

## Artigo de Revisão

**ARQUIPÉLAGO DE ANAVILHANAS: UMA REVISÃO DE SUAS FORMAS, PROCESSOS E ORIGEM****Anavilhanas Archipelago: a review of its forms, processes and origin**

Matheus Silveira de Queiroz<sup>1</sup>, Rogério Ribeiro Marinho<sup>2</sup>, Neliane de Sousa Alves<sup>3</sup>, Cleide Rodrigues<sup>4</sup>

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

 <https://orcid.org/0000-0001-8722-7715>

<sup>2</sup> Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geografia, Manaus, Brasil. E-mail: [rogeo@ufam.edu.br](mailto:rogeo@ufam.edu.br)

 <https://orcid.org/0000-0001-5219-8635>

<sup>3</sup> Universidade do Estado do Amazonas, Escola Normal Superior, Manaus, Brasil. E-mail: [nsalves@uea.edu.br](mailto:nsalves@uea.edu.br)

 <https://orcid.org/0000-0003-4851-8514>

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia, São Paulo, Brasil. E-mail: [cleidrig@usp.br](mailto:cleidrig@usp.br)

 <https://orcid.org/0000-0003-4481-7445>

Recebido em 11/06/2023 e aceito em 12/12/2023

**RESUMO:** O Arquipélago de Anavilhanas, situado no baixo curso do rio Negro, é um complexo sistema fluvial composto por canais, ilhas, diques, lagos e barras arenosas, com um padrão de canal anabranching. Este artigo apresenta uma revisão do conhecimento produzido nas últimas décadas neste megacomplexo sistema fluvial amazônico. A revisão destaca que a região tem sido objeto de estudos mais aprofundados desde 2010, particularmente em relação à sua morfogênese, morfodinâmica, mapeamento geomorfológico e dinâmica de sedimentos suspensos e de fundo. O conjunto de estudos avaliados têm contribuído significativamente para uma melhor compreensão dos processos geomorfológicos atuais e passados no arquipélago. No entanto, a análise também revelou lacuna de modelos conceituais que descrevam os processos geomorfológicos atuais em Anavilhanas. Isso ressalta a necessidade de pesquisas mais aprofundadas e de uma abordagem integrada que leve em consideração não apenas a geomorfologia, mas também fatores como clima, geologia e biogeografia da região. Este artigo destaca a relevância do Arquipélago de Anavilhanas como um objeto de estudo para compreender sistemas fluviais complexos e enfatiza a importância de futuras pesquisas que preencham as lacunas identificadas, promovendo assim conhecimento mais abrangente e holístico da região.

**Palavras-chave:** Anabranching; Rio Negro; Bacia Amazônica; Geomorfologia Fluvial.

**ABSTRACT:** The Anavilhanas Archipelago is a complex fluvial system located in the lower course of the Negro River. It is composed of channels, islands, dikes, lakes, and sandbars, with an anabranching channel pattern. This article provides a review of the knowledge produced in recent decades in this mega complex Amazonian fluvial system. The review shows that since 2010, the region has been the

subject of more in-depth studies, particularly regarding its morphogenesis, morphodynamics, geomorphological mapping, and dynamics of suspended and bed sediments. The evaluated studies have significantly contributed to a better understanding of current and past geomorphological processes in the archipelago. However, the analysis also revealed a gap in conceptual models describing current geomorphological processes in Anavilhanas. This article emphasizes the need for further research and an integrated approach that considers not only geomorphology but also factors such as climate, geology, and biogeography of the region. It highlights the relevance of the Anavilhanas Archipelago as an object of study to understand complex fluvial systems and emphasizes the importance of future research that addresses the identified gaps, thus promoting a more comprehensive and holistic understanding of the region.

**Keywords:** Anavilhanas; Negro River; Amazon Basin; Fluvial Geomorphology.

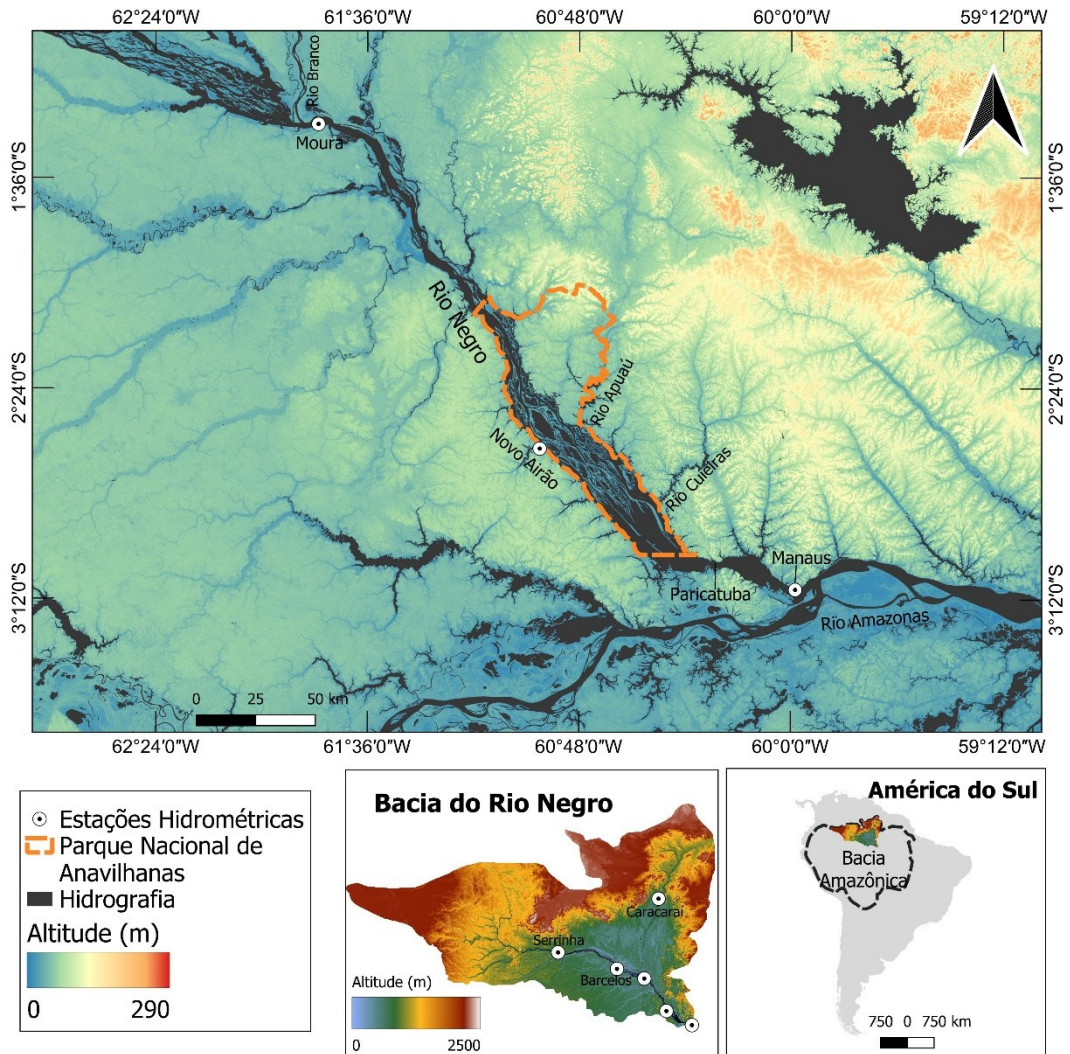
## INTRODUÇÃO

A bacia Amazônica é formada pelo maior sistema fluvial do mundo que drena uma área de 6.200.000 km<sup>2</sup> e representa 18% do total da descarga de água doce que os continentes lançam para os oceanos (LATRUBESSE; STEVAUX, 2015). Os rios da bacia drenam uma variedade de províncias geológico-geomorfológicas com diferentes regimes fluviais devido à complexidade do clima tropical (LATRUBESSE et al., 2005). A vazão (Q) do rio Amazonas, canal principal da bacia, é de 209.000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (MOLINIER et al., 1996) e recebe contribuições dos afluentes Madeira, Negro, Japurá que estão entre os dez maiores do mundo em volume de água, e são classificados como mega rios ( $Q_{\text{média}} > 17.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

A Bacia do rio Negro drena uma área superior a 700.000 km<sup>2</sup> que abrange os territórios da Colômbia, Venezuela, Guiana e Brasil, seu canal principal é o maior afluente da margem esquerda da bacia Amazônica com vazão superior a 30.000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e possui baixa carga de sedimentos suspensos (LATRUBESSE, 2008; MARINHO, 2019; MARINHO et al., 2020). O rio Negro drena rochas pré-cambrianas formando complexos hidrossistemas com padrão de drenagem multicanal, ou anabranching e forma os dois maiores arquipélagos fluviais do mundo, Anavilhanas e Mariuá, com mais de 400 e 1000 ilhas, respectivamente, com elevado índice anabranching (MARINHO et al., 2021; QUEIROZ, 2022).

O Arquipélago de Anavilhanas é localizado no baixo rio Negro (Figura 1). O vale fluvial do Arquipélago tem uma área de 2200 km<sup>2</sup> e compõe um complexo de ilhas, lagos e barras arenosas que se distingue pelo padrão único das unidades geomorfológicas e uma paisagem sazonalmente distinta em função do regime hidrológico (ALVES, 2013). O arquipélago está inserido no Parque Nacional de Anavilhanas - PNA, uma unidade de conservação criada em 1981, com área de 3500 km<sup>2</sup>. O PNA integra o mosaico de áreas protegidas do baixo curso do rio Negro composto por 12 unidades de conservação que compõem a Reserva da Biosfera da Amazônia Central e o Complexo de Conservação da Amazônia Central (Patrimônio Natural da Humanidade), ambos reconhecidos pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura - UNESCO. O arquipélago possui rica diversidade de peixes (SAINT-PAUL et al., 2000; CHAO, 2001), aves (RIBAS et al., 2012; CHOUERI

et al., 2017), e grande potencial turístico em diferentes paisagens conforme os períodos de águas baixas e altas. Além disto, o PNA é reconhecido como uma Zona Úmida de Importância Internacional (Sítio Ramsar).



**Figura 1.** Arquipélago de Anavilhanas, rio Negro, AM. **Fonte:** Os autores (2022).

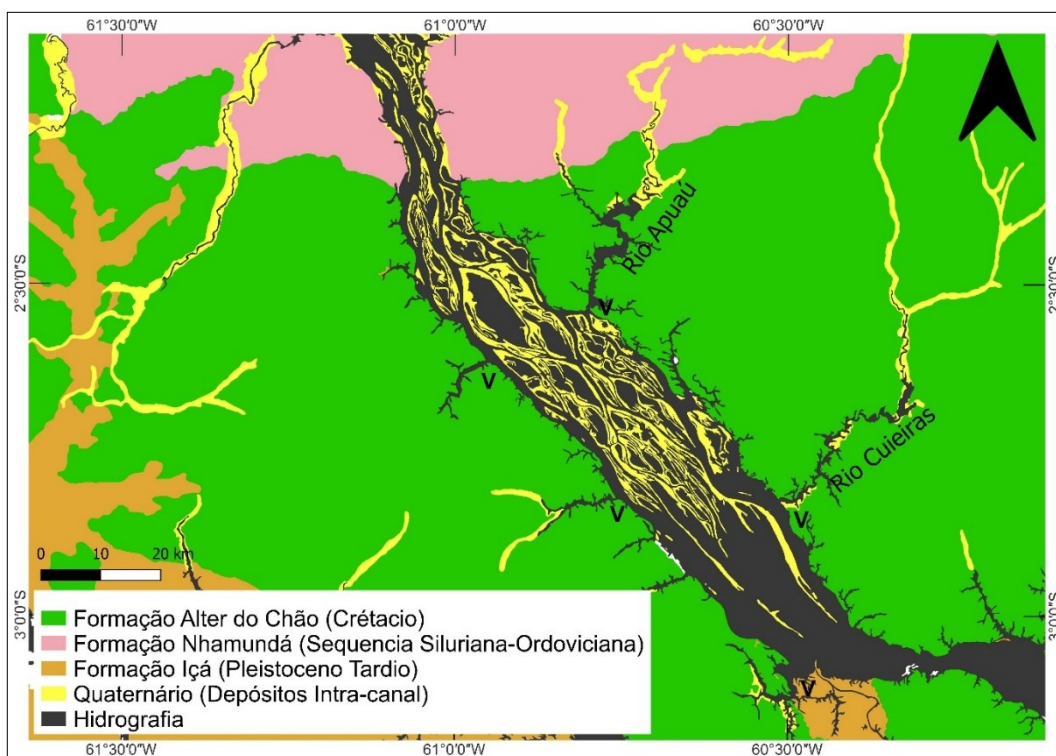
Eventos climáticos extremos (cheias e secas), desmatamento, queimadas, construção de Usinas Hidrelétricas – UHE, urbanização e rodovias, dentre outras intervenções antrópicas, podem gerar impactos socioambientais significativos. Na Amazônia brasileira existem 74 projetos de geração de energia de UHE em operação e 94 planejados, incluindo no rio Branco (TUNDISI et al., 2014), que pode impactar diretamente os aportes de fluxos hidrossedimentológicos para o arquipélago de Anavilhanas (MARINHO, 2019). Além disso, observa-se uma nova fronteira de expansão agrícola (cultivo de soja) no estado de Roraima e interior da bacia do rio Branco, principal tributário do rio Negro, que pode impactar a vegetação primária (LIMA et al., 2019). Portanto, o estudo aprofundado e individualizado dos sistemas fluviais amazônicos é importante para entender e mitigar possíveis impactos socioambientais.

O objetivo desse estudo é integrar e descrever as características litológicas, estruturais, morfogenéticas e geomorfológicas, hidroclimáticas e a dinâmica fluvial de Anavilhanas, além propor caminhos para pesquisas futuras no arquipélago.

As informações coletadas e examinadas abrangem o período de 1970 a 2022. As fontes de pesquisa e dados utilizados para o levantamento de informações foram obtidos através do Periódicos CAPES, ResearchGate, Google Acadêmico, SciELO, além do acervo de teses e dissertações de universidades e institutos de pesquisa federais e estaduais (Universidade Federal do Amazonas – UFAM; Universidade de São Paulo – USP; Universidade do Estado do Amazonas – UEA; e Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA). O estudo não trata da biodiversidade nem da dinâmica que influência na diversidade florística e animal, bem como, não abrange estudos de modelagens hidrológicas na Bacia do rio Negro, estudos pedológicos do arquipélago e a dinâmica hidrossedimentológica do rio Branco.

## CONFIGURAÇÃO LITOLÓGICA

O complexo fluvial de Anavilhanas possui três grupos litológicos (Figura 2): Grupo Javari (Sequência Cretáceo-Paleogeno), Grupo Trombetas (Sequência Ordoviciano-Siluriana) e depósitos Quaternários (Pleistoceno e Holoceno). O grupo Javari (Formações Andirá e Alter do Chão) reúne clásticos flúvio-lacustres, cuja evolução geológica está ligada à atividade orogênica da Cordilheira dos Andes (EIRAS et al., 1994).



**Figura 2.** Unidades litológicas da região de Anavilhanas. **Fonte:** Adaptado de Reis et al. (2006) e Sant'Anna et al. (2017). **V** = Vales Bloqueados ou Afogados. Serviço Geológico do Brasil - SGB (2014).

A formação predominante do Grupo Javari em Anavilhanas é Alter do Chão, com rochas compostas de arenitos vermelhos, amarelos e brancos (Arenito Manaus); argilitos datados do Cretáceo-Paleogeno Superior (ALBUQUERQUE, 1922, KISTLER, 1954; CAPUTO, 1984; REIS et al., 2006; HOORN et al., 2010). Os afloramentos desta formação indicam camadas de material arenoso e argiloso com estratificação cruzada, geralmente associadas a ambientes de deposição fluvial, lagos ou sistemas deltaicos, com geomorfologia de superfícies tabulares e colinas (REIS et al., 2006).

O Grupo Trombetas (Formações Autaz-Mirim, Nhamundá, Pitinga e Manacapuru) corresponde à sequência estratigráfica Ordoviciano-Devoniano da Bacia do Amazonas, constituído por rochas sedimentares de origem glacial e marinha (CUNHA et al., 2007). Segundo Soares et al., (2005) na porção norte de Anavilhanas predomina a formação Nhamundá correspondente ao intervalo entre o Neo-Ordoviciano e Eo-Siluriano, caracterizada por arenitos finos a médios com intercalação subordinada de xisto; argilitos e diamictitos (LANGE, 1967, CAPUTO et al., 1971; CAPUTO; SAD, 1974; CAPUTO; CROWELL, 1985; GRAHN, 1991; 1992; GRAHN; PARIS, 1992).

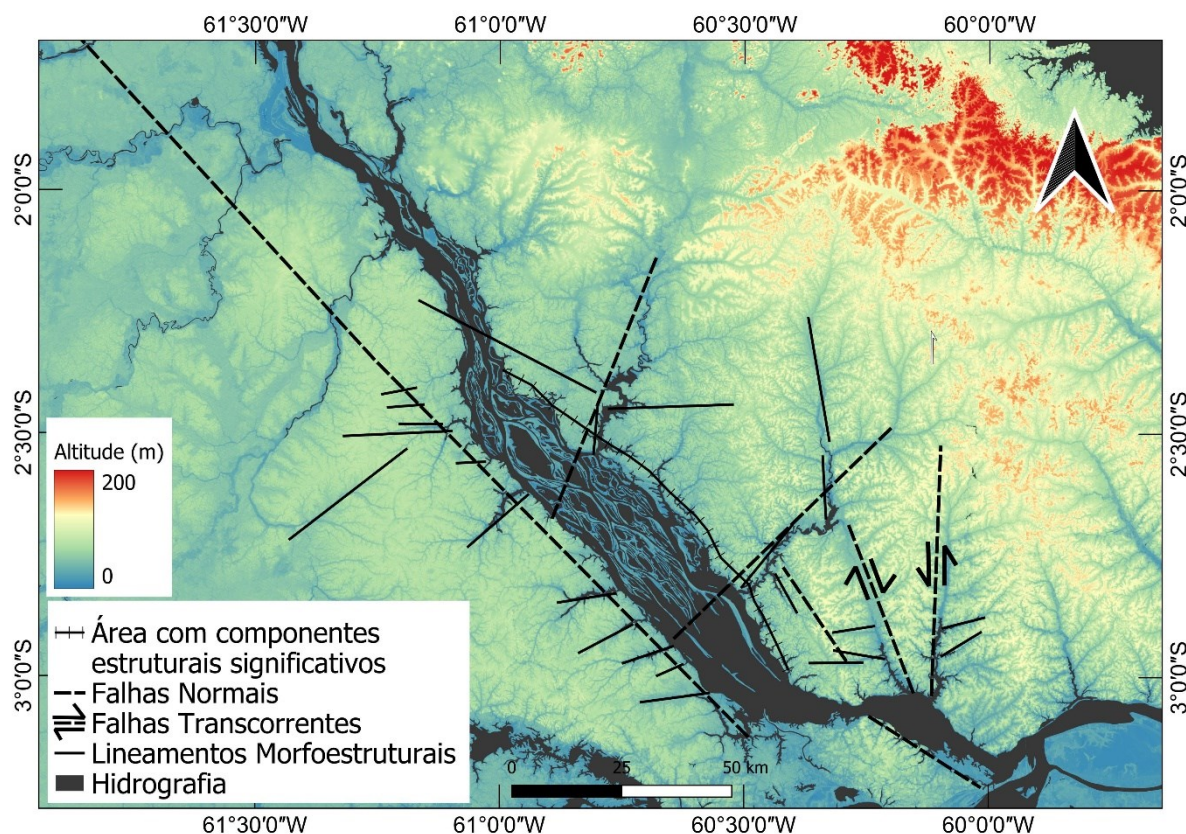
Os depósitos quaternários, associados ao sistema Amazonas-Solimões-Negro, consistem em sedimentos arenosos, siltosos e argilosos depositados por um sistema fluvial complexo de diques, depósitos aluviais, barras de areia, depósitos na planície de inundação e depósitos lacustres (NASCIMENTO et al., 1976; IRONDO, 1982; LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2002; 2005; SILVA, 2005; ALVES, 2013).

## CONTROLE TECTÔNICO

Evidências de controle tectônico no médio Amazonas são descritas por vários autores como sistemas de falhas; paralelismo fluvial; estruturas em flor; capturas fluviais (STERNBERG, 1950; FRANZINELLI; IGREJA, 1990; 2002; COSTA et al., 1996; IGREJA, 1999; LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005; ALMEIDA FILHO, 2007; entre outros). As principais feições geomorfológicas, deposicionais e estruturais da região da média e baixa bacia do rio Amazonas estão estritamente ligados a eventos tectônicos do Mesozóico e Cenozóico (COSTA et al., 2001). As características geológicas do rio Negro podem ser subdivididas em três trechos principais: 1) Alto rio Negro, que drena o escudo cristalino da Guiana e parte dos depósitos sedimentares da bacia Amazônica; 2) Médio rio Negro, que drena os depósitos sedimentares do Neógeno e Paleógeno na direção NW-SE; 3) Baixo rio Negro, que se estende da longitude 62° W até a confluência com o rio Solimões (longitude 60° W) sob controle tectônico estrutural na direção NW-SE que confina a margem direita do canal principal, sendo esta estrutura uma parte do sistema transcorrente maior de feições geológicas na Amazônia (falhas, dobras e rombochasmos) (FRANZINELLI; IGREJA, 2002).

O arquipélago de Anavilhanas é caracterizado por um forte controle estrutural em ambas as margens do rio Negro (Figura 3). Franzinelli e Igreja (1990; 2002)

propuseram um modelo neotectônico para o Baixo rio Negro indicando que a região é controlada por dois domínios neoestruturais distintos que condicionam o percurso do rio: Domínio de Falha Normal e Domínio de Falha Dextral. Estes autores sugerem um sistema *half-graben* com transcorrente dextral N458W e falhas secundárias na margem esquerda do rio Negro dispostas em sistema escalonado com direção N708E. Destacam-se as falhas transcorrentes do rio Tarumã-Açú (NNE-SSW) e rio Cueiras (NNW-SSE) na margem esquerda de seu baixo curso. Porém, os dados que sustentam tal interpretação são basicamente de imagens de satélites e poucas análises de campo para proposição de um modelo estrutural, resultando em incoerências apontadas por Queiroz e Carvalho (2020).

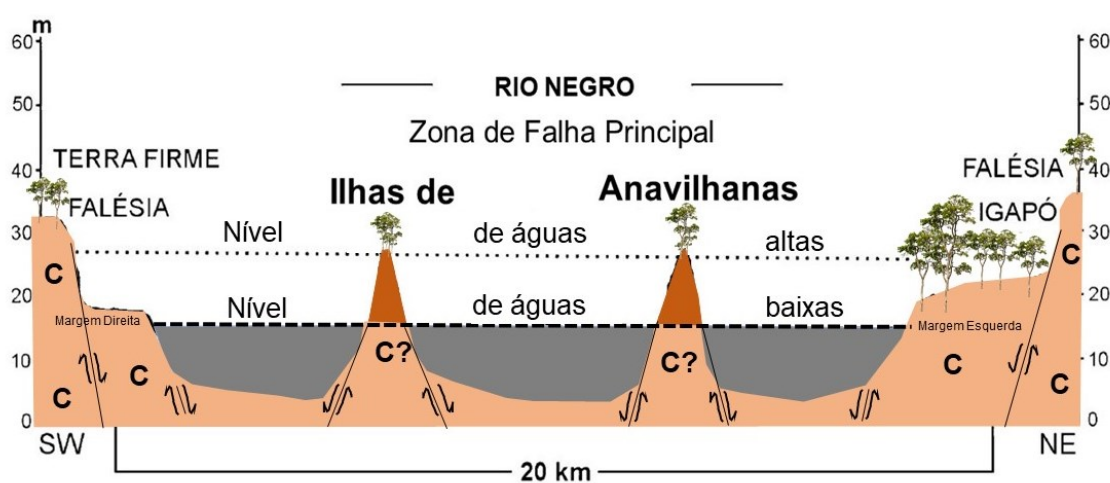



**Figura 3.** Estruturas Tectônicas do baixo rio Negro. **Fonte:** Adaptado de Franzinelli e Igreja (2002); Forsberg et al. (2000); Latrubesse e Franzinelli (2005); Silva (2005). Os lineamentos foram mapeados a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus (disponibilizado pela Agência Espacial Europeia) com relevo sombreado e iluminação de 45° e azimutes NE e SE conforme Queiroz (2020); Silva (2005) e Sarges (2008).

A margem direita do baixo curso do rio Negro é fortemente controlada por uma linha de falha com direção NW-SE de aproximadamente 240 km de extensão (FORSBERG et al., 2000). Trata-se de um segmento do megassistema de fluxo de corrente dextral maior da tectônica da bacia amazônica (FRANZINELLI; IGREJA, 2002). Segundo esses autores, a neotectônica desta área é responsável pela profundidade do rio e pela ocorrência de falésias fluviais por eles caracterizadas como linhas de falha (SILVA, 2005). Costa (2001) indica que as falhas normais que controlam o arquipélago durante o Quaternário não existiam durante o Neógeno, portanto a configuração

estrutural que tornou possível a formação de Anavilhanas é recente. O bloco neotectônico rebaixado de Anavilhanas também seria uma bacia sedimentar que não foi completamente preenchida (LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005).

Latrubesse e Franzinelli (2005) e Barbosa (2015) afirmam que a influência tectônica determinou a morfogênese dos depósitos das ilhas do arquipélago de Anavilhanas. Franzinelli e Igreja (2002) propõem que os diques laterais alongados da área distal do arquipélago seriam falhas transtensionais (dextral) que podem ter influenciado diretamente na gênese das ilhas (Figura 4).



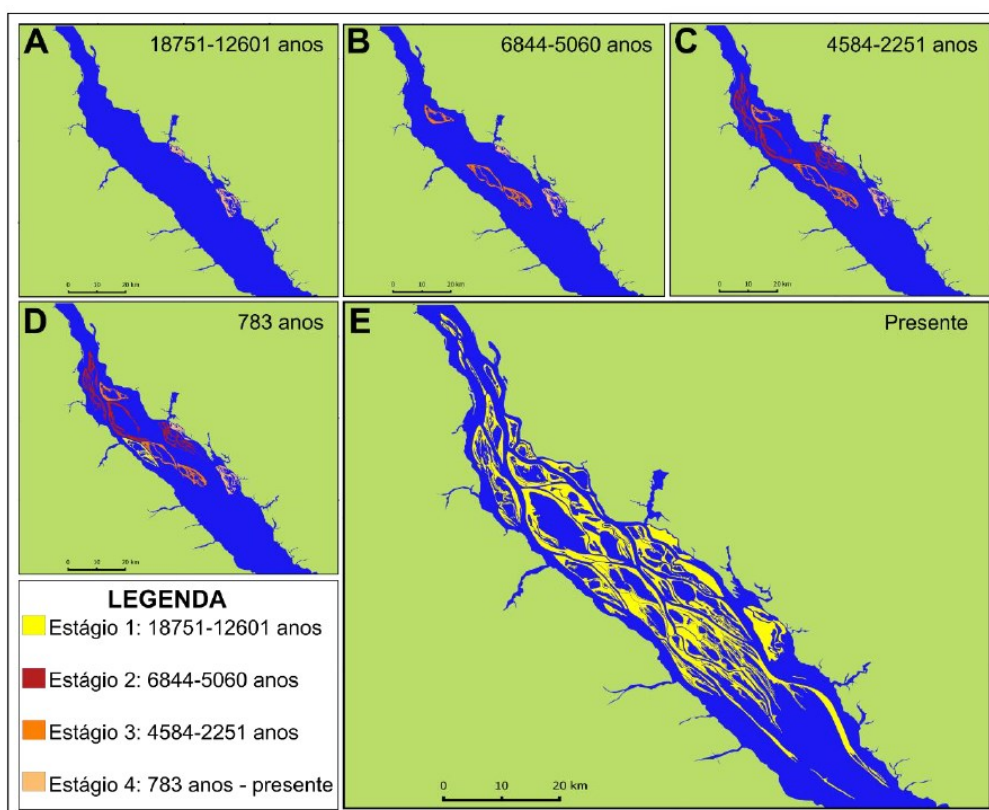
**Figura 4.** Perfil esquemático na região do baixo curso do rio Negro. C = Cretáceo.  Falha Transtensional (Dextral). **Fonte:** Adaptado de Franzinelli e Igreja (2002).

## MORFOGÊNESE E MORFOLOGIA DO ARQUIPELAGO

As pesquisas sobre a morfogênese do Arquipélago de Anavilhanas ainda são escassas e sem consenso científico. A discussão inicia-se com Tricart (1977) apontando que a formação das ilhas em Anavilhanas ocorreu a partir de um modelo deltaico após o Último Máximo Glacial (LGM) devido à transgressão do nível do mar durante o Holoceno Médio. Posteriormente, Datações por  $C^{14}$  realizadas por Latrubesse e Franzinelli (2005) e Barbosa (2015) determinaram que a idade mais antiga das ilhas Anavilhanas é de ~4000 anos antes do presente (AP). Silva (2019) usou o método  $C^{14}$  em sedimentos de lagos na área central das ilhas do arquipélago. Seus resultados mostraram que os lagos no interior de ilhas do arquipélago têm regime lacustre desde cerca de 1880 anos AP.

Porém, Cunha (2017) analisou a idade de sedimentos das ilhas pela técnica de Luminescência e indicou que o período de início da estabilização das ilhas ocorreu a partir ~7000 AP, com um primeiro estágio entre  $6844 \pm 449$  AP e  $5276 \pm 666$  AP, um segundo entre  $4584 \pm 272$  a  $1115 \pm 156$ , e o último estágio entre  $783 \pm 113$  aos dias atuais. Ressalta-se que a datação por Luminescência da autora foi realizada em

barras arenosas e, dependendo do estágio de estabilização das ilhas, do ambiente fluvial de coleta e da profundidade da amostra a datação indica diferentes épocas. Portanto, o modelo evolutivo em quatro estágios proposto por Cunha (2017) complementado pela datação dos sedimentos lacustres, é importante para entender a estabilização e a dinâmica atual do arquipélago. Seriam as seguintes idades : i) 18.751-12.601 AP; ii) 6844-5060 AP; iii) 4584-2251 AP; iv) 783 AP – presente (Figura 5), indicando que a formação do arquipélago iniciou-se no Pleistoceno enquanto barras fluviais, porém a morfologia atual do arquipélago só estabiliza a partir de 783 anos AP no Holoceno.



**Figura 5.** Estágios de formação das ilhas de Anavilhanas. **Fonte:** Cunha (2017).

Sabendo-se que as ilhas de canal do tipo anabranching se estabilizam de forma lenta e progressivamente, e considerando uma taxa de sedimentação mínima de  $0,24 \text{ mm.ano}^{-1}$  atual do rio Negro, seriam necessários cerca de 40.000 anos AP para a formação das ilhas do complexo fluvial de Anavilhanas (MARINHO, 2019), sendo este um período muito maior que os propostos por Latrubesse e Franzinelli (2005), Barbosa (2015) e Cunha (2017). Porém, considera-se que o rio Negro passou por importantes variações na taxa de acumulação de sedimentos durante o Quaternário (Quadro 1), inclusive com alterações na energia disponível para os processos fluviais (PEREIRA, 2016).

**Quadro 1.** Taxa de Sedimentação estimada para diferentes unidades fluviais do médio e baixo rio Negro



Autor	Taxa (mm.ano <sup>-1</sup> )	Idade (AP)	Local
Costa (2006)	0,09 - 0,47	< 8 ky	Lago Acarabixi
Cordeiro et al., (2008)	2,3 - 19,5	< 11 ky	Lago Acarabixi
Barbosa (2015)	1,3 - 5,5	< 2,5 ky	Ilhas de Anavilhanas
Cunha (2017)	0,10 - 7,85	< 7 ky	Ilhas de Anavilhanas
Silva (2019)	0,3 - 0,7	< 2 ky	Lago de Anavilhanas
Marinho (2020)	0,19	Presente	Ilhas e lagos de Anavilhanas

**Fonte:** Marinho (2020).

Latrubesse e Franzinelli (2005) apontam quatro condições necessárias para a formação do arquipélago de Anavilhanas: 1) uma fonte significativa de sedimento suspenso; 2) ambiente deposicional de baixa energia; 3) espaço de acomodação suficiente no vale; 4) aumento do nível de base e apontam a necessidade de um arranjo tectônico para o estabelecimento destas condições.

O paleoclima da região é importante para entender as condições climáticas e sedimentológicas da formação do arquipélago, porém a evolução paleoclimática da Amazônia é ainda controversa. O LGM do Pleistoceno caracteriza-se como um período de clima seco por provocar a diminuição da sedimentação e nível de vários lagos da região Amazônica. A influência destas condições indica que o lago da Pata, situado no alto curso do rio Negro, passou por processos de clima seco entre 26.000 e 15.000 anos atrás (D'APOLITO et al., 2013). O estudo de mapeamento e cronologia de paleodunas do Alto rio Negro de Carneiro Filho et al., (2002) mostra que a formação das dunas ocorreu entre o Pleistoceno Superior e o Holoceno, datadas por termoluminescência entre 32.6±3.1 mil anos e 7.8±0.9 mil anos AP. A formação de dunas é atribuída a períodos de clima seco e corrobora com os dados de D'Apolito et al., (2013). As diferentes fases do Pleistoceno Superior intensificaram a atividade eólica na região do Alto rio Negro e condicionaram a formação de dunas lineares orientadas NW-SE, evidenciando os padrões de ventos do anticiclone norte-americano do Quaternário Superior (CARNEIRO FILHO et al., 2002).

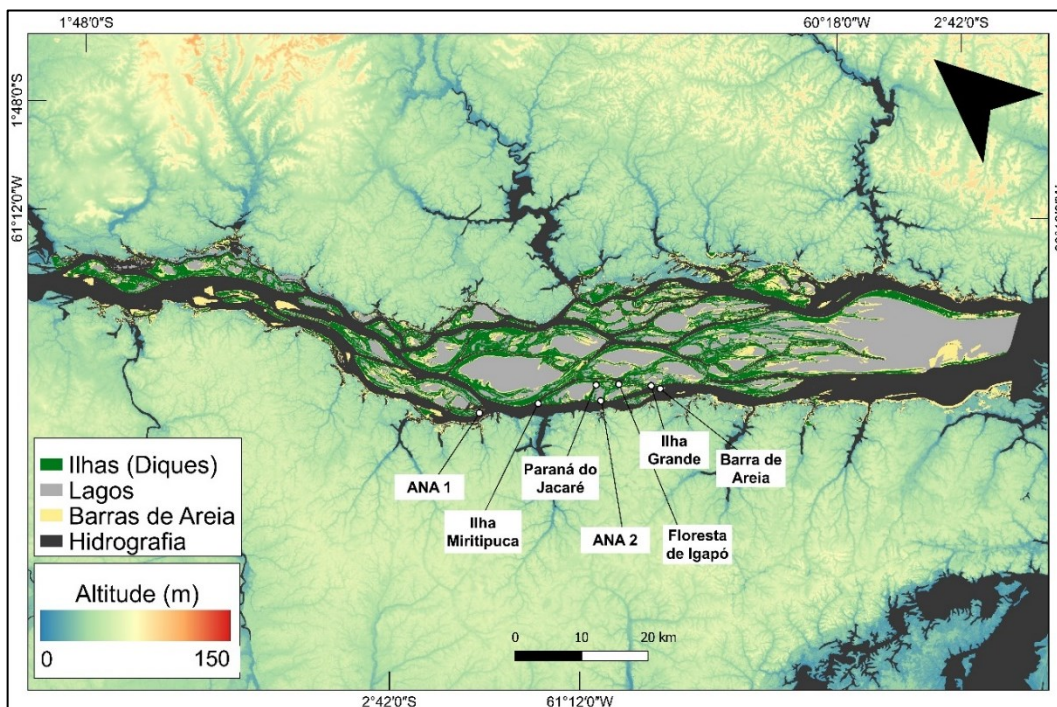
Wang et al., (2017) analisaram espeleotemas na caverna Paraíso na Amazônia Oriental para detectar variações na precipitação da região Amazônica durante os últimos 45.000 anos. Destacaram que durante o Holoceno Médio, que ocorreu cerca de 6000 anos atrás, a quantidade de chuva foi 142% menor do que ocorre atualmente. E durante o LGM, que aconteceu cerca de 21 mil anos atrás, a chuva foi 58% menor do que o presente. Possivelmente, o início da formação das ilhas que compõem o atual complexo de Anavilhanas ocorreu durante as condições de um período seco. Além disto, segundo Pereira (2016), os paleoambientes deposicionais da formação Içá no médio rio Negro, podem ser caracterizados por um ambiente fluvial de média energia com inúmeros canais fluviais e área-fonte posicionada ao norte. Essas condições indicariam, segundo os autores, predisposição a maiores taxas de erosão e de deposição em relação às instaladas no tempo presente.

Cunha (2017) evidencia que sedimentos deposicionais de barras arenosas datadas aproximadamente entre 18.000-12.000 AP e <7.000 AP podem ser correlacionadas à

variação das precipitações na bacia de Cariaco, na Venezuela, conforme apontam Haug et al., (2001). Cunha (2017) destaca que as variações de precipitação podem ter influenciado no aporte de sedimentos do rio Branco e no processo de sedimentação e formação de Anavilhanas. O controle do aporte de sedimentos arenosos para Anavilhanas no Pleistoceno e Holoceno parece ter ocorrido de acordo com a variação da amplitude da precipitação na bacia de Cariaco. Porém, esta hipótese de natureza climática, não explica o aporte de sedimentos que formou o arquipélago de Mariuá, no médio rio Negro, situado a montante da foz do rio Branco.

O Arquipélago de Anavilhanas se estabilizou como um intrincado canal de padrão anabranching com pouca energia disponível para processos de erosão e transporte de sedimentos (Marinho et al., 2021), onde os canais ocupam 41,50% da área total, ilhas (diques) 18,70%, lagos 27,10%, e as barras de areia 12,70% (considerando o período da vazante de 2015) (Figura 6). Silva et al., (2020) identificou 447 lagos, sendo que 46% possuem ligação por canais localmente conhecidos como “furos” e 54% dos lagos perdem sua conexão com os canais durante o período de águas baixas. Marinho (2020) identificou que a área dos lagos varia entre 0,01 e 59 km<sup>2</sup>, sendo que 63% são menores que 0,53 km<sup>2</sup>.

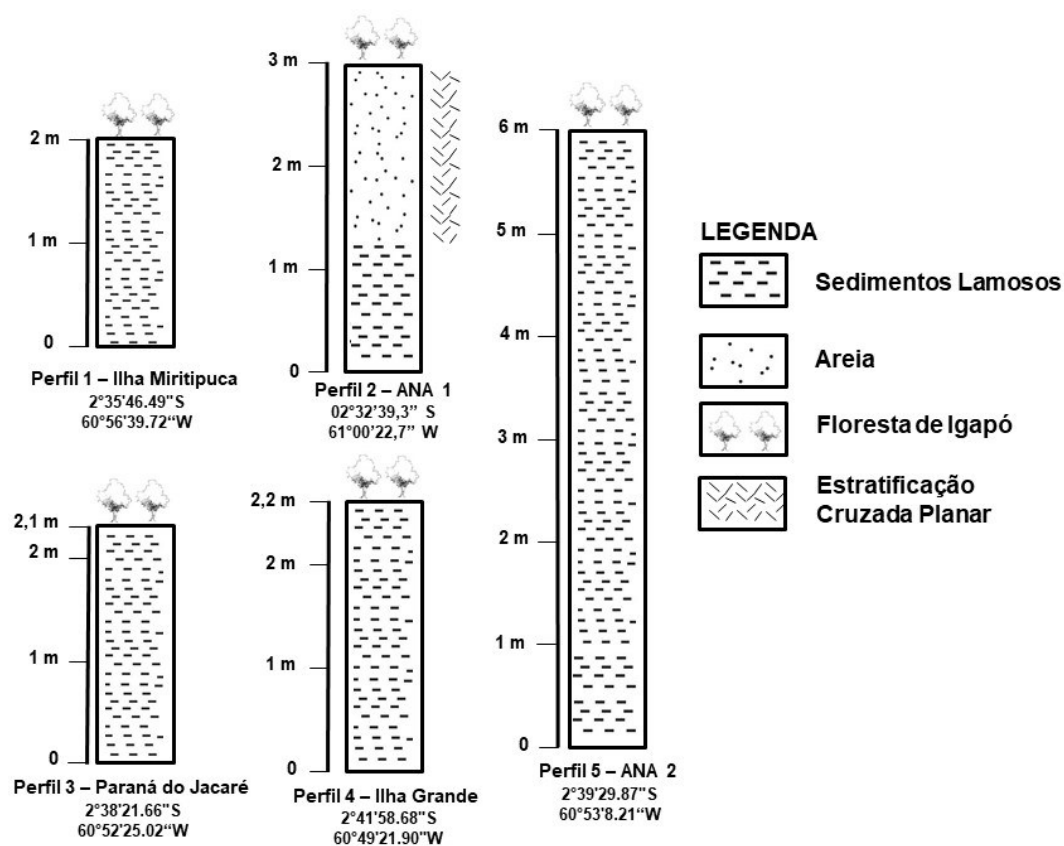
Marinho et al., (2021) analisaram a geometria hidráulica de diversos canais no interior de Anavilhanas e constataram que a velocidade do fluxo e a profundidade do canal são as variáveis que mais se ajustam em função da vazão. Os autores destacam que o material coesivo na base das ilhas dá suporte às formas de canal estreito com margens estáveis, ademais, a razão largura/profundidade ( $w/d$ ) varia de 20 a 200. Latrubesse (2008) classifica o rio Negro como um rio anabranching altamente complexo, pois a razão  $w/d$  comumente supera 100.



**Figura 6.** Principais unidades fluviais no arquipélago de Anavilhanas. O mapeamento foi realizado com imagem de radar do Sentinel-1 de novembro de 2015 (cota de referência da estação de Novo Airão = 579 cm). **Fonte:** Os autores (2022).

As ilhas de Anavilhanas podem ser classificadas como ilha-lago (LELI, 2015) devido à morfologia que abriga lagos com importante papel no processo de sedimentação no interior do canal e na formação de ambientes de baixa energia para a deposição de material lamoso. Segundo Leli (2015) e Leli e Stevaux (2021) a ocorrência dessas ilhas faz parte do preenchimento de uma planície aluvial com vales largos que proporcionem espaço suficiente para o preenchimento sedimentar. As ilhas-lago apresentam uma morfologia diferente das ilhas tradicionais por constituírem lagos no interior, sendo normalmente circundadas por diques marginais que as isolam parcialmente ou totalmente do canal principal (LELI, 2015, LELI; STEVAUX, 2021).

A estrutura interna das ilhas é caracterizada por material lamoso intercalado por areia muito fina com elevada coesão, e granulometria que varia de argila a areia muito fina (Figura 7), diferente das áreas de terraço e falésias fluviais, próximas da Terra Firme que apresentam material mais grosseiro (ALVES, 2013; CUNHA, 2017). A altura das ilhas pode ultrapassar 12 m na parte frontal e declividades que variam de 20° a 40° no período de águas baixas (ALVES, 2013). Cunha (2017) constatou que a maioria dos perfis das ilhas é composto por fácies lamosas ricas em matéria orgânica na base, seguida por fácies arenosas, recobertas por fácies lamosas. Quanto a estratigrafia das ilhas, Barbosa (2015) observou no arquipélago sequências de estratificação cruzada planar, estruturas biogênicas, estratificação heterolítica inclinada, e inclinada, sendo as duas últimas em pontos específicos.



**Figura 7.** Perfis de Sedimentos das ilhas de Anavilhanas. Ver localização das coordenadas na Figura 6. Dados coletados entre 2019-2020 no período de águas baixas. **Fonte:** Os autores (2022).

A análise geoquímica de sedimentos do Arquipélago realizada por Barbosa (2015) demonstra a presença dos elementos traços As, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, K, La, Lu, Na, Nd, Rb, SB, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb e Zn, entretanto, não é possível analisar detalhadamente se existe correlação entre as amostras a ponto de caracterizar uma tendência geoquímica para o conjunto do Arquipélago. Para tanto, é preciso aprofundar os estudos mineralógicos e geoquímicos dos sedimentos das ilhas, barras de areia, sedimentos de fundo e sedimentos suspensos para entender melhor a gênese (material de origem), e as condições de transporte e remobilização.

A velocidade do fluxo atual em Anavilhanas não indica tendência à erosão de material fino, com base no diagrama de Hjulstrom, porém salienta-se que o modelo de erosão, transporte e deposição foi proposto com base em experimentos laboratoriais controlados, e podem não corresponder ao observado na natureza. Porém, corroborando a esse modelo, observa-se que nos últimos 50 anos o arquipélago não apresentou mudanças significativas na morfologia das ilhas (QUEIROZ; ALVES, 2019). Além disso, o processo lento de deposição em Anavilhanas constatado por Marinho et al., (2022) pode estar relacionado à rugosidade superficial das ilhas

(vegetação) e à deposição de sedimentos nos lagos em período de vazante, já que a baixa velocidade destes ambientes propícia a deposição de material fino.

Erosões nas margens são pontuais no Arquipélago de Anavilhanas sem alterar significativamente a morfologia das ilhas, e geralmente estão associadas à pressão hidrostática (rebaixamento rápido do nível piezométrico) e à hidrodinâmica dos canais, o que em conjunto com a alta declividade das margens das ilhas, provocam o colapso ou queda coletiva de material (ALVES, 2013; QUEIROZ; ALVES, 2019).

Um dos condicionantes do processo de Terras Caídas (queda de margens dos rios amazônicos) é a precipitação e atuação dos ventos (CARVALHO, 2012) que podem agir diretamente nas margens (desagregando árvores e sedimentos) e produzir ondas (regionalmente chamadas de banzeiros), que provocam o solapamento da base das margens. O baixo rio Negro tem baixa energia disponível para os processos fluviais erosivos (MARINHO et al., 2022), portanto a erosão basal é menor (CARVALHO, 2012). Desta forma, é preciso desenvolver metodologias sobre os efeitos das ondas no processo erosivo das ilhas de Anavilhanas considerando a saturação do solo em períodos de precipitação e as altas declividades das ilhas, já que tais condições podem potencializar a queda das margens. Também é importante que a análise sobre a relação da precipitação e declividade das ilhas seja avaliada considerando a relação entre os meses de maior precipitação e o aumento da erosão. A relação destas variáveis pode realmente promover maior entendimento dos processos geomorfológicos atuantes nas encostas do arquipélago.

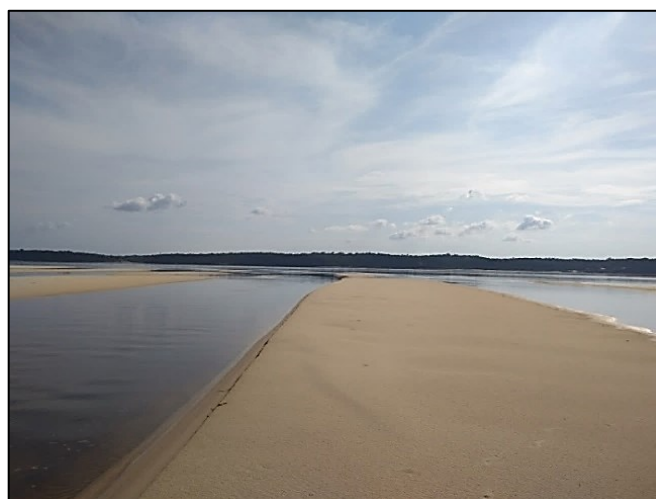
Embora as análises por mapeamento geomorfológico do Arquipélago tenham oferecido significativos avanços a partir de 2010 (ALVES, 2013, MARINHO, 2020; MARINHO et al., 2021), apontando morfologias e suas tendências erosivo-deposicionais, os estudos de erosão e deposição que se baseiam em análise multitemporal (QUEIROZ; ALVEZ, 2019) apresentam dados iniciais sem condições estatísticas de calcular as taxas anuais de erosão e deposição.

Os Igapós (Figura 8) são áreas de floresta inundadas sazonalmente por rios de águas pretas (PRANCE, 1979; PAROLIN et al., 2005). Segundo Junk (1989), essas áreas são afetadas por extensos pulsos de inundação, ou seja, sujeitas a longos períodos de submersão. As florestas de Igapó apresentam características deposicionais, sedimentológicas e de vegetação distintas das áreas de várzea (inundadas por rios de água branca) (FRANZINELLI; IGREJA, 2002), e áreas com regime de inundação semelhantes indicam que a geomorfologia parece controlar parcialmente a organização da vegetação, num processo de retroalimentação positivo. As florestas de igapó parecem estar associadas com depósitos Quaternários, seguindo uma evolução morfossedimentar de montante para jusante durante o Holoceno tardio; infere-se que os trechos a montante são mais antigos e que a sedimentação atual se estabeleceu a aproximadamente ~1000 AP depois de aumentar gradualmente após o fim do período glacial (MONTERO; LATRUBESSE, 2013).



**Figura 8.** Áreas de Igapó e parte frontal de uma ilha em Anavilhanas. a) Floresta de Igapó, outubro de 2017 em águas baixas (02°39'43,3" S; 60°51'09,9" W). b) Ilha Miritipuca (típica Ilha de Anavilhanas), setembro de 2018 em águas baixas (02°35' 46,69" S; 60°56'39,23" W). Ver localização das coordenadas na Figura 6. **Fonte:** Os autores (2018).

A morfologia das barras de areia apresenta topografia plana com extensões superiores a 4 km e pequenas ondulações (Figura 9), e são formadas predominantemente de areia quartzosa inconsolidada com estratificações cruzadas planares. Este material é normalmente transportado e depositado como carga de fundo que emerge durante a vazante (setembro a novembro). Cunha (2017) afirma que as barras caracterizam a formação das ilhas do Arquipélago, assim, conforme a classificação de formação de ilhas fluviais por Leli (2015); Leli e Stevaux (2021), é possível afirmar que o Arquipélago se formou a partir da estabilização de barras de areia longitudinais simples ou/e composta.



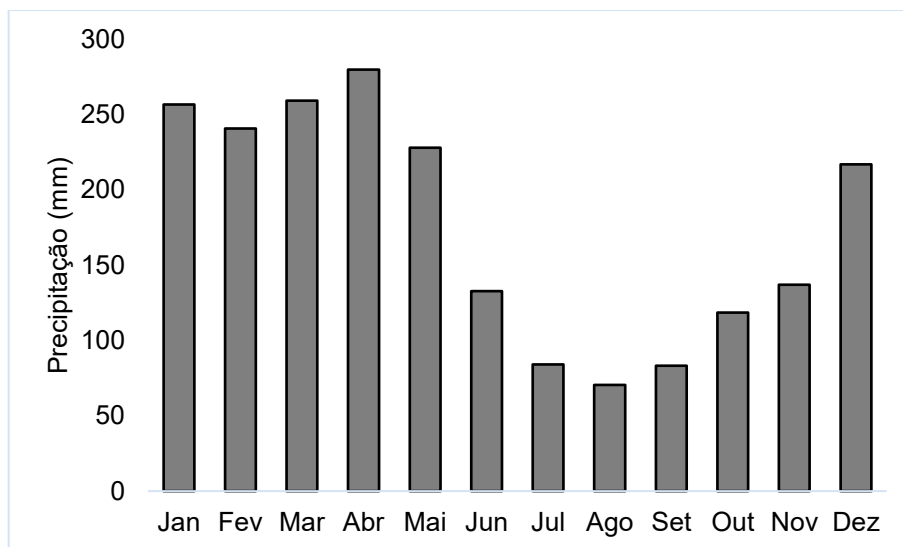
**Figura 9.** Barra de areia longitudinal observada em outubro de 2017 período de águas baixas (02°42'30,9" S; 60°49'13,3" W). Ver localização das coordenadas na Figura 6. **Fonte:** Os autores (2017).

As barras localizadas nas margens ocorrem principalmente nas proximidades da confluência do rio Negro com os pequenos afluentes (localmente denominados igarapés), e normalmente o material dessas barras é erodido e transportado pelos canais que drenam as áreas de “Terra Firme”. De acordo com Latrubesse e Franzinelli (2005), as areias de fundo são derivadas de rochas do embasamento cristalino pré-cambriano ou rochas sedimentares paleozóicas e mesozóicas.

## HIDROCLIMATOLOGIA

A bacia Amazônica é influenciada pelo movimento sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principalmente no setor norte da bacia, que altera algumas características atmosféricas como o regime de precipitação e a incidência de nuvens na região de influência (SATYAMURTY et al., 1998; COOK et al., 2012; ZANIN; SATYAMURTY, 2020a). Na região entre a cordilheira dos Andes e o Escudo da Guiana há uma lacuna estreita que forma uma faixa de fortes ventos que podem chegar a  $15 \text{ m.s}^{-1}$  nos meses de verão austral, que é denominado de *Cross-Equatorial Flow*. Este fenômeno interfere na precipitação Sul-Americana através de um regime de circulação atmosférica sul e norte, que exibem uma grande variabilidade interanual, sazonal e submensal. O vento *Cross-Equatorial* é controlado pelo regime norte no verão (precipitação descolada para a bacia Amazônica) e pelo regime sul no inverno austral (precipitação no norte do Equador), de forma que o padrão espacial de precipitação é amplamente diferente dependendo do regime de circulação (WANG; FU, 2002).

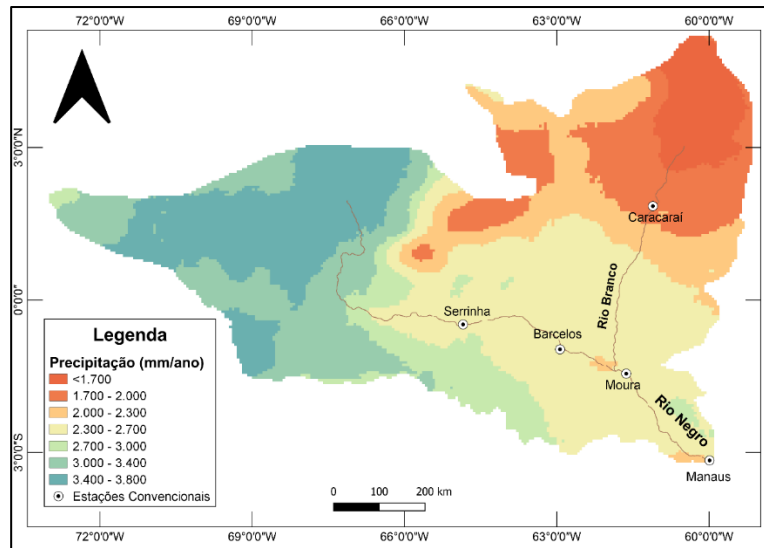
A bacia do rio Negro é submetida tanto ao Sistema de Moção Sul-americano (SMSA) como ao Sistema de Moção Norte Americano (SMNA) (VERA et al., 2006), e apresenta climas do tipo tropical sem estação seca (Af), com inverno seco (Aw) e monçônico (Am) (ALVARES et al., 2013). Grande parte da bacia do rio Negro recebe cerca de 25% da precipitação por estação do ano (primavera, verão, outono, inverno), sendo as chuvas bem distribuídas ao longo do ano (VILLAR et al., 2009), isto ocorre devido à influência da SMSA e da SMNA (VERA et al., 2006; VILLA et al., 2009). Na estação pluviométrica de Novo Airão, região central de Anavilhanas, entre os anos de 1983 e 2022 (40 anos), a média de precipitação foi de  $2108.16 \text{ mm.ano}^{-1}$ , com os maiores volumes entre os meses de janeiro a maio, e os menores entre julho e setembro (Figura 10).



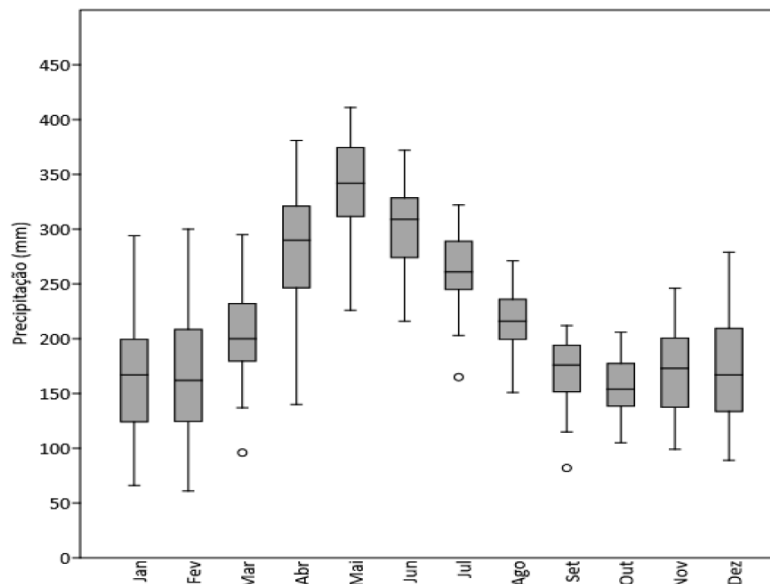
**Figura 10.** Precipitação média mensal na estação de Novo Airão (1983-2022) (Código estação 260006). **Fonte:** Agência Nacional de Água (2022).

A série histórica de precipitação entre 1981 e 2019 (38 anos), estimada por satélites (CHIRPS v.2), indica que a média anual de precipitação na área de Anavilhanas foi cerca de 2200 mm.ano<sup>-1</sup>, próximo aos dados de Alves (2013) e Queiroz e Alves (2021) para a estação de Manaus (Figura 11). A série mensal indica que os meses de maior precipitação na bacia ocorrem entre abril e junho, e os menores volumes entre setembro e novembro (MARINHO, 2019). A utilização das estações pluviométricas em conjunto com imagens de satélite (CHIRPS, por exemplo) ajuda a entender a distribuição espaço-temporal das chuvas na região. Porém, é preciso detalhar melhor a influência local da precipitação nos processos geomorfológicos no arquipélago.





a)



b)

**Figura 11.** Variação temporal (1981-2019) e espacial da precipitação na bacia hidrográfica do rio Negro. **Fonte:** a. CHIRPS v.2 (2022). b. Marinho (2019).

Zanin e Satyamurty (2021) investigaram a reciclagem da precipitação na bacia Amazônica de 2003 a 2017. Na região noroeste da bacia, os índices de reciclagem foram de 17% (dezembro, janeiro, fevereiro), 22% (março, abril, maio), 22% (junho, julho, agosto) e 25% (setembro, outubro, novembro), com os valores mais altos observados entre setembro e novembro. Além disso, os autores analisaram as fontes e os sumidouros de umidade, identificando que a região noroeste atua como um sumidouro de umidade durante todo o ano. Apenas dois meses ao longo do período estudado foram considerados fontes de umidade (fevereiro de 2007 e setembro de

2015), ambos associados à fase positiva do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (ZANIN; SATYAMURTY, 2021).

Há também a influência do ENOS na precipitação e evapotranspiração na bacia Amazônica, esse fenômeno é uma variabilidade climática de frequência interanual e possui uma fase positiva (*El Niño*) e negativa (*La Niña*). Moura et al., (2019) observou que na bacia Amazônica nos anos de fase positiva houve uma diminuição da precipitação, aumento na temperatura e na evapotranspiração e nos anos de fase negativa a relação é inversa. As anomalias de circulação associadas a eventos de ENOS estão diretamente associadas com o nível do rio e conseqüentemente eventos extremos de seca e cheia. Como observado nos anos de 1925, 1983, 1998 (MARENGO, 2004), 2010 (MARENGO et al., 2011), 2015 (QUEIROZ, 2022) e em 2023, que foi a maior seca registrada no rio Negro (nível de 1349 cm na estação de Manaus).

A bacia do rio Negro também é influenciada pelo Dipolo Atlântico que interfere diretamente na célula de Hadley (HASTENRATH, 1985). É caracterizada como uma anomalia na Temperatura Superficial do Mar (TSM) no Atlântico Norte e/ou Sul tropical (WANG, 2004). Possui duas fases uma negativa e outra positiva. A primeira diminui a TSM no Atlântico Norte tropical e aumenta no Atlântico Sul. A segunda fase aumenta a TSM no Atlântico Norte tropical e diminui Atlântico Sul. Isto pode influenciar a migração da ZCIT o que interfere no regime de precipitação da bacia do rio Negro (NOBRE; SHUKLA, 1996; SOUZA; NOBRE, 1998; ZANIN; SATYAMURTY, 2020b).

## DINÂMICA FLUVIAL

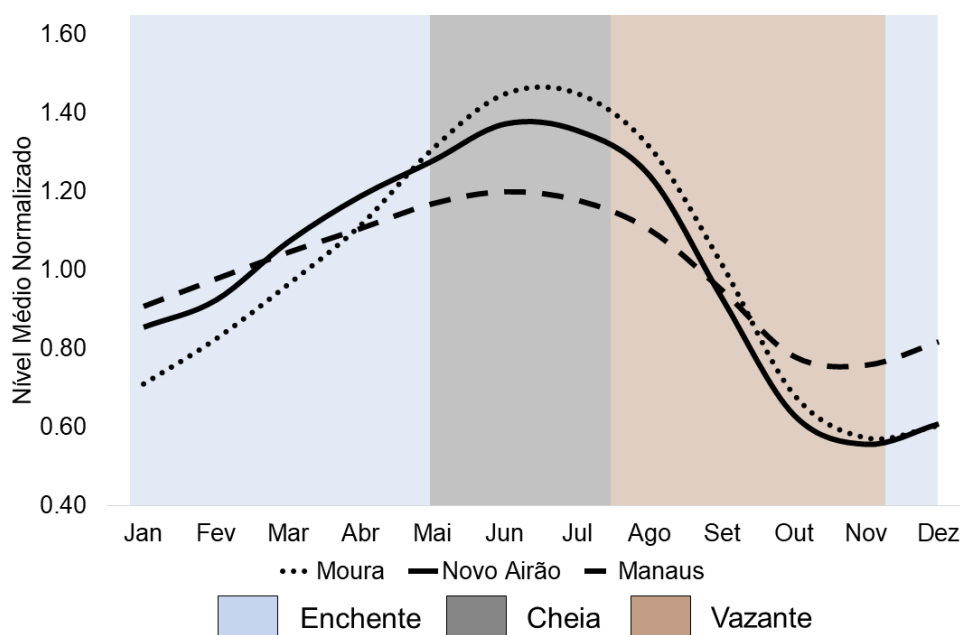
O rio Negro é um dos maiores rio do mundo em vazão e o segundo maior afluente do rio Amazonas (LATRUBESSE, 2008), correspondendo a 14% da vazão da bacia amazônica (MARINHO, 2019). A estação hidrométrica de Manaus, última referência para descarga líquida no rio Negro antes de sua foz, tem vazão média anual de 35.499 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, com valores máximos em julho (61.283 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) e mínimos em novembro (18.420 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>). Segundo Marinho et al., (2020) 97% do volume de água escoado pelo rio Negro no Arquipélago está concentrado nos canais principais da margem direita e esquerda.

O rio Negro é classificado como um rio de água preta, com coloração que varia entre marrom oliva a marrom café (SIOLI, 1991). Rios-Villamizar et al., (2020) analisaram diversas características físico-químico desse tipo de água e destacaram os valores de pH (entre 3,5 e 5,5), condutividade elétrica (3,75 e 28 μS.cm<sup>-1</sup>), cor da água (28,5 e 627mg/Pt/L), substâncias húmicas (2,3 - 71 mg.L<sup>-1</sup>). A transparência da água em Anavilhanas varia de 1,50 a 2,90 m no canal principal, e 0,30 a 1,20 m nos lagos devido substâncias húmicas dissolvidas (medição com disco de Secchi entre os anos de 2019 e 2021 nos períodos de águas baixas e altas). A temperatura média da água do canal varia de 30 °C a 32 °C durante o ano hidrológico, e nos lago é acima de 35 °C.

A bacia do rio Negro é responsável por cerca de um terço do carbono dissolvido transportado pelo rio Amazonas (MOREIRA-TURCQ et al., 2006). Segundo Marinho

(2019) o fluxo de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) em Anavilhanas é de  $11 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup>, com forte controle em função do regime fluvial, apresentando menores valores em períodos de águas baixas e maiores em períodos de águas altas. O valor médio da concentração do COD foi de  $9,60 \text{ mg.L}^{-1}$  ( $\pm 1,56\%$ ), com mínimo de  $7,03 \text{ mg.L}^{-1}$  e máximo  $12,11 \text{ mg.L}^{-1}$ . Nos períodos de águas altas e baixas foram obtidos os valores médios de  $10,08 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $9,12 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente (MARINHO, 2019). Silva (2019) estimou o estoque de Carbono Orgânico Total (COT) em 230.987 toneladas de C para o primeiro metro de profundidade de um lago central de Anavilhanas. Além disso, em análise paleogeográfica, entre os anos de 1880 e 854 anos cal AP (datados com C<sup>14</sup>) predominaram taxas de sedimentação de  $0,03 \text{ cm.ano}^{-1}$  e taxas de acumulação de carbono média de  $94,8 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ . Do período de 854 anos cal AP até o presente as taxas de sedimentação foram de  $0,07 \text{ cm.ano}^{-1}$  e taxas de acumulação de carbono média de  $148,9 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ .

A enchente nas estações hidrométricas de Moura, Novo Airão e Manaus ocorre entre dezembro e junho (pico de cheia), em agosto e setembro o nível da água reduz rapidamente, com máximo de vazante entre outubro e novembro (Figura 12). As flutuações no nível da água no baixo rio Negro estão relacionadas ao regime fluvial no rio Solimões (STERNBERG, 1987; RICHEY et al., 1989; MEADE et al., 1991; LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005).

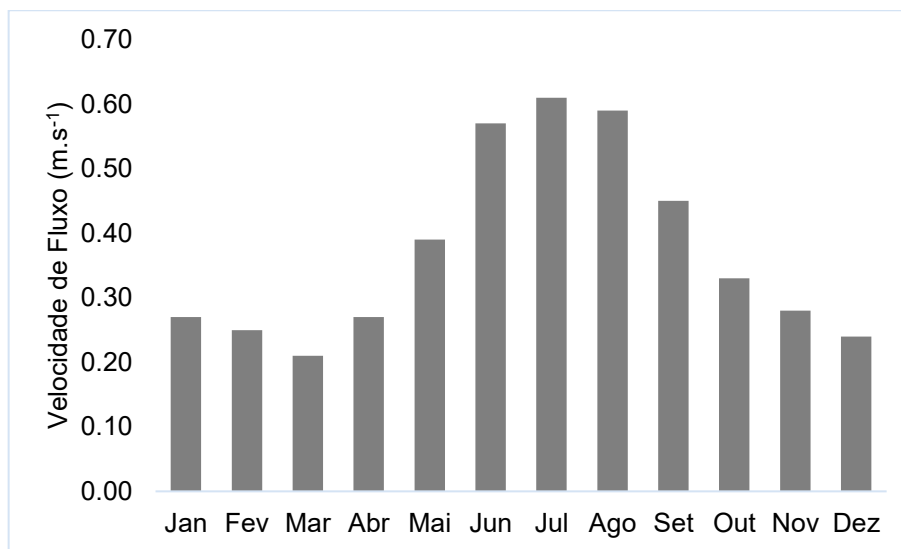


**Figura 12.** Nível Médio Normalizado das estações de Moura (1996-2014) a montante, Novo Airão (2015-2019) no interior, e Manaus (1996-2014) a jusante de Anavilhanas. **Fonte:** Hybam (2022) e Agência Nacional de águas (2022).

A variação anual do nível da água do rio Negro no Arquipélago é de aproximadamente 10 metros (SILVA, 2019; MARINHO et al., 2021), o que influencia no volume de água dos lagos entre os períodos de águas baixas e altas (SILVA, 2019). Análise do balanço da descarga líquida realizada por Marinho et al., (2021) indicam que os lagos à

montante armazenam água durante o período de cheia e libera durante o período de vazante quando os níveis do rio Solimões-Amazonas estão mais baixos. Meade et al., (1991) observaram que o barramento hidráulico do rio Solimões exerce influência sobre o rio Negro até a localidade de Moura, cerca de 300 km da foz do rio Negro. O regime hidrológico da estação de Barcelos, montante de Moura, apresenta alterações principalmente na vazante, que se estende até os meses de dezembro e janeiro (QUEIROZ, 2022). Os tributários do rio Negro também são influenciados pelo barramento hidráulico (FERREIRA; FILIZOLA, 2020), formando os vales bloqueados (Figura 2). Cunha (2017) afirma que o barramento hidráulico do rio Solimões foi o fator predominante na formação do arquipélago por aumentar o espaço de acomodação de sedimentos e diminuir a velocidade do fluxo.

A velocidade de fluxo d'água na Estação hidrométrica Paricatuba (Figura 13), jusante de Anavilhanas, apresenta média anual de  $0,37 \text{ m.s}^{-1}$ , com máximos em julho ( $0,61 \text{ m.s}^{-1}$ ), e mínimos em março ( $0,21 \text{ m.s}^{-1}$ ). Segundo Marinho et al., (2020) a velocidade média anual a montante de Anavilhanas é de  $0,63 \text{ m.s}^{-1}$  (2016-2019) e reduz 32% em à jusante do arquipélago. O efeito do barramento do rio Negro pelo rio Solimões e a baixa declividade da superfície d'água no baixo curso são os principais fatores de redução de velocidade e retenção de água e sedimentos em Anavilhanas, características essas que contribuem com maior intensidade durante a cheia do rio Negro (MARINHO, 2019).

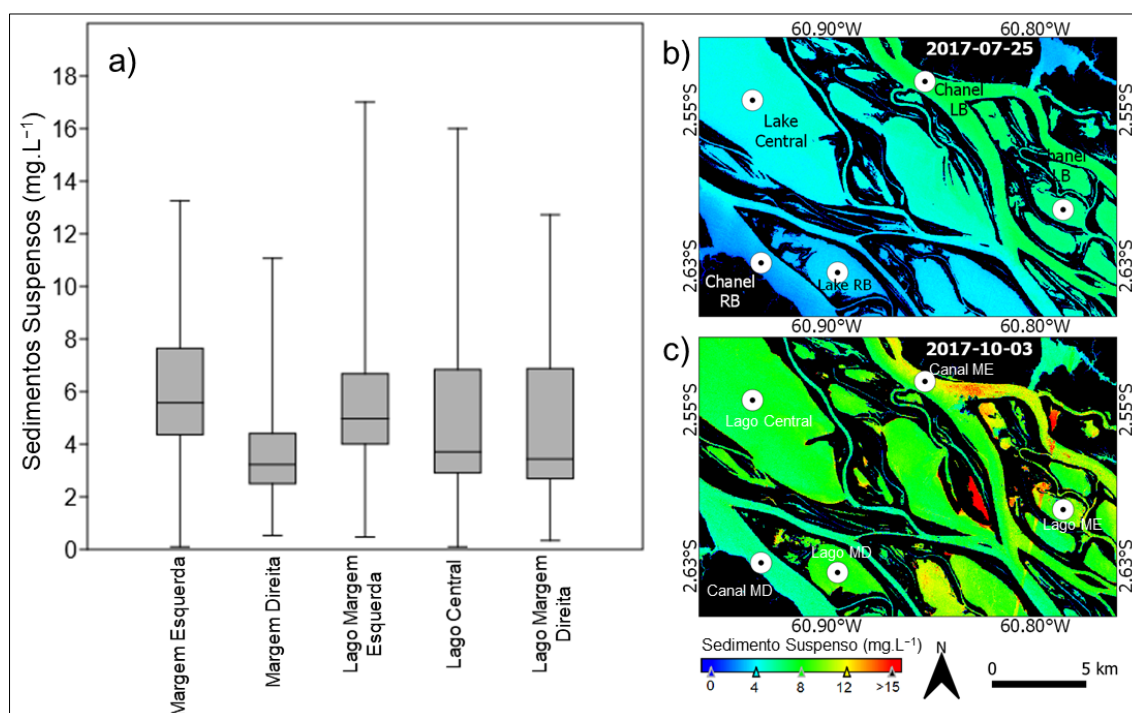


**Figura 13.** Velocidade de fluxo d'água na estação de Paricatuba, jusante de Anavilhanas, no período de 2006-2019. **Fonte:** Agência Nacional de águas (2022).

A descarga de sedimentos transportados em suspensão pelo rio Negro varia de  $8 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$  com uma concentração média que varia de 1 a  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  (FILIZOLA, 2003; FILIZOLA; GUYOT, 2011; MARINHO et al., 2020). Marinho et al., (2022) estimou a partir de imagens dos satélites Sentinel-2 uma média anual de  $5,28 \text{ mg.L}^{-1}$  (2015 a 2019) para o trecho jusante de Anavilhanas, indicando um processo lento de deposição nas ilhas do Arquipélago e maiores concentrações na margem esquerda. A concentração de sedimento suspenso dos trechos montante e jusante de Anavilhanas é de  $3,28 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $1,63 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente. Por outro lado, o interior

do arquipélago apresenta uma concentração média de  $4,50 \text{ mg.L}^{-1}$ , revelando a retenção de cerca de 55% da carga suspensa devido às condições de baixa declividade da massa d'água e redução da velocidade de fluxo causada pelo barramento hidráulico do rio Solimões (MARINHO et al., 2020).

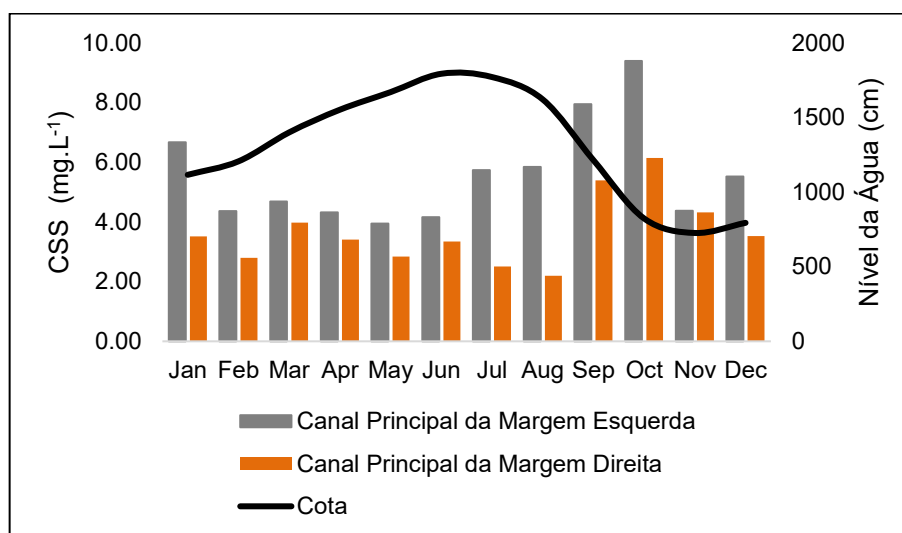
Os trabalhos de Marinho (2019), Marinho et al. (2021) e Marinho et al. (2022) contribuíram para o uso de imagens de satélites (sensores MSI/Sentinel-2 e OLI do Landsat-8) para estimar a concentração de sedimentos suspensos no baixo curso do rio Negro, representando avanços significativos no monitoramento hidrossedimentar nesta bacia. Esses trabalhos auxiliam na compreensão da variabilidade espacial e temporal do sedimento suspenso em rios de águas pretas. Análises com imagens de satélites, calibradas com dados de campo, indicam que a margem esquerda de Anavilhanas apresenta maiores concentrações de sedimentos, se destacando com concentrações mais elevadas durante o período de águas baixas (vazante) (Figura 14a). Tal condição evidencia a contribuição dos sedimentos do rio Branco sobre Anavilhanas. Marinho et al. (2021) mostraram que na região central do Arquipélago o canal da margem esquerda recebe maior aporte de nutrientes provenientes dos sedimentos rio Branco, comparativamente ao canal da margem direita.



**Figura 14.** a) Distribuição espacial da concentração de sedimentos suspensos no arquipélago de Anavilhanas derivadas de imagens Sentinel 2A e 2B no período de águas altas (b) e baixas (c). **Fonte:** Os autores (2022).

A média anual da concentração de sedimento suspensos (CSS) do canal da margem esquerda é da ordem de  $5,90 \text{ mg.L}^{-1}$  e na margem direita de  $3,77 \text{ mg.L}^{-1}$ . A maior concentração ocorre no mês de outubro em ambos os canais ( $9,39 \text{ mg.L}^{-1}$  na margem esquerda e  $6,14 \text{ mg.L}^{-1}$  na margem direita), e há redução da concentração no período

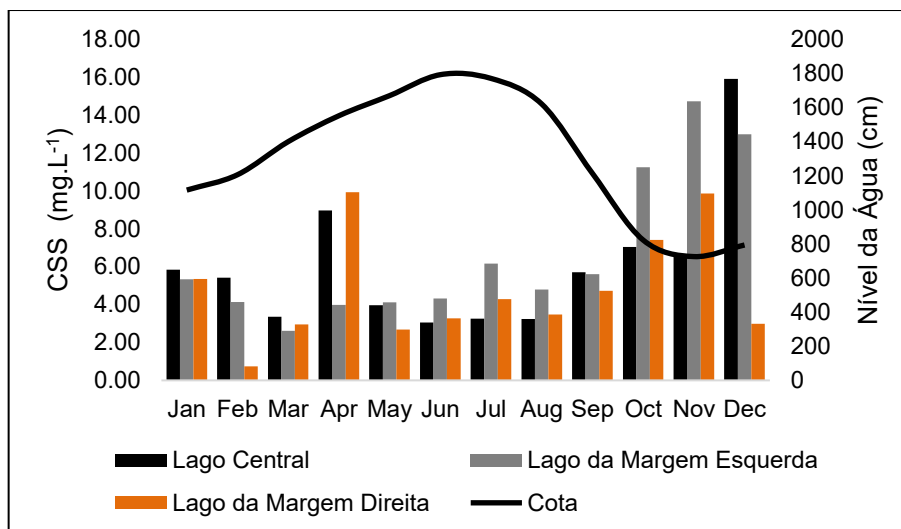
de cheia, sendo em maio ( $3,95 \text{ mg.L}^{-1}$ ) na margem esquerda, e agosto ( $2,20 \text{ mg.L}^{-1}$ ) na margem direita (Figura 15). A amplitude entre dados máximos e mínimos foi  $13,16 \text{ mg.L}^{-1}$  na margem esquerda e  $10,54 \text{ mg.L}^{-1}$  na margem direita. Os dados de sedimentos não apresentaram boa correlação com as cotas ( $R^2 = 0,167$  Cota x Canal Margem Esquerda;  $R^2 = 0,414$  Cota x Canal Margem Direita). O coeficiente de correlação linear de Pearson entre a CSS e o nível da água para o canal da margem esquerda é baixo ( $r = -0,408$ ), e moderado para a margem direita ( $r = -0,618$ ), ambos indicando uma relação inversamente proporcional dos dados.



**Figura 15.** Média mensal de CSS nos canais principais da margem esquerda e direita em Anavilhanas. **Fonte:** Os autores (2022).

A concentração média anual de lagos situado na região central de Anavilhanas foi de  $5,18 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $5,72 \text{ mg.L}^{-1}$  (para o lago da margem esquerda) e  $4,50 \text{ mg.L}^{-1}$  (para o lago da margem direita) (Figura 14 b, c). O lago da margem direita teve a maior concentração em abril ( $9,94 \text{ mg.L}^{-1}$ ), período de enchente, o que difere das outras unidades. O lago central com  $15,92 \text{ mg.L}^{-1}$  em dezembro, e o lago da margem esquerda com  $14,73 \text{ mg.L}^{-1}$  em novembro possuem as maiores concentrações no período de águas baixas. As menores concentrações ocorrem em março ( $2,61 \text{ mg.L}^{-1}$ , margem esquerda), junho ( $3,06 \text{ mg.L}^{-1}$ , central) e fevereiro ( $0,74 \text{ mg.L}^{-1}$ , margem direita), todos durante o período de cheia. A amplitude entre os dados máximos e mínimos foi de  $20,74 \text{ mg.L}^{-1}$  (margem esquerda),  $15,90 \text{ mg.L}^{-1}$  (central), e  $12,38 \text{ mg.L}^{-1}$  (margem direita) (Figura 16).

A relação entre a cota x CSS para o lago central ( $R^2 = 0,405$ ) e lago da margem direita ( $R^2 = 0,169$ ) mostram baixa correlação, e alta no lago da margem esquerda ( $R^2 = 0,965$ ). O coeficiente de correlação linear de Pearson para o lago central resultou em moderado ( $r = -0,408$ ), alto para o lago da margem esquerda ( $r = -0,795$ ), e baixo para o lago da margem direita ( $r = -0,330$ ), todos indicando uma relação inversamente proporcional entre os dados de CSS e cota.



**Figura 16.** Média mensal da concentração e sedimentos suspensos (CSS) nos lagos da margem esquerda, direita e central em Anavilhanas. **Fonte:** Os autores (2022).

A granulometria dos sedimentos de fundo nos canais e lagos de Anavilhanas varia de areia fina e muito grossa (CUNHA, 2017). Marinho et al., (2021) constataram maior concentração de lama em Anavilhanas, quando comparado a outros pontos do rio Negro. Os canais da margem esquerda e direita apresentam, respectivamente, D50 de 0,004 mm e 0,3 mm. Destaca-se que o canal da margem esquerda que recebe o maior aporte dos fluxos de sedimentos oriundos do rio Branco (MARINHO et al., 2021).

Os estudos sobre sedimentos de fundo do arquipélago são por coletas de amostras pontuais nos canais e lagos (ALVES, 2013; CUNHA, 2017; MARINHO et al., 2021). Acredita-se que metodologias para estimar de forma indireta o transporte de sedimentos de fundo (MARTINS; STEVAUX, 2005), ou por transporte indireto de dunas fluviais (LATRUBESSE et al., 2009) podem ser alternativas para avaliar a variabilidade espacial e temporal do transporte de fundo, visto que os métodos tradicionais são de difícil aplicação nos grandes rios da Amazônia.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma revisão sobre as características da paisagem do Arquipélago de Anavilhanas visando entender os processos morfogenéticos e morfodinâmicos, especialmente do Holoceno ao presente. As características da paisagem do rio Negro são únicas. Em seu baixo curso há grandes complexos de ilhas alongadas, com lagos em seu interior e uma biodiversa floresta de igapó. Essas ilhas têm lagos grandes de diferentes formas (redondos, ovais ou em forma de meia-lua), além de muitas barras de areia laterais ou longitudinais. Essas características estão relacionadas à hidrologia, à forma do rio, ao sedimento suspenso, sedimento de fundo e à atividade tectônica.

Avanços significativos nas pesquisas nas últimas décadas foram realizados, porém, ainda existem lacunas que precisam ser preenchidas para uma compreensão mais completa da evolução da região ao longo do Holoceno, principalmente em relação à:

i) Cronologia; ii) Origem dos sedimentos que formaram os arquipélagos de Anavilhanas e Mariuá; iii) Papel da tectônica na sedimentação recente; iv) Paleohidrologia do rio Negro.

Nas últimas décadas houve avanços sobre a cronologia das ilhas, porém, novos modelos são necessários que busquem compreender melhor o processo de estabilização das ilhas, bem como a evolução da morfologia do Arquipélago até o período atual. Além disso, é essencial considerar como as condições tectônicas e climáticas influenciaram no processo de sedimentação do complexo fluvial. Isso pode ser alcançado por meio da realização de estudos interdisciplinares que integrem técnicas de datação e análises de condições tectônicas e hidrossedimentares, dentre outras.

A tectônica desempenhou um papel fundamental na distribuição e morfologia das ilhas. A região de Anavilhanas é controlada por uma grande falha no canal da margem direita e por componentes estruturais significativos na margem esquerda. O que pode ter tornado o vale propício à sedimentação. Porém, é preciso entender melhor a influência da tectônica regional nos processos de sedimentação, bem como realizar um mapeamento geológico detalhado das estruturas, principalmente na margem esquerda onde há poucas informações. Estudos gravimétricos são essenciais para detectar possíveis eventos sísmicos, deformações tectônicas e implicações do regime hidrológico sobre processos geodinâmicos atuais na região.

A influência da variação do nível de base do rio Negro e mudanças climáticas regionais, também deve ser considerada. Além disso, é necessário analisar as condições paleohidrológicas do rio Negro e sua influência na formação das ilhas. A história geológico-geomorfológica do Arquipélago de Anavilhanas e sua relação com a evolução do rio Negro e da bacia Amazônica como um todo precisam ser investigadas em maior detalhe. Nota-se que, considerando a taxa de sedimentação atual, seriam necessários 40.000 anos para formar o arquipélago, logo as condições paleohidrológicas do rio Negro durante o Holoceno Médio e Tardio diferem significativamente das atuais, indicando que no passado o canal possuía maior energia e maior transporte de sedimentos. A reconstrução paleoclimática e paleohidrológica da região do Arquipélago é essencial para entender como se deu esse processo de sedimentação e estabilização.

Importantes avanços no mapeamento geomorfológico do Arquipélago foram obtidos nos últimos anos, identificando-se as principais formas fluviais (ilhas-diques, lagos, barras de areia). É possível, reafirmar a classificação do baixo curso do rio Negro como um canal anabranching com morfologia única devido às suas características deposicionais (estabilização das ilhas-lago) e sob forte controle estrutural. Além disto, é possível inferir que a estabilidade atual do Arquipélago ocorreu a partir de 1000 AP, dentro do Holoceno. Porém, é preciso integrar melhor com os dados cronoestruturais e paleoclimáticos para construir um modelo de gênese e evolução coerente com a morfologia e regime hidrológico atual do rio Negro.

Por fim, é necessário a continuação de estudos interdisciplinares que integrem diferentes campos de pesquisa, como geologia, geomorfologia, biogeografia e



climatologia, a fim de ampliar a compreensão da evolução da paisagem complexa do baixo rio Negro.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão de bolsa a nível de Doutorado e aos revisores da revista Geonorte pelas valiosas contribuições para a melhoria do manuscrito.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

**Concepção:** Matheus Silveira de Queiroz; Rogério Ribeiro Marinho, Neliane de Sousa Alves; Cleide Rodrigues. **Metodologia:** Matheus Silveira de Queiroz; Rogério Ribeiro Marinho. **Análise formal:** Matheus Silveira de Queiroz; Rogério Ribeiro Marinho, Neliane de Sousa Alves; Cleide Rodrigues. **Escrita do artigo:** Matheus Silveira de Queiroz. **Revisão:** Matheus Silveira de Queiroz; Rogério Ribeiro Marinho, Neliane de Sousa Alves; Cleide Rodrigues. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). 2022. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb>

ALBUQUERQUE, O.R. **Reconhecimentos geológicos no vale do Amazonas.** DNPM, Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil 3, p. 84, 1922.

ALMEIDA-FILHO, R.; MIRANDA, F.P. Mega capture of the Rio Negro and formation of the Anavilhanas Archipelago, Central Amazônia, Brazil: Evidences in an SRTM digital elevation model. **Remote Sens. Environ.**, 110, p. 387–392, 2007;

ALMEIDA-FILHO, R.; SHIMABUKURO, Y. E.; BEISL, C. H. Assessment Of Landscape Changes In The Anavilhanas Archipelago During The Flood Peak And Drought Events In The Rio Negro, Central Amazônia, Brazil. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 68, n. 5, 2016. DOI: 10.14393/rbcv68n5-44428.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22: 711–728.

ALVES, N.S. **Mapeamento Hidromorfodinâmico do Complexo Fluvial de Anavilhanas:** Contribuição Aos Estudos De Geomorfologia Fluvial De Rios Amazônicos. Ph.D. Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil, 2013.

BARBOSA, R.O. **Estudos Sedimentológicos e Estratigráficos dos Depósitos Sedimentares Quaternários do Arquipélago de Anavilhanas, Município de Novo Airão (Amazônia Central).** Master's Thesis, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brazil, 2015.

CAPUTO M.V., CROWELL J.C. Migration of Glacial Centers across Gondwana during Paleozoic **Era. Geol. Soc. Am. Bull.**, 96 (8), p. 1020-1036, 1985.

CAPUTO M.V., RODRIGUES R., VASCONCELOS D.N. **Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas**. Brasil. PETROBRÁS/ RENOR. 92p., 1971.

CAPUTO M.V.; SAD A.R.E. **Geologia do Baixo rio Negro e trecho da BR-174**. PETROBRÁS, Belém, Sistema de Informação de Exploração 130 – 5170 (Relatório Interno), 1974.

CAPUTO, M.V. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil**. PhD thesis, University of California, Santa Barbara, 583 p., 1984.

CARNEIRO-FILHO, A.; SCHWARTZ, D.; TATUMO, S.H.; ROSIQUE, T. Amazonian Paleodunes Provide Evidence for Drier Climate Phases during the Late Pleistocene–Holocene. **Quaternary Research**, v.58, p. 205-209, 2002.

CARVALHO, J. A. L. **Erosão Nas Margens do Rio Amazonas: o Fenômeno das Terras Caídas e suas Implicações na vida dos moradores**. Tese - Programa de Pós-Graduação em Geografia. Niterói/RJ: Universidade Federal Fluminense, 2012.

CHAO, N. **Fisheries, diversity and conservation of ornamental fish of the Rio Negro River, Brazil- a review of Project Piaba (1989-99)**. 161–204p, 2001.

CHIRPS. 2015. **The CHIRPS dataset website**.

(<https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>). Accessed on August 2021.

COOK, B.; ZENG, N.; YOON, J.H. Will Amazonia dry out? Magnitude and causes of change from IPEE climate model projections. **Earth Interactions**, v. 16, 1–27, 2012.

COSTA, J. B. S., BEMERGUY, R. L., HASUI, Y., BORGES, M. S., FERREIRA JÚNIOR, C. R. P., BEZERRA, P. E. L., COSTA, M. L., FERNANDES, J. M. G. Neotectônica Da Região Amazônica: Aspectos Tectônicos, Geomorfológicos e Depositionais. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 23-44, 1996.

COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; HASUI, Y.; BORGES, M.S. Tectonics and paleogeography along the Amazon River. **Journal of South America Earth Sciences**, v. 14, pp. 335-347, 2001.

CUNHA, D.F. **Evolução sedimentar do Arquipélago de Anavilhanas no baixo Rio Negro, Amazônia Central**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

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

D'APOLITO, C.; ABSY, M.L.; LATRUBESSE, E.M. The Hill of Six Lakes revisited: new data and re-evaluation of a key Pleistocene Amazon site. **Quaternary Science Reviews**, v.76, p.140-155, 2013.

EIRAS J.F., BECKER, C.R., SOUZA, E.M., GONZAGA, J.E.F., SILVA, L.M., DANIEL, L.M.F., MATSUDA, N.S., FEIJÓ, F.J. Bacia do Solimões. **Boletim de Geociências de Petróleo Brasileiro S.A**, Rio de Janeiro, 8 (1), p. 17-45, 1994.

fGUYOT, J.L.; MOLINIER, M.; GUIMARÃES, V.; CUDO, K.L.; OLIVEIRA, L.; Balanço Hídrico da Bacia do rio Negro. **X Simpósio** Brasileiro de Recursos Hídricos do Cone Sul, Gramado, Rio Grande do Sul, 1993.

FILIZOLA, N. **Transfert Sédimentaire Actuel Par Les Fleuves Amazoniens**. Thèse de doctorat, Toulouse, Université de Toulouse III - Paul Sabatier, 2003, 273 p.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J.L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 4, p. 566-576, 2011.

FORSBERG, B., HASHIMOTO, Y., ROSENQVIST, A., MIRANDA, F.P. Tectonic fault control of wetland distributions in the central Amazon revealed by JERS-1 radar imagery. **Quaternary International**, 72, p. 61–66, 2000.

FRANZINELLI, E., IGREJA, H.L.S. Modern sedimentation in the Lower Negro river, Amazonas State, Brazil. **Geomorphology**, 44, p. 259 – 271, 2002.

FRANZINELLI, E., IGREJA, H.L.S., REPOLHO, T. Fragmentation of Ecosystem Owing to Neotectonics in the Amazon Basin. **Sci. Rep. Tohoku Univ., 7th Ser. (Geogr.)**, 49 (2), p. 207 – 214, 1999.

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H.L.S. Utilização de sensoriamento remoto na investigação da área do Baixo Rio Negro e Grande Manaus. VI **Simp. Bras. Sens. Rem. An.** 3, p. 641 – 648, 1990.

GRAHN, C.Y. Ordovician Chitinozoa and biostratigraphy of Brazil. **Geobios**, 25 (6): 703-723, 1991.

GRAHN, C.Y., 1992. Revision of Silurian and Devonian Strata of Brazil. **Palinology**, 16, p. 35-61, 1992.

GRAHN, C.Y., PARIS, F. Age and correlation of the Trombetas Group, Amazonas Basin, Brazil. **Rev. Micropaléontologie**, 35, p. 197-209, 1992.

HASTENRATH, S. **Climate and circulation of the tropics**. Springer Netherlands, 1985. ISBN 978-94-010-8878-7.

HAUG, G.H., HUGHEN, K.A., SIGMAN, D.M., PETERSON, L.C., RÖHL, U., 2001. Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. **Science** 293, 1304–8. doi:10.1126/science.1059725.

HJULSTROM, F. Transportation of debris by moving water. In: TRASK, PD (Org.). **Recent marine sediments; a symposium**. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, p. 5–31, 1939.

HJUSLTROM, F. **Studies of morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris**. University of Upsala Geological Institute Bulletin, n. 25, p. 221-527, 1935.

HOORN, C., RODDAZ, M., DINO, R., SOARES, E., UBA, C., OCHOA-LOZANO, D., MAPES, R. The Amazonian Craton and its influence on past fluvial systems (Mesozoic-Cenozoic, Amazonia). In: HOORN, C., WESSELINGH, F. (Eds.). **Amazonia: Landscape And Species Evolution**. Wiley - Blackwell, p. 103-122, 2010.

IGREJA, H.L.S. **Aspectos do modelo neotectônico da placa Sul-Americana na província estrutural Amazônica, Brasil**. Thesis, Universidade do Amazonas, Manaus, 1999.

IRIONDO, M.H. Geomorfologia da planície Amazônica. In: **Simpósio do Quaternário no Brasil**, 4, Rio de Janeiro. Atas... Rio de Janeiro: SBG/SE, p. 323-348, 1982.

JANSEN, J. D.; NANSON, G.C. Anabranching and maximum flow efficiency in Magela Creek, northern Australia. **Water Resour. Res.**, v. 40, 2004, doi: 10.1029/2003WR002408.

JUNK, W.J. Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains. In: HOLM-NIELSEN LB, NIELSEN IC, BALSLEV H (eds). **Tropical forests: botanical dynamics, speciation and diversity**. Academic Press, London, p. 47–64, 1989.

KISTLER, P. **Historical Resumé of the Amazon Basin**. Belém, PETROBRAS-RENOR, (Relatório Técnico Interno, 104-A), 1954.

LANGE F.W. Subdivisão bioestratigráfica e revisão da coluna siluro-devoniana da bacia do baixo Amazonas. In: **Simp**. Sobre a Biota Amazônica, Belém. Atas, 1, p. 215-326, 1967.

LATRUBESSE, E. M.; AMSLER, M. L.; MORAIS, R. P.; AQUINO, S. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. **Geomorphology**, 113(3-4), 239–252, 2009. doi:10.1016/j.geomorph.2009.03.014

LATRUBESSE, E.M. Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. **Geomorphology** 101, p. 130–145, 2008.

LATRUBESSE, E.M., FRANZINELLI, E. The holocene alluvial plain of the middle Amazon river, Brazil. **Geomorphology**, v. 44, p. 241-57, 2002.

LATRUBESSE, E.M., FRANZINELLI, E. The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: Implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. **Geomorphology** 70, p. 372–397, 2005.

LATRUBESSE, E.M., STEVAUX, J.C. The Anavilhanas and Mariuá Archipelagos: Fluvial Wonders from the Negro River, Amazon Basin. In: VIEIRA, B.C.; SALGADO, A.A.R.; SANTOS, L.J.C. (Eds.), **Landscapes and Landforms of Brazil**. Springer, Dordrecht, p. 157– 169, 2015.

LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J.C.; SINHA, R. Tropical Rivers. **Geomorphology**, 70, p.187–206, 2005.

LELI, I.T. **Gênese, Evolução e Geomorfologia das Ilhas e Planície de Inundação do Alto Rio Paraná, Brasil**. Tese (Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho), Rio Claro, 2015.

LELI, I.T., STEVAUX, J.C. Lake-Islandas: A distinct morphology of river systems. **Journal of South American Earth Sciences**, 111, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103424>

LIMA, M.S.B.; SILVA, A.P.; NOGUEIRA, R.J.B. Novas Fronteiras Agrícolas na Amazônia Setentrional: A Expansão da Soja em Roraima (Brasil). In: SILVA-MATOS, R.R.S.; ANDRADE, H.A.F.; MACHADO, N.A.F. **A face multidisciplinar das ciências agrárias 3**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.

MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**, n.78, p.79-96, 2004.

MARENGO, J.A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L.M; SOARES, W.R.; RODRIGUEZ, D.A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS**, v. 38, 2011.

MARINHO, R. R.; FILIZOLA JUNIOR, N. P. ; MARTINEZ, J. ; HARMEL, TRISTAN . Suspended sediment transport estimation in Negro River (Amazon Basin) using MSI/Sentinel-2 data. **REVISTA BRASILEIRA DE GEOMORFOLOGIA**, v. 23, p. 1174-1190, 2022.

MARINHO, R. R.; WACHHOLZ, F. ; ROCHA, A. R. ; SEVERO, E. B. . Monitoramento do sedimento suspenso por sensoriamento remoto no rio Tarumã-Açu (Manaus - AM). In: João Cândido André da Silva Neto; Flávio Wachholz. (Org.). **Geotecnologias e Análise da Paisagem na Amazônia**. 1ed.São Paulo: Alexa Cultural, p. 137-151, 2022.

MARINHO, R. R.; WACHHOLZ, F. ; SOUZA, R. Monitoramento do sedimento suspenso no Lago Catalão (Iranduba, AM) com dados Landsat-8. In: Joceli Augusto Gross. (Org.). **Geografia por sensoriamento remoto**. 1ed.Canoas: Mérida Publishers., p. 34-44, 2021.

MARINHO, R.R. Estudo Morfodinâmico em Ambiente Lacustre no Arquipélago de Anavilhanas, Rio Negro, Bacia Amazônica. **Geotemas**, v. 10, n. 3, pp. 81-105, 2020.

MARINHO, R.R. **Integração de Dados de Campo e Sensoriamento Remoto no Estudo do Fluxo de Água e Matéria no Arquipélago de Anavilhanas, Rio Negro, Amazonas, Brasil**. PhD. Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Manaus, Brazil, 2019.

MARINHO, R.R., FILIZOLA JUNIOR, N.P., CREMON, É.H. Analysis of Suspended Sediment in the Anavilhanas Archipelago, Rio Negro, Amazon Basin. **Water**, 12, 1073, 2020.

MARINHO, R.R.; HARMEL, T.; MARTINEZ, J.M.; FILIZOLA, N.P. Spatiotemporal Dynamics of Suspended Sediments in the Negro River, Amazon Basin, from In Situ and Sentinel-2 Remote Sensing Data. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, p. 86, 2021.

MARINHO, R.R.; ZANIN, P.R.; FILIZOLA, N.P. The Negro river in the Anavilhanas Archipelago: streamflow and geomorphology of a complex anabranching system in the Amazon. **EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS**, v. 47, p. 1-16, 2021.

MARINHO; R.R.; VIEIRA, A.F.S.G.; MACIEL, F.S. Análise Montante-Jusante da Granulometria dos Sedimentos de Fundo e Suspenso do Rio Negro e Tributários

(Bacia Amazônica, Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.02, pp. 997-1008, 2021.

MCKEE, E.D.; WEIR, G.W. Terminology for Stratification and Cross-Stratification in Sedimentary Rocks. **Bulletin of the Geological Society of America**, vol. 64., p. 381-390, 1953.

MEADE, R.H., RAYOL, J.M., CONCEIÇÃO, S.C., NATIVIDADE, J.R.G. Backwater effects in the Amazon River basin of Brazil. **Environmental Geology and Water Sciences**, 18, p. 105–114, 1991.

MOLINIER, M., GUYOT, J.L., OLIVEIRA, E., GUIMARÃES, V. Les Régimes Hydrologiques de L'amazone et de ses Affluents. In: CHEVALLIER, P.; POUYAUD, B. (Eds.) **L'hydrologie Tropicale: Géoscience et Outil Pour le Développement**. Paris, IAHS, p. 209-222, 1996.

MONTERO, J. C.; LATRUBESSE, E. M. The igapó of the Negro River in central Amazonia: Linking late-successional inundation forest with fluvial geomorphology. **Journal of South American Earth Sciences**, 46, 137–149, 2013. doi:10.1016/j.jsames.2013.05.009

MOREIRA-TURCQ, P.; PÉREZ, M.; BENEDETTI, M.; A. OLIVEIRA, M.; LAGANE, C.; SEYLER, P.; OLIVEIRA, E. Dynamics of Dissolved Organic Matter in Amazon Basin: Insights into Negro River Contribution. **AGU Fall Meeting Abstracts**, 2006.

MOURA, M.M.; SANTOS, A.R.; SILVA, S.F.; PIMENTEL, S.M.; ANDRADE, M.S.S.; SILVA, F.G.R.; BRANCO, E.R.F.; MOREIRA, T.R.; SILVA, R.G.; CARVALHO, J.R. Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. **SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT**, v. 651, p. 1639-1639 - 1651, 2019.

NASCIMENTO, D.A., MAURO, C.A., GARCIA, M.G.L. **Geomorfologia da Folha SA.21- Santarém**. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SA-21-Santarém. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: MME/DNPM. v. 10, cap. 2, p. 131-98, 1976.

NOBRE, P; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **J. Clim.** 9: 2464–2479, 1996.

PAROLIN, P., PIEDADE, M. T. F., JUNK, W.J. Os rios da Amazônia e suas interações com a floresta. **Ciência e Ambiente**. Universidade Federal de Santa Maria. UFSM, v.?, n.31, 2005.

PEREIRA, L.F. **Caracterização e Reconstituição Paleoambiental da Formação Içá na Bacia do Rio Negro - AM**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Geografia, PUC-Minas), Belo Horizonte, 2016.

PRANCE, G.T. Notes on the vegetation of Amazonia III. The terminology of Amazonian forest types subject to inundation. **Brittonia** 3(1), p. 26–38, 1979.

QUEIROZ, M. S.. Evidências de Neotectônica na Bacia Hidrográfica do Mindu - Manaus - Amazonas. **REVISTA TOCANTINENSE DE GEOGRAFIA**, v. 9, p. 130-142, 2020.

QUEIROZ, M. S.; LIMA, J. A.; MARINHO, R. R. Caracterização Física dos Sedimentos do Arquipélago Fluvial de Mariuá, Rio Negro, Bacia Amazônica. In: Rogério Ribeiro Marinho; Geraldo Alves de Souza; João Cândido André da Silva Neto. (Org.). **A Geografia Amazônica em múltiplas escalas Volume 2**. 1ed. Manaus: EDUA, 2022, v. 1, p. 179-196.

QUEIROZ, M.S. **Dinâmica Geomorfológica do Complexo Fluvial de Mariuá, rio Negro, Bacia Amazônica**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia), Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 2022.

QUEIROZ, M.S.; ALVES, N.S. Análise Morfotemporal do arquipélago fluvial de Anavilhanas – Amazonas. In: PINHEIRO, L.S; GORAYEB, A (Eds). **Geografia Física e Mudanças Globais**. 1ed, Editora da UFC, Fortaleza, 2019.

QUEIROZ, M.S.; CARVALHO, J.A.L. Geomorphological Characterization of the Tarumã-Açú Basin, Amazonas, Brazil. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v. 11, n. 2, p. 113-125, 2020.

REIS, N. J., ALMEIDA, M., RIKER, S. L., FERREIRA, A. L. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006.

RICHEY J.E., NOBRE C., DESER C. Amazon river discharge and climatic variability: 1903–1985. **Science** 246, p. 101 – 103, 1989.

RIOS-VILLAMIZAR, E.A.; ADENEY, J.M.; PIEDADE, M.T.F.; JUNK, W.J. Hydrochemical Classification of Amazonian Rivers: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 21, n. 78, 2020.

RODRÍGUEZ-ZORRO, P.A.; TURCQ, B.; CORDEIRO, R.C.; MOREIRA, L.S.; COSTA, R.L.; MCMICHAEL, C.H.; et al. Forest stability during the early and late Holocene in the igapó floodplains of the Rio Negro, northwestern Brazil. **Quaternary Research**, v. 89, pp. 75–89, 2018.

SAINT-PAUL, U.; ZUANON, J.; CORREA, M.A.V.; GARCÍA, M.; FABRÉ, N.N.; BERGER, U.; JUNK, W. Fish Communities in Central Amazonian White- and Blackwater Floodplains. **Environmental Biology of Fishes** 57: 235–250, 2000.

SANT'ANNA, L.G.; SOARES, E.A.A.; RICCOMINI, C.; TATUMI, S.H.; YEE, M. Age of depositional and weathering events in Central Amazonia. **Quaternary Science Reviews**, 170(), 82–97, 2017. doi:10.1016/j.quascirev.2017.06.015

SARGES, R.R. **Relações entre as estruturas tectônicas, sedimentação coluvial e geomorfogênese da região de Manaus, Amazonas**. 109f. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, A.C.; SILVA DIAS, P.L. South America. In: Koroly, D.J. and Vincent, D.G. (Eds.) **Meteorology of the Southern Hemisphere. Meteorological Monographs**, v. 27. Boston, MA: American Meteorological Society, 1998.

- Serviço Geológico do Brasil.** 2014. Disponível em: <http://www.sgb.gov.br/>
- SILVA, C.L. **Análise da Tectônica Cenozóica da Região de Manaus e Adjacências.** Ph.D. Thesis, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2005.
- SILVA, V. C.; ANICETO, K. C. P. ; MARINHO, R.R.; FILIZOLA, N. P. . Caracterização hidrológica dos sistemas lacustres do Arquipélago de Anavilhanas com base em sensoriamento remoto. **GEOCIÊNCIAS (SÃO PAULO. ONLINE)**, v. 39, p. 411-424, 2020.
- SILVA, V.C. **Acumulação de carbono e interpretações Paleohidrológicas do lago do Boto – Arquipélago de Anavilhanas durante o Holoceno Superior.** Dissertação (Universidade Federal do Amazonas) Manaus, 2019.
- SIOLI, H. **Amazônia:** Fundamentos de Ecologia da Maior Região das Florestas Tropicais. Vozes, Petrópolis, 1991.
- SO-HYBAM.** 2022. Disponível em: <http://www.orehybam.org/>
- SOUZA E. B., NOBRE, P. Uma revisão sobre o padrão de dipolo no Atlântico tropical. **Rev. Bras. Meteorol.** 13: 31–44, 1998.
- STERNBERG H.O. Aggravation of floods in the Amazon River as a consequence of deforestation?. **Geografiska Annaler** 69A, p. 201-219, 1987.
- STERNBERG, H.O. Vales Tectônicos na Planície Amazônica?. **Revista Brasileira de Geografia**, n. 4. 1950.
- STEVAUX, J. C.; CORRADINI, F. A.; AQUINO, S. Connectivity Processes and riparian vegetation of the upper Paraná River, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, pp. 1-9, 2013.
- TRICART J. Types de lits fluviaux en Amazonie Bresilienne. **Annales de Géographie** 437, p. 1-54, 1977.
- TUNDISI, J.; GOLDEMBERG, J.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SARAIVA, A.C.F. How many more dams in the Amazon? **Energy Policy** 74: 703–708, 2014.
- VAN DER HAMMEN, T. Palaeoecology of tropical South America.In: PRANCE, G. T. (Org.). **Biological diversification in the Tropics.** New York: Plenum Press, pp. 60-66, 1982.
- VERA, C.S., HIGGINS, J., AMBRIZZI, T., GARREAUD, R., GOCHIS, D., GUTZLER, D., LETTENMAIER, D., MARENGO, J., MECHOSO, C.R., NOGUES-PAEGLE, J., SILVA DIAS, P.L., ZHANG, C. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. **Journal of Climate**, v. 19, 4977-5000., 2006.
- VILLAR, J.C.E.; RONCHAIL, J.; GUYOT, J.L.; COCHONNEAU, G.; FILIZOLA, N.; LAVADO, W.; DE OLIVEIRA, E.; POMBOSA, R.; VAUCHEL, P. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). **International Journal of Climatology**, v. 29, 1574–1594, 2009.



WANG, C. ENSO, Atlantic Climate Variability, and the Walker and Hadley Circulations. In: Diaz HF, Bradley RS. (Eds.). **The Hadley Circulation: Present, Past and Future**. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 2004.

WANG, H., FU, R. Cross-equatorial flow and seasonal cycle of precipitation over South America. **Journal of Climate**, 15, 1591–1608, 2002.

WANG, X.; EDWARDS, R.L.; AULER, A.S.; CHENG, H.; KONG, X.; WANG, Y.; CRUZ, F.W.; DORALE, J.A.; CHIANG, H.W. Hydroclimate changes across the Amazon lowlands over the past 45,000 years. **Nature**, v. 541, 2017.

ZANIN, P.R., SATYAMURTY, P. Hydrological processes interconnecting the two largest watersheds of South America from seasonal to intra-monthly time scales: A critical review. **International Journal of Climatology**, v. 40, 3971-4005, 2020a.

ZANIN, P.R., SATYAMURTY, P. Hydrological processes interconnecting the two largest watersheds of South America from multi-decadal to inter-annual time scales: A critical review. **International Journal of Climatology** 40, 4006–4038, 2020b

ZANIN, P.R., SATYAMURTY, P. Inter-seasonal and inter-basins hydrological coupling in South America. **Journal of Hydrometeorology**, v. 22, 1609-1625, 2021.



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

