



Universidade Federal do Amapá
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



IGOR FELIPE CASTELO ROCHA

ANÁLISE DA VAZÃO E DO FLUXO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS DOS CANAIS
NORTE E SUL DO RIO AMAZONAS

MACAPÁ - AP

2022

IGOR FELIPE CASTELO ROCHA

ANÁLISE DA VAZÃO E DO FLUXO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS DOS CANAIS
NORTE E SUL DO RIO AMAZONAS

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais
(PPGCA) da Universidade Federal do
Amapá, como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em
Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Daímio Chaves Brito

MACAPÁ - AP
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá
Elaborada por Jamile da Conceição da Silva – CRB-2/1010

-
- R672a Rocha, Igor Felipe Castelo.
Análise da vazão e do fluxo de sedimentos suspensos dos canais norte e sul do rio Amazonas / Igor Felipe Castelo Rocha - 2022.
1 recurso eletrônico. 24 f.
- Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Macapá, 2022.
Orientador: Professor Mestre Daímio Chaves Brito
- Modo de acesso: World Wide Web.
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).
- Inclui referências.
1. Amazonas – Rio – Vazão. 2. Sedimento (Geologia). 3. Sedimentos em suspensão. I Brito, Daímio Chaves, orientador. III. Título.

Classificação Decimal de Dewey. 22 ed. 551.3

ROCHA, Igor Felipe Castelo. **Análise da vazão e do fluxo de sedimentos suspensos dos canais norte e sul do rio Amazonas**. Orientador: Daímio Chaves Brito. 2022. 24 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Macapá, 2022.

IGOR FELIPE CASTELO ROCHA

**ANÁLISE DA VAZÃO E DO FLUXO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS DOS CANAIS
NORTE E SUL DO RIO AMAZONAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovada em ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daímio Chaves Brito – Universidade do Estado do Amapá (UEAP)

Profa. Dra. Marcela Nunes Videira – Universidade do Estado do Amapá (UEAP)

Prof. Dr. Gabriel Araújo da Silva – Universidade do Estado do Amapá (UEAP)

Prof. Dr. Joel Estevão de Melo Diniz – Universidade Federal do Amapá (UNIFAP)

AGRADECIMENTOS

Primeiro agradeço a Deus pela graça de chegar até aqui com saúde mesmo trabalhando na linha de frente do combate ao COVID-19 e enfrentando uma pandemia que levou muitos amigos e entes queridos.

Agradeço a minha esposa Priscila Gomes pela ajuda nos momentos difíceis e pela parceria que permanecerá até o fim de nossas vidas.

Agradeço aos meus pais que me deram a oportunidade de estudar.

Agradeço aos meus irmãos aos quais procuro mostrar que pelos estudos podemos chegar onde queremos.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Daímio Brito, ao Prof. Dr. Joel Diniz, ao Prof. Dr. Alan Cunha e demais membros pela oportunidade de compor e desenvolver os trabalhos no grupo de pesquisa.

Agradeço aos meus amigos e colegas de turma pela parceria.

Agradeço a minha chefe e aos meus colegas de trabalho pela compreensão e incentivo.

Agradeço a coordenação do programa e aos professores por compartilharem seus conhecimentos.

RESUMO

ROCHA, I. F. C.. **Análise da Vazão e do Fluxo de Sedimentos Suspensos dos Canais Norte e Sul do Rio Amazonas**. 24 f. Dissertação – Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2022.

O Rio Amazonas possui uma área de drenagem e de descarga anual que corresponde a 20% da demanda de água doce do mundo e representa 1/5 de todos os rios existentes. Devido a alta variabilidade de chuvas sazonais na região, o Rio apresenta um período de cheia onde o volume chega a amplitude anual de 10 metros, mas também apresenta um período de seca, e é classificado em três tipos: rios de água branca, rios de água preta e rios de água clara. Nas campanhas de amostragens integradas do transecto foram utilizadas as abordagens dos hidrogramas elaborados por Richey et al. (2004) e os protocolos descritos no projeto CAMREX (Experimento de Carbono no Rio Amazonas). O medidor ADCP-M9 RIVERSURVEYOR da SONTEK foi utilizado para medir a vazão dos canais e para a análise dos sedimentos foram aplicadas as técnicas e metodologias da American Public Health Association (APHA). Os canais norte e sul do Rio Amazonas apresentaram valores de vazões próximas ao apresentado pelo mesmo Rio ao desaguar no Oceano Atlântico, sendo os valores máximos de vazão apresentados durante o período de cheia e os valores mínimos durante o período de seca. Observou-se também que o fluxo de sedimentos suspensos, nos pontos de amostragem, durante a cheia é maior do que no período de seca, indicando a influência da sazonalidade na quantificação destes componentes e na espacialidade.

Palavras-chave: Rio Amazonas, Sedimentos Suspensos, Vazão.

ABSTRACT

ROCHA, I. F. C.. Analysis of the Flow and Flow of Suspended Sediments of the North and South Channels of the Amazon River. 24 p. Master Thesis – Department of Environment and Development, Federal University of Amapá, Macapá, 2022.

The Amazon River has an annual drainage and discharge area that corresponds to 20% of the world's freshwater demand and represents 1/5 of all existing rivers. Due to the high variability of seasonal rainfall in the region, Rio has a period of flooding where the volume reaches an annual amplitude of 10 meters, but it also has a period of drought, and is classified into three types: white water rivers, black water and clear water rivers. In the transect integrated sampling campaigns, the hydrograph approaches developed by Richey et al. (2004) and the protocols described in the CAMREX project (Carbon Experiment on the Amazon River). SONTEK's ADCP-M9 RIVERSURVEYOR meter was used to measure channel flow and the American Public Health Association (APHA) techniques and methodologies were applied for sediment analysis. The north and south channels of the Amazon River presented flow values close to those presented by the same river when it flows into the Atlantic Ocean, with the maximum flow values presented during the flood period and the minimum values during the dry period. It was also observed that the flow of suspended sediments, at the sampling points, during the flood is greater than in the dry period, indicating the influence of seasonality in the quantification of these components and in spatiality.

Keywords: Amazon River, Suspended Sediments, Flow.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5 CONCLUSÃO	20
6 REFERÊNCIAS	20

ANÁLISE DA VAZÃO E DO FLUXO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS DOS CANAIS
NORTE E SUL DO RIO AMAZONAS

Artigo submetido ao periódico Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais

INTRODUÇÃO

A conservação e manejo sustentável das bacias hidrográficas tropicais, onde as florestas são um dos protagonistas nos ciclos de água e carbono e também são grande reservatórios de diversidade biológica, somente é possível quando se compreende a interação entre a variabilidade climática e a cobertura da terra (ARIAS et al., 2018). As florestas funcionam como um regulador do clima global através do mecanismo de transpiração da água, formação de nuvens e circulação atmosférica, onde trocam mais água e carbono com a atmosfera do que qualquer outro bioma (LEWIS et al., 2015).

A Amazônia Legal, em território brasileiro, demonstra o resultado do uso e ocupação do solo estabelecido em conjunto com o seu regime hídrico. Tais condições apresentam um potencial teórico de degradação onde se considera os eventos de intensa precipitação local (SOUZA et al., 2013). A pressão antrópica sobre ambientes aquáticos e os fatores naturais estão relacionados à deterioração da qualidade da água (ALVES, 2012). Para garantir a disponibilidade de água de boa qualidade se faz necessário a manutenção e monitoramento dos ambientes aquáticos utilizados para abastecimento, geração de energia, irrigação, navegação, aquicultura e recreação (AFFONSO, 2011).

O Rio Amazonas possui uma área de drenagem de 6×10^6 km² e uma descarga anual de $5,5 \times 10^9$ m³/ano, o que equivale a 20% do fluxo global de água doce ao oceano e a 1/5 de todos os rios existentes (PEREIRA et al., 2011). Devido à alta abundância das chuvas sazonais na região Andina, a variação anual do nível da água do Rio Amazonas chega a uma amplitude anual média de até 10 metros correspondendo a 230 dias do período de incubação (AFFONSO, 2011). Sabe-se que a variação interanual e sazonal da estação chuvosa é modulada através dos padrões oceano-atmosfera de grande escala, associados ao ciclo do El

Niño-Oscilação Sul sobre o Oceano Pacífico e as fases do gradiente meridional inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar sobre o Oceano Atlântico intertropical (SOUZA, 2009).

É responsável por aproximadamente 20% da descarga de água doce do mundo e a biomassa florestal contém cerca de 100 bilhões de toneladas de carbono que equivale a 10 anos de emissões globais de combustíveis fósseis. O que exige melhor compreensão da vulnerabilidade e da resiliência dos ecossistemas amazônicos perante mudanças para que se mantenha a integridade da sua biodiversidade (DAVIDSON, 2012).

Segundo Cunha (2013) os rios da Amazônia são classificados em três tipos de qualidade da água: rios de água branca, com origem na região andina e pré-andina e coloração branca ou barrenta devido aos sedimentos transportados; rios de água preta com drenagem de sedimentos terciários em seu leito, influência da área florestal e pH ácido; e rios de água clara caracterizadas como transparentes devido ao pouco material em suspensão.

A capacidade hídrica de determinada região pode ser quantificada pelo balanço hídrico climatológico onde se evidencia as variações sazonais dos excedentes e as deficiências hídricas através das relações entre entradas e saídas de água de uma condição de controle como a precipitação pluvial e a evapotranspiração potencial (SOUZA et al., 2013). A geologia, a topografia, o clima, a substituição da vegetação natural impactam na qualidade da água. Tamanho, forma, inclinação, área de drenagem e comprimento são características que influenciam a hidrologia de uma bacia hidrográfica e ajudam a identificar os efeitos de mudanças do uso da terra na sua composição biogeoquímica (ALMADA, 2019).

A partir da análise morfométrica de uma bacia hidrográfica podemos obter dados sobre a sua dinâmica em conjunto com os dados hidrológicos, permitindo avaliações quanto a sua vulnerabilidade ambiental, além de auxiliar nas intervenções de manejo (ALMADA, 2019). Os métodos que estimam características de inundação e mudanças de armazenamento de água foram criados por avanços significativos na compreensão e previsão da magnitude, tendência, tempo e particionamento de estoques terrestres de água e fluxos e riscos hidrológicos (BEIGHLEY et al., 2009).

Na bacia amazônica, os Andes com altas altitudes e encostas, os escudos da Guiana e do Brasil com encostas moderadas e a planície amazônica com encostas muito baixas e com extensas áreas inundadas de forma sazonal, são as unidades morfológicas predominantes. A região possui uma complexidade hidráulica fluvial com encostas baixas que causam efeitos remansos para controlar a dinâmica do rio (DE PAIVA et al., 2013). Em pequenas bacias, as mudanças recentes de uso da terra devido ao desmatamento da floresta amazônica alteraram os orçamentos de exportação das bacias (MARKEWITZ et al., 2001; BUSTILLO et al., 2011).

A descarga interanual do Rio Amazonas possui um alto índice de variabilidade causando desde inundações a estágios de água muito baixos, como o período de seca ocorrida em 2005 que afetou as sub-bacias ocidentais (Rios Solimões e Madeira) durante o período de declínio do nível hídrico (meses de outubro e novembro) (MARENGO et al. 2008; ZENG et al., 2008; VILLAR et al., 2009). A expansão agrícola, a degradação florestal e as mudanças climáticas afetam a hidrologia e impacta nos setores relacionados à água da região, como a redução de água potável, a perturbação da navegação fluvial e a redução da geração de energia hidrelétrica (FARINOSI et al., 2019).

Martinez et al. (2009) detectou uma tendência crescente de descarga de sedimentos na Amazônia, mas os impactos causados pelo homem ainda não são percebidos no trajeto da bacia amazônica devido as áreas de várzea e corredores de córregos que agem como um tampão ao minimizarem as perturbações causadas a montante (TARDY et al., 2009; BUSTILLO et al., 2011). Devido a esta complexidade se faz necessário uso de modelos que levem em consideração as trocas bidirecionais de água entre a parte alagada do rio e o reservatório de águas subterrâneas (COSTA et al., 2002).

Não há um conjunto de dados de geometria global de rios disponível para estudos hidrológicos, geralmente a largura de um rio e a altura do banco é parametrizada via formulações matemáticas empíricas como funções da área de drenagem a montante ou descarga de água em células de grade (YAMAZAKI et al. , 2011; DESCHARME et al., 2012). A rugosidade do leito do rio, representada pelo coeficiente de aspereza de Manning, assim como outras características hidráulicas da maioria dos rios no mundo são desconhecidas e mensuradas por estimativas, levando em conta regiões de clima semelhantes. Tais

estimativas são importantes fontes de incerteza em estudos globais de modelagem da superfície da água (GETIRANA et al., 2013).

Os modelos numéricos são utilizados para integrar o funcionamento do sistema do Rio Amazonas e seus componentes climáticos, hidrológicos e biogeoquímicos. As ferramentas e os conhecimentos derivados desta metodologia ajudam a compreender como o sistema fluvial responde à variação climática natural e às mudanças históricas de cobertura da terra e sua reposta frente a estas mudanças (COE, COSTA, HOWARD, 2008). Segundo Buarque (2015) os modelos utilizados atualmente que integram as componentes hidrológicas e de sedimentos apresentam simplificações em um desses componentes. Modelos como SWAT, SWIM, SedNET, LASCAM podem ser utilizados em bacias de diferentes escalas, mas a medição da propagação das vazões e a representação de efeitos de remansos e das planícies de inundações no retardo e no amortecimento dos hidrogramas são dificultadas devido as simplificações adotadas, o que dificulta a aplicação em grandes bacias onde os efeitos são significativos e controlam o regime de vazões e a dinâmica de sedimentos (KRYSANOVA et al., 1996; SIVAPALAN et al., 1996; ARNOLD et al., 1998; PROSSER et al.; 2001).

Guyot et al. (1994) a partir dos dados de 15 estações de medição de sedimentos em suspensão na bacia do rio Grande, coletados entre 1969 a 1990, conseguiram avaliar a variabilidade temporal do transporte de sedimentos dos Andes e chegar a conclusão de que a maior parte do transporte ocorre no período de cheia (Janeiro a Março), o que representa 90% da carga anual.

A partir das análises das séries de concentrações de sedimentos em suspensão na superfície d'água da base de dados do ORE-HYBAM, no período de 2000 a 2010, Villar et al. (2013) conseguiram apresentar a existência de um comportamento semelhante ao do ciclo hidrológico da bacia, com aumento dos sedimentos em suspensão durante o período de aumento dos níveis d'água e redução dos valores até o período de águas baixas. Tal comportamento corrobora resultados obtidos por Filizola e Guyot (2009) que demonstraram que na bacia do Rio Madeira não há a existência de uma relação simples entre descargas sólidas e líquidas.

Segundo Duarte (2015) a bacia do rio Madeira, assim como a bacia do rio Negro, possui características distintas em termos de dinâmica dos fluxos d'água e de sedimentos, tais

características influenciam de forma significativa o escoamento e o transporte de sedimentos ao longo do rio Amazonas (GUYOT, 1993).

No município de Óbidos, local da última estação de medição de vazão e descarga sólida existente ao longo do rio Amazonas onde é possível desprezar o efeito da maré, podemos verificar um sistema de controle da concentração de sedimentos em suspensão dependente das contribuições do rio Madeira durante certo período de tempo e da ausência de contribuições de sedimentos do rio Negro em determinado período de tempo (BOURGOIN et al., 2007).

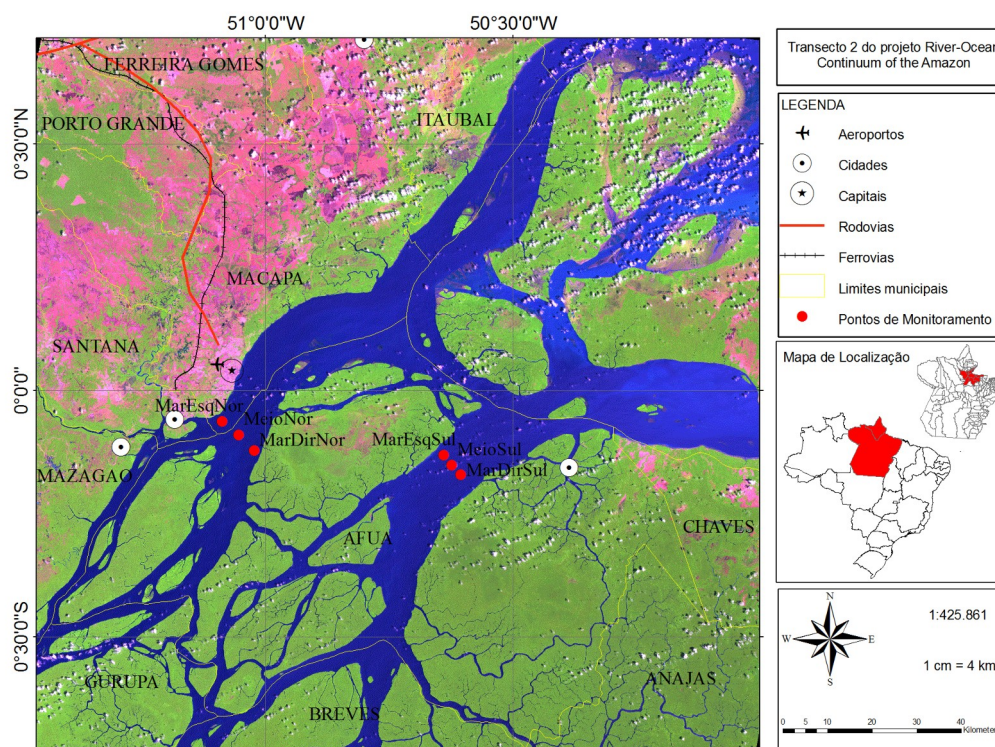
A presente investigação tem como objetivo fazer uma análise da vazão (fluxo hidrodinâmico) e o fluxo de sedimentos suspensos (fluxo geoquímico) dos canais norte e sul do Rio Amazonas, localizados entre os estados do Amapá e Pará, a partir da influência da sazonalidade e da espacialidade (pontos de amostragem) destes canais e como a vazão e o fluxo de sedimentos estão relacionados. Este trabalho é continuação dos trabalhos desenvolvidos por Brito (2013) e Diniz (2018).

MATERIAL E MÉTODOS

As campanhas de amostragens integradas foram conduzidas expandindo-se as abordagens dos hidrogramas elaborados por Richey et al. (2004) e tendo como pressuposto os protocolos dos transectos de amostragem originalmente descritos no projeto CAMREX (Carbon in the Amazon River Experiment ou Experimento de Carbono no Rio Amazonas) e otimizados no decorrer dos últimos vinte anos (RICHEY et al., 1986, 1990).

O Transecto do Rio Amazonas a ser estudado (figura 1) tem como escoamento principal o norte da Ilha do Marajó. Como a linha d'água do mar historicamente não ultrapassa a linha de divisão na desembocadura do rio, exatamente em frente a cidade de Macapá (NIKIEMA; DEVENON; BAKLOUTI, 2007), considera-se que esse afluente de montante representa um componente exclusivamente de características do próprio rio, ou puramente fluvial.

Figura 1: Transecto de estudo na desembocadura do rio Amazonas em frente a Macapá.



Fonte: BRITO (2013).

Neste transecto estão localizadas as seis seções de amostragem, representadas por círculos vermelhos nos dois canais, a partir das quais foram desenvolvidas as coletas de campo (Tabela 1).

Tabela 1: Coordenadas geográficas dos locais de amostragem deste estudo

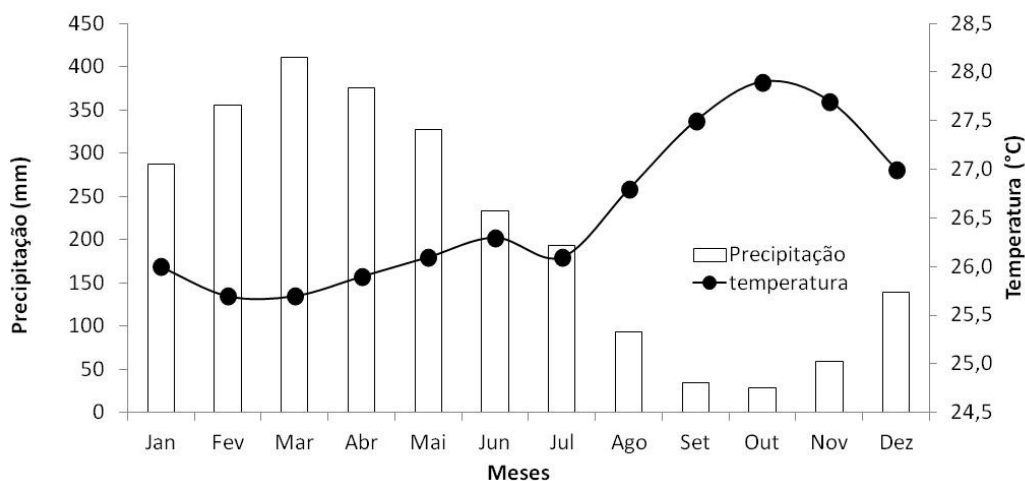
Ponto	Local	Coordenadas	
Margem Esquerda - Canal Norte	Rio Amazonas	S00°03,792'	W51°05,181'
Centro do canal - Canal Norte	Rio Amazonas	S00°05,400'	W51°03,200'
Margem Direita - Canal Norte	Rio Amazonas	S00°07,300'	W51°01,300'
Margem Esquerda - Canal Sul	Rio Amazonas	S00°07,882'	W50°38,369'
Centro do canal - Canal Sul	Rio Amazonas	S00°09,096'	W50°37,407'
Margem Direita - Canal Sul	Rio Amazonas	S00°10,245'	W50°36,295'

Fonte: BRITO (2013).

As amostragens dos sedimentos e medida da descarga líquida (vazão) ocorreram nos meses de maio (período de cheias) e novembro (período de estiagem) de 2014, julho (período de transição das cheias para a estiagem) de 2015 e fevereiro (período de transição da estiagem para as cheias) de 2016. Períodos (Figura 2) caracterizados pelas normais climatológicas da

precipitação e temperatura média do ar para o município de Macapá, localidade que abrange a área de estudo.

Figura 2: Normais climatológicas da precipitação e temperatura média do ar para Macapá entre 1961 e 2009.



Fonte: NHMET – IEPA/2013.

Para a quantificação da vazão ou descarga líquida, o processo de medição consiste em:

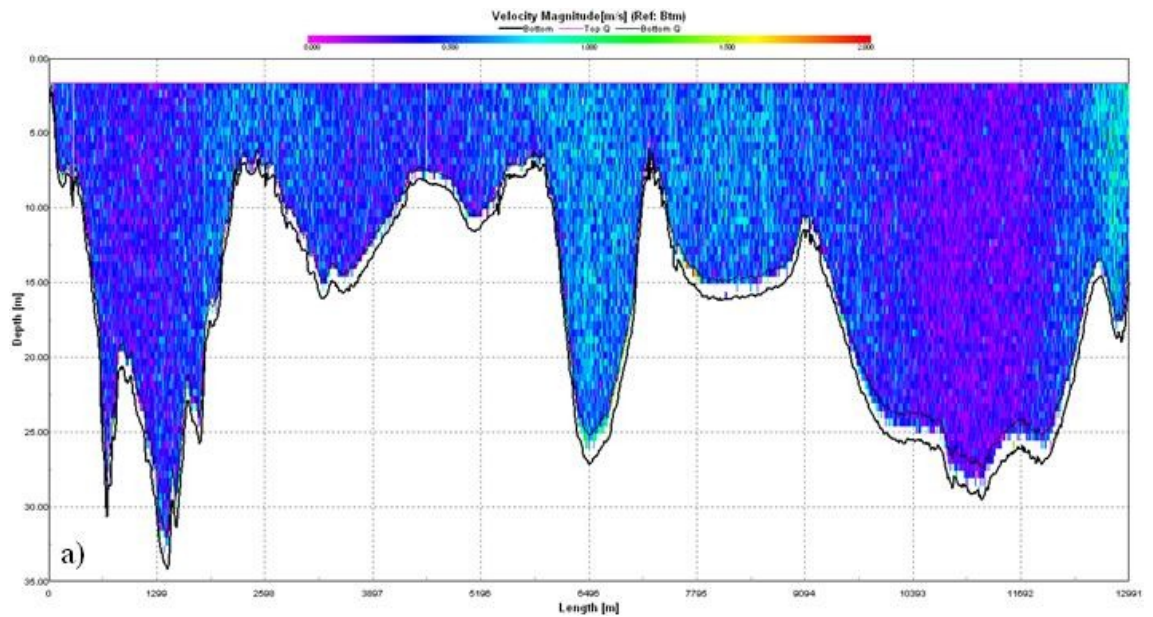
- 1) a realização de uma série de medidas de fluxo durante um período mínimo de 12 horas e 30 minutos (um ciclo de maré semidiurna), utilizando o medidor de vazão ADCP-M9 RIVERSURVEYOR da SONTEK com uma média de 12 medições experimentais;
- 2) interpolar a evolução temporal do fluxo e da velocidade a partir dessas medições;
- 3) integrar os valores com o ciclo das marés para obter a taxa média de fluxo;
- 4) analisar o fluxo máximo e mínimo, e a relação entre fluxo/velocidade e nível, conforme descrito por ANA (2008), Cunha et al. (2006) e Silva e Kosuth (2001).

O funcionamento do equipamento é regido pelo movimento das partículas na água que causam variações na frequência de eco e mede estas variações (efeito Doppler) com uma função da profundidade para obter a velocidade da corrente em até 128 posições diferentes na coluna da água. Com o conhecimento da velocidade da corrente, da área da seção de medição e da profundidade da mesma, um programa de computador desenvolvido para o ADCP calcula a vazão total na seção de descarga ou de medição (CUNHA, 2008).

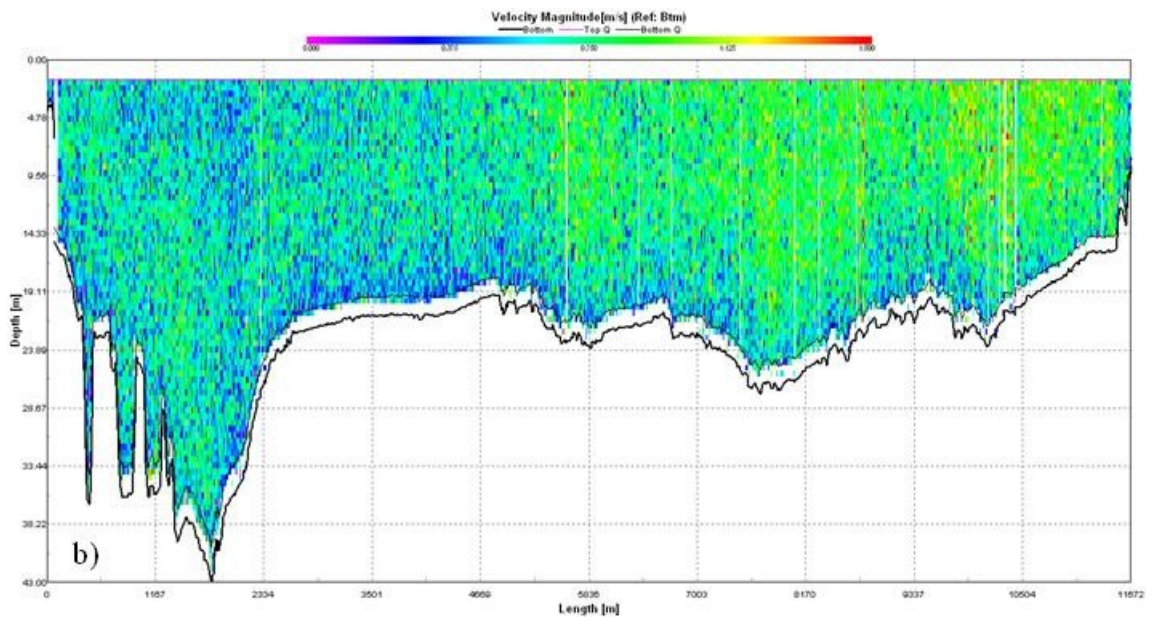
As medições seguiram as etapas pertinentes com o intuito de obter informações sobre as variações de vazão ao longo de um ciclo de maré semidiurna durante os períodos chuvoso e

seco na região. Na Figura 3 observam-se os perfis dos canais norte, medido em 20 de novembro de 2014, e sul, medido em 23 de novembro de 2014. As medidas foram feitas em um período de 13 horas.

Figura 3: Medição de descarga líquida. a) perfil canal norte; b) perfil canal sul.



Fonte: DINIZ (2018)



Fonte: DINIZ (2018)

Os métodos analíticos utilizados nas análises de sedimentos das amostras coletadas ao longo do baixo Rio Amazonas foram baseados nas técnicas e metodologias da American Public Health Association (APHA, 1999). Em cada seção de amostragem foram coletadas duas amostras uma amostragem na superfície, em aproximadamente 50 cm do espelho d'água com uma bomba coletora de superfície (Rule 360 GPH) e uma segunda a 60% da profundidade total do canal. As amostras de profundidade foram obtidas pela imersão de uma bomba peristáltica (SHURflo 1.5 GPM) até a profundidade calculada. O perfil de profundidade do rio foi medido com o ecobatímetro Garmim GPS 420. Os sedimentos coletados foram analisados no Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais (LQSMSA) da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP).

Para medir a concentração de sedimentos suspensos na água, são preenchidos galões de polietileno com vinte litros de capacidade e transportados ao laboratório para um posterior processamento a fim de separar as partículas grossas (até 63 μm) das partículas finas (entre 63 μm e 0,45 μm) amostras. No laboratório as amostras de sedimentos são preparadas agitando vigorosamente os galões e, em seguida, são homogeneizadas em um misturador de sedimentos (splitter). Ao mesmo tempo que ocorre a agitação da água dentro do misturador, uma quantidade é peneirada (63 μm) para uma proveta graduada. Todo o volume do galão é peneirado para obter material suficiente para se atingir um certo peso.

Este material é lavado e, em seguida, em um suporte de filtro de polycarbonato, contendo dois filtros de acetato de celulose preaquecido é filtrado. Todo o conteúdo da peneira é recuperado através dos filtros, que são secos a 60 °C em estufa por 72 horas para novamente serem pesados. A diferença de pesos iniciais e finais dos filtros dar-se-á a concentração (em mg/L) dos sedimentos de partículas grossas. O mesmo procedimento é feito com a água peneirada, em triplicata com filtros de acetato celulose (0,45 μm), para obter as concentrações dos sedimentos de partículas finas.

Para auxiliar na interpretação e discussão dos resultados foram utilizados testes estatísticos e as análises dos dados foram conduzidas no sistema computacional R-project (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012) sendo adotado um coeficiente de confiança de 95% ou, quando conveniente, 99%. A normalidade dos dados foi verificada por meio da execução

do teste de normalidade de Shapiro Wilk, como os dados não apresentaram distribuição normal, optou-se por usar testes não paramétricos, sem a transformação dos dados.

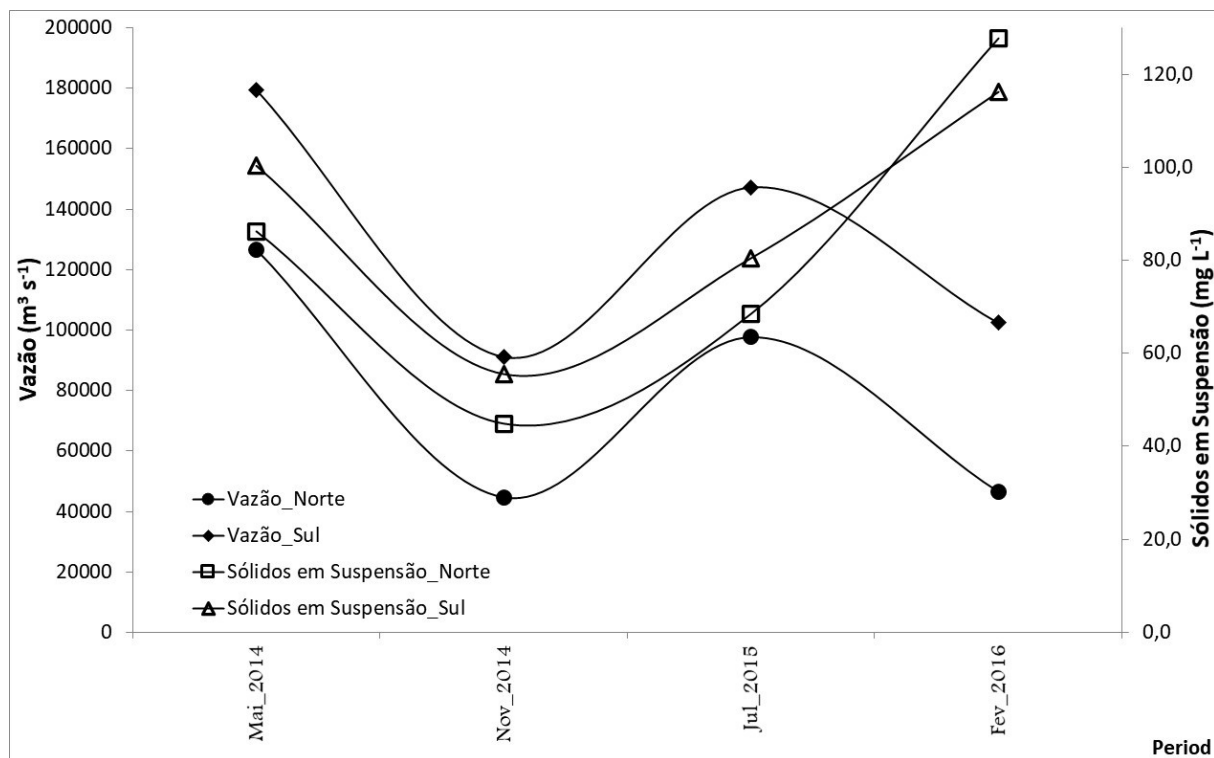
Para avaliar a hipótese da variação espacial e sazonal das variáveis ambientais medidas neste estudo, utilizou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Os testes foram considerados com diferença significativa para valores de $p < 0,05$ ou, quando necessário $p < 0,01$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O canal Norte e o canal Sul do Rio Amazonas possuem características hidrológicas intimamente interligadas com a sazonalidade pluviométrica da região, segundo KUHN et al., 2010; SOUZA; CUNHA, 2010; SOUZA et al., 2009, o trecho estudado apresenta índices pluviométricos superiores a $2.500 \text{ mm ano}^{-1}$ que estão distribuídos em um período chuvoso que tem duração de janeiro a julho, com índice máximo de 403 mm em março, e um período menos chuvoso com duração de agosto a dezembro, com índice mínimo de 26 mm em outubro, o que Diniz (2018) indica que a região apresenta diferença significativa no seu nível de pluviosidade. Segundo Brito (2013) por ano, durante o período chuvoso, incidem, em média, mais de 85% das precipitações.

As métricas das vazões em ambos os canais do Rio Amazonas, constataram a média de $208.930,45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, esta vazão líquida média é muito próxima ao que o rio Amazonas descarrega no Oceano Atlântico, estimado em $193.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (PERRY; DUFFY; MILLER, 1996), com os fluxos máximos de $126.573,10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no canal Norte e $179.478,76 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no canal Sul no período de maio de 2014 e fluxos mínimos de $44.649,46 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no canal Norte e $91.231,54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no canal Sul no período de novembro de 2014 (Figura 4), corroborando com Diniz (2018) ao afirmar que as variações pluviométricas da região influenciam na vazão do rio. Segundo Brito (2013) é possível verificar a influência da sazonalidade nos dados de vazão devido a variabilidade obtida com $p < 0,01$.

Figura 4: Variabilidade da vazão e dos sólidos suspensos no período de estudo.



Fonte: Próprio autor

Segundo Diniz (2018) o perfil analisado dos canais, durante o período de coleta, possibilitou a inferência de que este pode estar relacionado a vazão do Rio Amazonas. O Canal Norte possui 12,5 km de distância entre as margens e 34 m de profundidade durante o período de cheia e 20 m de profundidade durante o período de seca, já o canal Sul possui 16 km de distância entre as margens e 43 m de profundidade durante a cheia e 22 m durante a seca, valores esses registrados e coletados nos meses de maio (período cheio) e novembro (período seco) de 2014.

Pelo cálculo aproximado das quantidades, a carga de sedimentos suspensos transportada ficou em torno de $17.758,82 \text{ kg s}^{-1}$, o que representa um total de $560.042.038,17 \text{ ton ano}^{-1}$ de carga total de sólidos despejada para o oceano ao ano, aproximadamente, duas e meia vezes menor que a média anual de $1.200.000.000 \text{ ton ano}^{-1}$ medida na estação de Óbidos (MEADE, 1994; MEADE et al., 1985). Esta comparação demonstra que representativas quantidades de sedimento podem estar sendo depositadas neste percurso de 800 km até a foz, ou simplesmente, a partir da matéria orgânica degradável disponível, serem digeridos e/ou mineralizados por bactérias e fungos, promovendo emissões de elevadas quantidades de CO_2 para a atmosfera (WARD et al., 2013) e até sendo diluído pela entrada dos grandes tributários

no canal principal do rio Amazonas. Desse total de cargas de sólidos suspensos, 555.090.055,25 ton ano⁻¹ de sedimentos finos suspensos e 4.951.982,92 ton ano⁻¹ de sedimentos grossos suspensos.

Segundo Diniz (2018) durante o período de enchente os sólidos suspensos estão em maior concentração do que no período de seca do rio. As medidas de sólidos finos suspensos e sólidos grossos suspensos apresentaram uma tendência de concentração destes sedimentos tanto do canal Norte, quanto do canal Sul do Rio Amazonas, sendo o período de cheia, ou seja, o período das chuvas o momento em que houve a maior concentração deles.

Esta tendência pode ser percebida nos meses de maio, novembro e julho, porém no mês de fevereiro (Figura 4) vemos um aumento da concentração dos sedimentos em relação aos outros períodos, interrompendo a correlação entre vazão e sólidos suspensos, devido ao período de transição entre o seco e o chuvoso, em que as chuvas crescentes no período intensificam o processo de lixiviação de materiais do solo para a água, desta forma os sedimentos são carregados para dentro do canal principal. Neste período o processo de interação entre os ecossistemas terrestres e aquáticos tende a se intensificar, principalmente devido ao processo de runoff ou lixiviação difusa causada pelas chuvas.

Conforme descrito por Morehead et al (2003) e Diniz (2018) a alta variabilidade no tempo e no espaço da carga de sedimento em suspensão carregada pelos rios está relacionada com a descarga na maioria das vezes. Porém, pode haver variação significativa na descarga dos sedimentos em suspensão de ordem de magnitude diferente.

Diniz (2018) afirma que no percurso do canal principal do Rio Amazonas, uma grande carga de sedimentos é transportada pelo rio e depositada provocando o assoreamento do mesmo, fenômeno observado ao longo de todo o trecho navegável do canal ao longo do Rio até a foz. Esse processo ocorre com frequência no período de enchente, principalmente pela erosão das margens do rio, apresentando como resultado um aumento na distância entre as margens.

CONCLUSÃO

Após a análise dos dados coletados foi possível observar a influência da sazonalidade na concentração de sólidos suspensos e no volume da vazão dos canais norte e sul do Rio

Amazonas, a partir dos pontos de amostragem, onde nos períodos de cheia a concentração dos sedimentos e vazão apresentam valores maiores que no período de seca.

REFERÊNCIAS

AFFONSO, A. G.; BARBOSA, C.; NOVO, E. M. L. M.. Water quality changes in floodplain lakes due to the Amazon River flood pulse: Lago Grande de Curuaí (Pará). **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, p. 601-610, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000400004>

ALMADA, H. K. S.; SILVÉRIO, D. V.; MACEDO, M. N.; MARACAHIPES-SANTOS, L.; ZARATIM, E. C. P.; ZARATIM, K. P.; MACCARI, A.; NASCIMENTO, M. R.; UMETSU, R. K.. Effects of geomorphology and land use on stream water quality in southeastern Amazonia. **Hydrological Sciences Journal**, v. 64, n. 5, p. 620-632, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1587563>

ANA (Agência Nacional de Águas). **Resultados das Medições de Vazão Realizadas com ADCP na Foz do Amazonas em Junho de 2008**. Nota Técnica Conjunta nº 1/2008/NHI/SAR Documento nº 15.847/2008. 2008.

ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F.. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazonica**, v. 42, p. 115-124, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000100014>

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20th ed. American Public Health Association/American Water Works Association/ Water Environment Federation, Washington, DC, 1999.

ARIAS, M. E.; LEE, E.; FARINOSI, F.; PEREIRA, F. F.; MOORCROFT, P. R.. Decoupling the effects of deforestation and climate variability in the Tapajós river basin in the Brazilian Amazon. **Hydrological Processes**, v. 32, n. 11, p. 1648-1663, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.11517>

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R.. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. **Jawra Journal of the American Water Resources Association**. 34, 73-89, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>

BEIGHLEY, R. E.; EGGERT, K. G.; DUNNE, T.; HE, Y.; GUMMADI, V.; VERDIN, K. L.. Simulating hydrologic and hydraulic processes throughout the Amazon River Basin. **Hydrological Processes: An International Journal**, v. 23, n. 8, p. 1221-1235, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.7252>

BOURGOIN, L. M.; BONNET, M. P.; MARTINEZ, J. M.. KOSUTH, P.; COCHONNEAU, G.; TURCQ, P. M.; GUYOT, J. L.; VAUCHEL, P.; FILIZOLA, N.; SEYLER, P.. Temporal dynamics of water and sediment exchanges between the Curuaí floodplain and the Amazon River, Brazil. **Journal of Hydrology**, 335, 140-156, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.11.023>

BRITO, D. C.. **Balanco de carbono e modelagem de fluxos biogeoquímicos no continuum do estuário amazônico**. Tese (Doutorado em Biodiversidade Tropical), Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2013.

BUARQUE, D. C.. **Simulação da geração e do transporte de sedimentos em grandes bacias: Estudo de caso do rio Madeira**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BUSTILLO, V.; VICTORIA, R. L.; MOURA, J. M. S.; VICTORIA, D. C.; TOLEDO, A. M. A.; COLLICCHIO, E.. Factors driving the biogeochemical budget of the Amazon River and its statistical modelling. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 343, n. 4, p. 261-277, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2011.01.003>

COE, M. T.; COSTA, M. H.; HOWARD, E. A.. Simulating the surface waters of the Amazon River basin: impacts of new river geomorphic and flow parameterizations. **Hydrological Processes: An International Journal**, v. 22, n. 14, p. 2542-2553, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.6850>

COSTA, M. H.; OLIVEIRA, C. H. C.; ANDRADE, R. G.; BUSTAMANTE, T. R.; SILVA, F. A.; COE, M. T.. A macroscale hydrological data set of river flow routing parameters for the Amazon Basin. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D20, p. LBA 6-1-LBA 6-9, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000JD000309>

CUNHA, A. C.; JÚNIOR, A. C. P. B.; COELHO, J. G.; SOUSA, M.; FLOURY, C.; AVELAR, S. B.. Estudo numérico do escoamento superficial na foz do rio Matapi: costa Interna Estuarina do Amapá. In: **Proceedings of the 11th Brazilian In: CONGRESS OF THERMAL SCIENCES AND ENGINEERING-ENCIT**. 2006

CUNHA, A. C.; BRITO, D. C.; DUARTE, A. S.; BRITO, A. U.; CUNHA, H. F. A.; PINHEIRO, L. A. R.; SOUZA, L. R.; MARQUES, D.; MARQUES, A. D.; SILVA, J. C.; SILVEIRA JR., A. M.; VILHENA, J. C. E.. Modelagem da qualidade da água aplicada a grandes rios: análise de impactos ambientais no Araguari e Amapari - AP. Macapá - Amapá: IEPA, 2008 (**Revista Pesquisa & Iniciação Científica**, Ano I, Número 1, Outubro de 2008, p. 54-57. Engenharia e Recursos Hídricos).

CUNHA, A. C.. Revisão descritiva sobre ecossistemas aquáticos na perspectiva da modelagem da qualidade da água. **Biota Amazônia**, v. 3, n. 1, p. 124-143, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v3n1p124-143>

DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C. de; ARTAXO, P.; BALCH, J. K.; BROWN, I. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; COE, M. T.; DEFRIES, R. S.; KELLER, M.; LONGO, M.; MUNGER, J. W.; SCROEDER, W.; SOARES-FILHO, B. S.; SOUZA, C. M.; WOFSY, S. C.. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, n. 7381, p. 321-328, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature10717>

DECHARME, B.; ALKAMA, R.; PAPA, P.; FAROUX, S.; DOUVILLE, H.; PRIGENT, C.. Global off-line evaluation of the ISBA-TRIP flood model. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 7-8, p. 1389-1412, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-011-1054-9>

DE PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C.; COLLISCHONN, W.; BONNET, M. P.; FRAPPART, F.; CALMANT, S.; MENDES, C. A. B.. Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. **Water Resources Research**, v. 49, n. 3, p. 1226-1243, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/wrcr.20067>

DINIZ, J. E. de M.. **Hidrodinâmica e biogeoquímica no baixo amazonas: de óbidos a foz**. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia), Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2018.

FARINOSI, F.; ARIAS, M. E.; LEE, E.; LONGO, M. PEREIRA, F. F.; LIVINO, A.; MOORCROFT, P. R.; BRISCOE, J.. Future climate and land use change impacts on river flows in the Tapajós Basin in

the Brazilian Amazon. **Earth's Future**, v. 7, n. 8, p. 993-1017, 2019. **DOI:** <https://doi.org/10.1029/2019EF001198>

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.. Suspended sediment yields in the Amazon basin: an assessment using the Brazilian national data set. **Hydrological Processes: An International Journal**, v. 23, n. 22, p. 3207-3215, 2009. **DOI:** <https://doi.org/10.1002/hyp.7394>

GETIRANA, A. C.V.; BOONE, A.; YAMAZAKI, D.; MOGNARD, N.. Automatic parameterization of a flow routing scheme driven by radar altimetry data: Evaluation in the Amazon basin. **Water Resources Research**, v. 49, n. 1, p. 614-629, 2013. **DOI:** <https://doi.org/10.1002/wrcr.20077>

GUYOT, J. L.; BOURGES, J.; CORTEZ, J.. Sediment transport in the Rio Grande, an Andean river of the Bolivian Amazon drainage basin. In: OLIVE, L. J.; LOUGHRAN, R. J.; KESBY, J. A. (Eds). **Variability in Stream Erosion and Sediment Transport** (Proc. Canberra Symp.), 224, 223-231, 1994.

KRYSANOVA, V.; MUELLER-WOHLFEIL, D. I.; BECKER, A.. Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale water-sheds. **Ecological Modelling**, 106, 261-289, 1996. **DOI:** [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(97\)00204-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(97)00204-4)

KUHN, P. A. F.; CUNHA, A. C.; PEREIRA, M. J.; SARAIVA, J. M. B.. Previsão Numérica Operacional no Estado do Amapá utilizando o BRAMS. In: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B.; CUNHA, H. F. A. (Eds.). **Tempo, Clima e Recursos Hídricos - Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá**. Macapá-Ap: IEPA, 2010. p. 61 – 82.

LEWIS, S. L.; EDWARDS, D. P.; GALBRAITH, D.. Increasing human dominance of tropical forests. **Science**, v. 349, n. 6250, p. 827-832, 2015. **DOI:** <https://doi.org/10.1126/science.aaa9932>

MARKEWITZ, D., DAVIDSON, E. A.; FIGUEIREDO, R. O.; VICTORIA, R. L.; KRUSCHE, A.. Control of cation concentrations in stream waters by surface soil processes in an Amazonian watershed. **Nature**, v. 410, n. 6830, p. 802-805, 2001. **DOI:** <https://doi.org/10.1038/35071052>

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, n. 3, p. 257-264, 2009. **DOI:** <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.011>

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D.; OLVEIRA, G. S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M.; BROWN, I. F.. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of climate**, v. 21, n. 3, p. 495-516, 2008. **DOI:** <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1600.1>

MEADE, R. H.; DUNNE, T.; RICHEY, J. E.; SANTOS, U. de M.; SALATI, E.. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. **Science**, v. 228, n. 488 - 490, 1985. **DOI:** <https://doi.org/10.1126/science.228.4698.488>

MEADE, R. H.. Suspended sediments of the modern Amazon and Orinoco rivers. **Quaternary International**, v. 21, p. 29-39, 1994. **DOI:** [https://doi.org/10.1016/1040-6182\(94\)90019-1](https://doi.org/10.1016/1040-6182(94)90019-1)

MOREHEAD, M. D.; SYVITSKI, J. P.; HUTTON, E. W. H.; PECKHAM, S. D.. Modeling the temporal variability in the flux of sediment from ungauged river basins. **Global and Planetary Change**, 39: 95-110, 2003. **DOI:** [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(03\)00019-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(03)00019-5)

NIKIEMA, O.; DEVENON, J. L.; BAKLOUTI, M.. Numerical modeling of the Amazon River plume. **Continental Shelf Research**, v. 27, n. 7, p. 873-899, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2006.12.004>

PEREIRA, S. de F. P.; PIRES, O. O.; SARAIVA, A. F.; OLIVEIRA, G. R.; SOUSA JUNIOR, P. M. de; MIRANDA, R. G.; SILVA, C. S. e; SALES, R. da S.. Distribuição de Elementos Tóxicos no Estuário do Rio Amazonas. **Eclética Química**, vol. 36, n. 1, p. 46-63, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Araraquara, Brasil, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-46702011000100004>

PERRY, G. D.; DUFFY, P. B.; MILLER, N. L.. An extended data set of river discharges for validation of general circulation models. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 101, n. D16, p. 21339–21349, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1029/96JD00932>

PROSSER, I. P.; YOUNG, B.; RUSTOMJI, P.; HUGHES, A.; MORAN, C.. A model of river sediment budgets as an element of river health assessment. In: **Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'2001)**, 10-13, 861-866, 2001. DOI: <http://hdl.handle.net/102.100.100/202969?index=1>

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2012.

RICHEY, J. E.; MEADE, R. H.; SALATI, E.; DEVOL, A. H.; JÚNIOR, C. F. N.; SANTOS, U.. Water discharge and suspended sediment concentrations in the Amazon River: 1982–1984. **Water Resources Research**, v. 22, n. 5, p. 756-764, 1986. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR022i005p00756>

RICHEY, J. E.; HEDGES, J. I.; DEVOL, A. H.; QUAY, P. D.; VICTORIA, R.; MARTINELLI, L.; FORSBERG, B. R.. Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. **Limnology and oceanography**, v. 35, n. 2, p. 352-371, 1990. DOI: <https://doi.org/10.4319/lo.1990.35.2.0352>

RICHEY, J. E.; VICTORIA, R. L.; MAYORGA, E.; MARTINELLI, L. A.; MEADE, R. H.. Case study 1: integrated analysis of a humid tropical region—the Amazon Basin. In: **Vegetation, Water, Humans and the Climate**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. p. 415-428. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-18948-7_34

SIVAPALAN, M.; VINEY, N. R.; JEEVARAJ, C. G.. Water and salt balance modelling to predict the effects of land-use changes in forested catchments. 3. The large catchment model. **Hydrological Processes**, 10, 429-446, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199603\)10:3%3C429::AID-HYP309%3E3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199603)10:3%3C429::AID-HYP309%3E3.0.CO;2-G)

SILVA, M. S.; KOSUTH, P. Comportamento das vazões do rio Matapi em 27.10. 2000. In: **Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. 2001. p. 594-596.

SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, J. R. S.; CUNHA, A. C.; SILVA, R. R.; FERREIRA, D. B. S.; SANTOS, D. M.; CARMO, A. M. C.; SOUSA, J. R. A.; GUIMARÃES, P. L.; MOTA, M. A. S.; MAKINO, M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A. M. L.; MOTA, G. V.; KUHN, P. A. F.; VITORINO, M. I.. Precipitação sazonal sobre a Amazônia Oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111 – 124, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000200001>

SOUZA, E. B.; CUNHA, A. C. Climatologia de precipitação no Amapá e mecanismos climáticos de grande escala. In: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B.; CUNHA, H. F. (Eds.). **Tempo, clima e recursos**

hídricos: Resultados do projeto REMETAP no Estado do Amapá. Macapá-AP: IEPA, 2010. p. 177 – 195.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIN, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J.. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013. **DOI:** <https://doi.org/10.31413/nativa.v1i1.1334>

TARDY, Y.; ROQUIN, C.; BUSTILLO, V.; MOREIRA, M.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R.. **Carbon and Water Cycles Amazon River Basin Applied Biogeochemistry**. Atlantica, Biarritz, 2009.

VILLAR, J. C. E.; GUYOT, J. L.; RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; FILIZOLA, N.; FRAIZY, P.; LABAT, D.; OLIVEIRA, E.; ORDOÑEZ, J. J.; VAUCHEL, P.. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004). **Journal of Hydrology**, v. 375, n. 3-4, p. 297-311, 2009. **DOI:** <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.004>

VILLAR, R. E.; MARTINEZ, J. M.; TEXIER, M. L.; GUYOT, J. L.; FRAIZY, P.; MENESES, P. R.; OLIVEIRA, E.. A study of sediment transport in the Madeira River, Brazil, using MODIS remote-sensing images. **Journal of South American Earth Sciences**, 44, 45-54, 2013. **DOI:** <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.11.006>

WARD, N. D.; KEIL, R. G.; MEDEIROS, P. M.; BRITO, D. C.; CUNHA, A. C.; DITTMAR, T.; YAGER, P. L.; KRUSCHE, A. V.; RICHEY, J. E.. Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River. **Nature Geoscience**, v. 6, n. 6, p. 1–4, 19 maio. 2013. **DOI:** <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/ngeo1817>

YAMAZAKI, D.; KANAE, S.; KIM, H.; OKI, T.. A physically based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model. **Water Resources Research**, v. 47, n. 4, 2011. **DOI:** <https://doi.org/10.1029/2010WR009726>

ZENG, N.; YOON, J. H.; MARENGO, J. A.; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C. A.. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environmental Research Letters**, v. 3, n. 1, p. 014002, 2008. **DOI:** <https://doi.org/10.7916/D8FF3S97>