
APORTE DE SEDIMENTOS DOS AFLUENTES DA MARGEM DIREITA DO RIO PARAGUAI, PANTANAL SUPERIOR – MATO GROSSO – BRASIL

SEDIMENTS CONTRIBUTION OF AFLUENTS OF THE RIGHT MARGIN OF THE PARAGUAI RIVER, SUPERIOR PANTANAL - MATO GROSSO - BRAZIL

Célia Alves de Souza¹
Gustavo Roberto dos Santos Leandro²
Juberto Babilonia de Sousa³
Sandra Baptista Cunha⁴
Patrícia Helena Mirandola Garcia⁵

RESUMO: A presente pesquisa teve como objetivo verificar o processo de transporte de sedimentos no baixo curso dos rios Sepotuba, Cabaçal e Jauru, afluentes da margem direita do rio Paraguai em Cáceres – Mato Grosso. Nesse sentido, alguns procedimentos foram necessários: levantamento da hidrodinâmica; coleta de sedimentos; análise de laboratório para determinar a granulometria dos sedimentos de fundo (Pipetagem e Peneiramento) e concentração de sedimentos em suspensão (Evaporação). No baixo curso dos tributários foram registradas várias feições, como bancos de sedimentos, barras submersas, diques marginais e ilhas fluviais. Os resultados das análises granulométricas dos sedimentos de fundo mostram predominância de materiais grosseiros (areias). Com relação à descarga sólida em suspensão registrou-se 3.258,84t/dia a montante dos tributários com diminuição a jusante.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Rio Paraguai. Deposição.

ABSTRACT: The present study aimed to verify the process of settling down in the course of Rivers Sepotuba, Cabaçal and Jauru right bank tributaries of the Paraguay River. Some procedures were necessary: hydrodynamics monitoring, sediment collection, laboratory analysis to determine the grain size of the bottom sediments (pipetting and sieving) and suspended sediment concentration (evaporation). On the lower course of the tributaries were recorded several features such as sediment banks, submerged bars, levees and river islands. The results of particle size analysis of bottom sediments show a predominance

1 Professora do Curso de Geografia e dos Programas de Pós Graduação em Geografia e Ciências Ambientais da Universidade do Estado de Mato Grosso. E-mail: celialvesgeo@globo.com

2 Professor do Curso de Geografia da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.
E-mail: gustavogeociencias@hotmail.com

3 Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado Mato Grosso – IFMT.
E-mail: jubertobabilonia@yahoo.com.br

4 Professora no Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Fluminense. E-mail: sandracunha@openlink.com

5 Professora no curso de Geografia da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. E-mail: patriciaufmsgeografia@gmail.com

Agradecimentos:

Trata-se resultados de projeto vinculado à Rede de Estudos Sociais, Ambientais e de Tecnologias para o Sistema Produtivo da Região Sudoeste de Mato Grosso – ASA, aprovado no Edital - MCT/CNPq/FNDCT/FAPEMAT/MEC/CAPES/PRO-CENTRO-OESTE.

Artigo recebido para publicação em julho de 2016 e aceito para publicação em novembro de 2016

of coarse materials (sand). Regarding to suspended sediment discharge was recorded 3258.84 t/day upstream tributaries with decreased downstream.

Key words: River basin. Paraguay river. Deposition.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica corresponde a uma unidade natural, ou seja, uma determinada área da superfície terrestre cujos limites são criados pelo próprio escoamento das águas sobre a superfície ao longo do tempo. Isto significa que a bacia é resultado da interação da água com outros recursos naturais, tais como, material de origem, topografia, vegetação e clima. Assim, um curso de água é, independentemente de seu tamanho, sempre o resultado da contribuição de determinada área topográfica (LEOPOLD; EMMETT; MYRICK, 1971).

Nas últimas décadas, as bacias hidrográficas dos rios Sepotuba e Cabaçal, vêm passando por alterações no meio físico (SERIGATTO, 2006; AVELINO, 2007). Devido ao processo de ocupação, os recursos naturais, antes preservados, na atualidade sofrem processo de degradação. Essa intervenção provocou mudanças direta e indireta nas bacias, consequentemente aumentando o aporte de sedimentos no baixo curso dos tributários e no rio Paraguai.

A bacia hidrográfica do rio Jauru, com aproximadamente 15.844,40 km², é formada pelo rio Jauru e seus afluentes as margens direita e esquerda, cujos formadores nascem na Chapada dos Parecis (Norte), Serra Santa Bárbara (Oeste) e percorrem áreas de diferentes compartimentos litológicos e topográficos. As altitudes do relevo variam entre 700 e 116 metros e o rio principal deságua na margem direita do rio Paraguai no Pantanal Mato-Grossense (SOUZA, 2004).

A análise dos sedimentos em suspensão e no fundo do canal permite estimar a quantidade e o tipo dos sedimentos transportados. A obtenção de informações sobre o volume de sedimentos transportados é importante para definir o uso direto e indireto na bacia hidrográfica assim como para definição de medidas de planejamento e gestão da bacia.

O comportamento de uma bacia em relação ao sedimento é muito variável desde as partes mais altas até as planícies, pois dependem de alguns fatores ambientais como a litologia, tipo de solo, cobertura vegetal, declividade, regime de chuvas e outros. Na alta bacia, em geral, há maior erosão e transporte de sedimentos e no baixo curso deposição (CARVALHO, 1994).

A concentração de sedimentos suspensos, geralmente medida em mg/L⁻¹, varia não apenas com a descarga, mas também ao longo do ano. Dessa forma, para uma mesma descarga pode-se obter diferentes valores de concentração a depender da estação do ano ou do posicionamento em relação à passagem da onda de cheia. Tal situação provoca um comportamento conhecido como histerese, ou seja, para uma mesma vazão são obtidos diferentes valores de concentração de sedimento suspenso (KNIGHTON, 1998).

Conforme Knighton (1998), a carga suspensa é originada em sua maioria do escoamento superficial das vertentes (fluxo hortoniano e acanalado de vertente) e secundariamente da erosão das margens do canal. É constituída por silte e argila e se mantém em suspensão praticamente o tempo todo pela turbulência do fluxo, depositando-se apenas em condições de fluxo laminado de baixíssimas velocidades.

Os estudos relacionados à dinâmica fluvial nas últimas décadas ganharam importância devido aos efeitos negativos representados pela perda de terrenos cultiváveis, pelo comprometimento ou destruição de estrutura de engenharia próxima ao leito do rio, pelo aumento no custo de projetos de dragagem, mas principalmente pelo comprometimento dos recursos hídricos (WALKER, 1999).

No que se refere aos estudos sobre evolução marginal e processo de sedimentação, encontram-se as pesquisas de Destefani e Souza Filho (2002), Rocha (2002) e Borges (2004) realizadas no Alto rio Paraná; de Casado et al. (2002), Castro (2005) e Oliveira (2006) no baixo rio São Francisco. Na bacia do Alto Paraguai destacam-se os trabalhos de Souza (2004), Silva et al. (2007), Souza e Cunha (2007), Justiniano (2010), Leandro e Souza (2012), Leandro, Souza e Chaves (2012) e Silva (2012), bem como, os relatórios do Departamento Nacional de Obras e Saneamento - DNOS (1978). Nesse sentido, a pesquisa teve como objetivo verificar o processo de sedimentação no baixo curso dos rios Sepotuba, Cabaçal e Jauru, afluentes da margem direita do rio Paraguai, município de Cáceres – Mato Grosso.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no baixo curso de três afluentes (rio Sepotuba, rio Cabaçal e rio Jauru) da margem direita do rio Paraguai, no município de Cáceres no estado de Mato Grosso (Figura 1).

A litologia no baixo curso dos tributários e corredor fluvial do rio Paraguai é constituída por sedimentos aluviais da Formação Pantanal. A morfologia da área é composta pela planície fluvial do rio Paraguai. As condições da planície favorecem a ocorrência de solos hidromórficos, destacando-se Gleissolo Háptico Tb Eutrófico, devido à alternância entre um período de cheia e estiagem e a inundação diferenciada, relacionada à declividade do terreno propicia o desenvolvimento de várias formações vegetais: Contato Floresta Estacional/Savana, Savana-Parque Associada a Áreas Pantanaís, Formações Justafluviais, Savana Florestada, Floresta Aluvial e Savana Arborizada com Floresta Galeria (BRASIL, 1982).

No que refere à geologia, a área de estudo possui sua gênese associada aos eventos de abatimentos estruturais, provavelmente reflexos da orogênese andina (SOUZA; SOUSA, 2010). Seu modelado ocorre sobre os sedimentos da Formação Pantanal, do período Quaternário, com aspectos semiconsolidados e inconsolidados constituídos, basicamente, por sedimentos de textura argilosa e intercalações com textura mais grosseira (arenosos, siltico-argilosos, argilo-arenosos e areno-conglomeráticos).

Registrou-se a ocorrência expressiva de sedimentos da Formação Pantanal constituída por depósitos do Quaternário-Cenozóico e sedimentos recentes. Na planície de inundação, os depósitos atuais estão associados aos processos de sedimentação do rio principal (Paraguai) e seus afluentes. São depósitos pouco largos, porém linearmente ressaltáveis, compostos de areias, siltes, argilas e cascalhos. Essas formas de são depósitos de canal de barra em pontal e transbordamento (SOUZA, 2004).

Nos trabalhos realizados por Figueiredo e Olivatti (1974) e Luz et al. (1978), são classificados três níveis para a Formação Pantanal. O primeiro, topograficamente mais elevado, seria constituído por areias inconsolidados, de granulometria fina a média, intercalada por materiais siltico-argilosos. O segundo nível seria formador dos terraços aluviais sub-recentes, constituídos por siltes, argilas e areias finas. O último nível, constituído por uma planície mais rebaixada, teria como formadores os depósitos irregulares siltico-argilosos e grosseiros, depositados recentemente pelo rio Paraguai.

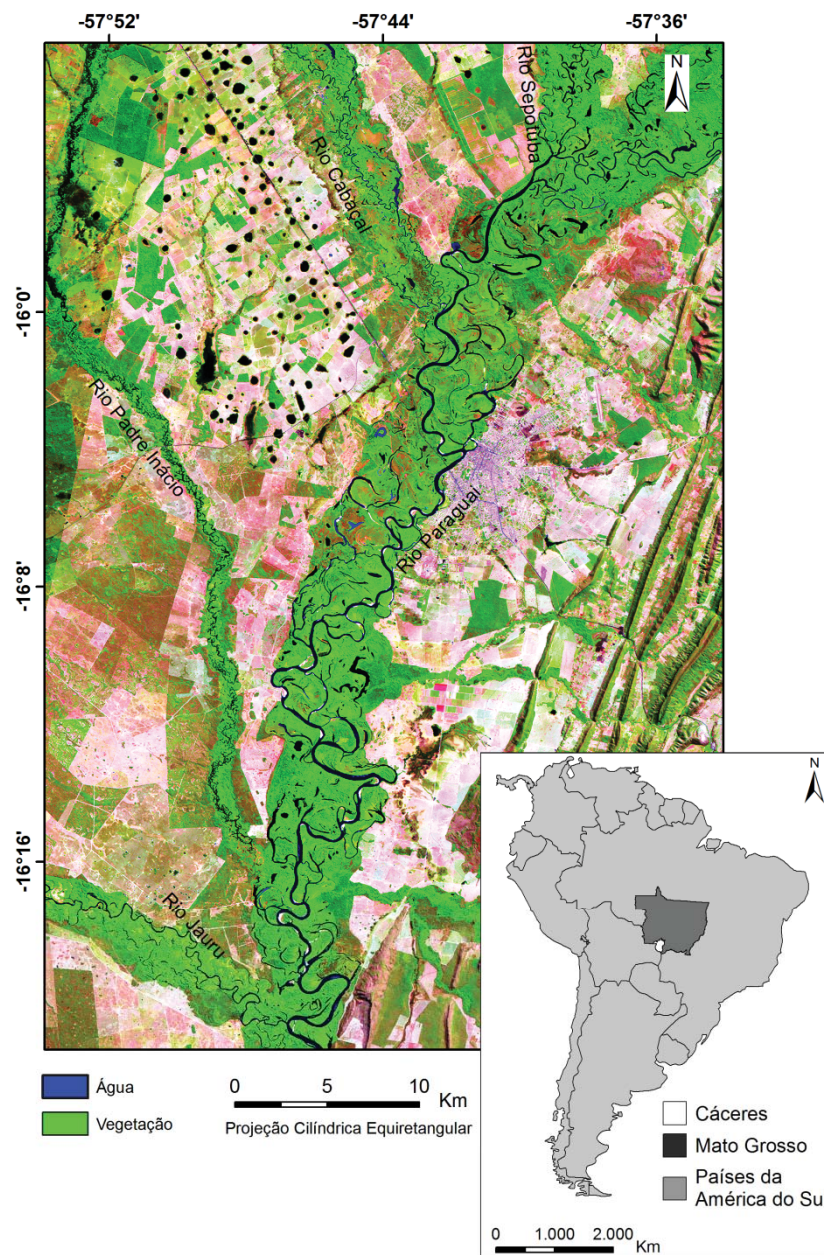


Figura 1. Segmento do rio Paraguai e baixo curso dos seus afluentes em Cáceres – Mato Grosso

Quanto à geomorfologia a área de estudo encontra-se na planície fluvial do rio Paraguai apresenta uma variedade de formas geomorfológicas, quais podem ser denominadas formas positivas e negativas do terreno. As formas negativas são representadas por pequenas lagoas, baías (meandros abandonados), ou por antigos leitos de rios, braços e furados. Quanto às formas positivas do terreno, destacam-se os depósitos de barra em pontal, diques marginais e ilhas fluviais, que são registros da dinâmica atual dos rios. No período das cheias, ocorre a conexão entre lagoas, enquanto no período de estiagem as lagoas e as baías são independentes (SOUZA; LANI; SOUSA, 2009).

As feições peculiares registradas neste compartimento do corredor fluviais possuem uma terminologia tipicamente regional, ou seja, baías, braços e furados (SOUZA; LANI; SOUSA, 2009).

As baías constituem áreas deprimidas, contendo água, delineando formas circulares, semicirculares ou irregulares, com dimensões que variam de dezenas a centenas de metros. Os braços correspondem a pequenos cursos, geralmente perenes. Os furados podem ser definidos como pequenos canais, originados pelo rompimento do colo do meandro, podendo evoluir para canal principal (SOUZA, 2004).

A baixa declividade topográfica do corredor fluvial, mantendo apenas pequenos desníveis entre o canal principal e seu entorno, torna propícia a inundação nas planícies. No canal, o baixo gradiente influencia o escoamento das águas, em razão da reduzida capacidade de escoamento. Registrou-se a ocorrência de Gleissolo Háplico Tb Eutrófico, no baixo curso dos tributários. São solos rasos, pouco desenvolvidos, orgânico-minerais, com características de locais planos e abaciados, sujeitos a alagamentos constantes e periódicos, marcados por uma série de terraços e planícies fluviais e recobertos por vegetação de várzea (BRASIL, 1982).

Na cobertura vegetal registrou-se a ocorrência de Contato de Floresta Estacional/Savana, Savana Parque Associada a Áreas de Pantanaís e Floresta Aluvial, segundo os relatórios do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1982) e Camargo (2011).

A ocorrência da formação vegetal Contato Floresta Estacional e Savana estão relacionadas ao clima com duas estações, uma chuvosa, outra seca, ou à acentuada variação térmica. Esta alternância determina uma estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes, que possuem adaptações à alteração dos fatores climáticos. As árvores apresentam-se com gemas foliares protegidas contra a seca, por escamas (catafilos) ou pelos, cujas folhas adultas são coriáceas (duras) ou membranáceas (de consistência delicada) e decíduas, com altura em torno de 20 m (SOUZA, 2004).

Na Savana Parque Associada a Áreas Pantanaís, em algumas áreas da planície de inundação sazonal, as árvores e arvoretas ocupam, preferencialmente, pequenas elevações circulares do terreno, sendo que as espécies que se instalam nessas áreas são, em geral, mais sensíveis ao encharcamento periódico (BRASIL, 1982).

A Floresta Aluvial foi observada ao longo do rio Paraguai, baixo curso dos tributários, nas ilhas, em áreas inundáveis ou sujeitas à inundação. Esta formação florestal ribeirinha é diversificada, sendo que suas principais características variam de acordo com sua localização na formação aluvial. São vegetações de pequeno porte, adaptáveis ao encharcamento do solo durante o período das cheias.

Uma parte considerável da biomassa vegetal, no rio Paraguai e seus afluentes, são formados por grandes volumes de vegetação flutuante, conhecida como camalotes, que apresenta uma comunidade diversificada de plantas e animais. Os grandes camalotes participam de forma substancial nas cadeias tróficas, que mantêm a comunidade biótica da bacia Paraguai. O adensamento desta comunidade origina-se nas lagoas marginaís do Pantanal, bem como nas águas rasas do canal principal próximo à margem (SOUZA; LANI; SOUSA, 2009).

A área de estudo apresenta dois períodos definidos em termos de precipitação. O período chuvoso (novembro a maio), com média de precipitação mensal variando de 50 a 330 mm e o período de estiagens (junho a outubro), com média de precipitação mensal variando de 0 a 76 mm (CAMARGO, 2011).

A alternância no nível da água do rio Paraguai e seus afluentes no período de cheia e estiagem altera a configuração do canal. O nível da água eleva-se no canal principal, durante o período das cheias, provocando a remoção e remobilização de sedimentos, sendo que parte da água e dos sedimentos transportados vão para os canais secundários, baías e lagoas, ou transbordam para as planícies marginaís. O nível da água diminui progressivamente, no período de estiagem, reduzindo-se também a capacidade de

transporte, ocorrendo deposição de sedimentos em leito, em canais secundários, baías, lagoas e planícies.

Variáveis hidrodinâmicas (batimetria)

Para levantamento da largura e profundidade do canal utilizou-se o sonar Garmin GPSMAP 420S, onde, dividiram-se as seções transversais em três pontos: margem direita, meio da calha e margem esquerda conforme Carvalho (2008). Utilizou-se para levantamento da velocidade do fluxo o molinete hidrométrico. Em cada seção transversal a velocidade, também foi medida em três pontos (margem direita, centro do canal e margem esquerda). Na coluna de água, a velocidade foi obtida em diferentes profundidades (20%, 50% e 80%).

Coleta de sedimentos de fundo e em suspensão

As amostras foram coletadas no rio Paraguai e no baixo curso dos seus afluentes no período de estiagem. A carga suspensa foi coletada com um mostrador pontual denominado garrafa de Van Dorn (tubo de PVC com duas extremidades abertas com as tampas presas a um gatilho, o qual é ativado com o lançamento de um peso). O processo consiste primeiramente em lavar duas vezes o recipiente com a própria água do rio e posterior coleta. As amostras foram devidamente etiquetadas, constando dados referentes ao local. Todo o material foi armazenado em caixa de isopor com gelo, tendo sido mantidas sob refrigeração até o início das análises (no máximo 24 horas após coleta).

Na coleta dos sedimentos de fundo, foi utilizado o aparelho do tipo Van Veen (mostrador de mandíbulas) conforme Rocha e Souza Filho (2005). O aparelho foi lançado no rio até alcançar o fundo do canal restando carga sólida em suas mandíbulas. As amostras foram armazenadas em sacolas plásticas e etiquetadas com dados referentes à localização para posterior análise com a quantificação da composição granulométrica no Laboratório de Pesquisa e Estudos em Geomorfologia Fluvial – LAPEGEOF da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/ Campus de Cáceres – Mato Grosso, Brasil.

Análise dos sedimentos de fundo e em suspensão Técnica de Evaporação

Na execução da metodologia usa-se diminuir a amostra pelo repouso da mistura por 24 horas retirando o excesso de líquido isento de sedimento. É importante e necessária a determinação da quantidade de sais solúveis, o que é feito pela retirada de três pipetas de 50 ml da parte isenta de sedimento (água sobrenadante após 24 horas de repouso) para secagem em estufa e obtenção do valor médio. A amostra água-sedimento agora reduzida foi colocada em recipiente adequado (béquer) e levada à estufa para secagem por alguns instantes ou horas. Em seguida as mostras foram colocadas no disseccador para posterior pesagem (CARVALHO et al., 2000; LELI et al., 2010).

Técnica de pipetagem (dispersão total)

Para fracionamento do material de fundo em argila e silte, utilizou-se o método de pipetagem (dispersão total), conforme EMBRAPA (1997).

Os procedimentos constaram das seguintes etapas:

- Após secagem a 100°C em estufa, 20g de amostra de cada ponto de coleta foram condicionadas em béqueres contendo 10ml de solução dispersante ($\text{NaOH } 0,1\text{M.L}^{-1}$) e água destilada (100 ml). Em seguida, o conteúdo dos béqueres foi agitado com um bastão de vidro, tampado com um vidro de relógio e deixado em repouso por uma noite.
- Transcorrido o período de repouso, as amostras foram novamente agitadas, durante 15 minutos mecanicamente no Agitador de Wagner (TE-160).

- Na sequência o material foi lavado numa peneira de 20cm de diâmetro e malha de 0,053 (nº270) apoiada sobre um funil que tinha logo abaixo uma proveta de 1000 ml. O silte e a argila passaram para a proveta de 1000 ml e a areia ficou retida na peneira.
- O material da proveta foi agitado com um bastão de vidro por 30 segundos e deixado em repouso conforme tabela de temperatura e tempo de sedimentação.
- Transcorrido o tempo de sedimentação, foi introduzida uma pipeta no interior da proveta até a profundidade de 5 cm, sendo em seguida aspirada a suspensão (fração argila).
- Ao fim do processo, tanto o material da pipeta (suspensão coletada) quanto da peneira, foram transferidos para béqueres identificados de acordo com o ponto de coleta e levados a estufa modelo TE-394/2 a 120°C.
- Concluída a secagem, foi realizada pesagem e calculado os percentuais de areia, silte e argila para cada amostra, a fração silte equivale à diferença da soma areia/argila das 20g iniciais.
- Foram realizados três ensaios por ponto de coleta para obtenção da composição média do material de fundo.

Técnica de peneiramento

A quantificação das frações de areia (grossa, média e fina) foi obtida com o Peneiramento. O material retido, na peneira de 20 cm de diâmetro e malha de 0,053 (nº 270) pela Pipetagem - dispersão total foi seco em estufa. Posterior foi submetido ao processo mecânico de Peneiramento no Agitador Eletromagnético, com uma sequência de peneiras padronizadas, por 30 minutos. O material retido em cada uma das peneiras foi pesado separadamente (SUGUIO, 1973).

A areia retida nas peneiras de 4,75 mm e 2,36 mm foi considerada grossa; aquela que passou pela peneira de 2,36 mm, mas ficou retida nas peneiras de 1,18 mm e 600 μm foi considerada média e, finalmente, a areia retida nas peneiras de 300 μm a 75 μm foi classificada como fina. Essa escala foi adaptada da American Society for Testing and Materials – ASTM (SOUZA; VENDRAMINI; SOUZA, 2012).

Cálculo de vazão

Para calcular a área da seção molhada foi adotada a fórmula: $A = L \times P$. Onde: A = Área da seção; L = Largura do canal; P = Profundidade média. Os valores de vazão foram obtidos a partir da fórmula: $Q = V \times A$. Onde: Q = Vazão; V = Velocidade das águas; A = Área (CUNHA, 2009).

Determinação da descarga sólida suspensa

Os valores de descarga sólida em suspensão (QSS) foram determinados pelo somatório do produto entre a concentração de sedimento suspenso da vertical (CSSi) e a respectiva descarga líquida da vertical (Qli), na forma da expressão abaixo (CARVALHO, 2009):

$$Q_{ss} = \sum (C_{ss_i} \cdot Q_{l_i}) \cdot 0,0864$$

Em que: Qss = descarga sólida em suspensão (t/dia^{-1}); Cssi = concentração de sedimento em suspensão da vertical (mg/L^{-1}); Qli = descarga líquida da respectiva vertical (m^3/s^{-1}).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aspectos da rede de drenagem

O rio Paraguai possui uma dinâmica própria quanto ao escoamento do fluxo, reflexo do gradiente suave, com declividade de 6 cm/km (SOUZA, 2004). Silva, Souza Filho e Cunha (2008) verificaram que, o gradiente variou em média de 6,8 cm/Km a 9,6 cm/km para valores de vazões mínimas e máximas na região de Cáceres. As características do terreno, associado a outros fatores, contribuem para o armazenamento de água na planície de inundação durante o período de cheias anuais, além de abastecer baías e lagoas, sendo que, os braços dos rios também desviam parte do volume de água (Figura 2).



Figura 2. Ambientes fluviais do rio Paraguai e alguns aspectos relevantes: mata ciliar, diques marginais e ilhas fluviais.

As cheias no rio Paraguai vinculada à declividade no baixo curso de alguns tributários proporciona propagação contracorrente até alguns quilômetros para montante dos afluentes. Dessa forma, a inundação, no baixo curso desses tributários, está relacionada à descarga de montante, bem como, ao volume de água do rio Paraguai. Como resultado das interações entre água e sedimentos no corredor fluvial, são formadas feições morfológicas de erosão e deposição.

As barras em pontal são encontradas nas margens convexas dos meandros no baixo curso dos tributários. As barras centrais e submersas encontram-se perpendicular ao fluxo. As barras laterais são formadas próximo das margens, no sentido longitudinal e, em alguns trechos, estão evoluindo para diques marginais (Figura 3). E as ilhas fluviais identificadas nas confluências com o rio Paraguai possuem duas origens. Algumas estão relacionadas ao rompimento do colo do meandro e à evolução da calha e outras são resultado do processo de deposição como na foz do rio Sepotuba.



Figura 3. Depósito na margem direita do baixo Sepotuba próximo a confluência com o rio Paraguai.

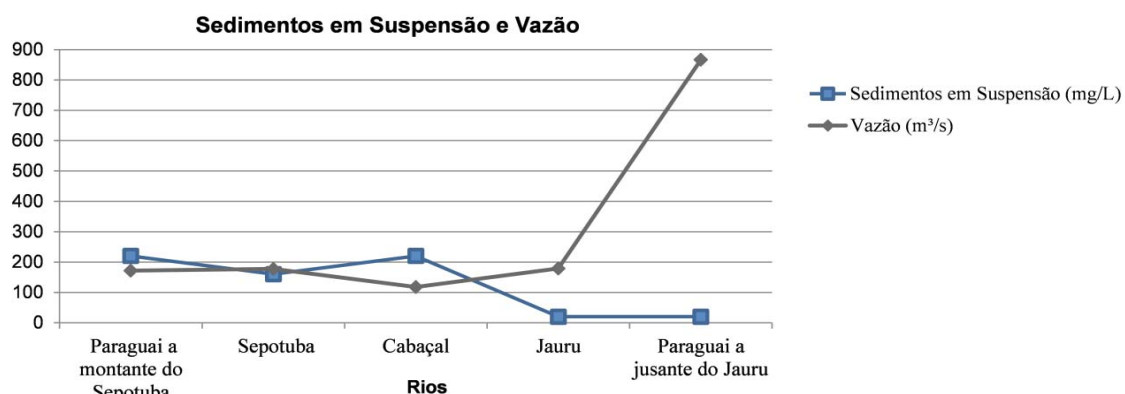
A configuração atual da calha no baixo curso dos tributários do rio Paraguai mostram semelhanças com um rio entrelaçado e meandrante. Exibem algumas características como sistema multicanal (planície fluvial, sinuosidade, declividade e diâmetros das partículas). Rios entrelaçados apresentam dois ou mais canais com barras entre os canais, instáveis, e alta relação largura/profundidade, alta declividade e, geralmente baixa sinuosidade (MIALL, 1977).

Porém, os rios meândricos percorrem regiões quentes e úmidas em terrenos planos; possuem curvas sinuosas, escavando na margem côncava e depositando na margem convexa. O processo de meandramento pode apresentar ajuste entre as variáveis hidrológicas, inclusive a carga detrítica e a litologia, em que se instala o curso d'água (CHRISTOFOLLETTI, 1981).

Sobre isso Silva et al. (2008) discutem que, os dados relativos ao segmento entre Cáceres e a foz do rio Jauru mostram que a planície fluvial nesse intervalo foi formada por um rio meandrante, e que parte das características do canal (tipo, sinuosidade, a seção transversal nos meandros, as barras em pontal, a mobilidade e a textura da carga de fundo) são compatíveis com tal padrão. Contudo, a velocidade de fluxo pode indicar condições de energia mais baixas, e por outro lado, a existência de barras transversais, de talvegue múltiplo nos trechos retos, e a razão largura/profundidade indicam características de rios entrelaçados.

Os depósitos são formados de acordo com a corrente fluvial, que modela os sedimentos existentes, transportando os que são mais leves e finos, com deposição de outros sedimentos advindos das diversas regiões a montante. A porcentagem das frações granulométricas dos sedimentos, que são transportados ou depositados sofre variações, e depende da força que a dinâmica fluvial atual exerce sobre o canal.

Na seção do rio Paraguai a montante da foz dos tributários os dados da hidrodinâmica apresentaram as seguintes características: largura do canal com 84,25 m, profundidade de 3,70 m, velocidade do fluxo de $0,55 \text{ m/s}^{-1}$ e vazão com $171,446 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ (Tabela 1). Bühler e Souza (2012) identificaram a concentração de sólidos suspensos no rio Paraguai, onde, em pontos a jusante da área do presente estudo verificaram valores entre 104 mg/L^{-1} e 145 mg/L^{-1} no período de estiagem. Os dados de vazão e sedimentos em suspensão do rio Jauru e rio Paraguai (jusante do rio Jauru) apresentam redução na concentração suspensa e aumento da vazão (Figura 4).



Fonte: Dados obtidos pelos autores em trabalho de campo e laboratório.

Figura 4. Sedimentos em suspensão e vazão no rio Paraguai e tributários no período de estiagem.

Nesta seção, a análise granulométrica dos sedimentos de fundo mostrou predominância de areias, sendo 5,5% de areia grossa, a areia média correspondeu a 91,9%, areia fina 2,35%, silte 0,11% e argila 0,01% do total da amostra analisada (Tabela 2).

Nos estudos realizados sobre os processos de transporte no rio Paraguai, Silva (2012) ao analisar a composição granulométrica dos sedimentos de fundo depositados no leito do rio Paraguai verificou a predominância de areia fina e areia média (94,75%). Destes, a areia média representou 73,51% e areia fina 21,24%. O estudo realizado por Leandro e Souza (2012) mostrou a predominância de areia na composição granulométrica dos sedimentos de fundo no rio Paraguai entre a foz do rio Cabaçal e a cidade de Cáceres.

No rio Sepotuba a primeira seção encontra-se no canal principal e a segunda corresponde ao canal secundário. A largura registrada no canal principal foi de 105,49 m, com profundidade média de 3,43 m. A velocidade do fluxo foi de 0,49 m/s⁻¹, tendo vazão de 177,296 m³/s⁻¹, enquanto que, no canal secundário, houve redução nos dois parâmetros, com velocidade de 0,18 m/s e vazão de 30,23 m³/s⁻¹. A descarga sólida foi de 2.451 t/dia, enquanto que, no rio Paraguai a montante, registrou-se volume de 3.258,84 t/dia (Tabela 1).

Tabela 1. Batimetria, vazão e sedimentos em suspensão do rio Paraguai e seus afluentes

Seção	Vel. Média (m/s ⁻¹)	Larg. (m)	Prof. média (m)	Vazão (m ³ /s ⁻¹)	Sedimentos em suspensão mg/L ⁻¹	Descarga sólida t/dia
Rio Paraguai Montante	0,55	84,25	3,70	171,44	220	3.258,84
Rio Sepotuba	0,49	105,49	3,43	177,29	160	2.450,93
Rio Sepotuba (canal secundário)	0,18	56,53	2,86	30,23	-	-
Rio Cabaçal	0,67	50,15	3,50	117,59	220	2.235,34
Rio Jauru	0,66	88,16	3,06	178,85	20	309,52
Rio Paraguai Jusante	0,87	190,98	5,20	866,97	20	1.498,12

Fonte: Dados obtidos pelos autores em trabalho de campo, laboratório e em gabinete.

No canal principal do rio Sepotuba os sedimentos de fundo apresentaram textura arenosa e os resultados da análise mostram a predominância de areia média com 67,25%. No canal secundário registrou-se concentração de areia fina com 68,85%. A diminuição do diâmetro dos sedimentos no canal secundário do rio Sepotuba pode ser associada aos parâmetros de velocidade do fluxo e vazão.

A seção monitorada no rio Cabaçal encontra-se no baixo curso próximo à confluência com o rio Paraguai. A largura registrada foi de 50,15 m, com profundidade média de 3,50 m, velocidade de 0,67 m/s⁻¹ e a vazão de 117,598 m³/s⁻¹ (Tabela 1). Embora com velocidade maior, a vazão foi inferior às registradas nos rios Paraguai e Sepotuba, o que, pode ter contribuído com o volume em suspensão (descarga sólida de 2.235 t/dia) e composição granulométrica dos sedimentos de fundo. As análises registraram predominância de areia, com presença de 6,55% de areia grossa, 83,1% de areia média, 2,55% de areia fina, 7,5% de silte e 0,35% de argila (Tabela 2).

Tabela 2. Granulometria dos sedimentos de fundo do rio Paraguai e afluentes

Seção	Granulometria em Porcentagem (%)				
	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Silte	Argila
Rio Paraguai Montante	5,5	91,9	2,35	0,15	0,01
Rio Sepotuba	2,65	67,25	28,6	1,3	0,2
Rio Sepotuba (canal secundário)	1,65	2,4	68,85	26,6	0,5
Rio Cabaçal	6,5	83,1	2,55	7,5	0,35
Rio Jauru	7,6	87,75	3,75	0,65	0,2
Rio Paraguai Jusante	-	90,6	8,95	0,1	0,3

Fonte: Dados obtidos pelos autores em trabalho de campo, laboratório e em gabinete.

Estudo realizado por Leandro, Souza e Chaves (2012) na baía Negra, feição morfológica correspondente ao canal secundário do rio Cabaçal, caracterizou a granulometria dos sedimentos de fundo. Os autores verificaram a concentração de areia média em duas das três seções transversais monitoradas no período de estiagem com valores de 68,40% e 80,85% em condições de velocidade 0,31 m/s e 0,53 m/s respectivamente. Na seção I, os sedimentos apresentaram maior seleção na distribuição com a formação de barra submersa (74% de areia média) no centro do canal e concentração de sedimentos finos próximos às margens. O baixo curso do rio Cabaçal apresenta intensa sedimentação, tendo em vista que os autores registram profundidade média entre 0,23 m e 0,53 m.

No baixo curso do rio Jauru, o canal principal apresentou 88,16 m de largura com profundidade média de 3,06 m e vazão de 178,85 m³/s⁻¹. A descarga sólida foi de 309,520 t/dia. A composição granulométrica dos sedimentos de fundo apresentou 7,6% de areia grossa, 87,75% de areia média, 3,75% de areia fina, 0,65% de silte e 0,2% de argila (Tabela 2).

O meandramento no baixo curso do afluente é bastante expressivo, em torno de 2,1, surgindo também uma vasta planície de inundação, ou seja, o Pantanal Corixo Grande-Jauru-Paraguai. Neste trecho, ocorre a deposição de sedimentos nas margens e na planície de inundação (SOUZA, 2004).

O rio Jauru atinge os terrenos inundáveis do Pantanal, formando um leque fluvial, sendo que, alguns cursos de água de pequeno porte drenam as áreas sujeitas à inundação, desaguando em baías e lagoas ou espalhando-se na planície (Figura 5).



Fonte: os autores.

Figura 5. Baixo curso do rio Jauru (mata ciliar e barra lateral).

Souza (2004) salienta que, no baixo curso dos tributários a calha não é bem definida permitindo que a água e os sedimentos espalhem-se pela planície de inundação, e que, o nível da água no período das cheias pode atingir até dois metros na planície. E Silva, Souza Filho e Cunha (2008) constataram em trabalho de campo que, as margens do canal são constituídas por lentes de areia fina argilosa, intercaladas em camadas argilosas. Os autores interpretaram os depósitos como distais de diques marginais em meio a sedimentos finos da bacia de inundação. Concluíram ainda que, os diques marginais são pouco desenvolvidos, descontínuos, e são constituídos por lentes de areia fina a média decimétricas, com estratificação sigmoidal.

Na seção localizada no rio Paraguai, a jusante da foz dos tributários, a profundidade média da calha foi de 5,2 m com 190,98 m de largura e a vazão registrada foi de 866,97 m³/s⁻¹. A descarga sólida foi de 1.498 t/dia. Quanto à análise granulométrica, constatou-se a concentração de areia. Os dados mostram que o percentual de areia média atingiu 90,43%, a areia fina 8,95, o silte 0,1% e a argila 0,3 %. As amostras de sedimentos de fundo, coletadas e analisadas por Silva, Souza Filho e Cunha (2008), também demonstraram amplo domínio de areia média (acima de 80 %).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os processos de sedimentação no rio Paraguai e seus afluentes que, envolvem erosão, transporte e deposição de sedimentos, está associado ao uso da terra nas bacias hidrográficas (nas áreas de planaltos) e a própria dinâmica fluvial. A ocupação humana, inicialmente pelo desmatamento e, em seguida, pelo uso da terra para diversas atividades como cultivo, urbanização, pesca e outras, sobretudo de forma inadequada, constitui fator decisivo para o aumento da carga de sedimentos depositados na calha.

Os dados sobre a composição granulométrica dos sedimentos de fundo e concentração de sedimentos em suspensão no rio Paraguai e seus afluentes mostraram predominância de areia com maior descarga sólida em suspensão no canal principal. Cabe salientar a importância da hidrodinâmica e de seus parâmetros, que, variam ao longo dos ciclos de cheia e estiagem. O rio Jauru registrou menor carga de sedimentos transportada em suspensão o que pode ter relação com os empreendimentos hidrelétricos em sua bacia, bem como com as atividades agropecuárias.

O padrão de drenagem e baixa declividade no baixo curso dos afluentes contribuem para a formação de barras laterais e centrais, barras submersas, barras de pontal, diques marginais e ilhas fluviais associado ao refluxo que o rio Paraguai exerce sobre os afluentes. Nesse sentido, o presente estudo apresentou aspectos relevantes, tendo em vista que, o rio principal e seus afluentes percorrem grandes extensões em planícies e pantanais mato-grossenses, contribuindo para a manutenção das características locais do Pantanal.

REFERÊNCIAS

- AVELINO, P. H. M. Análise ambiental com uso de geotecnologias na bacia hidrográfica do rio Cabaçal – MT – Brasil. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas**. v. 1, n. 6, p. 05-29. 2007.
- BORGES, C. Z. **Erosão marginal no rio Paraná após a conclusão do reservatório da UHE Sérgio Motta (Porto Primavera) a jusante da barragem**. 2004. 50 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá – PR, 2004.

- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL:** levantamentos dos recursos naturais, Folha SD 21. Cuiabá, Rio de Janeiro: Secretaria Geral, 1982. 448 p.
- BÜHLER, B. F.; SOUZA, C. A. Aspectos sedimentares do rio Paraguai no perímetro urbano de Cáceres – MT. **Geociências**. v. 31, n. 3, p. 339-349. 2012.
- CAMARGO, L. (Org.). **Atlas de Mato Grosso:** abordagem socioeconômico-ecológica. Cuiabá – MT: Entrelinhas, 2011. 96 p. (Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral e Secretaria de Estado de Meio Ambiente).
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CRPM, 1994. 372 p.
- CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL. 2000. 154 p.
- CARVALHO, T. M. Avaliação do transporte de carga sedimentar no médio rio Araguaia. **Revista Geosul**. v. 24, n. 47, p. 1-14. 2009.
- _____. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 1, n. 1, p. 73-85. 2008.
- CASADO, A. P. B.; HOLANDA, F. S. R.; ARAÚJO FILHO, F. A. G.; YAGUIU, P. Evolução do processo erosivo na margem direita do Rio São Francisco (perímetro irrigado Cotinguiba/Pindoba - SE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 26, p. 231-239. 2002.
- CASTRO, S. S. Erosão hídrica na Alta Bacia do Rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia**. v. 17, p. 38-60. 2005.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. 313p.
- CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: CUNHA, S. B. e GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia: Exercícios, Técnicas e Aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2009. p. 157-189.
- DESTEFANI, E. V.; SOUZA FILHO, E. E. de. Caracterização da erosão marginal no rio Paraná na região de Porto Rico: período pré e pós barragem de Porto Primavera. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2002, Maringá – PR. **Anais...** Maringá – PR: Universidade Estadual de Maringá, 2002. p. 1.
- DNOS - DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS E SANEAMENTO. **Estudos hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai**. Rio de Janeiro: Programa das Nações Unidas. 1978.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.
- FIGUEIREDO, A. J. A.; OLIVATTI, A. (1974). **Projeto Alto Guaporé:** relatório final. Goiânia: DNPM/CPRM. 11v. (Relatório do Arquivo Técnico da DGM, 323).
- JUSTINIANO, L. A. A. **Dinâmica fluvial do rio Paraguai entre a foz do Sepotuba e a foz do Cabaçal**. 2010. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Cáceres - MT, 2010.
- KNIGHTON, A. D. Riverbank erosion in relation to stream flow conditions. River Bollin-Dean, Cheshire. **East Midlands Geographer**. v. 5, p. 416-426. 1998.
- LEANDRO, G. R. S.; SOUZA, C. A. Pantanal de Cáceres: composição granulométrica dos sedimentos de fundo no rio Paraguai entre a foz do rio Cabaçal e a cidade de Cáceres, Mato Grosso, Brasil. **Rev. Ambiente. Água**. v. 7, n. 2, p. 263-276. 2012.
- LEANDRO, G. R. S.; SOUZA, C. A.; CHAVES, I. J. F. Aspectos sedimentares na baía Negra, corredor fluvial do rio Paraguai, Pantanal de Cáceres – Mato Grosso. **Caminhos de Geografia**. v. 13, n. 43, p. 204-216. 2012.
- LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; NÓBREGA, M. T. Produção e transporte da carga suspensa fluvial: teoria e método para rios de médio porte. **Boletim de Geografia**. v. 28, n. 1, p. 43-58. 2010.

- LEOPOLD, I. B.; EMMETT, W. W.; MYRICK, R. M. Channel and hillslope processes in a semiarid area. New México. U.S - **Geog. Surv. Prof. Paper.** v. 352-6, p. 193-253. 1971.
- LUZ, J. S.; OLIVEIRA, A. M.; LEMOS, D. B.; ARGOLO, J. L.; SOUZA J. O; TONNO L. C.; SOUZA N. B.; ABREU FILHO W. (1978). **Projeto Província Serrana: relatório final.** Goiânia: Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral - Convênio DNPM/CPRM, 105 p.
- MIALL, A. D. A Review of the Braided-River Depositional Environment. **Earth Science Reviews.** v. 13, n. 1, p. 01-62. 1977.
- OLIVEIRA, V. S. **Erosão marginal no baixo curso do rio São Francisco e seus efeitos nos agroecossistemas.** 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Sergipe - UFS, São Cristóvão - SE, 2006.
- ROCHA, P. C. **Dinâmica dos canais fluviais no sistema Rio - Planície Fluvial do Alto Rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR.** 2002. 169 f. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá - PR, 2002.
- ROCHA, P. C.; SOUZA FILHO, E. E. Interações dinâmicas entre os materiais de leito de um canal secundário com o canal principal no trecho multicanal do Alto rio Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia.** n. 1, p. 19-32. 2005.
- SERIGATTO, E. M. **Delimitação automática das áreas de preservação permanente e identificação dos conflitos de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Sepotuba – MT.** 2006. 188 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa – MG, 2006.
- SILVA E. S. F. **Dinâmica fluvial do rio Paraguai no segmento entre furado do Touro e Passagem Velha, Pantanal de Cáceres - Mato Grosso.** 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Cáceres - MT, 2012.
- SILVA, A.; SOUZA FILHO, E. E.; CUNHA, S. B. Padrões de canal do rio Paraguai na região de Cáceres (MT). **Revista Brasileira de Geociências.** v. 38, n. 1, p. 167-177. 2008.
- SILVA, A.; SOUZA, C. A. ZANI, H.; FREITAS, D. R. Avaliação da erosão na margem direita do rio Paraguai a jusante da praia do Julião município de Cáceres-MT. **Revista Geográfica Acadêmica.** v. 1, n. 1, p. 5-19. 2007.
- SOUZA, C. A. **Dinâmica do corredor fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Ilha de Taiaí-MT.** 2004. 173 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, 2004.
- SOUZA, C. A.; CUNHA, S. B. Pantanal de Cáceres - MT: dinâmica das margens do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a estação ecológica da ilha de Taiaí-MT. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas.** v. 1, n. 5, p. 18-42. 2007.
- SOUZA, C. A.; LANI, J. L.; SOUSA, J. B. **Questões ambientais: Pantanal mato-grossense.** Cáceres: Unemat, 2009. 118 p.
- SOUZA, C. A.; SOUSA, J. B. Pantanal mato-grossense: origem, evolução e as características atuais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas.** n.11, p. 34-54. 2010.
- SOUZA, C. A.; VENDRAMINI, W. J.; SOUZA, M. A. Assoreamento na baía do Sadao no rio Paraguai – Cáceres – Mato Grosso. **Cadernos de Geociências.** v. 9, n. 2, p. 85-93. 2012.
- SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia.** São Paulo: Edgard Blucher, 1973. 317 p.
- WALKER, J. The application of Geomorphology to the management of river-bank erosion. **Journal of Chartered Institution of Water and Environmental Management.** v. 13, n. 4, p. 297- 300. 1999.