MORFOLOGIA, HIDRODINÂMICA E CARGA DE SEDIMENTOS NO BAIXO CURSO DO RIO SEPOTUBA, AFLUENTE DA MARGEM DIREITA DO RIO PARAGUAI, CÁCERES – MT

MORPHOLOGY, HYDRODYNAMICS AND LOADS OF SEDIMENTS IN THE LOW TRAVEL OF THE SEPOTUBA RIVER, AFLUENT OF THE RIGHT MARGIN OF THE PARAGUAI RIVER, CÁCERES - MT

Célia Alves de Souza[1]
Sandra Baptista Cunha[2]
Juberto Babilonia de Sousa[3]

RESUMO: O estudo objetivou verificar a morfologia, a hidrodinâmica e a carga de sedimentos no baixo curso do rio Sepotuba, afluente da margem direita do rio Paraguai, em Cáceres, MT. Para confecção dos mapas, utilizou-se imagem de satélite, com auxílio das ferramentas do *software* Arcgis. Para determinação de descarga sólida suspensa e vazão foram utilizadas equações. Na verificação da profundidade e largura do canal, foi utilizado ecobatímetro e para medição da velocidade do fluxo, usou-se o molinete fluviométrico. Na granulometria dos sedimentos, usou-se o método de pipetagem e de peneiramento. No baixo curso do rio Sepotuba, registrou-se a presença de baías, lagoas e barras de sedimentos. Nas quatro seções monitoradas, verificou-se a variação nas vazões, nas concentrações dos sedimentos suspensos e nas descargas sólidas ao longo do ano de acordo com sazonalidade. Houve predominância de areia média e fina no sedimento de fundo nas quatro seções.

Palavras-chave: Dinâmica fluvial. Sazonalidade. Descarga sólida.

ABSTRACT: The study aimed to verify the morphology, hydrodynamics and sediment load in the lower course of the Sepotuba River, a tributary of the right bank of the Paraguay River, in Cáceres, MT. For the preparation of the maps, a satellite image was used, using the tools of the Arcgis software. For the determination of solid suspended discharge and flow, equations were used. In the verification of the depth and width of the channel, an echo-bathmeter

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: celiaalvesgeo@globo.com.
2 Professora no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense. E-mail: sandracunha@openlink.com.
3 Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado Mato Grosso – IFMT. E-mail: jubertobabilonia@yahoo.com.br.

Artigo recebido em junho de 2019 e aceito para publicação em agosto de 2019.

was used and, for flow velocity measurement, the fluviometric windlass was used. In the sediment granulometry, the pipetting and sieving method was used. In the low course of the river Sepotuba, the presence of bays, lagoons and sediment bars were registered. In the four sections monitored, the variation in flow rates, suspended sediment concentrations and solid discharges during the year was observed according to seasonality. There was predominance of medium and fine sand in the bottom sediment in the four sections.

Keywords: Fluvial dynamics. Seasonality. Solid discharges.

INTRODUÇÃO

A quantidade de sedimento transportada naturalmente por um canal fluvial depende da fonte, da composição do leito e das características hidráulicas e geométricas do canal (CARVALHO, 2008; SCAPIN, 2005). A dinâmica fluvial compreende remoção, transporte e deposição das partículas envolvidas em toda a rede de drenagem que incide diretamente sobre o equilíbrio de todo o sistema fluvial. Quando acontecem distúrbios no sistema, o canal ajusta-se e reajusta-se até encontrar um novo equilíbrio (CHRISTOFOLETTI, 1977).

O transporte de sedimentos ocorre em maior quantidade nas épocas chuvosas. Cerca de 70 a 90% de todo o sedimento transportado apresenta-se nestes períodos, principalmente nos grandes eventos pluviométricos. A ocorrência da erosão tem papel importante nos parâmetros sedimentares, pode-se processar de diversas formas e depende de muitas variáveis, sendo a principal delas a chuva (CARVALHO, 2008).

De acordo com Christofoletti (1981, p. 98) "a erosão e a sedimentação constituem fenômenos naturais e de grande importância para a manutenção do equilíbrio fluvial". Os processos de sedimentação do canal e da planície de inundação influem na forma física de deposição e compreendem os depósitos residuais do canal, de barras de meandros e do preenchimento de canais, influenciando o acúmulo de sedimentos na planície de inundação (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

O processo de transporte e sedimentação, além das mudanças na morfologia da calha dos rios e nas planícies de inundação, foram estudados por diversos pesquisadores brasileiros, entre eles estão: Souza (2004), Silva, Souza Filho e Cunha (2008), Grizio e Souza Filho (2010), Souza et al. (2012), Andrade, Leandro e Souza (2013), Bühler (2011), Souza e Cunha (2013), Leandro, Souza e Nascimento (2014), Silva et al. (2013) no rio Paraguai; Bayer e Zancopé (2014), Carvalho (2009) e Morais, Aquino e Latrubesse (2008), no rio Araguaia; Lana e Castro (2008), no rio das Velhas (MG); Kuerten, Santos e Silva (2009), no rio Ivaí.

As mudanças espaço-temporais das feições morfológicas fluviais ocorrem, principalmente, devido à erosão e à deposição de sedimentos. A sedimentação de acreção lateral consiste na sucessiva acumulação lateral de sedimentos, principalmente no lado interno da curva do canal meandrante. Em virtude da contínua erosão da margem côncava e da sedimentação na margem convexa, o canal mantém-se em constante migração lateral, estabelecendo aspecto bastante dinâmico ao ambiente fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1981; BIGARELLA, 2003).

Para Kellerhald, Church e Bray (1976) e Dietrich (1985), as características da calha estão, em sua maioria, associadas aos processos de erosão e deposição. Os depósitos de sedimentos pertencem a diferentes categorias, como os que se desenvolvem no eixo central; ou seja, os bancos ou barras centrais (*mid channel bar*), as barras laterais (*channel side bar* e *point bars*), barras submersas e ilhas fluviais.

Em relação ao comportamento de uma bacia, o transporte de sedimentos varia em grande intensidade desde as partes mais altas até as planícies. Essa variação irá depender

da litologia, do tipo de solo, da cobertura vegetal, da velocidade, do regime de chuvas, dentre outros fatores. A maior erosão, de modo geral, ocorre no alto curso da bacia e durante o transporte de sedimentos, que diminuirá gradativamente da alta até a média bacia, conforme as declividades decrescerem (CARVALHO, 2008).

Segundo Tomazoni et al. (2005), os sedimentos que se encontram em suspensão permanecem em constante mobilidade, devido à turbulência, às correntes convectivas da água e à repulsão provocada pelas cargas elétricas existentes na superfície das partículas. Esse processo proporciona o equilíbrio dinâmico entre as partículas, sendo que as menores permanecem em suspensão e as maiores tendem a sedimentarem-se gradativamente.

A descarga sólida total é gerada principalmente pela concentração de sólidos em suspensão, vinculados as características do leito quanto à sua largura, profundidade média, a velocidade da água e a vazão, além da extensão da sub-bacia e do uso da terra (BRAGA et al., 2012).

Alguns trabalhos destacaram a importância dos estudos realizados em sistemas fluviais. Santos et al. (2008), por exemplo, explicam o surgimento de barras tanto nas margens quanto nos canais do rio Ivaí, no estado do Paraná está associado a diminuição da competência do rio. Ao mesmo tempo, Carvalho (2008a) destaca a importância da hidrossedimentologia em planejamentos e estudos de bacias hidrográficas, bem como o transporte de sedimentos nos cursos d'água e os impactos causados pela ação antrópica nas barras de sedimentos.

O rio Sepotuba e seus afluentes contribuem com aporte de sedimentos para o rio Paraguai e para o pantanal mato-grossense. A origem dos sedimentos está vinculada ao uso da terra e à dinâmica fluvial. Na bacia hidrográfica do rio Sepotuba, são desenvolvidas várias atividades pecuárias, agrícolas (monocultura) e urbanas, as quais deixam as camadas superficiais expostas aos processos erosivos. Por consequência, os materiais provenientes da erosão são transportados para os cursos de água.

O estudo objetivou verificar a morfologia, a hidrodinâmica e a carga de sedimentos no baixo curso do rio Sepotuba, afluente da margem direita do rio Paraguai, Cáceres, MT. Considerando o fato de que a bacia hidrográfica do rio Sepotuba contribui com água e sedimentos para o Pantanal mato-grossense, torna-se necessária uma avaliação do mecanismo de transporte e deposição dos sedimentos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo corresponde ao baixo curso do rio Sepotuba, próximo da confluência com rio Paraguai. Localizado entre as coordenadas geográficas de 15º53'00" a 15º 55'30" de latitude sul e 57º 38' 00" a 57º 39'30" de longitude oeste, no município de Cáceres, no estado de Mato Grosso, Brasil, com área aproximada de 20.574km^2 (Figura 1). Foram monitorados quatro pontos (um ponto no rio Sepotuba, um ponto no canal secundário do rio Sepotuba e dois pontos no rio Paraguai a jusante e a montante da foz do rio Sepotuba).

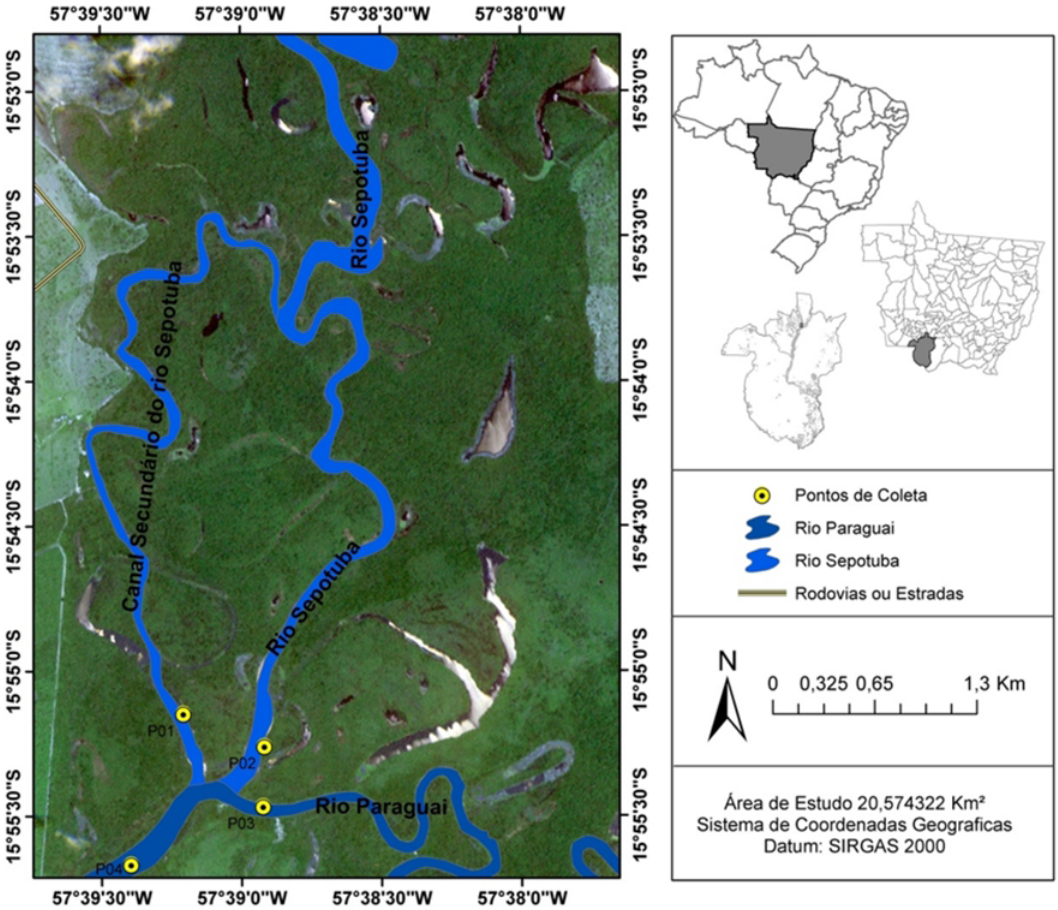

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Sepotuba e os pontos monitorados, próximo da confluência dos rios Sepotuba e Paraguai

A bacia hidrográfica do rio Sepotuba drena 11.460.00 km². Sua nascente principal encontra-se na Chapada dos Parecis; porém, a maioria das nascentes encontra-se nas bordas da chapada e na depressão do Alto Paraguai. No baixo curso, o rio Sepotuba divaga na planície de inundação.

A litologia da área de estudo é composta pela Formação Pantanal e por aluviões atuais. A Formação Pantanal apresenta desde sedimentos finos a grosseiros semiconsolidados, depósitos fluviais e lacustres em áreas periodicamente ou ocasionalmente inundáveis. De acordo com Souza, Lani e Sousa (2006), a Formação Pantanal é constituída por areias inconsolidadas, de granulometria fina a média, intercalada por materiais síltico-argilosos. Os aluviões atuais são depósitos das planícies de inundação.

A geomorfologia dessa área apresenta planície fluvial permanente ou temporária alagada. O trecho possui morfologia peculiar com feições positivas e negativas. As feições positivas correspondem a diques e cordões marginais, e barras laterais e centrais resultantes de acumulações fluviais. As feições negativas correspondem a baías e lagoas.

Registrou-se a ocorrência de Gleissolo Háplico (Tb eutrópico), solos rasos, pouco desenvolvidos, orgânico-minerais, com características de locais planos e abaciados, sujeitos a alagamentos constantes ou periódicos, marcados por uma série de terraços e planícies fluviais e recobertos por vegetação de várzea. A ocorrência desse solo de baixa impermeabilidade dificulta infiltração da água, contribuindo para manter a inundação por maior período (JACOMINE et al., 1995).

Quanto à vegetação, foram identificadas Floresta Aluvial, na planície no rio Sepotuba em áreas inundáveis ou sujeitas à inundação. Essa 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.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento da pesquisa, algumas etapas foram necessárias: gabinete, campo e laboratório, sendo selecionadas as seguintes variáveis: (1) precipitação; (2) velocidade do fluxo; (3) descarga mensal; (4) carga suspensa; (5) carga de fundo; (6) concentração de sedimentos em suspensão**.**

a) Etapa de gabinete

I – Elaboração do mapa de feições morfológicas

Para confecção do mapa de localização e levantamento das feições morfológicas, foi utilizada imagem de satélite, com auxilio das ferramentas do *software* Arcgis 10.2 pela função *Calculate Geometry*. Realizou-se trabalho de campo para confirmar as informações.

II – Determinação da descarga sólida suspensa e vazão

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 (Ql), na forma da expressão abaixo, 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 (m3/ s-1).

Para obter a vazão, utilizou-se a fórmula:

Q = V x A (Cunha, 2013). Onde: Q = Vazão; V = Velocidade das águas; A = Área.

III – 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 (Ql), na forma da expressão abaixo (CARVALHO, 2009):

$$Qss = \sum (C_{ss1} \,.\, Q1_1) \,.0{,}0864$$

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}).*

Qss =

IV – Organização das informações de precipitação

Para a tabulação dos dados de precipitação, para analisar o regime de precipitação, bem como avaliar a ocorrência das precipitações mensais, foram utilizados os dados relativos ao ano de 2014, disponibilizados pelo CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais).

b) Etapa de campo

Foram realizados trabalhos de campo para reconhecimento da área, monitoramento batimétrico, medição do fluxo e coleta de amostras de sedimentos de fundo e suspensão em quatro seções (canal secundário, rio Sepotuba e rio Paraguai a montante e a jusante da confluência com rio Sepotuba) durante um ano, com coletas e monitoramentos mensais.

I – Variáveis hidrodinâmicas (batimetria)

Para levantamento da largura e da profundidade do canal, utilizou-se o sonar Garmin GPSMAP 420S, onde as seções transversais foram divididas em três pontos: margem direita, meio da calha e margem esquerda, conforme preconizado por Carvalho (2008b). Empregou-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%).

II – Coleta de sedimentos de fundo e em suspensão

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 mantido sob refrigeração até o início das análises (no máximo 24 horas após coleta).

Quando da coleta dos sedimentos de fundo, foi utilizado o aparelho do tipo Van Veen (mostrador de mandíbulas), conforme indicam Rocha e Souza Filho (2005). O aparelho foi lançado no rio até alcançar o fundo do canal, retendo 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.

c) Etapa de análise de laboratório

I – Método de pipetagem (dispersão total)

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

Os procedimentos constaram das seguintes etapas:

(a) Após secagem a 100°C em estufa, 20g de amostra de cada ponto de coleta foram condicionadas em béqueres contendo 10ml de solução dispersante (NaOH 0,1M.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.

(b) Transcorrido o período de repouso, as amostras foram novamente agitadas mecanicamente durante 15 minutos, no Agitador de Wagner (TE-160).

(c) Na sequência, o material foi lavado em uma peneira de 20 cm de diâmetro e malha de 0,053 (nº 270), 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.

(d) 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.

(e) 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).
(f) Ao fim do processo, tanto o material da pipeta (suspensão coletada) quanto o da peneira foram transferidos para béqueres identificados de acordo com o ponto de coleta e levados à estufa modelo TE-394/2 a 120°C.
(g) Concluída a secagem, foi realizada pesagem e calculados os percentuais de areia, silte e argila para cada amostra. A fração silte equivale à diferença da soma areia/argila das 20g iniciais.
(h) Foram realizados três ensaios por ponto de coleta para obtenção da composição média do material de fundo.

II - Método de peneiramento

Na determinação do tamanho das partículas de sedimentos de fundo, foi adotado o método de peneiramento. A fração de areia separada pelo método de dispersão total secou em estufa a 100°C. Posteriormente, o material foi submetido a 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, determinando as frações areia (grossa, média e fina) (EMBRAPA, 1997).

III - Concentração em sedimentos suspensos

Para verificar a concentração de sedimentos suspenso, foi utilizada a técnica de evaporação. Na execução da metodologia, diminui-se 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 amostras foram colocadas no dissecador para posterior pesagem (CARVALHO 2008b).

RESULTADO E DISCUSSÃO

No baixo curso do rio Sepotuba, o nível de base local tornou propício o surgimento de várias feições morfológicas positivas e negativas. As formas negativas são representadas por lagoas, baías e canal secundário. Quanto às formas positivas do terreno, destacam-se os diques marginais, os cordões marginais, as barras (centrais e marginais) de sedimentos e ilhas. A origem das ilhas está associada ao rompimento do colo do meandro.

Na bacia hidrográfica do rio Sepotuba, no baixo curso, registra-se a presença meandros abandonados, canais secundários, meandros colmatados, barras, ilhas, diques marginais e cordões marginais. Quanto às feições negativas, possui sete baías e 32 lagoas. As baías mantêm conexão com o leito, no período da cheias, onde recebe água e sedimentos do rio (Figura 2).

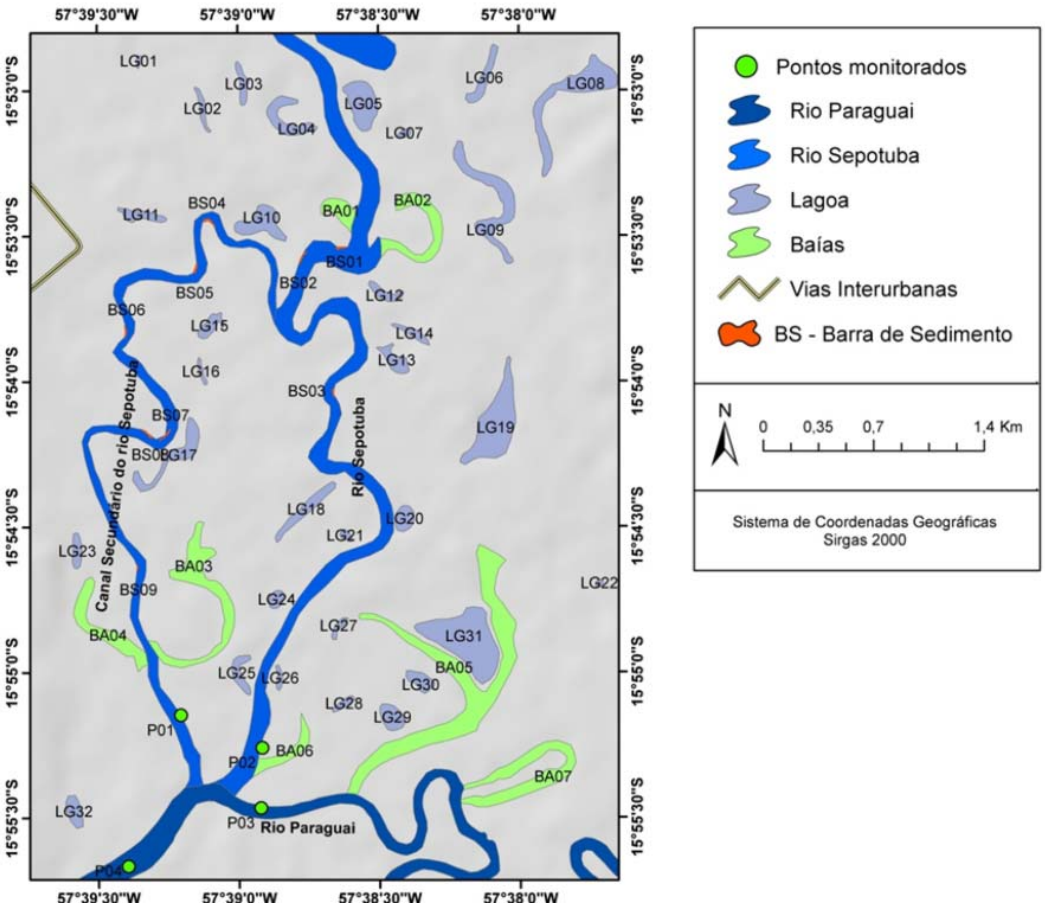

Figura 2. Baixo curso do rio Sepotuba, com as feições morfológicas: baías (meandros abandonados), barras e lagoas.

Precipitação

A análise da precipitação é importante para a compreensão do comportamento hidrológico das redes de drenagem. Como elemento constituinte de uma bacia hidrográfica, podem ser destacadas algumas características que afetam o sistema fluvial, tais como a quantidade de precipitações (volume), os regimes sazonais ou diários dessas precipitações, ou seja, sua distribuição temporal e a intensidade das chuvas individuais (volume e duração).

A distribuição da precipitação apresenta dois períodos bem definidos: época de chuvas intensas (novembro a abril) e período de estiagem (maio a outubro). Em 2014 na estação de Cáceres, as precipitações mensais apresentaram flutuações, sendo que os maiores volumes de chuva ocorreram nos meses de outubro a abril. A precipitação total no período chuvoso (novembro a abril) foi de 928,3 mm; no período estiagem (maio a outubro), ficou entorno de 287,3 mm. Geralmente, series históricas mostram baixo índice de precipitação em outubro; porém, o ano 2014 foi atípico, com precipitação de 146,8 mm mensal (Figura 3).

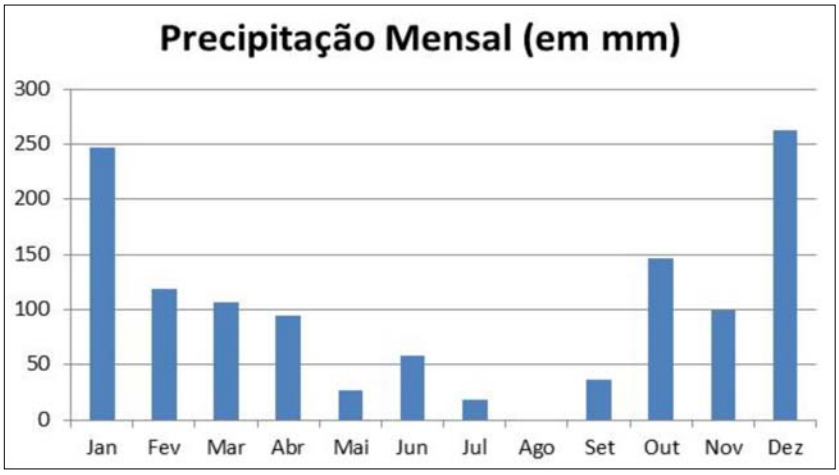

Figura 3. Valores de precipitações mensais no período em 2014. Estação de Cáceres (1657003/CPRM) na bacia hidrográfica do rio Sepotuba.

As diferenças acentuadas entre os dois períodos (cheia e estiagem) contribuem para o aumento no nível de água do rio Sepotuba na época de chuvas, provocando o transbordamento da água e sedimentos para a planície no baixo curso, favorecendo o alagamento periódico da planície, além de contribuir para o abastecimento de lagoas e baías.

A intensidade da chuva contribuiu para aumento da vazão, a concentração de sedimentos e da descarga sólida nas quatro seções monitoradas.

Vazão, concentração de sedimentos suspenso e descarga sólida

Nesse item apresenta as informações relativas à velocidade do fluxo, área da seção, vazão, concentração de sedimentos suspenso e descarga sólida em suspensão das quatro seções medidas (no rio Sepotuba, no rio Paraguai a montante e a jusante da foz do rio Sepotuba e no canal secundário do rio Sepotuba).

As baixas velocidades (fluxo) registradas nas seções estão relacionadas com a própria declividade no leito. No rio Paraguai, ao longo do seu curso, a declividade varia de 7,3 a 1 cm km^{-1}. No rio Sepotuba, as seções encontram-se no baixo curso, com declividade baixa de 4,3 a 1 cm km-1, as feições deposicionais (barras centrais e laterais) no leito contribuem para diminuir a turbulência, interferindo na distribuição de velocidades e concentrações (Tabelas 1, 2, 3 e 4).

O estudo realizado por Silva (2009) no rio Manso, no estado de Mato Grosso, revela que os valores de descarga sólida e vazão líquida aumentam ou diminuem, em função do regime pluviométrico da região.

Seção1 - No rio Paraguai a montante da foz do rio Sepotuba

Na seção do rio Paraguai, a montante da foz do rio Sepotuba, a vazão no período de cheias variou de 163,36 a 446,74 $m^3.s^{-1}$ e; no período de estiagem, variou de 81,44 a 144,49 $m^3.s$-^{1} (Tabela 1). A concentração de carga suspensa foi maior no período chuvoso, variando de 100 a 400 mg.l-^{1}; período de estiagem, ficou entre 40 a 64 mg.l^{-1}. No mês de outubro, contudo, a concentração foi elevada, atingindo 320 mg.l-^{1}, estando associada ao escoamento superficial das primeiras chuvas. A descarga sólida atingiu 13.895 T/dia em fevereiro. Quanto aos sedimentos de fundo, predominou areia média em todos os meses.

Tabela 1. Velocidade do fluxo, área da seção, vazão, concentração de sólidos suspensos e descarga sólida do rio Paraguai a montante da foz do rio Sepotuba.

Mês	Vel. Média (m/s)	Área da Seção (m^2)	Vazão ($m^3.s^{-1}$)	Cssi ($mg.l^{-1}$)	Qss (t/dia)	Sedimento de fundo (%)				
						Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
Jan	0,56	508,19	285,8	400	9.877	1,75	65,1	26,8	0,65	5,7
Fev	0,64	512,69	328,12	380	10.772	6,3	87,6	5,4	0,4	0,3
Mar	0,88	507,67	446,74	360	13.895	1,15	93,95	3,25	0,45	1,2
Abr	0,84	338,63	284,44	160	3.932	0,95	72,5	24,7	1,45	0,4
Mai	0,68	33,73	84,32	40	291	10,2	86,7	1,95	0,8	0,35
Jun	0,32	318,41	101,89	60	528	3,4	88,75	5,75	1,75	0,35
Jul	0,63	229,36	144,49	40	499	0,8	91,9	6,7	0,15	0,45
Ago	0,30	264,44	81,44	42	295	0,9	59,15	11,6	27,5	0,85
Set	0,34	237,45	81,68	42	296	7,05	82,05	9,8	0,7	0,4
Out	0,40	291,42	116,56	320	3.223	0,7	70,9	27,7	0,45	0,25
Nov	0,73	223,79	163,36	293	4.135	1,5	29,75	68	0,25	0,5
Dez	0,48	348,19	167,13	100	1.444	3,65	90,7	4,8	0,15	0,7

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.

O material transportado é proveniente da própria dinâmica fluvial, da erosão de margem e fundo. Também estão vinculados aos processos erosivos que acontecem na bacia, os sedimentos são carreados para o leito através do escoamento superficial.

Os valores obtidos com aplicação da formula nos dados de descarga solida e vazão do rio Paraguai, a curva chave mostra o efeito da vazão, quanto maior a vazão no Rio Paraguai menor a descarga sólida (p=0,003) (Figura 4).

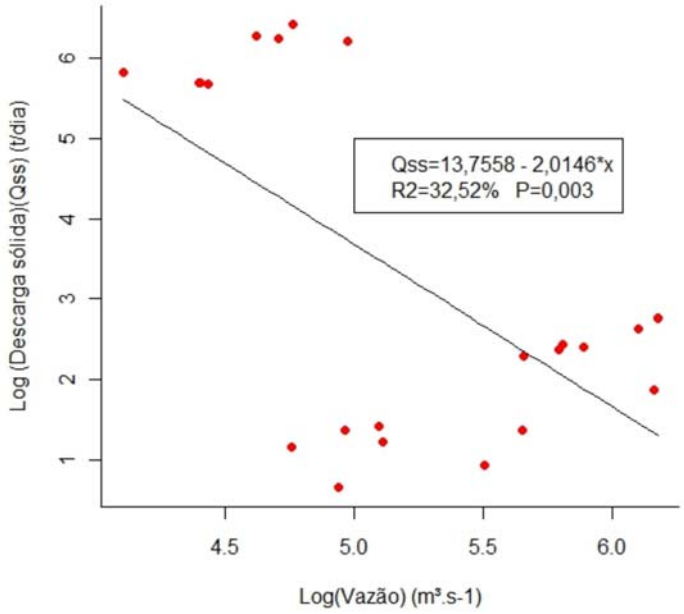

Figura 4. Análise estatística da descarga sólida do Rio Paraguai.

No gráfico da descarga sólida dos dois rios (Paraguai e Sepotuba) juntos, não apresenta uma curva chave significativa. A descarga sólida do Rio Sepotuba não é determinada pela vazão (p=0,8) (Figura 5).

Para Fill e Santos (2001) o método da curva-chave de sedimentos mostra pouco preciso com um grau de dispersão bastante acentuado devido ao fato de que outros fatores, como intensidade de precipitação, uso do solo, controle da erosão, os quais são altamente variáveis no tempo e no espaço, contribuírem no processo.

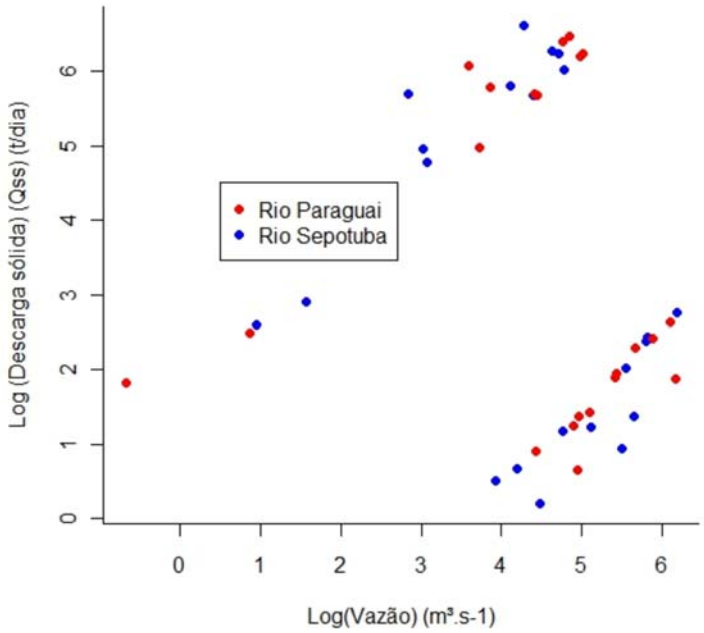

Figura 5. Análise estatística da descarga sólida do Rio Paraguai e do rio Sepotuba.

Seção 2- No rio Paraguai a jusante da foz do rio Sepotuba

Ao longo do ano, na seção do rio Paraguai, a jusante da foz do rio Sepotuba, houve diferenças significantes na vazão, na concentração dos sólidos suspensos e na descarga sólida, influenciada pelo volume de precipitação.

A vazão variou de 166,01 a 480,84 $m^3.s^{-1}$ no período chuvoso (novembro a abril) e entre 81,68 a 245,32 m³.s-1 no período de seca (maio a outubro) (Tabela 2). Na concentração dos sólidos suspensos, verifica-se certa diferença nos valores: no período chuvoso, variou 160 a 400 $mg.l^{-1}$; no período de estiagem, manteve-se entre 42 a 160 $mg.l^{-1}$; porém, em outubro, extrapolou para 320 $mg.l^{-1}$. Os valores de descarga sólida foram maiores no período chuvoso, variando entre 3.399 e 15.787 t/dia. No período de estiagem, ocorre a diminuição da carga sólida, variando entre 296,40 a 3.956 t/dia. Nos sedimentos de fundo, na maioria dos meses, predominou a ocorrência de areia média; em janeiro houve equivalência na quantidade de areia média e fina. No mês de novembro, houve maior proporção de silte.

Estudo realizado no rio Paraguai por Souza et al. (2015) próximo a foz do Sepotuba mostra que a velocidade do fluxo foi de 0.74 m/s^{-1}, tendo vazão de 536.48 m^3/s^{-1} e a descarga sólida de 6 489.26 t/dia.

Comparando a descarga sólida do rio Paraguai nas seções a montante e jusante da foz do rio Sepotuba, verifica-se que houve aumento na descarga sólida na maioria dos meses, exceto no mês de novembro. Pode-se inferir que o aumento da descarga sólida na seção do rio Paraguai a jusante está relacionado ao aporte de sedimentos do rio Sepotuba. Nessa seção, no mês de abril, aumentou a carga de sedimentos 8 vezes em relação à seção a montante.

Tabela 2. Velocidade do fluxo, área da seção, vazão, concentração sedimentos suspenso e descarga sólida do rio Paraguai a jusante da foz do rio Sepotuba.

Mês	Vel. Média (m/s)	Área da Seção (m)²	Vazão $m^3.s^{-1}$	Cssi ($mg.l^{-1}$)	Qss (t/dia)	Sedimento de Fundo (%)				
						Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
Jan	0,83	395,74	332,35	400	11.486	7,5	39,7	38,4	8,3	6,1
Fev	0,84	428,82	360,20	360	11.203	3,6	77,65	17,85	0,45	0,45
Mar	0,81	593,64	480,84	380	15.787	4,35	87,35	7,75	0,2	0,35
Abr	0,94	503,25	473,05	160	6.539	0,3	85,8	2,1	11,4	0,4
Mai	0,65	377,43	245,32	120	2.543	0	57	26,15	16,5	0,35
Jun	0,63	221,5	139,54	160	1.929	3,95	64,3	23,7	7,8	0,25
Jul	0,48	231,15	110,95	-	-	0,25	91,7	7,55	0,1	0,4
Ago	0,44	261,37	117,35	60	608,34	1,45	50,85	33,55	13,45	0,7
Set	0,28	210,48	60,61	64	335,00	12,65	30,8	39,3	16,3	0,95
Out	0,5	286,17	143,08	320	3.956	1,3	51,05	30,65	16,35	0,65
Nov	0,54	307,44	166,01	237	3.399	0	4,1	32,15	61,45	2,3
Dez	0,56	449,28	251,59	180	3.913	0,65	56,9	27,7	13,9	0,85

Seção 3 - No rio Sepotuba

Na seção do rio Sepotuba, no período chuvoso, a vazão variou de 256,21 a 71,67 $m^3.s^1$; no período de estiagem, variou de 21,70 a 126,10 $m^3.s^{-1}$. Ao analisar a vazão no baixo curso do rio Sepotuba, alguns condicionantes devem ser considerados, tais como: a baixa declividade ao longo do perfil longitudinal; o transbordamento do rio Sepotuba, que espalha parte do fluxo para planície de inundação, abastecendo baías e lagoas e; as barras de sedimentos que forma barreiras, diminuindo a velocidade do fluxo (Tabela 3).

A concentração de sedimentos suspensos variou de 120 a 360 $mg.l^{-1}$ no período chuvoso e 40 a 160 $mg.l^{-1}$ no período de estiagem. Quanto à descarga sólida do rio Sepotuba, atingiu 7.526 t/dia no período de chuvoso. Nos sedimentos de fundo, foram registradas maiores proporções de areia média e fina (Tabela 3).

Na seção do rio Sepotuba verificou-se que a descarga sólida anual atingiu 30.453 t/ano, com média mensal de 2.537 t/mês. No canal secundário do Sepotuba, a descarga sólida foi de 7.542,82 t/ano, com média mensal de 628,57 t/mês. Podemos inferir que a bacia do Sepotuba contribui com 37.995,82 t/ano para o rio Paraguai e, consequentemente, para o pantanal mato-grossense. A alta produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Sepotuba pode estar relacionada ao uso do solo, à composição granulométrica do material de origem e à erosão fluvial.

Tabela 3. Velocidade do fluxo, área da seção, vazão, concentração de sólidos suspensos e descarga sólida no rio Sepotuba.

Mês	Vel. Média (m/s)	Área da Seção (m^2)	Vazão ($m^3.s^{-1}$)	Cssi ($mg.l^{-1}$)	Qss (t/dia)	Sedimentos de Fundo (%)				
						Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
Jan	0,66	342,77	226,22	360	7.036	2,55	48,9	46,15	2,05	0,35
Fev	0,68	376,79	256,21	340	7.526	0,15	64,05	35,05	0,35	0,4
Mar	0,49	460,14	225,46	340	6.623	13,6	78,4	6,1	1,35	0,55
Abr	0,69	103,87	71,67	120	743	2,3	65,95	13,05	17,55	1,15
Mai	0,57	221,24	126,10	60	653	11	69,15	16,25	3,05	0,55
Jun	0,67	177,61	118,99	40	411	2,75	54,3	38,65	4,15	0,15
Jul	0,2	207,74	41,54	40	144	3,95	74,05	20,35	1,15	0,5
Ago	0,11	197,35	21,70	64	119	0	84,7	6,85	8,1	0,35
Set	0,7	211,89	148,96	40	514	0,55	80,8	17,85	0,4	0,4
Out	0,37	236,82	87,62	160	1.211	1,75	77,4	20,5	0,15	0,2
Nov	0,59	225,59	133,09	303	3.484	1,6	62,25	34,55	1,1	0,5
Dez	0,59	325,11	191,81	120	1.989	1,2	79,2	18,5	0,35	0,75

Seção 4 - No canal secundário do rio Sepotuba

O canal secundário do rio Sepotuba refere-se ao antigo leito que sofreu processo de sedimentação, diminuindo, assim, sua capacidade de transporte de sedimentos acumulados no canal e na planície.

Nessa seção, a vazão variou entre 17,15 a 83,95 $m^3.s^{-1}$ no período chuvoso e 0,51 a 36,38 $m^3.s^{-1}$ no período de estiagem (Tabela 4). A concentração de sedimentos suspensos variou de 380 a 100 $mg.l^{-1}$ no período chuvoso e de 44 a 140 $mg.l^{-1}$ no período de estiagem**.** A descarga sólida no período chuvoso variou de 301 a 2.466 t/dia; na estiagem, variou entre 6,16 a 140 t/dia. A descarga sólida no período chuvoso variou de 301 a 2.466 t/dia; na estiagem, variou entre 6,16 a 140 t/dia.

A granulometria dos sedimentos de fundo variou nos meses monitorados; porém, no período chuvoso, houve maior volume de areia média, com exceção do mês de dezembro, período em que predominou silte. No período de estiagem, as maiores proporções ficaram entre areia média, areia fina e silte.

Tabela 4. Velocidade do fluxo, área da seção, vazão, concentração de sólidos suspensos e descarga sólida no canal secundário do Sepotuba.

Mês	Vel. Média (m/s)	Área da Seção (m^2)	Vazão ($m^3.s^{-1}$)	Cssi ($mg.l^{-1}$)	Qss (t/dia)	Sedimentos de Fundo (%)				
						Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
Jan	0,4	127,07	50,82	380	1.669	0	68,4	15,3	11,45	4,85
Fev	0,51	164,61	83,95	340	2.466	3,4	76,75	17,85	1,2	0,8
Mar	0,39	170,24	66,39	340	1.950	1,2	85,3	8,4	3,45	1,65
Abr	0,34	138,62	47,13	80	326	0,95	59,05	30,5	8,85	0,65
Mai	0,28	73,64	20,61	80	142	0	21,15	44,8	33,3	0,75
Jun	0,007	73,64	0,51	140	6,16	0	3	4,5	61,3	31,2
Jul	0,07	37,25	2,6	60	13,47	0	73,15	14,85	9,8	2,2
Ago	0,06	39,85	2,39	58	11,97	0	53	16,55	29,6	0,85
Set	0,37	13	4,8	44	18,24	0,3	18,45	71,7	0,9	8,65
Out	0,6	60,64	36,38	140	440	0,05	2,8	51,85	15,5	1,6
Nov	0,31	55,35	17,15	203	301	10,35	53,6	35	0,55	0,5
Dez	0,2	126,92	25,38	100	219	1,75	4,4	42,9	48,4	2,55

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo permitiu verificar a presença de baías, lagoas e barras de sedimentos. A origem e manutenção das baías e lagoas estão diretamente ligadas ao desnível existente entre o canal do rio Sepotuba e a planície, tornando possível a inundação e o abastecimento dessas feições. A formação das barras de sedimentos está associada ao aumento da carga de sedimentos, à perda de competência e à capacidade de transportar o material, devido à baixa declividade ao longo curso.

Ao analisar os dados das quatro seções transversais, foi possível verificar que as vazões, as concentrações dos sedimentos suspensos e a descargas sólidas que variaram ao longo do ano, estando relacionadas diretamente com a precipitação e ao uso do solo. O estudo apresenta a contribuição de carga suspensa e vazão do rio Sepotuba para o rio Paraguai.

As concentrações de sedimentos em suspensos e a descarga sólida nas quatro seções foram maiores no período chuvoso, resultante do escoamento superficial, da erosão fluvial (margens e fundo), da remobilização do material de fundo e da maior intensidade das correntes. Houve maior ocorrência de sedimentos grosseiros nos materiais de fundo, predominando areias média e fina.

Nas ultimas décadas o rio Sepotuba sofreu um processo intenso de sedimentação, vinculado principalmente ao uso do solo nas cabeceiras de drenagem (planalto), o rio Sepotuba é o principal contribuinte da margem direita do rio Paraguai, o aumento do aporte de sedimentos contribuem para assoreamento do rio Paraguai e do Pantanal mato-grossense. Além da perda da biodiversidade regional e problemas socioeconômicos com dificuldade de navegação no período de estiagem.

REFERÊNCIAS

ANDRADE L. N. P. da S.; LEANDRO, G. S.; SOUZA, C. A. Geoformas deposicionais e sedimentos de fundo na foz da baía Salobra confluência com o rio Paraguai Pantanal de Cáceres - Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia F**ísica, v. 6, n. 2, p. 253-270. 2013.

BAYER, M.; ZANCOPÉ, M. H. C. Ambientes sedimentares da planície aluvial do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 203-220. 2014.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003. v. 3

BRAGA, C. de C.; ROCHA, I. R. da; CABRAL, J. B. P.; BARCELOS, A. A. Análise da descarga sólida em suspensão dos afluentes do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros, GO. **Revista Geonorte**, edição especial, v. 3, n. 4, p. 495-505. 2012.

BÜHLER, B. F. **Qualidade da água e aspectos sedimentares da bacia hidrográfica do rio Paraguai no trecho situado entre a baía do Iate e a região do Sadao, município de Cáceres (MT), sob os enfoques quantitativos e perceptivos.** 2011. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. UNEMAT, Cáceres, MT, 2011.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. rev. atual. ampl. Rio de Janeiro: Interciência, 2008a.

CARVALHO, T. M. Técnicas de medição de vazão por métodos convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1 n. 1 p. 73-84. 2008b.

CARVALHO, T. M. Avaliação do transporte de carga sedimentar no médio rio Araguaia. **Revista Geosul,** v. 24, n. 47, p.147-160. 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Hucitec, 1977.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia atualização de bases e conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013, p. 211-252.

DIETRICH, W. E. Mechanics of flow and sediment transport in river bends. *In*: PETTS, G. (ed.). **Rivers a landscape**. Edward Arnold, 1985. p. 158-174.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Segunda versão do sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa. Produção de informações/Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

FILL, H. D.; SANTOS, I. dos. **Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão através da profundidade Secchi**. Disponível em: http://www.lactec.org.br/publicacoes/2001/012_2001.pdf. Acesso em: 03 set. 2018.

GRIZIO, E. V.; SOUZA FILHO, E. E. As modificações do regime de descarga do rio Paraguai Superior. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 2, p. 25-33. 2010.

JACOMINE, P. K. T. *et al*. **Guia para identificação dos principais tipos de solos de Mato Grosso**. Cuiabá: PNUD-PRODEAGO, 1985.

KELLERHALD, R.; CHURCH, M.; BRAY, D. Classification and analysis of river processes. American Society of Civil Engineers Proceeding. **Journal of the Hidraulies Division**, p. 813-829, 1976.

KUERTEN A. S.; SANTOS, M. L.; SILVA, A. Variação das características hidrossedimentares e geomorfologia do leito do rio Ivaí – PR, em seu curso inferior. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 143-151. 2009.

LANA, C. E.; CASTRO, P. T. A. Análise sedimentológica e de proveniência de sedimentos fluviais nas cabeceiras do rio das Velhas, município de Ouro Preto. MG. **Rev. Esc., Ouro Preto**, v. 61, n. 1, p. 63-68. 2008.

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. Ambient. Água**. v. 7, n. 2, p. 263-276. 2012.

LEANDRO, G. S.; SOUZA, C. A.; NASCIMENTO F. R. Sedimentos de fundo e em

suspensão no corredor fluvial do rio Paraguai, pantanal norte mato-grossense, Brasil. **Boletim Goiano, Geografia** (online), Goiânia, v. 34, n. 2, p. 195-214. 2014.

MORAIS, R. P.; AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M. Controles hidrogeomorfológicos nas unidades vegetacionais da planície aluvial do rio Araguaia, Brasil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 411-421. 2008.

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.

SANTOS, M. L.; STEVAUX, J. C.; GASPARETTO, N. V. L.; SOUZA FILHO, E. E. Geologia e geomorfologia da planície aluvial do rio Ivaí em seu percurso inferior. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Maringá, v. 9, n. 1, p. 23-34. 2008.

SCAPIN, J. **Caracterização do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano na cidade de Santa Maria – RS**. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Centro de Tecnologia. UFSM, Santa Maria, RS, 2005.

SILVA, V. J. **Avaliação da descarga sólida no reservatório do Rio Manso em Mato Grosso utilizando o método simplificado de Colby.** 2009. 149 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos, UFMT, Cuiabá, MT, 2009.

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, F. C., FREITAS, I. J.; CRUZ, J. S. B.; OLIVEIRA, M. A. P.; ANDRADE, L. N. P. da S.; SOUZA, C. A. Rio Paraguai no Pantanal de Cáceres, Mato Grosso: feições morfológicas e deposição de sedimentos. **Revista Mato-Grossense de Geografia,** Cuiabá, n. 16, p. 39-60. 2013.

SOUZA, C. A. **Dinâmica do corredor fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Ilha de Taiamã-MT.** 2004. 173 f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SOUZA, A. C. LEANDRO G. R. S. SOUSA J. B., FERREIRA E. e PIERANGELI M. A. Informações preliminares sobre transporte de sedimentos no rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a estação ecológica da ilha de Taiamã, Pantanal Superior, Mato grosso, Brasil. **Revista Portuguesa de Recursos Hídricos.** v. 36, n. 2, p. 47-55. 2015.

SOUZA, C. A. SOUSA, J. B.; FERREIRA, E.; ANDRADE, L. N. P. S. Sistema hidrográfico do rio Paraguai, MT. In: SOUZA, C. A. (Org.) **Bacia hidrográfica do rio Paraguai, MT: dinâmica das águas, uso e ocupação e degradação ambiental.** São Carlos: Editora Cubo, 2012.

SOUZA, C. A.; CUNHA, S. B. Mudanças na calha fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Ilha de Taiamã, Mato Grosso. **Revista GeoPantanal**, Corumbá, v. 8, n. 14, p. 9-26. 2013.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais.** 2. ed. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 1990.

TOMAZONI, J. C. MANTOVANi, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L.; ROSA FILHO, E. F. Utilização de medidas de turbidez na quantificação da movimentação de sólidos por veiculação hídrica nas 70 bacias dos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau, sudoeste do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 57, p. 49-56. 2005.

REFERÊNCIA CONSULTADA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS–ANA. Implementação de práticas de gerenciamento integrado de bacia hidrográfica para o Pantanal e Bacia do Alto Paraguai: programa de ações

estratégicas para o gerenciamento integrado do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai. **Relatório final**. Brasília: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004. Disponível em: http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/CatalogoPublicacoes_2004.asp. Acesso em: 20 jan. 2015.

EPELBAUM, M. A. **Influência da gestão ambiental na competitividade e no sucesso empresarial.** 2004. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2004.

FERNANDEZ, O. V. Q.; SANTOS, M. L.; FULFARO, V. J. Caracterização e distribuição dos sedimentos de fundo do rio Paraná em Porto Rico (PR). **Ciência Geográfica**, Bauru, v. 6, n. 1, p. 25-32. 2000.

KNIGHTON, D. **Fluvial forms & processes**: the new perspective. London: Routledge, 1998.

MIALL, A. D. **The geology of fluvial deposils:** sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology. New York: Springer-Verlag, 1996.

SILVA, A. **Padrões de canal do rio Paraguai na região de Cáceres, MT**. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual de Maringá, UEM, Maringá, 2006.

SILVA JUNIOR, V. de P. E. *et al*. Calibração de turbidímetro para estimativa da concentração de sedimento em suspensão como parâmetro de qualidade. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE, 15.; SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE, 11., 2012, João Pessoa, PB. **Anais [...].** João Pessoa, PB, 2012.

SILVA, S. A. **Avaliação do assoreamento do lago Bonsucesso, Jataí, GO.** 2007. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2007.

SILVA, E. S. F., SOUZA, C. A.; LEANDRO, G. R. S.; ANDRADE, L. N. P. S.; GALBIATI, C. Evolução das feições morfológicas do rio Paraguai no Pantanal de Cáceres, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 4, p. 435-442. 2012.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia.** São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP, 1973.