

CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA DO RIO BRANCO, ESTADO DE RORAIMA
CHARACTERISTICS OF SEDIMENT TRANSPORT SUSPENDED IN BRANCO RIVER BASIN, RORAIMA STATE
CARACTERÍSTICAS DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EM CUENCA DEL RÍO BRANCO, ESTADO DE RORAIMA.

Carlos Sander

Dep. de Geografia, Universidade Federal de Roraima, UFRR
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia, UEM
Carlos.sander@ufr.br

Nelson Vicente Lovatto Gasparetto

Dep. de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, UEM
Programa de Pós-Graduação em Geografia- PGE/UEM
nvlgasparetto@uem.br

Manoel Luiz dos Santos

Dep. de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, UEM
Programa de Pós-Graduação em Geografia- PGE/UEM
mldsantos@uem.br

Thiago Morato de Carvalho

Coordenador do Laboratório de Métricas da Paisagem, Dep. de Geografia, Universidade Federal de Roraima, UFRR
thiago.morato@ufr.br

Resumo

Este estudo tem como objetivo a caracterização da dinâmica dos sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do rio Branco, Estado de Roraima. A metodologia envolveu o levantamento de dados hidrológicos da Agência Nacional de Águas, coleta e análise complementares da carga em suspensão e o levantamento da descarga fluvial. O estudo indicou uma significativa variação das concentrações de carga sedimentar em suspensão para os rios que compõem as nascentes da bacia hidrográfica do rio Branco. O maior destaque na produção de sedimentos foi o rio Tacutu, com uma contribuição estimada em 38% para a descarga do rio Branco (estação de Caracaráí). O rio Uraricoera mostrou uma contribuição média de 34%. Os levantamentos evidenciaram o importante papel da bacia no fornecimento de sedimentos ao rio Negro.

Palavras-chave: Rio Branco, sedimentos em suspensão, geomorfologia fluvial.

Abstract

This study aims to characterize the dynamics of suspended sediment in the basin of Branco river, State of Roraima. The methodology involved a survey of hydrological data from the National Water Agency, collection and further analysis of the load in suspension and the lifting of the river discharge. The study indicated a significant variation in concentrations of suspended sediment load into rivers that make up the sources of the basin of the Branco River. The highlight in sediment yield was Tacutu river, with a contribution estimated at 38% for the discharge of the Branco river (Caracaráí station). The Uraricoera river showed an average contribution of 34%. The surveys showed the important role of the basin in the supply of sediment to the Negro river.

Keywords: Branco River, suspended sediments, fluvial geomorphology.

Resumen

Este estudio tiene como objetivo caracterizar la dinámica de los sedimentos en suspensión en la cuenca del Río Branco, Estado de Roraima. La metodología consistió en la recopilación de datos hidrológicos de la

Agencia Nacional del Agua, la recogida y posterior análisis de la carga en suspensión y el levantamiento de la descarga de los ríos. El estudio indicó un cambio significativo en las concentraciones de carga de sedimentos en suspensión en los ríos que conforman la cabecera de la cuenca del río Blanco. Lo más destacado en la producción de sedimentos fue Tacuturío, con una contribución estimada en 38% para la descarga del Río Branco (estación Caracaraí). El río Uraricoera mostró una contribución media del 34%. Las encuestas mostraron el importante papel de la cuenca en el suministro de sedimentos al río Negro.

Palabras clave: Río Branco, sedimentos en suspensión, geomorfología fluvial.

INTRODUÇÃO

Os rios tropicais são os maiores produtores de sedimentos de origem fluvial para os oceanos. A bacia Amazônica, apesar de deter a maior vazão e a maior carga de sedimento em suspensão do planeta (com médias variando de 1000 a 1300x10⁶ton/ano), a produtividade dos sedimentos é bastante desigual ao longo de sua área drenada, tendo a maior parte do material originado em posições andinas (MEADE, 1985 e 1994; FILIZOLA, 1999; LATRUBESSE et al., 2005; GUPTA, 2002 e 2007; FILIZOLA e GUYOT, 2011).

Há de se considerar que o transporte sedimentar é fundamental aos estudos de geomorfologia fluvial, pois atua progressivamente na dinâmica dos ambientes aluviais, atuando na alteração da forma dos canais e na composição de depósitos na planície de inundação e na estabilização de barras e evolução de corpos insulares.

Com relação a variável carga sedimentar, podemos separá-la em três categorias, sendo elas o transporte em suspensão, o de fundo e o em solução, sendo somente a primeira categoria tratada neste estudo.

Mesmo que a bacia do rio Negro seja reconhecida como ínfima contribuinte em carga suspensa para o rio Amazonas (FILIZOLA, 1999; LATRUBESSE et al., 2005; FILIZOLA e GUYOT, 2011), a dinâmica de seus tributários é na maior parte desconhecida. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo apresentar as características regionais de produção e transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Branco, assim como sua contribuição aos débitos do rio Negro.

Área de estudo - O estudo foi desenvolvido na bacia do rio Branco, tendo como limite inferior na estação fluviométrica de Caracaraí (curso médio do rio), drenando uma área total de 126.000 km (Figura 01). Apesar de compreender a maior parte do estado de Roraima, esta bacia drena ainda terrenos localizados na República Cooperativista da Guiana, drenado por seu segundo maior afluente, o rio Tacutu. Seu maior tributário é o Uraricoera. Também se destacam os rios Mucajaí, localizado na área relativa à estação de Caracaraí, Anauá e Catrimani, estando estes dois desaguam no baixo rio Branco.

Além dos rios tendo ao longo do baixo curso dos rios Uraricoera e Tacutu (formadores do rio Branco) e ao longo de alto rio Branco até as adjacências de Boa Vista, Roraima, posicionado entre as coordenadas de 2° 44' – 3° 19' N e 60° 15' – 60° 51' W, drenando uma área aproximada de 95.000 km², estando 11,5 % posicionado na República Cooperativista da Guiana.

Do ponto de vista fito-ecológico da área de contribuição para a estação de Caracaraí, a parcela ocidental da bacia, assim como as regiões e extremo nordeste e sudeste são caracterizadas por áreas florestadas. Já a parcela oriental é compreendida por vegetação do tipo savana, compreendendo a região da calha do rio Branco até o território guianense (IBGE, 2005).

O clima da região (classificação de Köppen) abrange os tipos “Af” (oeste da bacia), “Am” (centro e norte da bacia) e “Aw” (leste da bacia). O volume anual de chuvas na bacia varia entre 2400 mm na parte oeste da bacia e decresce em direção a leste apresentando chuvas perto de 1100 mm na fronteira entre Roraima e Guiana (BARBOSA, 1997; EVANGELISTA et al., 2008).

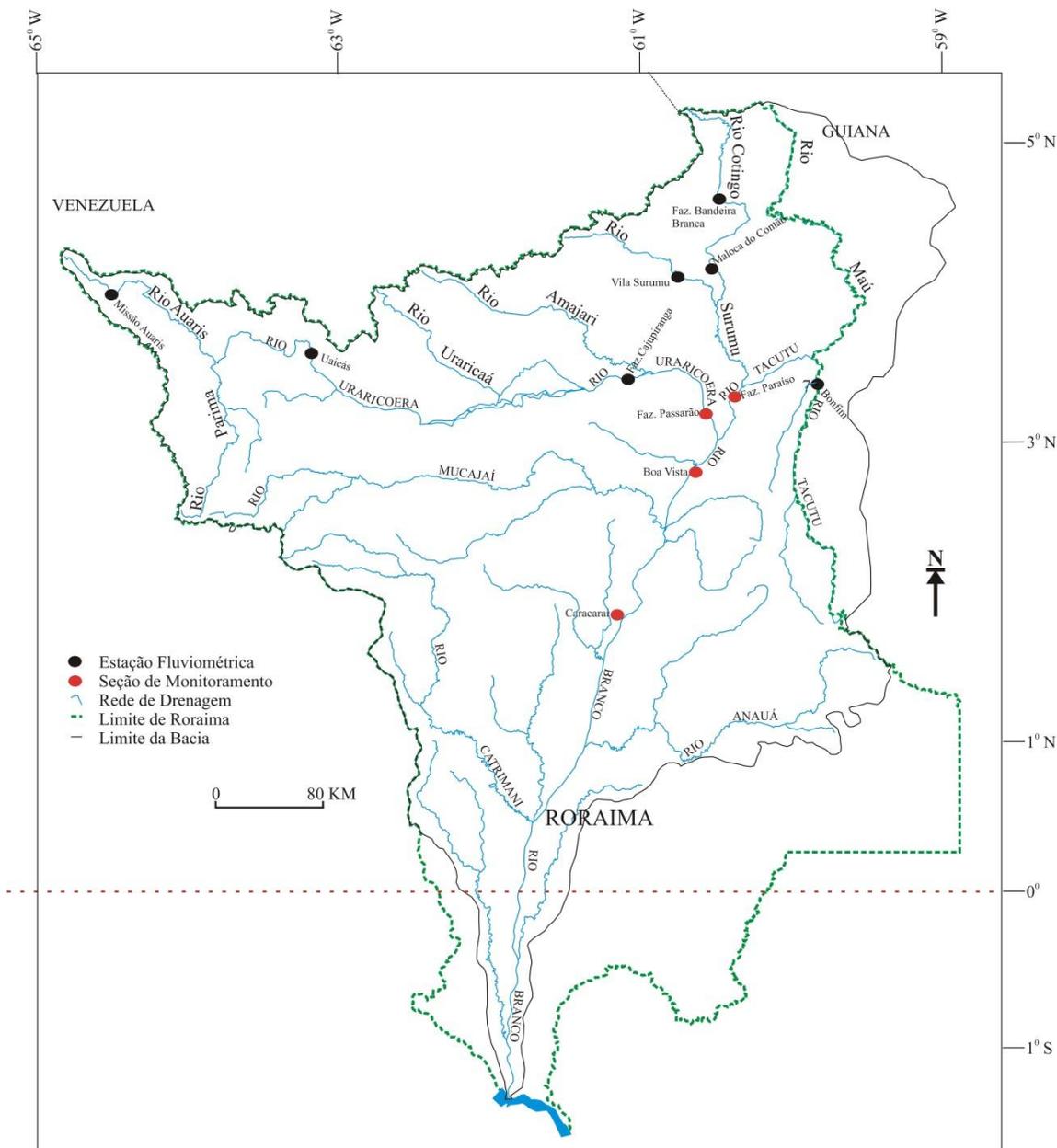


Figura 1: Localização da área de estudo

MATERIAIS E MÉTODOS

A determinação da carga em suspensão compreendeu duas fases. A primeira compreendeu o levantamento de dados de carga em suspensão obtidos junto a Plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA, 2014) de estações instaladas na bacia do rio Branco. A segunda etapa compreendeu a realização de excursões complementares nas proximidades da foz dos rios Tacutu (Fazenda Paraíso) e Uaricoera (Fazenda Passarão), assim como em Boa Vista (rio Branco) a fim de determinar a contribuição dos principais afluentes para carga suspensa da bacia do rio branco (Figura 01).

Para determinação da concentração de sedimentos em suspensão, amostras de água foram coletadas com auxílio de garrafa de Van Dorne do amostrador modelo DH-49. Essas amostras foram colhidas durante

as etapas de levantamento da descarga nos rios Tacutu, Uraricoera e Branco, usando os mesmos procedimentos e critérios empregados na definição dos pontos de medida da velocidade da corrente.

Nas etapas posteriores, devido às limitações de uso da garrafa de Van Dorn para fluxos correntes, a amostragem do sedimento em suspensão foi obtida com o emprego do amostrador modelo DH-49, manuseado com o auxílio de um guincho fluviométrico seguindo as orientações de Carvalho et al. (2000)

A quantificação dos sedimentos em suspensão foi realizada utilizando sistema de filtração a vácuo e filtros de membrana de celulose com porosidade de 0,45µm. A técnica consiste em secar em estufa por cerca de 2 horas e pesar os filtros em balança analítica antes da filtração.

Após a filtração de um volume conhecido de amostra de água do rio os filtros são pesados novamente, depois da secagem. A diferença de massa dos filtros depois e antes da filtração corresponde à massa de sedimentos em suspensão e sua concentração é obtida dividindo essa massa pelo volume de água filtrado, conforme expressa a fórmula seguinte (CARVALHO, 1994):

$$C_{SS} = (MF_{final} - MF_{inicial}) \cdot V_a, \text{ onde:}$$

C_{SS} = concentração de sedimentos em suspensão (mg/l)

MF_{final} = massa do filtro depois da filtração da amostra e secagem (mg)

$MF_{inicial}$ = massa do filtro antes da filtração em miligramas (mg)

V_a = volume de água da amostra

A descarga sólida em suspensão foi obtida pelo produto da concentração média de sedimentos na secção transversal por meio vazão média do rio no momento da medição, e os cálculos foram realizados para os três períodos de estudo. Para tanto, empregou-se a seguinte fórmula (CARVALHO, 1994).

$$Q_{SS} = 0,0864 \cdot Q \cdot C_{SS}, \text{ onde:}$$

Q_{SS} = descarga sólida em suspensão média em t/dia;

Q = vazão ou descarga líquida média em m³/s

C_{SS} = concentração média de sedimentos em suspensão em mg/l.

Os valores de descarga nas excursões de amostragem foram obtidos com o auxílio de um aparelho tipo ADCP, modelo M9 (Carvalho, 2008), seguindo o cronograma de coletas dos materiais.

SEDIMENTO EM SUSPENSÃO DA BACIA DO RIO BRANCO

O rio Branco está posicionado na parcela mais setentrional da bacia do rio Negro e drena parte da parcela sul do Planalto das Guianas (PENHA, 1995). Apesar de sua grandeza, pouco se sabe a respeito da dinâmica sedimentar deste curso fluvial e nem mesmo se compreende o quanto tal rio contribui para o débito de água e carga suspensa do rio Negro.

Os levantamentos da carga de sedimentem suspensão da bacia do rio Branco mostrou bastante desigual, especialmente nas áreas drenadas pelos rios Tucutu e Uraricoera (Figura 02, Tabela 01). Com valores médios que variam de 28,14mg/L, junto à estação fluviométrica Auaris (rio Auaris) e 141,47mg/L, no limite entre o alto e médio rio Cotingo, um sub-afluente do Tacutu (Tabela 01 e 02 (Figura 02), sendo tal

condição comum às bacias de grande porte (FILIZOLA, 1999; LATRUBESSE et al., 2005; MANASSERO et al. 2008, FILIZOLA e GUYOT, 2011; LELI et al., 2011; LELI, 2010).

No que diz respeito à amplitude da concentração de sedimentos, esta é maior no setor setentrional da bacia do alto rio Branco. Essa área engloba uma faixa que se prolonga desde o rio Auaris (margem esquerda do rio Uraricoera e extremo noroeste de Roraima) até a Bacia do rio Maú (margem direita do rio Tacutu, no extremo Nordeste da bacia e que faz o limite entre Roraima e a República Cooperativista da Guiana). Assim, a maior amplitude nas cargas suspensas ocorreu nas estações fluviométricas da Fazenda Bandeira Branca, que drena o alto rio Cotingo, com uma variação de 748,6 (mg/L), e no rio Auaris, com amplitude de 658,99 (mg/L) (Tabela 01).

A grande amplitude na carga em suspensão observada nestas estações está relacionada à topografia de suas bacias. Os dois rios drenam planaltos bastante dissecados, onde o rio Auaris, à montante do ponto monitorado, apresenta um gradiente médio de aproximadamente 10m/km e drena áreas com altitudes que variam de 1.000 a 2.000m, recoberta por vegetação densa. A bacia do alto Cotingo, por sua vez, apresenta um gradiente de 7m/km com topografia variando entre 500m a pouco mais de 2.700m, no Monte Roraima (REIS, 2002), sendo coberta quase que proporcionalmente por vegetação densa em suas cabeceiras, e o restante por vegetação do tipo savana (EVANGELISTA et al., 2008).

Tabela 1: Resultados da concentração média de sólidos totais em suspensão (Cmss) (mg/L) (série histórica) na bacia do alto rio Branco (ANA, 2014)

Seção	Município	Rio	Série Histórica	Cmss (mg/L)	Amplitude (mg/L)	Cmss - Estação seca	Cmss - Estação úmida
Vila Surumu	Pacaraima	Surumu/Tacutu	1991/1997	42,76	167,64	17,78	57,67
Bonfim	Bonfim	Tacutu	1998/2012	46,20	259,44	56,87 ^a	36,79 ^a
Maloca do Contão	Pacaraima	Cotingo/Surumu / Tacutu	1992/2012	65,14	284,14	28,35	95,03
Fazenda Cajupiranga	Alto Alegre	Uraricoera	1992/2012	30,81	76,99	27,37	33,85
Missão Auaris	Boa Vista	Auaris/Uraricoera	1992/1997	28,14	658,99	29,81	27,10
Fazenda Bandeira Branca	Uiramutã	Cotingo/Surumu / Tacutu	1991/1997	141,47	748,6	63,08	160,66

A menor amplitude foi observada no rio Branco, na estação fluviométrica de Caracarái, com uma amplitude de 119,78mg/L. Essa diferença tende a ser menor a jusante, quando comparados as áreas de cabeceira, pela entrada de descarga de outros tributários com menor produção de sedimentos em suspensão e pela redução de processos de encostas (erosão), mais fortes junto as áreas mais dissecadas e de maior gradiente topográfico, a exemplo da parcela setentrional da bacia do rio Branco.

Os valores de amplitude possivelmente tendem a serem mais baixos no baixo rio Branco. Isso porque nesta região predominam amplas planícies alagadas e áreas florestadas (IBGE, 2005a e 2005b) que reduzem a ação de processos de geração de sedimentos em suspensão.

Em relação a produção específica de sedimentos (Ps), a bacia do rio Auaris apresenta os maiores valores na bacia do alto rio Branco, chegando à impressionante marca de 907,28 (t/km²/ano) que, drenando

somente 0,73% da bacia estudada, estaria contribuindo com aproximadamente 18% da carga em suspensão produzida estimada para a estação fluviométrica de Boa Vista. Quando observado a contribuição desta bacia para a estação de Caracarái (médio rio Branco), o rio Auaris contribuiria com pouco mais de 15%, mesmo representando somente 0,56% da área drenada por esta estação.

Mesmo que o volume médio da carga em suspensão do rio Auaris não seja alto (28,14mg/L) (Tabela 03), sua descarga é elevada (645,5m³/s) (Tabela 02) e, ambos combinados, resultam numa grande produção de sedimentos. Essa situação se assemelha a drenagens localizadas junto às ilhas de Java, Sumatra, entre outras, situadas no oceano Índico, e mesmo sendo de cursos fluviais de pequenas extensões e recobertas por vegetação densa, são eficientes na produção de sedimentos devido a alta pluviosidade e o forte gradiente apresentados por estes sistemas (LATRUBESSE et al., 2005).

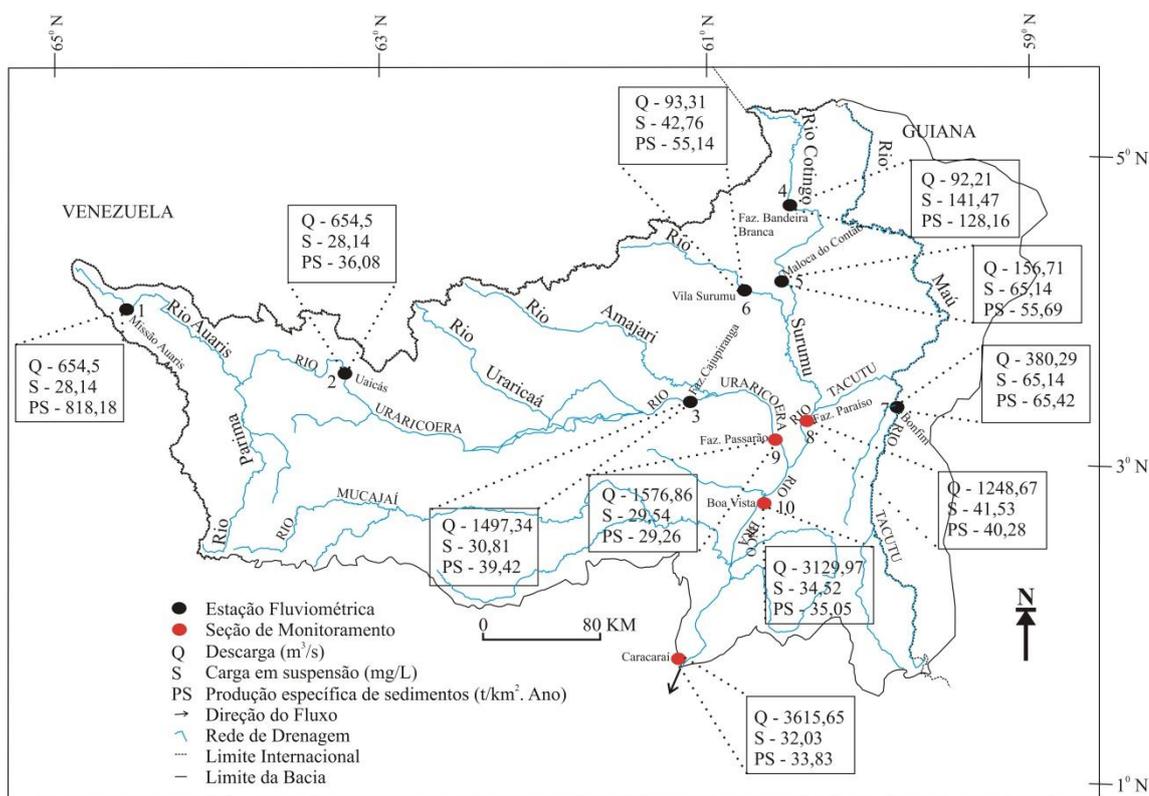


Figura 2: Variação espacial da Concentração de Sedimento em Suspensão (mg/L) na bacia do alto rio Branco. Devido a descarga utilizada para o cálculo é instantânea ao levantamento da carga em suspensão.

Tabela 2: Resultados da concentração média de sólidos totais em suspensão (mg/L) das bacias que compõe o alto rio Branco.

Seção/Rio	Cmss (mg/L)	Amplitude (mg/L)	Q* média (m ³ /s)	Área drenada (km ²)	Qss médio (t/dia)	Ps (t/km ² ano)
Fazenda Paraíso - Rio Tacutu	41,53	53,2	1.248,67	40.600	4.480,04	40,28
Fazenda Passarão - Rio Uraricoera	29,54	36,2	1.576,86	50.200	4.024,55	29,26
Boa Vista - Rio Branco	34,52	72,4	3.129,97	97.200	9.334,33	35,05
Caracarái - Rio Branco	32,03	119,78	3.615,65	126.000	11.679,02	33,83

* Vazão instantânea.

A Fazenda Bandeira Branca, que apresenta a maior média de carga em suspensão no rio Branco (141,47mg/L) (ANA, 2014) (Tabela 01), não revela o mesmo desempenho que o rio Auaris. Mesmo que apresente um gradiente elevado (7m/km) e tenha a metade de sua bacia composta por vegetação aberta, o rio Cotingo, nesta estação, mostra uma produção específica de sedimentos de 128,16t/km². A produção inferior do rio Cotingo em relação ao rio Auaris é resultado de sua vazão reduzida (92,21m³/s) (Tabela 03).

Tabela 3: Resultados da descarga líquida (m³/s), da descarga sólida em suspensão (t/dia) e de produção específica de sedimentos em t/km²/ano

Seção	Curso d'água	Data	Q média (m ³ /s)	Área drenada (km ²)	Qss médio (t/dia)	Ps (t/km ² ano)
Vila Surumu	Pacaraima	Surumu/Tacutu	93,31	2280	344,45	55,14
Uaicás	Alto Alegre	Uraricoera	654,50	16.100	1.591,52	36,08
Bonfim	Bonfim	Tacutu	380,29	9.860	1.518,11	65,42
Maloca do Contão	Pacaraima	Cotingo/Surumu / Tacutu	156,71	5.780	881,94	55,69
Fazenda Cajupiranga	Alto Alegre	Uraricoera	1497,34	36.900	3.985,63	39,42
Missão Auaris	Boa Vista	Auaris/Uraricoera	645,5	710	1.764,85	907,28
Fazenda Bandeira Branca	Uiramutã	Cotingo/Surumu / Tacutu	92,21	3.210	1.127,15	128,16

Ao fazer um comparativo entre as bacias dos rios Tacutu e Uraricoera, verifica-se que a maior contribuição para a carga de sedimento em suspensão para a bacia do alto rio Branco vem do rio Tacutu. Os dados colhidos na estação da Fazenda Passarão, no baixo Uraricoera (Figura 02), levantados entre março de 2012 e agosto de 2013, mostram uma concentração média de sedimentos em suspensão de 29,54mg/L (Tabela 02), com uma contribuição de aproximadamente 43% da descarga total de sedimentos do rio Branco, junto a estação de Boa Vista. Quando comparado aos débitos do rio Branco em Caracarái, o rio Uraricoera apresentou uma contribuição média de 34%.

Já os dados levantados para o mesmo período na Fazenda Paraíso no baixo Tacutu (Figura 02) mostrou uma concentração média de 41,53mg/L (Tabela 02), com uma contribuição estimada em 48% (Figura 03) para o rio Branco (Boa Vista). Quanto a contribuição à estação de Caracarái, em torno de 39% teria origem na bacia do rio Tacutu. O volume restante (27%), seria relativo a subsídio de trechos à jusante das estações fluviométricas das Fazendas Passarão (rio Uraricoera) e Paraíso (rio Tacutu), rio Mucajaí, entre outros sistemas que drenam aproximadamente 28% da total mensurada.

Quanto a produção anual de carga suspensa do rio Branco, os levantamentos realizados em Boa Vista (período de 2012 e 2014) indicaram uma produção aproximada de 3,4x10⁶ton/ano, sendo equivalente a 42,48 % do volume anual transportado pelo rio Negro. Mesmo que a produção da bacia tenda a ser mais importante em suas parcelas setentrionais, associados a ambientes mais altos e dissecados, os dados da ANA (2014) suporte a estes levantamentos.

Conforme a ANA (2014), dados hidrológicos levantados junto a estação de Carararaí, posicionada a aproximadamente 140 km de Boa Vista, indica uma produção média anual de $4,263 \times 10^6$ ton/ano. Assim, apesar de ser responsável por apenas 18% da área da bacia do rio Negro, o rio Branco seria responsável por aproximadamente 53% do transporte de sedimento em suspensão daquele sistema fluvial.

Importante ressaltar que, estes cálculos foram realizados sobre uma base de dados muito reduzida, estando os intervalos entre as medições, bem como a influência de oscilações climáticas (como estações secas e úmidas curtas ou prolongadas), sob o controle eventual de eventos de La Niña e El Niño, não caracterizados.

Neste sentido, os dados estimados de carga suspensa, assim como as contribuições das bacias que formam o sistema do rio Branco em sua produção anual, podem sofrer variações importantes, sendo estas informações ocultas pela baixa disposição de dados hidrológicos da área estudada.

Diferenças apresentadas pelas bacias formadoras do sistema fluvial do alto rio Branco são perfeitamente compreensíveis. A bacia do Uraricoera, mesmo sendo a principal fomentadora da descarga do rio Branco (com a predominância de relevos de maior topografia e mais dissecados, se apresenta em grande parte coberta por vegetação densa, fruto de uma pluviosidade elevada e bem distribuída. Mesmo que um grande volume de água precipitado seja um elemento favorável a produção de sedimentos como relatados por Latrubesse et al. (2005), somados a importante declividade das vertentes na bacia e o forte gradiente dos principais tributários, a cobertura vegetal bem preservada atua fortemente no controle dos materiais ofertados ao canal.



Figura 3: Imagem da confluência entre os rios Uraricoera (lado esquerdo) e Tacutu (lado direito) em 1965, onde tem início o canal do rio Branco. Na imagem pode ser observada a coloração diferenciada devido ao maior volume de carga em suspensão transportado pelo rio Tacutu (Fonte: GeoEye, 2014).

O valor de concentração de sedimentos em suspensão (C_s) na estação Boa Vista (Figura 01) apresenta uma correlação baixa ($R^2=0,59$) com a vazão do rio Branco (Figura 04A). A maior dispersão é observada nas descargas entre 3.000 e $5.000\text{m}^3/\text{s}$, sendo esse tipo de dispersão verificado em estudos realizados em outras bacias hidrográficas (HICKIN, 1995; CHELLA et al., 2005; LELI et al., 2011; AQUINO et al., 2009; MARTÍN-WIDE et al., 2012)e, mesmo que o volume de dados seja pequeno é possível fazer avaliações.

Primeiro, as vazões com grandezas entre 3.000 e $5.000\text{m}^3/\text{s}$ estão na faixa de transição do fluxo acanalado e a fase inicial de cheia da planície de inundação. Assim, dentro deste contexto, o rio acaba se sujeitando a novas condições de fluxo, que tentem a trazer interferências no volume de sedimentos em suspensão transportados pelo canal, seja na acomodação de sedimentos pelas condições de fluxo lento, ou na sua retenção pela vegetação ou outras superfícies sólidas, ou mesmo no carreamento de sedimentos soltos em pontos de deslocamento de fluxo na planície.

Um detalhe local importante nas proximidades (à jusante) da estação fluviométrica de Boa Vista é a ponte dos Macuxis. Esta estrutura foi edificada na década de 1970, e anexa a ela foi construído um aterro de pouco mais de 3km , que corta e represa a planície de inundação. Deste modo, durante a estação chuvosa, o fluxo que se desloca pela planície de inundação volta ao canal do rio e desemboca em boa parte na cabeceira da ponte, à sua montante (Figura 5).

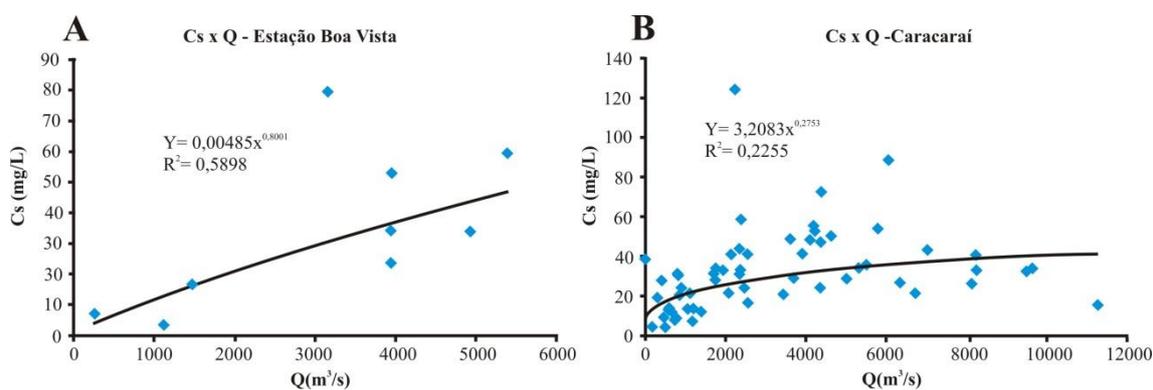


Figura 4: Correlação entre C_s e Q , estações fluviométricas de Boa Vista e Caracaraí, Roraima. Os dados de Caracaraí compreendem dados da série histórica da ANA (2014).

A relação entre os dados de descarga e carga suspensa do rio Branco em Caracaraí, assim como em Boa Vista, apresentou uma baixa correlação entre os dois indicadores ($R^2=0,22$) (Figura 04B). A menor correlação na estação se deve basicamente a maior variedade de situações hidrológicas (e maior volume de dados), indicando a variação da carga em suspensão principalmente ao longo da transição entre a passagem do período entre abril e setembro, que marca o período final da vazante, a cheia e a transição da cheia para a nova vazante. Quanto a dispersão, esse é maior nas descargas medianas, a exemplo de Boa Vista, associado a condição de subida e descida do fluxo das cheias.

Seguindo o exemplo de Leli et al., (2011), utilizando a descarga diária de sedimento (C_{sd}) com a vazão (Q), a correlação melhora significativamente, chegando a $R_2=0,87$ em Boa Vista e $R_2=0,86$ em Caracaraí (Figura 06). Em relação a análise da dispersão de dados, diversos autores têm utilizado o que se conhece como efeito de histerese (STEVANUX, 1994; MOREHEAD et al. 2003), o qual, conforme Leli

(2010), representa o efeito sob os quais os mesmos valores de vazão correspondem a estimativas diferentes de concentração de sedimento suspenso.

Portanto, o efeito de histerese na bacia mostrou efetivo nas maiores descargas, sendo que o menor grau de dispersão nas descargas mais baixas provavelmente se dá pelo predomínio da descarga de base, fruto da redução das chuvas durante a estação seca, que é bastante prolongada na região, com exceção em pequenos períodos chuvosos (com duração de alguns dias a poucas semanas), quebrando a monotonia desta estação.

O efeito de histerese do sistema fluvial pode ser bem observado comparando os dados de vazão (Q) e carga em suspensão (Cs) de um evento fluviométrico ou de um ciclo sazonal. Assim, a correlação entre os dados (QxCs), ao invés de apresentar um único valor de concentração de sedimentos para uma determinada descarga, gerará a confecção de um gráfico circular, mostrando a evolução da correlação dos dados para eventos. Portanto, a interpretação deste fato propõe que a concentração de sedimentos suspensos na descarga ascendente é diferente para uma mesma vazão na descendente do evento (STEVANUX, 1994, HICKIN, 1995a). A Figura 07 mostra o efeito de histerese na correlação dos dados de descarga e sedimento em suspensão durante a cheia de 2013, na área de influência da estação fluviométrica de Boa Vista, no rio Branco.



Figura 5: Aterro que atua no represamento da planície de inundação localizada junto à margem esquerda do rio Branco, nas proximidades da cidade de Boa Vista (localizada junto a margem direita do rio Branco). Neste local o fluxo de cheias da planície de inundação é jogado de volta ao canal na cabeceira da ponte dos Macuxis. Pode ser observado ainda uma fonte potencial de sedimento em suspensão devido as atividades de oleiros no local (Fonte: GeoEye, 2014).

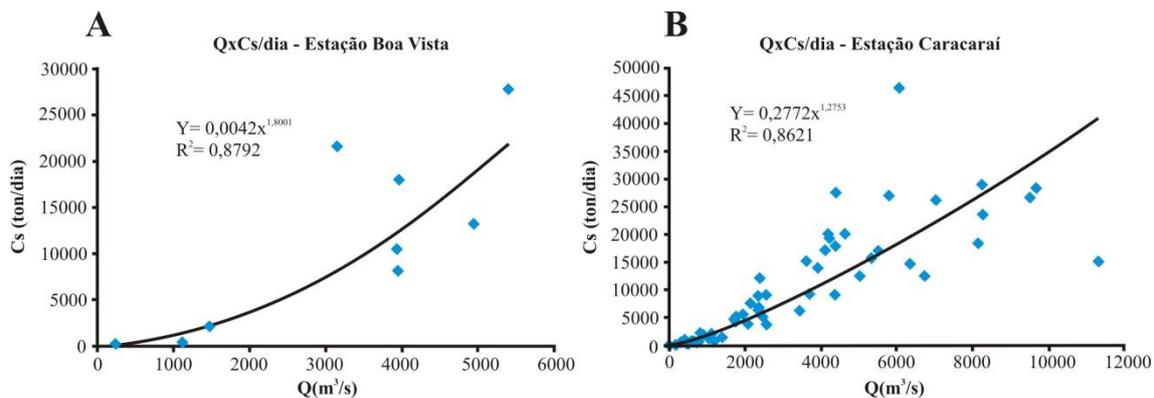


Figura 6: Correlação potencial entre vazão (Q) e transporte de sedimentos (Cs) para o rio Branco em Boa Vista. Notar que nos valores maiores de Q ocorre maior variação de Cs, diferentemente dos valores mais inferiores de Q. As elipses indicam prováveis efeitos de histerese

A equação de histerese da cheia 2013 do rio Branco apresentou um padrão de sentido horário (Figura 06). Segundo Stevaux (1994) a histerese horária ocorre quando a maior concentração de sedimento suspenso antecede o pico de vazão. Há casos na literatura que mostram a ocorrência a histerese anti-horária (STEVAUX, 1994; HICKIN, 1995a e 1995b).

Os eventos de cheia no rio Branco estão associados à dinâmica pluvial do estado, descrita por Evangelista et al. (2008 e 2011), onde basicamente a bacia duas estações bem definidas: uma chuvosa, que ocorre entre os meses de abril e setembro, e outra seca, que acontece de outubro a março.

Com início da estação chuvosa o rio Branco sai rapidamente de uma condição de vazante e passa a ocupar parte substancial da planície de inundação em questão de dias. Deste modo, o volume de material fino disperso na área da bacia, disponibilizado pela extensa estação seca e pela menor influência da vegetação em parte da bacia sobre os agregados de solo, quando sob efeito das enxurradas típicas do início das chuvas é levado rapidamente ao sistema fluvial.

Este processo é facilitado pela declividade das vertentes no setor setentrional da bacia e o alto gradiente dos canais que drenam essa área, que fazem com que esse maior aporte de sedimentos chegue ao canal do rio Branco já no início da cheia. Neste sentido, se observa uma forte elevação da concentração de sedimentos em suspensão como visto na Figura 07, quando o volume da Cs saltou de 7 a 79,4mg/L em um intervalo de apenas 4 dias (15 a 19/04/13).

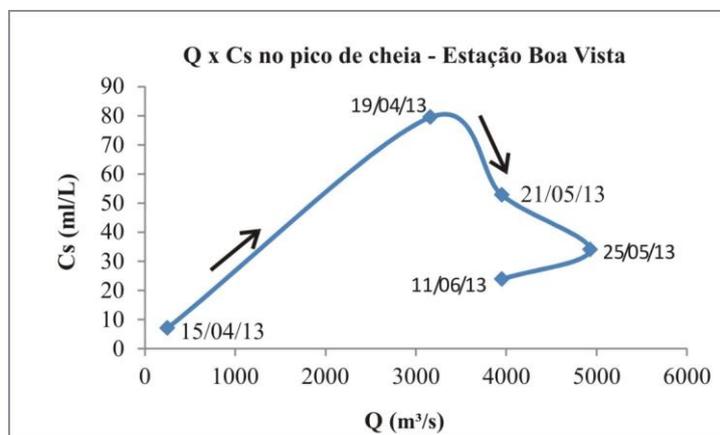


Figura 7. Relação entre a descarga líquida e a carga de sedimento em suspensão do sistema do alto rio Branco durante o período de cheias de 2013. Nota-se o efeito de histerese no sentido horário

Após o pico da carga em suspensão, mesmo com o aumento progressivo da descarga a carga em suspensão (79,4mg/L), esta passou a apresentar uma trajetória descendente até chegar o patamar 23,8mg/L em 11/06/13 (Figura 7).

Após uma crescente da descarga durante o mês de julho de 2013, a carga em suspensão passou a apresentar uma nova elevação, subindo para um patamar de 34,6mg/L. Depois disso, a concentração novamente exibiu uma queda progressiva na Cs. O segundo aumento da carga sedimentar se deve basicamente ao aumento da pluviosidade dos níveis fluviais na bacia do rio Tacutu.

Neste caso, as chuvas encontram seu ápice entre o final de junho ao começo do mês de agosto. Associado a isso, o predomínio da vegetação aberta (savana), a alta declividade de afluentes no trecho inferior do Tacutu e o conseqüente aumento da descarga deste rio, causam um novo acréscimo do volume de sedimentos produzidos pela bacia do alto do rio Branco.

Outro fator importante que afeta a hidrologia dos sistemas fluviais de modo geral são os fenômenos de El Niño e La Niña (autores). Estes fenômenos atuam diretamente na circulação atmosférica em escala global, determinando condições mais úmidas para algumas regiões e mais secas para outras.

Neste sentido, Leli et al. (2011), estudando a descarga e a concentração de sedimento em suspensão do rio Ivaí para um período aproximado de 30 anos, verificaram que no quesito vazão, a ocorrência de fenômenos de El Niño não trouxe alterações significativas em sua descarga anual. Contudo, no quesito descarga sólida suspensa, foram identificadas mudanças abruptas na série de pontos. Neste sentido, Leli et al. (2011) entenderam que sob a influência do fenômeno a bacia do Ivaí, durante o período estudado, sofreu maior perda de sedimentos e, por conta disso, apresentou um grande aumento temporário no volume de sedimento suspenso transportado.

A série de dados de descarga sólida em suspensão na bacia do rio Branco disponibilizados pela ANA (2014) não permitiu a realização de uma análise coerente da influência dos fenômenos de El Niño e La Niña sobre a produção anual dos sedimentos. Isso se deve ao grande intervalo entre as mensurações realizadas, dificultando a obtenção de um valor médio confiável para a realização destas análises.

Todavia, influência dos ENOS no comportamento hidrológico da Amazônia tem sido retratada. Enquanto o El Niño demonstra tendências de reduções na pluviosidade da região, acarretando na redução da descarga dos canais e o aumento das queimadas, o fenômeno La Niña demonstra uma condição de maior umidade na Amazônia, repercutindo num maior volume de água nos sistemas fluviais.

Sander et al. (2013), observando os dados fluviométricos da bacia do alto rio Branco, na cidade de Boa Vista, notaram que durante os períodos de La Niña os picos de cheias são mais elevados e durante os períodos de El Niño as cheias do rio Branco apresentaram picos consideravelmente mais baixos, sendo este fato resultante da redução das chuvas nas áreas de captação. Apesar disso, alguns eventos extremos de fluviométricos e de pluviosidade não apresentaram relação com eventos dos ENOS e, portanto, as questões que tratam da sua influência devem ser melhor trabalhadas.

CONCLUSÕES

A construção e execução desse trabalho permitiu formar uma base de informações inéditas acerca da bacia do alto rio Branco, servindo como um alicerce sólido para realização de pesquisas mais aprofundadas no futuro. Entre os principais resultados obtidos destacam-se:

Os levantamentos da carga de sedimentar em suspensão da bacia do rio Branco mostrou bastante desigual, especialmente nas áreas drenadas pelos rios Tucutu e Uraricoera;

Os valores médios variaram de 28,14mg/l, junto à estação fluviométrica Auaris (rio Auaris, bacia do Uraricoera) e 141,47mg/l, no limite entre o alto e médio rio Cotingo (bacia do rio Tacutu);

As maiores amplitudes na concentração de sedimentos foram maiores no setor setentrional da bacia do alto rio Branco. Destacam-se as estações fluviométricas da Fazenda Bandeira Branca, que drena o alto rio Cotingo, com uma variação de 748,6mg/, e do rio Auaris, com amplitude de 658,99 mg/L;

O monitoramento dos sólidos em suspensão mostrou que o rio Tacutu é o maior contribuinte desse tipo de carga. Apresentando uma concentração média 41,53mg/l, este sistema é responsável por aproximadamente 48% da carga suspensa do sistema do rio Branco em Boa Vista e 38% dos débitos da estação de Caracaraí;

O Uraricoera, com uma concentração média de 29,54mg/, é o segundo maior fornecedor de sedimentos em suspensão, sendo responsável por 43% da carga total na estação de Boa Vista e 34% da estação de Caracaraí;

Os levantamentos realizados na bacia do rio Branco indicaram um papel fundamental da bacia do rio Branco para a carga em suspensão do rio Negro. Com uma área drenada de apenas 126.000 km² (Caracaraí) o rio Branco estaria contribuindo com 53% dos débitos do rio Negro, com uma carga média de 4,263x10⁶ton/ano;

Estudando o comportamento das cheias com aplicação da equação de histerese foi observado um padrão desenvolvido no sentido horário. Tal questão indica que a maior concentração de sedimento suspenso antecede o pico de vazão;

O movimento de histerese indicou ainda o forte ganho de carga suspensa com o início da cheia, quando em um intervalo de apenas quatro dias o rio Branco mostrou um salto de concentração de sedimentos em suspensão de 7 à 79,4mg/L. Depois desse pico, apesar da manutenção da descarga líquida, o rio Branco passou a apresentar redução da carga transportada, chegando a valores aproximados de 25mg/l durante o período médio das cheias.

REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. *HIDROWEB/Sistema de Informações Hidrológicas*. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=4000>> Acesso em 20 de outubro de 2014.

- AQUINO, S; LATRUBESSE, E.; BAYER, M. Assessment of wash load transport in the Araguaia river (Aruanã gauge station), Central Brazil. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, v. 16 (2) 2009, pp.119-128.
- BARBOSA, R. I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLON, E.G. (Ed). *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. Manaus: INPA, p.267-293.1997.
- CARVALHO, N. de O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.
- CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. Guia de práticas sedimentométricas. Brasília: ANEEL, 154 p. 2000.
- CHELLA, M. R.; FERNANDES, C. V. S.; FERMIANO, G. A; FILL, D. H. Avaliação do Transporte de Sedimentos no Rio Barigüi. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n.3, 2005, pp.105-111.
- EVANGELISTA, R.O.; SANDER, C.; WANKLER, F.L. Estudo preliminar da distribuição pluviométrica e do regime fluvial da bacia do rio Branco, estado de Roraima. In: SILVA, P.R.F.; OLIVEIRA, R.S. (Org.). *Roraima 20 anos: As geografias de um novo estado*. Boa Vista: Editora da UFRR, p. 142-167. 2008.
- LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. Grandes sistemas fluviais tropicais: uma visão geral. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, a. 6, v. 1, 2005, pp. 01-18.
- FILIZOLA, N. P. O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da bacia Amazônica Brasileira. *ANEEL*, Brasília, 63 p. 1999.
- FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 41(4), 2011, pp. 566-576.
- GUPTA, A. (ed.) Large Rivers. *Geomorphology*, 44. 2002.
- GUPTA, A. (Ed.). *Large Rivers: Geomorphology and Management*. Wiley, Chichester. 689pp. 2007.
- HICKIN, E.J. (Ed.) *River Geomorphology*. Wiley, Chichester, 268 p. 1995a.
- HICKIN E.J. Hydraulic geometry and channel scour, Fraser River, British Columbia, Canada. In: River Morphology. HICKIN E.J. (Ed.) *John Wiley & Sons: Chichester*, 1995b, pp. 155–167.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mapa de Vegetação do Estado de Roraima*. Rio de Janeiro, 1ª Ed, 2005. 1 mapa. 89 X 79 cm, escala 1:1.000.000.
- LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; NÓBREGA, M. T. da; SOUZA FILHO, E. E. de. Variabilidade temporal no transporte de sedimentos no rio Ivaí – Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 41(4), 2011, pp. 619-628.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mapa de Geomorfologia do Estado de Roraima*. Rio de Janeiro, 1ª Ed, 2005b. 1 mapa. 89 X 79 cm, escala 1:1.000.000.
- LELI, I.T. Variação espacial e temporal da carga suspensa do rio Ivaí, 2010, 74f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – *Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010*.
- MANASSERO, M.; CAMILIÓN, C.; POIRÉ, D.; DA SILVA, M.; RONCO, A. Grain size analysis and clay mineral associations in bottom sediments from Paraná river basin. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, v. 15 (2) 2008, pp. 125-137.

MARTÍN-VIDE, J. P.; AMARILLA, M.; ZÁRATE, F. J. Collapse of the Pilcomayo River. *Geomorphology*, v. 205, 2012, pp. 155-163.

MEADE, R.H., Suspended sediment in the Amazon River and its tributaries in Brazil during 1982–84. *US Geological Survey Open-File Report*, 1985, pp. 85-92.

MEADE, R. Suspended sediments of the modern Amazon and Orinoco rivers. *Quaternary International*, v. 21, 1994, pp. 29– 39.

MOREHEAD M.D., SYVITSKI J.P.M., HUTTON E.W., PECKHAM S.D. 2003. Modeling the temporal variability in the flux of sediment from ungauged river basins. *Global and Planetary Change*, v. 39, 2003, pp. 95–110.

SANDER, C.; GASPARETTO, N. V. L.; SANTOS, M. L. dos; WANKLER, F. L; ALMEIDA, D. A. de; MORAGA, C. H. Fenômenos de cheias e eventos de inundação na cidade de Boa Vista. In: WANKLER, F. L.; HOLANDA, E. C.; VASQUEZ, M. L. *Contribuição à Geologia da Amazônia*. Belém: SBG – Núcleo Norte. Vol. 8, p. 221– 234. 2013.

STEVAUX J.C., The upper Paraná river (Brazil) Geomorphology, sedimentology and paleoclimatology. *Quaternary international*, 21, 1994, pp. 143–161.