

APORTE DE CARBONO ORGÂNICO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS NO RIO TAPAJÓS (PA), AMAZÔNIA, BRASIL

*CONTRIBUTION OF ORGANIC CARBON UNDER DIFFERENT HYDROLOGICAL
CONDITIONS IN THE TAPAJÓS RIVER (PA), AMAZONIA, BRAZIL*

**Renata Silva SOUZA¹, José Mauro Sousa MOURA¹, Rodrigo da SILVA¹, Robert Max
HOLMES², Bernhard PEUCKER-EHRENBRINK³, Robert G.M. SPENCER²,
Wildson Silva de SOUSA¹**

¹Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) Rua Vera Paz, s/n, Bairro Salé, CEP: 68.040-260, Santarém, Pará.
Emails: renatabiufpa@yahoo.com.br; jmaurosm@gmail.com; rsilvf@gmail.com; wildsonss@gmail.com

²Woods Hole Research Center, 149 Woods Hole Road, Falmouth, MA 02540-1644.

Emails: rmholmes@whrc.org; rgspencer@magnet.fsu.edu

³Woods Hole Oceanographic Institution, 360 Woods Hole Road, MS 25, Woods Hole, MA 02543-1541.

Email: behrenbrink@whoi.edu

Introdução
Área de estudo
Desenvolvimento Metodológico
Resultados e Discussão
Conclusões
Agradecimentos
Referências

RESUMO - O rio Tapajós é um afluente de águas claras da margem direita do rio Amazonas, drenando uma área de 492.263 km² da região central do Brasil para a porção central do estado do Pará. O objetivo deste estudo é determinar as concentrações de carbono orgânico (COP e COD) transportados no rio Tapajós próximo à cidade de Itaituba/PA, avaliando a influência da vazão e as mudanças hidrológicas sazonais no transporte destes compostos. Amostras mensais de água da superfície do rio foram coletadas em 2016 e os parâmetros biogeoquímicos (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura) foram medidos *in situ*. As concentrações de sedimento foram analisados através de testes estatísticos em relação aos dados hidrológicos (precipitação, cota e vazão) fornecidos pelo INMET e banco de dados HyBam. COP teve uma média anual de 14±10,0 mg L⁻¹, com média de 20,8 mg L⁻¹ na fase de cheia e de 7,9 mg L⁻¹ na fase de seca. O COD teve média anual de 3,8±2,2 mg L⁻¹, com média de 5,0 mg L⁻¹ na cheia e de 2,3 mg L⁻¹ na seca. Os resultados obtidos sugerem que as mudanças hidrológicas sazonais são a principal causa das variações na concentração de sedimentos transportados pelo rio Tapajós, com possíveis associações às atividades de mineração e outras ações antrópicas ao longo de seus afluentes.

Palavras-Chave – Parâmetros biogeoquímicos, hidrologia e sedimentos.

ABSTRACT - The Tapajós River is a clear-water tributary on the right shore of the Amazon River, draining an area of 492.263 km² from the central region of Brazil to the central portion of the Pará state. The objective of this study is to determine the concentrations of organic carbon (POC and DOC) transported by the Tapajós river in near the city of Itaituba/PA, evaluating the influence of the discharge and the seasonal hydrological changes on the transport of these compounds. Monthly samples of surface river water were collected in 2016 and biogeochemical parameters (e.g., pH, electrical conductivity, dissolved oxygen and temperature) were measured *in situ*. The concentration in sediment were analyzed through statistical tests in relation to the hydrological data (precipitation, quota and flow) provided by INMET and HyBam database. POC has an annual mean of 14±10.0 mg L⁻¹, with mean of 20.8 mg L⁻¹ for the high discharge and of 7.9 mg L⁻¹ for the low discharge period. The DOC has an annual mean of 3.8±2.2 mg L⁻¹, with mean value of 5 mg L⁻¹ for the high discharge period and of 2.3 mg L⁻¹ for the low discharge period. The results suggest that, seasonal hydrological changes are the main cause for the variation in the concentration of the sediments transported by the Tapajós river, with possible associations to the mining activities and other anthropogenic actions along its tributaries.

Keywords: Biogeochemical parameters, hydrology, sediment.

INTRODUÇÃO

A Região Hidrográfica Amazônica representa cerca de 40% do território brasileiro e possui mais de 60% de toda a disponibilidade hídrica do País. Compreende uma área de 6.925.674 km², tendo como rio principal o Amazonas, que possui suas nascentes nos Andes Peruanos e sua foz no oceano Atlântico, além de um vasto e denso conjunto de rios de águas brancas, claras e negras

e cursos de água de menor extensão e volume, constituindo uma grande rede natural que se estende por toda a região norte do Brasil (ANA, 2013).

O rio Amazonas aporta ao Oceano Atlântico a maior vazão de água doce do mundo estimada em 209.000 m³ s⁻¹ (Molinier et al., 1994) e responsável por uma grande quantidade de sedimentos para a

plataforma, com um fluxo estimado entre 600 a 800 10^6 t ano⁻¹ (Filizola & Guyot, 2011).

O rio Tapajós é um dos principais afluentes da margem direita do rio Amazonas e tem suas nascentes oriundas na região central do Brasil, no estado do Mato Grosso, e desemboca no rio Amazonas próximo à cidade de Santarém (PA), drenando uma área de 492.263 km². Nessa porção da bacia a precipitação varia em torno de 2.200 mm ao ano (Molinier et al., 1994). Este rio é de águas claras, segundo a classificação de Sioli (1985), contribui com uma vazão anual de aproximadamente 12.000 m³ s⁻¹ ao rio Amazonas (Santos et al., 2015) e possui grande importância quanto ao seu uso múltiplo pelas populações ribeirinhas e cidades localizadas em suas margens (ANA, 2013).

Nos ambientes aquáticos, o carbono é encontrado em diferentes formas, na forma orgânica existe o carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico dissolvido (COD) (Esteves, 1998). O COP é composto pelos: microrganismos vivos, matéria orgânica particulada em decomposição (detrital), restos vegetais e materiais de solos, podendo ser

dividido em grosso (COPG) e fino (COPF) (Paolini, 1990; Esteves, 1998). O COD é formado após os organismos aquáticos incorporarem CO₂ do meio e produzirem moléculas orgânicas para sua biomassa (Esteves et al., 2011).

As fontes de COP e COD dos ecossistemas aquáticos continentais são de origem interna (autóctones) e externa (alóctones). As principais fontes autóctones são oriundas da fotossíntese e da excreção e/ou degradação de fitoplânctons, perifítons e macrófitas aquáticas. Já as fontes alóctones são originárias da bacia de drenagem superficial, dos aquíferos, lençóis freáticos e até mesmo da sedimentação de carbono orgânico presente na atmosfera (Paolini, 1990; Esteves et al., 2011). A dissolução do COP pode contribuir com o COD e a adsorção do COD sobre as partículas pode contribuir com o COP (Paolini, 1990).

Assim, o objetivo deste estudo foi determinar as concentrações de carbono orgânico nas formas de COP e COD transportado pelo rio Tapajós na região de Itaituba, em diferentes períodos sazonais e verificar possíveis relações com a hidrologia do rio.

ÁREA DE ESTUDO

O local de estudo compõe-se de um transecto do rio Tapajós localizado próximo (cerca de 10 km) à cidade de Itaituba, no oeste do estado do Pará (Figura 1). O rio Tapajós é formado na confluência

dos rios Juruena e Teles Pires (São Manuel), compondo a bacia hidrográfica do Tapajós. Essa bacia abrange os estados do Mato Grosso, do Pará e do Amazonas.

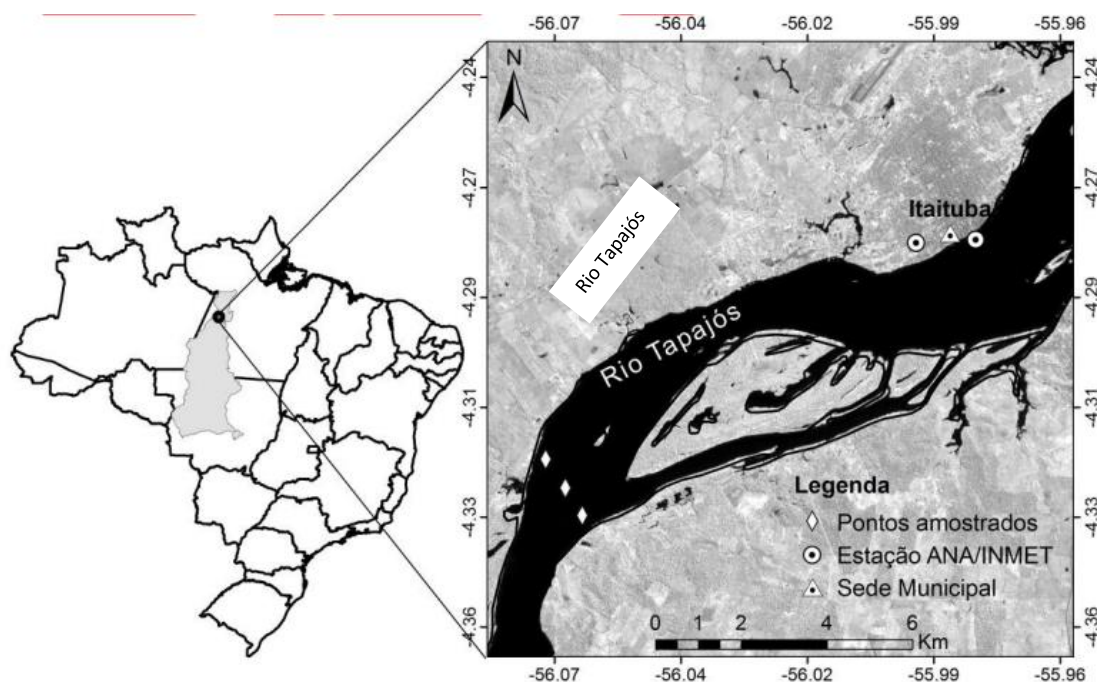


Figura 1 - Localização dos pontos de coleta, estação fluviométrica - ANA (17730000) e estação pluviométrica - INMET (código A231) em Itaituba/PA.

O clima da região é do tipo *Am* com média de precipitação acima de 2.000 mm ano⁻¹, com regime de chuvas bem definidos: a estação seca (junho a novembro) e a estação chuvosa (dezembro a maio) (Leal et al., 1996; Santos et al. 2014). As águas do rio Tapajós são cristalinas e esverdeadas (Sioli, 1985); percorrem os estados do Mato Grosso, Pará e Amazonas (Santos et al., 2014); banham os biomas de cerrado e floresta amazônica; atravessam terrenos ondulados de morros,

constituídos em sua maioria de granito ou arenito e frequentemente interrompidos por importantes corredeiras, desaguando na margem direita do rio Amazonas (João et al., 2013). O rio Tapajós é formado na confluência dos rios Juruena e Teles Pires, passa por reservas indígenas, unidades de conservação e áreas de extração mineral (Leal et al., 1996). É considerado como um rio de sétima ordem na porção do médio baixo Tapajós, porção da área de estudo (Araújo et al., 2015).

DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

Coletas de água no rio Tapajós foram realizadas no final de cada mês ao longo do ano de 2016, em três locais de uma seção transversal do rio: na margem esquerda (4°19'14.35"S; 56°4'14.44"O), no canal do rio (4°19'37.38"S; 56°3'51.70"O) e na margem direita (4°20'4.29"S; 56°3'29.83"O). Nos Locais de amostragem foram aferidos os parâmetros biogeoquímicos (temperatura, pressão, condutividade, oxigênio dissolvido e pH) com sonda multiparamétrica (*YSI Professional Plus*). As amostras foram integradas e acondicionadas em recipientes HDPE 4L (*High Density Polyethylene*), devidamente isoladas e encaminhadas para armazenamento no laboratório de Física e Química da Atmosfera da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). Em laboratório as amostras foram filtradas (0,5 L) com o auxílio de uma bomba peristáltica, utilizando filtros de membrana celulósica Millipore GFF com porosidade de 0,47 µm. Os filtros foram secos em estufa a 60°C até peso constante (~24 horas) e mantidos em ambiente escuro para posterior pesagem em balança de precisão digital (Mettler-Toledo GmbH 2006). A estimativa de fluxo do carbono baseou-se nos valores de vazão diária e da concentração de sedimentos.

A quantificação das concentrações de COD das 11 amostras de água coletadas foi realizada através de método analítico, em um analisador de carbono total (Shimadzu TOC-V) no laboratório de química ambiental da instituição *Woods Hole Research Center* (whrc.org) nos Estados Unidos.

As amostras filtradas (125 ml), em filtro de cápsula 45 µm (Geotech) de diâmetro, foram previamente acidificada com HCl para remover o Carbono Inorgânico (CI) e o CO₂ resultante da oxidação catalítica, a 680 °C, foi retirado a umidade e purificado para posterior quantificação das concentrações de CO₂ pelo detector de infravermelho não dispersivo. A quantidade de CO₂ aferida é diretamente proporcional à quantidade de compostos presentes na amostra original, conforme APHA (2012).

Os dados de precipitação, de cota e vazão do rio Tapajós em Itaituba foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (www.inmet.gov.br) da estação A231 e no banco de dados do portal do projeto HyBam (www.so-hybam.org/index.php/por/Dados) na estação fluviométrica 17730000, vinculado à rede hidrométrica da Agência Nacional das Águas – ANA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de temperatura da água, pH, condutividade elétrica (CE) e oxigênio dissolvido (OD) do rio Tapajós até o primeiro semestre de 2016 foram de 29,9±1,0 °C, 6,94±0,46, 16,7±1,3 µS cm⁻¹, 6,60±0,20 mg L⁻¹, respectivamente.

A temperatura da água teve pouca variação, o que é comum para a região equatorial. O pH foi próximo à neutralidade e dentro dos padrões característicos para este tipo de água clara, conforme a Resolução CONAMA n°357/05

(Brasil, 2017), correspondente também com às características ambientais naturais dos corpos hídricos amazônicos (Junk, 1983; Sioli, 1985). Situação semelhante às observadas por Batalha et al. (2014) cujo o valor foi de 6,03 em Alter do chão. Tapajós et al. (2011) obtiveram um valor de pH de 6,5 no rio Tapajós no período de cheia e Silva (2012) encontrou um valor de 6,75 (cheia) e 6,91 (seca) na região de Belterra-PA.

A CE de maneira geral foi baixa, com média de 16,7 µS cm⁻¹, próximo aos valores

encontrados por Silva (2012) em período de cheia e seca (13,57 e 15,81 respectivamente). As concentrações de OD no rio Tapajós foram correspondentes aos valores encontrados por Silva (2012) com média anual acima de 6,0 mg L⁻¹ e de acordo com níveis de referência estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/05.

Para o ano de 2016, a vazão média anual foi de 8.274 m³ s⁻¹, sendo abril o mês de maior vazão média mensal (16.450 m³ s⁻¹) e outubro o de menor vazão (3.236 m³ s⁻¹). O total anual de precipitação foi de 2.226 mm, sendo março o mês

mais chuvoso (466,4 mm) e agosto o mais seco (41,2 mm), conforme figura 2.

A concentração sazonal de carbono orgânico (COP e COD) no rio Tapajós segue o comportamento anual de precipitação e vazão do rio, com as menores concentrações no mês de agosto e maiores em dezembro (Figura 3), não apresentando distribuição normal para o COP (p= 0,041) e com distribuição normal para COD (p= 0,26). Na mesma figura pode-se observar a variação da concentração de COP e COD acompanhando ao aumento e/ou diminuição da vazão ao longo do ano de 2016.

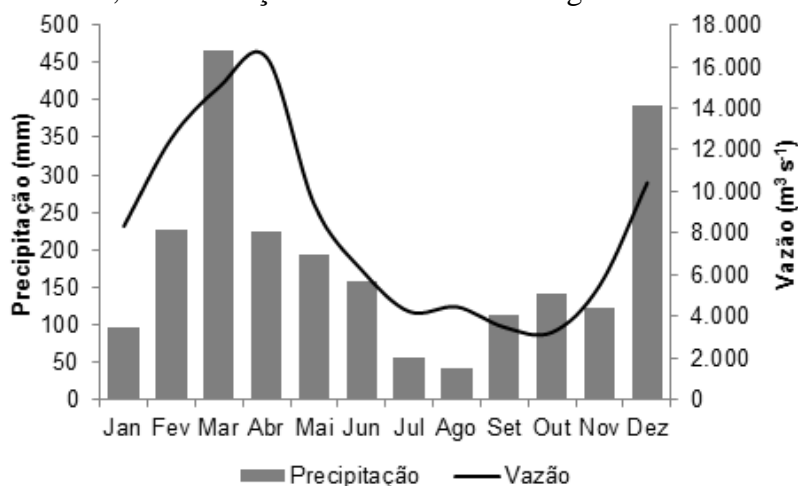


Figura 2 – Média mensal de precipitação (mm) e vazão (m³ s⁻¹) da estação pluviométrica e fluviométrica de Itaituba em 2016.

No primeiro bimestre o aumento das chuvas após um crítico período seco, devido a influência do fenômeno climático *El Niño* em 2015 segundo INMET (2016), contribuiu com o transporte de carbono via escoamento superficial, além disso, as intensas queimadas na região (aumento de 136 %) ocorridas antes do período chuvoso também podem ter contribuído para este aumento, somado também à decomposição da matéria orgânica particulada suspensa e maior

fotodegradação do COD, como observado por alguns autores em diferentes ambientes da Amazônia (Findlay & Sinsabaugh, 2003; Leite et al., 2011; Neu et al., 2016; Pimentel, 2016; Waterloo et al., 2006). Os níveis altos de COD nos meses de novembro (4,9 mg L⁻¹) e dezembro (8,3 mg L⁻¹) podem ser justificados também pela contribuição da ação antrópica de garimpagem intensa nesse período nas cabeceiras e tributários do rio Tapajós.

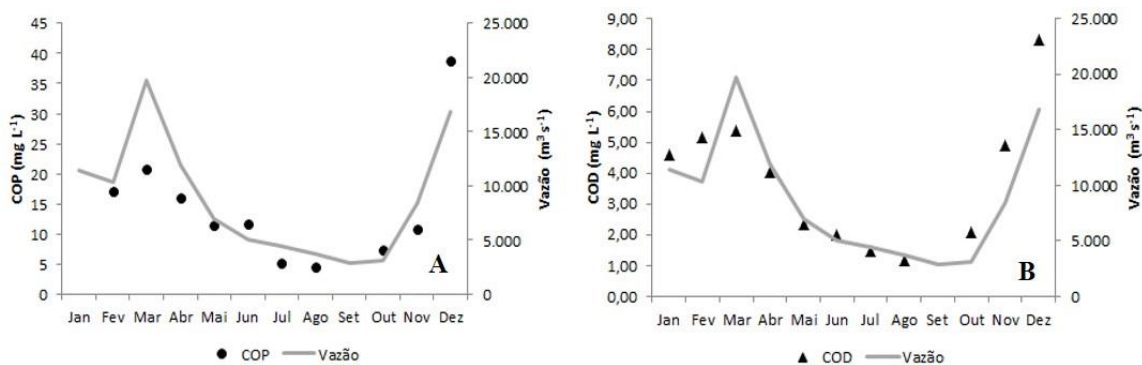


Figura 3 - Variação na concentração de COP **A**) e COD **B**) e vazão do rio Tapajós em 2016.

A média anual de COP foi de 14±10 mg L⁻¹, com variação de 4,4 mg L⁻¹ a 38,7 mg L⁻¹ e o COD foi 3,8±2,2 mg L⁻¹ e variação de 1,2 mg L⁻¹ a 8,3

mg L⁻¹ (Tabela 1). Richey et al. (1980) reportaram concentração de COP no rio Tapajós inferior ao encontrado por este estudo (1,6 mg L⁻¹).

Moreira-Turcq et al. (2003) observaram no mesmo rio a jusante da área deste estudo, entre os anos de 1995 a 1998, variações de COP entre 0,2 a 0,55 mg L⁻¹ e COD de 0,6 a 8,7 mg L⁻¹. Já Silva (2012) verificou uma variação de COP entre 0,4 a 6,8 mg L⁻¹ às proximidades de Santarém. No banco de dados do projeto HyBam na estação de Itaituba, período de 2005 a 2012, a média anual de COP transportado

pelo rio foi mais próxima, variando de 6,2 mg L⁻¹ (2005) a 25,8 mg L⁻¹ (2009), com valores superiores de pico registrados em 2009 nos meses de abril (40,4 mg L⁻¹) e novembro (38,9 mg L⁻¹). E Neu (2009) observou valores relativamente baixos de concentrações de COD em um afluente de águas claras na bacia do Alto Xingu (MT), variando entre 0,8 a 15,8 mg L⁻¹.

Tabela 1 - Vazão, concentração e fluxo instantâneo de COP e COD.

Vazão (m ³ s ⁻¹)	COP (mg L ⁻¹)	COD (mg L ⁻¹)	Fluxo COP (Kg s ⁻¹)	Fluxo COD (Kg s ⁻¹)
11.400	-	4,61	-	52
10.410	17,1	5,15	178	54
19.760	20,8	5,39	410	107
11.940	16,0	4,05	191	48
7.002	11,4	2,33	80	16
5.004	11,8	1,97	59	10
4.426	5,2	1,48	23	6,5
3.764	4,4	1,18	17	4,4
3.117	7,3	2,08	23	6,5
8.426	10,8	4,90	91	41
16.840	38,7	8,31	652	140
Cheia	20,8±9,4	5,0±1,8	260	60
Seca	7,9±2,9	2,32±1,3	40	11,5
Média	14 ±10	3,8±2,2	150	37,2

Na mesma bacia do Tapajós, Umetsu et al. (2007) encontraram no rio Teles Pires concentrações de COD variando entre 1,59 e 4,96 mg L⁻¹, com os menores valores no período de seca e os maiores na cheia. Da mesma forma Moreira (2011) registrou para este mesmo rio, em período de seca valor menor que na cheia (1,66 mg L⁻¹ e 3,7 mg L⁻¹, respectivamente) e uma média anual de COD de 2,6 mg L⁻¹.

A concentração de COP e COD no ano de

2016 correspondeu ao mesmo comportamento encontrado por outros estudos, com valor maior no período chuvoso e cheia do rio (dezembro a maio) (Figura 4), com diferenças estatisticamente significativas (p<0,05) entre os períodos de cheia e seca de COP (p= 0,031) e COD (p= 0,035). Fato este observado também por outros autores estudando a bacia Ji-Paraná, o rio Acre e bacia do rio Purus (Cogo, 2005; Duarte & Gioda, 2014; Sousa, 2013).

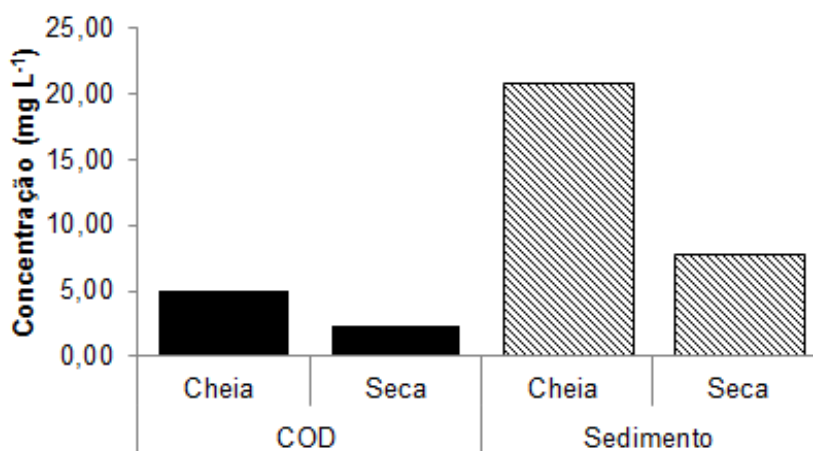


Figura 4 - Variação na concentração de COP e COD nos períodos de cheia e seca no rio Tapajós, em Itaituba-PA

Valor semelhante a este estudo foi encontrado por Moreira-Turcq et al. (2003) na região do município de Aveiro, com concentração de COD

de 4,90 mg L⁻¹ em período de cheia (maio de 1997), já no trecho de Alter do Chão o valor quase duplicou (8,65 mg L⁻¹) um ano depois (maio de

1998). E no período seco o menor valor de COD encontrado no mesmo trecho de Alter do Chão foi de $0,6 \text{ mg L}^{-1}$ no mês de novembro de 1995. Padrões aproximados de concentrações de COD no rio Tapajós, com o presente estudo, também foram encontrados por Silva (2012), com valores médios de $3,5 \text{ mg L}^{-1}$ (na cheia) e $1,6 \text{ mg L}^{-1}$ (na seca), às margens de duas reservas federais próximas de Santarém.

Segundo Moreira-Turcq et al. (2003), essa variação da concentração de carbono orgânico é devido a diferentes processos responsáveis pela perda e ganho em cada um deles. Além disso, a intensidade solar nesta região do Brasil ao longo do ano é um fator a ser considerado para o aumento das taxas de fotodegradação do COD de acordo com o período sazonal (Esteves et al., 2011).

O fluxo instantâneo de COP e COD, conseqüentemente, foram maiores no período chuvoso (260 kg s^{-1} e 60 kg s^{-1} , respectivamente) e menores no período seco (40 kg s^{-1} e $11,5 \text{ kg s}^{-1}$, respectivamente), ver tabela 1. Os fluxos encontrados por Filizola & Guyot (2011) no rio Tapajós juntamente com o rio Xingu, também seguiram o mesmo comportamento, porém, foram baixos e com pouca influência, comparado a outros tributários que contribuem ao rio Amazonas. De forma contrária, Moreira-Turcq et al. (2003) reportaram maior fluxo de COP no período de seca e valores aproximados de COD nos períodos de cheia (40 kg s^{-1}) e seca (8 kg s^{-1}) no rio Tapajós entre os municípios de Aveiro e Santarém. A figura 5 mostra a relação de COP e COD com a vazão. A melhor correlação entre as variáveis foi entre o carbono orgânico e vazão, com uma correlação positiva de $R^2=0,73$.

O mesmo padrão foi observado por Cogo (2005) nas águas dos rios e igarapés da bacia do rio Ji-Paraná, em geral, as concentrações de carbono orgânico dissolvido aumentaram em períodos de maior vazão e foram significativamente menores nos períodos de seca. Moreira (2011) também observou nos rios Teles Pires e Cristalino (MT) o mesmo comportamento no período de maior descarga, tanto para as concentrações de COD quanto para os sedimentos.

Em outro estudo, Umetsu et al. (2007) observaram uma correlação positiva de COD com a precipitação no rio Teles Pires, um dos formadores do rio Tapajós. Concentrações mais elevadas de COD também foram observadas por Neu et al. (2016) durante grandes eventos de chuva

e após um período seco. Da mesma forma, em igarapés localizados no nordeste Pará as concentrações de COD foram maiores em períodos chuvosos (Rosa, 2007).

Sousa (2007) observou em seus resultados que o COD é mais fortemente correlacionado à precipitação do que com cota do rio na bacia do rio Acre, e com diferenças estatisticamente significativas ($p<0,05$) entre os dois períodos sazonais. No mesmo estudo, a concentração média de COD no rio Acre foi de $4,93 \text{ mg L}^{-1}$, com as maiores concentrações no mês de dezembro, quando também foram registradas as maiores precipitações.

Embora a maioria dos estudos não tenha encontrado tal correlação, Melo (2011) obteve uma correlação positiva na bacia de Caxiuanã entre COD e cota. Da mesma forma, os rios da bacia do rio Purus no estado do Acre também apresentaram correlação positiva entre as concentrações de COD e suas cotas (Sousa, 2013).

Esse aumento de carbono durante esse período é devido ao carreamento de material oriundo da bacia em virtude da precipitação incidente, fato este comum em diversos rios da Amazônia (Silva, 2012). Com o início das chuvas a liteira é carregada da superfície dos solos para o rio aumentando a matéria orgânica da bacia, como observado em outros estudos na região (Johnson et al. 2006; Neu 2009; Leite et al., 2011).

Para Duarte & Gioda (2014) o aumento da vazão induz à erosão dos solos nas margens dos rios, promovendo a entrada dos COP e aumentando a concentração durante a estação chuvosa e, conseqüentemente, intensificado com a ação das atividades antrópicas de desmatamento e queimadas.

Esse aumento da concentração conforme o aumento da vazão pode ser explicado pelo aumento das chuvas neste período nas cabeceiras da bacia, haja vista que os tributários ao leste da bacia do Tapajós possuem um maior potencial ao escoamento (Moreira, 2011; Santos et al., 2014). Além disso, há também a influência das áreas de extração de minérios, principalmente ouro, atuando nas margens dos tributários a montante do rio (Leal et al., 1996) e do aumento da área queimada na Amazônia em 2015, com 219.743 km^2 , correspondendo a 136% a mais do que no ano de 2014, com os maiores índices registrados no segundo semestre, segundo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (<http://www.inpe.br/queimadas/portal>).

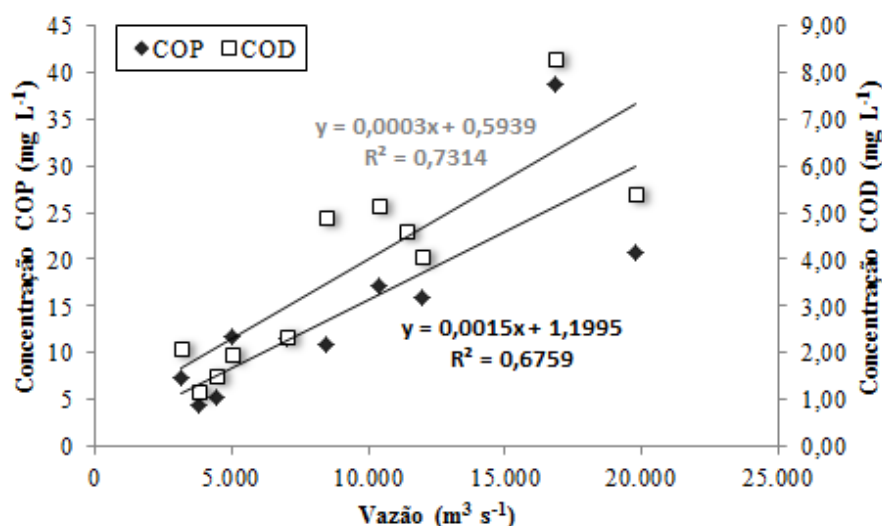


Figura 5 - Correlação entre carbono orgânico (COP e COD) e a vazão do rio Tapajós em 2016.

Grande parte da carga de carbono orgânico do rio Tapajós tem origem nas bacias dos rios Juruena e Teles Pires (Araújo et al., 2015). A outra parte da carga de COP do rio Tapajós é alimentada pelas cargas oriundas dos tributários laterais, principalmente da margem direita, ocorrendo um transporte maior de sedimentos em suspensão no período da estação chuvosa (Sioli,

1985). Para Tundisi & Tundisi (2008) o volume transportado por via fluvial de sedimentos depende dos usos da bacia hidrográfica, do grau de desmatamento ou da cobertura vegetal. Outros autores também afirmam que sedimento transportado no rio Tapajós é resultado da erosão nas cabeceiras localizadas na porção central do Brasil (Araújo et al., 2015; Sioli, 1985).

CONCLUSÃO

A concentração de sedimentos no rio Tapajós apresentou uma média de 14 ± 10 mg L⁻¹. A variação das concentrações é fortemente influenciada pelas variações hidrológicas sazonais, com as maiores concentrações ocorrendo no período de maior vazão do rio, com diferença significativa entre os períodos hidrológicos.

Os valores diferenciados em cada período da hidrógrafa podem estar relacionados a diversos outros fatores como: o escoamento superficial em período de maior precipitação chuvosa, a fatores antropogênicos ligados à atividade garimpeira à montante da bacia e seus tributários, aumento de áreas queimadas no período que antecede o início das chuvas entre outros fatores.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Oeste do Pará-UFOPA, campus Santarém/PA. Ao programa de pós-graduação em Recursos Naturais da Amazônia pela oportunidade de realizar esta pesquisa de mestrado. Ao laboratório de Física e Química da Atmosfera da UFOPA. Ao laboratório de Química do *Woods Hole Research Center* (WHRC). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, com o financiamento da bolsa de mestrado à SOUZA, R.S., e à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) pela concessão da bolsa de iniciação científica a SOUSA, W.S. À Harbourton Foundation pelo recurso à pesquisa. À aluna Irene Cibelle Gonçalves Sampaio, aos bolsistas de iniciação científica da UFOPA, Alan Silva Magalhães e Rafael Corrêa Muniz nas coletas e trabalho de laboratório. À Daniel Alves Jati pela produção do mapa.

REFERÊNCIAS

- ANA-AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano Estratégico de Recursos Hídricos dos Afluentes da Margem Direita do Rio Amazonas**. Brasília/DF. 146 p. 2013.
- APHA-American Public Health Association; AWWA - American Water Work Association; WEF - Water Environment Federation. **Standard Methods: for the examination of Water and Wasterwater**. Centennial Edition. 6 ed.. p.5-22; 5-24. 2012.
- ARAÚJO, I.B.; LIMA, A.M.M.; SANTOS, C.A. Caracterização hidrogeomorfológica das paisagens componentes da bacia hidrográfica do Rio Tapajós. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer. Goiânia-GO, v.11, n. 22, p. 3301-3327, 2015.
- BATALHA, S. S. A.; MARTORANO, L. G.; BIASE, A. G.; MORALES, G. P.; PONTES, A. N.; SANTOS, L. S. dos.

- Condições físico-químicas e biológicas em águas superficiais do Rio Tapajós e a conservação de Floresta Nacional na Amazônia, Brasil. *Rev. Ambiente & Água*, v. 9 (4), p. 647 – 663, 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 27 de agosto de 2017.
- COGO, M.C. **O papel dos sedimentos em suspensão no metabolismo de rios de micro e meso-escala no estado de Rondônia**. Piracicaba, 2005. 61p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ.
- DUARTE, A.F. & GIODA, A. Inorganic composition of suspended sediments in the Acre River, Amazon Basin, Brazil. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, v. 21, n. 1, p. 3–15, 2014.
- ESTEVEZ, F.A. **Fundamentos de Limnologia**, 2. ed. Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 226 p., 1998.
- ESTEVEZ, F.A.; AMADO, A.M.; FIGUEIREDO-BARROS, M.P.; FARJALLA, V. F. Carbono Orgânico. In: *Fundamentos de Limnologia*, 3. ed. Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 826 p., 2011.
- FILIZOLA, N. & GUYOT, J.L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 41, n. 4, p. 566–576, 2011.
- FINDLAY, S.E.G. & SINSABAUGH, R.L. **Aquatic Ecosystems: Interactivity of Dissolved Organic Matter**. Amsterdam - San Diego, Academic Press, 512 p., 2003.
- INMET-Instituto Nacional de Meteorologia. **Seca na Amazônia poderá bater recorde histórico em 2016**. Disp. em: <http://www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/2016/MARCO/seca_amazonia.pdf>. Acesso em: 23 de dezembro de 2016.
- JOÃO, X.S.J.; TEIXEIRA, S.G.; FONSECA, D.D.F. **Geodiversidade do estado do Pará: Programa geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade**. Serviço Geológico do Brasil-CPRM. Belém, 256p., 2013.
- JOHNSON, M.S.; LEHMANN, J.; COUTO, E. G.; NOVAES FILHO, J.P.; RIHA, S.J. DOC and DIC in flowpaths of Amazonian headwater catchments with hydrologically contrasting soils. *Rev. Biogeochemistry*, Dordrecht, v. 8, p. 45-57, July 2006.
- JUNK, W.J. **As águas da região Amazônica**. CNPq/Brasiliense. São Paulo-SP, 328 p., 1983.
- LEAL, J.W.L.; PASTANA, J.M.N.; JOÃO, X.S. J.; AMARAL; J.A.F.; NET, C.S.S.; SILVA, M.R.; PEREIRA, M.S.M. **Programa de Integração Mineral no Município de Itaituba**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM); Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Mineração (SEICOM); Prefeitura Municipal de Itaituba, 230 p., 1996. (Relatório Técnico)
- LEITE, N.K.; KRUSCHE, A.V.; BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E.; GOMES, B.M. Intra and interannual variability in the Madeira River water chemistry and sediment load. *Rev. Biogeochemistry*, Dordrecht, v. 105, p. 37 – 51, 2011.
- MELO, D.M.B. **Dinâmica biogeoquímica do carbono em ambientes fluviais de águas lênticas da Amazônia Oriental (FLONA de Caxiuanã, Pará)**. 2011. Piracicaba, 69p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura.
- MOLINIER, M.; GUYOT, J.L.; OLIVEIRA, E.; GUIMARÃES, V.; CHAVES, A. Hidrologia da bacia do rio Amazonas. *A água em Revista*, v. 2, n. 3, p. 31–36, 1994.
- MOREIRA, K.C.A.M. **Aspectos da biogeoquímica dos rios Teles Pires e Cristalino – MT**. Piracicaba, 2011. 72p. Tese (Doutorado), Ciências/Ecologia Aplicada do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- MOREIRA-TURCQ, P.; SEYLER, P.; GUYOT, J.L.; ETCHEBER, H. Exportation of organic carbon from the Amazon River and its main tributaries. *Rev. Hydrological Processes*, v.17, p. 1329-1344, 2003.
- NEU, V. **O ciclo do carbono na bacia do Alto Xingu: interações entre ambientes terrestre, aquático e atmosférico**. 2009. Piracicaba. 114p. Tese (Doutorado), Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP).
- NEU, V.; WARD, N. D.; KRUSCHE, A. V.; NEIL, C. Dissolved organic and inorganic carbon flow paths in an Amazonian transitional. *Rev. Frontiers in Marine Science*, v. 3, n. 114, p.1 – 15, Jun. 2016.
- PAOLINI, J. Carbono orgânico dissolvido y particulado en grandes rios de la America del Sur. *Interciencia*, v. 15, n. 6, p. 358 – 366, 1990.
- PIMENTEL, T.P. **Dinâmica do carbono em uma microbacia no extremo leste da Amazônia**. 2016. Piracicaba. 110 p. Tese (Doutorado), Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP).
- RICHEY, J.E.; BROCK, J.T.; NAIMAN, R.J.; WISSMAR, R.C.; STALLARD, R.F. Organic Carbon: Oxidation e Transport in the Amazon River. *Rev. Science*, v. 207, p. 1348–1351, 1980.
- ROSA, M.B.S. **Dinâmica do Carbono em Pequenas Bacias de Drenagem Sob Uso de Agricultura Familiar na Amazônia Oriental**. 2007. Belém, 99 p. Dissertação (Mestrado), Ciências Ambientais / Universidade Federal do Pará.
- SANTOS, C.A.; ARAÚJO, I.B., WANZELER, R.T.S.; SERRÃO, E.A.O.; FARIAS, M.H.C.S.; LIMA, A.M.M. Regionalização Hidroclimatológica da bacia hidrográfica do rio Tapajós. *Rev. Geográfica Acadêmica*, v. 9, n. 1, p. 32–51, 2015.
- SANTOS, C.A.; SERRÃO, E.A.O.; GONÇALVES, L.J. M.; WANZELER, R.T.S.; LIMA, A.M.M. de. Zoneamento da distribuição da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio tapajós. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 3092-3103, 2014.
- SILVA, L.M. **Estudo da correlação entre o oxigênio dissolvido e a matéria orgânica em diferentes ambientes aquáticos da região amazônica**. Manaus, 2012. 108p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Amazonas.
- SIOLI, H. **Amazônia: Fundamentos da Ecologia da maior região de Florestas Tropicais**. Ed. Vozes. Petrópolis, 72 p., 1985.
- SOUSA, E.S. **Dinâmica do carbono dissolvido no rio acre: variações espaciais e sazonais**. 2007. 91 p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências - Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém-PA.
- SOUSA, E.S. **Fluxo evasivo de CO₂ em ambientes fluviais no sudoeste da Amazônia, Acre, Brasil**. 2013. Piracicaba. 155 p. Tese (Doutorado). Centro de energia nuclear na agricultura. Universidade de São Paulo,
- TAPAJÓS, R.; AGUIAR, D.; JUNIOR, M.; MACHADO, W.; FURTADO, A.; FIGUEIRA, A.; MAURO, J.; SILVA, R. Fluxo de CO₂ proveniente do rio Tapajós. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, VII, 2011, Santa Maria. Anais ...Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, p. 183 – 186, 2011.
- TUNDISI, J.G. & TUNDISI, T.M. **Limnologia**. São Paulo/SP. Ed. Oficina de Textos, 631 p., 2008.
- UMETSU, C.A.; UMETSU, R.K.; MUNHOZ, K.C.A.; DALMAGRO, H.J.; KRUSCHE, A.V. Aspectos físico-químicos de dois rios da bacia do Alto Tapajós – Teles Pires e Cristalino – MT, durante período de estiagem e cheia. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*. Alta Floresta-MT, v. 5, n. 1, p. 59 – 70, 2007.
- WATERLOO, M.J.; OLIVEIRA, S.M.; DRUCKER, D.P.; NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; HODNETT, M.G.; LANGEDIJK, I.; JANS, W.W.P.; TOMASELLA, J.; ARAÚJO, A.C.; PIMENTEL, T.P.; ESTRADA, J.C. M. Export of organic carbon in run-off from an Amazonian rainforest blackwater catchment. *Rev. Hydrological Processes*, v. 20, n. 12, p. 2581 – 2597, 2006.

*Submetido em 6 de junho de 2018
Aceito em 1º de novembro de 2018*