Province, with secondary contributions from the Maroní-Itacaiúnas and Rio Negro-Juruena provinces. However, data published by (Loiola et al., 2013) for the Prosperança Formation (Figure 5), when compared with samples from the Alter do Chão Formation, suggests that not only cratonic sources served as sedimentary sources during the Cretaceous in the Amazon Basin. The occurrence of detrital zircons with similar ages in the Prosperança Formation indicates a possible phase of sediment recycling. Thus, transported through the fluvial system implanted during the Cretaceous, which migrated towards the current Pacific Ocean.

For the Novo Remanso Formation, the high variability polymodal pattern of sources exclusively refers to intense tectonic changes in the Amazon Basin during the Middle Miocene (Figure 5). The ages of Mesoproterozoic detrital zircons found in samples from (Mapes et al., 2006; Mendes, 2015) in the Novo Remanso Formation are also correlated with the Amazonian Craton, with significant contributions from the western provinces; Sunsás (1250 Ma), Rondonia-San Ignácio (1500-1300 Ma), and Rio Negro-Juruena (1800-1530 Ma), in addition to older zircons from the eastern provinces; Ventuari-Tapajós, Maroní-Itacaiúnas, and Central Amazonia. However, although the intense cratonic contribution to this unit is evident due to its high proximity to the craton and is diversely addressed in Amazonian sediment provenance studies (Hoorn, 1994; Roddaz et al., 2010; Horbe et al., 2013a, 2013b; Rossetti et al., 2015; Hoorn et al., 2022), part of the data from the Novo Remanso Formation suggests unprecedented contributions from the Andean region during the Middle Miocene. The age ranges of Neoproterozoic or Paleozoic detrital zircons can be correlated with rocks of the same age in the Andean Eastern Cordillera region, previously mentioned (Chew et al., 2008, 2016). However, some authors approach this occurrence of zircons with more recent ages as a possible reworking of rocks from the Nhamundá, Pitinga, and Prosperança formations through

the uplift of the Purus Arch. Both hypotheses were considered for interpretations of the paleogeographic model of the area; however, there are records of Andean detrital zircons in the mouth of the Amazon with ages similar to the depositional age of the Novo Remanso Formation (Figueiredo et al., 2009; Moizinho et al., 2022).

5.2 New Correlations from Sm-Nd data for the Cretaceous-Neogene of the Amazon Basin

Based on new Sm/Nd isotopic signatures in sediments from the Alter do Chão and Novo Remanso formations, new interpretations for the Amazon Basin are suggested. These interpretations may indicate influences from Proto-Andean sources during the sedimentation phase implemented by the existing fluvial depositional system in the Middle Miocene. Combined with the hypothesis of sedimentary recycling through the remobilization of Paleozoic sources within the Amazon Basin is also raised (Figure 7).

The Sm-Nd data presented in Table 3 and interpreted in Figure 7a through the ϵ_{Nd} (0) vs. $f(\text{Sm/Nd})$ diagram demonstrate a possible mixture of cratonic and Andean sources. The more negative values (ϵ_{Nd} from -19 to -21) found in the Alter do Chão Formation samples are directly associated with contributions exclusively from cratonic sources. However, the data for the Novo Remanso Formation, in addition to presenting correlations attributed to cratonic sources, indicate through the Nr-3 sample a more positive value for ϵ_{Nd} . It is known that the isotopic signature of Andean radiogenic Nd presents ϵ_{Nd} (0) values more positive than 13.8 (Roddaz et al., 2005; Figueiredo et al., 2009). Therefore, from the Middle Miocene, the first Andean sediments would have been able to overcome the barrier of the Purus Arch and integrate into the fluvial system of the Amazon Basin.

Part of this interpretation is also attributed based on detrital zircon data (Figure 7b), which demonstrate intense source differentiation between the two target units of the present study. The set of Neoproterozoic and Paleozoic ages obtained through detrital zircon data presented in Figures 5 and 7b for the Novo Remanso Formation samples can be attributed to the Andean Eastern Cordillera or a Brazilian mobile belt, like Gurupi and Araguaí belts.

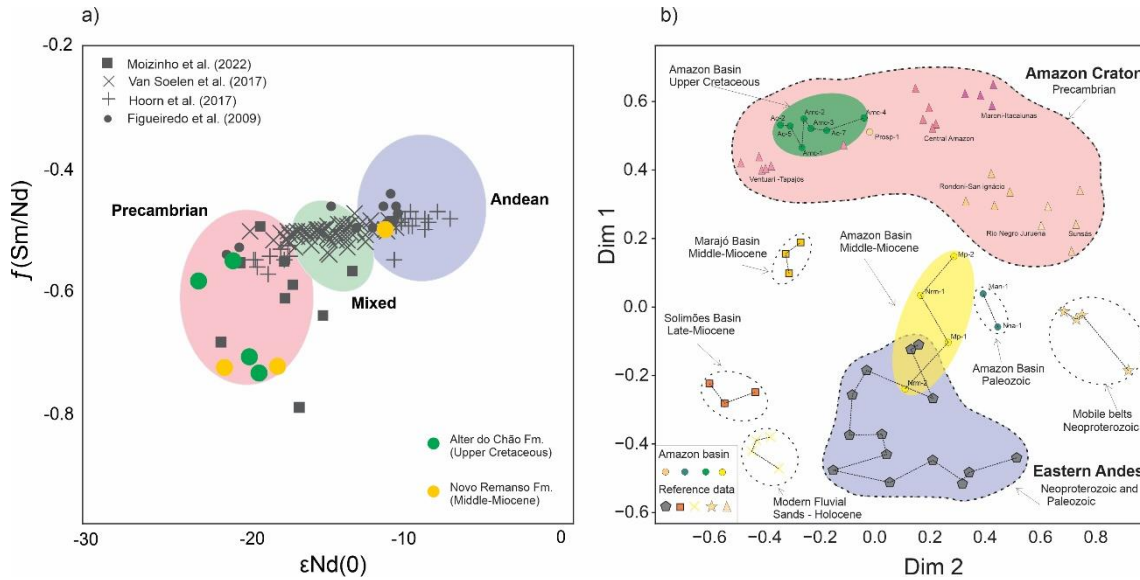


Figure 7: A) $\epsilon Nd(0)$ vs $f(Sm/Nd)$ (fractional deviation of $^{147}Sm/^{144}Nd$ from CHUR - Chondritic Uniform Reservoir). The fields were defined based on the SPM of the Amazon River and its tributaries, as well as deposits of pelitic rocks from the Amazon Subaquatic Delta and fine sediment data from the Amazon plain (modified after All`egre et al., 1996; McDaniel et al., 1997; Figueiredo et al., 2009; Hatting, 2014; Hoorn et al., 2017; Van Soelen et al., 2017; Moizinho et al., 2022). B) Multidimensional scaling (MDS) non-metric scaling plot (Vermeesch, 2013) of detrital zircon ages from the Amazon Basin deposits, ranging from the Cretaceous to the Miocene in the study area along with data from Paleozoic sedimentary units and metasedimentary rocks from the Precambrian basement and Mobile Belts (Mappes et al., 2006; Moura et al., 2009; Santos, and Rossetti, 2008; Loiola et al., 2013; Mendes et al., 2015, and Klein et al., 2020b), data from adjacent sedimentary basins; Solimões (Kern et al., 2021), Marajó (Moizinho et al., 2022), and finally, data from the Eastern Andean Cordillera (Chew et al., 2008 and 2016).

In this sense, they may corroborate the hypothesis that the Purus Arch was no longer uplifted during the transition on Middle to Late Miocene, and there was possibly already a connection between the eastern and western portions of the Amazon Basins. However, although part of this Andean contribution is very likely, the occurrence of these Neoproterozoic and Paleozoic sources in the sediments of the Novo Remanso Formation can also be explained by the reworking of Paleozoic units within the basin itself. According to Figure 7b, samples Prosp-1, Nha-1, and Man-1 from the Prosperança, Nhamundá, and Pitinga Formations, identified by Loiola et al., 2013, have similar age sets. Thus, the uplift of the Purus Arch, coupled with crustal stress propagation through the continuous uplift of the Andean Cordillera, would reactivate faults and blocks, exposing their respective units, which would be reworked by the fluvial system implemented only in the eastern portion of the Amazon Basins.

5.3 Paleogeographic evolution of the Central Amazon, Amazon Basin

The new information on sedimentary processes for the Upper Cretaceous - Middle Miocene units of the Amazon Basin, when compared to existing models (Hoorn et al., 1995; Figueiredo et al., 2009; Nogueira et al., 2013b; Sacek, 2014; Bicudo et al., 2020), allowed for an update of the paleogeographic model and the evolution of the provenance of siliciclastic sediments for Eastern Amazonia (Figure 8).

5.3.1 Upper Cretaceous (66.0 Ma)

The Cretaceous period was marked as a stage of intense physiographic changes on a global level, the most important being the separation of Gondwana. It was responsible for various modifications in landscapes, the origin of sedimentary basins (such as the Foz do Amazonas and Marajó basins), alterations in drainage patterns, and the separation of the South American and African continents (Figure 8a).

The Late Cretaceous period in the Amazon region was characterized by the presence of high terrains that acted as source areas for the Alter do Chão Formation (Caputo, 1984; Caputo and Soares, 2016; Mendes, 2015). The origin of these areas is related to erosive processes and distensive pulses that would have occurred throughout the Cretaceous, ultimately resulting in the formation of mountain ranges that were strongly controlled by Pre-Cambrian structures, transcurrent and normal faults that originated in various tectonic episodes (Caputo, 1984; Caputo and Soares, 2016). One of the main uplifted regions would be the Gurupá Arch, which is also attributed to the fault system that gave rise to the Marajó Basin in the form of an aborted rift (Soares-Jr et al., 2011).

The development of the Gurupá Arch would not only have been responsible for separating the Amazon and Marajó Basins but also for exposing rocks from the Prosperança Formation (Neoproterozoic) and cratonic basement provinces. The isotopic

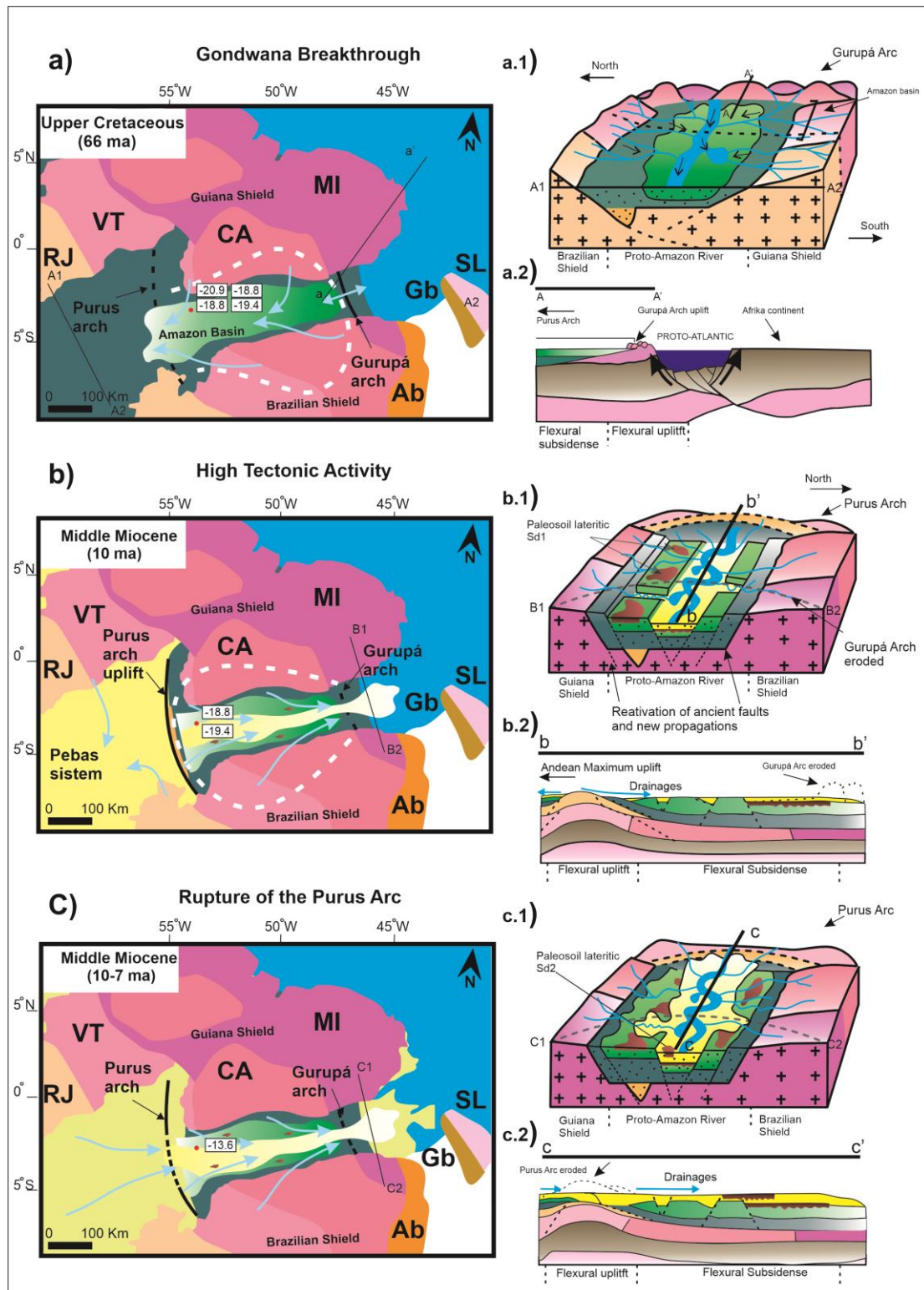


Figure 8: Paleogeographic reconstructions of the Amazon Basin, central portion of Eastern Amazonia, integrating the main siliciclastic sedimentary filling events that occurred during the Cretaceous and Miocene with new ϵNd data (boxes with reference values, see Fig. 7). A) Paleogeography during the Late Cretaceous (-30 Ma) illustrating deposition through a fluvial system southeastward, originated by the uplift of the Gurupá Arch due to compensation efforts resulting from the separation of the Gondwana continent, ϵNd values point to exclusively cratonic sources. B) Paleogeography during the Middle Miocene with the hypothesis of Paleozoic sediment recycling, exposed by the uplift of the Purus Arch, with sediment deposition through the fluvial system that migrated in the same direction as the current Amazon River. C) Paleogeography for the Middle Miocene with the novel proposition of Andean-sourced sediment input into the Amazon Basin, ϵNd data corroborate with the proposition that the source of these sediments has mantle separation model ages more recent than the Amazon Craton. These sediments would also be related to the proto-Amazonian fluvial system that migrated towards the current Atlantic Ocean.

data presented in this research suggest a strong and consistent approach. The age sets of detrital zircons obtained point to the sources: Ventuari-Tapajós, Maroni-Itacáunas, and Rio Negro-Juruena, and aided by negative ϵNd values (-19 to -21), allow us to establish that the sedimentary contribution of the Alter do Chão Formation is solely related to sources associated with the Amazonian Craton, even though it originated during a phase of intense global tectonic instability. Through the processes of isostatic compensation, the accommodation space generated in the Amazon Basin would then be filled by sources uplifted in the Gurupá Arch region through a transcontinental river system.

The depositional system of this unit was fed by large rivers that migrated towards the current Pacific Ocean (Cunha et al., 2007; Mendes et al., 2012; Mendes, 2015). This fluvial system would present a transitional zone downstream. So that in the upstream and closer portions of the source areas, it was predominantly meandering in style, with mixed bedload. As this system stretched westward and southwestward, it became anastomosed with a predominance of mixed and suspended load. The lateral variation in fluvial style can be correlated with the current Amazon River, so that valley shortening occurs in zones closer to the structural arcs, and between these portions, the valley widens, attributed to a decrease in energetic conditions, a higher volume of suspended material deposited, and low lateral migration rates (Hooke, 2007; Ghazi and Mountney, 2009; Ghinassi et al., 2018). Our data corroborate these propositions, however, a more detailed investigation is suggested for the western most portion of this system, as the scarcity of outcrops is attributed to this region.

5.3.2 Middle Miocene (10.1-7.1 Ma)

The Middle Miocene isotopic data obtained in this study align with the known provenance models in the literature, suggesting that the fluvial system established during the Middle Miocene was exclusively fed by sources associated with cratonic provinces of Paleo-Mesoproterozoic ages. However, little discussion exists regarding the provenance of Neoproterozoic and Paleozoic data in the Miocene unit of the Amazon Basin. Therefore, a new evolutionary approach is presented to illustrate how the fluvial

system of the Novo Remanso Formation was impacted by source diversification during the Middle Miocene (Figure 8).

During the Middle Miocene, intense reworking of Paleozoic sedimentary units within the Amazon Basin is interpreted. Although there is still debate regarding the climatic and tectonic controls that influenced landscape evolution in eastern Amazonia during the Miocene, a series of transgressive-regressive events has been documented, which would have conditioned and adjusted the equilibrium profile (Figure 8b). As a result, the Paleozoic sequence units would have been positioned above the equilibrium profile, exposed in proximal regions of the Purus Arch along the northern and southern margins of the basin, remaining susceptible to reworking by fluvial incision. This interpretation is supported by the similarity of the age spectra between units, which display the same peaks in nearly all samples from the Novo Remanso Formation. Loiola et al. (2013) associate the origin of these zircons with sources west of Africa, derived from the Brasiliano/Pan-African belts, the most well-known being the "Early Pan-African" (750–700 Ma), the "Main Pan-African Episode" (630–580 Ma), and the "Late Pan-African Episode" (580–520 Ma) (Caby, 1998; Escandolara, 2006). Thus, all phases of these sources' origin are consistent with the Neoproterozoic zircons found both in the known source units and within the Novo Remanso Formation of the Amazon Basin.

This phase of tectonic instability during the Middle Miocene is interpreted to have persisted until the transition into the Late Miocene (Figure 8c). During this period, the Purus Arch underwent erosion, allowing proto-Andean source materials to supply the western portion of the Amazon Basin. Although multiple studies report that young Andean sediments were retained in basins west of the Purus Arch until the end of the Middle Miocene, the fluvial deposits of the Novo Remanso Formation record significant population peaks at 470, 560, 840, 1000, and 1150 Ma, which could also be associated with Andean sources from the Eastern Andean Cordillera. Additionally, the ϵNd values (19, 18, and 13) support the interpretation that, within the depositional context of this unit, a mixture of sources from both the Amazon Craton and Andean regions may have occurred.

This approach exhibits a strong correlation with the depositional paleogeographic context, as indicated by paleocurrent and depositional architecture data obtained in this study and those already established in the literature. Similar to the Cretaceous unit, a transcontinental fluvial system is interpreted, which, during the Middle Miocene, already displayed the key characteristics of the large rivers currently found in the Amazon region, migrating toward the present-day Atlantic Ocean.

Paleocurrent data indicating E-NE directions, when combined with isotopic data, define that the primary source areas originated from western regions, with sediments deposited in low-gradient topographic zones and within low-energy river systems. It can be inferred that rivers or fluvial systems on the western flank of the Purus Arch may have overcome the orographic barrier during periods of high discharge or through seasonal flood processes similar to those observed today, thus transporting a distinct signature from the Eastern Andean Cordillera. However, studies based on detrital zircon data at the mouth of the Amazon River during the Middle Miocene do not establish this influence.

Nonetheless, it cannot be ruled out that all these conditions occurred simultaneously. Despite the limiting factor of poor geological exposure in Amazonian forests, additional isotopic data and new phases of investigation are required, particularly for the eastern portion of the Purus Arch.

6 CONCLUSIONS

The sedimentary data of paleocurrents and lithofacies associations, combined with Sm/Nd isotopic analyses and U-Pb ages of detrital zircons from Cretaceous and Middle Miocene samples collected in the Amazon Basin, assisted by previous research data (Mapes et al., 2006; Loiola et al., 2013; Mendes, 2015), have led to the following conclusions:

- The deposits of the Alter do Chão Formation (Upper Cretaceous) are representative of a transcontinental fluvial system that transitioned from meandering to anastomosed behavior towards the west-southwest, carrying sediments with negative ϵNd values and detrital zircon ages exclusively related to the eastern cratonic provinces (Central Amazon, Maroni-Itacaiunas, Ventuari-Tapajós, and Rio Negro Juruena).

• The Novo Remanso Formation (Middle Miocene) represents a transcontinental fluvial system directly associated with the proto-Amazon River. Depositional architectural reconstructions indicate a meandering river drainage network that transported terrigenous sediments characterized by negative ϵNd values and detrital zircon age spectra. These data suggest that the fluvial system of the Novo Remanso Formation was predominantly fed by Paleo-Mesoproterozoic cratonic sources, though the influence of Neoproterozoic and Paleozoic contributions remains less explored. Evidence of intense reworking of Paleozoic sedimentary units within the Amazon Basin is interpreted, driven by transgressive-regressive events that influenced the regional equilibrium profile, leading to fluvial incision of exposed units near the Purus Arch. The zircon age spectra indicate provenance from the Brasiliano/Pan-African belts, with Neoproterozoic zircons present in both established source units and within the Novo Remanso Formation. This phase of tectonic instability extended into the Late Miocene, during which erosion of the Purus Arch facilitated the input of proto-Andean sediments into the western Amazon Basin. This process is supported by detrital zircon age peaks (470–1150 Ma) and ϵNd values indicative of a mixture between Amazon Craton and Andean-derived sources. Paleocurrent data (E-NE directions) further support the interpretation of a transcontinental fluvial system that migrated toward the Atlantic, resembling the modern Amazon River. Although it is plausible that fluvial systems west of the Purus Arch episodically overcame the orographic barrier during high-discharge events, detrital zircon data from the Amazon River's mouth during the Middle Miocene do not confirm this influence. Given the limited geological exposure in the region, further isotopic analyses and additional investigations are required, particularly in the eastern portion of the Purus Arch.

7 ACKNOWLEDGMENTS

The authors express their gratitude to the University of Brasília for its facilities and technical assistance, particularly the Geodynamics Laboratory. Additionally, we acknowledge the financial backing from the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel – Brazil (CAPES) - Finance Code 001, which supported the first

author's master's degree. Our appreciation also goes to Jeane Grasyelle Silva Chaves and Gabriel Ribeiro Moizinho, technicians at the Geochronology Laboratory of Universidade de Brasília, for their effective contribution to the analytical tasks.

8 REFERENCES

- Abinader, H.Dias., 2008. Depósitos Cenozóicos da porção oeste da Bacia do Amazonas.
- Albert, J. S., Val, P., & Hoorn, C. (2018). The changing course of the Amazon River in the Neogene: center stage for Neotropical diversification. *Neotropical Ichthyology*, 16.
- Barbosa, R.C. de M., Nogueira, A.C.R., 2011. Paleoambiente da Formação Prosperança, embasamento neoproterozóico da Bacia do Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências* 41, 01–17. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.20114110117>
- Bahlburg, H., Vervoort, J.D., Du Frane, S.A., Bock, B., Augustsson, C., Reimann, C., 2009. Timing of crust formation and recycling in accretionary orogens: Insights learned from the western margin of South America. *Earth-Sci. Rev.* 97, 215–241. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.10.006>.
- Bicudo, T.C., Sacek, V., Paes de Almeida, R., 2020. Reappraisal of the relative importance of dynamic topography and Andean orogeny on Amazon landscape evolution. *Earth Planet Sci Lett* 546. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116423>
- Bühn, B., Pimentel, M.M., Matteini, M., Dantas, E.L., 2009. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICP-MS). *Academia Brasileira de Geociências*. 81, 99–114. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652009000100011>
- Campbell, K.E., Frailey, C.D., Romero-Pittman, L., 2006. The Pan-Amazonian Ucayali Peneplain, late Neogene sedimentation in Amazonia, and the birth of the modern Amazon River system. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 239, 166–219. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.01.020>.
- Caputo, M.V., 1984. Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil.
- Caputo, M.V., Soares, E.A.A., 2016. Eustatic and tectonic change effects in the reversion of the transcontinental Amazon River drainage system. *Brazilian Journal of Geology*. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620160066>
- Chew, D.M., Magna, T., Kirkland, C.L., Mišković, A., Cardona, A., Spikings, R., Schaltegger, U., 2008. Detrital zircon fingerprint of the Proto-Andes: Evidence for a Neoproterozoic active margin? *Precambrian Res* 167, 186–200. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2008.08.002>
- Chew, D.M., Pedemonte, G., Corbett, E., 2016. Proto-Andean evolution of the Eastern Cordillera of Peru. *Gondwana Research* 35, 59–78. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.03.016>

- Cordani, U.G., Sato, K., 1999. Crustal evolution of the South American Platform, based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks. *Episodes* 22, 167–173. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/1999/v22i3/003>
- Cordani, U.G., Sato, K., Sproessner, W., Fernandes, F.S., 2016. U-Pb zircon ages of rocks from the Amazonas Territory of Colombia and their bearing on the tectonic history of the NW sector of the Amazonian Craton. *Brazilian Journal of Geology*. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620150012>
- Cunha, P.R. da C., Gonçalves De Melo, J.H., Braga Da Silva, O., 2007. Bacia do Amazonas Palavras-chave: Bacia do Amazonas | Estratigrafia | carta estratigráfica.
- Daemon, R.F., 1975. Contribuição a datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas., *Reoista Brasileira de Geocuncias*.
- D'Apolito, C., da Silva-Caminha, S.A.F., Jaramillo, C., Dino, R., Soares, E.A.A., 2019. The Pliocene–Pleistocene palynology of the Negro River, Brazil. *Palynology* 43, 223–243. <https://doi.org/10.1080/01916122.2018.1437090>
- DePaolo, D.J., Wasserburg, G.J., 1976. Inferences about magma sources and mantle structure from variations of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$. *Geophys Res Lett* 3, 743–746. <https://doi.org/10.1029/GL003i012p00743>
- DePaolo, D.J., Wasserburg, G.J., 1976. Inferences about magma sources and mantle structure from variations of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$. *Geophys. Res. Lett.* 3, 743–746. <https://doi.org/10.1029/GL003i012p00743>
- Dino, R., Soares, E.A.A., Antonioli, L., Riccomini, C., Nogueira, A.C.R., 2012a. Palynostratigraphy and sedimentary facies of Middle Miocene fluvial deposits of the Amazonas Basin, Brazil. *J South Am Earth Sci*. <https://doi.org/10.1016/j.isames.2011.11.008>
- Dino, R., Soares, E.A.A., Antonioli, L., Riccomini, C., Nogueira, A.C.R., 2012b. Palynostratigraphy and sedimentary facies of Middle Miocene fluvial deposits of the Amazonas Basin, Brazil. *J South Am Earth Sci*. <https://doi.org/10.1016/j.isames.2011.11.008>
- Figueiredo, J., Hoorn, C., van der Ven, P., Soares, E., 2009. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: Evidence from the Foz do Amazonas Basin. *Geology* 37, 619–622. <https://doi.org/10.1130/G25567A.1>
- Ghazi, S., Mountney, N.P., 2009. Facies and architectural element analysis of a meandering fluvial succession: The Permian Warchha Sandstone, Salt Range, Pakistan. *Sediment Geol* 221, 99–126. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2009.08.002>
- Ghinassi, M., Colombero, L., Mountney, N.P., Reesink, A.J.H., 2018. Sedimentology of meandering river deposits: advances and challenges, in: *Fluvial Meanders and Their Sedimentary Products in the Rock Record*. Wiley, pp. 1–13. <https://doi.org/10.1002/9781119424437.ch1>
- Gioia, S.M.C.L., Pimentel, M.M., 2000. The Sm-Nd isotopic method in the geochronology laboratory of the University of Brasília. *An Acad Bras Cienc* 72, 219–245. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652000000200009>

- Guimarães, J.T.F., Cohen, M.C.L., Pessenda, L.C.R., França, M.C., Smith, C.B., Nogueira, A.C.R., 2012. Mid- and late-Holocene sedimentary process and palaeovegetation changes near the mouth of the Amazon River. *Holocene* 22, 359–370. <https://doi.org/10.1177/0959683611423693>
- Hooke, J.M., 2007. Spatial variability, mechanisms and propagation of change in an active meandering river. *Geomorphology* 84, 277–296. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.005>
- Hoorn, C., 1994. An environmental reconstruction of the palaeo-Amazon River system (Middle-Late Miocene, NW Amazonia), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- Hoorn, C., Guerrero, J., Sarmiento, G.A., Lorente, M.A., 1995. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene northern South America. *Geology* 23, 237–240. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1995\)023<0237:ATAACF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1995)023<0237:ATAACF>2.3.CO;2).
- Hoorn C. & Wesselingh F.P. 2010. Introduction: Amazonia, landscape and species evolution in: Hoorn C & Wesselingh F.P. (eds). *Introduction: Amazonia, landscape and species evolution*. Oxford, Blackwell Publishing Ltd, p.1-8.
- Hoorn, C., Bogotá-A, G.R., Romero-Baez, M., Lammertsma, E.I., Flantua, S.G.A., Dantas, E.L., Dino, R., do Carmo, D.A., Chemale, F., 2017. The Amazon at sea: Onset and stages of the Amazon River from a marine record, with special reference to Neogene plant turnover in the drainage basin. *Global and Planetary Change* 153, 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.02.005>
- Hoorn, C., Kukla, T., Bogotá-Angel, G., van Soelen, E., González-Arango, C., Wesselingh, F.P., Vonhof, H., Val, P., Morcote-Rios, G., Roddaz, M., Dantas, E.L., Santos, R.V., Sinninghe Damsté, J.S., Kim, J.H., Morley, R.J., 2022. Cyclic sediment deposition by orbital forcing in the Miocene wetland of western Amazonia? New insights from a multidisciplinary approach. *Glob Planet Change* 210. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103717>
- Horbe, A.M.C., Motta, M.B., de Almeida, C.M., Dantas, E.L., Vieira, L.C., 2013a. Provenance of Pliocene and recent sedimentary deposits in western Amazonia, Brazil: Consequences for the paleodrainage of the Solimões-Amazonas River. *Sediment Geol* 296, 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.07.007>
- Horbe, A.M.C., Motta, M.B., de Almeida, C.M., Dantas, E.L., Vieira, L.C., 2013b. Provenance of Pliocene and recent sedimentary deposits in western Amazonia, Brazil: Consequences for the paleodrainage of the Solimões-Amazonas River. *Sediment Geol* 296, 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.07.007>
- Horbe, A.M.C., da Trindade, I.R., Dantas, E.L., Santos, R.V., Roddaz, M., 2014. Provenance of quaternary and modern alluvial deposits of the Amazonian floodplain (Brazil) inferred from major and trace elements and Pb-Nd-Sr isotopes. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 411, 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.06.019>

- Hurtado, C., Roddaz, M., Santos, R.V., Baby, P., Antoine, P.O., Dantas, E.L., 2018. Cretaceous-early Paleocene drainage shift of Amazonian rivers driven by Equatorial Atlantic Ocean opening and Andean uplift as deduced from the provenance of northern Peruvian sedimentary rocks (Huallaga basin). *Gondwana Research* 63, 152–168. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2018.05.012>
- Louterbach, M., Roddaz, M., Antoine, P.-O., Marivaux, L., Adnet, S., Bailleul, J., Dantas, E., Santos, R.V., Chemale, F., Baby, P., Sanchez, C., Calderon, Y., 2018. Provenance record of late Maastrichtian-late Palaeocene Andean Mountain building in the Amazonian retroarc foreland basin (Madre de Dios basin, Peru). *Terra Nova* 30, 17–23. <https://doi.org/10.1111/ter.12303>.
- Jackson, S.E., Pearson, N.J., Griffin, W.L., Belousova, E.A., 2004. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. *Chem. Geol.* 211, 47–69. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.017>.
- Kern, A.K., Gross, M., Galeazzi, C.P., Pupim, F.N., Sawakuchi, A.O., Almeida, R.P., Piller, W.E., Kuhlmann, G.G., Basei, M.A.S., 2020. Re-investigating Miocene age control and paleoenvironmental reconstructions in western Amazonia (northwestern Solimões Basin, Brazil). *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 545. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109652>
- Klein, E.L., Moura, C.A.V., Pinheiro, B.L.S., 2005. Paleoproterozoic Crustal Evolution of the São Luís Craton, Brazil: Evidence from Zircon Geochronology and Sm-Nd Isotopes. *Gondwana Research* 8, 177–186. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)71116-3](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)71116-3).
- Klein, E.L., Lopes, E.C.S., Rodrigues, J.B., Souza-Gaia, S.M., Cordani, U.G., 2020. Rhyacian and Neoproterozoic magmatic associations of the Gurupi Belt, Brazil: Implications for the tectonic evolution, and regional correlations. *Geoscience Frontiers* 11, 2243–2269. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.02.016>.
- Klein, E.L., Rodrigues, J.B., Lopes, E.C.S., Gusmão de Oliveira, R., Souza-Gaia, S.M., de Oliveira, L.B.T., 2020b. Age, provenance and tectonic setting of metasedimentary sequences of the Gurupi Belt and São Luís cratonic fragment, northern Brazil: Broadening the understanding of the Proterozoic-early Cambrian tectonic evolution. *Precambrian Res.* 351, 105950. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105950>.
- Loiola, I.A.N.N., Macambira, M.J.B., Nogueira, A.C.R., 2013. Estratigrafia e Análise de fácies e proveniência das unidades litoestratigráficas aflorantes na região de Presidente Figueiredo-Am, borda norte da Bacia do Amazonas.
- Mapes, R.W., Coleman, D., Glazner, A., Wagner, L., Meyers, S., Cox, R., 2006. Past And Present Provenance Of The Amazon River.
- Mendes, A.C., Truckenbrod, W., Nogueira, A.C., 2012. Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* 42, 39–57.

- Mendes, A.C., 2015. Fácies e Proveniência de depósitos siliciclásticos cretáceos e neógenos da Bacia do Amazonas: Implicações para a história evolutiva do Proto-Amazons Tese de Doutorado Universidade Federal do Pará.
- Moizinho, G.R., Vieira, L.C., Santos, R.V., Nogueira, A.C.R., Dantas, E.L., Roddaz, M., 2022. Provenance of Miocene-Pleistocene siliciclastic deposits in the Eastern Amazonia coast (Brazil) and paleogeographic implications. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 587. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110799>
- Nogueira, A.C.R., Silveira, R., Guimarães, J.T.F., 2013a. Neogene-Quaternary sedimentary and paleovegetation history of the eastern Solimões Basin, central Amazon region. *J South Am Earth Sci* 46, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2013.05.004>
- Nogueira, A.C.R., Silveira, R., Guimarães, J.T.F., 2013b. Neogene-Quaternary sedimentary and paleovegetation history of the eastern Solimões Basin, central Amazon region. *J South Am Earth Sci* 46, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2013.05.004>
- Petrus, J.A., Kamber, B.S., 2012. VizualAge: A Novel Approach to Laser Ablation ICP-MS U-Pb Geochronology Data Reduction. *Geostand. Geoanalytical Res.* 36, 247–270. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2012.00158.x>
- Paton, C., Hellstrom, J., Paul, B., Woodhead, J., Hergt, J., 2011. Lolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data. *J. Anal. At. Spectrom.* 26, 2508. <https://doi.org/10.1039/c1ja10172b>
- Roddaz, M., Viers, J., Brusset, S., Baby, P., Hérail, G., 2005. Sediment provenances and drainage evolution of the Neogene Amazonian foreland basin. *Earth Planet Sci Lett* 239, 57–78. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.08.007>
- Roddaz, M., Hoorn, C., Wesselingh, F.P., Hermoza, W., Mora, A., Baby, P., Parra, M., Christophoul, F., Brusset, S., Espurt, N., 2010. Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past, 1st edition. Edited by Cenozoic sedimentary evolution of the Amazonian foreland basin system.
- Rossetti, D.F., Cohen, M.C.L., Tatum, S.H., Sawakuchi, A.O., Cremon, É.H., Mittani, J.C.R., Bertani, T.C., Muniz, C.J.A.S., Tudela, D.R.G., Yee, M., Moya, G., 2015. Mid-Late Pleistocene OSL chronology in western Amazonia and implications for the transcontinental Amazon pathway. *Sediment Geol* 330, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.10.001>
- Sacek, V., 2014. Drainage reversal of the Amazon River due to the coupling of surface and lithospheric processes. *Earth Planet Sci Lett* 401, 301–312. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.06.022>
- Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Gaudette, H.E., Groves, D.I., McNaughton, N.J., Fletcher, I.R., 2000. A New Understanding of the Provinces of the Amazon Craton Based on Integration of Field Mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology. *Gondwana Research* 3, 453–488. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70755-3](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70755-3)
- Santos, A.E., Rossetti, D., 2008. Origin of the Rio Capim Kaolin based on optical (petrographic and SEM) data. *J. S. Am. Earth Sci.* 26, 329–341. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2008.08.004>

- Soares, E.A.A., Dino, R., Peres Soares, D., Antonioli, L., Lima Da Silva, M.A., 2015. New sedimentological and palynological data from surface Miocene strata in the central Amazonas Basin area. *Brazilian Journal of Geology* 45, 337–357. <https://doi.org/10.1590/2317-488920150030283>
- Soares, E.A.A., Wahnfried, I., Dino, R., 2016. Estratigrafia de subsuperfície da sequência sedimentar cretáceo-terciária das regiões de Manaus e Itacoatiara, Amazônia Central. *Geologia USP - Série Científica* 16, 23–41. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v16i1p23-41>
- Soares-Jr, A.V., Hasui, Y., Batista Sena COSTA, J., Braz MACHADO, F., 2011. Evolução Do Rifteamento E Paleogeografia Da Margem Atlântica Equatorial Do Brasil: Triássico Ao Holoceno.
- Tassinari, C.C.G., Macambira, M.J.B., 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes* 22, 174–182. <https://doi.org/10.18814/epiugs/1999/v22i3/004>
- Teixeira, W., Tassinari, C., Cordani, U., Kawashita, K., 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic implications. *Precambrian Res* 42, 213–227. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(89\)90012-0](https://doi.org/10.1016/0301-9268(89)90012-0)
- Van Soelen, E.E., Kim, J.-H., Santos, R.V., Dantas, E.L., Vasconcelos de Almeida, F., Pires, J.P., Roddaz, M., Sinninghe Damsté, J.S., 2017. A 30 Ma history of the Amazon River inferred from terrigenous sediments and organic matter on the Ceará rise. *Earth Planet. Sci. Lett.* 474, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.06.025>
- Vermeesch, P., 2004. How many grains are needed for a provenance study? *Earth Planet. Sci. Lett.* 224, 441–451. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.05.037>
- Vermeesch, P., 2012. On the visualisation of detrital age distributions. *Chem. Geol.* 312–313, 190–194. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.04.021>
- Vermeesch, P., 2013. Multi-sample comparison of detrital age distributions. *Chem. Geol.* 341, 140–146. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.01.010>
- Vermeesch, P., 2018. Dissimilarity measures in detrital geochronology. *Earth-Sci. Rev.* 178, 310–321. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.027>
- Weis, D., Kieffer, B., Maerschalk, C., Pretorius, W., Barling, J., 2005. High-precision Pb-Sr-Nd-Hf isotopic characterization of USGS BHVO-1 and BHVO-2 reference materials. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 6. <https://doi.org/10.1029/2004GC000852>
- Wiedenbeck, M., Allé, P., Corfu, F., Griffin, W.L., Meier, M., Oberli, F., Quadt, A.V., Roddick, J.C., Spiegel, W., 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostand. Geoanalytical Res.* 19, 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x>
- Zalán, P.V., 2004. Evolução fanerozoica das bacias sedimentares brasileiras.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise litofaciológica/estratigráfica, juntamente com novos dados de Sm/Nd em sedimentos pelíticos e U-Pb em zircões detríticos das formações Alter do Chão e Novo Remanso, permitiram uma nova reconstituição do modelo evolutivo paleogeográfico dos depósitos cretáceos e miocênicos da Bacia do Amazonas.

O presente modelo paleogeográfico, considera que durante o Cretáceo Superior na Bacia do Amazonas, o sistema fluvial apresentava comportamentos migratórios transcontinentais, até a porção central da Bacia do Solimões. Esse sistema fluvial transitava de leste para oeste, com variações laterais no comportamento deposicional de meandrante (carga mista) para anastomosado (carga mista com suspensão). De forma geral, esse sistema teria uma ampla variação lateral, de montante a jusante, assim como na atual configuração do Rio Amazonas, entretanto, com fluxos migratórios em direção ao atual Oceano Pacífico.

Do ponto de vista da proveniência sedimentar, os dados inéditos de Sm/Nd para a Formação Alter do Chão, demonstraram que os valores de ϵ_{Nd} negativos (-18 a -20) são correlacionáveis com fontes exclusivamente cratônicas, sem a possibilidade de uma mistura com fontes ígneas mais recentes. Essa interpretação é totalmente corroborada quando correlacionada com os dados de U-Pb em zircões detríticos, uma vez que as principais idades encontradas foram atribuídas a assembleias de zircões oriundos das províncias cratônicas orientais (Amazônica Central, Maroni-Itacaiunas, Ventuari-Tapajós e Rio Negro Juruena) 1,6 a 2,1 Ga. Essas áreas-fontes estariam sob processos de erosão uma vez que soerguidas por meio de esforços oriundos da geração do proto Oceano Atlântico.

Entretanto, o período Paleógeno da Bacia do Amazonas, marcado pela geração das superfícies lateríticas ao longo de boa parte da Bacia do Amazonas. Embora não tenha sido analisado do ponto de vista isotópico, representa claramente um longo período de exposição, coincidente com o desenvolvimento dos perfis lateríticos-bauxíticos, amplamente discutidos e fundamentados ao longo do conhecimento científico amazônico. Entende-se que é durante esse período que a bacia estivesse sob um regime de tectônica estável.

Para o Mioceno, o sistema fluvial Proto-Amazonas apresentava comportamento de rios meandantes (carga mista) e com altas taxas de migrações laterais. Os dados de paleocorrentes sugerem que esse sistema apresentava fluxos migratórios de oeste para leste, similares ao comportamento do atual Rio Amazonas, em direção ao Oceano Atlântico. Em relação a proveniência sedimentar, os dados de Sm-Nd levantam questionamentos intrigantes, sendo o principal deles, o valor de ϵNd da amostra Nr-3 (-13.7). Sabe-se que a assinatura isotópica andina de Nd radiogenico, apresenta valores de ϵNd (0) mais positivos que 13,8. Logo, esse resultado levanta o questionamento se a Bacia do Amazonas já estaria sob influências dos sedimentos andinos durante o fim do Mioceno Médio.

Esses dados sugerem que o sistema fluvial da Formação Novo Remanso foi predominantemente alimentado por fontes cratônicas Paleo-Mesoproterozoicas, embora a influência de contribuições Neoproterozoicas e Paleozoicas ainda seja pouco explorada. Há evidências de intenso retrabalhamento de unidades sedimentares Paleozoicas na Bacia do Amazonas, impulsionado por eventos transgressivo-regressivos que influenciaram o perfil de equilíbrio regional, resultando na incisão fluvial de unidades expostas próximas ao Arco do Purus. Essa fase de instabilidade tectônica se estendeu até o Mioceno Tardio, período em que a erosão parcial do Arco do Purus facilitou o aporte de sedimentos proto-andinos para a porção ocidental da Bacia do Amazonas. Esse processo é evidenciado por picos etários de zircão detrítico (470–1150 Ma) e valores de ϵNd indicativos de uma mistura entre fontes do Cráton Amazônico e de origem andina. Os dados de paleocorrentes (direções E-NE) corroboram ainda mais a interpretação de um sistema fluvial transcontinental que migrava em direção ao Atlântico, semelhante ao atual Rio Amazonas.

É importante destacar que essas abordagens ainda estão em estágio preliminar. Contudo, é evidente a variedade de fontes nas formações Alter do Chão e Novo Remanso, conforme revelado pelas análises isotópicas. Durante o Mioceno, a Bacia do Amazonas passou por diversos eventos tectônicos que reconfiguraram o sistema de drenagem e ampliaram as áreas-fonte. Os principais mecanismos responsáveis por essas mudanças estão diretamente ligados às respostas isoestáticas da orogenia andina, especialmente durante o

Mioceno, quando houve um aumento significativo na taxa de soerguimento da cordilheira.

Embora o modelo fluvial deposicional proposto para a Formação Alter do Chão ainda não esteja completo devido à falta de investigação na região proximal do Arco de Gurupá e à limitação dos registros apenas a dados de subsuperfície na Bacia de Solimões, somado ao fato de que os afloramentos da Formação Novo Remanso são escassos e pouco mapeados, esta pesquisa destaca que a região central da Amazônia, especialmente a Bacia do Amazonas, pode fornecer evidências significativas sobre a origem do maior sistema fluvial do planeta. As quais ainda carecem de maiores interesses financeiros, científicos e educacionais para uma melhor compreensão a nível regional.

7 REFERÊNCIAS

- Abinader, H. Dias., 2008. Depósitos Cenozóicos da porção oeste da Bacia do Amazonas.
- Albert, J. S., Val, P., & Hoorn, C. (2018). The changing course of the Amazon River in the Neogene: center stage for Neotropical diversification. *Neotropical Ichthyology*, 16.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., de Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., 1981. Brazilian structural provinces: An introduction. *Earth-Sci. Rev.* 17, 1–29. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(81\)90003-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(81)90003-9).
- Andersen, T. 2005. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: limiting conditions from statistics and numerical simulation. *Chemical Geology*, 216: 249– 270.
- Arnot, M.J; Good, T.R; Lewis, J.J.M. 1997. Photogeological and image-analysis techniques for collection of large-scale outcrop data. *Journal of Sedimentary Research*, 67(5), 984-987,
- Barbosa, R.C. de M., Nogueira, A.C.R., 2011. Paleoambiente da Formação Prosperança, embasamento neoproterozóico da Bacia do Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências* 41, 01–17. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.20114110117>
- Bahlburg, H., Vervoort, J.D., Du Frane, S.A., Bock, B., Augustsson, C., Reimann, C., 2009. Timing of crust formation and recycling in accretionary orogens: Insights learned from the western margin of South America. *Earth-Sci. Rev.* 97, 215– 241. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.10.006>.
- Bicudo, T.C., Sacek, V., Paes de Almeida, R., 2020. Reappraisal of the relative importance of dynamic topography and Andean orogeny on Amazon landscape evolution. *Earth Planet Sci Lett* 546. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116423>
- Bowring, S. A.; Schmitz, M. D. 2003. High-Precision U-Pb Zircon Geochronology and the Stratigraphic Record. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53: 305-326.
- Bühn, B., Pimentel, M.M., Matteini, M., Dantas, E.L., 2009. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICP-MS). *Academia Brasileira de Geociências*. 81, 99–114. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652009000100011>.
- Bridge, J.S.; Tye, R.S. 2000. Interpreting the dimensions of ancient fluvial channel bars, channels, and channel belts from wireline-logs and cores. *AAPG Bull.* p. 84, 1205-1228.
- Caputo, M.V., 1984. Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil
- Campbell, K.E., Frailey, C.D., Romero-Pittman, L., 2006. The Pan-Amazonian Ucayali Peneplain, late Neogene sedimentation in Amazonia, and the birth of the modern Amazon River system. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 239, 166–219. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.01.020>.

- Caputo, M.V., Soares, E.A.A., 2016. Eustatic and tectonic change effects in the reversion of the transcontinental Amazon River drainage system. *Brazilian Journal of Geology*. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620160066>
- Chew, D.M., Magna, T., Kirkland, C.L., Mišković, A., Cardona, A., Spikings, R., Schaltegger, U., 2008. Detrital zircon fingerprint of the Proto-Andes: Evidence for a Neoproterozoic active margin? *Precambrian Res* 167, 186–200. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2008.08.002>
- Chew, D.M., Pedemonte, G., Corbett, E., 2016. Proto-Andean evolution of the Eastern Cordillera of Peru. *Gondwana Research* 35, 59–78. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.03.016>
- Cordani, U.G., Sato, K., 1999. Crustal evolution of the South American Platform, based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks. *Episodes* 22, 167–173. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/1999/v22i3/003>
- Cordani, U.G., Sato, K., Sproessner, W., Fernandes, F.S., 2016. U-Pb zircon ages of rocks from the Amazonas Territory of Colombia and their bearing on the tectonic history of the NW sector of the Amazonian Craton. *Brazilian Journal of Geology*. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620150012>
- Corfu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P.W.O., Kinny, P., 2003. Atlas of Zircon Textures. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 53, 469-500 <https://doi.org/10.2113/0530469>.
- Costa, J. B. S., Bemerguy, R. L., Hasui, Y., da Silva Borges, M., Júnior, C. R. P. F., Bezerra, P. É. L., ... & Fernandes, J. M. G. 1996. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos*.
- Costa, J. B. S., Bemerguy, R. L., Hasui, Y., & da Silva Borges, M. 2001. Tectonics and paleogeography along the Amazon River. *Journal of South American Earth Sciences*, 14(4), 335-347.
- Cunha, P.R. da C., Gonçalves De Melo, J.H., Braga Da Silva, O., 2007. Bacia do Amazonas Palavras-chave: Bacia do Amazonas | Estratigrafia | carta estratigráfica.
- Daemon R.F; Contreiras C.J.A. 1971. Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas. Petrobras. Relatório Interno, Belém (PA).
- Daemon, R.F., 1975. Contribuição a datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas., *Revista Brasileira de Geociências*.
- D'Apolito, C., da Silva-Caminha, S.A.F., Jaramillo, C., Dino, R., Soares, E.A.A., 2019. The Pliocene–Pleistocene palynology of the Negro River, Brazil. *Palynology* 43, 223–243. <https://doi.org/10.1080/01916122.2018.1437090>
- DeCelles, P. G. 2011. Foreland basin systems revisited: Variations in response to tectonic settings. *Tectonics of sedimentary basins: Recent advances*, 405-426.
- DePaolo, D.J., 1988. Neodymium Isotope Geochemistry: an Introduction. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

- DePaolo, D.J., Wasserburg, G.J., 1976. Inferences about magma sources and mantle structure from variations of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$. *Geophys Res Lett* 3, 743–746. <https://doi.org/10.1029/GL003i012p00743>
- DePaolo, D.J., Wasserburg, G.J., 1976. Inferences about magma sources and mantle structure from variations of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$. *Geophys. Res. Lett.* 3, 743–746. <https://doi.org/10.1029/GL003i012p00743>.
- Dickin, A. P. 2005. *Radiogenic Isotop Geology*. School of Geography and Earth Sciences McMaster University, Hamilton, Ontario, 492 p.
- Dino, R., Soares, E.A.A., Antonioli, L., Riccomini, C., Nogueira, A.C.R., 2012a. Palynostratigraphy and sedimentary facies of Middle Miocene fluvial deposits of the Amazonas Basin, Brazil. *J South Am Earth Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.11.008>.
- Dino, R., Soares, E.A.A., Antonioli, L., Riccomini, C., Nogueira, A.C.R., 2012b. Palynostratigraphy and sedimentary facies of Middle Miocene fluvial deposits of the Amazonas Basin, Brazil. *J South Am Earth Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.11.008>
- Dodson W.H., Compston W., Williams I.S., Wilson J.F. 1988. A search for ancient detrital zircons in Zimbabwean sediments. *Journal of the Geological Society* 145:977-983.
- Faure, G., Mensing, T.M., Faure, G., 2005. *Isotopes: principles and applications*, 3rd ed. ed. Wiley, Hoboken, N.J.
- Fedo, C. M.; Sircombe, K. N.; Rainbird, R. H. 2003. Detrital Zircon Analysis of the Sedimentary Record. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 53, 277-303.
- Fernandes Filho, L.A., Costa, M.L., Costa, J.B.S. 1997. Registros neotectônicos nos lateritos de Manaus- Amazonas. *Geociências*, 16:9-33.
- Figueiredo, J., Hoorn, C., van der Ven, P., Soares, E., 2009. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: Evidence from the Foz do Amazonas Basin. *Geology* 37, 619–622. <https://doi.org/10.1130/G25567A.1>
- Gehrels, G. 2000. Introduction to detrital zircon studies of Paleozoic and Triassic strata in western Nevada and northern California. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 347:1–17.
- Ghazi, S., Mountney, N.P., 2009. Facies and architectural element analysis of a meandering fluvial succession: The Permian Warchha Sandstone, Salt Range, Pakistan. *Sediment Geol* 221, 99–126. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2009.08.002>
- Ghinassi, M., Colombero, L., Mountney, N.P., Reesink, A.J.H., 2018. Sedimentology of meandering river deposits: advances and challenges, in: *Fluvial Meanders and Their Sedimentary Products in the Rock Record*. Wiley, pp. 1–13. <https://doi.org/10.1002/9781119424437.ch1>
- Gioia, S.M.C.L., Pimentel, M.M., 2000. The Sm-Nd isotopic method in the geochronology laboratory of the University of Brasília. *An Acad Bras Cienc* 72, 219–245. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652000000200009>

- Guimarães, J.T.F., Cohen, M.C.L., Pessenda, L.C.R., França, M.C., Smith, C.B., Nogueira, A.C.R., 2012. Mid- and late-Holocene sedimentary process and palaeovegetation changes near the mouth of the Amazon River. *Holocene* 22, 359–370. <https://doi.org/10.1177/0959683611423693>
- Hooke, J.M., 2007. Spatial variability, mechanisms and propagation of change in an active meandering river. *Geomorphology* 84, 277–296. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.005>
- Hoorn, C., 1994. An environmental reconstruction of the palaeo-Amazon River system (Middle-Late Miocene, NW Amazonia), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- Hoorn, C., Guerrero, J., Sarmiento, G.A., Lorente, M.A., 1995. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene northern South America. *Geology* 23, 237–240. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1995\)023<0237:ATAACF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1995)023<0237:ATAACF>2.3.CO;2).
- Hoorn C. & Wesselingh F.P. 2010. Introduction: Amazonia, landscape and species evolution in: Hoorn C & Wesselingh F.P. (eds). *Introduction: Amazonia, landscape and species evolution*. Oxford, Blackwell Publishing Ltd, p.1-8.
- Hoorn, C., Bogotá-A, G.R., Romero-Baez, M., Lammertsma, E.I., Flantua, S.G.A., Dantas, E.L., Dino, R., do Carmo, D.A., Chemale, F., 2017. The Amazon at sea: Onset and stages of the Amazon River from a marine record, with special reference to Neogene plant turnover in the drainage basin. *Global and Planetary Change* 153, 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.02.005>
- Hoorn, C., Kukla, T., Bogotá-Angel, G., van Soelen, E., González-Arango, C., Wesselingh, F.P., Vonhof, H., Val, P., Morcote-Rios, G., Roddaz, M., Dantas, E.L., Santos, R.V., Sinninghe Damsté, J.S., Kim, J.H., Morley, R.J., 2022. Cyclic sediment deposition by orbital forcing in the Miocene wetland of western Amazonia? New insights from a multidisciplinary approach. *Glob Planet Change* 210. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103717>
- Horbe, A.M.C., Motta, M.B., de Almeida, C.M., Dantas, E.L., Vieira, L.C., 2013. Provenance of Pliocene and recent sedimentary deposits in western Amazonian, Brazil: Consequences for the paleodrainage of the Solimões-Amazonas River. *Sediment Geol* 296, 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.07.007>
- Horbe, A.M.C., da Trindade, I.R., Dantas, E.L., Santos, R.V., Roddaz, M., 2014. Provenance of quaternary and modern alluvial deposits of the Amazonian floodplain (Brazil) inferred from major and trace elements and Pb-Nd-Sr isotopes. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 411, 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.06.019>
- Horton, B. K. 2018. Sedimentary record of Andean Mountain building. *Earth-Science Reviews*, 178, 279-309.
- Holz, M. 2012. *Estratigrafia de Sequências: Histórico, Princípios e Aplicações*. Editora Interciência, Salvador, 272 p.
- Hurtado, C., Roddaz, M., Santos, R.V., Baby, P., Antoine, P.O., Dantas, E.L., 2018. Cretaceous-early Paleocene drainage shift of Amazonian rivers driven by

- Equatorial Atlantic Ocean opening and Andean uplift as deduced from the provenance of northern Peruvian sedimentary rocks (Hualлага basin). *Gondwana Research* 63, 152–168. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2018.05.012>.
- Hurford A. J., Fitch, F. J., Clarke, A., 1984. Resolution of the age structure of the detrital zircon populations of two Lower Cretaceous sandstones from the Weald of England by fission track dating. *Geol. Mag.* 121, 269-277.
- Jackson, R. G. 1981. Sedimentology of muddy fine-grained channel deposits in meandering streams of the American Middle West. *Journal of Sedimentary Research*, 51(4), 1169-1192.
- Jackson, S.E., Pearson, N.J., Griffin, W.L., Belousova, E.A., 2004. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. *Chem. Geol.* 211, 47–69. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.017>.
- Kern, A.K., Gross, M., Galeazzi, C.P., Pupim, F.N., Sawakuchi, A.O., Almeida, R.P., Piller, W.E., Kuhlmann, G.G., Basei, M.A.S., 2020. Re-investigating Miocene age control and paleoenvironmental reconstructions in western Amazonia (northwestern Solimões Basin, Brazil). *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 545. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109652>
- Klein, E.L., Moura, C.A.V., Pinheiro, B.L.S., 2005. Paleoproterozoic Crustal Evolution of the São Luís Craton, Brazil: Evidence from Zircon Geochronology and Sm-Nd Isotopes. *Gondwana Research* 8, 177–186. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)71116-3](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)71116-3).
- Klein, E.L., Lopes, E.C.S., Rodrigues, J.B., Souza-Gaia, S.M., Cordani, U.G., 2020. Rhyacian and Neoproterozoic magmatic associations of the Gurupi Belt, Brazil: Implications for the tectonic evolution, and regional correlations. *Geoscience Frontiers* 11, 2243–2269. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.02.016>.
- Klein, E.L., Rodrigues, J.B., Lopes, E.C.S., Gusmão de Oliveira, R., Souza-Gaia, S.M., de Oliveira, L.B.T., 2020b. Age, provenance and tectonic setting of metasedimentary sequences of the Gurupi Belt and São Luís cratonic fragment, northern Brazil: Broadening the understanding of the Proterozoic-early Cambrian tectonic evolution. *Precambrian Res.* 351, 105950 <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105950>.
- Kooijman, E.; Berndt, J.; Mezger, K. 2012. U-Pb dating of zircon by laser ablation ICP-MS: recent improvements and new insights. *Eur. J. Mineral.* 24, 5–21.
- Košler, J.; Fonneland, H.; Sylvester, P.; Tubrett, M.; Rolf-Birger Pedersen. 2002. U–Pb dating of detrital zircons for sediment provenance studies—a comparison of laser ablation ICPMS and SIMS techniques. *Chemical Geology* 182: 605–618.
- Košler J. & Sylvester P.J. 2003. Present Trends and the Future of Zircon in Geochronology: Laser Ablation ICPMS. In: Hanchar, J.M., Hoskin, P.W.O. (Eds.), *Zircon. Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, Washington, 143-175.
- Loiola, I.A.N.N., Macambira, M.J.B., Nogueira, A.C.R., 2013. Estratigrafia e Análise de fácies e proveniência das unidades litoestratigráficas aflorantes na região de Presidente Figueiredo-Am, borda norte da Bacia do Amazonas.

- Louterbach, M., Roddaz, M., Antoine, P.-O., Marivaux, L., Adnet, S., Bailleul, J., Dantas, E., Santos, R.V., Chemale, F., Baby, P., Sanchez, C., Calderon, Y., 2018. Provenance record of late Maastrichtian-late Palaeocene Andean Mountain building in the Amazonian retroarc foreland basin (Madre de Dios basin, Peru). *Terra Nova* 30, 17–23. <https://doi.org/10.1111/ter.12303>.
- Latrubesse, E. M., & Franzinelli, E. 2002. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. *Geomorphology*, 44(3-4), 241-257.
- Ludwig K.R. 2003. Isoplot 3.0 A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkley. Geochronology Center, Special Publications No. 4.
- Mapes, R.W., Coleman, D., Glazner, A., Wagner, L., Meyers, S., Cox, R., 2006. Past And Present Provenance Of The Amazon River.
- Mendes, A.C., Truckenbrodt, W., Nogueira, A.C., 2012. Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* 42, 39–57.
- Mendes, A.C., 2015. Fácies e Proveniência de depósitos siliciclásticos cretáceos e neógenos da Bacia do Amazonas: Implicações para a história evolutiva do Proto-Amazons Tese de Doutorado Universidade Federal do Pará.
- Miall, A. D. 1977. A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Science Reviews*, 13(1), 1-62.
- Miall, A.D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits: An attempt to develop a standardized approach to the description and classification of architectural elements. *Earth Science Reviews*, v 22, 261-308.
- Miall, A.D. 1992. Alluvial deposits. In: Walker RG, James NP (eds) *Facies models: response to sea level change*. Geological Association of Canada, St. John's, Newfoundland, 119-142.
- Miall, A.D. 2006. *The geology of fluvial deposits: Sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*. Berlin, Springer-Verlag, 582.
- Moizinho, G.R., Vieira, L.C., Santos, R.V., Nogueira, A.C.R., Dantas, E.L., Roddaz, M., 2022. Provenance of Miocene-Pleistocene siliciclastic deposits in the Eastern Amazonia coast (Brazil) and paleogeographic implications. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 587. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110799>
- Morton, A.C., 1991. Geochemical studies of detrital heavy minerals and their application to provenance studies. In: Morton A.C., Todd, S.P., Haughton, P.D.W. (Eds.), *Developments in Sedimentary Provenance Studies*. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 57, 31–45.
- Munis, M. D. B. 2009. Caracterização geomagnética do Gráben Purus e suas implicações na evolução das bacias do Solimões e do Amazonas (Doctoral dissertation).
- Nogueira, A.C.R., Silveira, R., Guimarães, J.T.F., 2013a. Neogene-Quaternary sedimentary and paleovegetation history of the eastern Solimões Basin, central Amazon region. *J South Am Earth Sci* 46, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2013.05.004>

- Nogueira, A.C.R., Silveira, R., Guimarães, J.T.F., 2013b. Neogene-Quaternary sedimentary and paleovegetation history of the eastern Solimões Basin, central Amazon region. *J South Am Earth Sci* 46, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2013.05.004>
- Petrus, J.A., Kamber, B.S., 2012. VizualAge: A Novel Approach to Laser Ablation ICP-MS U-Pb Geochronology Data Reduction. *Geostand. Geoanalytical Res.* 36, 247–270. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2012.00158.x>.
- Paton, C., Hellstrom, J., Paul, B., Woodhead, J., Hergt, J., 2011. Lolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data. *J. Anal. At. Spectrom.* 26, 2508. <https://doi.org/10.1039/c1ja10172b>.
- Plink-Björklund, P. (2015). Morphodynamics of rivers strongly affected by monsoon precipitation: review of depositional style and forcing factors. *Sedimentary Geology*, 323, 110-147. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.04.004>.
- Roddaz, M., Viers, J., Brusset, S., Baby, P., Hérail, G., 2005a. Sediment provenances and drainage evolution of the Neogene Amazonian foreland basin. *Earth Planet Sci Lett* 239, 57–78. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.08.007>
- Roddaz, M., Baby, P., Brusset, S., Hermoza, W., & Darrozes, J. M. 2005b. Forebulge dynamics and environmental control in Western Amazonia: The case study of the Arch of Iquitos (Peru). *Tectonophysics*, 399(1-4), 87-108.
- Roddaz, M., Hoorn, C., Wesselingh, F.P., Hermoza, W., Mora, A., Baby, P., Parra, M., Christophoul, F., Brusset, S., Espurt, N., 2010. Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past, 1st edition. Edited by Cenozoic sedimentary evolution of the Amazonian foreland basin system.
- Rossetti, D.F., Cohen, M.C.L., Tatum, S.H., Sawakuchi, A.O., Cremon, É.H., Mittani, J.C.R., Bertani, T.C., Munita, C.J.A.S., Tudela, D.R.G., Yee, M., Moya, G., 2015. Mid-Late Pleistocene OSL chronology in western Amazonia and implications for the transcontinental Amazon pathway. *Sediment Geol* 330, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.10.001>
- Rozo, M. G., Nogueira, A. C., & Truckenbrodt, W. (2012). The anastomosing pattern and the extensively distributed scroll bars in the middle Amazon River. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(14), 1471-1488.
- Sacek, V., 2014. Drainage reversal of the Amazon River due to the coupling of surface and lithospheric processes. *Earth Planet Sci Lett* 401, 301–312. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.06.022>
- Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Gaudette, H.E., Groves, D.I., Mcnaughton, N.J., Fletcher, I.R., 2000. A New Understanding of the Provinces of the Amazon Craton Based on Integration of Field Mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology. *Gondwana Research* 3, 453–488. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70755-3](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70755-3).
- Santos, A.E., Rossetti, D., 2008. Origin of the Rio Capim Kaolin based on optical (petrographic and SEM) data. *J. S. Am. Earth Sci.* 26, 329–341. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2008.08.004>.

- Santos, R. L.; 2020. Proveniência sedimentar dos depósitos cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas, região de Ponta do Curuá, Prainha-PA.
- Sarges, R. R., Riccomini, C., & Nogueira, A. C. R. 2007. Depósitos coluviais da região compreendida entre Manaus e Presidente Figueiredo, Estado do Amazonas.
- Sarges, R. R., da Silva, T. M., & Riccomini, C. 2011. Caracterização do relevo da região de Manaus, Amazônia central. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 12(1).
- Sircombe, K.N., 2000. Quantitative comparison of geochronological data using multivariate analysis: a provenance study example from Australia. *Geochim. Cosmochim. Acta* 64, 1593– 1619.
- Sircombe, K. N., and Hazelton, M. L. 2004. Comparison of detrital zircon age distributions by kernel functional estimation. *Sediment. Geol.* 171:91–111.
- Soares, E.A.A., Dino, R., Peres Soares, D., Antonioli, L., Lima Da Silva, M.A., 2015. New sedimentological and palynological data from surface Miocene strata in the central Amazonas Basin area. *Brazilian Journal of Geology* 45, 337–357. <https://doi.org/10.1590/2317-488920150030283>
- Soares, E.A.A., Wahnfried, I., Dino, R., 2016. Estratigrafia de subsuperfície da sequência sedimentar cretáceaneógena das regiões de manaus e itacoatiara, Amazônia Central. *Geologia USP - Serie Cientifica* 16, 23–41. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v16i1p23-41>
- Soares-Jr, A.V., Hasui, Y., Batista Sena COSTA, J., Braz Machado, F., 2011. Evolução Do Rifteamento E Paleogeografia Da Margem Atlântica Equatorial Do Brasil: Triássico Ao Holoceno.
- Shephard, G. E., Müller, R. D., Liu, L., & Gurnis, M. 2010. Miocene drainage reversal of the Amazon River driven by plate–mantle interaction. *Nature Geoscience*, 3(12), 870-875.
- Schoene, B., 2014. U–Th–Pb Geochronology, in: *Treatise on Geochemistry*. Elsevier, pp. 341–378. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00310-7>
- Spencer, C.J., Kirkland, C.L., Taylor, R.J.M., 2016. Strategies towards statistically robust interpretations of in situ U–Pb zircon geochronology. *Geosci. Front.* 7, 581–589. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.11.006>.
- Stacey, J.S., Kramers, J.D., 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *U 15*.
- Tassinari, C.C.G., Macambira, M.J.B., 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes* 22, 174–182. <https://doi.org/10.18814/epiugs/1999/v22i3/004>
- Teixeira, W., Tassinari, C., Cordani, U., Kawashita, K., 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic implications. *Precambrian Res* 42, 213–227. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(89\)90012-0](https://doi.org/10.1016/0301-9268(89)90012-0)
- Tera, F. and Wasserburg, G. J. 1972. U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and problem of initial Pb in lunar rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 14: 281-304.
- Tucker, M.E. 2014. Rochas sedimentares: Guia geológico de campo. Porto Alegre: Bookman, 324.

- Travassos, W.A.S; Barbosa F.C.M. Tectonismo terciário na área de rio Tapajós, Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências, Petrobrás*, v 4, 299-314 1990.
- Van Soelen, E.E., Kim, J.-H., Santos, R.V., Dantas, E.L., Vasconcelos de Almeida, F., Pires, J.P., Roddaz, M., Sinninghe Damsté, J.S., 2017. A 30 Ma history of the Amazon River inferred from terrigenous sediments and organic matter on the Ceará rise. *Earth Planet. Sci. Lett.* 474, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.06.025>.
- Vermeesch, P., 2004. How many grains are needed for a provenance study? *Earth Planet. Sci. Lett.* 224, 441–451. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.05.037>.
- Vermeesch, P., 2012. On the visualisation of detrital age distributions. *Chem. Geol.* 312–313, 190–194. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.04.021>.
- Vermeesch, P., 2013. Multi-sample comparison of detrital age distributions. *Chem. Geol.* 341, 140–146. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.01.010>.
- Vermeesch, P., 2018. Dissimilarity measures in detrital geochronology. *Earth-Sci. Rev.* 178, 310–321. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.027>.
- Walker, R. G. 1990. Facies modeling and sequence stratigraphy: perspective. *Journal of Sedimentary Research*, 60(5).
- Wanderley Filho, J.R., Gonçalves de Melo, J.H., da Fonseca, V.M.M., da Costa Machado, D.M. 2005. Bacias sedimentares brasileiras. *Phoenix* 7, 1–6.
- Weis, D., Kieffer, B., Maerschalk, C., Pretorius, W., Barling, J., 2005. High-precision Pb-Sr-Nd-Hf isotopic characterization of USGS BHVO-1 and BHVO-2 reference materials. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 6. <https://doi.org/10.1029/2004GC000852>
- Wiedenbeck, M., Allé, P., Corfu, F., Griffin, W.L., Meier, M., Oberli, F., Quadt, A.V., Roddick, J.C., Spiegel, W., 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostand. Geoanalytical Res.* 19, 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x>.
- Wizevich, M.C. 1991. Photomosaics of Outcrops: Usefull photographic techniques. V 3, 22-24
- Wesselingh, F.P., Hoorn, C., Kroonenberg, S.B., Antonelli, A., Lundberg, J.G., Vonhof, H.B., Hooghiemstra, H., 2011. On the Origin of Amazonian Landscapes and Biodiversity: A Synthesis, in: *Amazonia: Landscape and Species Evolution*. Wiley-Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK, pp. 419–431. <https://doi.org/10.1002/9781444306408.ch26> .
- Wetherill, G. W. 1956. Discordant uranium-lead ages. *Trans. Am. Geophys. Union*, 37: 320-326.
- Zálan, P.V., 2004. Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras.
- Zimmermann, U., Andersen, T., Madland, M. V., & Larsen, I. S. 2015. The role of U-Pb ages of detrital zircons in sedimentology—An alarming case study for the impact of sampling for provenance interpretation. *Sedimentary Geology*, 320, 38-50.

Yao, J.; Shu, L.; Santosh, M. 2011. Detrital zircon U–Pb geochronology, Hf-isotopes and geochemistry—New clues for the Precambrian crustal evolution of Cathaysia Block, South China. *Gondwana Research* 20, 553–567.

**ANEXOS – DADOS DE U-Pb DOS ZIRCÕES DETRÍTICOS DOS ARENITOS
DA FORMAÇÃO ALTER DO CHÃO VIA LA-ICP-MS**

Anexo 1: Dados U-Pb para amostra AC-02.

Nome Spot	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1s %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1s %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1s %		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2s abs			
AC02-47.FIN2	3.1	-8965.77	-63.46	0.12597	0.71	5.9660	1.3	0.34214	1.0	0.82	2041	25	1897	33	92.1	2041	25
AC02-7.FIN2	1.5	-930.59	-107.64	0.12432	0.75	6.1825	0.9	0.35917	0.7	0.54	2015	27	1978	24	98.1	2015	27
AC02-116.FIN2	1.1	-6012.96	-76.58	0.12378	0.73	6.0477	1.2	0.35186	1.0	0.85	2009	26	1943	33	96.7	2009	26
AC02-12.FIN2	0.9	-400.18	-529.13	0.12254	0.74	5.5131	2.3	0.32694	2.7	0.98	1990	26	1816	87	91.3	1990	26
AC02-53.FIN2	1.0	12767.85	18.14	0.12110	0.77	5.4219	0.9	0.32397	1.3	0.82	1970	27	1808	40	91.8	1970	27
AC02-33.FIN2	1.8	-6464.86	-52.13	0.12033	0.57	5.7000	0.8	0.34149	0.9	0.68	1959	20	1893	30	96.7	1959	20
AC02-76.FIN2	1.0	-4007.63	-64.03	0.12024	1.03	5.7234	1.2	0.34329	1.1	0.61	1957	37	1902	36	97.2	1957	37
AC02-39.FIN2	0.9	-1359.71	-159.53	0.12015	0.84	5.8015	1.2	0.34736	1.1	0.64	1954	30	1921	36	98.3	1954	30
AC02-98.FIN2	0.8	-2329.77	-94.48	0.11997	0.78	5.8493	0.8	0.35288	0.8	0.37	1953	28	1948	28	99.7	1953	28
AC02-31.FIN2	2.7	243.09	526.36	0.12016	1.99	5.2791	1.8	0.31902	2.3	0.44	1951	76	1783	72	91.4	1951	76
AC02-14.FIN2	1.2	-144.09	-492.72	0.11965	1.18	5.4422	1.5	0.32979	0.9	0.65	1943	41	1837	28	94.5	1943	41
AC02-113.FIN2	2.1	-5801.47	-40.68	0.12087	3.29	5.3250	3.1	0.33045	1.6	0.80	1943	93	1839	49	94.7	1943	93
AC02-108.FIN2	0.9	-1031.21	-382.96	0.11919	0.77	5.6491	1.3	0.34683	1.8	0.77	1942	28	1918	61	98.8	1942	28
AC02-81.FIN2	0.8	-7152.19	-41.24	0.11918	0.63	5.8298	0.6	0.35278	0.7	0.54	1942	23	1947	23	100.3	1942	23
AC02-107.FIN2	0.7	-1718.85	-120.30	0.11921	0.79	5.7838	1.7	0.35437	1.8	0.82	1941	28	1953	62	100.6	1941	28
AC02-23.FIN2	1.5	-129.61	-1000.08	0.11928	0.85	5.3049	1.0	0.32160	0.5	0.46	1941	29	1797	16	92.6	1941	29
AC02-109.FIN2	1.0	-11614.84	-29.67	0.11870	0.44	5.8943	1.0	0.35797	0.9	0.89	1935	16	1972	29	101.9	1935	16
AC02-105.FIN2	1.2	-25750.16	-42.06	0.11870	0.53	6.0389	0.6	0.36662	0.9	0.67	1934	19	2013	31	104.0	1934	19
AC02-79.FIN2	1.7	-7226.01	-73.12	0.11890	1.35	5.5161	1.0	0.33442	1.0	0.07	1934	47	1859	32	96.1	1934	47
AC02-118.FIN2	0.6	-9488.13	-42.25	0.11863	0.56	5.9157	1.0	0.35755	1.0	0.63	1934	20	1970	33	101.9	1934	20
AC02-68.FIN2	1.4	229.07	252.13	0.11917	1.81	5.5514	1.9	0.34062	1.4	0.30	1932	61	1888	45	97.8	1932	61
AC02-38.FIN2	1.0	-5372.52	-45.05	0.11839	0.63	5.6255	0.5	0.34284	0.5	0.54	1930	23	1900	17	98.5	1930	23
AC02-9.FIN2	0.7	143.03	1890.74	0.11808	0.51	5.6369	0.7	0.34399	0.8	0.73	1929	20	1905	27	98.7	1929	20
AC02-54.FIN2	0.9	-8012.33	-53.01	0.11825	0.95	5.4086	0.8	0.33125	0.9	0.78	1926	34	1844	30	95.7	1926	34

Nome Spot	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s %		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s abs			
AC02-75.FIN2	0.6	-18145.32	-37.86	0.11800	0.75	5.5986	0.6	0.34347	0.7	0.42	1924	27	1903	24	98.9	1924	27
AC02-83.FIN2	2.6	-12782.21	-52.67	0.11770	0.51	5.2540	0.6	0.32208	0.7	0.70	1920	18	1800	22	93.7	1920	18
AC02-106.FIN2	0.9	-3273.75	-114.05	0.11719	0.74	5.6891	0.7	0.35491	1.0	0.54	1918	23	1957	34	102.1	1918	23
AC02-1.FIN2	0.8	234.96	553.68	0.11761	0.66	5.6077	0.8	0.34512	0.9	0.72	1917	24	1910	31	99.6	1917	24
AC02-103.FIN2	0.9	-3022.42	-78.10	0.11753	0.48	5.4395	0.8	0.33612	0.7	0.81	1917	17	1867	22	97.4	1917	17
AC02-87.FIN2	1.8	-1966.14	-123.79	0.11735	0.70	5.5525	0.8	0.34341	0.8	0.68	1914	25	1903	27	99.4	1914	25
AC02-30.FIN2	1.1	-4084.53	-45.10	0.11736	0.75	5.3341	1.1	0.32849	0.9	0.58	1913	26	1830	28	95.7	1913	26
AC02-10.FIN2	1.0	-3801.67	-45.03	0.11696	0.50	5.4648	0.8	0.33845	0.7	0.79	1908	18	1879	22	98.5	1908	18
AC02-104.FIN2	0.7	-4879.98	-38.94	0.11696	0.55	5.6519	0.8	0.34994	0.7	0.49	1908	20	1934	25	101.4	1908	20
AC02-35.FIN2	1.4	2948.96	142.77	0.11677	0.89	5.7023	0.8	0.35363	0.5	0.09	1905	32	1952	18	102.5	1905	32
AC02-86.FIN2	0.2	-43777.27	-40.23	0.11675	0.76	5.5757	0.8	0.34418	1.1	0.71	1905	27	1906	36	100.1	1905	27
AC02-29.FIN2	1.6	-2245.72	-94.86	0.11647	0.50	5.4254	0.8	0.33592	0.8	0.76	1904	19	1866	26	98.0	1904	19
AC02-91.FIN2	2.8	-4438.28	-50.41	0.11667	0.77	5.3161	0.9	0.33015	1.1	0.78	1903	28	1838	34	96.6	1903	28
AC02-34.FIN2	1.1	-9806.72	-46.63	0.11647	0.49	5.6304	1.0	0.34908	0.9	0.84	1901	17	1929	31	101.5	1901	17
AC02-97.FIN2	1.0	-3266.87	-41.07	0.11644	0.72	5.3685	0.9	0.33519	1.1	0.66	1899	25	1862	35	98.1	1899	25
AC02-73.FIN2	1.8	-1465.37	-82.17	0.11651	1.03	5.4075	1.1	0.33433	0.8	0.41	1899	36	1859	25	97.9	1899	36
AC02-115.FIN2	1.2	-5056.38	-106.38	0.11634	0.63	5.5069	0.6	0.34375	0.6	0.14	1898	21	1904	20	100.3	1898	21
AC02-94.FIN2	0.3	-11291.72	-62.17	0.11630	0.49	5.3635	0.4	0.33264	0.4	0.14	1898	18	1851	12	97.5	1898	18
AC02-65.FIN2	1.5	-1127.09	-75.93	0.11638	1.56	5.4999	4.2	0.33364	3.6	0.79	1895	56	1851	113	97.7	1895	56
AC02-56.FIN2	0.8	-64173.41	-35.75	0.11617	0.93	5.4630	1.4	0.33648	1.6	0.84	1895	34	1868	52	98.6	1895	34
AC02-77.FIN2	1.1	-2767.59	-90.78	0.11602	0.69	5.4336	0.6	0.33749	0.7	0.41	1893	25	1874	22	99.0	1893	25
AC02-36.FIN2	0.9	-6231.25	-51.77	0.11605	0.71	5.2467	0.8	0.32885	0.8	0.47	1893	25	1832	26	96.8	1893	25
AC02-74.FIN2	1.8	-1298.87	-204.87	0.11599	0.96	5.3305	1.1	0.33154	1.1	0.63	1893	35	1845	37	97.5	1893	35
AC02-46.FIN2	1.5	-741.33	-69.19	0.11567	1.20	5.4346	1.2	0.33955	1.3	0.51	1892	40	1883	43	99.5	1892	40
AC02-117.FIN2	1.3	-5094.69	-41.17	0.11538	0.66	5.4569	0.8	0.34021	0.7	0.45	1891	19	1887	22	99.8	1891	19

Nome Spot	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1s %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1s %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1s %		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2s abs			
AC02-82.FIN2	4.2	-5026.32	-100.05	0.11580	0.53	5.4118	0.6	0.33569	0.5	0.26	1891	19	1866	16	98.7	1891	19
AC02-51.FIN2	0.9	-8088.02	-141.44	0.11559	0.97	5.2561	0.7	0.33070	0.6	0.31	1886	35	1842	20	97.7	1886	35
AC02-90.FIN2	2.2	-4539.24	-62.96	0.11550	0.71	5.3538	0.9	0.33443	0.7	0.62	1885	25	1860	24	98.6	1885	25
AC02-41.FIN2	1.4	-4218.95	-63.21	0.11534	0.54	5.4685	0.6	0.34248	0.6	0.55	1883	19	1898	18	100.8	1883	19
AC02-63.FIN2	1.7	-2246.85	-107.62	0.11527	0.53	5.4841	0.9	0.34472	0.9	0.78	1882	19	1909	30	101.4	1882	19
AC02-4.FIN2	1.6	2010.82	293.56	0.10765	4.08	5.4203	4.2	0.34529	1.9	-0.34	1882	16	1908	64	101.4	1882	16
AC02-119.FIN2	1.6	-2047.17	-68.80	0.11486	0.76	5.3971	0.7	0.33809	0.5	0.29	1881	25	1877	17	99.8	1881	25
AC02-50.FIN2	1.4	-2374.86	-68.86	0.11422	1.99	5.2315	1.7	0.33461	2.5	0.36	1880	91	1857	80	98.8	1880	91
AC02-114.FIN2	1.2	-5345.74	-51.93	0.11369	0.58	5.2145	0.9	0.33247	0.8	0.29	1880	38	1850	26	98.4	1880	38
AC02-37.FIN2	1.5	-10340.88	-52.57	0.11522	0.92	5.3595	0.8	0.33668	0.9	0.29	1880	33	1870	28	99.5	1880	33
AC02-111.FIN2	0.7	560.04	1031.16	0.11475	0.57	5.3315	0.8	0.33597	0.8	0.75	1879	18	1867	27	99.4	1879	18
AC02-80.FIN2	1.5	728.67	168.81	0.11534	2.34	5.1460	1.9	0.32165	1.5	0.04	1878	84	1797	46	95.7	1878	84
AC02-84.FIN2	1.6	-4027.37	-51.80	0.11504	0.73	5.4053	1.0	0.33717	0.8	0.73	1878	26	1873	27	99.7	1878	26
AC02-49.FIN2	2.2	-6437.81	-62.43	0.11497	0.47	5.3832	0.5	0.33800	0.5	0.71	1877	17	1877	17	100.0	1877	17
AC02-13.FIN2	1.5	-3451.08	-54.01	0.11498	0.51	5.3755	0.9	0.33772	1.0	0.85	1877	18	1875	32	99.9	1877	18
AC02-42.FIN2	2.0	-14348.98	-35.31	0.11495	0.48	5.3721	0.6	0.33676	0.6	0.66	1877	17	1871	20	99.7	1877	17
AC02-67.FIN2	0.7	-1028.01	-111.46	0.11494	0.89	5.4167	0.9	0.34010	0.7	0.02	1876	32	1887	24	100.6	1876	32
AC02-43.FIN2	2.0	-5201.34	-42.02	0.11486	0.71	5.5699	1.1	0.35113	1.1	-0.10	1875	25	1939	36	103.4	1875	25
AC02-70.FIN2	1.7	-8046.56	-57.84	0.11482	0.56	5.0440	0.5	0.31781	0.5	0.45	1875	20	1779	14	94.9	1875	20
AC02-26.FIN2	1.7	-337.78	-319.52	0.11484	0.69	5.2848	0.7	0.33312	0.4	0.23	1875	25	1853	14	98.9	1875	25
AC02-78.FIN2	1.9	-7244.87	-52.66	0.11473	0.53	5.3487	0.5	0.33596	0.6	0.69	1873	19	1867	20	99.7	1873	19
AC02-32.FIN2	1.5	-82.92	-1488.80	0.11467	0.55	5.2269	1.0	0.32961	1.1	0.57	1872	20	1835	35	98.0	1872	20
AC02-110.FIN2	1.1	-12470.13	-43.38	0.11460	0.36	5.4557	0.7	0.34413	0.7	0.88	1872	13	1906	24	101.8	1872	13
AC02-24.FIN2	1.6	-2799.29	-75.78	0.11479	0.94	5.2701	2.2	0.33207	1.7	0.95	1872	34	1846	52	98.6	1872	34
AC02-22.FIN2	1.0	871.29	135.00	0.11467	0.65	5.2455	0.9	0.33088	0.9	0.72	1872	24	1842	28	98.4	1872	24

Nome Spot	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s %		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s abs			
AC02-6.FIN2	0.9	-1125.79	-60.77	0.11467	0.66	5.1295	0.7	0.32274	0.7	0.63	1871	24	1808	21	96.6	1871	24
AC02-59.FIN2	1.1	-3017.54	-59.12	0.11464	0.92	5.2485	0.9	0.33283	1.1	-0.08	1871	34	1851	35	99.0	1871	34
AC02-55.FIN2	0.2	-39118.40	-40.18	0.11452	0.50	5.2894	1.6	0.33408	1.5	0.95	1870	18	1856	50	99.2	1870	18
AC02-21.FIN2	1.4	-87.80	-970.05	0.11425	0.72	5.2881	1.2	0.33495	1.2	0.80	1870	24	1861	39	99.5	1870	24
AC02-72.FIN2	1.3	-2599.09	-36.36	0.11468	0.93	5.4632	0.9	0.34386	1.0	0.70	1870	34	1904	35	101.8	1870	34
AC02-89.FIN2	2.1	-5717.41	-63.06	0.11458	0.97	5.1575	1.1	0.32443	0.8	0.46	1870	35	1811	24	96.8	1870	35
AC02-88.FIN2	1.0	-446.56	-133.86	0.11459	0.87	5.1415	1.1	0.32372	1.0	0.66	1870	32	1807	33	96.7	1870	32
AC02-16.FIN2	1.7	-326.64	-275.64	0.11446	0.65	5.2068	0.9	0.32826	0.8	0.28	1868	23	1829	27	97.9	1868	23
AC02-40.FIN2	1.6	1467.28	382.97	0.11448	0.99	5.5876	0.7	0.35029	0.9	0.37	1868	36	1936	28	103.6	1868	36
AC02-15.FIN2	1.5	-758.12	-166.09	0.11440	0.63	5.3106	0.9	0.33527	0.8	0.71	1867	23	1863	25	99.8	1867	23
AC02-66.FIN2	1.7	-3763.20	-33.05	0.11440	0.71	5.3714	0.9	0.33946	1.0	0.71	1867	26	1883	32	100.8	1867	26
AC02-27.FIN2	1.1	-5298.46	-78.50	0.11433	0.67	5.2507	0.8	0.33258	0.6	0.54	1867	25	1851	21	99.1	1867	25
AC02-60.FIN2	2.1	-336.62	-124.83	0.11461	1.88	5.4561	2.5	0.34315	2.4	0.47	1865	65	1899	79	101.8	1865	65
AC02-99.FIN2	2.2	-8525.12	-40.94	0.11441	1.48	5.0321	1.6	0.32002	1.3	0.14	1865	33	1789	41	95.9	1865	33
AC02-58.FIN2	1.5	-4675.72	-49.82	0.11418	0.71	5.1471	0.8	0.32647	1.0	0.71	1864	26	1820	31	97.7	1864	26
AC02-25.FIN2	1.5	-923.51	-164.32	0.11420	0.73	5.2790	0.8	0.33494	0.8	0.52	1864	26	1862	26	99.9	1864	26
AC02-71.FIN2	1.1	-1835.14	-66.74	0.11424	0.96	5.3629	0.8	0.33874	0.8	0.32	1864	35	1880	27	100.9	1864	35
AC02-85.FIN2	1.3	-1410.90	-140.66	0.11385	0.75	5.6009	0.6	0.35533	0.7	0.32	1859	28	1960	24	105.4	1859	28
AC02-17.FIN2	1.0	789.57	902.93	0.11321	0.79	5.1412	1.3	0.32881	1.1	0.77	1854	31	1832	34	98.8	1854	31
AC02-19.FIN2	0.9	-5924.16	-75.12	0.11231	0.84	5.2731	0.6	0.33764	0.6	0.09	1846	20	1875	21	101.6	1846	20
AC02-52.FIN2	1.6	-6551.96	-58.71	0.11305	1.20	5.0160	0.6	0.32322	1.1	0.76	1845	43	1822	47	98.7	1845	43
AC02-44.FIN2	1.6	-609.76	-103.12	0.11321	1.14	5.3013	1.2	0.33877	1.0	0.42	1844	40	1887	30	102.3	1844	40
AC02-69.FIN2	0.5	-9603.16	-62.34	0.11270	1.22	5.1560	1.0	0.33337	0.9	0.55	1839	43	1854	29	100.8	1839	43
AC02-93.FIN2	2.0	-4571.53	-41.22	0.11246	0.83	5.0060	1.0	0.32125	0.8	0.91	1836	30	1795	25	97.8	1836	30
AC02-100.FIN2	1.3	-2840.96	-103.29	0.11028	0.82	4.8156	1.5	0.31513	1.5	0.75	1801	29	1764	48	98.0	1801	29

Nome Spot	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1s %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1s %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1s %		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2s abs			
AC02-3.FIN2	0.4	-5908.83	-54.00	0.10202	1.07	3.9788	2.1	0.28043	1.1	0.92	1654	39	1593	31	96.3	1654	39
AC02-2.FIN2	0.9	172.54	519.64	0.09573	0.74	3.5065	1.2	0.26437	1.1	0.76	1538	28	1511	29	98.2	1511	29
AC02-92.FIN2	0.1	-33128.87	-47.23	0.09309	0.66	3.5636	0.6	0.27631	0.5	0.09	1488	25	1573	15	105.7	1573	15
AC02-20.FIN2	0.1	6299.75	147.12	0.09200	0.60	3.3415	2.5	0.26139	2.7	0.98	1466	23	1495	72	102.0	1495	72
AC02-5.FIN2	0.2	-2529.95	-171.53	0.09159	0.72	3.6386	0.7	0.28734	0.7	0.49	1457	27	1628	19	111.8	1628	19
AC02-112.FIN2	0.3	-8431.88	-71.14	0.09100	0.61	3.2650	1.0	0.25905	0.7	0.80	1444	23	1485	18	102.9	1485	18
AC02-18.FIN2	1.8	8837.48	27.68	0.11691	0.60	4.7457	1.1	0.29590	1.4	0.90	1907	21	1669	42	87.5		
AC02-11.FIN2	1.7	1339.35	151.47	0.12079	0.94	5.0518	1.6	0.30146	1.2	0.81	1965	34	1698	35	86.4		
AC02-96.FIN2	2.5	4390.88	30.79	0.12514	0.86	5.2226	2.0	0.30186	2.6	0.96	2029	31	1699	77	83.7		
AC02-64.FIN2	4.5	2678.25	48.33	0.12060	1.38	4.8102	2.8	0.28805	2.3	0.87	1963	49	1631	68	83.1		
AC02-57.FIN2	1.7	-4625.91	-107.14	0.11620	0.90	4.4031	1.3	0.27701	1.8	0.65	1896	32	1575	49	83.1		
AC02-95.FIN2	3.4	-8144.72	-130.91	0.12188	1.41	4.8619	2.8	0.28836	2.9	0.87	1982	51	1633	84	82.4		
AC02-45.FIN2	1.9	478.79	2221.94	0.11883	0.60	4.3932	3.6	0.26774	3.8	0.99	1936	22	1520	105	78.5		
AC02-120.FIN2	1.4	963.76	56.81	0.11227	1.59	3.7145	1.5	0.23849	1.5	0.39	1832	57	1379	36	75.2		
AC02-28.FIN2	1.8	-3531.39	-56.43	0.12615	2.82	3.2129	2.8	0.18419	2.6	0.55	2030	93	1089	53	53.6		
AC02-101.FIN2	0.9	-3640.52	-97.06	0.10780	0.62	2.3415	2.2	0.15596	1.8	0.93	1760	23	934	31	53.0		
AC02-62.FIN2	1.3	616.01	11.03	0.13119	2.30	3.0676	1.8	0.17026	2.4	0.43	2103	80	1013	45	48.2		
AC02-8.FIN2	3.4	856.37	9.35	0.12448	0.69	2.4779	2.3	0.14425	2.7	0.98	2018	25	867	44	43.0		
AC02-102.FIN2	5.3	663.93	7.94	0.17666	0.91	4.2797	3.5	0.17535	3.9	0.98	2621	30	1041	75	39.7		
AC02-61.FIN2	0.2	345.19	6.46	0.13311	0.89	2.2680	1.1	0.12336	1.6	0.81	2138	32	750	22	35.1		
AC02-48.FIN2	1.0	123.82	2.93	0.19715	1.22	4.3894	1.0	0.16092	1.1	0.33	2800	39	962	19	34.3		

Anexo 2: Dados U-Pb para amostra AC-05.

Nome Spot	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s %		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s abs			
AC05-54.FIN2	2.9	-16392.097	-55.117902	0.12520	0.67	5.9408	0.6	0.34196	0.8	0.59	2029	24	1896	27	93.4	2029	24
AC05-27.FIN2	0.2	3925.2712	7.5064966	0.12485	0.48	5.8014	1.5	0.33437	1.5	0.92	2025	17	1858	49	91.8	2025	17
AC05-22.FIN2	1.4	-4064.8511	-72.347315	0.12463	1.88	5.7664	2.1	0.34623	0.8	0.40	2016	57	1916	28	95.1	2016	57
AC05-31.FIN2	2.3	-886.32599	-456.26813	0.12409	0.88	5.7266	0.8	0.33337	0.7	0.16	2013	31	1854	23	92.1	2013	31
AC05-20.FIN2	2.6	-6091.0322	-61.159383	0.12373	0.61	5.9778	0.6	0.34889	0.6	0.75	2008	22	1929	19	96.1	2008	22
AC05-44.FIN2	1.5	-17017.218	-62.413822	0.12295	0.62	5.5946	0.6	0.32776	0.5	0.41	1997	22	1827	17	91.5	1997	22
AC05-76.FIN2	1.4	57984.194	52.199598	0.12228	1.61	5.9419	1.4	0.34998	1.4	0.34	1985	56	1934	46	97.4	1985	56
AC05-42.FIN2	2.2	-30942.946	-75.602944	0.12169	0.67	5.7325	0.6	0.33952	0.9	0.67	1980	24	1884	29	95.2	1980	24
AC05-88.FIN2	1.1	111695.28	72.053499	0.12169	2.14	5.6293	2.2	0.32968	1.8	0.26	1976	78	1836	58	92.9	1976	78
AC05-25.FIN2	0.8	-13060.525	-68.863717	0.12135	1.11	5.6624	0.7	0.33782	0.9	0.02	1973	38	1876	28	95.1	1973	38
AC05-65.FIN2	1.7	-6940.8288	-103.63554	0.12181	2.51	5.4440	2.5	0.33158	1.8	0.80	1971	82	1845	57	93.6	1971	82
AC05-24.FIN2	1.3	-6343.5329	-73.09614	0.12113	0.57	5.8012	0.6	0.34622	0.8	0.66	1971	20	1916	25	97.2	1971	20
AC05-13.FIN2	1.2	-10594.947	-69.341968	0.12049	0.53	5.7958	1.4	0.35001	1.5	0.94	1962	18	1933	50	98.5	1962	18
AC05-50.FIN2	1.5	-22778.671	-53.93644	0.12046	0.65	5.7895	1.6	0.34598	1.6	0.79	1961	23	1934	64	98.6	1961	23
AC05-18.FIN2	0.8	-2995.2431	-87.870055	0.12023	0.96	5.5860	1.0	0.33568	1.2	0.68	1957	34	1865	40	95.3	1957	34
AC05-63.FIN2	0.6	-118018.66	-42.82769	0.11962	0.39	5.9177	0.7	0.35618	0.8	0.81	1949	14	1964	25	100.7	1949	14
AC05-1.FIN2	1.4	-298.7836	-257.23064	0.11966	1.12	5.6927	1.0	0.34339	0.8	0.24	1945	39	1902	27	97.8	1945	39
AC05-102.FIN2	1.1	9728.3918	52.613273	0.11910	0.65	5.8288	1.3	0.35182	1.1	0.82	1941	23	1942	38	100.1	1941	23
AC05-21.FIN2	0.9	-6025.6024	-78.989322	0.11889	0.53	5.5826	0.6	0.33966	0.4	0.44	1938	19	1885	14	97.2	1938	19
AC05-72.FIN2	1.5	141163.26	45.931782	0.11901	0.71	5.5335	1.6	0.33162	1.9	0.12	1938	26	1843	61	95.1	1938	26
AC05-80.FIN2	1.0	24856.301	55.113567	0.11890	0.57	5.8612	0.9	0.35475	0.8	0.77	1938	20	1957	28	101.0	1938	20
AC05-57.FIN2	1.0	-100108.25	-46.175506	0.11875	0.45	5.8762	0.6	0.35619	0.7	0.47	1936	16	1964	25	101.4	1936	16
AC05-34.FIN2	0.8	-3269.5668	-69.639038	0.11881	1.39	5.5737	1.5	0.34100	1.8	0.62	1932	48	1890	59	97.8	1932	48
AC05-26.FIN2	1.0	-8291.039	-46.995775	0.11830	0.69	5.6215	1.0	0.34380	1.0	0.86	1929	24	1904	33	98.7	1929	24

Nome Spot	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1s %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1s %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1s %		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2s abs			
AC05-7.FIN2	0.7	-14938.091	-39.162713	0.11795	0.40	5.4016	0.5	0.32992	0.5	0.48	1924	14	1838	16	95.5	1924	14
AC05-62.FIN2	2.8	-3146.2779	-102.01518	0.11822	1.81	5.4389	2.1	0.33241	1.3	0.46	1923	65	1850	41	96.2	1923	65
AC05-93.FIN2	3.4	25354.54	33.798175	0.11798	0.74	5.2832	1.0	0.32430	1.0	0.24	1922	27	1810	31	94.1	1922	27
AC05-94.FIN2	0.7	20623.764	78.809881	0.11765	0.60	5.6585	0.9	0.34576	0.9	0.83	1919	22	1914	29	99.7	1919	22
AC05-9.FIN2	1.7	-3927.8923	-37.899652	0.11771	0.77	5.4957	0.7	0.33642	0.6	0.69	1919	27	1869	19	97.4	1919	27
AC05-100.FIN2	1.1	8006.1111	56.146675	0.11743	0.63	5.6046	0.8	0.34566	0.7	0.69	1915	23	1913	25	99.9	1915	23
AC05-67.FIN2	0.8	-149524.14	-42.295498	0.11739	0.70	5.5977	0.7	0.34399	0.6	0.26	1914	25	1906	19	99.6	1914	25
AC05-49.FIN2	0.8	-5044.7829	-35.846701	0.11730	0.73	5.7896	0.7	0.35604	0.8	0.68	1912	26	1963	28	102.6	1912	26
AC05-23.FIN2	1.0	-7345.0826	-176.72571	0.11710	0.40	5.5690	1.2	0.34412	1.3	0.96	1911	14	1905	44	99.7	1911	14
AC05-92.FIN2	2.1	27758.553	35.394851	0.11702	0.60	5.0049	1.0	0.30954	1.2	0.87	1909	21	1737	36	91.0	1909	21
AC05-97.FIN2	1.3	-317.2133	-831.29076	0.11684	0.91	5.6525	1.0	0.35140	1.2	0.63	1906	33	1941	39	101.8	1906	33
AC05-52.FIN2	1.4	-16847.101	-74.199171	0.11640	0.60	5.1365	0.7	0.31780	0.8	0.16	1900	21	1779	25	93.6	1900	21
AC05-11.FIN2	1.4	-8640.3601	-44.938258	0.11641	0.66	5.4843	0.7	0.34004	0.7	0.73	1899	24	1886	24	99.3	1899	24
AC05-56.FIN2	1.0	1235.8491	167.31836	0.11634	0.86	5.6805	2.2	0.35198	2.2	0.92	1899	31	1943	76	102.3	1899	31
AC05-96.FIN2	2.7	81628.772	40.157579	0.11634	0.84	5.3724	1.0	0.33505	1.0	0.84	1898	30	1862	34	98.1	1898	30
AC05-12.FIN2	1.4	-8751.6134	-36.102685	0.11618	0.52	5.4005	0.8	0.33679	0.8	0.85	1896	19	1871	25	98.7	1896	19
AC05-103.FIN2	1.7	15697.237	45.130829	0.11570	1.05	5.4367	1.2	0.33766	1.1	0.47	1896	32	1874	37	98.9	1896	32
AC05-83.FIN2	1.7	34611.429	43.855298	0.11615	0.63	5.5667	0.8	0.34493	0.7	0.19	1895	23	1910	22	100.8	1895	23
AC05-86.FIN2	0.9	40343.727	46.227294	0.11607	0.67	5.2269	1.4	0.32465	1.3	0.88	1894	24	1811	41	95.6	1894	24
AC05-90.FIN2	1.8	4128.8416	67.24031	0.11600	0.77	5.4833	0.8	0.34159	0.7	0.48	1892	28	1894	24	100.1	1892	28
AC05-32.FIN2	1.4	-8743.8356	-59.736869	0.11586	0.55	5.2460	0.9	0.32745	1.0	0.82	1891	20	1825	31	96.5	1891	20
AC05-87.FIN2	1.3	13541.571	75.225614	0.11589	0.81	5.6329	1.1	0.35070	1.0	0.72	1890	30	1937	33	102.5	1890	30
AC05-48.FIN2	1.6	-10248.968	-38.404192	0.11539	0.77	5.4468	1.1	0.33700	1.1	0.58	1890	33	1871	37	99.0	1890	33
AC05-69.FIN2	1.9	6176903.1	157.70261	0.11582	0.73	5.6019	0.7	0.34888	0.5	0.54	1890	26	1929	18	102.1	1890	26
AC05-110.FIN2	2.3	12373.958	37.514331	0.11581	0.64	5.4325	0.6	0.33972	0.6	0.60	1890	23	1885	20	99.7	1890	23

Nome Spot	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s %		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s abs			
AC05-8.FIN2	1.5	-7363.0553	-37.362637	0.11578	0.54	5.4208	1.5	0.33793	1.5	0.95	1890	20	1875	49	99.2	1890	20
AC05-2.FIN2	1.6	-50.48323	-1840.5402	0.11577	0.62	5.4144	1.0	0.33744	0.8	0.84	1890	22	1874	25	99.2	1890	22
AC05-53.FIN2	1.6	-8621.0673	-42.201985	0.11585	1.01	5.3111	1.2	0.32510	1.7	0.34	1888	36	1812	58	96.0	1888	36
AC05-91.FIN2	1.6	20982.692	38.084494	0.11560	0.57	5.2323	0.7	0.32715	0.8	0.53	1887	20	1824	26	96.7	1887	20
AC05-71.FIN2	1.9	119675.14	42.78839	0.11560	0.80	5.3687	0.9	0.33460	0.7	0.90	1886	29	1860	22	98.6	1886	29
AC05-17.FIN2	2.2	-4387.3445	-44.843501	0.11552	0.62	5.3324	0.7	0.33372	0.6	0.28	1886	22	1856	18	98.4	1886	22
AC05-68.FIN2	1.9	-258416.17	-48.938569	0.11549	0.49	5.8466	0.6	0.36492	0.7	0.69	1886	18	2005	23	106.3	1886	18
AC05-46.FIN2	0.8	-11028.367	-44.140375	0.11556	0.82	5.0976	1.0	0.31783	0.7	0.90	1885	29	1779	22	94.4	1885	29
AC05-40.FIN2	2.0	-5003.4773	-47.804116	0.11521	0.71	5.2399	0.5	0.32723	0.5	0.52	1881	25	1825	17	97.0	1881	25
AC05-45.FIN2	2.2	-8156.1092	-37.355426	0.11522	0.73	5.3647	1.0	0.33507	0.8	0.46	1880	26	1862	25	99.0	1880	26
AC05-112.FIN2	1.3	3594.6764	70.393213	0.11517	1.01	5.6176	1.1	0.35253	0.9	0.53	1879	36	1946	31	103.6	1879	36
AC05-70.FIN2	0.9	621980.62	34.924954	0.11519	0.85	5.2363	0.8	0.33021	0.7	0.55	1879	29	1839	23	97.9	1879	29
AC05-114.FIN2	1.1	66492.821	31.430249	0.11505	0.78	5.4382	0.9	0.34034	0.9	0.68	1879	28	1888	30	100.5	1879	28
AC05-120.FIN2	0.9	7103.5722	91.014876	0.11505	1.21	5.4065	1.5	0.33826	1.0	0.57	1878	45	1878	33	100.0	1878	45
AC05-84.FIN2	1.6	149408.01	47.878131	0.11497	0.94	6.3014	1.1	0.39515	1.0	0.62	1877	34	2146	37	114.3	1877	34
AC05-109.FIN2	2.1	18581.249	55.713084	0.11495	0.66	5.4378	0.6	0.34144	0.5	0.30	1877	24	1893	17	100.9	1877	24
AC05-58.FIN2	1.6	-29209.404	-44.340803	0.11480	0.46	5.4107	0.6	0.34024	0.5	0.63	1875	17	1888	18	100.7	1875	17
AC05-60.FIN2	2.3	-15065.139	-47.758055	0.11465	0.59	5.3848	1.0	0.33910	0.9	0.79	1872	21	1882	28	100.5	1872	21
AC05-101.FIN2	1.1	9996.881	49.102208	0.11459	0.77	5.4925	0.9	0.34867	0.9	-0.19	1870	29	1928	29	103.1	1870	29
AC05-30.FIN2	1.5	-2689.6565	-45.398371	0.11464	0.88	5.4546	0.7	0.34417	0.8	0.59	1870	31	1906	25	101.9	1870	31
AC05-36.FIN2	1.7	-7722.6873	-34.292299	0.11445	0.56	5.4021	0.8	0.34064	0.7	0.44	1869	21	1889	24	101.1	1869	21
AC05-66.FIN2	1.1	-28889.802	-68.301458	0.11376	0.74	5.2404	1.0	0.33082	0.9	0.72	1864	30	1842	27	98.8	1864	30
AC05-113.FIN2	1.7	35242.213	58.726942	0.11406	0.77	5.0604	1.6	0.32008	1.7	0.90	1863	28	1789	54	96.0	1863	28
AC05-51.FIN2	1.2	-11647.902	-44.673826	0.11405	0.57	5.0717	1.6	0.32522	0.8	0.37	1863	20	1815	26	97.4	1863	20
AC05-47.FIN2	2.2	-5756.5437	-75.752933	0.11403	0.74	5.0758	1.3	0.31809	1.4	0.76	1862	26	1780	43	95.6	1862	26

Nome Spot	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s %		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s abs			
AC05-41.FIN2	0.8	-18709.765	-38.589257	0.11383	0.73	5.5641	1.2	0.35282	0.9	0.52	1859	27	1948	31	104.8	1859	27
AC05-61.FIN2	1.0	-12278.124	-57.246282	0.11286	0.90	5.2419	0.8	0.33560	0.8	0.56	1851	28	1874	31	101.2	1851	28
AC05-35.FIN2	3.3	-2875.8026	-63.409499	0.11375	2.23	5.2513	3.0	0.33419	3.0	0.82	1845	75	1853	101	100.4	1845	75
AC05-119.FIN2	1.1	1106.3662	108.00266	0.11215	1.21	5.0282	1.1	0.32000	1.2	0.60	1830	45	1789	38	97.8	1830	45
AC05-59.FIN2	0.7	-53192.241	-110.23388	0.11124	0.84	4.9488	1.3	0.32151	1.1	0.77	1818	30	1797	36	98.8	1818	30
AC05-33.FIN2	2.5	-3572.0446	-60.051061	0.10712	0.92	4.6083	1.7	0.31494	1.2	0.85	1748	34	1764	38	100.9	1748	34
AC05-10.FIN2	0.3	-7583.0865	-67.762364	0.09121	0.57	3.2035	0.7	0.25331	0.6	0.43	1449	22	1455	14	100.5	1449	22
AC05-116.FIN2	0.1	5732.9957	78.518294	0.08834	1.90	3.3703	6.0	0.26633	5.6	0.95	1378	76	1567	180	113.7		
AC05-115.FIN2	1.2	2023.4842	69.898007	0.11599	0.94	4.8401	1.8	0.30107	2.0	0.95	1892	34	1695	60	89.6		
AC05-75.FIN2	3.0	82042.682	37.183478	0.11719	0.85	4.8856	2.2	0.30090	2.5	0.95	1911	30	1693	76	88.6		
AC05-4.FIN2	2.1	-1256.4427	-114.48213	0.11706	0.81	4.8127	1.7	0.29922	1.6	0.74	1909	29	1686	47	88.3		
AC05-19.FIN2	0.6	-14281.325	-104.27241	0.12210	1.02	5.2514	1.2	0.31015	1.5	0.73	1985	37	1741	46	87.7		
AC05-37.FIN2	1.3	-3116.5059	-71.258479	0.11196	0.49	4.3488	1.7	0.27989	1.5	0.96	1829	18	1589	43	86.9		
AC05-3.FIN2	0.3	-12598.002	-52.50943	0.09453	0.73	2.9079	1.6	0.22227	1.9	0.92	1516	27	1292	45	85.3		
AC05-16.FIN2	1.2	6586.6962	21.309308	0.11872	0.97	4.7781	1.8	0.29014	1.3	0.85	1935	36	1642	39	84.9		
AC05-111.FIN2	2.3	2412.4396	16.652079	0.12134	1.59	4.9502	3.6	0.29466	3.3	0.87	1971	54	1662	98	84.3		
AC05-81.FIN2	2.8	19178.18	90.332381	0.12769	0.80	5.4712	1.0	0.30855	1.3	0.75	2064	29	1733	38	84.0		
AC05-118.FIN2	1.4	87354.165	30.126915	0.11579	0.43	4.3736	1.6	0.27222	1.5	0.96	1891	16	1552	40	82.0		
AC05-78.FIN2	0.8	1132.4429	5.6679931	0.13362	0.80	5.5953	1.4	0.30258	1.9	0.94	2143	27	1702	56	79.4		
AC05-77.FIN2	2.2	1913.0498	9.7129957	0.12941	0.62	5.2641	1.5	0.29100	1.4	0.92	2087	22	1654	44	79.3		
AC05-29.FIN2	3.2	2383.7534	8.9844293	0.12251	0.54	4.6184	1.4	0.27252	1.3	0.92	1992	19	1553	37	78.0		
AC05-6.FIN2	0.8	11369.986	8.8284197	0.12532	0.40	4.7784	1.5	0.27485	1.5	0.96	2035	12	1564	41	76.8		
AC05-104.FIN2	2.4	2908.2532	69.525745	0.12179	1.02	4.4622	2.0	0.26524	1.9	0.87	1978	35	1515	49	76.6		
AC05-15.FIN2	1.4	-2964.7035	-55.116328	0.11211	0.60	3.7665	1.3	0.24303	1.3	0.95	1832	22	1402	34	76.5		
AC05-85.FIN2	1.8	3070.9345	27.551166	0.12282	0.83	4.3454	2.3	0.25586	2.7	0.96	1995	30	1466	72	73.5		

Nome Spot	Th/U	206Pb/204Pb	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				207Pb/206Pb	1s %	207Pb/235U	1s %	206Pb/238U	1s %		207Pb/206Pb	2s abs	206Pb/238U	2s abs			
AC05-28.FIN2	5.1	3237.3536	124.37474	0.12868	0.64	4.6670	0.9	0.26258	1.1	0.81	2078	22	1503	29	72.3		
AC05-74.FIN2	3.8	1021.9037	8.9827921	0.12908	1.14	4.6412	6.7	0.26047	7.5	0.99	2083	40	1485	198	71.3		
AC05-73.FIN2	1.2	1606.4801	17.225359	0.13189	1.86	4.7303	1.9	0.26052	3.2	0.85	2115	66	1489	86	70.4		
AC05-95.FIN2	1.0	18024.078	74.22562	0.11805	0.78	3.7786	1.4	0.23151	1.5	0.86	1924	28	1342	35	69.7		
AC05-14.FIN2	0.6	22268.391	21.670256	0.12248	0.67	4.0603	1.1	0.23957	1.3	0.86	1990	24	1384	32	69.5		
AC05-89.FIN2	2.2	5084.6535	27.060042	0.12326	1.62	4.0359	2.3	0.23645	3.1	0.87	1998	58	1366	78	68.4		
AC05-98.FIN2	2.8	1667.2269	36.114047	0.13191	1.41	4.2919	2.0	0.23642	2.2	0.78	2119	50	1367	54	64.5		
AC05-106.FIN2	0.6	12781.556	81.769138	0.11815	2.65	3.4024	1.7	0.20933	2.5	0.24	1919	97	1225	56	63.8		
AC05-39.FIN2	1.9	215.93542	2.1948226	0.17474	0.55	6.4203	1.1	0.26465	1.0	0.86	2608	15	1513	27	58.0		
AC05-64.FIN2	1.3	1067.6222	10.758513	0.12635	0.73	3.5652	3.3	0.20284	3.6	0.97	2057	34	1188	77	57.8		
AC05-105.FIN2	0.8	1544.0813	21.264084	0.11980	2.51	3.0313	5.2	0.18385	5.0	0.89	1939	91	1084	101	55.9		
AC05-43.FIN2	2.4	1590.5006	8.2577835	0.11889	0.58	2.7883	4.0	0.16837	3.6	0.99	1938	21	1000	67	51.6		
AC05-82.FIN2	2.9	333.66209	4.598525	0.16306	1.01	4.8094	0.9	0.21252	1.2	0.31	2485	34	1242	27	50.0		
AC05-79.FIN2	1.1	2975.2924	31.911688	0.11243	0.72	2.2689	4.8	0.14512	4.6	0.99	1836	26	870	75	47.4		
AC05-38.FIN2	3.5	395.49754	8.9715293	0.15313	1.31	3.9957	1.8	0.18678	2.1	0.79	2373	46	1103	42	46.5		
AC05-5.FIN2	4.1	852.30025	4.6667473	0.13600	0.98	2.8305	2.6	0.15071	3.1	0.96	2173	34	903	53	41.6		
AC05-108.FIN2	5.6	694.32684	15.214713	0.14214	1.77	2.7832	5.1	0.14385	6.3	0.97	2247	61	863	102	38.4		
AC05-107.FIN2	4.2	360.36736	5.8830653	0.15491	1.54	2.0844	2.8	0.09790	4.2	0.97	2397	53	602	48	25.1		
AC05-99.FIN2	1.9	527.79326	4.7015767	0.13096	1.18	1.0700	2.1	0.05926	2.0	0.83	2106	43	371	14	17.6		

Anexo 3: Dados U-Pb para amostra AC-07.

Nome Spot	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s %		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s abs			
AC07-27.FIN2	2.7	1164.2719	4.196547	0.12827	1.11	6.6529	2.6	0.37476	2.4	0.91	2072	39	2050	84	98.9	2072	39
AC07-81.FIN2	0.8	1360.1716	6.1759714	0.12529	2.35	5.6987	3.3	0.32968	4.7	0.86	2030	85	1835	150	90.4	2030	85
AC07-10.FIN2	1.0	17934.806	19.87212	0.12325	0.66	6.1915	1.1	0.36191	1.3	0.87	2002	23	1990	45	99.4	2002	23
AC07-9.FIN2	0.6	158565.42	75.942692	0.12288	1.54	6.1741	1.5	0.36138	1.3	0.41	1996	54	1988	43	99.6	1996	54
AC07-113.FIN2	1.4	-8873.3645	-246.75271	0.12227	1.50	5.7089	1.1	0.33673	1.4	0.26	1983	54	1870	47	94.3	1983	54
AC07-74.FIN2	0.9	72678.194	102.05826	0.12131	1.54	6.2082	1.5	0.37151	1.0	0.30	1973	55	2036	37	103.2	1973	55
AC07-14.FIN2	1.4	9460.6041	89.253943	0.12093	0.58	5.6593	0.8	0.33714	1.0	0.83	1968	20	1872	33	95.1	1968	20
AC07-80.FIN2	1.6	263282.67	97.579822	0.12027	1.10	6.0102	1.2	0.36229	1.1	0.54	1958	39	1993	39	101.8	1958	39
AC07-65.FIN2	1.6	69465.836	35.735193	0.12010	0.82	6.0650	0.9	0.36409	0.8	0.53	1955	29	2001	28	102.4	1955	29
AC07-84.FIN2	2.0	76347.7	66.862553	0.12004	1.47	5.9392	2.1	0.35928	2.3	0.77	1953	53	1977	79	101.2	1953	53
AC07-118.FIN2	1.9	-15210.746	-53.507333	0.11965	1.06	5.9068	1.2	0.35380	1.0	0.52	1948	38	1952	33	100.2	1948	38
AC07-44.FIN2	1.3	25940.801	99.860051	0.11978	1.99	5.5494	2.9	0.33485	2.2	0.74	1947	72	1861	73	95.6	1947	72
AC07-102.FIN2	2.6	7482.8348	39.928742	0.11890	1.19	5.6820	1.7	0.34675	1.5	0.73	1935	42	1933	40	99.9	1935	42
AC07-105.FIN2	1.3	12297.011	31.629311	0.11850	1.24	5.4795	1.3	0.33572	1.3	0.55	1930	44	1866	41	96.6	1930	44
AC07-87.FIN2	0.2	62362.678	65.877788	0.11835	1.28	5.8531	0.8	0.35926	0.8	-0.19	1928	46	1978	28	102.6	1928	46
AC07-120.FIN2	0.6	33908.904	41.377292	0.11808	0.83	6.0332	2.1	0.36374	2.5	0.91	1925	30	1997	87	103.7	1925	30
AC07-93.FIN2	1.8	2695.0609	36.941673	0.11828	1.44	5.4649	1.5	0.33702	1.3	0.47	1925	51	1872	42	97.2	1925	51
AC07-16.FIN2	1.7	62168.846	49.138925	0.11808	1.48	5.6522	1.1	0.34499	1.0	0.02	1924	53	1910	35	99.3	1924	53
AC07-42.FIN2	1.1	35120.92	29.228382	0.11779	1.32	5.6222	1.5	0.33759	3.0	0.52	1916	46	1917	46	100.0	1916	46
AC07-59.FIN2	0.7	39293.961	57.899025	0.11744	1.09	5.8435	1.3	0.35762	1.2	0.57	1914	39	1970	40	102.9	1914	39
AC07-97.FIN2	1.4	-12336.699	-50.443294	0.11769	2.18	5.1731	1.5	0.32616	1.0	0.20	1912	74	1819	32	95.2	1912	74
AC07-66.FIN2	1.3	83364.169	99.217497	0.11701	1.39	5.6324	1.6	0.34773	1.6	0.64	1909	51	1923	55	100.8	1909	51
AC07-75.FIN2	1.0	158823.36	55.291573	0.11674	1.08	5.6040	1.4	0.34823	1.0	0.62	1904	39	1926	35	101.1	1904	39
AC07-22.FIN2	1.5	28050.189	64.327463	0.11680	1.13	5.7294	1.1	0.35481	1.3	0.53	1904	42	1957	44	102.8	1904	42

Nome Spot	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1s %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1s %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1s %		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2s abs			
AC07-82.FIN2	2.2	45530.002	55.103608	0.11671	0.98	5.5911	1.7	0.34715	1.6	0.93	1903	36	1920	53	100.9	1903	36
AC07-71.FIN2	0.3	209933.26	68.296988	0.11659	1.16	5.5698	1.2	0.34499	1.1	0.48	1901	42	1910	38	100.5	1901	42
AC07-7.FIN2	2.8	12607.365	58.435117	0.11646	0.91	5.2117	1.0	0.32207	0.9	0.54	1900	33	1800	27	94.7	1900	33
AC07-68.FIN2	3.0	119851.05	40.568778	0.11664	1.18	5.3832	1.3	0.33808	1.7	0.48	1898	44	1875	53	98.8	1898	44
AC07-46.FIN2	2.2	35037.732	38.435796	0.11644	0.91	5.4103	0.9	0.33898	0.8	0.27	1898	33	1881	25	99.1	1898	33
AC07-90.FIN2	2.1	-7143.1226	-260.21874	0.11643	1.81	5.3217	2.3	0.33413	2.1	0.66	1897	64	1857	67	97.9	1897	64
AC07-24.FIN2	1.6	5668.0036	67.684624	0.11623	1.34	5.3065	1.8	0.32965	1.4	0.68	1894	48	1836	45	96.9	1894	48
AC07-45.FIN2	1.7	16290.262	52.897225	0.11610	0.69	5.3988	0.8	0.33681	0.9	0.57	1894	25	1871	31	98.8	1894	25
AC07-40.FIN2	1.3	32399.041	31.430186	0.11594	0.80	5.3374	0.8	0.33425	0.8	0.18	1890	28	1858	26	98.3	1890	28
AC07-70.FIN2	2.3	30502.685	95.845096	0.11571	0.83	5.4772	0.9	0.33990	1.1	0.64	1889	30	1886	35	99.8	1889	30
AC07-88.FIN2	1.2	64301.278	46.627957	0.11592	1.48	5.4880	1.2	0.34515	1.0	0.11	1888	54	1911	35	101.2	1888	54
AC07-110.FIN2	1.0	-18605.801	-73.83097	0.11580	1.65	5.2694	2.4	0.32741	2.1	0.75	1887	59	1824	68	96.7	1887	59
AC07-11.FIN2	1.6	-1302.3949	-33.403413	0.11499	0.89	5.1736	0.9	0.32256	0.8	0.42	1887	39	1802	25	95.5	1887	39
AC07-89.FIN2	1.1	-7057.2167	-175.31665	0.11555	1.76	5.2451	1.6	0.33202	1.9	0.51	1885	63	1848	61	98.0	1885	63
AC07-69.FIN2	0.8	46139.041	87.452239	0.11554	2.72	5.5116	2.0	0.34528	1.8	-0.02	1884	98	1912	59	101.5	1884	98
AC07-47.FIN2	1.2	34709.646	60.644752	0.11545	0.85	5.5497	0.7	0.34798	0.7	0.25	1884	30	1925	22	102.2	1884	30
AC07-98.FIN2	1.3	-75253.977	-60.228304	0.11553	1.01	5.4888	1.3	0.34682	1.3	0.69	1883	37	1918	42	101.9	1883	37
AC07-23.FIN2	2.0	10549.536	80.478747	0.11532	0.82	5.4398	0.6	0.34034	0.8	0.35	1882	30	1888	27	100.3	1882	30
AC07-117.FIN2	2.0	-13520.493	-64.522812	0.11522	0.96	5.2565	0.7	0.32724	0.8	0.63	1880	35	1825	24	97.1	1880	35
AC07-119.FIN2	1.4	9820.0001	65.826635	0.11501	0.74	5.0314	1.0	0.31330	1.2	0.79	1879	27	1757	37	93.5	1879	27
AC07-13.FIN2	1.9	9391.1567	94.82078	0.11501	0.91	5.4317	1.9	0.34029	1.6	0.89	1879	32	1888	51	100.5	1879	32
AC07-94.FIN2	0.3	2393.7947	52.969036	0.11523	1.16	5.0719	3.1	0.31725	2.5	0.83	1879	42	1773	77	94.4	1879	42
AC07-96.FIN2	1.6	2506.0337	45.847423	0.11525	1.27	5.4123	0.9	0.34118	1.0	0.18	1877	47	1892	32	100.8	1877	47
AC07-108.FIN2	1.9	-5677.522	-92.773739	0.11503	1.11	5.0677	1.2	0.31816	1.4	0.64	1877	40	1780	42	94.9	1877	40
AC07-104.FIN2	3.1	2305.5143	77.676496	0.11506	1.36	5.1661	1.6	0.32558	1.8	0.67	1876	49	1816	56	96.8	1876	49

Nome Spot	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1s %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1s %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1s %		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2s abs			
AC07-63.FIN2	1.4	43730.173	40.637673	0.11507	1.18	5.3111	1.0	0.33146	1.3	0.20	1876	44	1845	42	98.3	1876	44
AC07-64.FIN2	1.4	31912.097	38.901826	0.11498	0.89	5.2484	0.9	0.32938	0.8	0.31	1875	33	1835	26	97.8	1875	33
AC07-5.FIN2	1.4	4293.289	74.23064	0.11493	0.88	5.3964	0.7	0.33851	0.8	0.36	1875	31	1879	26	100.2	1875	31
AC07-60.FIN2	1.8	82559.722	55.827931	0.11484	0.82	5.2614	1.1	0.32968	1.2	0.75	1875	30	1836	38	97.9	1875	30
AC07-101.FIN2	2.9	-13960.253	-45.30276	0.11498	1.22	5.4598	1.0	0.34540	1.0	0.14	1874	44	1912	32	102.0	1874	44
AC07-31.FIN2	1.1	6737.0783	88.529232	0.11476	1.34	5.1828	1.0	0.32928	1.1	0.38	1871	48	1834	37	98.1	1871	48
AC07-41.FIN2	1.5	20510.042	37.393199	0.11451	0.70	5.5856	0.9	0.35186	0.8	0.26	1869	25	1943	28	104.0	1869	25
AC07-4.FIN2	1.3	27861.585	59.787881	0.11437	0.77	5.2818	0.9	0.33258	1.0	0.69	1868	28	1850	32	99.1	1868	28
AC07-62.FIN2	1.1	112545.12	38.120604	0.11437	0.81	5.3749	1.0	0.33600	0.9	0.83	1867	29	1867	30	100.0	1867	29
AC07-78.FIN2	2.2	33137.378	105.23274	0.11445	1.28	5.0838	0.9	0.32210	0.9	-0.18	1867	46	1800	28	96.4	1867	46
AC07-15.FIN2	1.7	23984.79	52.724788	0.11411	0.57	5.1730	0.6	0.32683	0.5	0.67	1864	21	1823	16	97.8	1864	21
AC07-25.FIN2	0.8	141381.16	50.173588	0.11410	0.89	5.2709	0.9	0.33392	1.2	0.64	1862	32	1857	37	99.7	1862	32
AC07-51.FIN2	1.6	20710.981	44.665377	0.11407	1.87	5.4525	1.6	0.34600	1.9	0.38	1858	71	1914	64	103.0	1858	71
AC07-35.FIN2	1.8	-851.86104	-67.630864	0.11371	1.30	5.1042	1.3	0.32504	1.2	0.49	1855	47	1814	37	97.8	1855	47
AC07-109.FIN2	0.9	652.64988	542.82487	0.11374	1.43	5.1081	1.4	0.32312	1.3	0.44	1855	52	1804	39	97.3	1855	52
AC07-6.FIN2	1.7	-389.02537	-65.420115	0.11377	1.14	5.3035	0.9	0.33661	1.0	0.49	1854	41	1869	33	100.8	1854	41
AC07-116.FIN2	2.0	676.89793	183.52072	0.11371	1.81	5.1139	1.5	0.32330	1.7	0.36	1853	65	1805	54	97.4	1853	65
AC07-115.FIN2	0.9	-3463.4947	-56.41709	0.11368	1.65	5.0655	1.3	0.32052	1.0	-0.05	1851	59	1792	30	96.8	1851	59
AC07-1.FIN2	1.5	25162.092	109.25793	0.11324	1.21	5.4723	1.0	0.34790	0.8	0.09	1590	44	1590	27	104.1	1849	44
AC07-99.FIN2	0.2	-325097.24	-44.589491	0.11335	1.37	5.0024	1.8	0.32202	1.7	0.69	1645	50	1630	53	97.3	1847	50
AC07-17.FIN2	2.0	26201.853	49.257312	0.11315	1.07	4.7667	1.5	0.30639	1.4	0.15	1686	39	1691	43	93.2	1847	39
AC07-77.FIN2	1.1	-2716.8757	-97.891397	0.11130	2.05	4.7242	3.6	0.30694	2.4	0.83	1794	75	1791	74	95.0	1816	75
AC07-86.FIN2	1.8	3019.2434	236.7367	0.11083	1.35	5.1654	1.4	0.33823	1.6	0.60	1478	49	1549	54	103.8	1810	49
AC07-50.FIN2	0.4	23614.435	101.77816	0.11055	1.38	4.9731	2.2	0.31657	1.6	0.21	1660	50	1671	49	98.2	1804	50
AC07-111.FIN2	1.8	-1015.2889	-251.17922	0.11030	1.30	4.7942	1.5	0.31248	1.4	0.61	1670	47	1690	42	97.4	1799	47

Nome Spot	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1s %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1s %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1s %		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2s abs			
AC07-114.FIN2	3.6	676.36416	314.14384	0.10941	1.61	4.5870	2.4	0.30110	2.7	0.80	1587	59	1580	80	94.9	1786	59
AC07-56.FIN2	1.1	37392.41	42.156061	0.10863	1.12	4.9321	1.2	0.32819	1.3	0.58	1579	43	1560	40	103.2	1772	43
AC07-85.FIN2	1.9	7830.8971	20.758388	0.10788	1.76	4.7127	1.2	0.31659	1.4	0.08	1684	64	1689	44	100.7	1760	64
AC07-55.FIN2	1.0	1592.561	13.348115	0.10312	1.06	3.7812	0.8	0.26408	1.2	0.49	1665	39	1669	32	90.0	1678	39
AC07-67.FIN2	0.2	535137.63	48.517886	0.10239	1.13	4.1060	1.8	0.28943	1.9	0.82	1563	41	1560	54	98.3	1666	41
AC07-103.FIN2	1.1	1553.8127	65.207715	0.07697	2.16	2.1123	1.9	0.19781	1.3	0.17	1101	91	1163	27	105.6		
AC07-36.FIN2	3.7	37423.729	38.309043	0.11686	0.68	4.8462	3.7	0.30148	3.5	0.97	1907	24	1693	101	88.8		
AC07-58.FIN2	1.1	4680.6146	68.191458	0.11947	0.90	5.0135	1.4	0.30323	0.7	0.75	1945	32	1707	22	87.8		
AC07-26.FIN2	0.4	123032.59	67.940756	0.11924	0.82	4.8436	1.0	0.29341	1.0	0.67	1942	29	1658	28	85.4		
AC07-76.FIN2	2.3	25687.448	88.723072	0.11537	1.77	4.4038	1.9	0.27747	1.7	0.50	1880	64	1578	46	83.9		
AC07-83.FIN2	1.4	1678.4536	104.21385	0.11898	1.44	4.6905	3.3	0.28566	3.2	0.90	1938	53	1618	93	83.5		
AC07-37.FIN2	3.5	17059.951	42.592273	0.11914	0.85	4.6099	2.0	0.28207	2.3	0.86	1939	30	1598	65	82.4		
AC07-92.FIN2	3.2	-8054.5977	-115.83903	0.12214	1.17	4.8291	1.2	0.28804	1.5	0.67	1985	41	1631	43	82.2		
AC07-12.FIN2	1.9	2747.9577	11.508221	0.11830	0.77	4.5279	1.5	0.27595	1.4	0.86	1929	28	1570	39	81.4		
AC07-2.FIN2	1.2	890.89762	275.09546	0.09732	0.88	2.7228	1.4	0.20150	1.2	0.77	1571	33	1183	25	75.3		
AC07-48.FIN2	0.4	50123.926	91.490063	0.08926	1.54	2.1876	3.0	0.17724	2.5	0.86	1407	60	1052	49	74.7		
AC07-107.FIN2	1.7	-3892.7986	-115.1048	0.11591	1.46	3.8533	2.3	0.24082	2.6	0.85	1889	50	1389	66	73.6		
AC07-72.FIN2	1.5	-254.0158	-2043.5411	0.09117	1.09	2.1296	2.4	0.16923	1.7	0.90	1449	42	1008	32	69.6		
AC07-54.FIN2	1.4	1538.2731	5.9351485	0.10817	0.83	3.1040	1.8	0.20695	2.0	0.91	1767	30	1212	44	68.6		
AC07-43.FIN2	3.0	2488.203	9.2463	0.11858	0.66	3.7715	1.2	0.22688	1.0	0.52	1933	23	1318	24	68.2		
AC07-57.FIN2	0.4	105084.48	66.876123	0.10982	1.30	2.7074	2.1	0.17713	2.0	0.78	1792	47	1051	38	58.6		
AC07-112.FIN2	2.1	-5419.9735	-67.596731	0.11319	2.04	2.8984	7.3	0.18360	7.1	0.97	1844	70	1081	142	58.6		
AC07-73.FIN2	1.6	3081.4328	10.593479	0.11665	0.86	2.9663	3.3	0.18403	3.0	0.97	1903	31	1088	59	57.1		
AC07-8.FIN2	2.0	1276.2024	6.8679482	0.11994	0.79	3.0599	2.1	0.18435	2.2	0.80	1952	29	1089	44	55.8		
AC07-95.FIN2	0.1	1640.232	6.3117524	0.12001	0.98	2.8825	1.8	0.17509	1.5	0.84	1953	35	1040	30	53.2		

Nome Spot	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc	Melhor Idade	2s abs
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s %		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s abs			
AC07-33.FIN2	1.9	845.20402	6.7864617	0.12073	1.43	2.8176	1.5	0.16878	2.0	0.73	1964	51	1005	38	51.2		
AC07-91.FIN2	7.3	753.73028	7.3131491	0.13353	1.71	3.1732	2.4	0.17396	3.2	0.82	2140	61	1033	60	48.3		
AC07-18.FIN2	0.7	603.22902	4.1274794	0.12566	1.40	2.8233	1.3	0.16183	1.2	0.44	2035	48	967	21	47.5		
AC07-61.FIN2	1.8	9531.9941	79.712328	0.09786	3.24	1.4996	5.4	0.11151	7.2	0.90	1572	124	680	91	43.3		
AC07-52.FIN2	0.3	460.03222	4.4556032	0.10828	1.47	1.8593	3.5	0.12344	2.8	0.92	1768	53	750	39	42.4		
AC07-3.FIN2	1.7	760.58462	9.0353576	0.11849	0.83	2.1781	0.8	0.13225	0.6	0.18	1941	36	801	9	41.2		
AC07-100.FIN2	0.9	492.09758	2.8548169	0.12280	1.50	2.2421	2.6	0.13251	2.0	0.83	1994	53	802	29	40.2		
AC07-106.FIN2	0.2	341.65978	6.8334407	0.13042	2.12	2.3972	4.0	0.13877	4.5	0.92	2095	72	836	71	39.9		
AC07-53.FIN2	1.0	256.04106	2.143795	0.14350	1.26	3.0039	1.8	0.15069	1.8	0.75	2268	43	905	30	39.9		
AC07-34.FIN2	0.9	348.77328	5.6546631	0.13550	3.03	2.6301	5.5	0.13996	3.0	0.87	2163	99	844	47	39.0		
AC07-21.FIN2	7.5	325.76047	10.564307	0.14873	2.21	3.0822	3.2	0.15073	4.3	0.86	2324	76	904	73	38.9		
AC07-32.FIN2	0.8	628.56286	9.6100854	0.13401	0.96	2.4471	3.8	0.13323	4.5	0.99	2148	34	804	68	37.4		
AC07-28.FIN2	0.1	533.95685	4.4122076	0.14021	0.97	2.3377	3.1	0.12034	3.2	0.95	2228	34	732	44	32.9		
AC07-79.FIN2	0.6	2028.4312	21.381631	0.08094	4.48	0.6838	16.0	0.05992	12.6	0.96	1201	177	374	92	31.1		
AC07-20.FIN2	3.5	355.37385	11.908137	0.15572	1.80	2.6356	2.5	0.12209	1.4	0.72	2405	61	743	19	30.9		
AC07-39.FIN2	0.9	19418.361	64.742956	0.11962	2.18	1.4822	10.5	0.09548	11.4	0.99	1927	73	573	124	29.7		
AC07-19.FIN2	2.6	265.40687	4.4761167	0.14416	1.56	1.8098	1.8	0.09064	1.3	0.52	2274	54	559	14	24.6		
AC07-38.FIN2	1.1	655.04093	10.15275	0.09675	1.19	0.5877	3.9	0.04568	5.3	0.98	1553	45	287	29	18.5		
AC07-30.FIN2	8.2	166.68095	8.4690223	0.17016	3.57	0.7444	8.0	0.03044	7.3	0.91	2547	119	193	28	7.6		
AC07-29.FIN2	5.2	146.8412	4.2389292	0.17674	2.91	0.6307	5.1	0.02492	4.3	0.86	2613	94	159	13	6.1		

**ANEXOS – DADOS DE U-Pb DOS ZIRCÕES DETRÍTICOS DOS MATERIAIS
DE REFERÊNCIAS GJ1, 91500 E PLES.**

Anexo 4: Dados U-Pb dos materiais de referências.

Nome Spot	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1s %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1s %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1s %		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2s abs	
GJ1-1.FIN2	0.0	1302.449	109.54043	0.06026	0.87	0.8161	0.8	0.09809	0.5	0.36	607	37	603	5	99.4
GJ1-2.FIN2	0.0	-405.92005	-318.09221	0.06004	0.55	0.8175	0.6	0.09836	0.5	0.41	602	24	605	6	100.4
GJ1-3.FIN2	0.0	1402.0654	78.311837	0.06020	0.71	0.8102	0.7	0.09729	0.4	0.31	613	33	599	5	97.6
GJ1-4.FIN2	0.0	277.66471	372.21348	0.06045	0.74	0.8166	0.8	0.09774	0.5	0.38	615	32	601	5	97.8
GJ1-5.FIN2	0.0	-2029.4247	-61.622509	0.05995	0.62	0.8133	0.6	0.09793	0.5	0.19	598	27	602	5	100.7
GJ1-6.FIN2	0.0	-3189.1398	-42.664423	0.06059	0.86	0.8214	0.7	0.09804	0.7	0.22	622	38	603	8	97.0
GJ1-7.FIN2	0.0	-2523.0803	-48.951415	0.05991	0.63	0.8106	0.7	0.09787	0.5	0.49	597	27	602	6	100.9
GJ1-8.FIN2	0.0	-1021.3452	-117.38632	0.05986	0.64	0.8100	0.7	0.09786	0.5	0.47	595	28	602	6	101.2
GJ1-9.FIN2	0.0	-4755.0355	-37.863414	0.06065	0.91	0.8199	0.8	0.09778	0.5	-0.08	620	39	601	5	97.0
GJ1-10.FIN2	0.0	-1222.2621	-97.713328	0.06007	0.91	0.8095	0.7	0.09768	0.5	0.11	599	39	601	6	100.3
GJ1-11.FIN2	0.0	-4316.3978	-37.011587	0.06023	0.83	0.8200	0.7	0.09810	0.5	0.26	606	37	603	6	99.6
GJ1-12.FIN2	0.0	-5311.4669	-34.944632	0.05986	0.73	0.8147	0.7	0.09825	0.7	0.35	594	32	604	8	101.8
GJ1-13.FIN2	0.0	-6524.6341	-31.57309	0.06055	0.83	0.8170	0.7	0.09763	0.5	0.12	617	35	600	5	97.3
GJ1-14.FIN2	0.0	-4743.1321	-43.895186	0.06009	0.80	0.8166	0.7	0.09805	0.7	0.09	601	35	603	8	100.3
GJ1-15.FIN2	0.0	-2937.7988	-56.112149	0.06015	0.93	0.8105	0.7	0.09778	0.3	-0.01	602	39	601	4	99.9
GJ1-16.FIN2	0.0	-2873.1142	-52.240926	0.06022	1.07	0.8158	0.8	0.09777	0.9	0.15	605	47	601	10	99.3
GJ1-17.FIN2	0.0	-5956.2485	-33.352918	0.06006	0.82	0.8164	0.7	0.09819	0.6	-0.05	600	36	604	7	100.6
GJ1-18.FIN2	0.0	-2698.5107	-55.642723	0.06073	0.79	0.8187	0.6	0.09779	0.5	0.13	624	35	601	6	96.4
GJ1-19.FIN2	0.0	-4564.0959	-40.347322	0.05974	0.64	0.8073	0.7	0.09788	0.4	0.49	596	31	602	5	100.9
GJ1-20.FIN2	0.0	-5789.2226	-29.91138	0.06013	0.73	0.8106	0.7	0.09744	0.5	-0.11	604	30	599	5	99.3
GJ1-21.FIN2	0.0	-5399.9171	-31.733839	0.06025	0.78	0.8207	0.7	0.09814	0.4	0.50	607	34	603	5	99.4
GJ1-22.FIN2	0.0	-4793.5895	-41.895754	0.06012	0.85	0.8185	0.8	0.09829	0.4	0.48	602	37	604	5	100.4
GJ1-23.FIN2	0.0	-1913.9347	-84.688438	0.06012	0.74	0.8122	0.8	0.09760	0.5	0.10	603	32	600	5	99.5
GJ1-24.FIN2	0.0	-7950.1407	-29.432188	0.05996	0.79	0.8074	0.7	0.09726	0.5	0.15	597	34	598	5	100.1

Nome Spot	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s %		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s abs	
GJ1-25.FIN2	0.0	-3768.3628	-42.789321	0.06030	0.70	0.8208	0.7	0.09813	0.5	-0.03	610	30	603	5	98.9
GJ1-26.FIN2	0.0	-6220.7395	-40.667369	0.06009	1.00	0.8195	0.9	0.09855	0.6	-0.07	599	42	606	7	101.2
GJ1-27.FIN2	0.0	-4417.24	-47.296534	0.06002	0.86	0.8147	0.6	0.09778	0.5	0.26	607	34	601	6	99.1
GJ1-28.FIN2	0.0	-8326.0634	-40.271777	0.06037	1.43	0.8098	1.3	0.09699	0.8	0.05	629	49	597	9	94.8
GJ1-29.FIN2	0.0	-1282.3514	-111.02065	0.06033	0.83	0.8164	0.8	0.09770	0.6	0.34	609	36	601	7	98.6
GJ1-30.FIN2	0.0	-15820.625	-30.58987	0.05995	0.88	0.8136	0.6	0.09818	0.5	-0.02	595	37	604	5	101.4
GJ1-31.FIN2	0.0	-11728.943	-36.605432	0.06006	0.90	0.8159	0.9	0.09777	0.6	0.40	599	38	601	7	100.4
GJ1-32.FIN2	0.0	-28541.231	-33.080594	0.06011	0.72	0.8163	0.7	0.09794	0.5	0.13	603	32	602	5	100.0
GJ1-33.FIN2	0.0	-22541.597	-38.376181	0.06022	0.64	0.8148	0.7	0.09763	0.5	0.45	608	28	600	6	98.8
GJ1-34.FIN2	0.0	71672.694	35.306538	0.06060	1.08	0.8184	0.6	0.09828	0.4	-0.04	616	43	604	5	98.0
GJ1-35.FIN2	0.0	72663.713	33.586806	0.05998	0.70	0.8116	0.7	0.09739	0.5	0.16	598	30	599	5	100.2
GJ1-36.FIN2	0.0	16158.576	35.619944	0.06015	0.82	0.8125	0.6	0.09767	0.5	0.00	603	35	601	6	99.6
GJ1-37.FIN2	0.0	11336.899	46.258793	0.06009	0.95	0.8170	0.7	0.09801	0.5	0.03	613	49	603	6	98.4
GJ1-38.FIN2	0.0	10606.682	40.282096	0.06112	1.16	0.8248	0.8	0.09786	0.9	-0.07	632	55	602	10	95.2
GJ1-39.FIN2	0.0	12846.646	32.48474	0.05905	1.20	0.8069	0.8	0.09785	0.6	-0.06	590	36	602	6	101.9
GJ1-40.FIN2	0.0	14398.143	32.563139	0.06030	1.03	0.8137	1.0	0.09776	0.5	0.34	608	44	601	6	98.9
GJ1-41.FIN2	0.0	2437.1623	78.89692	0.06007	0.90	0.8178	0.7	0.09805	0.5	0.00	599	39	603	5	100.6
GJ1-42.FIN2	0.0	10215.176	36.143317	0.06064	0.83	0.8212	0.9	0.09765	0.5	0.36	620	36	601	6	96.8
GJ1-43.FIN2	0.0	2205.7468	96.352777	0.05975	0.71	0.8090	0.6	0.09779	0.4	0.23	590	31	601	5	102.0
GJ1-44.FIN2	0.0	11491.564	32.706176	0.06044	0.84	0.8190	0.7	0.09731	0.6	0.21	613	36	599	7	97.6
GJ1-45.FIN2	0.0	11508.169	38.536182	0.05985	1.11	0.8165	0.7	0.09883	0.5	-0.03	606	57	607	6	100.2
GJ1-46.FIN2	0.0	5626.1343	62.742606	0.06003	0.64	0.8109	0.7	0.09747	0.6	0.20	601	28	600	7	99.8
GJ1-47.FIN2	0.0	11390.72	41.329486	0.06021	0.90	0.8155	0.7	0.09754	1.2	0.14	605	40	600	13	99.2
GJ1-48.FIN2	0.0	18134.063	33.588621	0.06066	1.00	0.8174	0.8	0.09765	0.6	0.14	619	42	601	7	97.0
GJ1-49.FIN2	0.0	7405.7783	53.641663	0.05979	0.97	0.8146	0.7	0.09808	0.6	0.00	588	43	603	7	102.5

Nome Spot	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s %		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s abs	
GJ1-50.FIN2	0.0	14461.767	48.831396	0.06044	0.87	0.8173	0.8	0.09790	0.4	-0.01	613	36	602	5	98.2
GJ1-51.FIN2	0.0	20640.59	41.356812	0.05979	0.75	0.8141	0.7	0.09790	0.4	0.29	591	34	602	4	101.9
GJ1-52.FIN2	0.0	38799.477	36.490609	0.06009	1.11	0.8105	1.2	0.09711	0.8	0.41	601	49	597	9	99.5
GJ1-53.FIN2	0.0	24885.127	43.694293	0.06039	0.79	0.8154	0.7	0.09794	0.4	0.38	612	33	602	5	98.4
GJ1-54.FIN2	0.0	51825.536	48.504082	0.06009	0.88	0.8212	0.8	0.09830	0.7	0.18	603	38	604	9	100.2
GJ1-55.FIN2	0.0	50764.329	31.10465	0.06004	0.74	0.8109	0.8	0.09778	0.5	0.31	600	32	601	5	100.2
GJ1-56.FIN2	0.0	81144.025	35.88105	0.06034	0.87	0.8151	0.7	0.09726	0.5	0.30	609	38	598	6	98.2
GJ1-57.FIN2	0.0	49523.462	49.074667	0.06000	0.85	0.8149	0.7	0.09834	0.5	-0.05	598	37	605	6	101.2
GJ1-1.FIN2	0.0	-7049.9371	-35.970451	0.05991	0.89	0.8146	0.7	0.09783	0.7	0.10	594	39	602	8	101.3
GJ1-2.FIN2	0.0	-23880.314	-35.528736	0.05962	0.87	0.8139	0.7	0.09804	0.6	0.17	583	38	604	7	103.6
GJ1-3.FIN2	0.0	3023.5407	114.54221	0.06030	0.90	0.8200	0.7	0.09782	0.5	-0.06	608	39	602	6	99.0
GJ1-58.FIN2	0.0	-788.1766	-194.08175	0.06070	0.90	0.8105	0.8	0.09755	0.6	0.16	622	38	600	7	96.5
GJ1-59.FIN2	0.0	-2353.6735	-55.375617	0.06075	0.95	0.8128	0.6	0.09782	0.5	-0.03	632	37	602	6	95.2
GJ1-60.FIN2	0.0	-33183.581	-32.065415	0.06020	1.00	0.8163	0.8	0.09777	0.5	0.15	613	39	601	5	98.2
GJ1-61.FIN2	0.0	59523.812	42.421711	0.05988	0.92	0.8152	0.7	0.09825	0.6	0.17	592	39	604	7	102.0
GJ1-63.FIN2	0.0	-3870.0763	-36.871533	0.06009	0.95	0.8208	0.8	0.09828	0.6	0.15	599	41	604	7	100.9
GJ1-64.FIN2	0.0	1610.4693	77.35969	0.05991	0.97	0.8115	0.7	0.09740	0.6	-0.02	593	42	599	7	101.1
91500-1.FIN2	0.7	159.2439	201.66534	0.07374	1.07	1.7890	1.0	0.17476	0.6	0.12	1026	43	1038	12	101.2
91500-2.FIN2	0.7	215.68704	149.66356	0.07655	1.42	1.8154	0.9	0.17208	0.6	-0.13	1109	51	1023	12	92.3
91500-3.FIN2	0.7	-615.26434	-64.575732	0.07397	1.07	1.7849	1.1	0.17382	0.8	0.41	1032	44	1033	15	100.1
91500-4.FIN2	0.7	-366.60677	-102.69476	0.07530	1.32	1.8083	1.4	0.17339	0.7	0.19	1064	53	1031	12	96.8
91500-5.FIN2	0.7	-162.03553	-283.16943	0.07409	2.52	1.8241	1.8	0.17519	1.6	0.34	1029	109	1040	31	101.1
91500-6.FIN2	0.7	-767.24136	-35.805076	0.07791	1.76	1.8413	1.5	0.16975	0.7	0.09	1108	56	1011	13	91.2
91500-7.FIN2	0.7	-249.13169	-126.0058	0.07502	1.21	1.7493	1.1	0.17044	0.7	0.42	1059	47	1014	14	95.8
91500-8.FIN2	0.7	-910.35953	-59.411708	0.07495	1.75	1.7861	1.6	0.17106	0.9	-0.06	1046	74	1023	19	97.8

Nome Spot	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s %		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s abs	
91500-9.FIN2	0.7	-1630.9999	-42.171615	0.07550	1.43	1.8270	1.1	0.17542	2.2	0.48	1067	60	1040	41	97.5
91500-10.FIN2	0.7	-1588.4448	-47.904859	0.07372	1.63	1.8049	1.3	0.17833	1.5	-0.12	1014	71	1057	29	104.2
91500-11.FIN2	0.7	-50.131555	-644.98721	0.07374	1.40	1.7667	1.0	0.17415	1.0	0.04	1036	64	1035	19	99.9
91500-12.FIN2	0.7	-963.17016	-45.33017	0.07475	1.62	1.7747	1.8	0.17380	0.9	0.32	1046	60	1033	18	98.8
91500-13.FIN2	0.7	-1167.0662	-44.819784	0.07546	1.25	1.7870	1.5	0.17310	1.6	0.78	1083	45	1028	31	94.9
91500-14.FIN2	0.7	-1344.3259	-46.119632	0.07704	1.53	1.8438	1.1	0.17195	0.7	-0.09	1108	59	1023	14	92.3
91500-15.FIN2	0.7	-1984.8463	-35.116204	0.07374	1.48	1.7755	1.6	0.17460	1.2	0.27	1018	66	1037	24	101.9
91500-16.FIN2	0.7	-1375.9223	-47.019998	0.07460	1.63	1.7636	1.6	0.17321	1.1	0.30	1041	64	1029	21	98.9
91500-17.FIN2	0.7	-3274.1829	-38.027639	0.07321	1.27	1.7513	1.3	0.17356	0.8	-0.36	1009	50	1031	15	102.3
91500-18.FIN2	0.7	-2762.3315	-44.792276	0.07280	1.19	1.7576	1.8	0.17299	1.5	0.79	998	48	1028	28	103.0
91500-19.FIN2	0.6	18770.87	36.062305	0.07111	1.90	1.7704	1.2	0.17618	1.3	0.49	988	55	1045	25	105.8
91500-20.FIN2	0.7	14578.657	33.118293	0.07418	1.41	1.7913	1.4	0.17489	0.8	0.11	1033	57	1039	15	100.6
91500-21.FIN2	0.7	1296.1573	66.857054	0.07711	3.86	1.8423	2.0	0.17687	1.1	-0.05	1093	104	1049	21	96.1
91500-22.FIN2	0.7	953.68888	84.063925	0.07340	1.57	1.7396	1.8	0.17539	1.2	0.54	1008	63	1041	23	103.3
91500-23.FIN2	0.6	1873.1175	53.300556	0.07580	1.19	1.8346	1.5	0.17480	0.7	0.50	1080	46	1038	14	96.1
91500-24.FIN2	0.7	4205.6009	28.7254	0.07324	1.40	1.8032	1.4	0.17589	1.3	-0.16	1005	62	1044	25	103.8
91500-25.FIN2	0.7	3192.6866	39.181664	0.07488	1.56	1.8591	1.6	0.17576	1.8	0.38	1070	82	1043	35	97.4
91500-26.FIN2	0.7	2865.7919	55.821246	0.07365	1.47	1.8176	1.1	0.17677	1.2	0.11	1045	61	1049	22	100.4
91500-27.FIN2	0.7	11959.085	27.32449	0.07555	1.04	1.8355	1.4	0.17533	0.9	0.59	1085	45	1041	18	96.0
91500-28.FIN2	0.7	9646.2037	31.870758	0.07474	1.09	1.8054	1.0	0.17454	0.9	0.04	1053	43	1037	17	98.4
91500-29.FIN2	0.7	9665.8439	44.680928	0.07712	1.41	1.8838	1.3	0.17586	0.7	0.00	1111	57	1044	13	94.0
91500-30.FIN2	0.7	20111	30.678921	0.07432	1.46	1.8178	1.2	0.17650	0.9	0.11	1052	70	1048	17	99.6
91500-1.FIN2	0.7	3709.0095	35.309822	0.07563	0.87	1.7714	1.0	0.16956	0.5	0.53	1079	36	1010	9	93.5
91500-2.FIN2	0.7	958.87981	78.027202	0.07423	1.02	1.7273	0.8	0.16824	0.6	0.01	1040	41	1002	11	96.3
91500-31.FIN2	0.6	-824.82378	-48.725788	0.07563	1.24	1.7570	1.5	0.16824	1.1	0.60	1075	49	1002	21	93.2

Nome Spot	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s %		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s abs	
91500-32.FIN2	0.7	-1747.2722	-26.918751	0.07670	1.26	1.7685	1.4	0.16961	1.0	0.15	1103	50	1010	19	91.6
91500-33.FIN2	0.7	-223.07334	-159.8325	0.07317	1.69	1.7414	1.5	0.17134	0.9	0.11	1042	65	1019	17	97.8
91500-34.FIN2	0.7	5255.1126	52.266555	0.07499	1.04	1.7628	1.3	0.16880	1.1	0.74	1061	41	1005	20	94.8
PLES-1.FIN2	0.2	413.95716	219.1554	0.05297	0.82	0.4117	0.8	0.05623	0.5	0.29	323	38	353	3	109.2
PLES-2.FIN2	0.2	280.43696	446.15582	0.05212	0.71	0.4087	0.7	0.05649	0.8	0.65	287	32	354	6	123.4
PLES-3.FIN2	0.2	-3343.4638	-39.543162	0.05447	0.79	0.4172	0.8	0.05548	0.6	0.43	387	36	348	4	89.9
PLES-4.FIN2	0.2	-1551.6716	-78.066826	0.05318	0.87	0.4125	0.8	0.05620	0.7	0.49	329	40	352	5	107.0
PLES-5.FIN2	0.2	-2777.4288	-62.078983	0.05304	0.86	0.4102	0.8	0.05607	0.5	0.36	324	38	352	4	108.5
PLES-6.FIN2	0.2	613.20249	164.36819	0.05336	0.92	0.4163	1.0	0.05634	0.6	0.43	338	42	353	4	104.5
PLES-7.FIN2	0.2	-1378.5407	-106.307	0.05303	0.73	0.4136	0.9	0.05615	0.5	0.23	325	33	352	3	108.4
PLES-8.FIN2	0.2	-2639.0075	-49.890519	0.05339	0.81	0.4075	0.7	0.05490	0.5	0.30	340	36	345	4	101.5
PLES-9.FIN2	0.2	-2687.0186	-62.628111	0.05283	0.72	0.4111	1.0	0.05613	0.5	0.48	329	38	352	3	106.9
PLES-10.FIN2	0.2	-1288.032	-99.640722	0.05319	0.70	0.4079	0.6	0.05560	0.5	0.30	332	32	349	4	105.1
PLES-11.FIN2	0.2	-2234.9312	-72.11919	0.05424	1.21	0.4174	0.9	0.05598	0.5	0.06	372	51	351	4	94.3
PLES-12.FIN2	0.2	-982.60826	-184.45205	0.05312	0.87	0.4136	0.8	0.05597	0.5	0.02	330	39	351	3	106.3
PLES-13.FIN2	0.2	-4717.9804	-45.589362	0.05350	0.64	0.4101	0.7	0.05533	0.5	0.27	347	29	347	3	100.1
PLES-14.FIN2	0.2	-2643.7777	-62.497084	0.05287	0.98	0.4012	0.8	0.05481	0.7	-0.03	329	51	344	4	104.7
PLES-15.FIN2	0.2	-16318.124	-38.596385	0.05302	1.12	0.4008	1.0	0.05467	0.5	0.24	319	49	343	3	107.4
PLES-16.FIN2	0.2	-22541.564	-46.662364	0.05302	0.99	0.4042	0.9	0.05508	0.6	0.14	324	45	346	4	106.6
PLES-17.FIN2	0.2	7450.0882	66.273924	0.05276	0.89	0.4000	0.9	0.05439	0.5	0.44	315	40	341	4	108.5
PLES-18.FIN2	0.3	6664.2539	61.210767	0.05378	0.83	0.4051	0.8	0.05427	0.5	-0.05	358	37	341	3	95.1
PLES-19.FIN2	0.2	5505.3077	49.437655	0.05247	0.93	0.4050	0.8	0.05586	0.6	0.18	300	42	350	4	116.9
PLES-20.FIN2	0.2	3643.1707	54.250354	0.05271	0.83	0.4026	0.9	0.05524	0.5	0.17	310	38	347	4	111.8
PLES-21.FIN2	0.2	6610.0076	42.786785	0.05337	0.97	0.4000	0.9	0.05409	0.5	-0.03	336	43	340	3	101.0
PLES-22.FIN2	0.2	1655.7035	104.8063	0.05332	0.73	0.4098	0.7	0.05522	0.4	0.29	345	31	346	3	100.6

Nome Spot	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1s %	Razões						Rho	IDADES				% conc
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s %		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s abs	
PLES-23.FIN2	0.2	19240.443	32.340034	0.05246	0.91	0.3966	0.9	0.05473	0.6	0.09	300	41	343	4	114.3
PLES-24.FIN2	0.2	13124.109	37.858043	0.05407	0.94	0.4160	0.9	0.05572	0.4	0.02	366	42	350	3	95.4
PLES-25.FIN2	0.2	23341.303	38.964965	0.05311	1.11	0.4069	1.0	0.05545	0.7	0.03	326	50	348	5	106.8
PLES-26.FIN2	0.2	9299.4309	67.498767	0.05363	0.95	0.4103	0.9	0.05521	0.5	0.17	348	42	346	3	99.7
PLES-27.FIN2	0.2	92681.636	45.735285	0.05399	1.17	0.4095	0.9	0.05488	0.6	-0.13	364	52	344	4	94.5
PLES-28.FIN2	0.2	91476.047	46.649356	0.05368	1.27	0.4141	1.0	0.05579	0.5	0.02	379	80	350	3	92.4
PLES-1.FIN2	0.3	3789.7803	69.664571	0.05448	1.22	0.4207	1.0	0.05595	0.9	-0.23	385	55	351	6	91.2
PLES-2.FIN2	0.2	3020.7225	60.066287	0.05381	1.41	0.4046	1.3	0.05440	0.8	0.10	356	64	341	5	96.0
PLES-29.FIN2	0.2	-3955.1703	-86.670005	0.05387	1.31	0.4149	0.9	0.05587	0.8	0.09	358	58	350	6	98.0
PLES-30.FIN2	0.2	-1534.8054	-105.4524	0.05361	0.91	0.4096	0.8	0.05484	0.7	0.16	356	44	344	5	96.7
PLES-31.FIN2	0.2	1001.2985	86.755465	0.05430	1.69	0.4111	1.4	0.05437	1.0	0.02	371	76	341	6	92.0
PLES-32.FIN2	0.2	18356.02	31.580871	0.05371	1.30	0.4040	1.1	0.05400	0.9	0.20	350	59	339	6	96.9

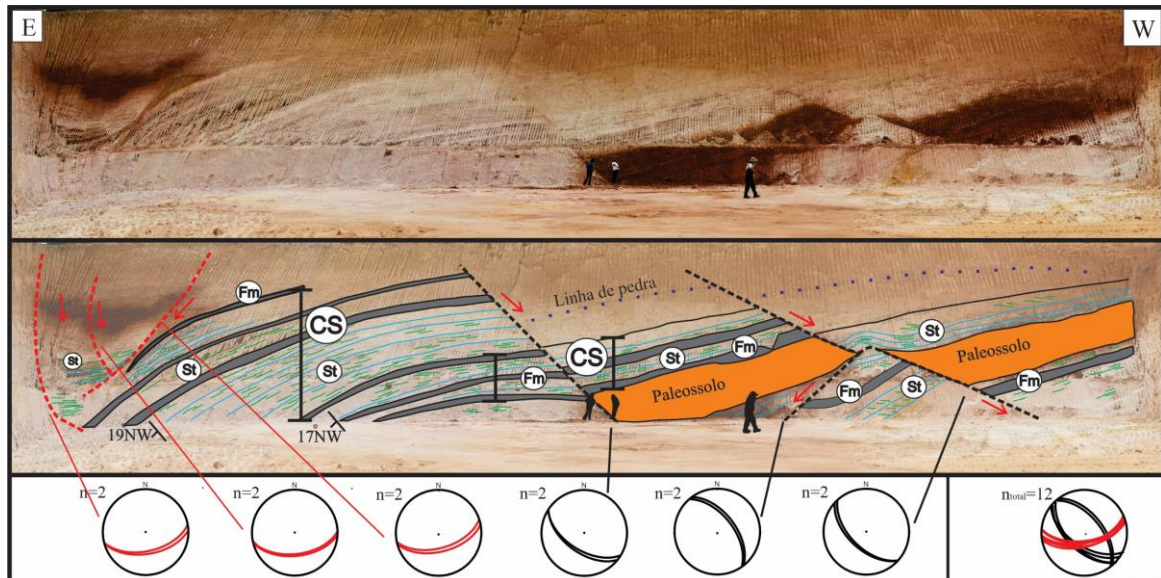
ANEXOS – PARÂMETROS LABORATORIAIS DO LA-ICP-MS DO LABORATÓRIO DE ESTUDOS GEODINÂMICOS, GEOCRONOLÓGICOS E AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA.

Laboratory and Sample Preparation	
Laboratory name	Laboratório de Estudos Geodinâmicos, Geocronológicos e Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília (UnB)
Sample type/mineral	Zircon
Sample preparation	Conventional mineral separation, 0.5 cm resin mount, 1 µm polish to finish
Imaging	BSE, SEM Quanta 450, 10 nA, 20kV, 13.8 mm working distance
Laser ablation system	
Make, Model and type	ESI/New Wave Research, UP-213, Nd:YAG
Ablation cell and volume	Low volume cell, ca. 4 cm ³
Laser wavelength (nm)	213 nm
Pulse width (ns)	3 ns
Fluence (J cm ⁻²)	3.0 - 3.5 J cm ⁻²
Repetition rate (Hz)	10 Hz
Spot size	25 µm
Sampling mode / pattern	single spot analyses
Carrier gas	100% He, Ar make-up gas combined using a Y-piece along the sample transport line close to the torch.
Pre-ablation laser warm-up (background collection)	10 s
Ablation duration (s)	40 s
Wash-out delay	20 s
Ablation pit depth / ablation rate	~10 µm pit depth
Cell carrier gas flow (l min ⁻¹)	0.40 l min ⁻¹ He
ICP-MS Instrument	
Make, Model and type	Thermo-Fischer, Neptune, MC-ICP-MS
Sample introduction	Ablation aerosol
RF power (W)	1050 W
Sample gas flow (l min ⁻¹)	0.966 l min ⁻¹
Detection system	Mixed Faraday cups and multiple ion counting (MIC) array
Masses measured	Faraday ²³² Th, ²³⁸ U and ²⁰⁶ Pb; MIC ²⁰² Hg, ²⁰⁴ Pb, ²⁰⁷ Pb and ²⁰⁸ Pb
Integration time per peak/dwell times (ms); quadrupole settling time between mass jumps	#N.A.
Total integration time per output data point (s)	1.049 s
Dead time (ns)	#N.A.
Data Processing	
Gas blank	20 s
Calibration strategy	GJ1 used as primary reference material, 91500 used as secondary/validation
Reference Material info	GJ1 (Jackson <i>et al.</i> 2004, Horstwood <i>et al.</i> 2016) 91500 (Wiedenbeck <i>et al.</i> 1995)
Data processing package used / Correction for LIEF	Iolite v.4.0 (Paton <i>et al.</i> , 2011) & VizualAge (Petrus and Kamber, 2012) using exponential plus linear modelling for LIEF correction
Mass discrimination	Standard-sample bracketing with ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb and ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ratios normalized to reference material GJ1
Common-Pb correction, composition and uncertainty	none
Uncertainty level and propagation	Ages are quoted at 2s absolute, propagation is by quadratic addition. Excess variance and age uncertainty of reference material are propagated where appropriate.
Quality control / Validation	91500 – Concordia age = 1063 ± 6 (2s, MSWDc+e = 0.36, n =24) Systematic uncertainty for propagation is 1% (2s).

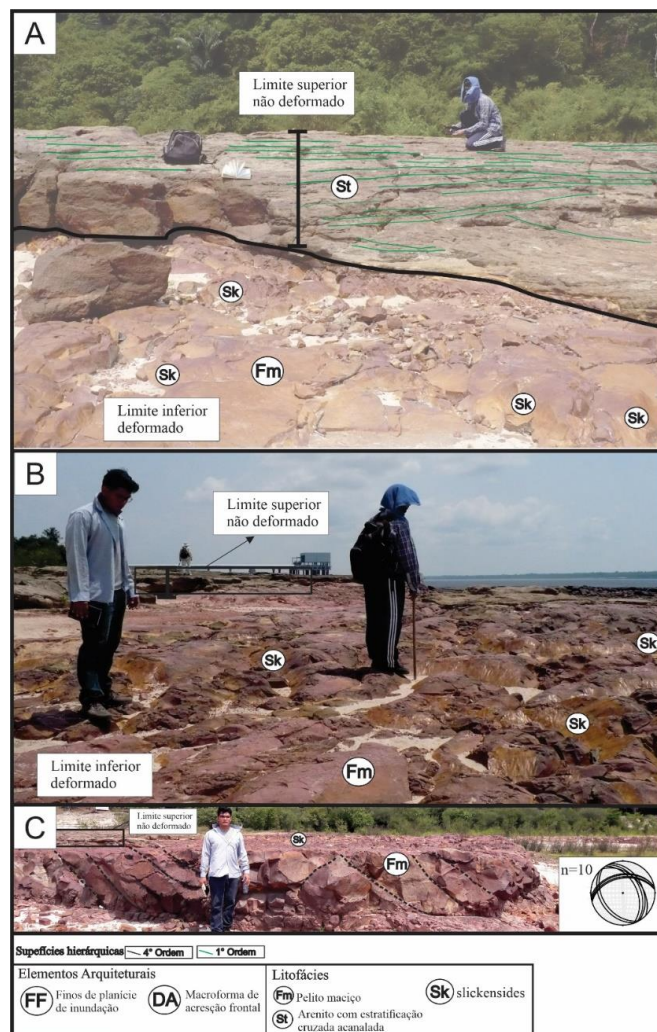
Data Filtering	
Discordance calculation	Older ages: $\text{Disc1} = (1 - (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U age}/^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb age})) * 100$ Younger ages: $\text{Disc2} = (1 - (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U age}/^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U age})) * 100$
Best age	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages (>1.5 Ma) and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages (<1.5 Ma) (Spencer et al. 2016)

ANEXOS - SEÇÕES DOS AFLORAMENTOS VISITADOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE MANAUS (INTERPRETAÇÕES TECTONO SEDIMENTARES)

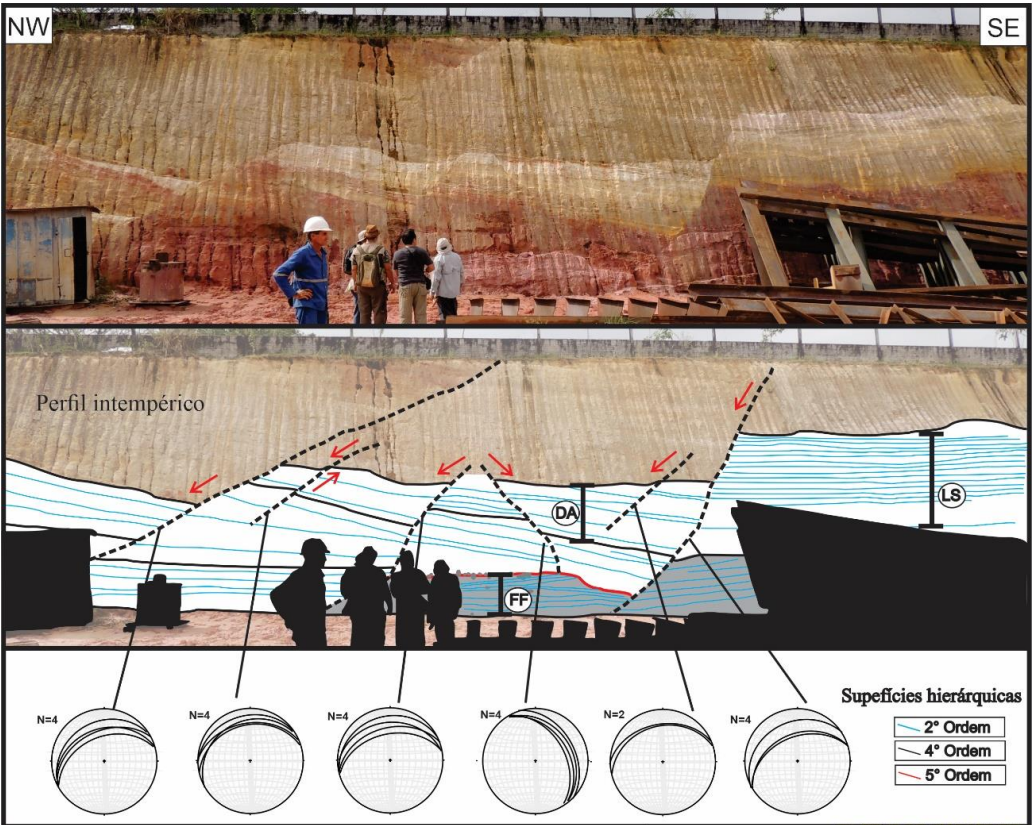
AFLORAMENTO P1 – MINA DE CAULIM



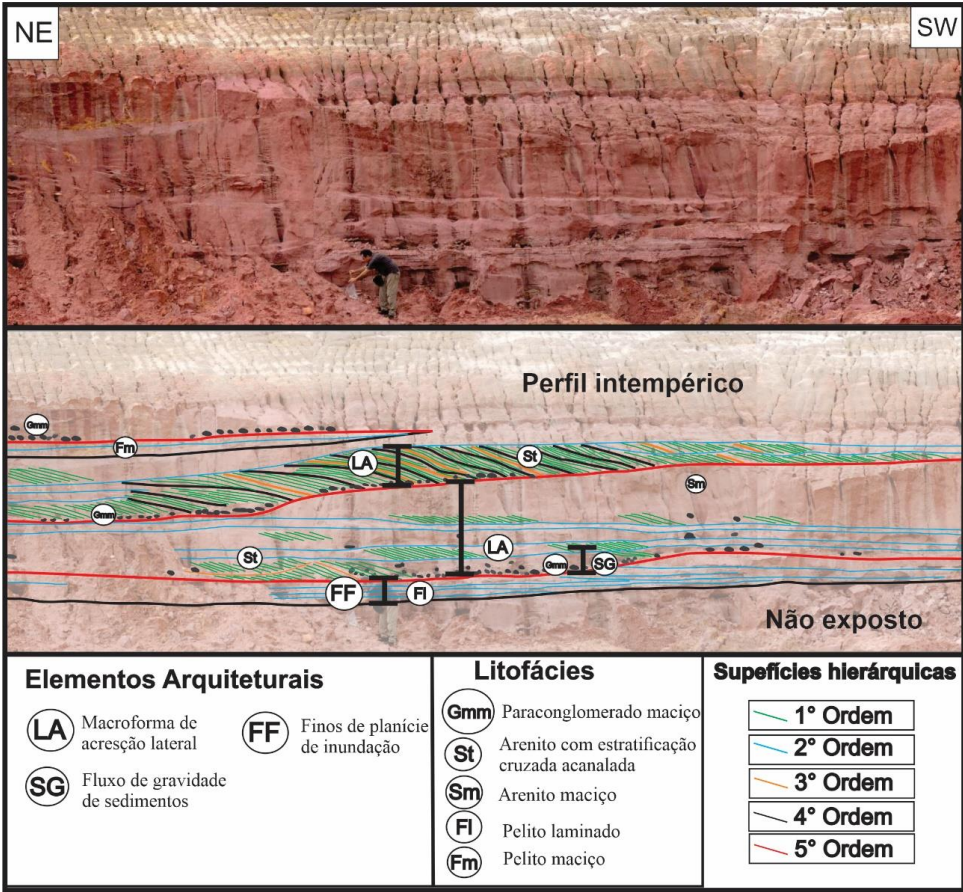
AFLORAMENTO P2 – PONTA DAS LAJES



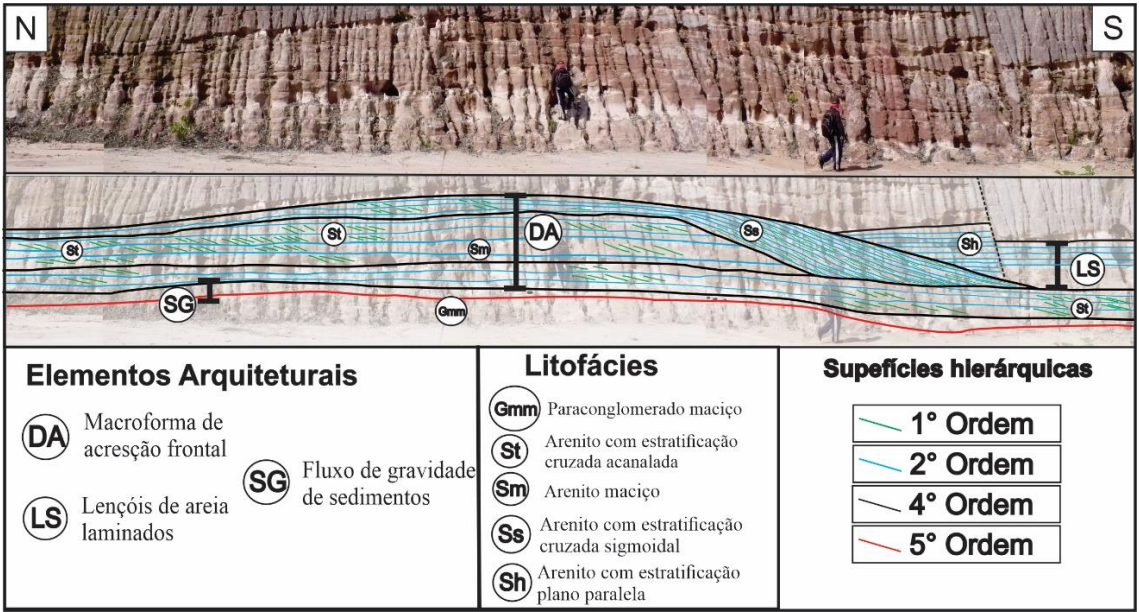
AFLORAMENTO P3 – PONTA NEGRA



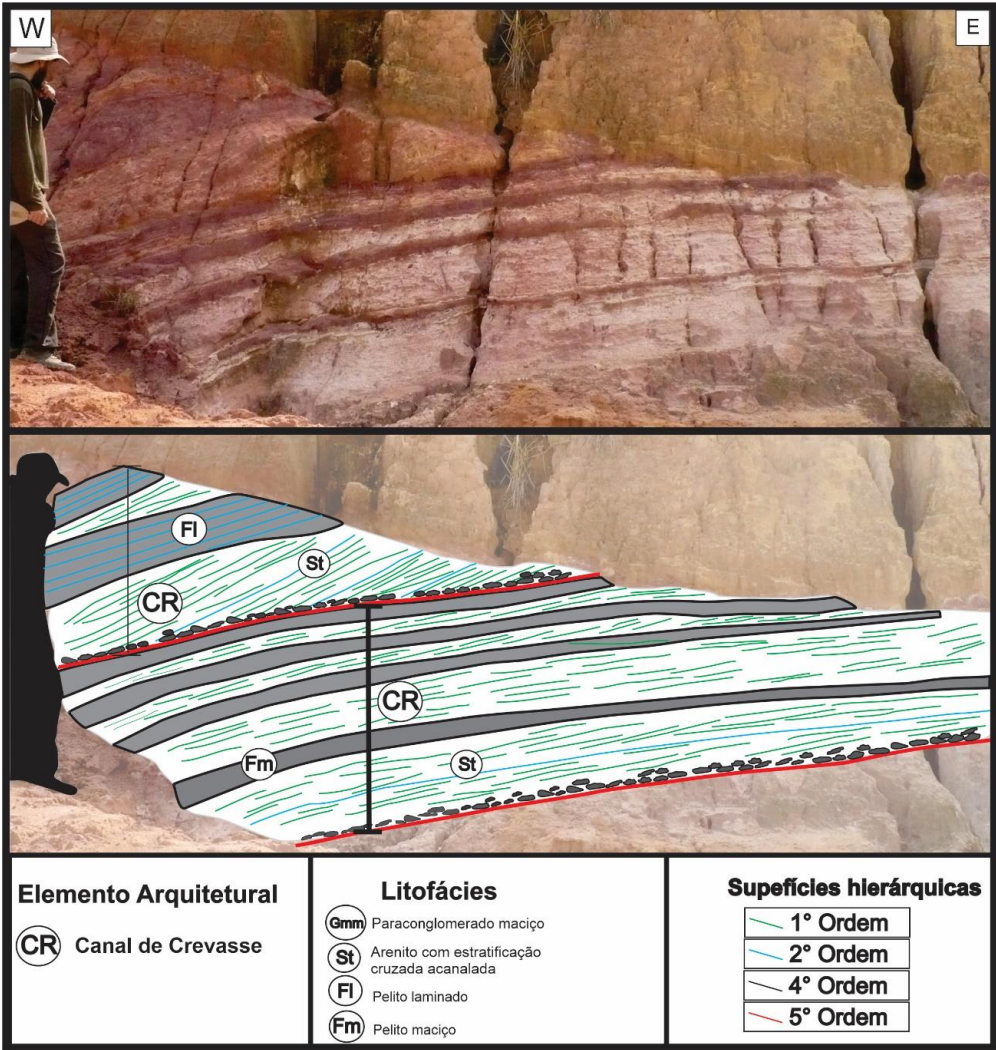
AFLORAMENTO P4 – ESTALEIRO NORTE



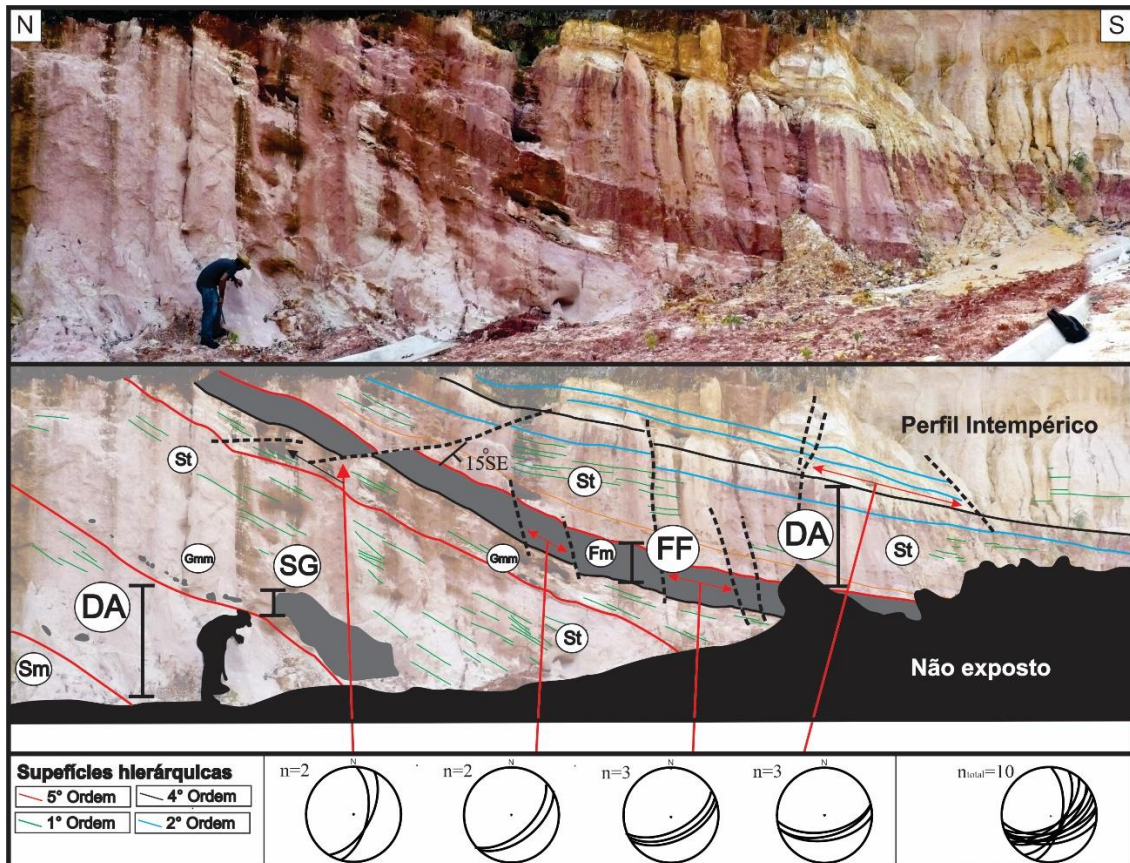
AFLORAMENTO P5 – AVENIDA DAS FLORES



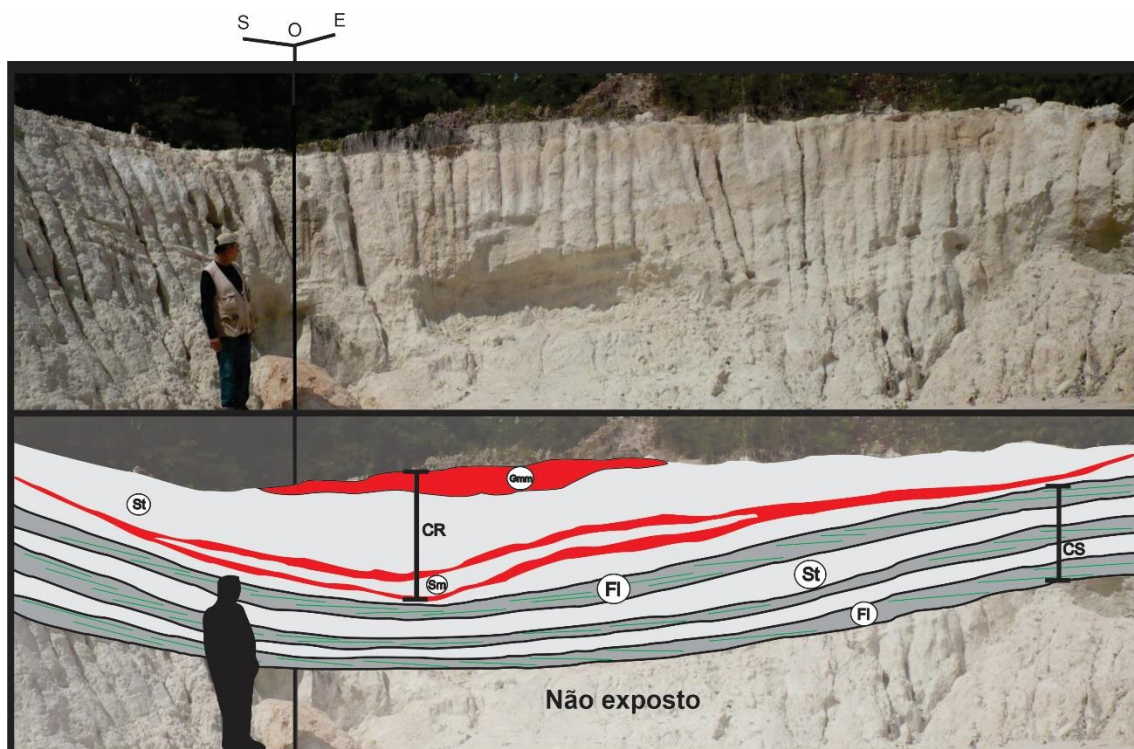
AFLORAMENTO P6 – POSTO MORADA DO SOL



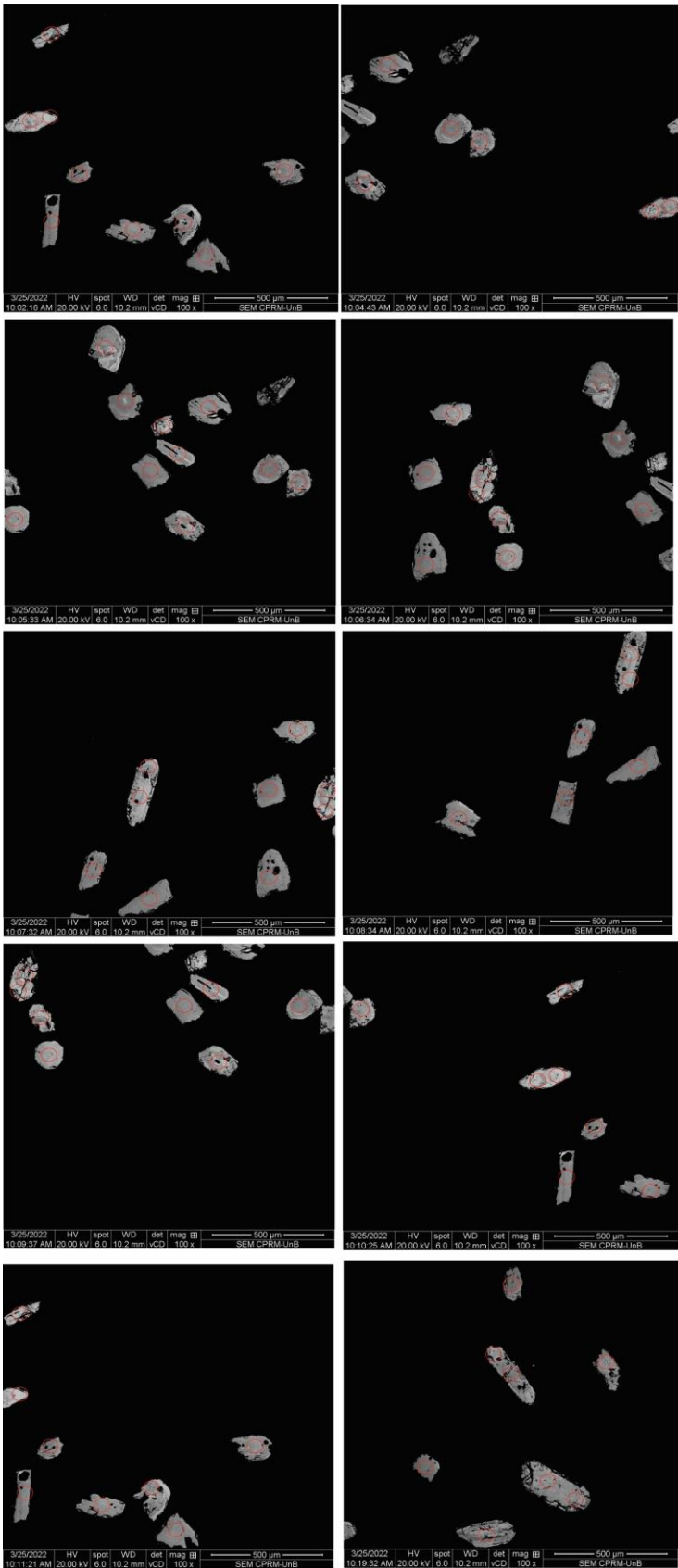
AFLORAMENTO P7 – KM 40 BR-174



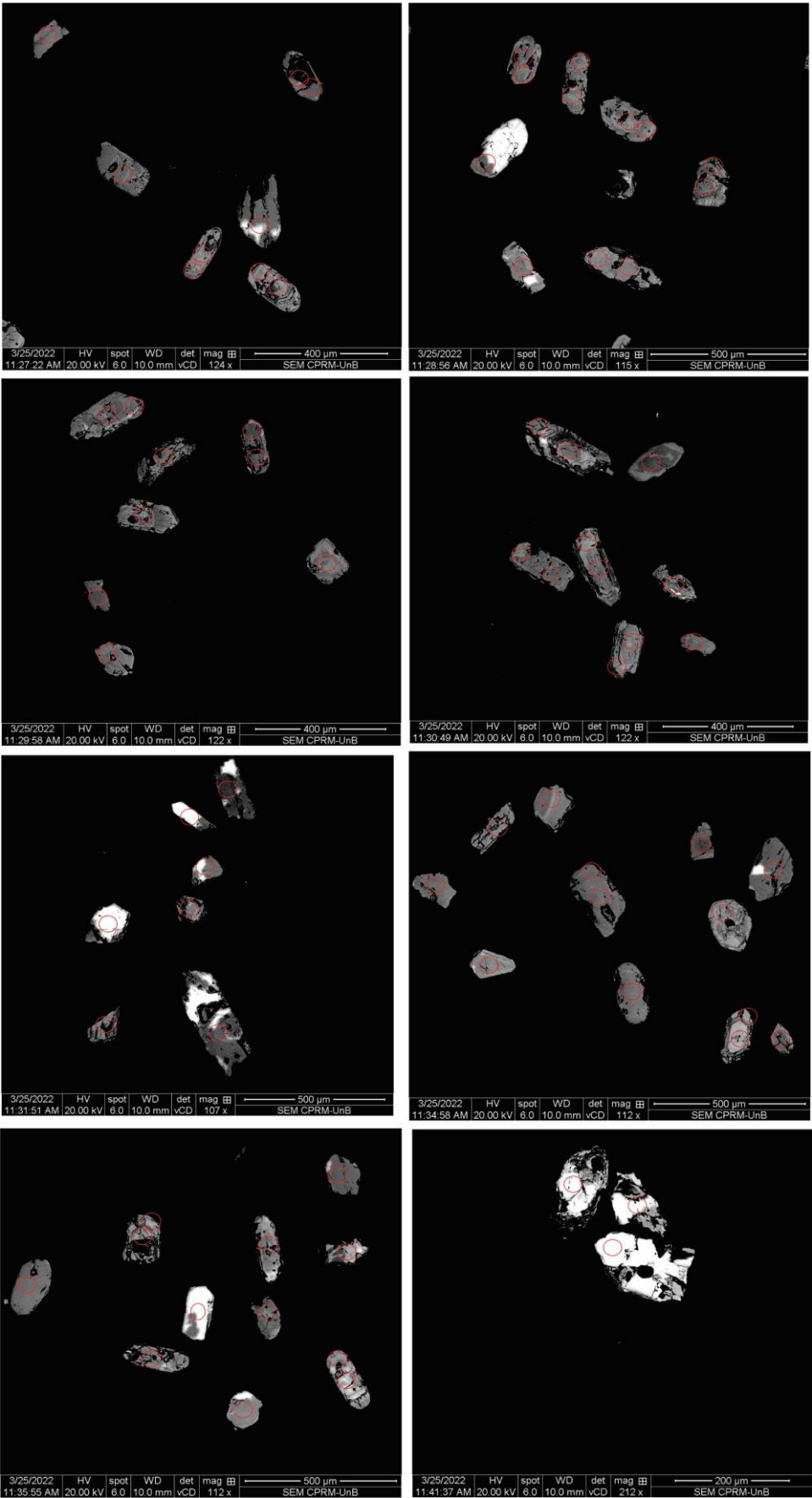
AFLORAMENTO P8 –KM 84 BR-174



ANEXOS – IMAGENS DE BACKSCATTERED ELECTRONS
AMOSTRA AC-02



AMOSTRA AC-05



AMOSTRA AC-07

