



FLUXO DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO DO RIO DEMINI, NOROESTE AMAZÔNICO

Matheus Silveira de Queiroz

Doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Brasil

matheussilveiradequeiroz@gmail.com

Rogério Ribeiro Marinho

Doutor em Clima e Ambiente pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Professor do Departamento e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do

Amazonas (UFAM), Brasil

rogeo@ufam.edu.br

Ednaldo Bras Severo

Mestrando em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Brasil

edsevero.geo@gmail.com

RESUMO – O objetivo desse trabalho é quantificar e analisar variação temporal da Concentração do Sedimento Suspenso - CSS do rio Demini, afluente da margem esquerda do rio Negro, através de imagens do satélite Sentinel-2 sensor MSI para o período de 2014-2021. Foram utilizadas 39 imagens para estimar a variabilidade mensal e anual da CSS neste rio. A concentração média anual de sedimentos em suspensão foi estimada em $16,71 \text{ mg.L}^{-1}$, variando de $22,32 \text{ mg.L}^{-1}$ durante a seca a $9,80 \text{ mg.L}^{-1}$ durante a cheia. Portanto, o regime hidrológico controla a variabilidade da CSS, com as maiores concentrações no período de águas baixas e as maiores nas águas altas. A descarga anual total de sedimentos foi estimada em $0,17 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$, com uma produção específica de sedimentos foi calculada em $4,36 \text{ ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. O modelo utilizado se mostrou coerente para estimar a CSS de afluentes do rio Negro. A taxa de denudação para a bacia do rio Demini é de $0,0016 \text{ mm.ano}^{-1}$, considerada baixa. Este trabalho apresenta dados iniciais que podem ser usados como referência para estudos sobre a CSS dos afluentes do rio Negro, bem como para trabalhos futuros sobre impacto de eventos climáticos extremos e atividades que resultem em mudanças no uso e cobertura da terra.

Palavras-chave: Transporte de Sedimento Suspenso; Bacia Amazônica; Escudo das Guianas.

SEDIMENT FLOW IN SUSPENSION OF THE DEMINI RIVER, NORTHWEST AMAZON

ABSTRACT – The objective of this work is to quantify and analyze temporal variation in the suspended sediment concentration - SSC of the Demini River, a tributary of the left bank of the Negro River, using images from the Sentinel-2 MSI sensor satellite for the period 2014-2022. 39 images were used to estimate the monthly and annual variability of SSC in this river. The average annual concentration of suspended sediment was estimated at 16.71 mg.L^{-1} , varying from 22.32 mg.L^{-1} during drought to 9.80 mg.L^{-1} during flood. Therefore, the hydrological regime controls the variability of SSC, with the highest concentrations during the low water period and the highest during the high water period. The total annual sediment discharge was estimated at $0.17 \times 10^6 \text{ ton.year}^{-1}$, with specific sediment production calculated at $4.36 \text{ ton.km}^{-2}.\text{year}^{-1}$. The model used proved to be coherent to estimate the CSS of tributaries of the Negro River. The denudation rate for the Demini river basin is $0.0016 \text{ mm.year}^{-1}$, considered low. This work presents initial data that can be used as a reference for studies on the SSC of tributaries of

EDIÇÃO ESPECIAL:

Dossiê Amazônia, mudanças e realidades contemporâneas



PÁGINA 82

the Negro River, as well as for future work on the impact of extreme climate events and activities that result in changes in land use and cover.

Keywords: Suspended Sediment Transport; Amazon Basin; Guiana Shield.

INTRODUÇÃO

Os grandes rios desempenham um papel fundamental por meio do transporte de sedimentos na transferência dos produtos da erosão para os oceanos. Além disso, esse material pode ser depositado formando ilhas, barras de areia, formas de leito, planícies de inundação com diferentes tempos de permanência na bacia (GUPTA, 2007; MILLIMAN e FARNSWORTH, 2011; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017). Conhecer a dinâmica de transporte e deposição de sedimentos suspensos é importante para entender a morfologia e o padrão do canal, velocidade de migração e características da planície de inundação, além de ser importante para os ecossistemas e para atividades de uso da terra (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017; QUEIROZ *et al.*, 2018). Os mega rios (descarga líquida $> 17.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) são importantes modeladores da paisagem da bacia Amazônica (LATRUBESSE, 2008). Portanto, o estudo sistemático desses rios é essencial para compreender a dinâmica hidrossedimentar da maior bacia hidrográfica do mundo.

A região da bacia hidrográfica do rio Negro abrange uma extensão aproximada de 700.000 km², atravessando os territórios da Colômbia, Venezuela e Brasil. Essa vasta área engloba uma diversidade de ecossistemas, incluindo florestas equatoriais, savanas, campinaranas e florestas de igapó. O rio Negro desempenha um papel crucial como principal tributário em volume de água na margem esquerda do rio Amazonas, destacando-se como o sexto maior rio do mundo em termos de descarga líquida. Dentro deste curso d'água, são formados os dois maiores arquipélagos fluviais do planeta, o Arquipélago de Mariuá, situado em sua porção média, e o Arquipélago de Anavilhanas, em seu trecho inferior. Tais feições são consideradas notáveis maravilhas geomorfológicas multicanais, enriquecendo a paisagem da região de maneira única (LATRUBESSE e STEVAUX, 2015).

A bacia hidrográfica do rio Negro possui uma baixa densidade de estações sedimentométricas, o que dificulta a quantificação da Concentração de Sedimento Suspenso - CSS e seu aporte hidrossedimentar para o rio Amazonas (MARINHO *et al.*, 2020). Quando se trata dos principais afluentes do médio e baixo curso, as estações sedimentométricas tornam-se ainda mais escassas, concentrando-se na bacia do rio Branco, principal afluente, e no alto rio Negro. Portanto, o uso de estações virtuais, compostas por constelações de satélites, para estimativa da CSS torna-se essencial para entender a dinâmica hidrossedimentar do rio Negro.

Desde a segunda metade da década de 1980, diferentes pesquisas apresentaram uma correlação positiva entre a concentração de sedimentos suspenso e a radiância espectral da água observadas em diferentes sensores multiespectrais (RITCHIE *et al.*, 1987; RITCHIE e COOPER, 1988; NOVO *et al.*, 1989; BHARGAVA e MARIAM, 1991; HINTON, 1991; MERTES *et al.*, 1993; DOXARAN *et al.*, 2002; MARTINEZ *et al.*, 2004; MARTINEZ *et al.*, 2009). Além disso, as imagens do Landsat-8 e da constelação Sentinel-2 apresentam uma nova gama de possibilidades para o estudo dos recursos terrestres (LI e ROY, 2017). Trabalhos como os de Mertes *et al.* (1993) e Martinez *et al.* (2003) já exploravam na bacia Amazônica as imagens de satélite para estimar a CSS em superfície. Recentemente, na bacia do rio Negro, Marinho (2019) e Marinho *et al.* (2021a, 2021b; 2022) apresentam estimativas do transporte de sedimentos em suspensão utilizando as imagens do Landsat/OLI e Sentinel-2/MSI.

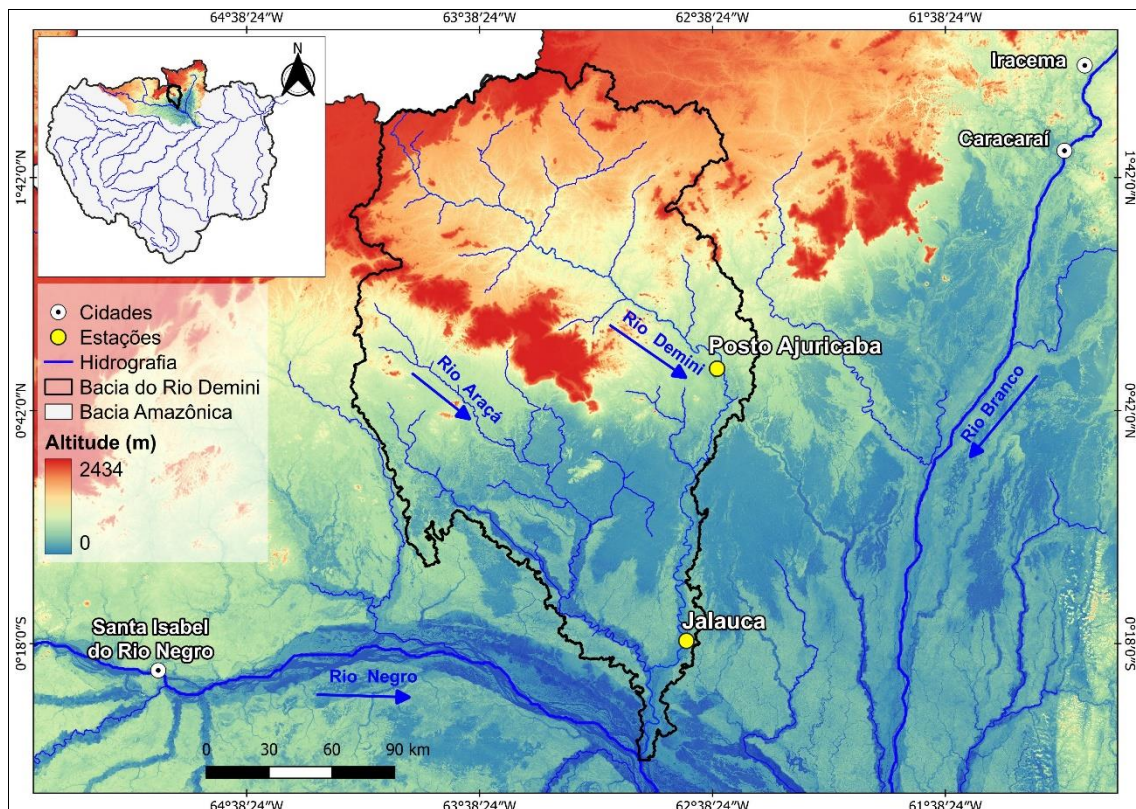
Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi quantificar e analisar a variação temporal do sedimento suspenso no rio Demini, um importante afluente da margem esquerda do rio Negro, que drena a Terra Indígena Yanomami e sob forte pressão de atividades de garimpo.



ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Demini possui uma área de 39.311 km², e seu canal principal deságua na margem esquerda do médio curso do rio Negro, no arquipélago fluvial de Mariuá (Figura 1). O canal principal é classificado de transicional para meandrante, apresentando um índice de sinuosidade de 1,3, segundo a classificação de Schumm (1963). A largura média do rio Demini é de 143 metros, e sua declividade é de 15,3 cm.km⁻¹. O principal afluente da bacia do Demini é o rio Araçá, que drena a serra de mesmo nome, com uma descarga líquida média de 360 m³.s⁻¹ (FRASSON *et al.*, 2019).

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Demini

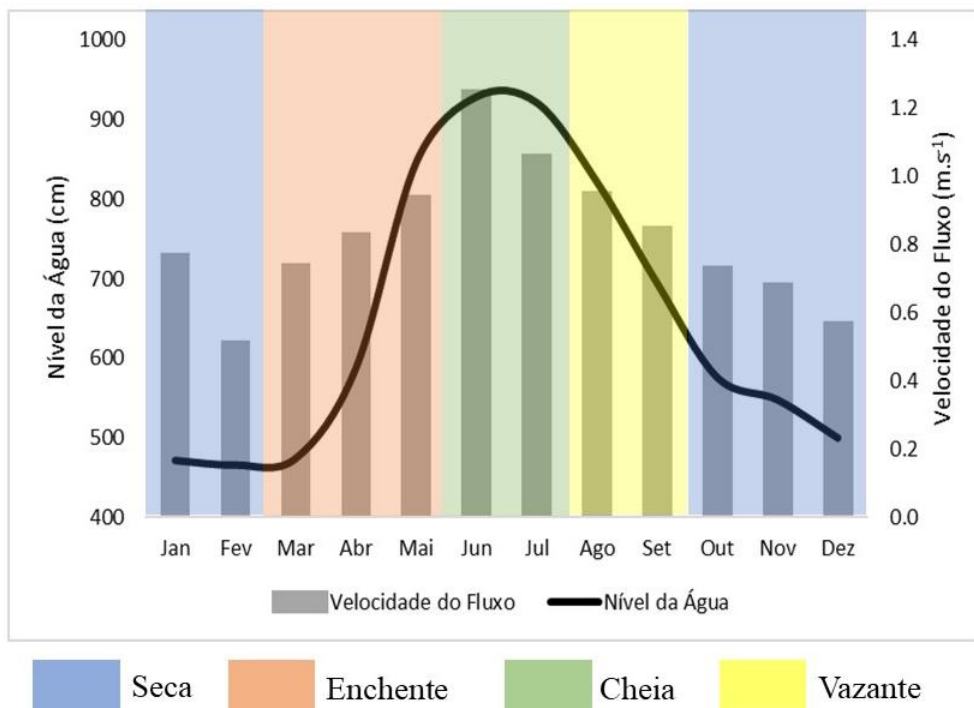


Org.: Os autores, 2024.

A descarga líquida média do rio Demini é de ~1000 m³.s⁻¹ (FRASSON *et al.*, 2019). O período de enchente ocorre entre os meses de março e maio, seguido pela cheia entre junho e julho. Por sua vez, o processo de vazante ocorre entre agosto e setembro. Durante o ano hidrológico, o período que ocupa a maior parte da série temporal é a seca, com duração de cinco meses (entre outubro e fevereiro). Os maiores níveis do rio ocorrem em junho, enquanto os menores são registrados em fevereiro, com uma amplitude de 464 cm entre os dois extremos. A velocidade média no rio Demini em seu médio é de 0,81 m.s⁻¹, com os maiores valores observados em julho (1,24 m.s⁻¹) e os menores em fevereiro (0,5 m.s⁻¹), o que coincide com os dados do nível da água (Figura 2).



Figura 2. Variação do nível da água (1982-2022) e velocidade média do fluxo (1982-2022) na estação de Posto Ajuricaba, rio Demini.



Fonte: ANA, 2024. Org.: Os autores, 2024.

A precipitação média na bacia do rio Demini, estimada a partir de dados CHIRPS - *Climate Hazards center InfraRed Precipitation with Station* para o período de 1981 a 2019, é de 2360 mm.ano⁻¹ com valores mínimos 1845 mm.ano⁻¹ e máximos de 2729 mm.ano⁻¹. Esses valores são próximos aos apresentados por Rossetti *et al.* (2012) que indicaram uma variação de 2000 a 2400 mm.ano⁻¹. Os meses de abril a julho registram os maiores volumes de precipitação, enquanto os meses de setembro a fevereiro apresentam os menores. O setor norte da bacia recebe menos precipitação, especialmente em áreas com altitudes superiores a 500 metros, enquanto os maiores volumes são observados no setor sudoeste (Figura 3). Quanto ao clima, a região é caracterizada como clima equatorial de floresta (Af) de acordo com a classificação de Köppen (BARNI *et al.*, 2020).

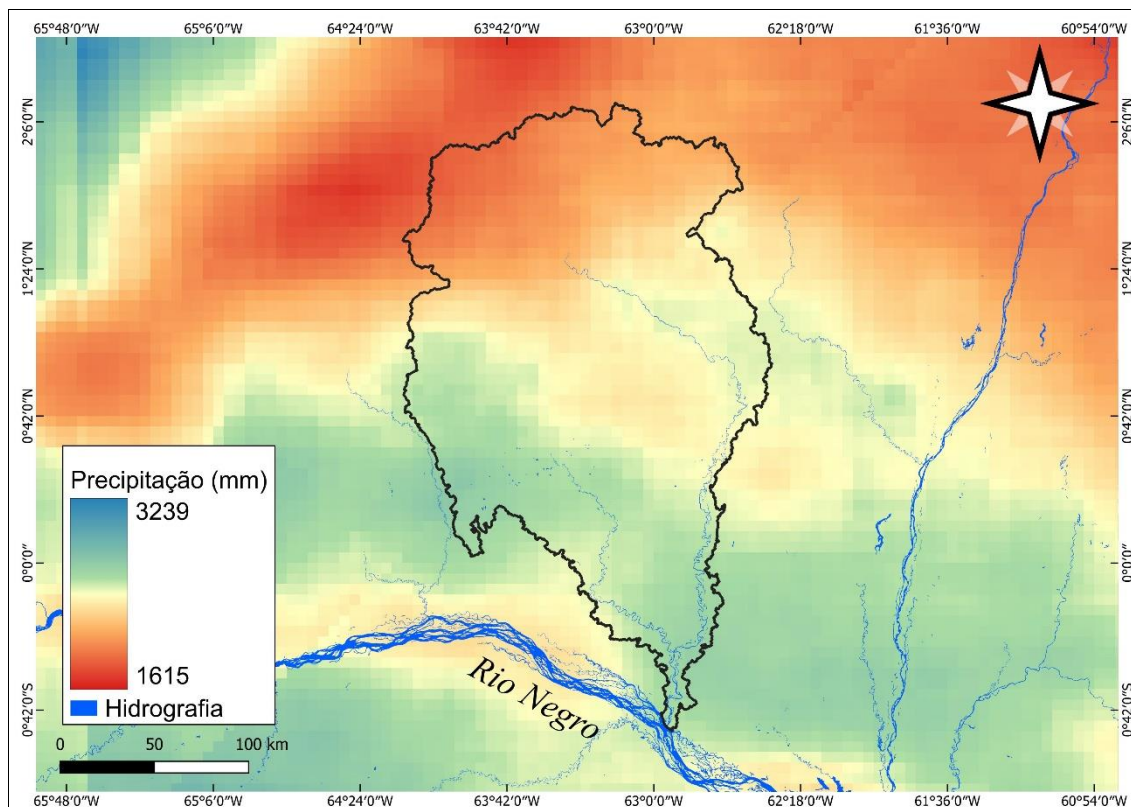
As características deposicionais da bacia do rio Demini indicam presença de mega leques fluviais (ROSSETTI *et al.*, 2012; CREMON, 2012; CREMON *et al.*, 2014). Esses depósitos consistem principalmente em areias e são encontrados em áreas de baixa declividade, apresentando morfologias cônicas associadas a redes de paleocanais. O Mega Leque Demini foi estabelecido durante o Quaternário (ou tempo geológico anterior) em bacias sedimentares intracontinentais com tectônica ativa (ROSSETTI *et al.*, 2012). Essas áreas com formação de sistemas deposicionais de mega leques normalmente estão associadas com tectônica instável (CELLES e CAVAZZA, 1999; WEISSMANN *et al.*, 2010).

O rio Demini é controlado no seu baixo curso por uma falha transcorrente (LATRUBESSE e FRANZINELLI, 2005; ROSSETTI *et al.*, 2012). Na região da bacia predominam lineamentos morfoestruturais com orientação predominante ENE-WSW e NE-SW. Além disso, observam-se também anomalias estruturais que podem indicar atividade neotectônica, como deslocamentos da drenagem, formação de cotovelos, vales assimétricos, deslocamentos de manchas



fitofisionômicas e contrastes abruptos de relevo (CREMON, 2012). A bacia também apresenta um forte basculamento tectônico em direção leste, com fator de assimetria (KELLER e PINTER, 1996) superior a 60. Esse basculamento exerceu influência na configuração da rede de drenagem na bacia do rio Demini.

Figura 3. Distribuição espacial na precipitação na Bacia hidrográfica do rio Demini entre 1981 e 2019



Fonte: Chirps, 2015. Org.: Os autores, 2024.

Em seu baixo curso, a bacia está assentada em uma grande depressão, que pertence a uma das maiores áreas alagadas da bacia Amazônica (SANTOS *et al.*, 1993; ROSSETTI *et al.*, 2012). Isto influencia diretamente a vegetação da bacia que varia de áreas com campinarana florestada, campinarana arborizada, campina, floresta ombrófila densa aluvial e floresta ombrófila densa das terras baixas. As campinas e campinaranas podem ser classificadas como ambientes inundados sazonalmente devido às flutuações do lençol freático com espécies que apresentam alto grau de esclerofilia (SILVEIRA, 2003).

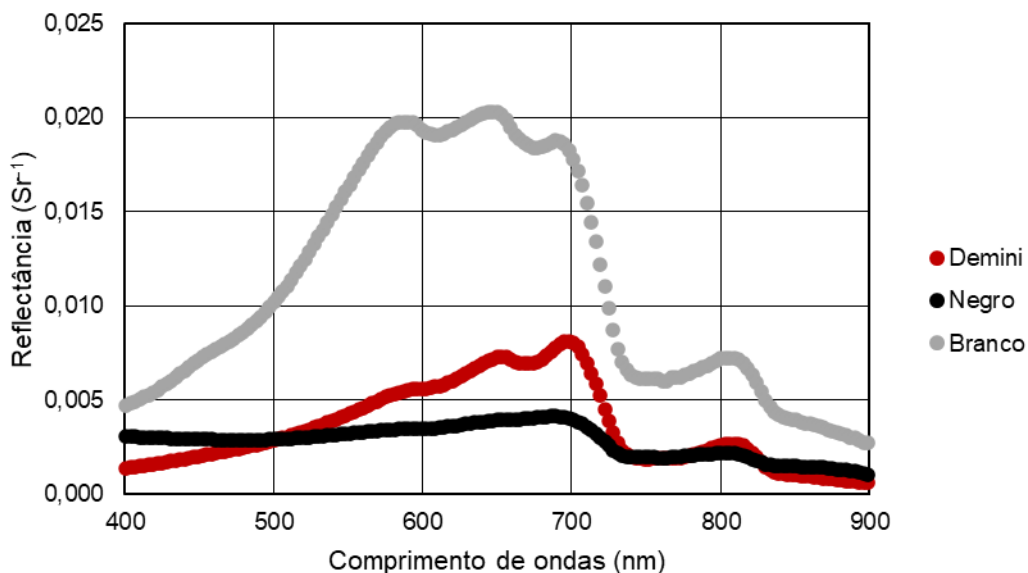
As campinaranas na bacia do rio Negro possuem como característica predominante o solo arenoso, em especial o Espodossolo, que possui material mais susceptível à erosão e que pode ser transportado como carga de fundo pelos rios, aumentando a emersão de barras de areia no canal durante os períodos da vazante e seca. Além disso, a evolução da paisagem no alto curso do rio Negro é ligada à evolução da podzolização e o estabelecimento da drenagem (MENDES *et al.*, 2017). A granulometria do material de fundo transportado pelo rio Demini é predominantemente arenoso (>90%) com diâmetro mediano das partículas de fundo (D50) com tamanho igual ou inferior à areia fina (0,25 mm) (MARINHO *et al.*, 2021c).



O rio Demini em seu médio e alto curso pode ser caracterizado como um rio amazônico de águas claras. Com base nos dados coletados em novembro de 2018, próximo à sua foz, a concentração de sedimentos suspensos - CSS é de aproximadamente 10 mg.L^{-1} , indicando uma baixa carga de material particulado. A condutividade elétrica é da ordem de $13 \mu\text{S.cm}^{-1}$, indicando uma baixa mineralização e indicando uma água de baixa salinidade. O oxigênio dissolvido observado no rio é em torno de 7 mg.L^{-1} . A turbidez observada é da mesma ordem da CSS, de 8,10 NTU, o que indica uma leve turbidez na água, possivelmente devido à presença de material em suspensão.

A Figura 4 a seguir apresenta o comportamento espectral da água nos rios Demini, Negro e Branco entre 400 e 900 nm. No Rio Demini a reflectância de sensoriamento remoto apresenta menores valores na região do verde (550 nm) em relação ao vermelho (670 nm), o que sugere a presença de material inorgânico suspenso na água, embora em menor concentração do que no Rio Branco. Sua assinatura espectral é mais suave do que a dos rios Negro e Branco, o que indica uma dispersão de luz menor. Isso sugere que a água do Rio Demini tem uma concentração intermediária de material em suspensão e matéria orgânica dissolvida em comparação com os outros rios. Estas características sugerem uma combinação de sedimentos em suspensão e matéria orgânica dissolvida, influenciando sua reflectância em diferentes faixas espectrais.

Figura 4. Assinaturas espectrais dos rios Demini, Negro e Branco.



Fonte: Os autores, 2024.

O pH do Rio Demini é de 6,22, caracterizando-o como ligeiramente ácido. Quanto ao carbono orgânico, tanto dissolvido quanto particulado, os valores observados foram de $6,23 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,55 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente, indicando uma presença moderada de material orgânico na água, o que indica uma considerável ação dos processos de decomposição da matéria orgânica vegetal. De forma geral, os parâmetros físico-químicos do Rio Demini, próximos à sua foz no período de águas baixas, revelam uma água com boa transparência, baixa mineralização, concentrações adequadas de oxigênio dissolvido e presença moderada de material orgânico. Essas características são essenciais para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e a preservação da biodiversidade na região, o que reflete no intenso uso de seu sistema fluvial para atividades de pesca esportiva.



MATERIAIS E MÉTODOS

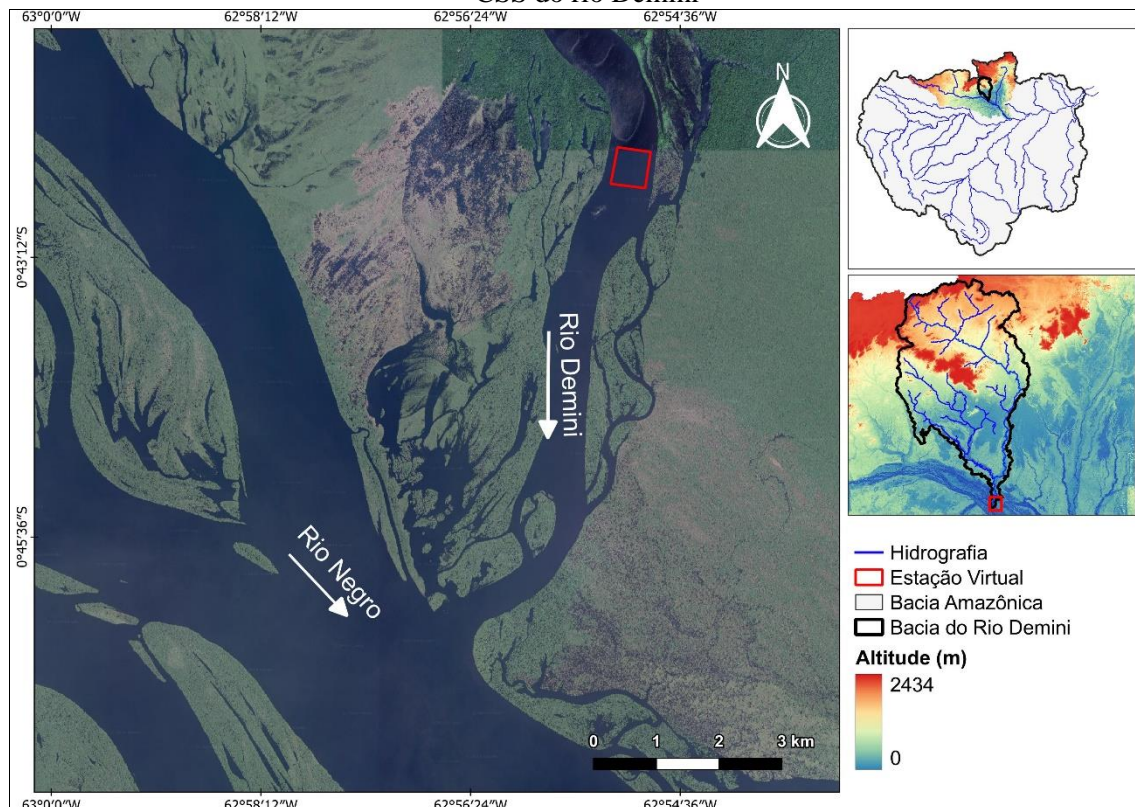
Foram utilizadas 39 imagens dos satélites Sentinel-2A e Sentinel-2B, com sensor MSI nos períodos de janeiro de 2014 a dezembro de 2021. Para o cálculo da estimativa de sedimentos suspensos, utilizou-se a Equação 1 proposta por Marinho *et al.* (2022) que ajustaram um modelo linear de estimativa da concentração de sedimentos suspensos (em mg.L^{-1}) a partir da banda do vermelho do sensor MSI (Banda 4). Esta banda espectral possui um comprimento de onda entre 620-760 nm.

(1)

$$CSS = 881,4 \times (B4) + 2,3$$

O modelo foi proposto com dados coletados entre 2016 e 2019 na região do baixo rio Negro e da confluência com o rio Branco com CSS variando entre 0,44 a 22,64 mg.L^{-1} . O ajuste do modelo apresentou uma regressão de 0,82, erro quadrático médio de 2,20 mg.L^{-1} e um erro médio absoluto de 25% (MARINHO *et al.*, 2021a). A área de seleção dos pixels para estimar o transporte de sedimentos suspensos está situada após a confluência dos rios Demini e Araçá, conforme a Figura 5.

Figura 5. Área selecionada de pixels para estimativa da Concentração de Sedimentos Suspensos – CSS do rio Demini



Org.: Os autores, 2024.

Foram utilizadas as estações hidrométricas Posto Ajuricaba (código = 14440000) para correlacionar as estimativas por imagem Sentinel-2 com os dados de descarga líquida, nível da água e precipitação (código = 8062000) entre o período de 2014 e 2021. Os dados da CSS da estação Jalauaca (código = 14450000) foram utilizados para comparação com os dados estimados, visando testar a qualidade do modelo desenvolvido nas proximidades da área de



estudo. Devido à desativação da estação de Jalauaca, existem apenas 16 medições disponíveis entre os anos 1992 e 1997. A análise de descarga de sedimentos suspensos, média anual da descarga de sedimentos e produção de sedimentos específica correspondem à Equação 2, 3 e 4 respectivamente.

(2)

$$Q_s = Q \times CSS \times 0.0864$$

Q_s é a descarga de sedimentos suspensos. Q é a descarga líquida em Porto Ajuricaba ($m^3.s^{-1}$) (para o cálculo dos dados estimados por satélite) e em Jalauaca ($m^3.s^{-1}$), para as medições convencionais. Nas datas de coleta de CSS também foi medida a descarga líquida da seção, tornando possível o cálculo. CSS representa a concentração de sedimentos suspensos ($mg.L^{-1}$). 0.0864 é o fator de conversão para a unidade $ton.dia^{-1}$.

(3)

$$Q_{sa} = Q_s \times 365$$

Q_{sa} é a média anual da descarga de sedimentos.

(4)

$$Q_{sp} = \frac{Q_{sa}}{A_b}$$

Q_{sp} é a produção de sedimentos específica. A_b é a área drenada pela bacia do rio Demini.

Também foi calculada a taxa de denudação da bacia do rio Demini. Para isto, converteu-se a Descarga de Sedimentos anual (Q_{sa}) em volume de material removido dividindo o primeiro pela densidade da rocha ou solo. O valor da densidade utilizado no trabalho foi proposto por Wittmann *et al.* (2011). Logo, a taxa de denudação é obtida através da Equação 5:

(5)

$$L = \left(\frac{V}{A_b}\right)1000$$

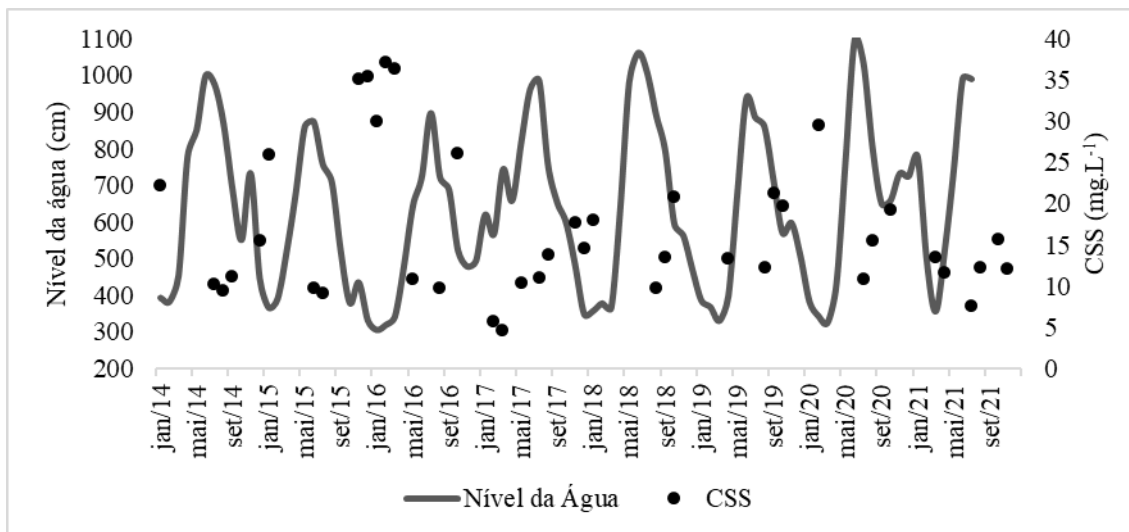
L é a taxa de denudação ($mm.ano^{-1}$), para obter o valor em $mm.ky^{-1}$ multiplica-se o resultado por 1000. V é o volume de material removido ($m^3.ano^{-1}$). A_b é a área da bacia (m^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo analisou 39 imagens Sentinel-2 Sensor MSI para estimar a Concentração de Sedimentos Suspensos da bacia hidrográfica do rio Demini. A média estimada da CSS para o rio Demini é de $16,71 mg.L^{-1}$, com valores máximos de $24,22 mg.L^{-1}$ em fevereiro e mínimos de $9,78 mg.L^{-1}$ em junho (Figura 6). Durante o período de enchente e cheia, a média foi de $15,94 mg.L^{-1}$ e $9,80 mg.L^{-1}$, respectivamente. Já na vazante e seca apresentaram média de $12,91 mg.L^{-1}$ e $22,32 mg.L^{-1}$. Na estação de Jalauaca, a média foi de $17,64 mg.L^{-1}$, com valores máximos de $33,39 mg.L^{-1}$ e mínimos de $4,39 mg.L^{-1}$.



Figura 6. Série Temporal da CSS a partir de imagens Sentinel-2 e a variabilidade do nível da água do rio Demini



Org.: Os autores, 2024.

Percebe-se que as médias entre o período de cheia e a seca (águas altas e baixas) variam cerca de 77,96%. As amplitudes observadas para o conjunto de dados da enchente e seca ultrapassam 31 mg.L⁻¹, um valor elevado, na cheia e a amplitude foi baixa (3,42 mg.L⁻¹) e na vazante ultrapassa os 10 mg.L⁻¹. No entanto, é importante ressaltar que a variabilidade temporal da CSS no período de enchente e cheia é limitada devido ao baixo número de imagens disponíveis (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis estatísticas (mg.L⁻¹) estimadas do Sentinel-2

Variáveis Estatísticas	Enchente (Mar-Mai)	Cheia (Jun-Jul)	Vazante (Ago-Set)	Seca (Out-Fev)
Número de Imagens	5	6	10	19
Mínimo	4,61	7,68	9,57	5,78
Máximo	36,48	11,09	21,25	37,25
Amplitude	31,87	3,42	11,68	31,46
Média	15,94	9,80	12,91	22,32
Mediana	13,36	10,04	12,30	20,35
25th percentil	8,15	8,76	9,81	15,64
75th percentil	25,03	10,91	14,28	29,74
Desvio Padrão	10,78	1,15	3,35	8,45
Coefficiente de Variação (%)	68%	12%	26%	38%

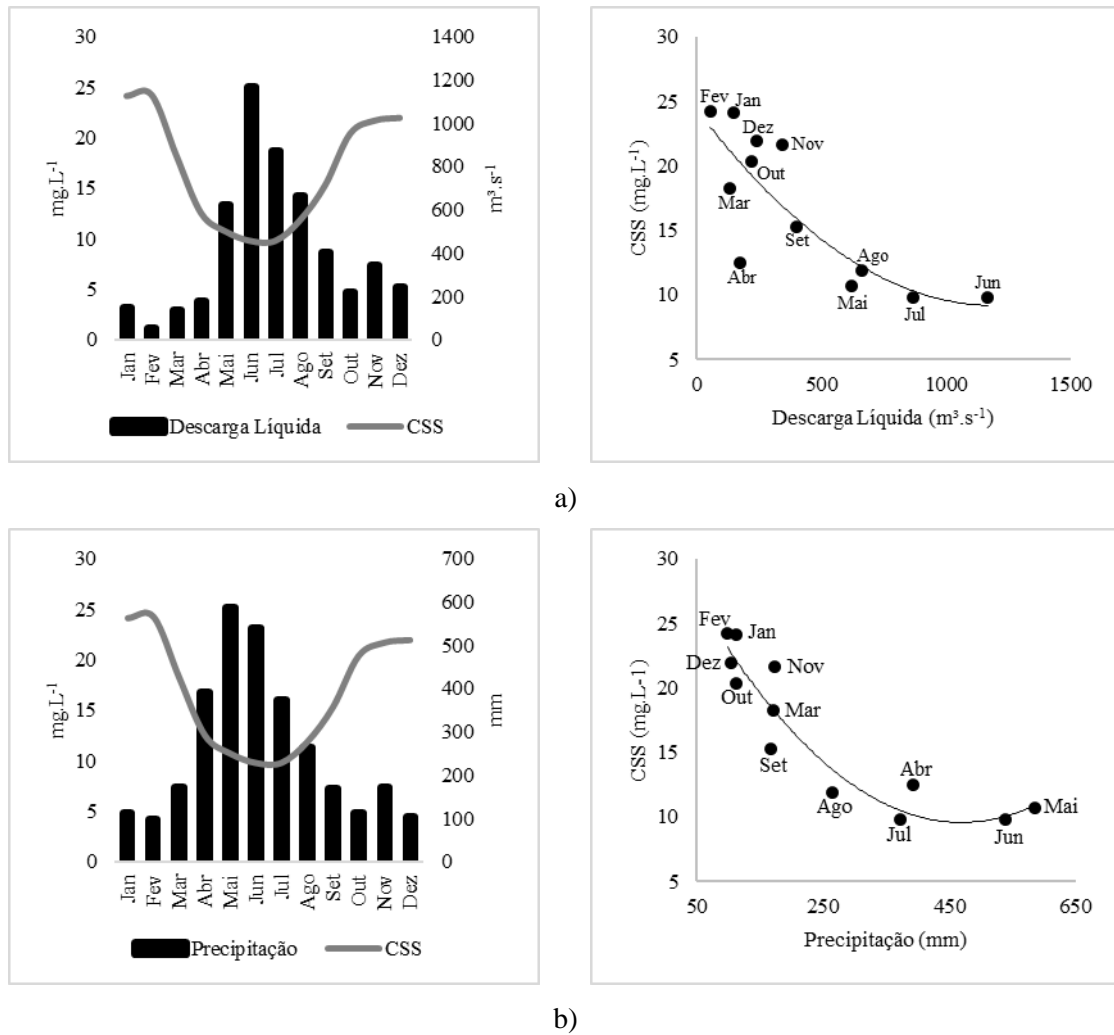
Org.: Os autores, 2024.

A correlação entre os dados de CSS e Descarga líquida é considerada boa ($R^2 = 0,67$), e inversamente proporcional, conforme indicado pelo coeficiente de correlação de Pearson = -



0,79. Isso significa que durante o ano hidrológico no pico de cheia os valores de sedimento apresentam a menor concentração e na seca os maiores. Quanto à correlação com os dados de precipitação, observa-se um R^2 muito alto (0,89) e um coeficiente de Pearson inversamente proporcional (-0,84). Esses resultados são similares aos obtidos por Marinho *et al.* (2022) para o baixo rio Negro (Figura 7).

Figura 7. Variabilidade média mensal da CSS e Descarga Líquida (a) e Variabilidade média mensal da CSS e precipitação (b)



Org.: Os autores, 2024.

As variações positivas e negativas do El-Niño Oscilação Sul (ENOS) impactam diretamente nos níveis de água dos grandes rios Amazônicos. A oscilação positiva está correlacionada com as grandes secas (El Niño), enquanto a negativa (La Niña) está associada a cheias extremas (MOURA *et al.*, 2019; QUEIROZ, 2022; QUEIROZ *et al.*, 2024). Dentro da série de dados analisadas nesse trabalho os anos de 2015-2016 (oscilação positiva) e 2020-2022 (negativa) apresentaram uma oscilação forte que resultou em secas e cheias extremas na bacia do rio Negro nesses anos. Observou-se que na bacia do rio Demini, a CSS tende a apresentar volumes menores na cheia e maiores na seca. Durante os anos de 2015-2016 observou-se os maiores



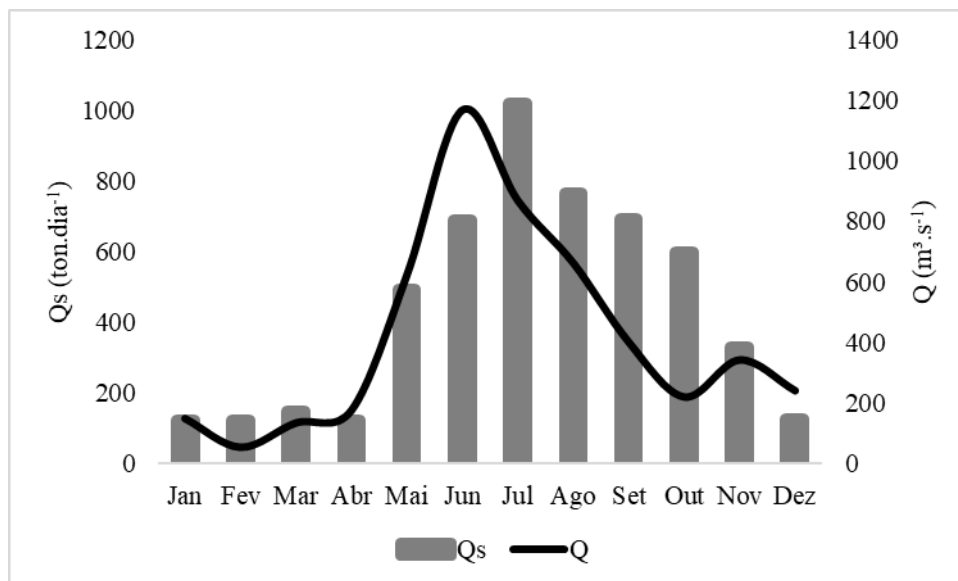
valores de CSS estimados na série histórica (ver Figura 6), esse valor elevado pode estar relacionado com a influência do El Niño na região. Porém, não observou-se padrões que indiquem que a oscilação negativa tenha influenciado na CSS.

De acordo com Constantine *et al.* (2014), rios com um fornecimento maior de sedimentos possuem um ambiente de várzea ativo com maiores taxas anuais de migração e corte de meandro mais elevados. No entanto, a baixa concentração de sedimentos suspensos do rio Demini, combinada com as baixas velocidades de fluxo e declividade, não explicam o padrão meandrante atual. Sugerimos que durante o quaternário o rio Demini passou por oscilações, apresentando uma maior energia para os processos fluviais durante o estabelecimento do padrão atual. Nesse sentido, concorda-se com Pereira (2016) de que os rios da bacia do rio Negro possuem uma paleohidrologia de média energia.

Produção de Sedimentos

A descarga de sedimentos (Q_s) da bacia do rio Demini apresenta um fluxo médio da ordem de $469,09 \text{ ton.dia}^{-1}$. Os maiores fluxos ocorrem no período da cheia, no mês de julho com $1019,94 \text{ ton.dia}^{-1}$, enquanto os menores são observados durante a vazante, com o menor valor estimado para janeiro da ordem de $121,66 \text{ ton.dia}^{-1}$. Essa variação representa uma amplitude de $898,28 \text{ ton.dia}^{-1}$. Ao correlacionar os valores da Q_s e da descarga líquida (Q), observa-se um R^2 de 0,61 e uma correlação linear de Pearson de 0,78 indicando que os dados são diretamente proporcionais (Figura 8).

Figura 8. Descarga média mensal de sedimentos na bacia do rio Demini



Org.: Os autores, 2024.

Estima-se que a descarga sedimentar anual para a bacia do rio Demini, para o período de 2014-2021 seja de $0,17 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$. A produção específica de sedimentos (Q_{sp}) estimada no período foi de $4,36 \text{ ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. Em relação aos dados da estação de Jalauaca, a descarga anual para o período de 1992-1997 é de $0,27 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$. A produção específica é de $12,17$

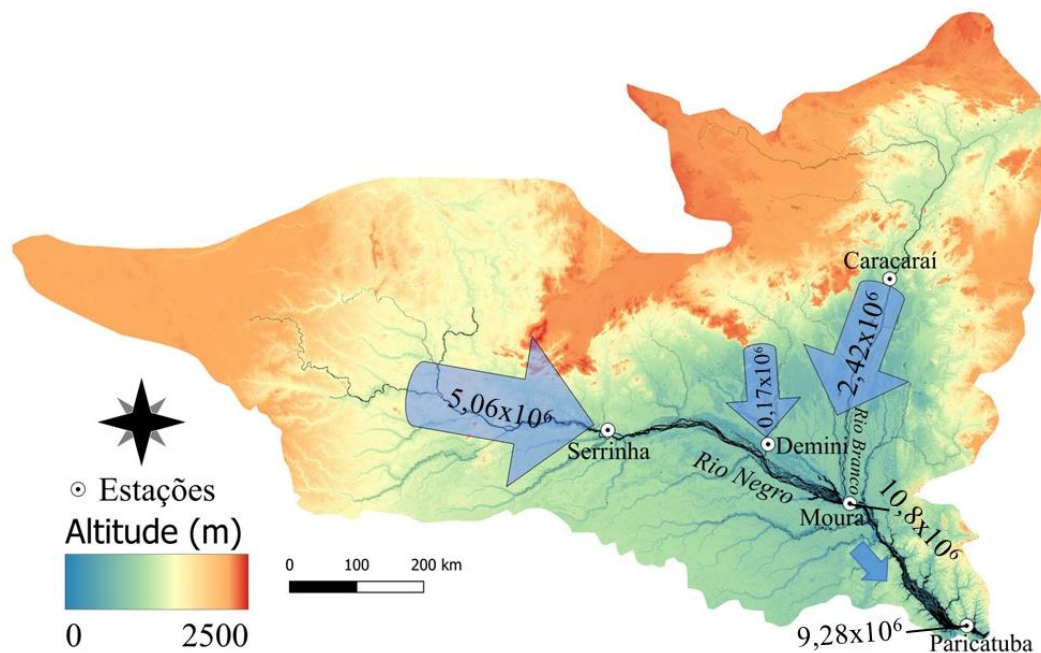


ton.km⁻².ano⁻¹, considerando uma área de drenagem de 22.400 km² (localização da estação). Filizola e Guyot (2009) consideram que as estações de Serrinha (rio Negro), Caracará (rio Branco) e Jalauaca (rio Demini) são suficientes para estimar a produção de sedimentos suspensos do escudo das Guianas para a bacia do rio Negro.

A taxa de denudação para a bacia do rio Demini é de 0,0016 mm.ano⁻¹ ou 1,61 mm.ky⁻¹. A bacia do rio Negro apresenta uma taxa de denudação de 0,04 mm.ano⁻¹, considerada uma das menores dos grandes rios do mundo (WITTMANN *et al.*, 2011). Se comparado com rios de águas brancas (normalmente com nascentes na cordilheira dos Andes) observa-se uma taxa de denudação maior: Amazonas em Óbidos (0,24 mm.ano⁻¹), Baixo Solimões (0,24 mm.ano⁻¹), Baixo Madeira (0,21 mm.ano⁻¹). O rio Tapajós, principal representante dos rios de águas claras, possui uma taxa de denudação semelhante aos rios de água preta (0,04 mm.ano⁻¹) (WITTMANN *et al.*, 2011).

A jusante da voz do rio Demini, na região da confluência com o rio Branco, o fluxo de sedimentos é de 10,8x10⁶ ton.ano⁻¹ (MARINHO, 2019). Assim, é possível inferir que o rio Demini contribuiu com cerca de 1,57% (dados estimados por satélite) ou 2,52% (dados observados na estação de Jalauaca) no transporte de sedimentos suspensos no rio Negro até a confluência com o rio Branco (Figura 9).

Figura 9. Modelo Esquemático do Balanço Hidrossedimentar da Bacia Hidrográfica do rio Negro



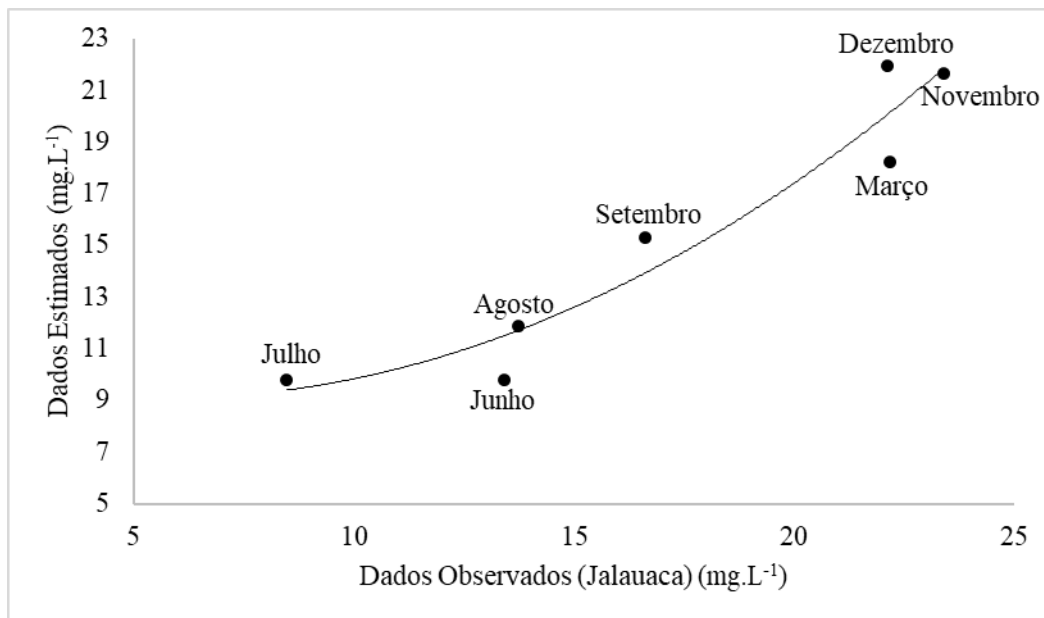
Fonte: Marinho, 2019; Este Trabalho, 2024.

Os dados observados na estação hidrométrica de Jalauaca (Estações da rede hidrossedimentar da Agência Nacional de Águas e Saneamento – ANA) e os estimados por imagens do satélite Sentinel-2 indicaram uma correlação diretamente proporcional muito alta ($R^2 = 0,93$ e Pearson = 0,94) (Figura 10). Os dados observados e os dados estimados por satélite apresentam uma variação média de apenas 2,48%, o que pode indicar que o modelo proposto por Marinho *et al.*



(2022) para o baixo rio Negro é eficiente para estimar a CSS do rio Demini. É importante ressaltar que há uma limitação na comparação dos dados, uma vez que o recorte temporal difere e os dados observados não abrangem todos os meses do ano hidrológico.

Figura 10. Correlação entre os dados da CSS observados na estação de Jalauaca e a CSS estimada pelo sensor MSI do satélite Sentinel-2.



Org.: Os autores, 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo estimou, a partir de imagens Sentinel-2, que o rio Demini contribui com 1,57% da produção de sedimento suspenso para o rio Negro. Os valores da concentração de sedimento suspenso (CSS) máxima foram observados durante a vazante e os valores mínimos de CSS durante a cheia, indicando um comportamento inversamente proporcional ao nível da água. A média anual da CSS do rio foi estimada em 16,71 mg.L⁻¹, variando de 22,32 mg.L⁻¹ nas águas baixas e 9,80 mg.L⁻¹ no período de águas altas. A descarga sólida anual foi de 0,17 x 10⁶ ton.ano⁻¹ e a produção específica de sedimentos (Qsp) foi de 4,36 ton.km⁻².ano⁻¹.

Nota-se que o modelo utilizado neste estudo apresentou uma variação de apenas 2,48% dos dados observados na estação de Jalauaca, logo sugere-se que este modelo é eficiente para estimar a CSS de diferentes rios da bacia hidrográfica do rio Negro. Porém, a limitação de imagens para estimar a CSS devido à incidência de nuvens, principalmente nos períodos de enchente e cheia (apenas 11 imagens em um recorte temporal de 8 anos) dificulta uma melhor compreensão da dinâmica hidrossedimentar do rio Demini.

Este trabalho apresenta dados iniciais que podem ser usados como referência para estudos sobre a CSS dos afluentes do rio Negro, bem como para trabalhos futuros sobre impacto de eventos climáticos extremos e atividades que resultem em mudanças no uso e cobertura da terra (exemplo, o garimpo e agropecuária) e que impactam a dinâmica hidrossedimentar de grandes sistemas fluviais.



AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, vinculada ao Ministério da Educação, pela bolsa a nível de doutorado.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO – ANA. Hidroweb. 2024. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em : 15/03/2024.

BARNI, P. E.; BARBOSA, R. I.; XAUD, H. A. M.; XAUD, M. R.; FEARNSSIDE, P. M. Precipitation in northern Amazonia: Spatial distribution in Brazil's state of Roraima. *Sociedade & Natureza*, [S. l.], v. 32, p. 439–456, 2020. DOI: 10.14393/SN-v32-2020-52769.

BHARGAVA, D.S.; MARIAM, D.W. Effects of suspended particle size and concentration on reflectance measurements. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, v. 57, pp. 519–529, 1991.

CELLES, P. G.; CAVAZZA, W. A comparison of fluvial megafans in the Cordilleran (Upper Cretaceous) and modern Himalayan foreland basin systems. *Geological Society of America Bulletin*, v. 111, p. 1315–1334, 1999.

CHIRPS. The CHIRPS dataset website. 2015 (<https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>). Accessed on 17 May 2018.

CONSTANTINE, J.; DUNNE, T.; AHMED, J.; LEGLEITER, C.; LAZARUS, E. Sediment supply as a driver of river meandering and floodplain evolution in the Amazon Basin. *Nature Geosci*, v. 7, 899–903, 2014. <https://doi.org/10.1038/ngeo2282>

CREMON, E.H. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO SISTEMA FLUVIAL DO RIO DEMINI (AMAZÔNIA SETENTRIONAL) COM BASE EM SENSORIAMENTO REMOTO. Dissertação (Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto), São José dos Campos, 2012.

CREMON, É.H.; ROSSETTI, F. D.; ZANI, H. Classification of Vegetation over a Residual Megafan Landform in the Amazonian Lowland Based on Optical and SAR Imagery. *Remote Sens*, v. 6, 2014, p.. 10931–10946. <https://doi.org/10.3390/rs61110931>

DOXARAN, D.; FROIDEFOND, J.M.; LAVENDER, S.; CASTAING, P. Spectral signature of highly turbid waters. Application with SPOT data to quantify suspended particulate matter concentrations. *Remote Sensing of Environment*, v. 81, pp. 149–161, 2002.

FILIZOLA, N.P.; GUYOT, J.L. Suspended sediment yields in the Amazon basin: an assessment using the Brazilian national data set. *Hydrol. Process*. 23, pp. 3207–3215, 2009.

FRASSON, R.P. M.; PAVELSKY, T.M.; FONSTAD, M.A.; DURAND, M.T.; ALLEN, G.H.; SCHUMANN, G.; LION, C.; BEIGHLEY, E.; YANG, X. Global Relationships Between River Width, Slope, Catchment Area, Meander Wavelength, Sinuosity, and Discharge. *Geophysical Research Letters*, v. 46, pp. 3252–3262, 2019.

GUPTA, A. Large rivers: geomorphology and management. Chichester: John Wiley and Sons, 2007. 712p.

HINTON, J.C. Application of eigenvector analysis to remote sensing of coastal water quality. *International Journal of Remote Sensing*, v. 12, pp. 1441–1460, 1991.

KELLER, E., PINTER, N. Active tectonics: earthquake, uplift and landscape. 1a. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 338p.

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

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, pp. 372–397, 2005.

EDIÇÃO ESPECIAL:

Dossiê Amazônia, mudanças e realidades contemporâneas



PÁGINA 95

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. (Orgs.), *Landscapes and Landforms of Brazil*, Springer, Dordrecht, p.157–169, 2015.

LI, J.; ROY, D. P. A Global Analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 Data Revisit Intervals and Implications for Terrestrial Monitoring. *Remote Sensing*, v. 9, p. 902, 2017. <https://doi.org/10.3390/rs9090902>

MARINHO, R.R.; HARMEL, T.; MARTINEZ, J.-M.; FILIZOLA JUNIOR, N.P. Spatiotemporal Dynamics of Suspended Sediments in the Negro River, Amazon Basin, from In Situ and Sentinel-2 Remote Sensing Data. *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 10, n. 2, p.86, 2021a. <https://doi.org/10.3390/w12041073>

MARINHO, R. R. Integration of field data and remote sensing in the study of water and matter flux in the Anavilhanas Archipelago, Rio Negro - Amazonas, Brazil. Thesis (PhD in Climate and Environment) - Graduate Program in Climate and Environment, National Institute for Amazon Research, Manaus. 2019.160p.

MARINHO, R. R.; FILIZOLA, N. P.; CREMON, É. H. Analysis of Suspended Sediment in the Anavilhanas Archipelago, Rio Negro, Amazon Basin. *Water*, v. 12, p. 1073, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12041073>

MARINHO, R. R.; FILIZOLA, N. P.; MARTINEZ, J.-M.; HARMEL, T. Suspended sediment transport estimation in Negro River (Amazon Basin) using MSI/Sentinel-2 data. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S. l.], v. 23, n. 1, 2022. DOI: 10.20502/rbg.v23i1.2076.

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., 2021b, v. , p. 34-44.

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*, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 997–1008, 2021c. DOI: 10.26848/rbgf.v14.2.p997-1008. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/245722>. Acesso em: 15 mar. 2024.

MARTINEZ, J.M.; GUYOT, J.L.; FILIZOLA, N.; SONDAG, F. Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data. *Catena*, V. 79, pp. 257–264, 2009.

MARTINEZ, J.M.; MAURICE-BOURGOIN, L.; KOSUTH, P.; SEYLER, F.; GUYOT, J.L. Analysis of multitemporal MODIS and Landsat 7 images acquired over Amazonian floodplain lakes for suspended sediment concentration retrieval. *IGARSS*, Toulouse, France, 2003.

MARTINEZ, J.M.; MAURICE-BOURGOIN, L.; MOREIRA-TURCQ, P.; SEYLER, F.; GUYOT, J.L. Amazon Floodplain Water Quality Monitoring Using MERIS and MODIS Data, ENVISAR and ERS. Symposium. ESA Publication, Salzburg, p. 10, 2004.

MENDES, D. de S. O.; BUENO, G. T.; GUIMARÃES, F. S.; ROSSIN, B. G.; NASCIMENTO, N. R. do. OS SOLOS E GEOAMBIENTES DAS CAMPINARANAS AMAZÔNICAS: RELAÇÃO GENÉTICA ENTRE OS GEOAMBIENTES E A EVOLUÇÃO DA PAISAGEM EM UM TRANSECTO NA BACIA DO ALTO RIO NEGRO, AMAZÔNIA. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S. l.], v. 18, n. 3, 2017. DOI: 10.20502/rbg.v18i3.1192.

MERTES, L.A.K.; SMITH, C.T.; ADAMS, J.B., 1993. Estimating suspended sediment concentrations in surface waters of the Amazon River wetlands from Landsat images. *Remote Sens. Environ.* v. 43, pp. 281–301, 1993.

MILLIMAN, J. D.; FARNSWORTH, K. River Discharge to the Coastal Ocean -A Global Synthesis. Indiana: Indiana University of Pennsylvania, 2011. 394p.

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.

NOVO, E.M.L.M.; HAMSOM, J.D.; CURRAN, P.J. The effect of sediment type on the relationship between reflectance and suspended sediment concentrations. *International Journal of Remote Sensing*, v. 10, pp. 1283–1289, 1989.

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.

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.; MARINHO, R. R.; ALVES, N.S.; RODRIGUES, C. ARQUIPÉLAGO DE ANAVILHANAS: UMA REVISÃO DE SUAS FORMAS, PROCESSOS E ORIGEM. *REVISTA GEONORTE*, [S. l.], v. 15, n. 48, 2024. DOI: 10.21170/geonorte.2024.V.15.N.48.166.198. Disponível em: [//www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/12465](http://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/12465). Acesso em: 15 mar. 2024.

QUEIROZ, M.S.; SOARES, A.P.A.; TOMAZ NETO, A.G. Comunidades rurais ribeirinhas e as águas do rio Solimões no município de Iranduba – Amazonas. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.4, n.1. 108-119, 2018.

RITCHIE, J.C., COOPER, C.M., YONGQING, J. Using Landsat Multispectral Scanner data to estimate suspended sediments in Moon Lake, Mississippi. *Remote Sensing of Environment*, v. 23, pp. 65–81, 1987.

RITCHIE, J.C.; COOPER, C.M. Comparison of measured suspended sediment concentrations with suspended sediment concentrations estimated from Landsat MSS data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 9, pp. 379–387, 1988.

ROSSETTI, D. F.; BERTANI, T.C.; ZANI, H.; CREMON, E.H.; HAYAKAWA, E. H. Late Quaternary sedimentary dynamics in Western Amazonia: implications for the origin of savanna/forest contrasts. *Geomorphology (Amsterdam)*, v. 177-17, p. 74-92, 2012.

SANTOS, J.O.S., NELSON, B.W., GIOVANNINI, C.A. Corpos de areia sob leitos abandonados de grandes rios. *Ciência Hoje*, v.16, pp. 22–25, 1993.

SCHUMM, S.A. A sinuosity of alluvial rivers on the great plains. *Geol.Soc. America Bull.* 74 (9), pp.1089-1100. 1963.

SILVEIRA, M. Vegetação e Flora das Campinaranas do Sudoeste Amazônico (JU-008). Relatório de Defesa Técnica, Associação S.O.S. Amazônia, Rio Branco, 2003.28 p.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. Geomorfologia Fluvial. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 320 p. ISBN: 978-85-7975-075-5

WEISSMANN, G. S.; HARTLEY, A. J.; NICHOLS, G. J. et al. Fluvial form in modern continental sedimentary basins: Distributive fluvial systems. *Geology*, v. 38, p. 39-42. doi: 10.1130/G30242.1, 2010.

WITTMANN, H.; VON BLANCKENBURG, F.; MAURICE, L.; GUYOT, J.-L.; FILIZOLA, N.; KUBIK, P.W. Sediment production and delivery in the Amazon River basin quantified by in situ-produced cosmogenic nuclides and recent river loads. *Geological Society of America Bulletin* 123: 934–950, 2011.

