

## Artigo de Pesquisa

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DOS MINERAIS PESADOS DA UNIDADE SEDIMENTAR NEÓGENA AFLORANTE NA ZONA DE CONFLUÊNCIA DOS RIOS NEGRO E SOLIMÕES, AMAZÔNIA CENTRAL****Characterization of heavy minerals from the Neogene sedimentary unit in the confluence region of the Negro and Solimões rivers, Central Amazon**

Carmem Nátaly Amorim Franco<sup>1</sup>, Emílio Alberto Amaral Soares<sup>2</sup>, Rodolfo Dino<sup>3</sup>, Luzia Antonioli<sup>4</sup>, Cleber Eduardo Neri Rabelo<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-graduação em Geociências, Manaus, Brasil. E-mail. [carm.nataly@gmail.com](mailto:carm.nataly@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0001-8941-9446>

<sup>2</sup> Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-graduação em Geociências, Manaus, Brasil. E-mail. [easoares@ufam.edu.br](mailto:easoares@ufam.edu.br)

 <https://orcid.org/0000-0002-3097-8187>

<sup>3</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail. [dinouerj@gmail.com](mailto:dinouerj@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-5310-4685>

<sup>4</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail. [luantonioli7@gmail.com](mailto:luantonioli7@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-7846-6324>

<sup>5</sup> Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geociências, Manaus, Brasil. E-mail. [cleberrabelo@ufam.edu.br](mailto:cleberrabelo@ufam.edu.br)

 <https://orcid.org/0000-0002-3212-4054>

Recebido em 31/01/2023 e aceito em 27/08/2023

**RESUMO:** O presente estudo tem como objetivo a caracterização mineralógica de minerais pesados na caracterização mineralógica da unidade sedimentar neógena, informalmente denominada de Formação Novo Remanso, aflorante nas margens dos rios Negro, Solimões e Uatumã (Amazônia Central). Na última década, essa formação foi individualizada por meio de estudos de fácies sedimentares e palinologia, sendo posicionada discordantemente sobre a unidade cretácea (Formação Alter do Chão) do Grupo Purus, Bacia do Amazonas. A metodologia dos minerais pesados tem se mostrado uma ferramenta eficaz na diferenciação dessas formações que sustentam grande parte do relevo desta porção da Amazônia, principalmente em locais onde a relação de contato não é evidente e/ou encontra-se encoberto. Além disso, outro fator primordial que dificulta a individualização das formações nos afloramentos é a semelhança de fácies sedimentares, as quais são indicativas de paleoambiente deposicional fluvial, que por vezes, mostram-se ainda modificadas por processos pedogenéticos superimpostos. Os dados mineralógicos obtidos nesse estudo mostram que a unidade sedimentar neógena apresenta uma assembleia ultraestável a instável de minerais pesados, com uma

diversidade de grãos de ZTR (zircão, turmalina e rutilo), além de silimanita, estauroilita, cianita, epídoto, apatita, topázio, anfibólio (hornblenda) e, menos frequentemente, granada. Essa assinatura mineralógica pode servir de padrão para estudos paleogeográficos e de proveniência sedimentar, que associam a deposição da Formação Novo Remanso à implantação do paleossistema de drenagem da Bacia do Amazonas, que migrava de oeste para leste, no Neógeno.

**Palavras-chave:** Bacia do Amazonas, Megassequência Mesozoica-Cenozoica, Proveniência, Paleossolo Laterítico.

**ABSTRACT:** The present study aims at the characterization mineralogical of heavy minerals in the mineralogical characterization of the Neogene sedimentary unit informally called the Novo Remanso Formation, outcropping on the banks of the Negro, Solimões, and Uatumã rivers (Central Amazonia). In the last decade, sedimentary facies and palynology studies have individualized this formation and positioned it unconformably above the Cretaceous unit (Alter do Chão Formation) of the Purus Group in the Amazon Basin. The heavy mineral methodology has proven to be an efficacious tool to distinguish these formations that make up much of the relief in this part of the Amazon, especially in places where the contact relationship is not evident and/or hidden. Another critical factor that makes it challenging to individualize the outcrop formations is the similarity of the sedimentary facies, which indicates a fluvial depositional environment that sometimes still appears to be modified by overlying pedogenetic processes. The mineralogical data obtained in this study indicate that the Neogene sedimentary unit has an ultrastable to an unstable assemblage of heavy minerals, with a variety of ZTR grains (zircon, tourmaline, and rutile), in addition to sillimanite, staurolite, kyanite, epidote, apatite, topaz, amphibole (hornblende), and, less commonly, garnet. This mineralogical signature can serve as a standard for paleogeographic studies and sedimentary provenance that relate the Novo Remanso Formation deposition to the Neogene implementation of the Amazonas Basin drainage paleosystem, which migrated from west to east.

**Keywords:** Amazonas Basin, Mesozoic-Cenozoic megasequence, Provenance, Lateritic paleosol.

## INTRODUÇÃO

A região amazônica, devido à sua vastidão e à densa cobertura de vegetação e solo, apresenta um contexto desafiador para a pesquisa geológica de superfície. A complexidade ambiental única dessa região frequentemente torna a observação e a diferenciação das unidades aflorantes uma tarefa árdua. Entretanto, na última década, estudos geológicos e geofísicos de superfície e subsuperfície têm se empenhado na investigação minuciosa da cobertura sedimentar neógena, que sustenta grande parte do relevo da Amazônia Central e, até então, tem sido pouco estudada em detalhe. Essa cobertura, tem sido informalmente denominada de "Formação Novo Remanso", em função da localidade homônima à leste de Manaus, sendo citada por Cunha et al. (2007) na carta estratigráfica da Bacia do Amazonas. A pesquisa ganha relevância ao se considerar a necessidade premente de sua individualização em área aflorante, principalmente devido a semelhança litológica com a unidade cretácea (Formação Alter do Chão) sotoposta, conforme demonstrado nos mapas geológicos regionais (CPRM, 2006; 2008a). O marco fundamental dessa pesquisa foi o posicionamento palinoestratigráfico da unidade neógena em afloramentos das regiões de Manacapuru, Iranduba, Manaus, Itacoatiara e Presidente Figueiredo por Dino et al. (2012) e Soares et al. (2015). Dados geológicos-geofísicos de subsuperfície indicam que a referida unidade apresenta continuidade estratigráfica entre os municípios de Itacoatiara e Manaus, distante cerca de 300 km, com uma espessura variável entre 20 a 80 metros, disposta discordantemente sobre a unidade cretácea (Soares et al.,

2016). Entretanto, nos afloramentos estudados, a diferenciação entre as unidades tem se mostrado desafiadora, devido à semelhança das fácies sedimentares fluviais, que por vezes, mostram-se modificadas por processos pedogenéticos e/ou intempéricos superimpostos. A clara delimitação ocorre apenas nos locais onde a transição entre elas é abrupta e/ou marcada por paleossolo laterítico.

Na Amazônia Central, critérios efetivos de diferenciação e proveniência sedimentar as unidades cretácea e neógena foram recentemente estabelecidos com base em dados mineralógicos das assembleias de minerais pesados obtidos por Franco et al. (2022). Vale destacar que os minerais pesados desempenham um papel crucial em estudos de proveniência sedimentar (Morton & Hallsworth, 1999; James et al., 2018; Mendes et al., 2020), interpretação paleoclimática ou diagenética (Ando et al., 2012), diferenciação entre unidades litológicas de diferentes idades, além de serem importantes na análise do padrão de dispersão sedimentar em sistemas deposicionais (Guedes et al., 2010). Seguindo a linha de pesquisa de Franco et al. (2022), o presente estudo analisou a assembleia de minerais pesados de afloramentos neógenos ainda não estudados, localizados nos rios Negro, Solimões e Uatumã (Amazônia Central) e definiu uma assinatura mineralógica para a referida unidade, ampliando a área aflorante da Formação Novo Remanso. Desta forma, os dados mineralógicos obtidos visam contribuir para o detalhamento estratigráfico da cobertura sedimentar pós-cretácea aflorante na porção central da Bacia do Amazonas.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

Na Amazônia Central afloram rochas sedimentares das formações Alter do Chão (Cretáceo) e Novo Remanso (Neógeno) que compõem o relevo da região de terra firme, sendo encobertas parcialmente por depósitos fluviais quaternários dispostos nos canais fluviais e áreas marginais (Soares & Riccomini 2002, Andrade & Soares 2005, Soares et al. 2010, Gonçalves Jr. 2013). A Formação Alter do Chão, posicionada por palinologia no Meso-Albiano/Turoniano (Daemon, 1975) e Aptiano-Cenomaniano (Dino et al., 1999), é constituída por arenitos, pelitos e conglomerados característicos de um paleoambiente fluvial-deltaico-lacustre (Cunha et al., 1994, 2007; Nogueira et al., 1997; Dino et al., 1999). Nesta formação, fácies fluviais associadas a preenchimento de canal e depósitos externos (Mendes et al., 2012) e depósitos de canal e planície de inundação (Nogueira et al., 1999) foram definidas em Óbidos (Pará) e Manaus (Amazonas), respectivamente. Na porção oeste da Bacia do Amazonas foram identificados depósitos pós-cretáceo, sob a denominação informal de Formação Novo Remanso (Rozo et al., 2005; Soares et al., 2010; Rozo et al., 2012; Guimarães et al., 2015). Essa formação é constituída predominantemente por arenitos, com pelitos e conglomerados subordinados, que compõem fácies de canal, barra em pontal, planície de inundação e *crevasse splay* que caracterizam um paleossistema fluvial meandrante, sendo delimitada na base e no topo por superfícies de descontinuidades, por vezes definidas por paleossolos lateríticos (Dino et al., 2012; Soares et al., 2015; Guimarães et al., 2015). Tais paleossolos tem sido utilizado para correlação estratigráfica na Amazônia, por envolver um tempo de formação relativamente longo e ampla distribuição geográfica (Kotschoubey & Truckenbrodt, 1981; Costa, 1991; Horbe et al., 2001; Rossetti, 2004; Soares et al., 2016) e sua

gênese tem sido associada a eventos de lateritização (Horbe, 2014; Soares et al., 2016; Guinoiseau et al., 2021).

A Formação Novo Remanso foi posicionada no Mioceno Médio por meio de análises palinoestratigráficas em afloramentos das regiões de Manaus, Iranduba, Manacapuru e Presidente Figueiredo (Dino et al., 2012; Soares et al., 2015). A palinoflora representativa do Mioceno médio é dominada por formas afins às Angiospermas nas quais as mais representativas são as espécies *Grimnsdalea magnaclavata*, *Bombacacidites baumfalki*, *Mauritidites franciscoi* que surgem no Terciário, sendo não mais velhas do que o Mioceno, conforme reconhecido nos estudos de Dino et al. (2006, 2012) e Soares et al. (2015). Entretanto, a assembleia palinológica (pólenes e esporos) definida por Guimarães et al. (2015) para a unidade neógena, permitiu posicioná-la no intervalo Mioceno Médio-Plioceno.

Dados geológicos-geofísicos de poços de perfuração mostram a continuidade lateral da unidade miocena por aproximadamente 300 km, entre os municípios de Manaus e Itacoatiara, sobreposta discordantemente a unidade cretácea, exibe continuidade lítica na região entre Itacoatiara e Manaus, com espessura de 20 a 80 m, sobreposta discordantemente a unidade cretácea (Soares et al., 2016). No estudo de Bezerra et al. (2022), a unidade miocena foi incluída na unidade de Terraço Fluvial T3, que ocorre sobreposta discordantemente a unidade cretácea em afloramentos da margem do Rio Amazonas. Essa relação estratigráfica foi também identificada em perfis sônicos e seções sísmicas ao sul de Manaus e nordeste de Itacoatiara por Costa (2002).

## MATERIAIS E MÉTODOS

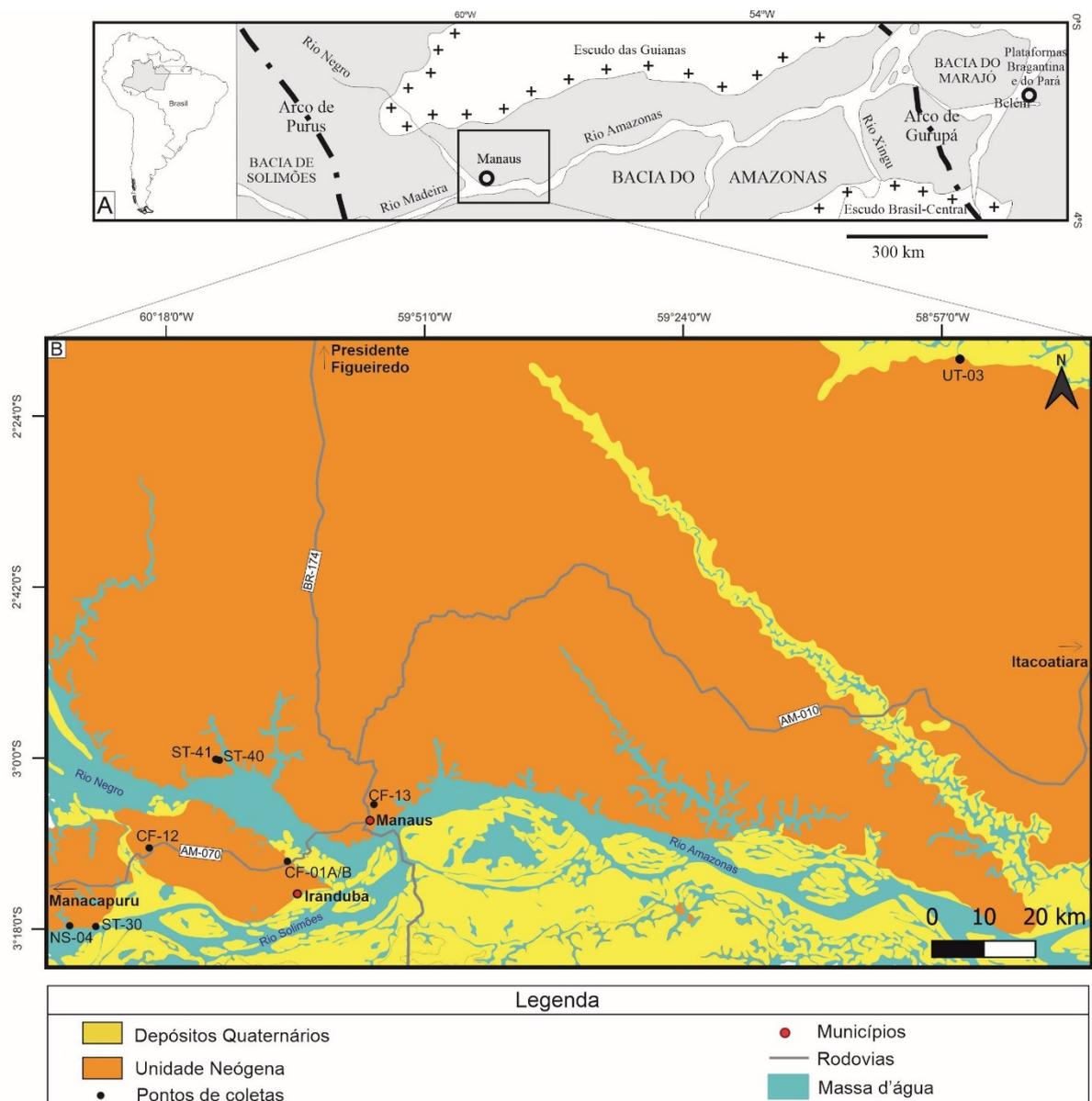
Foram analisados 8 afloramentos da unidade sedimentar neógena (Figura 1), os locais estudados consideraram a facilidade de acesso e melhores exposições aflorantes ao longo das rodovias, estradas secundárias e rios da região, buscando os limites estratigráficos de topo e base. Foram analisadas amostras de arenitos finos a grossos (correspondente geralmente as barras fluviais) na individualização de fácies sedimentares propostas por Nogueira et al. (1999), Rozo et al. (2005), Dino et al. (2012) e Soares et al. (2015), conforme indicado na seção panorâmica e colunar (Figura 2), a partir de composições superposições parciais de fotografias, permitindo uma melhor visualização do aspecto geral do afloramento, seguindo a metodologia de Wisevich (1991).

Foi utilizado o intervalo granulométrico 0,062-0,125 mm (areia muito fina), que corresponde a fração com maior quantidade e diversidade de minerais pesados (Mange & Maurer, 1992) e que apresenta menor influência do fracionamento hidráulico durante o ciclo sedimentar (Rittenhouse, 1943). Os intervalos coletados foram submetidos a separação gravimétrica (Bromofórmio, densidade 2.89g/ml) para a obtenção dos minerais pesados de acordo com a metodologia de Mange & Maurer (1992). Lâminas de grãos foram confeccionadas com o auxílio de uma resina não birrefringente (Bálsamo do Canadá, índice de refração=1.538) e, em seguida, descritas no microscópio petrográfico. A análise qualitativa seguiu a metodologia de Mange & Maurer (1992) e Coutinho & Coimbra (2005) que identifica os minerais pesados por meio de suas propriedades ópticas (relevo, forma, cor, pleocroísmo,

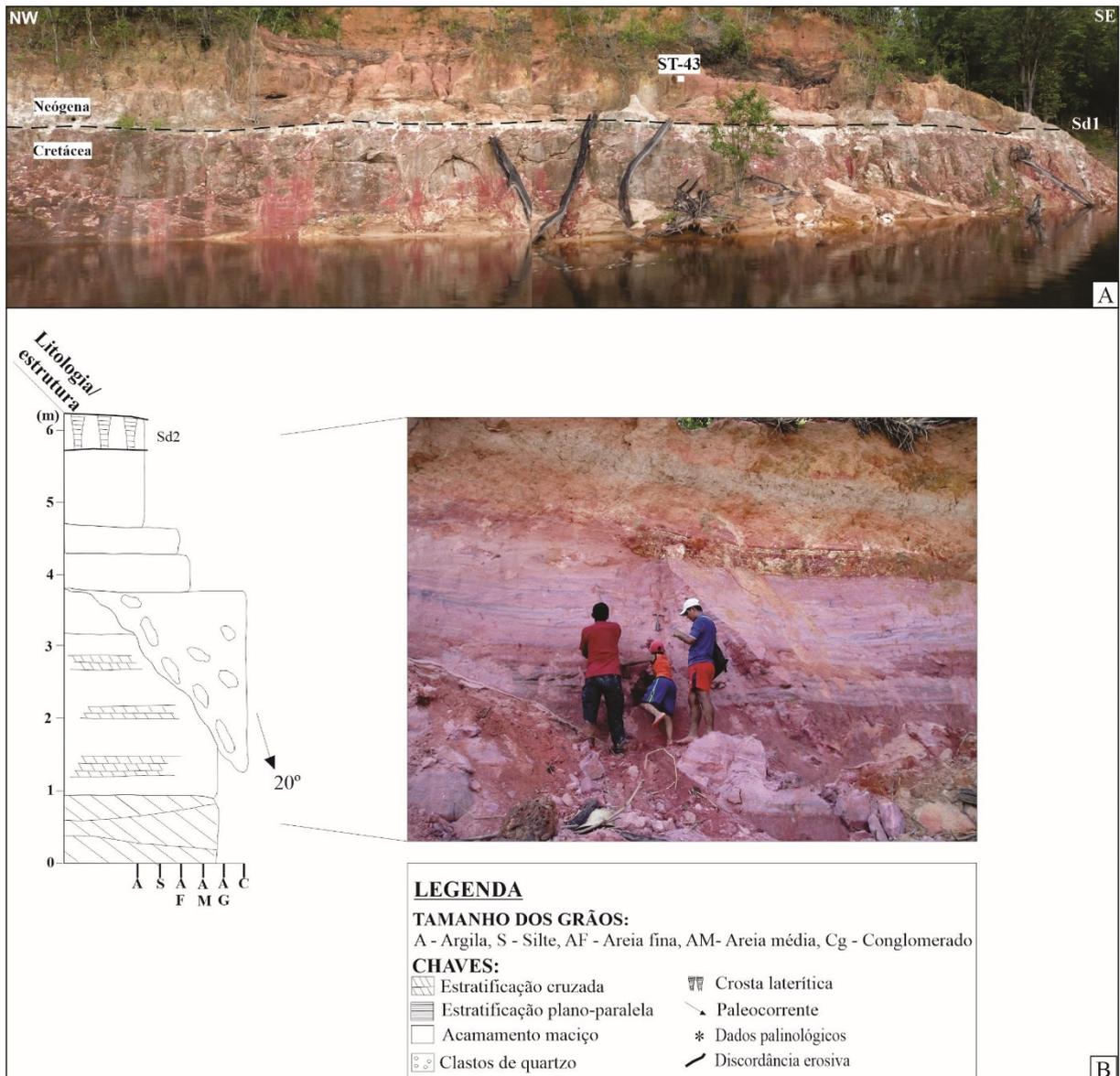
clivagem, ângulo de extinção, zoneamento e caráter óptico). Foram contados de 100 a 300 grãos por lâmina para a análise quantitativa, que visa determinar a frequência de ocorrência dos minerais pesados (transparentes, não opacos e não micáceos) pelo método de contagem das linhas transversais de Galehouse (1969) e Harwood et al. (1988). Foi também efetuada a análise morfológica dos grãos de zircão, com ênfase na determinação dos graus de arredondamento e esfericidade, baseado na tabela de Powers (1953). Na determinação do grau de maturidade composicional foi empregado o índice ZTR (Hubert, 1962) que reflete a soma dos percentuais individuais dos grãos de zircão, turmalina e rutilo, enquanto a abundância relativa de cada mineral foi expressa em porcentagem (gráfico de pizza), onde a porcentagem inferior a 1% foi atribuída a grãos de minerais traços. A frequência média foi definida pela média aritmética das frequências absolutas individuais de cada mineral.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os afloramentos analisados da unidade sedimentar neógena se localizam nas barrancas dos rios Negro, Solimões e Uatumã, cujo posicionamento no mapa da figura 1 seguiu a individualização geológica proposta nos mapas regionais da CPRM (2008b, 2016) e Gonçalves Jr. et al. (2016). Exibem espessura aflorante de aproximadamente 10 a 15 metros e coloração amarelada a avermelhada, sendo constituídos principalmente por arenitos (finos a médios), com pelitos e conglomerados subordinados (Figuras 2A). Os arenitos são predominantemente quartzosos, variam de fino a grosso, mal selecionados, por vezes, com grânulos de quartzo e argila dispersos. Internamente, as camadas exibem aspecto maciço, além de estratificações plano-paralela e cruzada tabular (com paleocorrente para SE), conforme indicado na seção colunar do afloramento padrão desta unidade (Figura 2B), ponto NS-04 do estudo de Dino et al. (2012). Os pelitos são maciços e/ou laminados enquanto os conglomerados são maciços e preenchem feições de paleocanais, contendo blocos de arenitos de até 60cm de diâmetro imersos em matriz arenosa fina a grossa. Apresenta limites inferior e superior bruscos, por vezes marcados por paleossolos lateríticos, os quais são correlacionados, respectivamente, as superfícies de descontinuidade regional Sd1 e Sd2 descritas por Dino et al. (2012) (Figura 2).



**Figura 1.** Destaque do Estado do Amazonas no mapa da América do Sul (A), mostrando a delimitação dos arcos estruturais, escudos e bacias sedimentares (Solimões, Amazonas e Marajó) com a delimitação da área de ocorrência da unidade sedimentar neógena e depósitos quaternários nos rios Negro, Solimões, Uatumã e Amazonas (B). Mapa geológico elaborado a partir de dados da CPRM (2006, 2008b), Soares et al. (2010) e Gonçalves Jr. et al. (2016), com os pontos estudados indicados pelas siglas CF, ST, NS e UT. **Fonte:** Autores (2023).

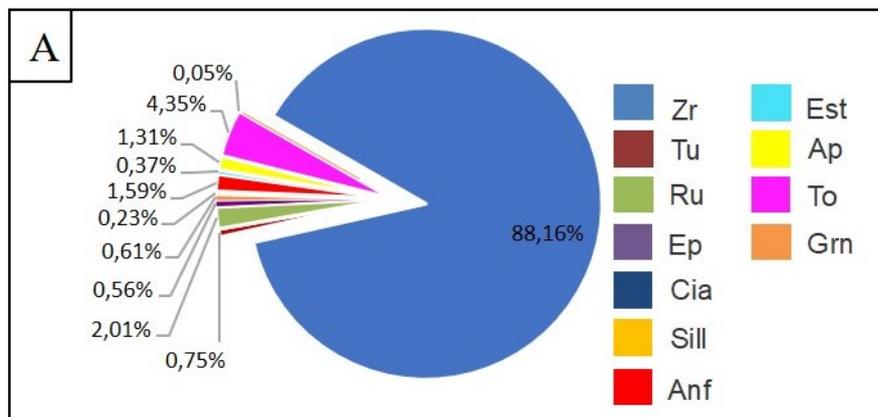


**Figura 2.** A) Afloramentos da unidade sedimentar neógena, com indicação do contato brusco e irregular (Sd1) entre as unidades sedimentares cretácea e neógena na margem direita do Rio Negro (Amostra ST-43). B) Seção colunar e panorâmica da unidade sedimentar neógena aflorante na margem do Rio Solimões, exibindo nível de paleossolo laterítico (Sd2) no topo (Dino et al. 2012, ponto NS-04). **Fonte:** Autores (2023).

#### 4.1. Assembleia de Minerais Pesados

A assembleia de minerais pesados transparentes não micáceos da unidade sedimentar neógena (Formação Novo Remanso) exibe uma expressiva diversidade mineralógica, sendo constituída principalmente por grãos de minerais ultraestáveis, como zircão, turmalina e rutilo, com frequência média de 88,16%, 0,75% e 2,01%, respectivamente. Apresenta também grãos de minerais metaestáveis a instáveis, como epídoto (0,56%), cianita (0,61%), silimanita (0,23%), anfibólio (1,59%), estauroлита (0,37%), apatita (1,31%) e topázio (4,35%), além de grãos esporádicos de

granada (0,05%) (Figura 3). O índice ZTR define um grau de maturidade elevado para as amostras analisadas, com uma variação de 87 a 98,96%, conforme observado na Tabela 1. Arenitos com ZTR elevado possuem áreas fontes envolvendo terrenos reciclados (Remus et al., 2008).

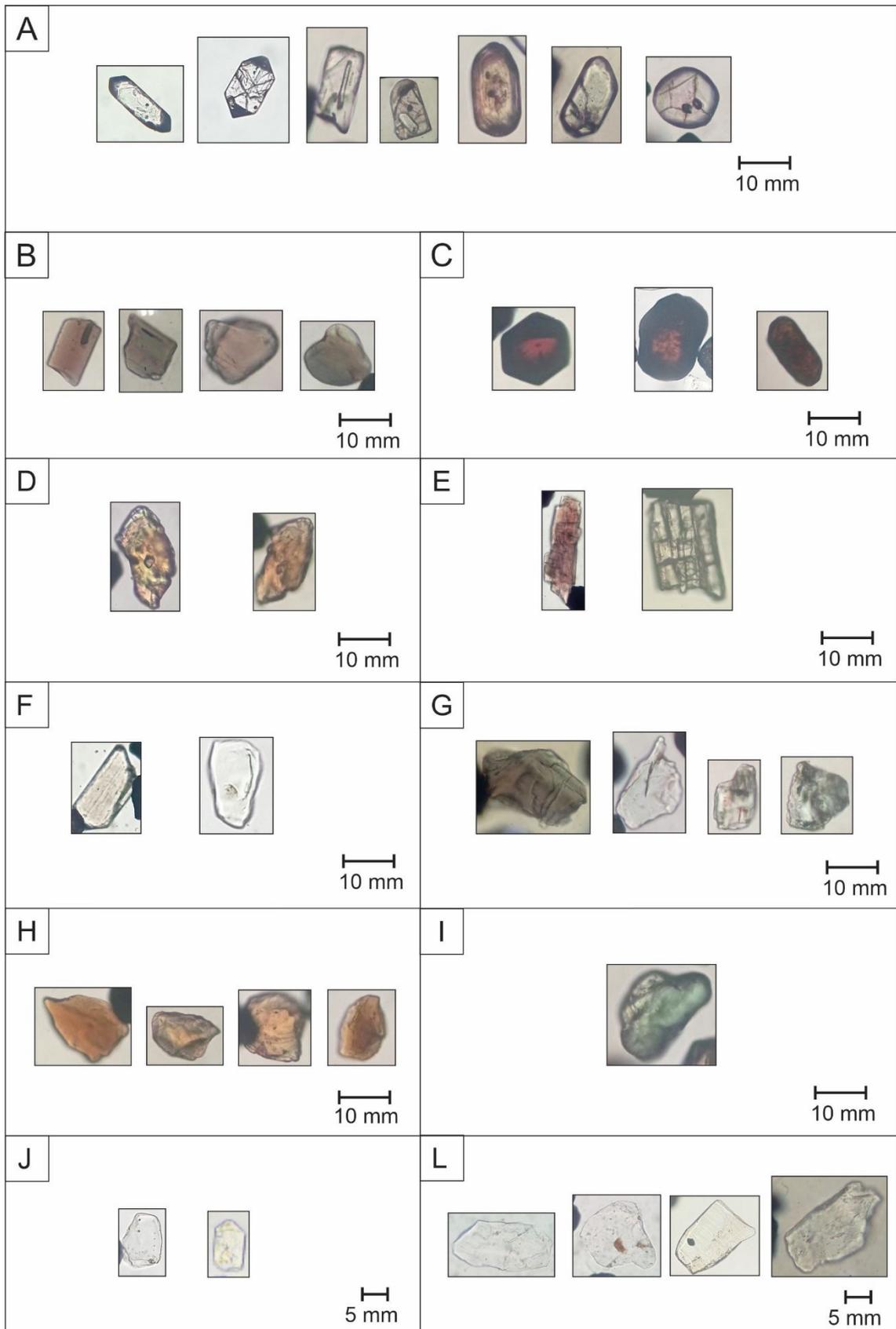


**Figura 3.** Representação gráfica da frequência média de minerais pesados da unidade sedimentar neógena. Com destaque para os grãos de zircão (Zr), além de turmalina (Tu), rutilo (Ru), epidoto (Ep), cianita (Cia), sillimanita (Sill), anfibólio (Anf), estauroлита (Est), apatita (Ap), topázio (To) e granada (Grn). **Fonte:** Autores (2023).

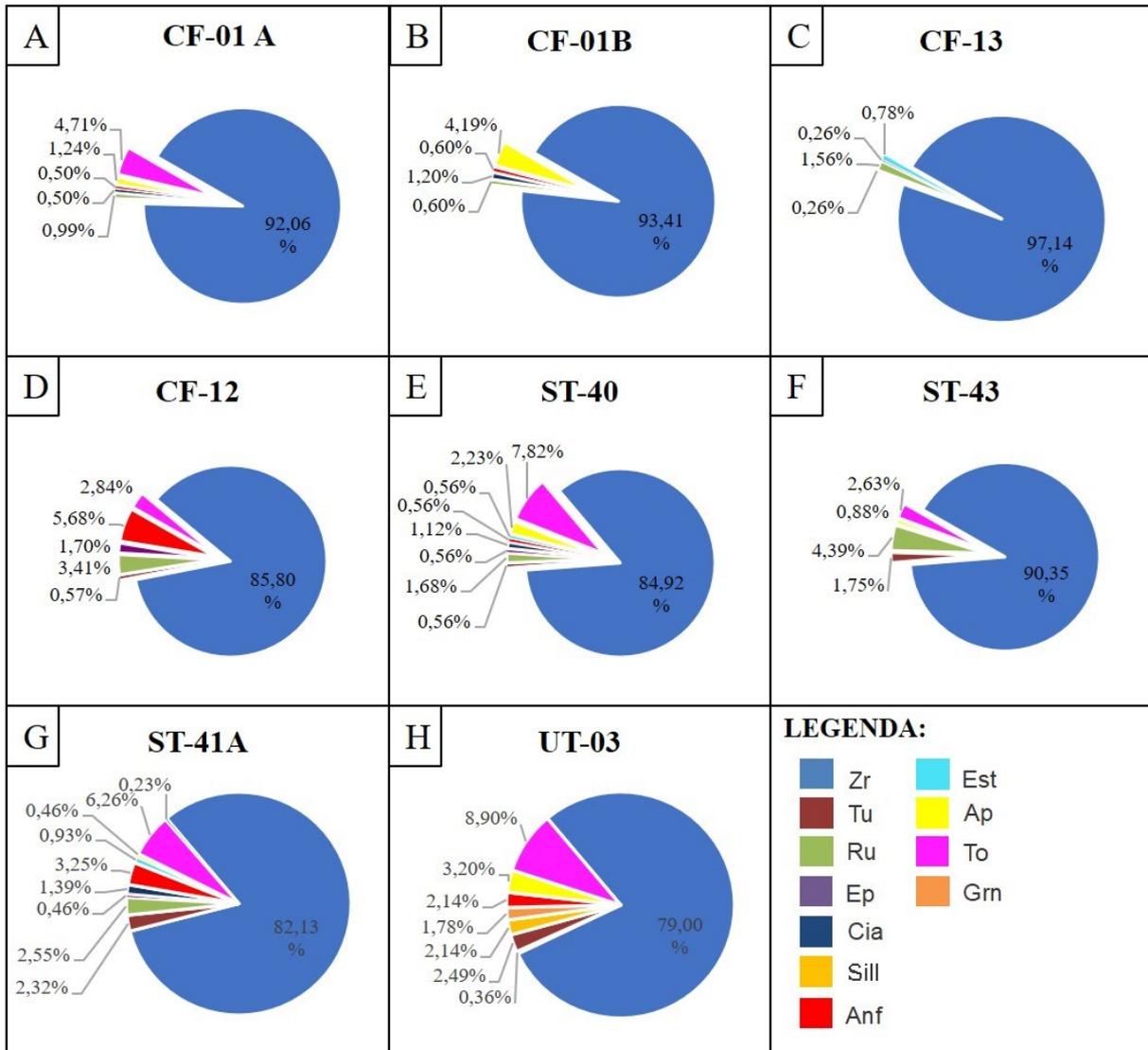
**Tabela 1.** Frequência absoluta de minerais pesados transparentes não-micáceos da Formação Novo Remanso na fração 0.062 a 0.125 mm. Zr- zircão, Tu- turmalina, Ru- rutilo, Est- estauroлита, Anf- anfibólio, Grn- granada Sill- sillimanita, Cia- cianita, Ap- apatita, Ep- epidoto, To- topázio, N- número total de grãos e ZTR- índice de maturidade mineralógica.

Amostras	Zr	Tur	Ru	Est	Anf	Grn	Sill	Cia	Ap	Ep	Tz	N	ZTR (%)
CF-01 A	371	-	4	-	2	-	-	2	5	-	19	403	93,05
CF-01 B	156	-	1	-	1	-	-	2	7	-	-	167	94,01
CF-12	151	1	6	-	10	-	-	-	-	3	5	176	89,77
CF-13	374	1	6	3	-	-	-	1	-	-	-	385	98,96
UT-03	222	1	7	-	6	-	5	-	9	6	25	281	83,33
ST-40 A	152	1	3	1	1	-	-	2	4	1	14	179	87,15
ST-41 A	354	10	11	4	14	1	-	6	2	2	27	431	87
ST-43 A	103	2	5	-	-	-	-	-	1	-	3	114	96,49

**Fonte:** Autores (2023).



**Figura 4.** Fotomicrografias (luz natural) da assembleia de minerais pesados da unidade sedimentar neógena, representada por grãos de zircão (A, com diferentes graus de arredondamento), turmalina (B), rutilo (C), epídoto (D), cianita (E), sillimanita (F), anfibólio (G), estaurólita (H), granada (I), apatita (J) e topázio (L).  
**Fonte:** Autores (2023).



**Figura 5.** Representação gráfica dos percentuais individuais de minerais pesados da unidade neógena (amostras com siglas CF, ST e UT). Grãos de zircão (Zr), turmalina (Tu), rutilo (Ru), epídoto (Ep), cianita (Cia), sillimanita (Sill), anfibólio (Anf), estaurólita (Est), apatita (Ap), topázio (To) e granada (Grn). **Fonte:** Autores (2023).

O zircão é o mineral mais abundante, com frequência individual variando entre 79% a 97,14% (Figuras 4A e 5A-H). Os grãos são em geral incolores, exibem relevo alto, hábito prismático, geralmente euédrico a subédrico, por vezes com arestas arredondadas. Exibem pequenas inclusões e alguns grãos mostram-se quebrados.

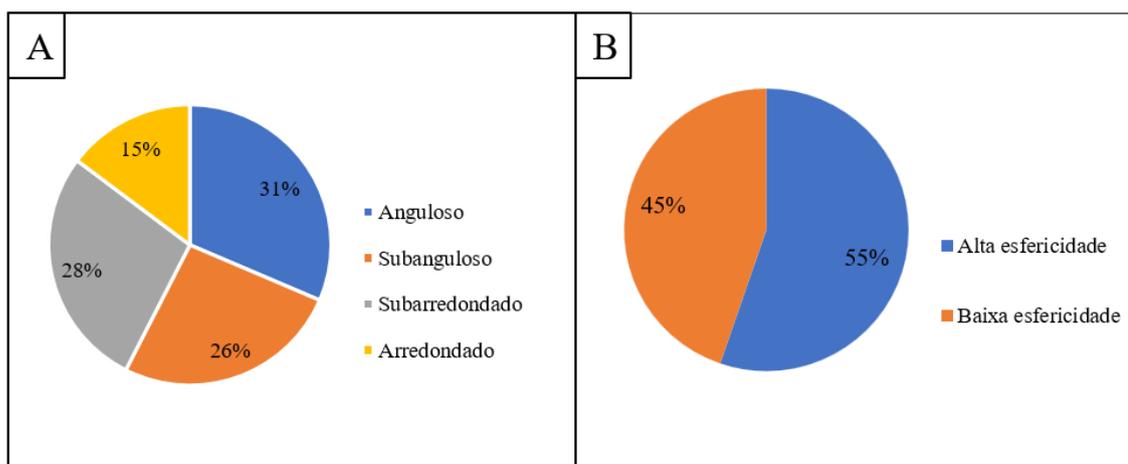
A turmalina apresenta frequência individual entre 0,26% até 2,32% (Figuras 4B e 5A-H). Os grãos apresentam coloração predominantemente marrom e amarelo, hábito prismático e variam de subangulosos a subarredondados. Os grãos de rutilo apresentam frequência individual entre 0,60% a 4,39%, coloração vermelha a marrom-avermelhada, hábito euédrico ou anédrico, variando de arredondados a angulosos (Figura 4C e 5A-H). Os grãos de epídoto apresentam frequência individual entre 0,46% a 2,14%, coloração amarelada a alaranjada, forma irregular e variam de angulosos a subangulosos (Figuras 4D e 5A-H).

Os grãos de cianita apresentam frequência individual entre 0,50% a 1,39% do total de grãos presentes, hábito tabular alongado (entretanto formas irregulares são observadas), sendo predominantemente angulosos (Figuras 4E e 5A-H). Os grãos de silimanita apresentam frequência individual de 1,78% (identificados apenas na amostra UT-03), são incolores, hábito prismático e variam de subarredondados a angulosos (Figuras 4F e 5A-H). Os grãos de anfibólio (frequência individual entre 0,50% a 5,68%) são incolores (por vezes esverdeados) e exibem forma irregular (Figura 4G e 5A-H).

Os grãos de estaurolita (frequência individual entre 0,56% a 0,93%) exibem coloração amarelo pálido e se destacam geralmente por apresentar formas irregulares e bordas corroídas e variam de subangulosos a angulosos (Figuras 4H e 5A-H). Os grãos de granada ocorrem restritamente na amostra ST-41 (frequência individual de 0,23%), são isotrópicos, exibem coloração esverdeada, relevo alto e são predominantemente subarredondados (Figura 4I e 5A-H). Os grãos de apatita (Figuras 4J e 5A-H) e topázio (Figuras 4L e 5A-H) apresentam frequência individual respectivamente entre 0,58% a 4,19% e 2,63% a 8,90%, são incolores e variam de subangulosos a arredondados.

#### **4.2. Análise morfológica dos grãos de zircão**

Os grãos de zircão exibem graus de arredondamento e esfericidade diversos. Predominam grãos angulosos (31%), subangulosos (26%), subarredondados (28%) e arredondados (15%), com pouca diferença no grau de esfericidade (alta - 55% e baixa - 45%), conforme ilustrado nos gráficos da Figura 6. Essas análises utilizam o zircão devido a abundância na assembleia analisada, em função da elevada dureza e resistência ao intemperismo (Suguio, 2003).



**Figura 6.** Gráficos mostrando os graus de arredondamento (A) e esfericidade (B) dos grãos de zircão nas amostras da unidade neógena. **Fonte:** Autores (2023).

A assembleia mineralógica encontrada para a unidade sedimentar neógena é constituída por grãos de minerais pesados (ultraestável a instável) de zircão, turmalina, rutilo, cianita, epídoto, silimanita, apatita, hornblenda, topázio, estauroilita e granada, sendo, portanto, semelhante a definida para esta unidade por Franco et al. (2022). A semelhança também se estende para a elevada maturidade mineralógica definida pelos valores entre 87% a 98,96% do índice ZTR (Zircão-Turmalina-Rutilo).

A assembleia mineral também sugere múltiplas áreas-fonte, incluindo origens ígneas, metamórficas e sedimentares, provavelmente associadas à província geocronológica Ventuari-Tapajós, definida na porção central do Cráton Amazônico (Mappes et al., 2006), bem como a unidades sedimentares retrabalhadas da Bacia do Amazonas, conforme também enfatizado nas análises de Franco et al. (2022). Os grãos de zircão analisados apresentam diferentes morfologias, sendo angulosos a subarredondados, o que indica também áreas fontes distintas. As formas prismáticas e angulosas podem ser relacionadas a área fonte mais proximal, provavelmente de rochas ígneas (Corfu, 2003), enquanto grãos subarredondados a arredondados são relacionados a sedimentos submetidos a ciclos de retrabalhamento. A relação da estabilidade mineralógica e do grau de arredondamento, permitiu inferir que o transporte sedimentar e os processos de intemperismo não foram intensos durante a deposição, já que transporte em grandes distâncias geralmente eliminam grãos mais instáveis e, conseqüentemente, favorece o aumento do grau de arredondamento.

A integração dos dados mineralógicos (minerais pesados) deste estudo com o de Franco et al. (2022) permitiram ampliar a área aflorante da Formação Novo Remanso na Amazônia Central, estendendo-se com maior precisão entre os municípios de Manacapuru e Itacoatiara. Além disso, na área estudada, a unidade foi melhor definida quanto ao posicionamento palinoestratigráfico dos estudos de Dino et al. (2012), Soares et al. (2015) e Guimarães et al. (2015).

## CONCLUSÃO

A análise qualitativa e quantitativa da assembleia de minerais pesados da Formação Novo Remanso possibilitou definir uma assinatura mineralógica para essa unidade, com a ampliação da área aflorante e diferenciação em relação a unidade sedimentar cretácea (Formação Alter do Chão) sotoposta. A assembleia de minerais pesados ultraestável a instável definida por grãos de zircão, turmalina, epídoto, cianita, silimanita, anfibólio, estauroлита, apatita, topázio e granada, integrada a elevada maturidade mineralógica do índice ZTR, indicam que o transporte sedimentar não foi longo e os processos intempéricos atuantes não foram intensos. Os dados também indicam múltiplas áreas fontes para esta unidade, com proveniência a partir de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares da província Ventuari-Tapajós, bem como de rochas sedimentares (pré-neógenas) retrabalhados da Bacia do Amazonas. A diversidade de áreas fonte também reflete nas diferentes morfologias dos grãos de zircão analisados, que em geral, variam de angulosos a arredondados, com pouca variação no grau de esfericidade.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Amazonas-FAPEAM pelo apoio financeiro para realização das etapas de campo e análises laboratoriais, desenvolvidas pelos projetos Nº 001/2020-FAPESP/FAPEAM e Nº 002/2023-POSGRAD/UFAM.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

**Concepção:** Carmem Nátaly Amorim Franco e Emílio Alberto Amaral Soares. **Metodologia:** Carmem Nátaly Amorim Franco e Cleber Eduardo Neri Rabelo. **Análise formal:** Emílio Alberto Amaral Soares. **Pesquisa:** Carmem Nátaly Amorim Franco, Emílio Alberto Amaral Soares, Cleber Eduardo Neri Rabelo. **Preparação de dados:** Carmem Nátaly Amorim Franco. **Escrita do artigo:** Carmem Nátaly Amorim Franco, Emílio Alberto Amaral Soares, Rodolfo Dino e Cleber Eduardo Neri Rabelo. **Revisão:** Emílio Alberto Amaral Soares e Luzia Antonioli. **Supervisão:** Emílio Alberto Amaral Soares e Luzia Antonioli. **Aquisição do financiamento:** Emílio Alberto Amaral Soares.

## REFERÊNCIAS

- ANDO, S.; GARZANTI, E.; PADOAN, M.; LIMONTA, M. Corrosion of heavy minerals during weathering and diagenesis: A catalog for optical analysis. **Sedimentary Geology**, v. 280, p. 165-178, 2012.
- ANDRADE, L.S.; SOARES, E.A.A. Estratigrafia de Subsuperfície da sequência sedimentar cretácea e neógena na cidade de Manaus. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 11., 2005, Manaus. **Anais** [...]. Manaus: SGA, 2005. p. 442-445.

BEZERRA, I. S. A. A.; NOGUEIRA, A. C. R.; MOTTA, M. B.; SAWAKUCHI, A. O.; MINELI, T. D.; SILVA, A. DE Q.; SILVA JR. AG, DOMINGOS FHG, MATA GAT, LIMA FJ, RIKER SRL. Incision and aggradation phases of the Amazon River in central-eastern Amazonia during the late Neogene and Quaternary.

**Geomorphology**, v. 399, p. 108073, 2022. DOI: 10.1016/j.geomorph.2021.108073

CORFU, F.; HANCHAR, J.M.; HOSKIN, P.W.; KINNY, P. Atlas of zircon textures.

**Reviews in mineralogy and geochemistry**, v. 53, n. 1, p. 469-500, 2003.

COSTA, M.L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazonia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p. 146-160, 1991.

COSTA, A.R.M. **Tectônica cenozoica e movimentação salífera na Bacia do Amazonas e suas relações com a geodinâmica das placas da América do Sul, Caribe, Cocos e Nazca**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

COUTINHO, J.M.V.; COIMBRA, A.M. Tabela de identificação Óptica de Minerais Transparentes em Sedimentos. Curitiba/São Paulo, UFPR/USP, 2005. p. 17.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas, Programa Geologia do Brasil. Brasília: Ministério de Minas e Energia / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 2006.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Geologia e recursos minerais do Estado do Pará: texto explicativo. Escala 1:1.000.000. Belém: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 2008a.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto de materiais de construção no domínio Médio Amazonas: minerais para construção civil. Informe de Recursos Minerais, Série Rochas e Minerais Industriais, 3. Manaus: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 2008b.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Geologia e recursos minerais da região metropolitana de Manaus, Estado do Amazonas, escala de integração 1:500.000. Manaus: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 2016.

CUNHA, P.R.C.; GONZAGA F.G.; COUTINHO L.F.C.; FEIJÓ, F.J. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 8, n.1, p. 47-55, 1994.

CUNHA, P.R.C.; MELO J.H.G.; SILVA O.B. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 227-251, 2007.

DAEMON, R.F. Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 2, p. 58-84, 1975.

DINO, R; SILVA, O.B.; ABRAHÃO, D. Caracterização palinológica e estratigráfica de estratos cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. In: SIMPÓSIO

SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5., 1999, Serra Negra. **Anais [...]**, Serra Negra: IGCE/UNESP, 1999, p. 557-565.

DINO, R.; SOARES, E.A.A.; RICOMINI, C.; ANTONIOLI, L.; NOGUEIRA, A.C.R. 2006. Caracterização palinoestratigráfica de depósitos miocênicos da Bacia do Amazonas, região de Manacapuru, AM. In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 7., 2006, Serra Negra. **Anais [...]** Serra Negra: IGCE/UNESP, 2006, p. 43.

DINO, R.; SOARES, E.A.A.; ANTONIOLI, L.; RICCOMINI, C.; NOGUEIRA, A.C.R. Palynostratigraphy and sedimentary facies of Middle Miocene fluvial deposits of the Amazonas Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 34, p. 61-80, 2012. DOI:10.1016/j.jsames.2011.11.008

FRANCO, C.N.A.; ALVES, L.E.R.; SOARES, E.A.A.; DINO, R.; LUZIA, A. Contexto Estratigráfico e Análise de Minerais Pesados das unidades sedimentares Cretácea e Neógena aflorantes na porção oeste da Bacia do Amazonas, AM. **Geociências**, v. 41, n. 3, p. 721-737, 2022.

GALEHOUSE, J.S. Counting grain mounts: number percentage vs. number frequency. **Journal of Sedimentary Research**, v. 39, p. 812-815, 1969.

GONÇALVES JUNIOR, E.S. **Terraços fluviais quaternários das regiões de Careiro-da-Várzea, Manaquiri, Careiro-Castanho e Autazes, Amazonia central**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

GONÇALVES JUNIOR, E.S.; SOARES, E.A.A.; TATUMI, S.H.; YEE, M.; MITTANI, J.C.R. Pleistocene-Holocene sedimentation of Solimões-Amazon fluvial system between the tributaries Negro and Madeira, Central Amazon. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, p. 167-180, 2016. DOI: 10.1590/2317-4889201620160009

GUEDES, C.C.F.; GIANNINI, P.C.F.; NASCIMENTO, D.R.Jr.; SAWAKUCHI, A.O.; TANAKA, A.P.B.; ROSSI, M.G. Controls of Heavy Minerals and Grain Size in a Holocene Regressive Barrier (Ilha Comprida, southeastern Brazil). **Journal of South America Earth Sciences**, v. 31, p. 110-123, 2010. DOI: 10.1016/j.jsames.2010.07.007

GUIMARÃES, J.T.F.; NOGUEIRA, A.C.R.; SILVA JÚNIOR, J.B.C.; SOARES, J.L.; ALVES, R. & KERN, A.K. Palynology of the Middle Miocene-Pliocene Novo Remanso Formation, central Amazonia, Brazil. **Ameghiniana**, v. 52, n.1, p.107-134, 2015. DOI: 10.5710/AMGH.08.09.2014.2245

GUINOISEAU, D.; FEKIACOVA, Z.; ALLARD, T.; DRUHAN, J. L.; BALAN, E. & BOUCHEZ, J. Tropical weathering history recorded in the silicon isotopes of lateritic weathering profiles. **Geophysical Research Letters**, v. 48, n. 19, p. e2021GL092957, 2021. DOI: 10.1029/2021GL092957

HARWOOD, G. Microscopic techniques: II. Principles of sedimentary petrography. **Techniques in Sedimentology**, Blackwell, Oxford, p. 108- 173, 1988.

HORBE, A.M.C.; NOGUEIRA, A.C.R.; HORBE, M.A.; COSTA, M. L. & SUGUIO, K. A lateritização na gênese das superfícies de aplanamento da região de Presidente

Figueiredo-Balbina, nordeste do Amazonas. **Contribuições à Geologia da Amazônia**, v. 2, p. 148-176, 2001.

HORBE, A.M.C. Idades paleomagnéticas de crostas lateríticas da Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 9, p. 93-104, 2014.

HUBERT, J.F. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. **Journal of Sedimentary Research**, v. 32, n. 3, p. 440-450, 1962. DOI: 10.1306/74D70CE5-2B21-11D7-8648000102C1865D

JAMES, M.J.; SANTOS JÚNIOR, A.E.A.; COSTA, J.S. Aspectos Estratigráficos e Análise de Minerais Pesados das Formações Ipixuna, Barreiras e Pós-Barreiras, entre as cidades de Jacundá e Goianésia do Pará, Sub-Bacia de Mocajuba, Sudeste do Estado do Pará. **Geociências**, v. 37, n. 4, p. 759-773, 2018.

KOTSCHOUBEY, B. & TRUCKENBRODT, W. Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas-Açailândia, Estados do Pará e Maranhão. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 11, n. 3, p. 193-202, 1981.

MANGE, M.A. & MAURER, H.F.W. **Heavy Minerals in Colour**. London: Chapman & Hall, 147 p., 1992.

MAPES, R.W.; NOGUEIRA, A.C.R.; COLEMAN, D.S.; VEGA, A.M.L. Evidence for a continent scale drainage inversion in the Amazon Basin since the Late Cretaceous. **Geological Society of America Abstracts with Programs**, v. 38, n. 7, p. 518, 2006.

MENDES, A.C.; TRUCKENBRODT, W.H.W. & NOGUEIRA, A.C.R. Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 39-57, 2012.

MENDES, A.C.; DANTAS, A.B.; RIBEIRO, A.C.S.; SANTOS, L.O.; MENDES, K.C.; MORAES, D.S.; ALMEIDA, R.M. Provenance of heavy and clay minerals in bottom sediments of Green Lake, an Amazonian fluvial lake in Brazil. **Acta Amazonica**, v. 50, p. 159-169, 2020. DOI: 10.1590/1809-4392201804681

MORTON, A.C. & HALLSWORTH, C.R. Process controlling the composition of heavy minerals assemblages in sandstones. **Sedimentary Geology**, v. 124, p. 3-29, 1999.

NOGUEIRA, A.C.R.; SOUZA, V.; SOARES, E.A.A. Contribuição à tectônica cenozoica da Região de Presidente Figueiredo, Norte de Manaus-AM. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 6., 1997, Pirenópolis. **Anais [...]**. Pirenópolis: SBG, 1997. p. 123-125.

NOGUEIRA, A.C.R.; VIEIRA, L.C.; SUGUIO, K. Paleossolos da Formação Alter do Chão, Cretáceo-Terciário da Bacia do Amazonas, regiões de Presidente Figueiredo e Manaus. In: 5 SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5., 1999, Serra Negra. **Anais [...]**. Serra Negra: UNESP, 1999. p. 261-266.

POWERS M.C. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*. **Journal of Sedimentary Research**, v. 23, n. 2, p. 117-119, 1953. DOI: 10.1306/D4269567-2B26-11D7-8648000102C1865D

RITTENHOUSE, G. A visual method of estimating two-dimensional sphericity. **Journal of Sedimentary Research**, v. 13, n. 2, 1943.

ROSSETTI, D.F. Paleosurfaces from northeastern Amazonia as a key for reconstructing paleolandscapes and understanding weathering products. **Sedimentary Geology**, Holanda, v. 169, n. 3-4, p. 151-174, 2004. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2004.05.003

ROZO, J.M.G.; NOGUEIRA, A.C.R.; HORBE, A.M.C.; CARVALHO, A.S. Depósitos Neógenos da Bacia do Amazonas. **Contribuições à Geologia da Amazônia**. SBG, v. 4, p. 201-207, 2005.

ROZO, M.G.; NOGUEIRA, A.C.R.; TRUCKENBRODT, W. The anastomosing pattern and the extensively distributed scroll bars in the middle Amazon River. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 37, n.14, p. 1471-1488, 2012. DOI: 10.1002/esp.3249

SOARES, E. A. A.; RICCOMINI, C. Neotectônica e sedimentação quaternária na confluência dos rios Negro e Solimões, Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Nordeste, 2002.

SOARES, E.A.A.; TATUMI, S.H. & RICCOMINI C. Determinações de idade OSL de depósitos fluviais do Pleistoceno na Amazônia Central. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, n. 3, p. 691-699, 2010.

SOARES, E.A.A.; DINO, R.; SOARES, D.P.; ANTONIOLI, L.; SILVA, M.A.L.D. New sedimentological and palynological data from surface Miocene strata in the central Amazonas Basin area. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 3, p. 337-357, 2015. DOI: 10.1590/2317-488920150030283

SOARES, E.A.A.; WAHNFRIED, I.; DINO, R. Subsurface stratigraphy of the cretaceous-neogene sedimentary sequence of Manaus and Itacoatiara regions, Central Amazon. **Geologia USP. Série Científica**, v. 16, n. 1, p. 23-41, 2016. DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v16i1p23-41

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Editora Blucher, 1ª Edição, 416 p., 2003.

WISEVICH, M. C. Photomosaics of outcrops: useful photographic techniques. In: *Concepts in Sedimentology and Paleontology*, vol. 3. SEPM, Tulsa, OK, 1991.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0