



Vitória/ ES – Brasil

HIDROSEDIMENTOLOGIA NO CONTEXTO NEXO
PARA UMA SOCIEDADE SUSTENTÁVEL

XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos
I Partículas das Américas

24 a 28 de setembro de 2018



AVALIAÇÃO DA SAZONALIDADE DA DESCARGA SÓLIDA E DA GRANULOMETRIA NO RIO MADEIRA

Fernanda Biancardini Rocha Marques¹; Maximiliano Andres Strasser² & Newton de Oliveira Carvalho³

ABSTRACT – Madeira River is recognized by the high sediment transport, as presented in previous studies by Meade (1985), Filizola (1999) and Carvalho et al. (2005), which showed that the average sediment load of the Madeira River is equal to or greater than the load of the Amazonas at the confluence of the two rivers. This paper presents an evaluation of sediment discharge and grain size data collected from Sediment Monitoring Program supported by Santo Antônio Hydropower Dam. The data were analyzed in three different ways to develop a sediment rating curve in Port Velho (RO): according to the river regime (high and low water levels), according to the rainy season (wet and dry season) and using all the data of the period. Also, the grain size variations of the bed material and the variations of the composition of the suspended material during the monitored period are presented. The analysis of the sedimentological data allowed to identify that maximum sediment concentration precedes the peak flow in several days and maximum sand transport occurs from 1 to 2 months after hydrological peak.

Palavras-Chave – Granulometria, Descarga Sólida, Rio Madeira.

¹ PCE Projetos e Consultoria de Engenharia Ltda, Rio de Janeiro, Brasil. Email: fernanda.marques@pcebr.com.br

² PCE Projetos e Consultoria de Engenharia Ltda, Rio de Janeiro, Brasil. Email: maximiliano.strasser@pcebr.com.br

³ Consultor em Recursos Hídricos e Sedimentologia, Rio de Janeiro, Brasil. Email: newtonoc@openlink.com.br

1 – INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Madeira compreende uma área de $1,4 \times 10^6$ km², com precipitação média anual de 1.940mm e uma vazão média anual na foz de 31.200 m³/s. Segundo Goulding et al. (2003) é o maior tributário do Rio Amazonas, tanto em área de drenagem quanto em vazão, correspondendo a 23% dos $6,1 \times 10^6$ km² da bacia Amazônica.

O rio Madeira caracteriza-se por apresentar elevada carga de sedimentos e períodos de cheia e de recessão bem definidos. De maneira geral, o início da subida dos níveis d'água ocorre no mês de outubro, atingindo seu pico entre os meses de março e abril, quando tem início a recessão que se estende até os meses de setembro ou outubro.

A importância do transporte de sedimentos para o equilíbrio sedimentológico de um curso de água foi inicialmente postulada pelo pesquisador P. du Buat, em 1786, no entanto uma das primeiras expressões práticas nesse sentido foi proposta apenas há décadas por Lane (1955). Atualmente, após a instalação de duas barragens na calha do rio madeira, o assunto assume relevância também para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos. Neste sentido, o presente trabalho apresenta uma análise da sazonalidade da descarga de sedimentos e da granulometria dos sedimentos no trecho médio do Rio Madeira.

2 – METODOLOGIA

Dada a importância da carga de sedimentos no rio Madeira, no período de 2003 a 2007 o consórcio FURNAS/CNO realizou numerosas medições durante a etapa dos estudos de viabilidade da UHE Santo Antônio. Posteriormente, a partir de 2009, durante a etapa de implantação e operação da Usina, a Santo Antônio Energia deu início a um dos programas de monitoramento de sedimentos mais intensivos do Brasil. Neste contexto, passou a realizar medições de descarga líquida e sólida com frequência quinzenal (nos primeiros anos) e mensal (nos últimos anos), que permitiram avaliar o comportamento hidrológico/hidráulico do trecho médio do rio Madeira.

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos da estação hidrométrica UHE Santo Antônio Porto Velho, cuja seção de medição está localizada a cerca de 13 km a jusante da Usina, nas imediações de Porto Velho/RO, com uma área de drenagem de aprox. 980.000 km². As medições envolvem a amostragem de sedimentos em suspensão (integrada, pontual e de superfície) e a amostragem de sedimentos do leito, totalizando quase 400 coletas desde 2009.

A análise dessas medições evidenciou a presença de um efeito de laço na curva-chave de sedimentos da estação (assim como nas demais estações monitoradas), caracterizando uma diferença no comportamento hidrossedimentológico da estação para os diferentes períodos. Com o intuito de caracterizar esse laço, neste estudo será considerada uma curva de sedimentos média junto com duas classificações, uma considerando os períodos de enchente (e cheia) e vazante (e estiagem), e o outro ponderando os períodos úmidos e secos.

2.1 - Períodos de enchente/cheia e vazante/estiagem

No trecho médio do rio Madeira, considera-se que o período de enchente inicia-se no mês de outubro, sendo que o pico de vazão ocorre nos meses de março ou abril.

Analisando as medições de concentração de sedimentos na superfície se observa que o pico de concentração de sedimentos antecede ao pico de vazão (Figura 1). Neste trabalho foi considerado que o período de vazante para a descarga sólida se inicia, em média, em 15 de fevereiro e termina em 30 de setembro, enquanto que o período de enchente começa em 1 de outubro e se estende até 14 de fevereiro.

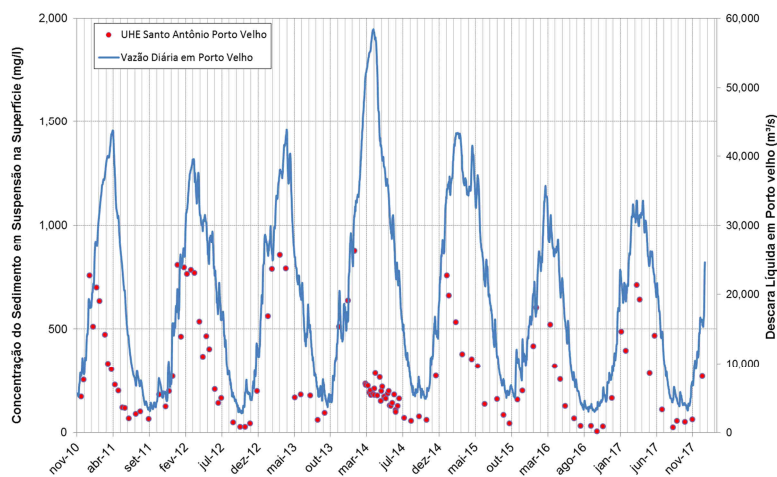


Figura 1 – Concentração de sedimentos em suspensão na superfície e Hidrograma do rio Madeira em Porto Velho

2.2 - Períodos úmido e chuvoso

Normalmente, o período úmido nesta região contempla os meses entre novembro e abril, com a chuva concentrada principalmente nos meses de verão (dezembro, janeiro, fevereiro e março). O período da estação seca ocorre entre maio e outubro, sendo que os meses mais secos ocorrem no inverno (junho, julho, agosto e setembro). A distribuição das precipitações ao longo do ano na estação Porto Velho pode ser observada na Figura 2.

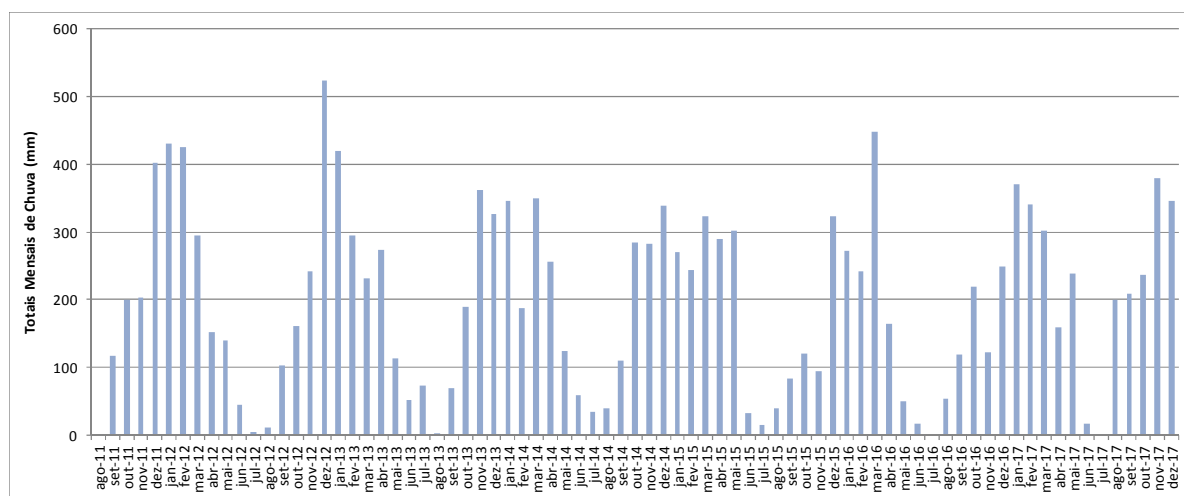


Figura 2 – Totais mensais de chuva em Porto Velho (set/11 a dez/17)

3 – CURVAS-CHAVE DE DESCARGA SÓLIDA POR PERÍODO

Após a definição dos períodos a serem estudados, os dados foram classificados de acordo com os mesmos, e assim foi possível o traçado das curvas-chave para cada período. As curvas-chave de descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) considerando os períodos de enchente/cheia e vazante/estiagem, os períodos úmidos e secos e, por último, considerando todos os dados num período único, apresentam-se nas Figuras 3 a 5. Na Figura 4 se observa para as vazões altas uma sobreposição dos pontos que representam o período úmido e seco, havendo descargas altas nos períodos secos, o que evidencia o fato de que a pico de sedimentos não coincide com o pico de vazões, antecipando-se ao mesmo, confirmando a situação já observada no gráfico da Figura 1.

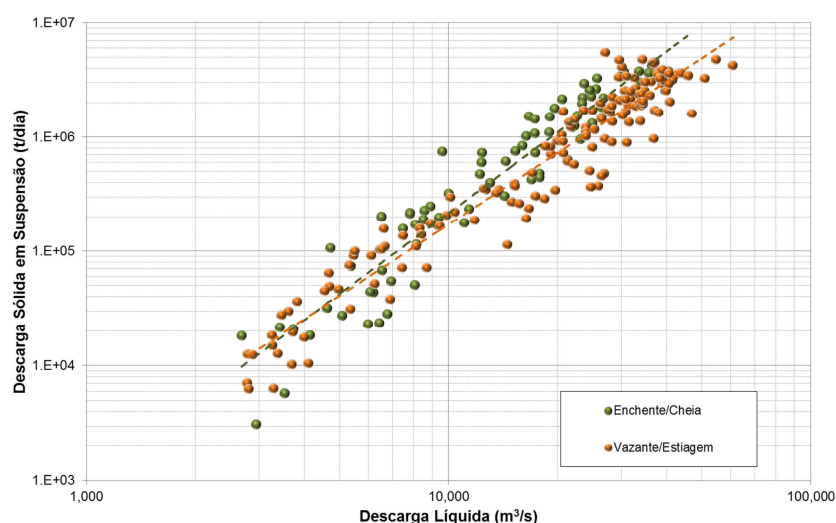


Figura 3 – Curvas-chave de descarga sólida em suspensão considerando separadamente os períodos de Enchente/Cheia e Vazante/Estiagem

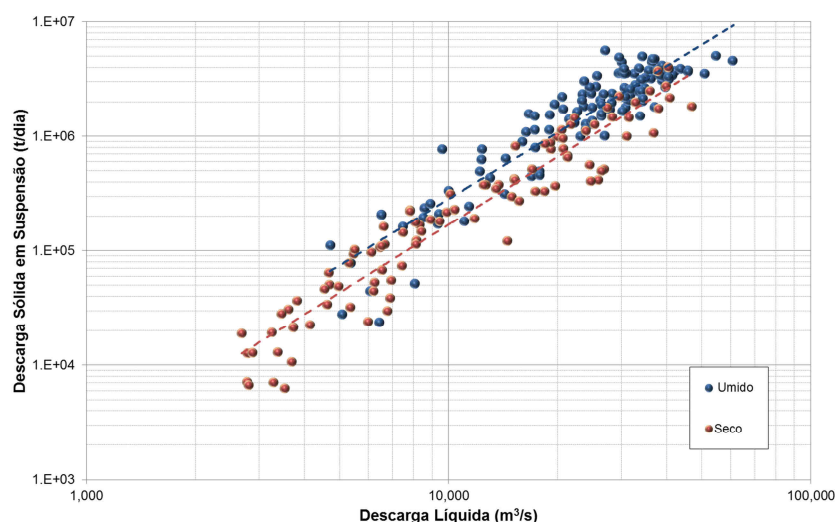


Figura 4 – Curvas-chave de descarga sólida em suspensão considerando os períodos úmido e seco

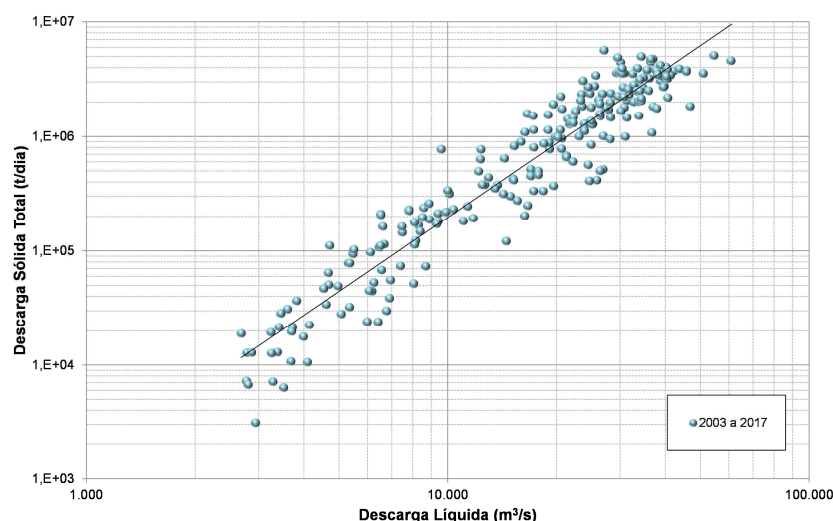


Figura 5 – Curvas-chave média de descarga sólida em suspensão

4 – DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO MÉDIA ANUAL

Com as curvas-chave a serem estudadas já definidas, as equações foram aplicadas na série de descarga líquida histórica da estação de Porto Velho, de abril de 1967 a dezembro de 2017 (assumiu-se que a carga de sedimentos não mudou no tempo). A Tabela 1 apresenta os resultados médios obtidos, enquanto a Figura 6 apresenta as médias diárias por mês para este período.

Em termos quantitativos, se observa que o valor médio da descarga sólida em suspensão considerando as curvas utilizadas foram $1,129 \times 10^6$ t/dia (curva média), $1,040 \times 10^6$ t/dia (enchente/vazante) e $1,172 \times 10^6$ t/dia (seco/úmido). Tomando como base os resultados obtidos com o uso da curva média, verificou-se que as curvas de enchente e vazante representam uma descarga sólida média anual 8% inferior, enquanto que as curvas-chave dos períodos seco e úmido representam um aumento de 4%. Ainda tendo como base a curva média, através do gráfico da Figura 6 percebe-se que os maiores incrementos em relação às curvas-chave de enchente e vazante ocorrem em janeiro, com valores até 28% superiores, e em novembro e dezembro as curvas-chave do período úmido e seco superam também a curva-chave média em até 39%. Entretanto, nos meses de março e abril a curva-chave média supera a curva-chave de enchente e vazante em até 19% e em maio supera a curva-chave do período úmido e seco em até 28%.

Tabela 1 – Descarga Sólida em Suspensão na Estação UHE Santo Antônio Porto Velho

Curva-chave utilizada	Qss Média (t/dia)	Qss Média (t/ano)
Curva Média	$1,129 \times 10^6$	412 milhões
Enchente x Vazante	$1,040 \times 10^6$	380 milhões
Seco x Úmido	$1,172 \times 10^6$	428 milhões

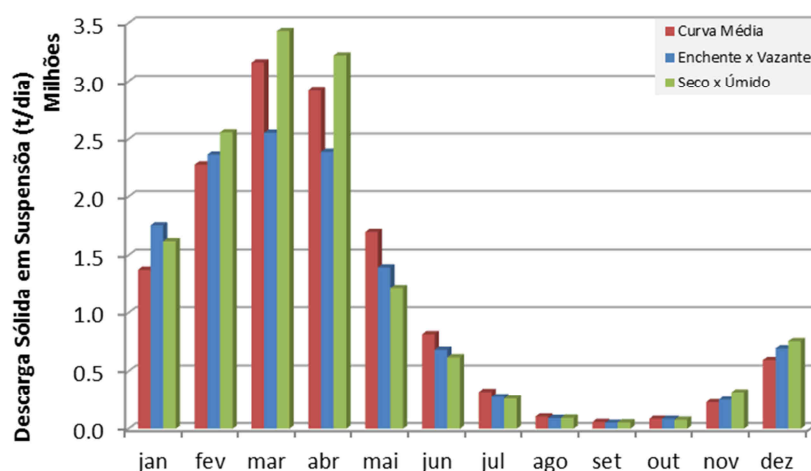


Figura 6 – Descarga sólida em suspensão média diária

5 – AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA

Considerando os dados levantados no âmbito do Programa de Monitoramento foram definidos gráficos que representam as variações na composição granulométrica da descarga sólida em suspensão do rio Madeira. Neste sentido, a Figura 8 apresenta a variação da composição dos sedimentos em suspensão entre março/2009 e dezembro de 2017, considerando a porcentagem de sedimentos finos (silte e argila) e de areia total. Percebe-se uma menor variação dos percentuais em função do período seco/chuvoso após o ano de 2011, coincidindo com o fechamento da barragem, quando o material fino permaneceu numa média de 96%, excluindo se o período de 2014, quando da cheia extraordinária no rio Madeira (vazão superior a 58.000 m³/s e TR>100 anos), onde houve um maior transporte de areia (o dado de junho/2012 deve desconsiderar-se pois, provavelmente, o lastro do amostrador tocou o leito arenoso).

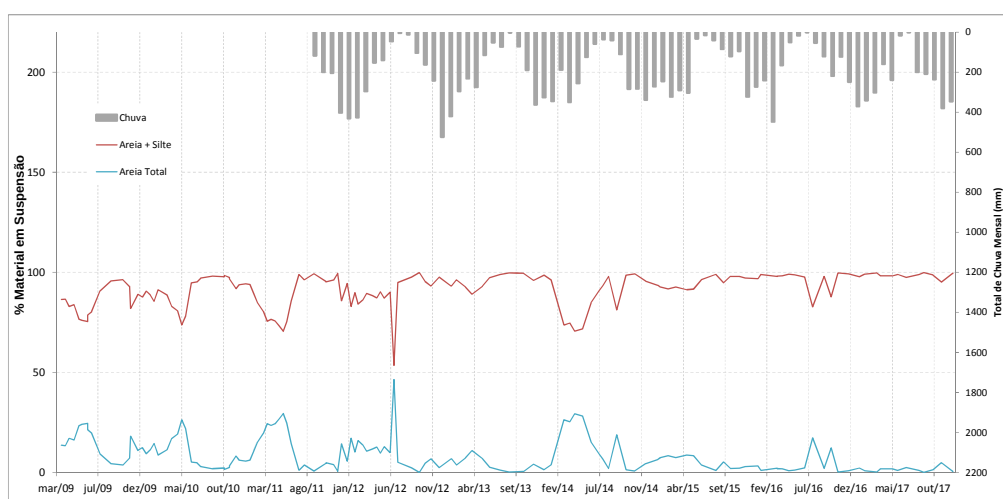


Figura 8 – Porcentagens de material fino e areia nos sedimentos em suspensão



A Figura 9 apresenta a variação nos diâmetros característicos da composição granulométrica do sedimento do leito. Neste gráfico também é possível observar a influência do fechamento das barragens (UHE Santo Antônio em 2011 e UHE Jirau em 2012) e, ainda mais impactante, da cheia extraordinária de 2014, que elevou consideravelmente o D90, significando um aumento na granulometria média do material do leito.

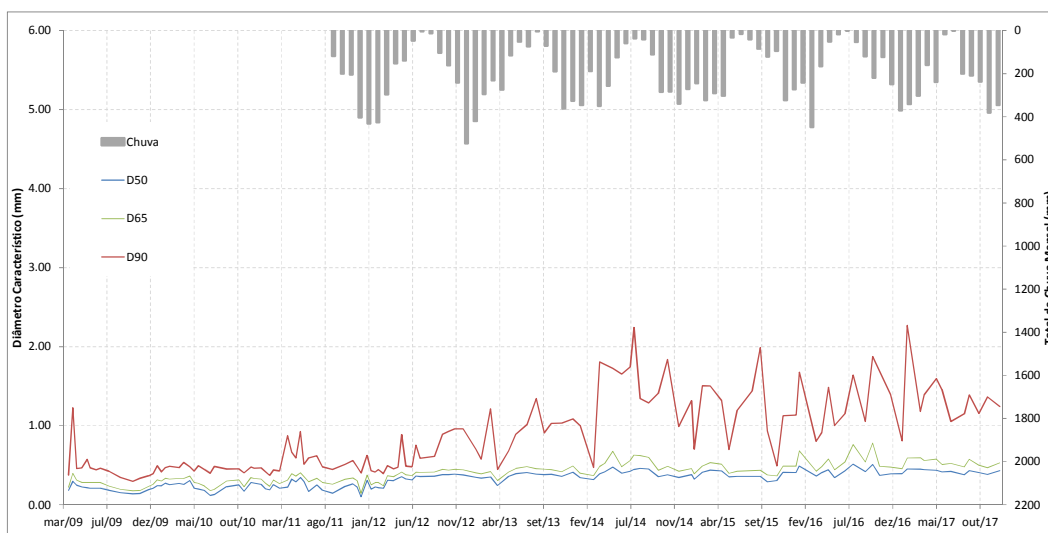


Figura 9 – Variação dos diâmetros característicos do leito

Outra característica temporal interessante desta região é apresentada na Figura 10, a qual consta dos dados da quantidade de areia em suspensão e a vazão média da estação. Ao contrário da concentração, cujo pico antecipa o pico da cheia, o pico de areia em suspensão apresenta um atraso em relação ao pico da cheia.

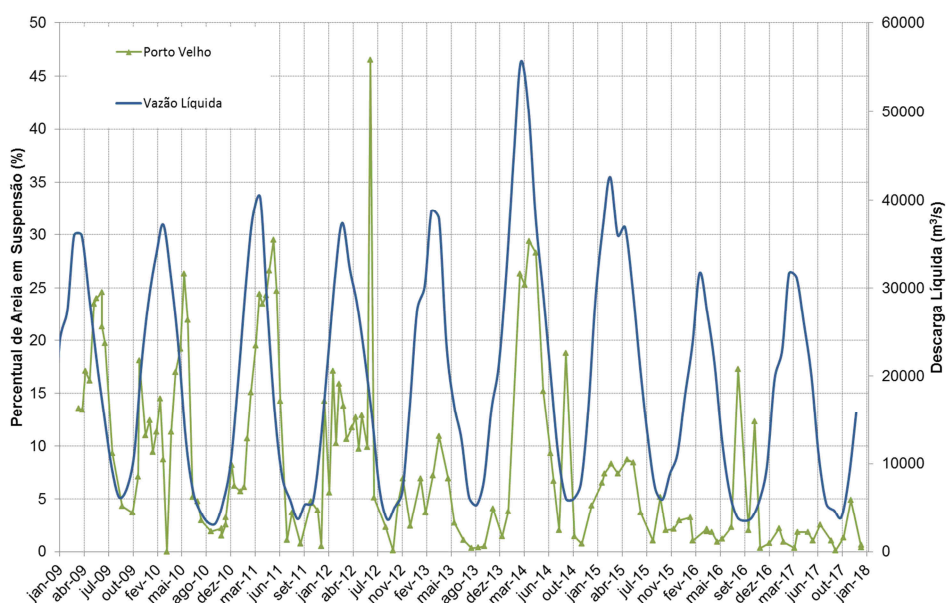


Figura 10 – Percentual de Areia nas amostras de suspensão



6 – CONCLUSÃO

Foram avaliadas diferentes formas de concepção (regime fluviométrico e pluviométrico) das curvas-chave de descarga sólida em suspensão no trecho médio do rio Madeira, a partir dos dados coletados no âmbito do Programa de Monitoramento de Hidrossedimentológico da UHE Santo Antônio. Neste sentido, as curvas-chave determinadas considerando os períodos úmidos e secos geraram a série com maior descarga sólida em suspensão, totalizando uma descarga anual de 428×10^6 toneladas. As curvas que apresentaram menor descarga sólida foram aquelas obtidas para os períodos de enchente e vazante, obtendo-se um total anual de 380×10^6 toneladas. O critério que considerou uma curva única (média) para todos os dados totalizou 412×10^6 ton/ano.

Em relação à granulometria do sedimento, foi possível acompanhar o comportamento temporal da composição média do sedimento em suspensão e os diâmetros característicos do sedimento do leito. A evolução da granulometria na última década permitiu observar a influência da implantação das barragens do rio Madeira (UHE Santo Antônio em out/11 e UHE Jirau em out/12) na dinâmica sedimentológica, bem como os efeitos decorrentes da cheia extraordinária ocorrida em 2014.

Finalmente, a análise das informações sedimentológicas permitiu identificar que o pico da concentração de sedimentos em suspensão antecede ao pico de vazão aproximadamente em 15 dias, enquanto que o maior transporte de sedimentos arenosos acontece de 40 a 70 dias após o pico hidrológico, muito provavelmente devido à inércia destes materiais, confirmando o fato já apontado por Strasser (2008) no movimento de dunas no leito do rio Amazonas.

BIBLIOGRAFIA

- CARVALHO, N.O., SALGADO, J.C.M., ROSS, J., RUIZ, N.C.P., SILVA, L.F.A., MESQUITA, J.B., GOULART NETTO, A.A. & SILVA, L.P. (2005). Revisão dos estudos sedimentológicos do rio Madeira e Mamoré, RO. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ABRH). Novembro, 2005. João Pessoa, PB.
- GOULDING, M.; BARTHEM, R.; FERREIRA, E. (2003). The Smithsonian Atlas of the Amazon. Smithsonian Books, Washington e Londres. Nascimento, D.A.; Mauro, C.A.;
- FILIZOLA JR., N.P. (1999). O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da bacia Amazônica brasileira. ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, DF.
- LANE, E.W. (1955). The importance of fluvial morphology. In Proc. of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineering, v. 81(745), pp. 1-17.
- MEADE, R. (1985). Suspended sediment in the Amazon River and its tributaries in Brazil during 1982-84. USGS Open-file Report 85-492, 40 p. Denver, Colorado.
- STRASSER, M.A. (2008). Dunas fluviais no rio Solimões-Amazonas – Dinâmica e transporte de sedimentos, Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro (PEC/COPPE/UFRJ).