



Projeções Futuras de Sedimentos no Rio Tapajós e sua possível relação com Áreas de Garimpo

Future Projections of Sediments in the Tapajós River and its possible Relationship with Mining Areas

Elielma dos Santos Sousa¹ Carlos Eduardo Aguiar de Souza Costa² Matheus Melo de Souza³ Mayke Feitosa Progênio⁴ and Ruricksson Progênio da Conceição⁵

¹ Bacharel. Universidade Federal do Pará – UFPA. Tucuruí, Pará – Brasil. elielmas669@gmail.com

² Doutor. Universidade Federal do Pará – UFPA. Tucuruí, Pará – Brasil. cecosta@ufpa.br

³ Mestre. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, São Paulo – Brasil.
matheusmelodesouza@gmail.com

⁴ Mestre. Universidade Federal do Pará – UFPA. Tucuruí, Pará – Brasil. maykefeitosa@gmail.com

⁵ Bacharel. Universidade Federal do Pará – UFPA. Tucuruí, Pará – Brasil.
ruricksson.conceicao@tucuruui.ufpa.br

Notas dos Autores

Os autores não têm conflitos de interesse a declarar.

A correspondência referente a este artigo deverá ser endereçada a Carlos Eduardo Aguiar de Souza Costa

Agradecimentos: Os autores agradecem ao professor Sagy Cohen e a doutoranda Nishani Moragoda, da Universidade do Alabama (EUA), pela atenção, esclarecimentos e disponibilização dos dados simulados para cenários futuros da grade global do modelo WBMsed para a Amazônia

Cite como - American Psychological Association (APA)

Sousa, E. S., Costa, C. E. A., Souza, M. M., Progênio, M. F., & Conceição, R. P. (2024). Future Projections of Sediments in the Tapajós River and its possible Relationship with Mining Areas. *J. Environ. Manag. & Sust.*, 13(1), 1-28, e25085.
<https://doi.org/10.5585/2024.25085>





Resumo

Objetivos: O objetivo do artigo é analisar a possível relação entre atividades de mineração ilegal e fluxo de sedimentos na bacia do rio Tapajós, no Pará.

Metodologia: Trata-se de uma pesquisa quantitativa, que utiliza simulação e modelagem para projetar os dados em diferentes cenários futuros, e análise descritiva para avaliação dos resultados.

Originalidade/Relevância: Observa-se que a Amazônia é vital na manutenção do ecossistema global e mitigação do impacto das mudanças climáticas. Neste sentido, os rios possuem grande importância na avaliação dos impactos ambientais, sociais e econômicos. Logo, esta pesquisa é relevante pelo fato de haver carência na literatura acerca do impacto de atividades garimpeiras em rios amazônicos, com ênfase no impacto das mudanças climáticas em projeções futuras, principalmente na Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós, que vem sofrendo um perceptível impacto de transporte de sedimentos.

Resultados: Os resultados permitiram identificar que o impacto antrópico pontual nos locais onde houve as medições de sedimentos tem muito mais impactos a curto prazo do que as mudanças climáticas globais, mais robustas e a longo prazo.

Contribuições sociais/para a gestão: A partir desta pesquisa, é possível afirmar que as mudanças nos sedimentos do rio Tapajós podem agir como um catalisador para os impactos ambientais que já ocorrem na região. Logo, os resultados tornam-se uma ferramenta para tomada de decisão em questões ambientais, sociais e econômicas.

Palavras-chave: hidrologia; mudanças climáticas; WBMsed; Amazônia

Future Projections of Sediments in the Tapajós River and its possible Relationship with Mining Areas

Abstract





Objective: The objective of the article is to analyze the possible relationship between illegal mining activities and sediment flow in the Tapajós river basin, in Pará.

Methodology: It is quantitative research, which uses simulation and modeling to project the data in different future scenarios, and descriptive analysis to evaluate two results.

Originality/Relevance: It is observed that the Amazon is vital in maintaining the global ecosystem and mitigating the impact of climate change. In this sense, rivers are of great importance in assessing environmental, social and economic impacts. Therefore, this research is relevant due to the fact that there is a lack in the literature about the impact of prospecting activities on Amazonian rivers, with emphasis on the impact of climate change on future projections, mainly in the Tapajós River Basin, which has been suffering a noticeable impact from transport of sediments.

Results: The results will allow us to identify the potential anthropic impact where we have the sediment measurements, which have much more short-term impacts than global climate changes, more robust and long-term.

Social contributions/ to Management: From this research, it is possible to affirm that the changes in the sediments of the Tapajós river can act as a catalyst for the environmental impacts that have already occurred in the region. Logo, the results become a tool for decision-making in environmental, social, and economic questions.

Keywords: hydrology, climatic changes, WBMsed, Amazon

Proyecciones Futuras de Sedimentos en el Río Tapajós y su Posible Relación con Áreas Mineras

Resumen

Objetivo: El objetivo del artículo es analizar la posible relación entre las actividades de minería ilegal y el flujo de sedimentos en la cuenca del río Tapajós, en Pará.





Metodología: Esta es una investigación cuantitativa, que utiliza simulación y modelado para proyectar datos en diferentes escenarios futuros, y análisis descriptivo para evaluar los resultados.

Originalidad/Relevancia: Se observa que la Amazonía es vital para mantener el ecosistema global y mitigar el impacto del cambio climático. En este sentido, los ríos son de gran importancia a la hora de evaluar los impactos ambientales, sociales y económicos. Por lo tanto, esta investigación es relevante debido a que existe una falta de literatura sobre el impacto de las actividades de prospección en los ríos amazónicos, con énfasis en el impacto del cambio climático en las proyecciones futuras, principalmente en la cuenca del río Tapajós, que ha sido sufriendo un notable impacto por el transporte de sedimentos.

Resultados: Los resultados permitieron identificar que el impacto antrópico puntual en los lugares donde se tomaron las mediciones de sedimentos tiene mucho más impactos de corto plazo que los cambios climáticos globales, que son más robustos y de largo plazo.

Contribuciones sociales/a la gestión: A partir de esta investigación, es posible afirmar que los cambios en los sedimentos en el río Tapajós pueden actuar como un catalizador de los impactos ambientales que ya ocurren en la región. Por lo tanto, los resultados se convierten en una herramienta para la toma de decisiones en temas ambientales, sociales y económicos.

Palabras clave: hidrología, cambios climáticos, WBMsed, Amazonas

Introdução

O rio e sua bacia de drenagem constituem uma unidade funcional para o ciclo da água e, também, um espaço integrador privilegiado para o estabelecimento de balanços ou ainda de validação de modelos de alteração e erosão. Dessa forma, os rios estão no coração do ciclo dos elementos, transportando para os oceanos a matéria sublevada dos continentes (Filizola & Guyot, 2011).

O conhecimento das características de uma bacia hidrográfica é fundamental para a





conservação de seus recursos naturais e norteador para a aplicação de técnicas que favoreçam o desenvolvimento sustentável. Para determinar este conhecimento é importante o monitoramento de variáveis físicas do ciclo hidrológico, como a infiltração, escoamento superficial, cotas e vazões (Pereira et al., 2016).

De acordo com Mapani, Shikangalah e Mwetulundila (2023) cidades com localização próxima a cursos d'água, sofrem de forma direta, às consequências do nível do rio, tanto de forma positiva quanto de forma negativa, associado a eventos de enchentes e secas extremas e outros fatores. Sousa, Santos e Costa (2022) citam em seu estudo a influência da sazonalidade nas vazões da bacia do rio Tapajós, cujos períodos sazonais se alternam entre períodos de águas altas (cheias) e águas baixas (secas), bem como a atuação de fenômenos climáticos. Essas mudanças do nível do rio aliado com o carreamento de sedimentos, provoca problemas para os municípios e praias presentes em áreas que sofrem interferência direta dos períodos sazonais.

A bacia do rio Tapajós é afluente da margem direita do rio Amazonas, representa uma bacia federal (por drenar mais de um Estado) e de importante contribuição para manutenção dos ecossistemas amazônicos, configurando também áreas de diferentes potenciais à exploração dos recursos naturais. Com aproximadamente 1.260.000 habitantes (IBGE, 2010), detém 6% do território brasileiro e conta com 25% do potencial hidrelétrico da Amazônia, que responde por 70% do potencial nacional (Brasil, 2005). Villela e Bueno (2016) inferem que atualmente, o sudoeste do Pará é considerado uma fronteira agrícola, onde o cultivo da soja está ganhando cada vez mais espaço.

A monocultura da soja tem grande efeito tanto no sentido econômico, como no social e ambiental, pois, suscita de infraestrutura de rodovias, ferrovias e hidrovias para o escoamento da produção e ao mesmo tempo para receber os insumos utilizados dentro da lavoura (Branco et al., 2021). Esses fatores aumentam a concentração de pessoas vivendo na região com o êxodo de outros estados em busca de serviços e oportunidades (Cardoso & Smith, 2018).





Destaca-se, também que essa região é polo de exploração de madeira e minérios de ouro da Província Tapajós, conseqüentemente contribuem para necessidade de escoamento de produção através das rodovias e pelo rio, o que contribui para aumento do desmatamento da floresta (Sauer, 2018; Neves et al., 2021).

Um Ponto importante que deve ser mencionado é a questão da erosão e assoreamento nos cursos d'água adjacente, aspectos causados pelas atividades garimpeiras, que geram danos ambientais e sobretudo contribuem para degradação e contaminação dos recursos hídricos, que afetaram toda vida humana ali existente (Souza et al., 2008). Entre os principais impactos ambientais acarretados pelo garimpo, estão a degradação da vegetação devido à abertura de estradas para o transporte dos minérios, assoreamento das águas, proveniente da descarga de sedimento das margens dos rios e a contaminação por mercúrio utilizado no processo de amalgamação para separação do ouro (Gonçalves et al., 2018)

Durante uma década, no Brasil, a quantidade de garimpo dobrou-se, já a mineração industrial, por sua vez, precisou de duas décadas para obter o mesmo resultado. Este é o terceiro ano consecutivo, o qual mais territórios são ocupados por garimpos do que pela mineração industrial (Costa & Rios, 2022). No entanto o garimpo não corresponde à mineração no sentido técnico, mas sim, a um processo arcaico de extração de recursos minerais, caracterizado pela falta de conhecimento do jazimento e falta de planejamento, recursos técnicos, além das más práticas ambientais, segurança, saúde e por fim operarem de forma ilegal, sem licença e conhecimento dos órgãos ambientais (Massaro et al., 2022)

O Bioma Amazônico concentra 91,6% da área garimpada em 2021, o Pará e Mato Grosso correspondem por 71,6% das áreas mineradas no país, ou seja, quando somamos a mineração industrial e a atividade garimpeira. Quatro dos cinco municípios Brasileiros com maior área de garimpo ficam no Pará: Itaituba (57.215 hectares), Jacareacanga (15.265 hectares), São Félix do Xingu (8.126 hectares) e Ourilândia do Norte (7.642 hectares) (MapBiomass, 2022).





Nesse viés, esta pesquisa buscou analisar parte desses impactos (presentes e futuros) em uma região que é localizada na parte central da bacia da Amazônia (sentido oeste-leste), a chamada Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós (BHRT) que possui extensos ecossistemas aquático-florestais, desde os altos relevos do cerrado mato-grossense até as baixas latitudes e altitudes. A partir de dados simulados de fluxo de sedimentos do modelo global WBMsed, disponibilizado pela Universidade do Alabama (EUA), foram realizadas as leituras para seis Pontos no Rio Tapajós em cenários climáticos futuros. Posteriormente, realizou-se as estatísticas descritivas para os dados obtidos com uma breve análise das áreas de garimpo na BHRT e sua possível interferência nesses pontos de leitura.

Metodologia

Área de estudo

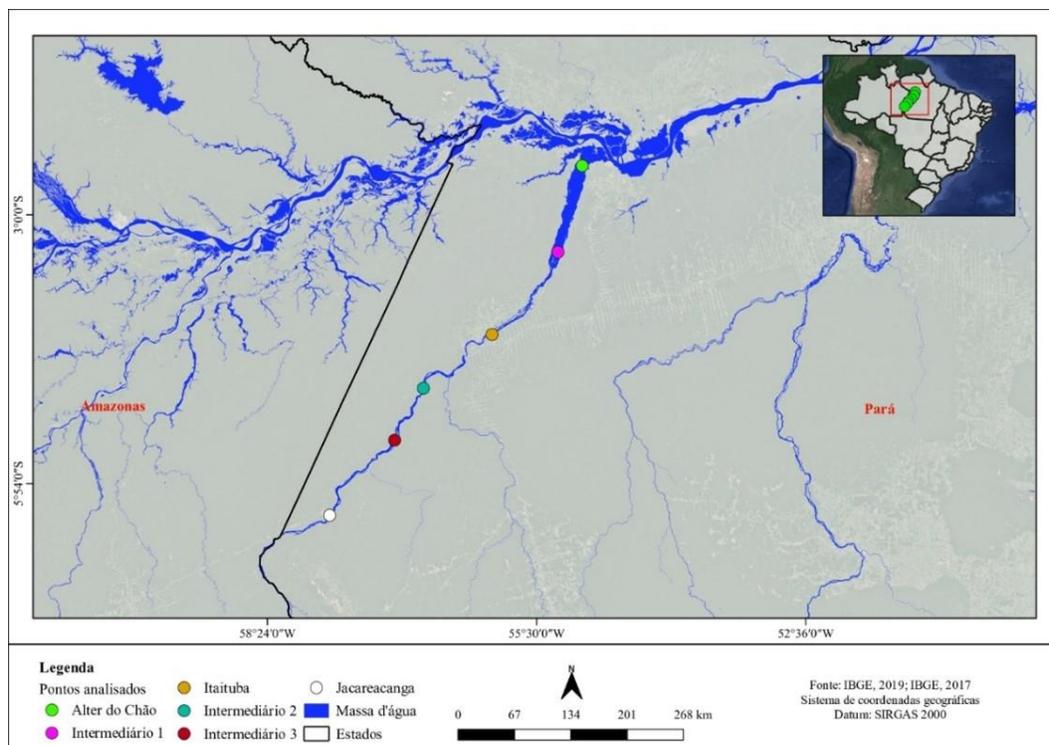
A bacia hidrográfica do Rio Tapajós é uma das bacias que possui maior potencial de geração de energia elétrica do Brasil, com uma área de 764.183 km², quase o tamanho da Suécia e Noruega juntas (Fearnside, 2015). A área de estudo compreende o Rio Tapajós que se forma a partir da confluência do rio Teles Pires com o rio Juruena que drena os estados do Pará, Amazonas e Mato Grosso. Segundo Alvares et al. (2013), a bacia hidrográfica do rio Tapajós apresenta três tipologias climáticas dentro da classificação climática de Köppen-Geiger. No alto Tapajós seu clima é classificado como Am, se caracterizando pelo clima tropical de monção, com uma breve estação seca e com chuvas intensas durante o resto do ano, o mês mais frio tem temperatura média superior a 18°C e precipitação pluvial anual oscilando em torno de 2000 mm. Já no médio Tapajós o clima é classificado com Af, tropical úmido ou superúmido, sem estação seca, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 18°C. O total das chuvas do mês mais seco é superior a 60 mm, com precipitações maiores de março a agosto, ultrapassando o total de 1.500 mm anuais. No entanto o baixo Tapajós a climatologia classifica como sendo Aw, com chuvas de verão, característica climática de regiões de savana, podendo atingir 1800 mm/ano.



O rio Tapajós possui uma extensão de aproximadamente 146 km e drena uma área de aproximadamente 131 mil km², distribuído entre os estados do Amazonas e Pará. Os Pontos foram escolhidos de forma estratégica, devido ao grande potencial econômico, estão distribuídos conforme a (Figura 1) Alter do chão - Ponto 1, intermediário 1 – Ponto 2, Itaituba – Ponto 3, intermediário 2 – Ponto 4, intermediário 3 – Ponto 5 e Jacareacanga – Ponto 6.

Figura 1

Localização dos Pontos de leitura e análise no Rio Tapajós



Na bacia do Tapajós está previsto um número expressivo de construções de barragens; até 2022 são mais de 40 projetos, entre Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e Usinas hidrelétricas (UHEs), sendo que essas últimas irão possuir uma geração superior a 30 MW cada (Lees et al., 2016). O rio Tapajós e seus afluentes são foco de planos do Ministério dos Transportes, que pretende convertê-lo em hidrovia para transporte de soja do Mato Grosso até portos no rio Amazonas (Costa et al., 2020). Outras obras de grande porte estão previstas para

o futuro, como a construção de portos fluviais para escoamento de grãos, fazendo com que a população aumente ou exploda nos próximos anos (Melo et al., 2017).

A bacia do Tapajós é um mosaico de áreas de preservação, incluindo as unidades de conservação e as terras indígenas, segundo Cavalcante et al. (2021) essa bacia possui nove unidades de conservação de proteção integral, vinte unidades de conservação de uso sustentável e trinta terras indígenas, ou seja, 40% da sua área corresponde a unidades de conservação e terras indígenas.

Obtenção e leitura dos dados do modelo WBMsed

Foram realizadas as leituras para seis pontos específicos no Rio Tapajós em cenários climáticos futuros. Utilizou-se os dados simulados de fluxo de sedimentos do modelo hidrogeomórfico em escala global WBMsed para a Amazônia, disponibilizado pelo *Surface Dynamics Modeling Laboratory* da *University of Alabama* (<https://sdml.ua.edu/datasets-2/>). Este utiliza dados forçados com projeções de Modelos de Circulação Geral (GCMs) para o futuro.

O WBMsed é robusto e simula todo o sistema fluvial global, prevendo fluxos de sedimentos suspensos e de fundo com base no modelo de balanço e transporte de água (Cohen et al., 2013). É também importante ressaltar que o fluxo de sedimentos da Amazônia pode estar muito acima do previsto em algumas áreas, devido a configuração atual do WBMsed. Este modelo também permite previsões na variação de fluxo do material em suspensão dos principais rios continentais em resposta a mudanças climáticas (Maragoda & Cohen, 2020). Optou-se pela utilização de dados simulados no estudo, dada a escassez de dados públicos de medições diretas, disponibilizados em plataformas online (como o Hidroweb-ANA).

Os cenários climáticos futuros utilizados nas simulações disponibilizadas foram os RCP's (Representative Concentration Pathway) definidos pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) de 2006 a 2100. Para este trabalho, foram selecionados dois dos quatros



cenários climáticos definidos pelo IPCC, sendo eles o RCP 4.5 e RCP 8.5. Ao determinar os cenários para a análise dos Pontos levou-se em consideração que, os cenários RCP 2.6 é o menos provável de ocorrer, enquanto o RCP 4.5 e 6.0 são cenários intermediários e desejados, ou seja, aqueles em que os países consigam controlar os níveis de emissões e o nível de CO₂ na atmosfera estabilize-se logo após 2100. Entretanto, o cenário RCP 8.5 é, reconhecidamente, o que possui mais chances de ocorrência (Schardong et al., 2014).

Como os dados do modelo estão no formato de grade global (NetCDF), a ferramenta de análise de dados de grade FERRET (<http://www.ferret.noaa.gov/ferret>) foi usada e instalada no sistema operacional Linux Ubuntu 16.04 LTS. O software foi desenvolvido pelo Thermal Modeling and Analysis Program (TMAP) do Pacific Marine Environment Laboratory (PMEL/NOAA) em Seattle, EUA, para analisar os resultados de seus modelos numéricos globais e compará-los com dados de grade observacional. (Ohunakin et al., 2015).

Análise de áreas de garimpo

No contexto amazônico as atividades de garimpagem têm aumentado drasticamente, e com elas os impactos negativos a bacia Amazônica Brasileira, por influenciar no desmatamento, nos riscos à saúde, violência, perda de culturas e identidades, irregularidade e ilegalidade dos produtos extraídos (Risso et al., 2021), além de outros aspectos negativos que acarretam sérios problemas para os povos que ali habitam em toda as suas especificidades.

Conflitos territoriais vividos pelo povo Munduruku e os Sai Cinza situados nas cidades de Itaituba e Jacareacanga na bacia do rio Tapajós, em especial relacionado com o garimpo, são importantes exemplos de como atividades relativas ao modelo desenvolvimentista e neoextrativista desestruturam o cotidiano indígena nos territórios onde atuam (Porto & Rocha, 2022; Veja et al., 2022).

Ao observar as intensas atividades garimpeiras dentro da BHRT, fez-se necessária a análise dessas áreas, espacial e quantitativa, para averiguar se o garimpo estaria possivelmente contribuindo com a demanda de sedimentos para o rio. A obtenção de dados



para realizar a pesquisa foi possível através da plataforma do MapBiomias, Fundação Nacional do Índio (FUNAI) e Agência Nacional de Mineração (ANM). Realizou-se a elaboração de um mapa, com a espacialização destas áreas, para realizar uma avaliação e comparação de uma possível correlação destas com os pontos de leitura de sedimentos.

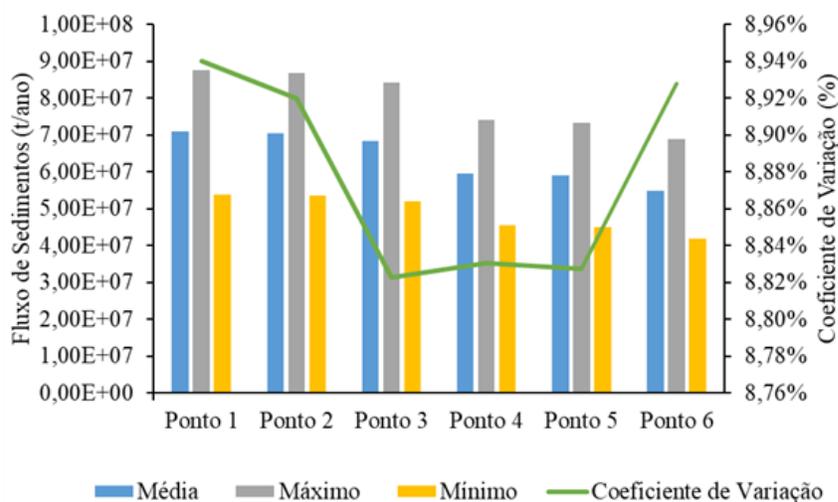
Resultados e Discussões

Análise estatística

Observa-se que a Figura 2, tem-se uma pequena variação entre os valores de máximo e mínimo nos Pontos apresentados, sendo que o Ponto 1 teve a maior máxima e o Ponto 6 o menor fluxo de sedimentos.

Figura 2

Resultados estatísticos para cenário RCP's 4.5



Ao analisar os fluxos de sedimentos para o cenário 4.5, representado na Figura 2, observa-se que as médias observadas foram, no Ponto 1 ($7,10 \times 10^7$ t/ano), Ponto 2 ($7,04 \times 10^7$ t/ano), Ponto 3 ($6,82 \times 10^7$ t/ano), Ponto 4 ($5,96 \times 10^7$ t/ano), Ponto 5 ($5,89 \times 10^7$ t/ano) e Ponto 6 ($5,47 \times 10^7$ t/ano). No Ponto 1 obteve-se a maior média, no entanto, o Ponto 6 ocorreu a

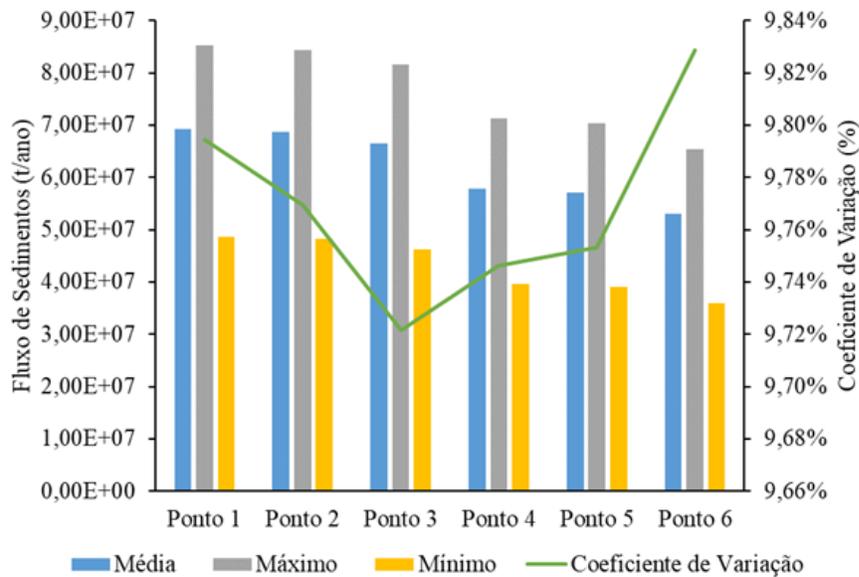


menor média. A maior máxima foi calculada no Ponto 1 que se encontra mais a foz, que apresentou $8,75 \times 10^7 \text{t/ano}$, já o Ponto 2 obteve-se cerca de $8,69 \times 10^7 \text{t/ano}$, e o Ponto 3 com $8,41 \times 10^7 \text{t/ano}$, os Pontos 4 e 5 obtiveram valores bem aproximados ($7,39 \times 10^7 \text{t/ano}$), ($7,32 \times 10^7 \text{t/ano}$) respectivamente, o Ponto 6 apresentou cerca de $6,89 \times 10^7 \text{t/ano}$.

Ao observar as mínimas percebe-se que o Ponto 1 ($5,39 \times 10^7 \text{t/ano}$), Ponto 2 ($5,35 \times 10^7 \text{t/ano}$) e Ponto 3 ($5,20 \times 10^7 \text{t/ano}$), tem valores mais próximos e a partir do Ponto 4 esse valor diminui destacando o Ponto 6 que apresenta a menor mínima entre todos os Pontos analisados cerca de $4,19 \times 10^7 \text{t/ano}$. Os Pontos 1, 2 e 3 apresentaram maiores concentrações de sedimentos, isto está atrelado ao fato de que estão localizados próximos ao rio Amazonas, corroborando com o resultado encontrado por Fassoni-Andrade e Paiva (2019) em seu estudo sobre o fluxo de sedimentos ao longo do rio Solimões-Amazonas, visto que quando em confluência com o rio Tapajós apresentou aumento no fluxo de seus sedimentos.

Considerando o coeficiente de variação os pontos com menor variabilidade entre os dados foram 4 e 5 que apresentaram respectivamente o coeficiente de 8.83%. No Ponto 1 foi quando se teve a maior dispersão entre os valores com o coeficiente de variação de 8.94%. No estudo de Fagundes et al. (2023) é citado que o fluxo de sedimentos da região amazônica irá diminuir em 16% e isso está diretamente relacionado a redução da precipitação que conforme Brêda et al. (2020) sofrerá uma redução em 27%. A Figura 3 apresenta os dados da série temporal para o cenário RCP's 8.5.



Figura 3*Resultados estatísticos para cenário RCP's 8.5*

Observa-se na Figura 3 que as médias obtidas para o cenário 8.5 foram menores em relação ao cenário 4.5, o Ponto 1 apresentou a maior média que foi de $6,93 \times 10^7$ t/ano, os Pontos 2 e 3 obtiveram ($6,87 \times 10^7$ t/ano e $6,65 \times 10^7$ t/ano), para os Pontos 4, 5, e 6 houve uma mudança, com valores inferiores aos demais, como $5,79 \times 10^7$ t/ano, $5,71 \times 10^7$ t/ano e $5,30 \times 10^7$ t/ano. No entanto, a maior máxima se estabeleceu no Ponto 1 com $8,52 \times 10^7$ t/ano, enquanto o Ponto 6 teve a menor máxima estimada em ($6,54 \times 10^7$ t/ano), os Pontos 2 e 3 ($8,44 \times 10^7$ t/ano, $8,15 \times 10^7$ t/ano) tiveram valores aproximados, assim como os Pontos 4 e 5 ($7,13 \times 10^7$ t/ano, $7,03 \times 10^7$ t/ano).

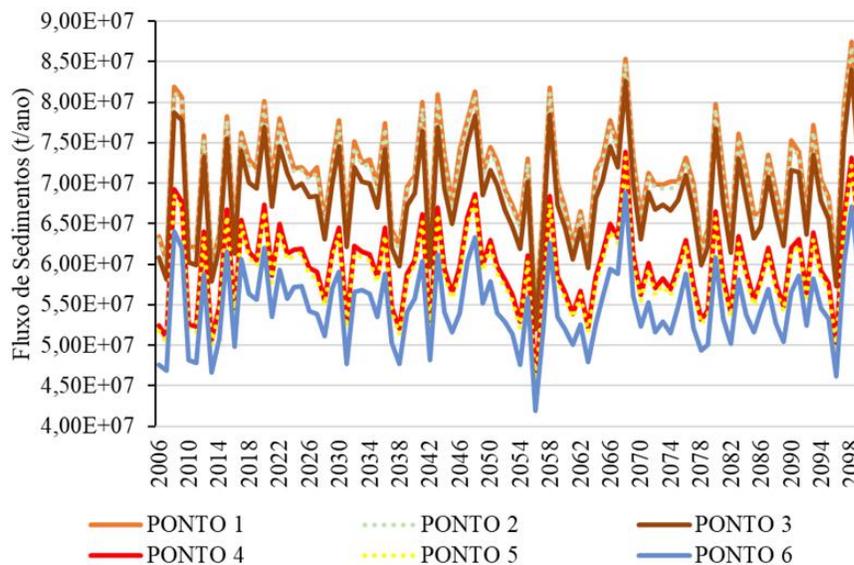
O Ponto com menor variabilidade entre os dados foi o Ponto 3 com 9,72% e com a maior variação o Ponto 6 que apresentou aproximadamente 9,83%. Com base nos valores obtidos, entende-se que o coeficiente de variação está dentro da normalidade, visto que com base em Oliveira e Camelo (2019) quando for menor ou igual a 15% é considerado baixa dispersão, logo os dados são considerados homogêneos.

Nas Figuras 4 e 5, a variação dos sedimentos no rio Tapajós e que essa variação ao

longo do século, pode estar ligada as mudanças climáticas que cada vez mais intensifica, devido aos impactos negativos provenientes da ação antrópica, logo, faz-se necessário o estudo desses impactos, juntamente com a projeção desse fluxo de sedimentos que pode auxiliar em ações mitigadoras para que não haja danos severos a comunidade e ao ecossistema presente nessa região (Montanher et al., 2018).

Figura 4

Variação dos fluxos de sedimento para RCP's 4.5



Com base na série histórica de 94 anos, observou-se que para a bacia do rio Tapajós a variação da média do fluxo de sedimentos anual para os cenários 4.5 e 8.5, (Figuras 4 e 5) foram de $3,83 \times 10^8$ t/ano e $3,72 \times 10^8$, respectivamente. Ao comparar as médias do fluxo para os dois cenários, percebe-se que as diferenças foram pequenas, aproximadamente de 2,96%.

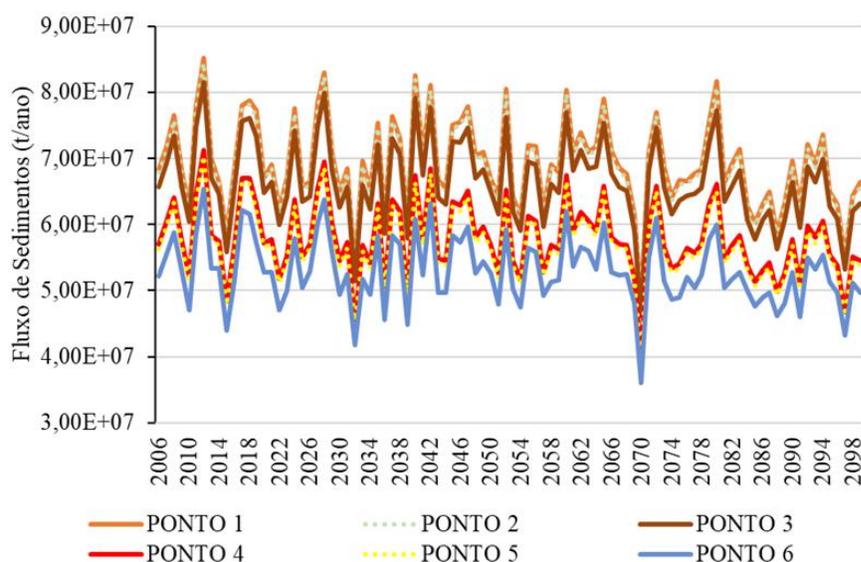
Ao analisar os resultados por décadas apresenta-se os seguintes resultados, entre os anos de 2006 e 2013 as máximas se mantiveram constantes em todos os pontos durante o período de 2008, já a mínima também se manteve constante em todos os pontos no ano de 2013, ao comparar esse mesmo período para o cenário 8.5, observa-se que no ano de 2012

ocorreram as máximas em todos os pontos e as mínimas no ano de 2015.

Nos períodos de 2036 a 2045 ocorreu uma variação na série, onde as mínimas se apresentaram em dois períodos diferentes, no Ponto 1, 2 e 3 se mantiveram no ano de 2038, já nos Pontos 4, 5, e 6 ocorreram em 2042 o mesmo se repetiu entre o período de 2066 a 2075, no entanto, a série só alternou no Ponto 6 onde ocorreu no ano de 2074, os demais anos apresentaram as mínimas em 2070, neste mesmo período no cenário 8.5 ocorram as menores mínimas de toda a série histórica, assim como aponta a Figura 5.

Figura 5

Variação dos fluxos de sedimento para RCP's 8.5



Ao analisar a série foi importante observar que os pontos 1, 2 e 3 obtiveram suas maiores máximas no ano de 2098, já os pontos 4, 5 e 6 tiveram sua maior máxima no ano de 2068, o ponto 1 possui a maior máxima ($8,75 \times 10^7$ t/ano) no cenário 4.5, no entanto, para o cenário 8.5 as maiores máximas ocorreram todas no ano de 2012, com ênfase para o ponto 1 que teve a maior máxima entre os pontos ($6,93 \times 10^7$ t/ano). Ente 2054 a 2056 em todos os Pontos ocorreram o menor fluxo de sedimentos, como demonstra a Figura 5, assim obtendo



uma mínima total de $6,36 \times 10^8$ t/ano, o mesmo ocorre no cenário 8.5, porém em anos diferentes, a variação ocorreu em 2070 com a mínima total de $2,88 \times 10^8$ t/ano.

Percebe-se um aumento na média de sedimentos do rio, no sentido mais a montante até a foz, onde observa-se a maior concentração de sedimentos. De acordo com Silva et al. (2021), em seu estudo de modelagem hidrodinâmica do rio Tapajós, foi constatado que no trecho compreendido entre os pontos 4 e 3 ocorria uma brusca redução nos níveis das lâminas d'água, isto se justifica devido à declividade do fundo do canal média era de 0,00021 m/m. Enquanto nos demais trechos (pontos 5 e 6) apresentaram declividade média de 0,00013 m/m, ou seja, cerca de 161,53 % menor quando comparado ao outro trecho citado. Em decorrência da elevada declividade, a velocidade também era alta, chegando à média de 1,49 m/s nas proximidades do ponto 4, ao passo que a velocidade média do ponto 3 correspondeu a 1,44 m/s, já no ponto 6 a velocidade é de aproximadamente de 1,19 m/s. Portanto, estas características hidrodinâmicas aliadas ao regime regular de chuvas, típico da região amazônica, mantém as consideráveis vazões do rio Tapajós com alto teor de sedimentos nas regiões da foz. Nessa região está localizado Alter do chão, que em 2009 foi eleita a praia de água doce mais bonita do mundo, ficando popularmente conhecida como “Caribe Brasileiro” (Barreto e Tavares, 2017). Isso gera uma preocupação no grande acúmulo de sedimentos nesta localidade, principalmente quando se leva em consideração o seu potencial turístico, pois atrai uma população flutuante em altas temporadas e que possivelmente estará vulnerável a possíveis efeitos negativos e passivos ambientais.

Ao analisar as projeções dos gráficos, apresentadas nas Figuras 4 e 5, para os dois cenários notasse que a uma inconsistência entre eles, esperava-se que houvesse um crescimento dos sedimentos para o cenário pessimista (8.5), no entanto, esse aumento ocorreu no cenário otimista (4.5). Os valores entre os cenários foram relativamente próximos e a diferença principal ocorreram entre os pontos do rio Tapajós e não necessariamente entre os cenários.





Os trabalhos de Yang et al. (2003) mostraram estimativas globais das taxas de erosão considerando mudanças climáticas. Eles estimaram que a taxa de erosão na América do Sul aumentaria de 1980 (8,5 t/ha.ano) para 2090 (10,3 t/ha.ano). Para a bacia Amazônica os autores estimaram, para o mesmo período, um aumento de 24% da taxa de erosão, no entanto, o estudo de Yang utiliza dados muito antigos e só avalia mudanças na erosão do solo e não nas outras componentes dos fluxos de sedimentos. Contudo, em um trabalho mais recente utilizando o modelo global WBMsed, Dunn et al. (2019) consideraram quatro projeções de mudanças climáticas, com dados mais atualizados (CMIP5) e estimaram que na bacia Amazônica haveria uma redução de 10% nas descargas de sedimentos comparando o período de 1990-2019 com o período de 2070-2099.

As conclusões de Dunn são mais próximas daquelas encontradas por Brêda et al. (2020), que indicam uma redução das precipitações na maior parte da bacia Amazônica, mostrando que com a diminuição da precipitação para os cenários futuros, haverá também uma redução nos sedimentos, ambos os estudos indicam que o impacto será superior a 29%. Além disso, as alterações no transporte de sedimentos estão associadas às mudanças que poderão ocorrer no transporte de nutrientes, que tem sido uma fonte de grande importância nos rios amazônicos para a manutenção da biodiversidade aquática e o sustento de comunidades tradicionais (Heilpern et al., 2021).

Áreas de garimpo

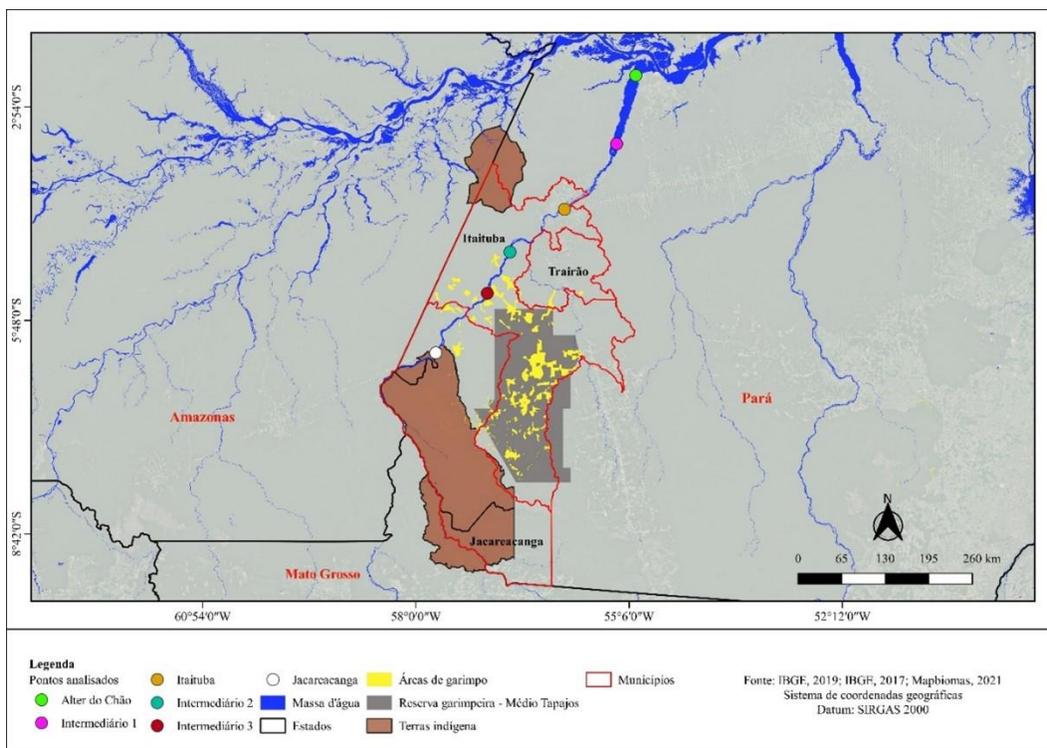
No país, foram detectadas áreas de garimpo em 232 municípios, dentre os dez municípios com maior área de garimpo no Brasil nove estão no estado do Pará e dois desses municípios dentro da bacia do Rio Tapajós. Novamente, Itaituba com cerca de 44,890 ha liderando ranking e em segundo Jacareacanga com 9.450 ha (MapBiomias 2022). Nestes municípios a prática do garimpo ilegal é comum, e informalmente, sua maior fonte de renda, o que implica diretamente no meio ambiente e em problemas socioeconômicos (Monte et al., 2021).



Segundo um levantamento realizado por Cavalcante et al. (2021), a bacia do rio Tapajós possui um alto número de usinas hidrelétricas (UHEs) a serem implementadas na região. Essas UHEs aliadas ao garimpo causam impactos negativos as águas dessa bacia, visto que o mercúrio utilizado por essas atividades mineradoras quando aliada ao barramento dos rios pode ocasionar o acúmulo de mercúrio no corpo hídrico, propiciando a metilação (Arrifano et al., 2018). As cidades supracitadas também têm dentro dos seus limites a presença de reservas indígenas como mostra a Figura 6.

Figura 6

Mapa das áreas de garimpo localizadas na BHRT



A Figura 6 apresenta os municípios que estão inseridos a bacia do rio Tapajós e as áreas de garimpo presentes na mesma. Percebe-se que o município que possui maior área de garimpo é Itaituba, onde está localizado os Pontos (intermediário 2, intermediário 3), sofrendo influência direta da atividade de garimpo, logo o fluxo de sedimentos nestes Pontos tende a ser



maiores. Segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM), o garimpo é considerado uma atividade econômica ilegal, quando é realizado em áreas que passam de 50 hectares ou em Terras Indígenas. O garimpo ilegal tanto em Montanha e Mangabal quanto nos territórios Munduruku procede de forma descontrolada com o uso de maquinários industriais (Cunha & Earp, 2022).

A alteração do leito do rio impacta diretamente sua microbiota, fenômenos que modifiquem drasticamente a vazão ou que causam turbulência no fundo do rio, podem ocasionar estresses à fauna aquática e alterar as condições físicas do curso d'água (Siddha & Sahu, 2022). O manuseio correto do processo de limpeza no garimpo, deveria ser primeiramente removido o solo orgânico para posterior recomposição da área degradada, entretanto, muitas vezes isso não é realizado e esse tipo de lavra pode ocasionar transporte de sedimentos aos rios alterando as condições físico-químicas dos recursos hídricos.

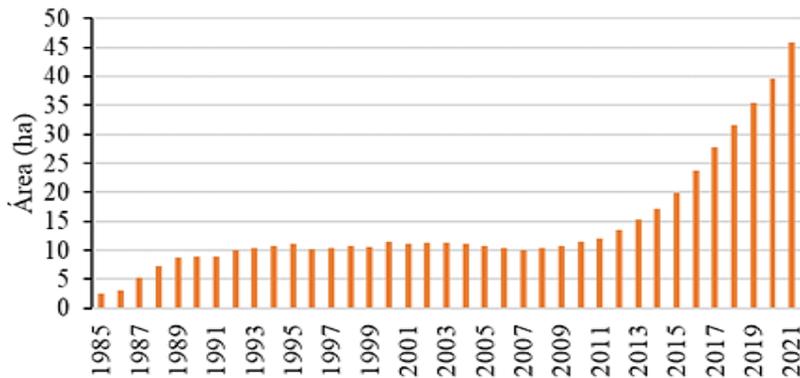
A bacia do rio Tapajós possui inúmeras áreas de garimpo, como exemplo nos municípios de Jacareacanga e Itaituba que possuem garimpos em seu território, os rejeitos que são produzidos nessas atividades, possivelmente serão carreados para o corpo hídrico, ocasionando impactos negativos, como o assoreamento dos rios e poluição da água, além da contaminação por mercúrio tanto nas espécies quanto na água desta bacia (Lobo et al., 2015; Lino et al., 2019). Como demonstrado nas Figuras 3 e 4, observa-se que ao decorrer do rio o fluxo de sedimentos ganha volume entre os Pontos analisados, essa diferença fica evidente quando a máxima no Ponto 6 é bem menor que no Ponto 1, podendo ter relação direta com a prática do garimpo nestas localidades.

Segundo o MapBiomias (coleção 7) as áreas de garimpos na bacia do Rio Tapajós, (Figura 7) saltou de 11.403 ha em 2010 para 45.893 ha em 2021, uma expansão de 34.9 hectares. A série de 37 anos (1985-2021) mostra um crescimento interrompido, contudo, o levantamento também apontou que a expansão foi mais intensa nos territórios indígenas e unidades de conservação.



Figura 7

Áreas de garimpo na BHRT



Fonte. MapBiomias (2022).

Na Figura 7 observa-se que a partir do ano de 2012 houve um crescimento acelerado nas áreas de garimpo, segundo dados observados pelo MapBiomias, isto pode estar ligado a publicação do novo código florestal e sua flexibilização no que compete a preservação e recuperação de áreas desmatadas e a construção de novas estradas (Pereira et al., 2021; Oliveira, 2015). As atividades de garimpos são conhecidas por possuírem uma alta produção de resíduos e sedimentos que são descartados em áreas inapropriadas causando diversos impactos ao meio ambiente.

Rosa e Weihs (2021) destacam em seu estudo que os métodos utilizados nessas atividades afetam a qualidade da água para consumo e que os fatores ligados a essa problemática são os sedimentos produzidos em alta quantidade, como a areia fina, que acabam por ser transportados até aos corpos d'águas, acarretando a má qualidade da água e assoreamento dos rios. O garimpo em território Yanomami pode ser o maior contribuinte para o aumento dos sedimentos no leito do rio, de acordo com o trabalho de Queiroz et al. (2022), a mineração em pequena escala tem relação direta com o aumento da concentração de sólidos em suspensão na água, além do aumento na concentração de químicos como mercúrio e níquel.



O levantamento feito pelo InfoAmazonia (2021) revelam que a poluição das minas de ouro na bacia do Tapajós já se estende por centenas de quilômetros. A montante de Jacareacanga as águas são bem turvas, A partir deste Ponto, sucessivos afluentes levam ao Rio Tapajós os sedimentos amarelo-brilhante dos garimpos. O estudo também retrata um ocorrido em janeiro de 2022, quando as claras águas de Alter do Chão deram espaço para um tom barrento, logo, foi levantada a hipótese de a mudança estar relacionada à atividade garimpeira.

Embora não existam estudos aprofundados que comprovem a atual ligação entre a mudança de cor do rio e a mineração, a hipótese levantada pelas populações tradicionais que vivem às margens do Tapajós é válida. Que a cor do rio tem mudado é fato, falta provar a causa dessa mudança. A prática do garimpo e o desmatamento têm um papel importante, pois são dois potenciais poluidores do meio ambiente. Esse cenário demonstra a necessidade de voltar o olhar para a região Amazônica que é rica em biodiversidade. Entende-se também, que a importância não apenas da replicação de estudos como esse, analisando simulações, mas as análises de medições diretas, para uma correta validação de dados se faz necessária. Isto com certeza iria contribuir não apenas para áreas importantes do meio ambiente, mas em áreas paralelas na região, mas de grande relevância para a economia (como o turismo).

Conclusões

Os resultados obtidos através das simulações feitas pelo modelo WBMsed, a partir da análise dos seis Pontos empregados em dois cenários climáticos (RCP's 4.5 e RCP's 8.5), de modo em geral causou-nos um certo impacto, pois, esperava-se que houvesse um crescimento dos sedimentos para o cenário pessimista (8.5), no entanto, esse aumento ocorreu no cenário otimista (4.5), o que demonstra que o impacto antrópico pontual nesses locais tem muito mais impactos a curto prazo do que as mudanças climáticas globais (mais robustas e a longo prazo).

Um ponto importante que chama atenção ao longo desta pesquisa é a atividade garimpeira, que se apresentou de forma acentuada na região da BHRT, trazendo danos





significativos para o meio ambiente e conseqüentemente para população. Com isso, pode-se inferir que de tal modo, estas mudanças podem agir como um catalisador para os impactos ambientais que já ocorrem na região, seja por acúmulo de sedimento, mas principalmente, questões sociais e econômicas.

Espera-se que os dados e informações deste estudo possam subsidiar projetos e dimensionamentos de obras, evitando possíveis desastres ambientais, contribuindo com a política de adaptação e mitigação. Isso dará suporte aos gestores públicos, técnicos e tomadores de decisão da região, além de incentivar outros estudos semelhantes na Amazônia e no Brasil. Por fim, tem-se que as possíveis alterações causadas por variabilidades climáticas muitas das vezes se apresentam mais sensíveis de maneira pontual, o que exige uma análise *in loco*, com medições, para ser possível perceber alguma mudança.

Referências

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. (2013).

Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, 22(6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Arrifano, G. P., Martín-Doimeadios, R. C. R., Jiménez-Moreno, M., Ramírez-Mateos, V., da Silva, N. F., Souza-Monteiro, J. R., & Crespo-Lopez, M. E. (2018). Large-scale projects in the amazon and human exposure to mercury: The case-study of the Tucuruí Dam. *Ecotoxicology and environmental safety*, 147, 299-305.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.048>.

Barreto, E. D. O., & Tavares, M. G. D. C. (2017). O turismo de base comunitária em uma comunidade ribeirinha da amazônia: O caso de anã na reserva extrativista tapajós-arapiuns, santarém(Pa). *Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur)*, 10(3).

<https://doi.org/10.34024/rbecotur.2017.v10.6621>.





- Branco, J. E. H., Bartholomeu, D. B., Junior, P. N. A., & Caixeta Filho, J. V. (2021). Mutual analyses of agriculture land use and transportation networks: The future location of soybean and corn production in Brazil. *Agricultural Systems*, 194, 103264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103264>.
- Brazil. Ministry of the Environment. National Water Agency (ANA). (2005). *Harnessing hydraulic potential for power generation*. Water Resources Booklets. Brasília. Retrieved in 2022 November 30, from: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/an000005>.
- Brêda, J. P. L. F., de Paiva, R. C. D., Collischon, W., Bravo, J. M., Siqueira, V. A., & Steinke, E. B. (2020). Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections. *Climatic Change*, 159(4), 503–522. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02667-9>.
- Cardoso, O., & Smith, F. P. (2018). Trabalho emigração no sudoeste do Pará: O caso de Altamira, Amazônia, Pará. *Revista Gestão em Conhecimento*, 2(2), 9–9. <https://doi.org/10.56798/RGC-02-2018-01>.
- Cohen, S., Kettner, A. J., Syvitski, J. P., & Fekete, B. M. (2013). WBMsed, a distributed global-scale riverine sediment flux model: Model description and validation. *Computers & Geosciences*, 53, 80-93. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.08.011>.
- Costa, C. E. A. S., Blanco, C. J. C., & de Oliveira-Júnior, J. F. (2020). IDF curves for future climate scenarios in a locality of the Tapajós Basin, Amazon, Brazil. *Journal of Water and Climate Change*, 11(3), 760-770. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.202>
- Costa, M. A., & Rios, F. J. (2022). The gold mining industry in Brazil: A historical overview. *Ore Geology Reviews*, 148, 105005. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105005>.
- Cunha, A. M. B. M. D., & Earp, M. V. D. S. (2022). *O setor mineral brasileiro e o impacto socioambiental causado pela exploração ilegal dos recursos minerais*. CETEM/MCTI.



- Série Estudos e Documentos. Rio de Janeiro. Retrieved in 2022 November 30, from:
<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2624/1/SED-110.pdf>.
- Dunn, F. E., Darby, S. E., Nicholls, R. J., Cohen, S., Zarfl, C., & Fekete, B. M. (2019).
Projections of declining fluvial sediment delivery to major deltas worldwide in response
to climate change and anthropogenic stress. *Environmental Research Letters*, 14(8),
084034. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab304e>.
- Fagundes, H., O., De Paiva, R. C. D., Brêda, J. P. L. F., Fassoni-Andrade, A. C., Borrelli, P., &
Fan, F. M. (2023). An assessment of South American sediment fluxes under climate
changes. *Science of The Total Environment*, 879, 163056.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163056>.
- Fassoni-Andrade, A. C., & de Paiva, R. C. D. (2019). Mapping spatial-temporal sediment
dynamics of river-floodplains in the Amazon. *Remote sensing of environment*, 221, 94-
107. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.038>.
- Fearnside, P. M. (2015). Amazon dams and waterways: Brazil's Tapajós Basin plans. *Ambio*,
44, 426-439. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0642-z>
- Filizola, N., & Guyot, J. L. (2011). Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia.
Brazilian Journal of Geology, 41, 566-576. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2011414566576>.
- Gonçalves, L. D. P., Lisboa, G. S., & Bezerra, J. F. R. (2017). Alterações ambientais
decorrentes da extração do ouro no garimpo de caxias- município de Luís Domingues-
ma. *Revista Equador*, 6(2), 165–179. <https://doi.org/10.26694/equador.v6i2.6508>.
- Heilpern, S. A., DeFries, R., Fiorella, K., Flecker, A., Sethi, S. A., Uriarte, M., & Naeem, S.
(2021). Declining diversity of wild-caught species puts dietary nutrient supplies at risk.
Science Advances, 7(22), eabf9967. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abf9967>.





- IBGE. Brazilian Institute of Geography and Statistics. (2010). *Demographic census*. General sample results. Retrieved in 2022 December 11, from:
<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000008473104122012315727483985.pdf>.
- Lees, A. C., Peres, C. A., Fearnside, P. M., Schneider, M., & Zuanon, J. A. S. (2016). Hydropower and the future of Amazonian biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 25(3), 451–466. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1072-3>.
- Lino, A. S., Kasper, D., Guida, Y. S., Thomaz, J. R., & Malm, O. (2019). Total and methyl mercury distribution in water, sediment, plankton and fish along the Tapajós River basin in the Brazilian Amazon. *Chemosphere*, 235, 690-700.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.212>.
- Lobo, F. L., Costa, M. P., & Novo, E. M. (2015). Time-series analysis of Landsat-MSS/TM/OLI images over Amazonian waters impacted by gold mining activities. *Remote Sensing of Environment*, 157, 170-184. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.030>.
- Mapani, B. S., Shikangalah, R. N., & Mwetulundila, A. L. (2022). A review on water security and management under climate change conditions, Windhoek, Namibia. *Journal of African Earth Sciences*, 197, 104749. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104749>.
- Moragoda, N., S. Cohen, (2020). Climate-induced Trends in Global Riverine Water Discharge and Suspended Sediment Dynamics in the 21st Century. *Global and Planetary Change*, 191, 103199. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103199>
- Massaro, L., Calvimontes, J., Ferreira, L. C., & de Theije, M. (2022). Balancing economic development and environmental responsibility: Perceptions from communities of garimpeiros in the Brazilian Amazon. *Resources Policy*, 79, 103063.
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103063>.





- Meech, J. A., Veiga, M. M., & Tromans, D. (1997). Emission and stability of mercury in the Amazon. *Canadian metallurgical quarterly*, 36(4), 231-239.
[https://doi.org/10.1016/S0008-4433\(97\)00015-3](https://doi.org/10.1016/S0008-4433(97)00015-3).
- Melo, A. C. S., Vieira, A. T. S., & Cordeiro, B. A. F. (2017). Diagnosis of the potential for soybeans outflow through ports in the State of Pará: a bibliographical and documentary analysis. *InterSciencePlace*, 12(3). <http://dx.doi.org/10.6020/1679-9844/v12n3a8>
- Montanher, O. C., Novo, E. M. L. D. M., & Souza Filho, E. E. D. (2018). Temporal trend of the suspended sediment transport of the Amazon River (1984–2016). *Hydrological sciences journal*, 63(13-14), 1901-1912. <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1546387>.
- Monte, C. N., Rodrigues, A. P. C., Macedo, S., Régis, C., Saldanha, E. C., Ribeiro, A. C. & Machado, W. (2021). A influência antrópica na qualidade da água do rio Tapajós, na cidade de Santarém-PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(06), 3695-3710.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3695-3710>.
- Neves, P. B. T., Blanco, C. J. C., Duarte, A. A. A. M., das Neves, F. B. S., das Neves, I. B. S., & dos Santos, M. H. D. P. (2021). Amazon rainforest deforestation influenced by clandestine and regular roadway network. *Land Use Policy*, 108, 105510.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105510>.
- Ohunakin, O. S., Adaramola, M. S., Oyewola, O. M., Matthew, O. J., & Fagbenle, R. O. (2015). The effect of climate change on solar radiation in Nigeria. *Solar Energy*, 116, 272-286.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.03.027>.
- Oliveira, M. V. G., & Camelo, G. L. P. (2019). Indicadores ambientais para o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. *Holos*, 8, 1-15.
<http://dx.doi.org/10.15628/holos.2019.9205>.
- Pereira, M. A. F., Campo, G. F. N., Castro, M. K., & Castro, N. M. D. R. (2016). Regionalization with hydraulic geometry and fractal: case study with geomorphologic instantaneous unit





hydrograph. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21, 347-359.

<https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p347-35>.

Pereira, O. A. V., Caetano, J. A., da Silva Anacleto, J. V., & Ferraz, P. M. (2021). Políticas ambientais do governo federal e sua relação com o bioma amazônico. *Revista Mediação*, (11). Retrieved in 2022 December 11, from:

<https://revista.uemg.br/index.php/mediacao/article/view/5467>.

Porto, M. F. D. S., & Rocha, D. (2022). Neoextrativismo, garimpo e vulnerabilização dos povos indígenas como expressão de um colonialismo persistente no Brasil. *Saúde em Debate*, 46, 487-500. <https://doi.org/10.1590/0103-1104202213317>.

Projeto Mapbiomas. (2022). *7ª Coleção da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. Retrieved in 2022 November 6, from: <https://mapbiomas.org/produtos>.

Queiroz, J., Gasparinetti, P., Bakker, L. B., Lobo, F., & Nagel, G. (2022). Socioeconomic cost of dredge boat gold mining in the Tapajós basin, eastern Amazon. *Resources Policy*, 79, 103102. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103102>.

Rosa, P. P., & Weihs, M. L. (2021). Devastação Ambiental e Riscos à Saúde: O doloroso Legado do Garimpo de Ouro a Agricultores Familiares da Amazônia Mato-Grossense. *Science*, 10(2). <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2021v10i2.p66-80>.

Sauer, S. (2018). Soy expansion into the agricultural frontiers of the Brazilian Amazon: The agribusiness economy and its social and environmental conflicts. *Land use policy*, 79, 326-338. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.030>.

Schardong, A., Simonovic, S. P., & Garcia, J. I. (2014). O possível efeito de mudanças climáticas e suas incertezas sobre afluências em sistemas de recursos hídricos. *Revista de Gestão de Água Da América Latina*, 11(2), 53-65.

<https://doi.org/10.21168/reg.v11n2.p53-65>.





- Siddha, S., & Sahu, P. (2022). Impact of climate change on the river ecosystem. *Ecological Significance of River Ecosystems*, 79-104. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00014-5>.
- Silva, E. C. R., Alves, F. B., Souza, M. J. R., Progênio, M. F., & de Souza Costa, C. E. A. (2021). Modelagem Hidrodinâmica como ferramenta de apoio à Gestão Hídrica do RIO Tapajós. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 22(2). <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i2.1975>
- Sousa, E. S., Santos, V. C., & Costa, C. E. A. S. (2022). Influência de fenômenos climáticos sobre o regime de vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós. *Holos Environment*, 22(1), 18-30. <https://doi.org/10.14295/holos.v22i1.12464>.
- Souza, L. D., Carvalho, M. D., Corrêa, B. D. S., & Silva, M. D. (2008). Consequências da atividade garimpeira nas margens do Rio Peixoto de Azevedo no perímetro urbano do município de Peixoto de Azevedo–MT. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 8(2), 220-231.
- Vega, A., Fraser, J. A., Torres, M., & Loures, R. (2022). Those who live like us: Autodemarcations and the co-becoming of Indigenous and beiradeiros on the Upper Tapajós River, Brazilian Amazonia. *Geoforum*, 129, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2022.01.003>.
- Villela, R., & Bueno, R. S. (2016). *A expansão do desmatamento no estado do Pará: população, dinâmicas territoriais e escalas de análise*. Anais do XX Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Foz do Iguaçu, 1-15.

