

ESTUDO MORFODINÂMICO DO AMBIENTE LACUSTRE NO ARQUIPÉLAGO DE ANAVILHANAS, RIO NEGRO, BACIA AMAZÔNICA

Morphodynamic study of the lacustrine environment in Anavilhanas archipelago, Negro River, Amazon basin

Estudio morfodinámico del ambiente lacustre en el Archipiélago de Anavilhanas, Río Negro, Cuenca Amazónica



Rogério Ribeiro MARINHO – Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM); Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Doutor em Clima e Ambiente pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5219-8635>. CURRICULUM LATTES: <http://lattes.cnpq.br/0431904514470921>
EMAIL: rogeo@ufam.edu.br

RESUMO

O rio Negro antes da confluência com o rio Amazonas apresenta um complexo sistema de ilhas, canais e lagos interconectados à planície de inundação, conhecido como Arquipélago de Anavilhanas. Este estudo teve como objetivo analisar a morfodinâmica dos lagos situados no interior das ilhas de Anavilhanas. Imagens dos satélites Sentinel-1 e Landsat-5 foram utilizadas para mapear as unidades fluviais de Anavilhanas e estimar o comprimento, área, perímetro, largura e forma dos lagos. Dados de batimetria, de granulometria e concentração de sedimentos suspensos coletados no maior lago de Anavilhanas são apresentados. Através da classificação de imagens do Sentinel-1 foi detectada uma superfície de água que variou de 340 a 390 km² no ano hidrológico de 2017. O Complexo fluvial de Anavilhanas possui uma superfície de 2000 km² dos quais 20% desta área é ocupada por mais de 300 lagos de forma alongada e estreita, com tamanho variando de 0,01 a 59 km², onde 63% são menores que 0,53 km². A dinâmica hidrológica anual do rio Negro ocasiona pouca mudança na superfície de água no ambiente lacustre de Anavilhanas, com variação de 15% na área ocupada pelos lagos entre o período de cheia e de seca. O maior lago de Anavilhanas (lago Apacú) apresenta média anual da concentração de sedimentos suspensos de 4,15 mg L⁻¹, composto de partículas finas (D50 0,02 mm). Este trabalho apresenta para a comunidade científica um detalhado levantamento morfométrico dos lagos de Anavilhanas e uma análise de suas características locais com relação ao estilo geomorfológico do baixo rio Negro.

Palavras-chave: Planície de inundação; Geomorfologia fluvial; Sedimento suspenso; Sensoriamento remoto.

Histórico do artigo

Recebido: 28 julho, 2020

Aceito: 27 outubro, 2020

Publicado: 29 dezembro, 2020

ABSTRACT

The Negro River before the confluence with the Amazon River presents a complex fluvial system composed of islands, channels and lakes interconnected to the floodplain, which is known as the Anavilhanas Archipelago. This study analyzed the morphodynamics characteristics of the lakes inside the Anavilhanas Archipelago using images from the Sentinel-1 (SAR sensor) and Landsat-5 (TM sensor) satellites. Bathymetric data, suspended sediment concentration and grain size from the Apacú Lake, the largest lake in Anavilhanas, are also presented. Based on images from the Sentinel-1 satellite, a water surface ranging from 390 to 340 km² was detected in the hydrological year 2017. The Anavilhanas fluvial complex has a surface of 2000 km², of which 20% of this area is occupied by more than 300 lakes with elongated and narrow morphometry, with size ranging from 0.01 to 59 km², where 63% are less than 0.53 km². The annual hydrological dynamics of the Negro River causes low changes in the water surface of the Anavilhanas lake system, with a variation of 15% in the area occupied by the lakes between the period of high water and low water levels. The largest lake in Anavilhanas (Apacú Lake) has an annual average of suspended sediment concentration of 4.15 mg L⁻¹, composed of fine particles (D50 0.02 mm). This paper presents to the scientific community a detailed morphometric survey of the Anavilhanas lakes and the analysis of their local characteristics in relation to the geomorphological style of the lower Negro River.

Keywords: Floodplain; Fluvial geomorphology; Suspended sediment; Remote sensing.

RESUMEN

El Río Negro antes de la confluencia con el Río Amazonas presenta un complejo sistema fluvial compuesto por islas, canales y lagos interconectados a la llanura de inundación, que se conoce como el archipiélago de Anavilhanas. Este estudio analizó las características morfométricas de los lagos en el archipiélago de Anavilhanas utilizando imágenes de los satélites Sentinel-1 (sensor SAR) y Landsat-5 (sensor TM). También se presentan datos batimétricos, concentración y granulometría de sedimentos en suspensión del lago Apacú, el lago más grande de Anavilhanas. Basado en imágenes del satélite Sentinel-1, se detectó una superficie de agua que oscila entre 390 y 340 km² en el año hidrológico de 2017. El complejo fluvial de Anavilhanas tiene una superficie de 2000 km², de los cuales el 20% de esta área está ocupada por más de 300 lagos con morfometría alargada y estrecha, con un tamaño que varía de 0.01 a 59 km², donde el 63% tiene menos de 0.53 km². La dinámica hidrológica anual del Río Negro causa pocos cambios en la superficie del agua del sistema de lagos de Anavilhanas, con una variación del 15% en el área ocupada por los lagos entre el período de crecida y estiaje. El lago más grande de Anavilhanas (lago Apacú) tiene un promedio anual de concentración de sedimento en suspensión de 4.15 mg L⁻¹, compuesto de partículas finas (D50 0.02 mm). Este artículo presenta a la comunidad científica un estudio morfométrico detallado de los lagos Anavilhanas y el examen de sus características locales en relación con el estilo geomorfológico del bajo Río Negro.

Palabras-clave: Llanura de inundación; Geomorfología fluvial; Sedimento en suspensión; Teledetección.

1 INTRODUÇÃO

Lagos fluviais apresentam características ambientais adequadas para análise geomorfológica, hidrológica, climática e biogeoquímica. Possuem grande importância no processo de armazenamento de água, carbono, sedimentos e nutrientes transportados pelos rios. Os sedimentos destes ambientes são registros extremamente valiosos para a

reconstrução paleoclimática e das mudanças ambientais, especialmente as ocorridas durante o Holoceno (CORDEIRO et al., 2008; HINDERER, 2012). A bacia Amazônia possui o maior sistema fluvial do planeta, com um mosaico diversificado de lagos de formas diferentes e conectados à planície de inundação, que são responsáveis pela sustentação de uma rica biodiversidade, além de possuir grande importância para o ciclo global do carbono (LATRUBESSE, 2012; ABRIL et al., 2014).

A quantidade e diversidade de lagos de uma planície fluvial, bem como seu papel em diversos ciclos ambientais estão fortemente relacionadas à sua geomorfologia. Desta forma, o conhecimento da distribuição espacial de atributos morfométricos de sistemas lacustres é de grande importância para o entendimento e a modelagem de processos biogeoquímicos (MÜLLER et al., 2014), hidrológicos, sedimentológicos e biogeográficos. Ademais, a morfologia e a hidrologia de sistemas lacustres da planície amazônica estão relacionadas ao regime e estilo geomorfológico dos rios, logo uma abordagem baseada na geomorfologia fluvial se torna necessária para um melhor entendimento de seu funcionamento (LATRUBESSE, 2012).

O rio Negro é o segundo maior tributário em volume de água para o rio Amazonas, com uma área de 712.000 km² é o principal sistema fluvial de águas pretas da região, dos quais 17% são áreas inundáveis, localmente conhecidos como floresta de igapó (MELACK; HESS, 2010). Esta bacia drena regiões com rochas cristalinas do Escudo das Guianas e possui uma das menores taxas de erosão da Amazônia (FILIZOLA; GUYOT, 2009), que resulta pouco transporte de sedimento suspenso, mas com uma grande quantidade de material orgânico dissolvido (MOREIRA-TURCQ et al., 2003). O rio Negro possui um complexo sistema fluvial composto de múltiplos canais, lagos, florestas alagadas e dois grandes arquipélagos de ilhas fluviais, Mariuá e Anavilhanas, com centenas de lagos no seu interior (LATRUBESSE; STEVAUX, 2015).

A primeira caracterização morfométrica de lagos amazônicos foi realizada por Sippel et al. (1992), na qual estimaram com uso de imagens de radar aerotransportado que 11% da planície do rio Amazonas é coberta por lagos com diferentes tamanhos e formas. A morfologia lacustre no baixo Amazonas foi avaliada por França et al. (2014), na qual através de imagens ópticas e de Radar de Abertura Sintética (SAR) verificaram o predomínio de lagos circulares em relação aos alongados. Latrubesse e Franzinelli (2005) destacam no baixo curso do rio Negro a área ocupada por lagos localizados no interior das ilhas do Arquipélago de Anavilhanas, porém não apresentam dados a respeito do número, superfície d'água, perímetro e a variabilidade anual deste ambiente lacustre. Silva et al.,

(2020) utilizaram imagens do satélite Landsat-8 para caracterizar a hidrologia dos lagos de Anavilhanas em conjunto com dados fluviométricos do rio Negro, indicando a presença de mais de 400 lagos conectados aos canais do arquipélago.

Iniciativas de mapeamento de lagos em escala global surgiram nos últimos anos, com destaque para a base de dados HydroLAKES (MESSAGER et al., 2016), porém com limitações para identificar lagos com superfície inferior a 0,1 km² (10 hectares). Apesar do avanço na disponibilidade de dados de sensoriamento remoto, poucos estudos foram desenvolvidos em lagos da planície do rio Negro, situação que contribui para o baixo conhecimento da dinâmica de ajuste da sua bacia de inundação ao grande fluxo de água deste rio, bem como seu comportamento em eventos climáticos extremos.

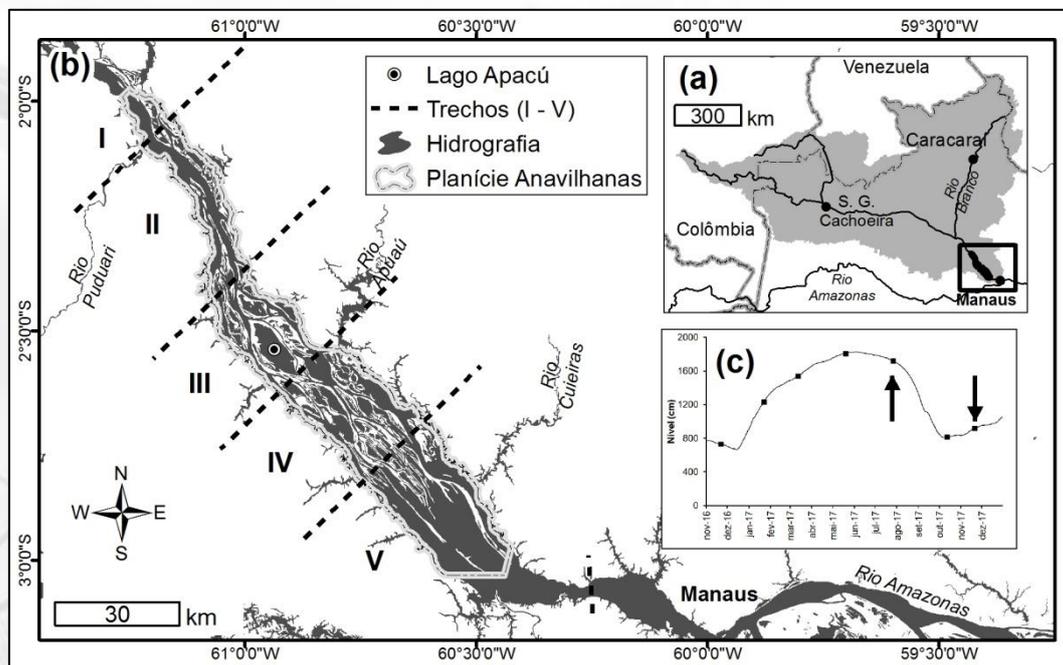
Lagos extensos e conectados à dinâmica de inundação dos rios amazônicos, como observado no Arquipélago de Anavilhanas, são formados principalmente pelo processo de acreção vertical do sedimento transportado (LATRUBESSE, 2012). Durante o período de enchente e cheia o sedimento suspenso transportado pelo rio é direcionado para o interior dos lagos da planície de inundação (PARK; LATRUBESSE, 2014). Assim, estes lagos desempenham um importante papel na dinâmica sedimentar da planície de inundação, pois podem atuar como sumidouro temporário ou permanente do material transportado pelos rios.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a morfodinâmica do sistema lacustre no Arquipélago de Anavilhanas através da análise multitemporal de imagens de satélites em conjunto com dados batimétricos, da granulometria e concentração de sedimento suspenso. Assim, por meio de uma base de dados derivados de sensoriamento remoto e medições de campo, espera-se que este trabalho possa contribuir no entendimento da geomorfologia fluvial do baixo curso do rio Negro, uma área de grande importância socioambiental da Amazônia Central.

2 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado na planície fluvial do Arquipélago de Anavilhanas, no baixo curso do rio Negro, Estado do Amazonas (Figura 01). Anavilhanas é um complexo sistema de drenagem com aproximadamente 400 ilhas e de floresta alagada (igapó) durante quatro a seis meses (MONTERO; LATRUBESSE, 2013). As ilhas de Anavilhanas são elevadas e estreitas, compostas por depósitos de sedimentos finos e com a presença de lagos seu interior (ALVES, 2013; LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005).

Figura 01 – Localização da área de estudo: (a) Bacia do rio Negro. (b) Arquipélago de Anavilhanas. (c) Nível médio do rio Negro em Anavilhanas com data das medições de campo (pontos) e das imagens Sentinel-1 (setas).



Fonte: IBGE (2005); MMA (2010). Elaborado pelo autor (2020).

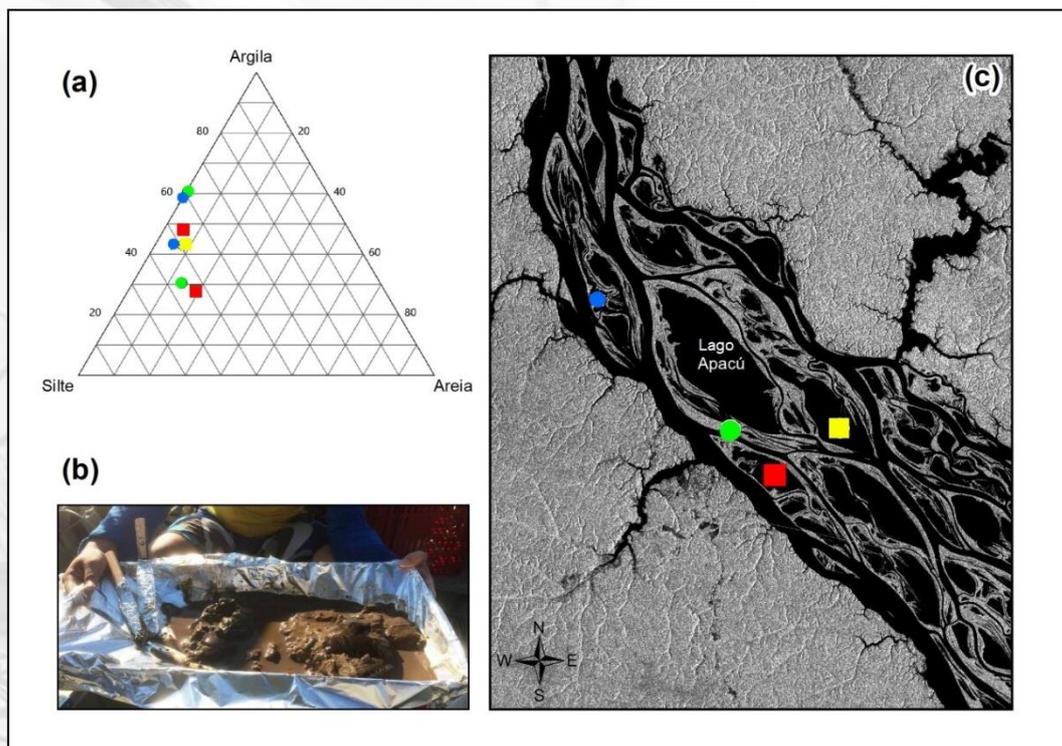
O rio Negro possui uma vazão média anual superior a $28.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, concentração de sedimentos suspensos inferior a 10 mg L^{-1} e concentração de carbono orgânico dissolvido superior a 8 mg L^{-1} (MOREIRA-TURCQ et al., 2003; MARINHO et al., 2019). O clima da bacia é caracterizado pela intensa precipitação, com média anual de 2.500 mm por ano e temperatura média de $26 \text{ }^\circ\text{C}$ (CANDIDO; SOUZA, 2016).

A variação média anual do nível no rio Negro apresenta amplitude de 10 metros, com regime monomodal de máximo em junho e mínimo em outubro (Figura 1c). Em Anavilhanas o nível d'água é fortemente influenciado pelo remanso hidráulico do rio Amazonas sobre o rio Negro (MEADE et al., 1991). No período de cheia, o fluxo do rio Negro extravasa seus canais, distribuindo água, sedimentos e nutrientes para lagos e ilhas. Com a redução do volume de água durante a seca, a área alagada é reduzida e cerca de 54% dos lagos perdem conexão com os canais de Anavilhanas (SILVA et al., 2020). Esta dinâmica entre fase aquática e terrestre ocasiona diversos processos ecológicos na planície de inundação, relacionados à produção primária e reprodução da fauna e flora na zona de transição aquático-terrestre (JUNK et al., 2015; JUNK et al. 1989).

O mosaico lacustre de Anavilhanas é composto por lagos com profundidades inferiores a 20 metros e origem relacionada ao processo fluvial de acreção vertical de diques

marginais em ilhas (LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005), com seu leito constituído principalmente por sedimentos com granulometria fina e lamosa (Figura 02).

Figura 02 – (a) Granulometria de sedimentos de fundo em lagos de Anavilhanas. (b) Sedimento de fundo lamoso do lago Apacú. (c) Mapa de localização das amostras do gráfico granulométrico.



Fonte: ALVES (2013). Elaborado pelo autor (2020).

Os lagos de Anavilhanas são considerados um refúgio para a comunidade de fitoplâncton, zooplâncton e de peixes (JUNK et al., 2015), bem como para mamíferos aquáticos, répteis e quelônios (BRASIL, 2017). Anavilhanas é uma área protegida de reconhecimento nacional e internacional (Parque Nacional, Reserva da Biosfera e Sítio da convenção Ramsar sobre zonas úmidas).

O principal tributário do rio Negro em volume de água e de sedimento é o rio Branco, principal sistema hidrográfico do estado de Roraima e que fornece mais de 40% dos sólidos suspensos nesta bacia (FILIZOLA; GUYOT, 2009), fator que contribui na diversidade de espécies de fauna e flora na região da margem esquerda de Anavilhanas (SCABIN et al., 2012; JUNK et al., 2015).

As maiores ameaças à conservação do Arquipélago de Anavilhanas são relacionadas à extração ilegal de madeira (SCABIN et al., 2012) e a possível construção da

usina hidrelétrica (UHE) de Bem Querer, prevista para o rio Branco (EPE, 2018), uma vez que a redução do aporte de sedimentos e regulação do regime hidrológico por UHE impacta populações humanas e ecossistemas alagados localizados a centenas de quilômetros a jusante (ASSAHIRA et al., 2017; LATRUBESSE et al., 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização morfodinâmica foi realizada com base em imagens de sensoriamento remoto e medições de campo realizadas entre 2016 e 2019. Os dados morfométricos foram analisados em cinco trechos situados nas porções proximal, intermediária e distal do arquipélago (Figura 1b). As amostras de água superficial foram coletadas entre os anos de 2016 e 2019 para determinar a variação temporal da concentração de sedimentos suspensos (CSS) no lago Apacú (Figura 2), o maior lago de Anavilhanas.

Para determinar a CSS foram utilizados filtros de membrana de celulose com porosidade 0,45 µm e 47 mm de diâmetro, previamente pesados em balança de precisão. Após a filtragem secou-se os filtros em estufa a 105 °C por duas horas, posteriormente, foram esfriados em dessecador e pesados novamente. A CSS, em mg L⁻¹, foi determinada a partir da diferença dos pesos dos filtros, dividida pelo volume de água da amostra, conforme protocolo HYBAM (2019).

A granulometria das partículas suspensas foi determinada com o uso do granulômetro laser Malvern Mastersizer 2000 do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM-Manaus). Medições da vazão, velocidade média, profundidade e direção do fluxo foram executadas durante a cheia e seca do rio Negro em 2017 com um Perfilador Acústico de Corrente por Efeito Doppler (ADCP, marca Teledyne, modelo Rio Grande), operando na frequência de 600 kHz acoplado a um receptor DGPS.

As imagens de satélites do Quadro 1 foram utilizadas para o mapeamento do ambiente fluvial e extrair dados morfométricos dos lagos, sendo estas, duas imagens SAR do satélite Sentinel-1A (S1A), na polarização VV, adquiridas durante a cheia e seca de 2017. As imagens dos satélites Landsat-5 e Landsat-8 foram aplicadas na caracterização do ambiente lacustre durante a seca extrema de 2010 e no mapeamento da propagação do sedimento suspenso na cheia de 2017.

As imagens do satélite Sentinel-1A e são distribuídas gratuitamente pelo Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu>). Já as imagens dos satélites

Landsat-5 e Landsat-8 foram adquiridas do United States Geological Survey (<https://glovis.usgs.gov>).

Quadro 01 – Características do conjunto de imagens de satélite analisadas.

Satélite	Sensor / Banda analisada	Data de aquisição	Órbita	Angulo de incidência	Resolução espacial
Sentinel-1A	SAR banda C (Polarização VV)	27/07/2017 24/11/2017	Descendente	29° - 46°	20 m
Landsat-5	TM - 4	31/10/2010	Sol-síncrono	Nadir	30 m
Landsat-8	OLI - 4, 5 e 6	30/07/2017			

Fonte: USGS (2017) e ESA (2018).

Para mapear as unidades fluviais de Anavilhanas (canais, ilhas, lagos, barras e praias) e obter dados quantitativos do ambiente fluvial durante a cheia e seca de 2017 foram utilizadas imagens SAR do satélite S1A. O pré-processamento das imagens S1A, adquiridas com nível de processamento GRD e modo imageamento IW, consistiu de correções radiométricas (redução do ruído speckle, conversão para coeficientes de retroespalhamento) e correções geométricas (ortoretificação) no software Sentinel Application Platform (SNAP Desktop v. 6.0).

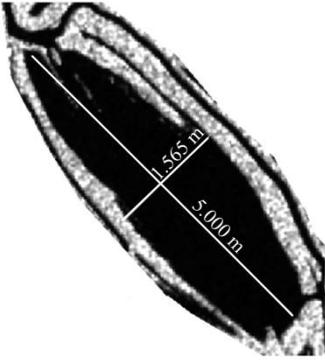
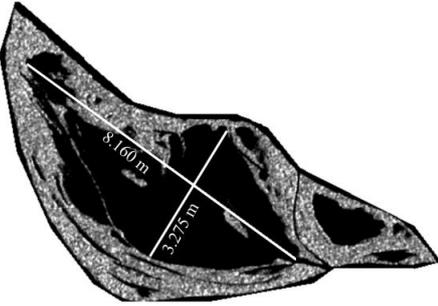
O mapeamento das unidades fluviais de Anavilhanas nas imagens S1A e Landsat-5 foi realizado segundo a proposta metodológica de Marinho et al. (2012), que consiste no uso do classificador não supervisionado ISODATA e atribuição das classes mapeadas (canais, ilhas e lagos) em etapa posterior em sistema de informações geográficas (SIG).

A acurácia do mapeamento das unidades fluviais foi realizada por meio de comparação das classificações das imagens S1A e Landsat-5 com um conjunto pontos de referência, distribuídos aleatoriamente em cada imagem. Para isso foi elaborada uma matriz de erro para análise da concordância dos resultados das classificações em relação aos dados de referência. Através da matriz de erro foi calculada a distribuição percentual dos pixels corretamente e erroneamente classificados e suas estatísticas derivadas: exatidão global, exatidão do produtor e o índice Kappa (MOREIRA, 2011).

Muitas vezes a identificação dos limites de um lago é preciso, porém este mapeamento pode ser complexo em virtude das interconexões que os lagos e canais possuem na planície de inundação, bem como em virtude da forma e o tamanho da conexão. Neste estudo o critério utilizado para definir um lago seguiu a proposta de Sippel et al. (1992) que consiste em individualizar um lago quando a largura da conexão com o canal for menor que metade do comprimento máximo do corpo de água avaliado.

Por meio destes procedimentos foi possível definir em SIG parâmetros morfométricos do sistema lacustre de Anavilhanas como área, perímetro, comprimento e largura dos lagos. Os lagos foram classificados em relação à forma das margens como alongados ou irregulares, seguindo os critérios apresentados no quadro 02.

Quadro 02 – Formas dos lagos no interior do Arquipélago de Anavilhanas.

Tipo de lago	Descrição	Exemplo
Alongado	Margens regulares e forma geométrica semicircular semelhante a uma elipse.	
Irregular	Margens irregulares, forma geométrica não definida.	

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

O índice de forma, também conhecido como desenvolvimento do perímetro (DL), corresponde à relação do perímetro com uma circunferência de mesma área, e foi obtido por meio da equação:

$$DL = P / 2 (\pi A)^{0,5}$$

no qual P é o perímetro do lago, π é a constante pi, e A é sua área. O índice DL é um indicador da atividade biológica na região litorânea do lago, pois quanto maior o perímetro, maior será a luminosidade e presença vegetal (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017). A variabilidade da superfície d'água foi avaliada por meio do índice de expansão lateral (AFFONSO, 2012), obtido através da razão entre área no período de cheia e do período de seca. Valores próximos de 1 indicam lagos com baixa expansão lateral e com

maior o tempo de residência da água no sistema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Acurácia do mapeamento

A acurácia do mapeamento das unidades fluviais de Anavilhanas é apresentada na Tabela 01 a seguir. Obtiveram-se valores de acurácia global superiores a 90% nos mapas produzidos. O índice Kappa variou entre 0,80 a 0,97 sendo maior para a imagem Sentinel-1 do período de cheia do rio Negro. A menor exatidão do produtor, que é relacionado aos erros de omissão, foi observada na imagem Landsat-5 no mapeamento da classe água nos lagos e canais de Anavilhanas. Na classe não água (ilhas e barras) a imagem Sentinel-1 de novembro de 2017 teve menor desempenho.

Como esperado, as imagens de sensores SAR apresentaram melhores desempenhos para mapear corpos d'água em relação à imagem óptica do satélite Landsat-5. Interessante destacar que o desempenho da classificação da imagem Sentinel-1 durante o período de seca foi ligeiramente menor em relação à classificação da imagem do período de cheia.

Tabela 01 – Acurácia global, índice Kappa e exatidão do produtor das imagens classificadas.

Imagem	Acurácia Global	Índice Kappa	Exatidão do produtor	
			Lagos	Ilhas e barras
Sentinel-1Jul/17	98%	0,97	100%	96%
Sentinel-1Nov/17	92%	0,83	93%	90%
Landsat-5 Out/2010	92%	0,80	84%	95%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

De forma geral, o bom desempenho obtido durante a classificação das imagens nos mapeamentos realizados é relacionado ao baixo número de classes utilizadas neste estudo, assim como em virtude da ausência de terrenos montanhosos na região que ocasionam sombra de relevo, principal causa de erros de mapeamento de corpos d'água em imagens SAR devido à ausência de retorno do sinal emitido pelo radar (MARINHO, et. al, 2012). Outros aspectos positivos relacionados ao uso de imagens SAR no mapeamento

de corpos d'água é a possibilidade de realizar aquisições independentes de condições atmosféricas e de iluminação solar (PARADELLA et al., 2005).

4.2 Morfodinâmica do sistema lacustre de Anavilhanas

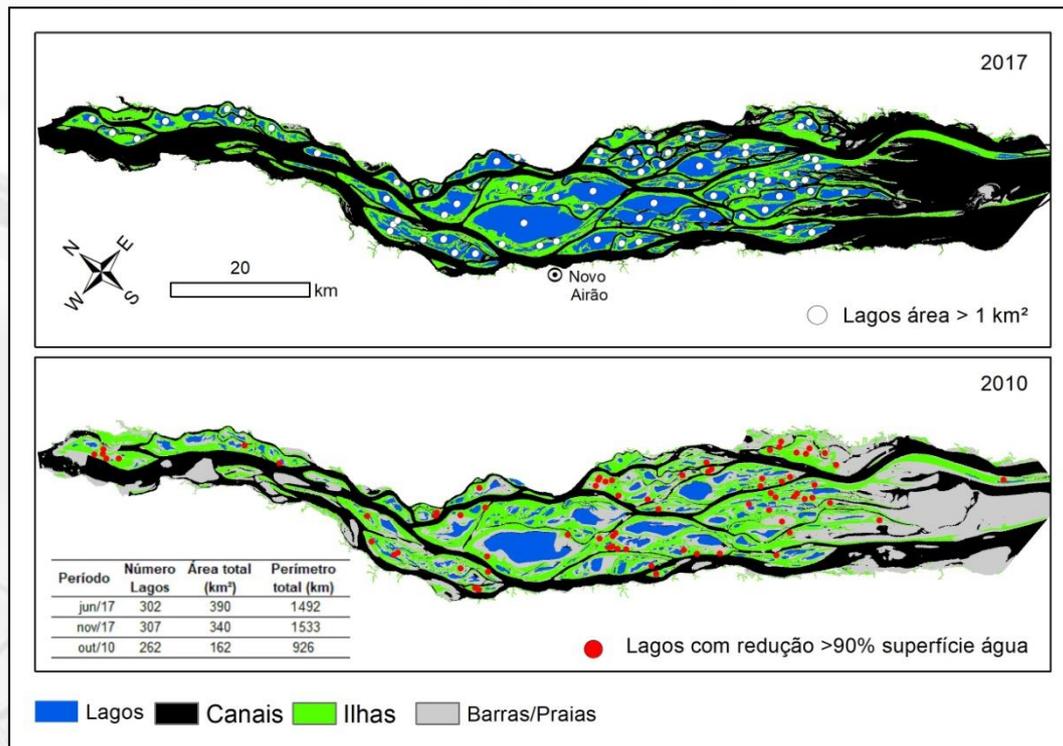
O complexo lacustre estudado apresenta forte relação com o regime fluvial do rio Negro, atuando como um reservatório de água e do material transportado em suspensão. No período de aquisição das imagens Sentinel-1 o nível do rio Negro em Anavilhanas apresentou amplitude de 08 metros, enquanto que a vazão variou de $48.248 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a $18.253 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Já a superfície de água nos lagos mostrou uma diferença de 15% entre os períodos de cheia (julho) e seca (novembro), valores dentro do esperado para um ano hidrológicamente normal.

Na cheia de 2017 a planície de Anavilhanas possuía 20% de sua área ocupada por 302 lagos, sendo 25% destes com área superior a 1 km^2 (Figura 3a). Em novembro de 2017 o ambiente lacustre ocupava 16% da planície de Anavilhanas, dos quais 22% possuíam área superior a 1 km^2 . A quantidade de lagos identificados neste estudo foi 61% superior aos dados disponíveis na base de dados HydroLAKES (MESSAGER et al., 2016) e 31% inferior ao valor estimado por Silva et al. (2020), diferenças que são relacionadas à escala e critérios distintos utilizados para mapear um lago individual dos conectados. Estas diferentes estimativas do número de lagos em Anavilhanas, feito em estudos distintos, mostra o desafio de obter uma clara separação entre lagos e canais em sistemas fluviais complexos como o baixo rio Negro.

A superfície d'água nos lagos em 2017 ocupou uma área que variou de 390 a 340 km^2 durante a cheia e seca, respectivamente (Figura 3a). Na seca de 2010 esta superfície ficou reduzida a 162 km^2 (Figura 3b). Este evento climático extremo foi ocasionado pela combinação de um ano El Niño em conjunto com o aquecimento anômalo do Atlântico tropical norte (MARENGO; ESPINOZA, 2016), afetando diversas áreas na bacia Amazônica.

Em Anavilhanas foi observado na imagem de 2010 que a área ocupada pelos lagos ficou reduzida a menos de 10% do arquipélago, com mais de 70 lagos apresentando redução superior a 90% (Figura 3b). Imagens dos satélites Alos e Landsat-5 foram analisadas por Almeida-Filho et al., (2016) nos eventos extremos de 2009 (cheia) e 2010 (seca) sobre Anavilhanas no qual identificaram uma variação de 50% da área inundada, cinco vezes maior ao observado em 2017, ano hidrológicamente normal.

Figura 03 – Unidades fluviais de Anavilhanas mapeadas em 2017 e 2010.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

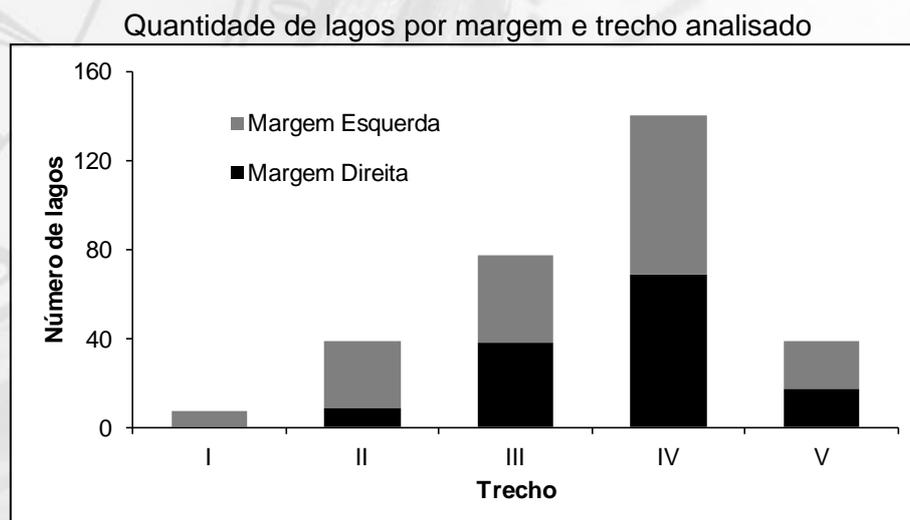
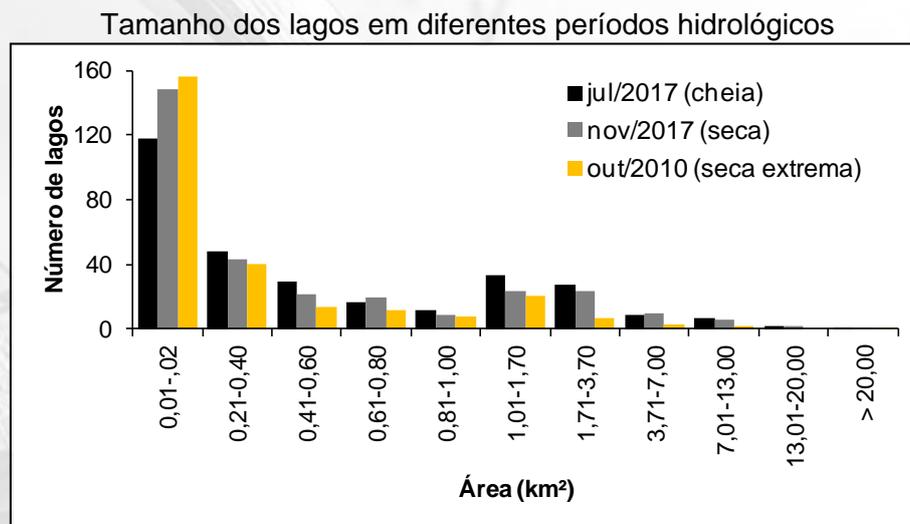
Em 2017 o índice de expansão lateral (IEL) das margens dos lagos indicou baixa variabilidade espacial, onde 75% dos lagos apresentou IEL inferior a 1,70. Os lagos com maior expansão lateral possui tamanho médio de 0,14 km² e estão concentrados próximo da margem esquerda do arquipélago. Em Anavilhanas os lagos apresentam margens com inclinação mais acentuada para o canal e suave em seu interior (LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005; JUNK et al., 2015). Segundo Nanson (2013) a baixa variação lateral da superfície d'água é comum em sistemas fluviais multicanaís, como observado no rio Negro em Anavilhanas.

A densidade de lagos em Anavilhanas é da ordem de 0,15 lagos por km², maior que os valores apresentados por Sippel et al., (1992) na planície do rio Amazonas (0,07 por km²) e menor que os sistemas fluviais dos rios Araguaia e Paraná, respectivamente com 0,30 e 0,25 lagos por km² (MORAIS et al., 2005; PAIRA; DRAGO, 2006). As diferenças observadas entre a densidade de lagos deste estudo em comparação com outros trabalhos podem ser relacionadas à escala de análise e especificidades locais do ambiente fluvial.

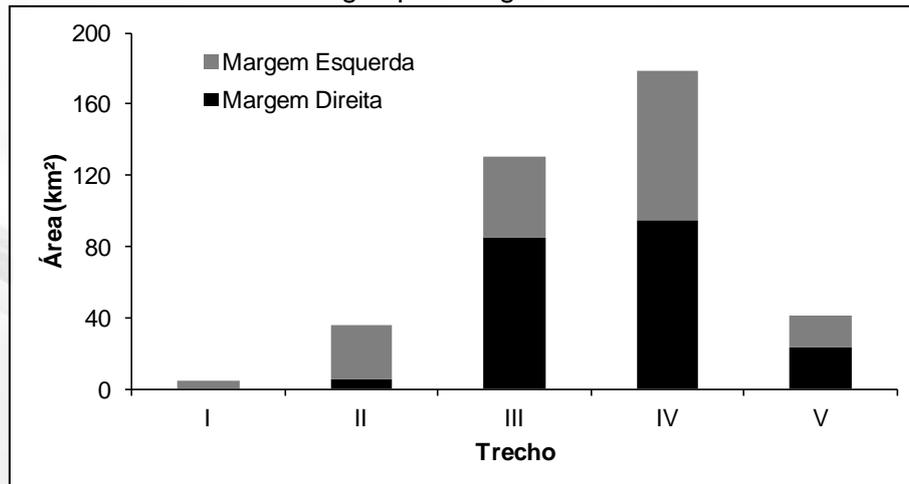
A distribuição espaço-temporal da quantidade de lagos e o tamanho de sua área, nas regiões proximal, intermediária e distal de Anavilhanas são apresentados na Figura 4. O tamanho mediano dos lagos foi de 0,34 km², variando de 0,01 a 59 km², com predomínio

de lagos menor que 0,21 km² (Figura 4). Cerca de 15% dos lagos mapeados possuem área superior a 2 km² e ocupavam mais de 70% da superfície d'água em julho de 2017. Estes grandes lagos são importantes devido sua maior capacidade de receber sedimento suspenso e nutrientes associados (MORAIS et al., 2005), que são indicadores de maior atividade da fauna aquática.

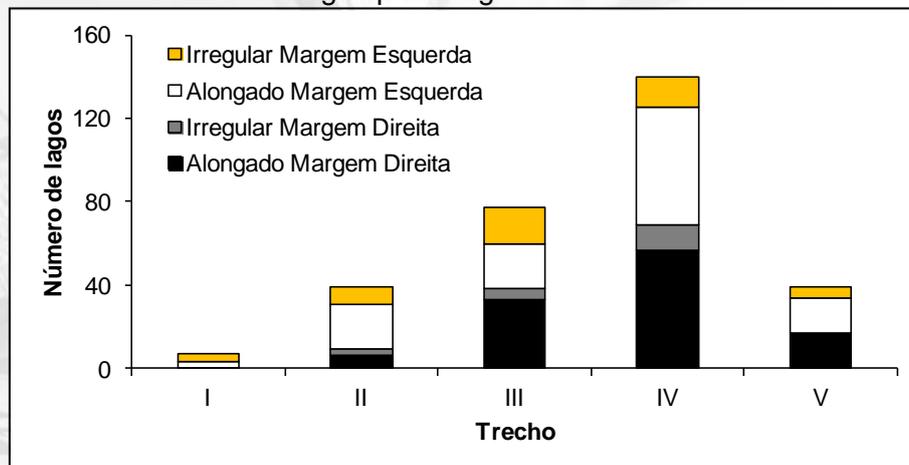
Figura 04 – Distribuição espaço-temporal dos dados morfométricos no sistema lacustre de Anavilhanas.



Área total dos lagos por margem e trecho analisado



Forma dos lagos por margem e trecho analisado



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A montante de Anavilhanas (trechos I e II na Figura 01) os lagos estão mais concentrados próximo da margem esquerda do rio Negro, enquanto que na região intermediária (trechos III e IV) e distal (trecho V) observar-se distribuição homogênea dos lagos entre as margens. A área dos lagos é maior na margem direita nos trechos III e IV. Destaca-se que 70% dos lagos analisados apresentam formas alongadas, e os lagos com formas irregulares estão concentrados próximo da margem esquerda (trechos III e IV na Figura 4). Segundo Barbosa (2015) lagos irregulares em Anavilhanas representam deltas oriundos da deposição dos sedimentos finos nas áreas de conexão com os canais.

O índice de forma (DL), resultado da relação área/perímetro dos lagos, é um importante índice morfométrico para avaliar a regularidade de suas margens. Quanto mais próximo de 1 mais regular, alongada e bem definida será a margem do lago avaliado. Por outro lado, um elevado valor de DL sugere que a área é irregular e pequena comparada ao seu perímetro (MORAIS et al., 2005), indicando maior complexidade na morfologia das

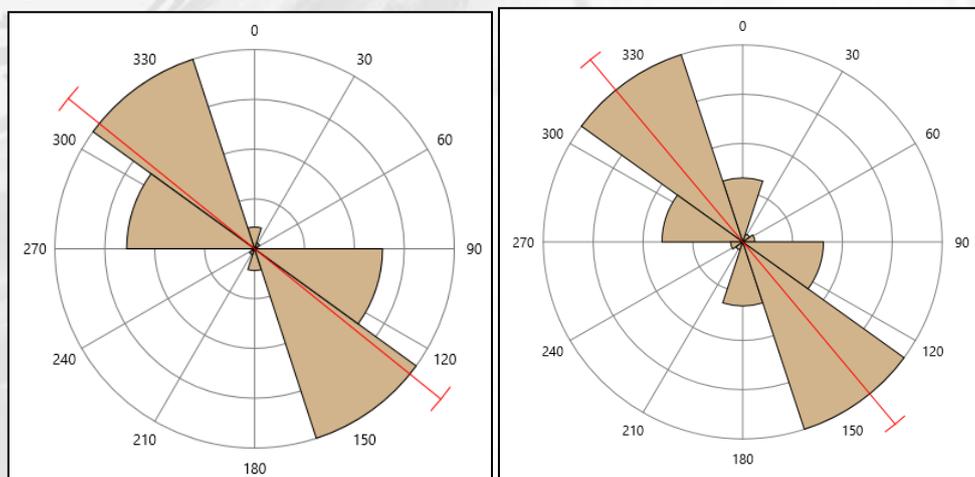
margens (MESSAGER et al., 2016). Em Anavilhanas o índice DL variou de 1,05 a 3,69 na cheia de 2017, com predomínio de DL menores de 1,70. Na seca de 2017 a média do índice DL foi 1,84 e os valores mínimos e máximos foram 1,07 e 3,68, respectivamente. Entre a cheia e seca de 2017 foi possível observar que a redução de 15% da superfície dos lagos tende a aumentar o perímetro dos lagos, ocasionando maior índice de forma.

Os maiores e menores valores do índice DL estão localizados em setores opostos de Anavilhanas, respectivamente nos trechos V e I. Em comparação com outros sistemas lacustres brasileiros, os lagos de Anavilhanas apresentaram índice de forma inferior que os lagos da planície do rio Japurá, com índice DL médio em torno de 3 (AFFONSO, 2012), e da planície do rio Araguaia que são maiores que 4 (MORAIS et al., 2005). A forma predominante dos lagos de Anavilhanas (alongados, estreitos e com margens bem definidas) contribui para a presença baixos valores do índice DL, padrão diferente em relação ao observado nos sistemas lacustres dos rios Japurá e Araguaia.

Em média os lagos de Anavilhanas apresentam comprimento e largura máxima (Cmax e Lmax) de 2 km e 0,54 km, respectivamente. Destaca-se a dimensão do lago Apacú com 16 km de comprimento e 5 km de largura. Lagos classificados como alongados apresentaram baixa razão entre Cmax e Lmax (≈ 3), enquanto que nos lagos irregulares a razão Cmax/Lmax foi em média 5.

A orientação da direção do fluxo d'água em relação ao Norte, medido com ADCP em diferentes seções do rio Negro e canais de Anavilhanas (MARINHO et al., 2019), apresentou valor médio de 131° , variando de 96° a 181° (Figura 5a). Já os azimutes do comprimento máximo (Cmax) dos lagos apresentam orientação média de 140° (Figura 5b).

Figura 05 – Direção média do fluxo dos canais do rio Negro (a). Orientação do Cmax dos lagos de Anavilhanas (b). Linha vermelha corresponde ao valor médio.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Dados que indicam forte relação da morfogênese dos lagos de Anavilhanas com o estilo geomorfológico do rio Negro, uma vez que seu vale possui orientação preferencial na direção NW-SE em função do controle tectônico que confina seu canal em alguns trechos e em outros gera áreas extremamente largas (FRANZINELLI; IGREJA, 2002).

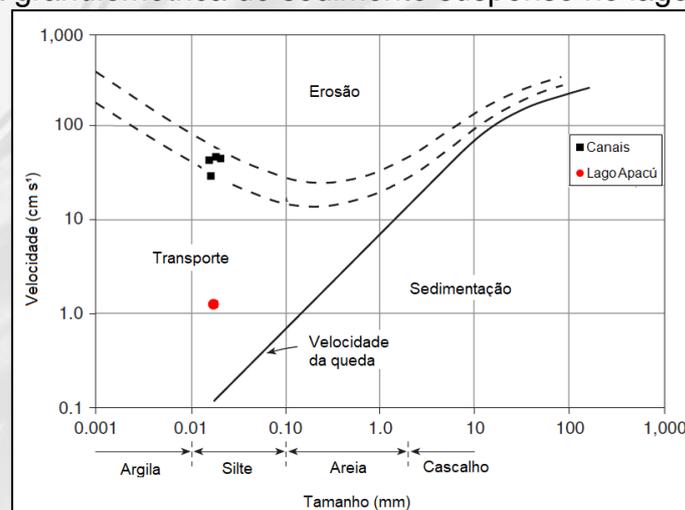
A orientação e forma alongada dos lagos em Anavilhanas tem sua origem fortemente relacionada ao controle tectônico do rio Negro e a direção do seu fluxo. Assim, o desenvolvimento do padrão multicanal do rio Negro é relacionado aos ajustes deste rio à baixa declividade, ao barramento do rio Amazonas (LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005), bem como ao sistema de ilhas e lagos no vale fluvial, uma vez que a quantidade de lagos possui forte relação com a largura média do vale fluvial de Anavilhanas.

4.3 Características físicas do lago Apacú

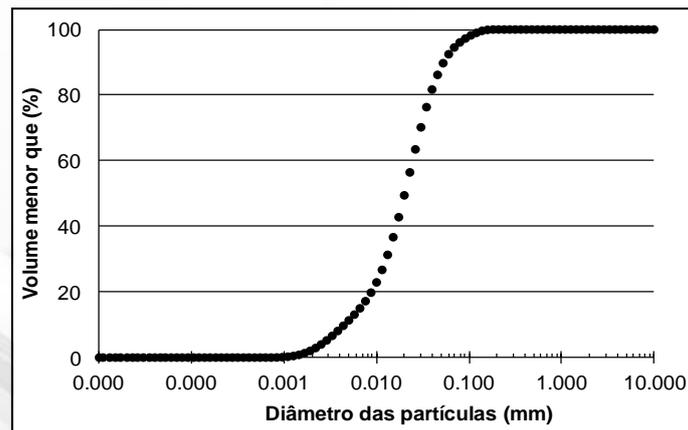
Com uma área de 58,93 km² o lago Apacú é o maior lago do arquipélago de Anavilhanas e devido suas dimensões possui uma grande importância local para a hidrologia e ecologia de Anavilhanas. Assim, são apresentados a seguir dados sobre a dinâmica hidrossedimentar deste grande lago ao longo do ano hidrológico de 2017.

Os dados obtidos no lago Apacú indicam que durante a cheia a velocidade do fluxo de água é muito baixa (0,01 m s⁻¹), típico de um sistema lântico no qual predomina a deposição do material suspenso oriundo dos rios Negro e Branco (Figura 6a e Figura 7b).

Figura 06 – Velocidade do fluxo versus tamanho mediano (D50) do sedimento suspenso (a). Curva granulométrica do sedimento suspenso no lago Apacú (b).



(a)

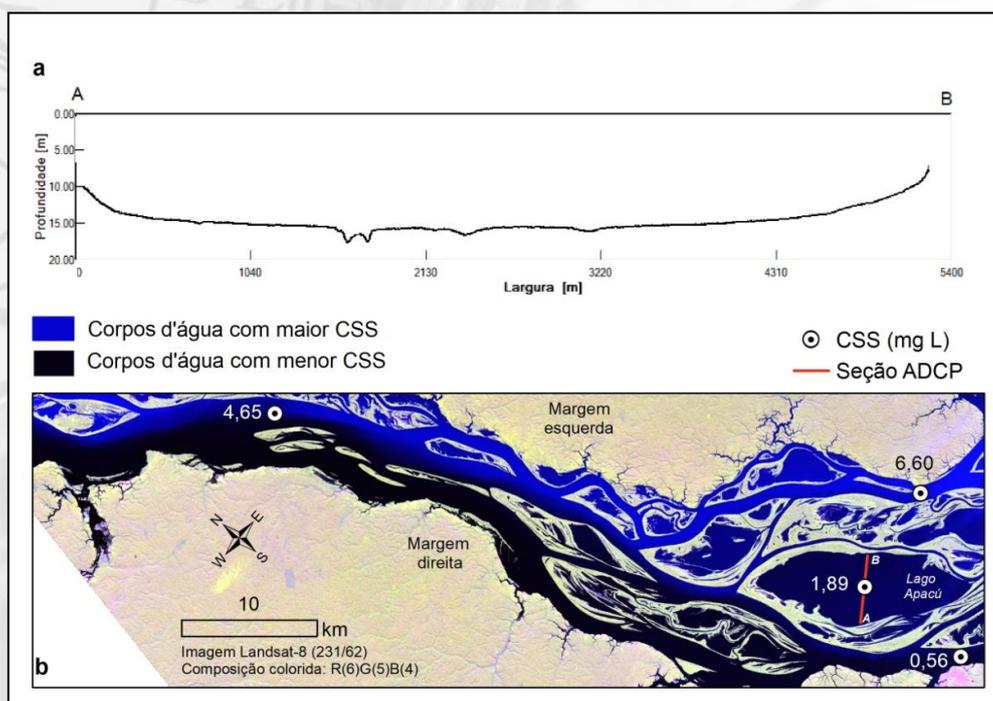


(b)

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A curva granulométrica indica a presença de sedimentos finos, com 90% do volume amostrado menor que 0,052 mm e diâmetro mediano (D50) de 0,020 mm, valores próximos do observado nos canais (Figura 6b). A batimetria da seção transversal do lago Apacú, obtida com ADCP durante a cheia de 2017, é apresentada na Figura 7a, na qual se verifica a regularidade do leito com profundidade média de 15 metros, cerca de 10 metros acima de suas margens.

Figura 07 – Batimetria da seção transversal do lago Apacú em julho de 2017 (a). Imagem Landsat-8 e dados de CSS observados no período de passagem do satélite (b).



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As características físicas e químicas da água nos lagos de Anavilhanas refletem a maior influência do rio Negro, em que predomina grande quantidade de carbono orgânico dissolvido oriundo de substâncias húmicas e da presença de solos podzólicos na bacia, além da baixa carga de sedimentos suspensos (MOREIRA-TURCQ et al., 2003). A Tabela 2 apresenta a variação temporal da CSS observado entre 2016 e 2019 no lago Apacú.

Tabela 02 – Concentração de sedimento suspenso (CSS) no lago Apacú e o nível do rio Negro em Anavilhanas.

Data	Nov. 2016	Jan. 2017	Mar. 2017	Mai. 2017	Jul. 2017	Out. 2017	Nov. 2017
CSS (mg L ⁻¹)	7,44	3,55	0,29	2,39	1,89	4,00	8,48
Nível (cm)	731	1252	1541	1810	1723	813	924
Data	Nov. 2018	Mai. 2019	Jul. 2019	Set. 2019	Nov. 2019	Dez. 2019	
CSS (mg L ⁻¹)	10,35	1,11	1,12	3,34	7,83	5,12	
Nível (cm)	813	1830	1873	1317	725	849	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

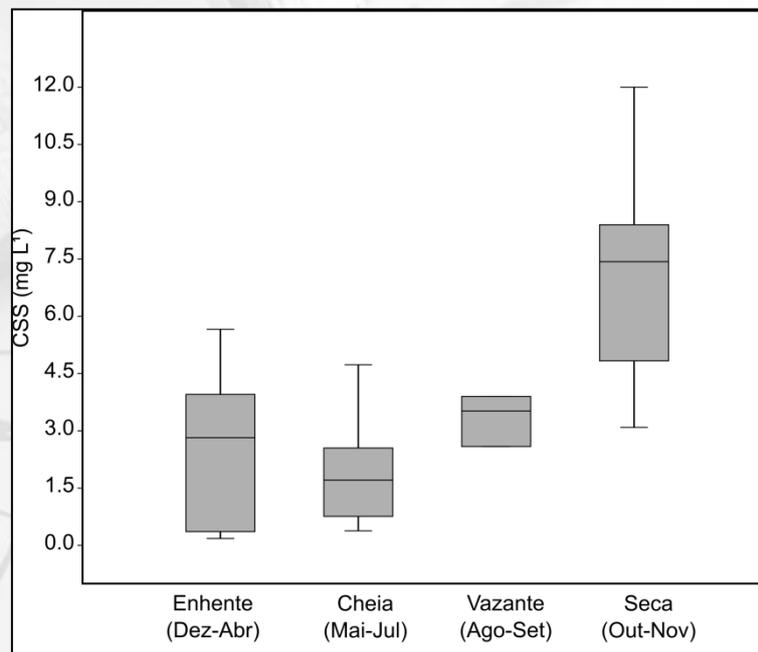
A concentração média do sedimento suspenso no lago Apacú entre 2016 e 2019 foi de 4,15 mg L⁻¹, com valores variando de 0,29 mg L⁻¹ na enchente (março de 2017) a 10,35 mg L⁻¹ na seca (novembro de 2018). A principal fonte de sedimento suspenso para o baixo curso do rio Negro é o rio Branco, que possui sua foz localizada 100 km a montante de Anavilhanas. Ao comparar os dados de CSS do lago Apacú em Anavilhanas com a CSS do rio Branco (média 14,64 mg L⁻¹) destaca-se a grande diferença entre estes importantes sistemas da bacia do rio Negro, principalmente em virtude da fonte dos sedimentos transportados por ambos rios. Enquanto o rio Negro escoia sobre terrenos antigos e com densa floresta, o rio Branco drena grandes áreas de savana do estado de Roraima (MOREIRA-TURCQ et al., 2003; JUNK et al., 2015).

Próximo de Anavilhanas há pequenos tributários do rio Negro com foz para o interior do arquipélago. Porém observações de campo e estimativas de imagens de satélites com sensores ópticos (MARINHO, 2019) indicam pouca contribuição destes tributários no transporte de sedimento suspenso para os lagos de Anavilhanas. Portanto, os lagos de Anavilhanas localizados próximos da margem esquerda, que estão sob influência das águas do rio Branco, apresentam uma dinâmica sedimentar diferente em relação aos lagos da margem direita (Figura 7b). Como destacado anteriormente, esta configuração espacial

ocasiona diferenças locais na fauna e floral de Anavilhanas (SCABIN et al., 2012; JUNK et al., 2015).

O regime anual do nível do rio Negro em Anavilhanas apresenta seu pico em junho e vale em outubro. Entre a enchente (março) até o final da cheia (julho) o fluxo de água do rio Negro extravasa os canais, inunda toda a planície fluvial e intensifica a circulação de água nos lagos, fato que contribui para redução da CSS no lago Apacú, pois com o maior volume de água disponível ocorre a diluição do sedimento suspenso. Na vazante e seca observa-se um aumento da CSS em virtude da redução da água disponível (Figura 8).

Figura 08 – Variação da concentração do sedimento suspenso (CSS) no lago Apacú em função do período hidrológico do rio Negro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Apesar das características ambientais extremas da água, com pH médio de 4,95 e poucos nutrientes disponíveis, os lagos de Anavilhanas possuem uma rica diversidade de peixes adaptados a este tipo de ambiente (SAINT-PAUL et al., 2000; CHAO, 2001; NOVERAS et al., 2012), com mais de 368 espécies encontradas (BRASIL, 2017), além de servir de refúgio para mamíferos aquáticos (como peixe-boi, ariranha e boto), jacarés e quelônios. Desta forma, conhecer suas características físicas é uma importante atividade para a conservação deste ecossistema e gestão das atividades relacionadas ao ecoturismo desenvolvido no Arquipélago de Anavilhanas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou, por meio de imagens de satélites e dados coletados em campo, a variabilidade espacial e temporal do sistema lacustre de Anavilhanas. A caracterização morfométrica indicou predomínio de lagos alongados, estreitos com margens bem definidas e de tamanho inferior a 0,50 km². A variabilidade temporal da superfície de água nos lagos é comandada principalmente pelo regime fluvial do rio Negro e a análise realizada para o ano de 2017, ano considerado hidrológicamente normal, mostrou variação de 15% da área dos lagos entre a cheia e seca.

Os dados apresentados indicam que a morfogênese e morfologia dos lagos são intimamente relacionadas ao estilo geomorfológico do rio Negro. Apesar das limitações relacionadas à escala temporal da análise, as imagens de satélites e metodologia empregada neste estudo foram adequadas para mapear com precisão a distribuição espacial de lagos.

A concentração média do sedimento suspenso no maior lago de Anavilhanas (lago Apacú) foi de 4,15 mg L⁻¹, sendo maior no período de águas baixas e menor no período de cheia. A imagem de satélite analisada neste estudo indica que o rio Branco, o principal tributário da bacia com sua foz localizada 100 km a montante de Anavilhanas, possui influência na dinâmica hidrossedimentar atual nos lagos próximos da margem esquerda do arquipélago.

O ambiente lacustre de Anavilhanas desempenha um importante papel de reter água e sedimento suspenso transportado pelo rio Negro, especialmente durante o período de cheia. No entanto, foi observada a vulnerabilidade deste ambiente à secas extremas, que podem comprometer a manutenção do ecossistema de Anavilhanas e com isso afetar a biota e a população do entorno que depende de sua conservação para realizar atividades de turismo de base sustentável.

REFERÊNCIAS

ABRIL, G.; MARTINEZ, J.-M.; ARTIGAS, L. F.; MOREIRA-TURCQ, P.; et al. Amazon River carbon dioxide outgassing fuelled by wetlands. *Nature*, v. 505, p. 395-398, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/nature12797>>. Acesso em: 22 mai. 2019.

AFFONSO, A. G. **Relação entre parâmetros ambientais e a densidade de pirarucu nos lagos de várzea de Mamirauá**: uma análise multi-sensor. Tese (Doutorado em

Sensoriamento Remoto). Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE. 2012.

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**, v. 68, p. 957-964, 2016.

ALVES, N. de S. **Mapeamento hidromorfodinâmico do Complexo Fluvial de Anavilhanas**: contribuição aos estudos de Geomorfologia Fluvial de rios Amazônicos. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Geografia Física. São Paulo: USP. 2013.

ASSAHIRA, C.; PIEDADE, M. T. F.; TRUMBORE, S. E.; WITTMANN, F.; et al. Tree mortality of a flood-adapted species in response of hydrographic changes caused by an Amazonian river dam. **Forest Ecology and Management**, v. 396, p. 113 - 123, 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112716309227>>. Acesso em: 30 mai. 2019.

BARBOSA, R. O. **Estudos sedimentológicos e estratigráficos dos depósitos sedimentares quaternários do arquipélago de Anavilhanas, município de Novo Airão (Amazônia Central)**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.

BRASIL. ICMBio. **Plano de Manejo do Parque Nacional de Anavilhanas** - versão resumida. Novo Airão, 2017.

CANDIDO, L. A.; SOUZA, J. M. Prováveis alterações na temperatura e precipitação na bacia do rio Negro nos cenários de mudanças climáticas. In: FERREIRA, S. J. F.; SILVA, M. L. DA; PASCOALOTO, D. (Eds.) **Amazônia das Águas**: Qualidade, Ecologia e Educação Ambiental. Manaus: Valer/FAPEAM/INPA, 2016.

CHAO, N. **Fisheries, diversity and conservation of ornamental fish of the Rio Negro River, Brazil** - a review of Project Piaba (1989-99). S.L: S.E, 2001.

CORDEIRO, R. C.; MOREIRA-TURCQ, P. F.; TURCQ, B. J.; et al. Acumulação de carbono em lagos amazônicos como indicador de eventos paleoclimáticos e antrópicos. **Oecologia Australis**, v. 12, p. 130 - 154, 2008. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/5714>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Usina Hidrelétrica (UHE) Bem Querer**. 2018. Disponível em: <<http://www.uhebemquerer.com.br>>. Acesso em: 11 dez. 2018.

ESA - European Space Agency. **Copernicus Open Access Hub**. 2018. Disponível em: <<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>> Acesso em: 11 ago. 2018

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L. Suspended sediment yields in the Amazon basin: an assessment using the Brazilian national data set. **Hydrological Processes**, v. 23, p 3207 - 3215. 2009. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/hyp.7394>>. Acesso em: 22 mai. 2019.

FRANÇA, A. M. S.; FLORENZANO, T. G.; NOVO, E. M. L. M. Satellite Images Applied to Assess the Influence of Amazon River Seasonal Dynamic on the Floodplain Lake Morphology. **Open Journal of Ecology**, v. 4, p. 820 - 831. 2014. Disponível em: <<http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/oje.2014.413070>>. Acesso em: 01 ago. 2019.

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H. Modern sedimentation in the Lower Negro River, Amazonas State, Brazil. **Geomorphology**, v. 44, p. 259 - 271. 2002. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169555X01001787>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

HINDERER, M. From gullies to mountain belts: A review of sediment budgets at various scales. **Sedimentary Geology**, v. 280, p. 21 - 59. 2012. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0037073812000772>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

HYBAM. **Observatório Ambiental SO HYBAM**. Disponível em: <<http://www.ore-hybam.org>>. Acesso em: 11 dez. 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística . **Geociências**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>> Acesso em: 11 ago. 2005.

JUNK, W. J.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M. T. F. A classification of the major habitats of Amazonian black-water river floodplains and a comparison with their white-water counterparts. **Wetlands Ecology and Management**, v. 23, p. 677 - 693. 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11273-015-9412-8>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

JUNK, W.; BAYLEY, P.; SPARKS, R. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. **Can. Spec. Public Fish. Aquat. Sci.** v. 106, p. 110 - 127. 1989.

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**, v. 70, p. 372 - 397. 2005. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169555X05000826>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

LATRUBESSE, E. M. Amazon lakes. In: HELLSTRÖM, T.; FAIRBRIDGE, R.W.; BENGTTSSON, L.; WOHLFARTH, B.; HERSCHY, R.W.; HARGEBY, A.; et al. (Eds.), **Lakes and Reservoirs**. Berlin: Springer Verlag, 2012. Disponível em: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-1-4020-4410-6_36>. Acesso em: 23 mai. 2019.

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**. Dordrecht: Springer, 2015. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-8023-0_14>. Acesso em: 23 mai. 2019.

LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E. Y.; DUNNE, T.; PARK, E.; BAKER, V. R.; D'HORTA, F. M.; et al. Damming the rivers of the Amazon basin. **Nature**, v. 546, p. 363 - 369. 2017. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/nature22333>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 1033 - 1050. 2016. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/joc.4420>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

MARINHO, R. R.; PARADELLA, W. R.; RENNÓ, C. D.; OLIVEIRA, C. G. de. Aplicação de imagens SAR orbitais em desastres naturais: mapeamento das inundações de 2008 no Vale do Itajaí, SC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, p. 317 - 330. 2012.

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**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Clima e Ambiente. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. 2019.

MARINHO, R. R.; MOREIRA, W. P.; FILIZOLA, N. P.; OLIVEIRA, T. C. S. de. O projeto HIDROGEOS-NEGRO no arquipélago de Anavilhanas, Novo Airão (AM). **Revista Geonorte**, v. 10, p. 153 - 167. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.21170/geonorte.2019.V.10.N.34.153.167>>. Acesso em: 04 jul. 2019.

MEADE, R. H.; RAYOL, J. M.; DA CONCEIÇÃO, S. C.; NATIVIDADE, J.R.G. Backwater effects in the Amazon River basin of Brazil. **Environmental Geology and Water Sciences**, v. 18, p. 105 - 114. 1991. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF01704664>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

MELACK, J. M.; HESS, L. L. Remote Sensing of the Distribution and Extent of Wetlands in the Amazon Basin. In: JUNK, W. J. PIEDADE, M. WITTMANN, F. SCHÖNGART J., PAROLIN P. (Eds.) **Amazonian Floodplain Forests**. Dordrecht: Springer. 2010. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-90-481-8725-6_3>. Acesso em: 23 mai. 2019.

MESSAGER, M. L.; LEHNER, B.; GRILL, G.; NEDEVA, I.; SCHMITT, O. Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach. **Nature Communications**, v. 7, p. 13603. 2016. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/ncomms13603>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Download de dados geográficos**. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>> Acesso em: 21 abr. 2010.

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**, v. 46, p. 137 - 149. 2013. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0895981113000850>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

- MORAIS, R. P. DE; OLIVEIRA, L. G.; LATRUBESSE, E. M.; PINHEIRO, R.C.D. Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio rio Araguaia. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 27, p. 203 - 213. 2005.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto**. Viçosa: Editora UFV, 2011.
- MOREIRA-TURCQ, P.; SEYLER, P.; GUYOT, J.L.; ETCHEBER, H. Exportation of organic carbon from the Amazon River and its main tributaries. **Hydrological Processes**, v. 17, p. 1329 - 1344. 2003. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/hyp.1287>>. Acesso em: 30 mai. 2019.
- MÜLLER SCHMIED, H. et al. Sensitivity of simulated global-scale freshwater fluxes and storages to input data, hydrological model structure, human water use and calibration. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, n. 9, p. 3511 - 3538, 2014. Disponível em: <<https://hess.copernicus.org/articles/18/3511/2014/>>. Acesso em: 28 jun. 2020.
- NANSON, G. C. Anabranching and Anastomosing Rivers. In: SHRODER, J.F. (Ed.), **Treatise on Geomorphology**. San Diego: Academic Press, p.330 - 345. 2013. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978012374739600244X>>. Acesso em: 23 mai. 2019.
- NOVERAS, J.; YAMAMOTO, K. C.; FREITAS, C. E. C. Use of the flooded forest by fish assemblages in lakes of the National Park of Anavilhanas (Amazonas, Brazil). **Acta Amazonica**, v. 42, p. 561 - 566. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672012000400015&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 25 nov. 2019.
- PAIRA, A.; DRAGO, E. C. Genetical, morphological and evolutionary relationships of the floodplain lakes in the Middle Paraná River hydrosystem. **Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplementband**, v. 145, p. 207 - 228. 2006.
- PARADELLA, W.; SANTOS, A. R.; VENEZIANI, P.; CUNHA, E. S. Radares Imageadores nas Geociências: Estado da Arte e Perspectivas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, p. 56 - 62. 2005
- PARK, E.; LATRUBESSE, E. Radares Modeling suspended sediment distribution patterns of the Amazon River using MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 147, p. 232 - 242. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.03.013>>. Acesso em: 30 mai. 2019.
- SAINT-PAUL, U.; ZUANON, J.; CORREA, M.A.V.; GARCÍA, M.; FABRÉ, N.N.; BERGER, U.; et al. Fish Communities in Central Amazonian White and Blackwater Floodplains. **Environmental Biology of Fishes**, v. 57, p. 235 - 250. 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/A:1007699130333>>. Acesso em: 23 mai. 2019.
- SCABIN, A.B.; COSTA, F.R.C.; SCHÖNGART, J. The spatial distribution of illegal logging in the Anavilhanas archipelago (Central Amazonia) and logging impacts on species. **Environmental Conservation**, v. 39, p. 111 - 121. 2012. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0376892911000610/type/journal_article>. Acesso em: 30 mai. 2019.

SILVA, V. C. ANICETO, K. P. MARINHO, R. R. FILIZOLA, N. P. Caracterização hidrológica dos sistemas lacustres do Arquipélago de Anavilhanas com base em sensoriamento remoto. **Revista Geociências UNESP**, v. 39, n. 2, p. 411–424, 2020.

Disponível em:

<<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/14357/11696>>. Acesso em: 01 ago. 2020.

SIPPEL, S. J.; HAMILTON, S.; MELACK, J. M. Inundation area and morphometry of lakes on the Amazon River floodplain, Brazil. **Arch. Hydrobiol.** v. 123, p. 385 - 400. 1992.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

USGS - U.S. Geological Survey. **Global Visualization Viewer (GloVis)**. Disponível em: <<https://glovis.usgs.gov/>> Acesso em: 30 nov. 2017.
