Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Análise temporal da dinâmica de aspectos físicos fluviais no rio Abobral-Pantanal-MS-BR

Cesar Cardoso Ferreira¹, Paulo César Rocha², Arnaldo Yoso sakamoto³, Heloissa Gabriela Silva Sokolowski⁴

¹Dr. em Geografia, Técnico em Cartografia e Professor Colaborador do Programa de Pós-graduação em Geografia – Campus Três Lagoas, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Av. Ranulpho Marques Leal, nº 3484 - Distrito Industrial Três Lagoas – MS, 79610-100. (67) 35093815. cesar.ufms@gmail.com (autor correspondente). ²Dr. em Geografia, Docente do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita” FCT – Campus Presidente Prudente, R. Roberto Simonsen, 305 - Centro Educacional, Presidente Prudente - SP, 19060-900. (18) 3229-5388. pcrachag@gmail.com. ³Dr. em Geografia, Docente do Programa de Pós-graduação em Geografia – Campus Três Lagoas, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Av. Ranulpho Marques Leal, nº 3484 - Distrito Industrial Três Lagoas – MS, 79610-100. (67) 35093815. arnaldosakamoto@gmail.com. ⁴Mestre em Geografia, Pesquisadora com ênfase em Análise Geoambiental, 22 Oak Lane, Nr33Qq, Norwich Norflok - England. (67) 35093815. geo.sokolowski@gmail.com.

Artigo recebido em 06/06/2019 e aceito em 23/12/2019

RESUMO

O conhecimento de características geomorfológicas fluviais é de suma relevância para estudos voltados aos recursos hídricos, tanto do ponto de vista da hidráulica, da sedimentologia, como também do ponto de vista do planejamento regional. Nesse sentido, este artigo tem como objetivo individualizar e analisar sazonalmente a dinâmica fluvial do rio Abobral no Pantanal-MS situado na bacia do Alto Paraguai, compreendendo uma área composta por extensa superfície de acumulação sujeita a inundações periódicas. Para alcançar o objetivo supracitado, foram executados procedimentos divididos em quatro etapas: coleta de amostras; individualização morfológica, sedimentológica e hidráulica; processamento dos dados cartográficos e estabelecer correlações entre as variáveis físico-fluviais. Deste modo, observou-se que tipicamente o trecho do rio estudado, é caracterizado como meandrante em planície de inundação, com aspectos de sazonalidades de cheias e secas, além disso, no período de inverno, começa a cessar a vazão e o rio Abobral, no qual, configura-se seccionado, com presença de bancos de areias e aspectos de lagos encaixados e alongados na planície. Palavras-chave: Pantanal, rio Abobral, geomorfologia fluvial.

Temporal analysis of the fluvial physical aspects dynamics in the Aboral river-Pantanal-MS-BR

ABSTRACT

The knowledge of fluvial geomorphological characteristics is of great relevance for studies on water resources, both from the point of view of hydraulics and sedimentology, as well as from the point of view of regional planning. In this sense, this article aims to individualize and analyse seasonally the fluvial physical aspects of the Abobral river in the Pantanal-MS located in the Upper Paraguay watershed, an area composed by extensive accumulation surface subject to periodic flooding. In order to achieve the aforementioned objective, the executed procedures divided into four steps: sample collection; morphological, sedimentological and hydraulic individualization; cartographic data processing and the establishment of correlations between the physical-fluvial variables. In this way, it was observed that typically the river section studied typically characterized as meandering in floodplain, with aspects of seasonality of floods and droughts, in addition, in the winter period, the flow and the Abobral river cease, which, it is sectioned, with the presence of sand banks and aspects of lakes embedded and elongated in the plain.

Keywords: Pantanal, Abobral river, fluvial geomorphology.

Introdução

O Pantanal está localizado na região central da América do Sul, situado no Paraguai, Bolívia e a sua maior parte no Brasil. No território brasileiro é conhecida como Pantanal ou Pantanal Mato-grossense por estar totalmente nos estados de Mato Grosso (35,5%) e Mato Grosso do Sul

(65,5%) na região centro-oeste (Brasil, 1974). O Pantanal Mato-grossense situa-se na Bacia do Alto Paraguai entre as coordenadas 14° e 22° de latitude S, e 53° e 59° de longitude W, compreendendo uma área de ampla planície interior, no alto curso do rio Paraguai, com inundações anuais e grande

diversidade biológica, ecológica e de paisagens com terras úmidas abaixo da cota altimétrica de 200 metros (Assine et al., 2018).

Com base na dinâmica hídrica, associada as características geomorfológicas, pedológicas e de vegetação, Silva e Abdon (1998), subdividiu a área pantaneira em onze regiões: Miranda, Paiaguás, Nhecolândia, Abobral, Poconé, Aquidauana, Barão de Melgaço, Cáceres, Nabileque, Paraguai e Porto Murtinho.

A área de estudo deste trabalho está situada em um trecho do principal rio do Pantanal do Abobral (rio Abobral) nas coordenadas 19°18'31''S e 57°03'15''W. A geomorfologia dessa região é caracterizada como uma planície baixa, na qual, em período das cheias, constitui-se numa planície de inundação comum dos rios Abobral, Miranda e Negro (Ravaglia et al., 2010).

Além disso, o rio Abobral é caracterizado tipicamente como rio de área de planície de inundação, com aspectos de sazonalidades de cheias e secas classificado como meandrante que flui água no período das chuvas, correspondendo ao período de verão e recebe água da inundação pantaneira provenientes das cheias dos rios Miranda, Aquidauana e Negro.

Desta forma, o interesse relacionado a geomorfologia fluvial do rio Abobral, partiu de estudos dos processos e das formas associado com o escoamento desse rio influenciado pelas variações de cheia e estiagem. Além disso, Cunha et al. (1985), descreve que a sub-região do Abobral têm seus leitos definidos até a planície de inundação do rio Paraguai, além da configuração anastomosada da drenagem dessa planície de escoamento, da alternância de aspectos geomórficos (cordilheiras, planícies e depressões), da variação de espécies vegetais nas partes altas, no centro para a borda, tornam essa planície distinta de outras sub-regiões do Pantanal Mato-grossense.

Nesse sentido, considerando a carência de conhecimentos sobre a geomorfologia fluvial do rio Abobral, este trabalho teve como foco a pesquisa exploratória com objetivo geral de individualizar e analisar sazonalmente a dinâmica

fluvial do rio Abobral no Pantanal-MS. Para isso objetivou especificamente avaliar as relações hidrológicas com a sedimentologia do canal e cartografar as feições morfológicas fluviais.

Para Rocha (2016), o entendimento funcional dos sistemas fluviais é de grande importância, seja dos aspectos hidrodinâmicos, bem como, das variáveis que mantém o equilíbrio dinâmico e como as que se relacionam com o trabalho que o rio executa em cada trecho, principalmente em ambientes tropicais, ainda pouco estudados. Além disso, segundo Stevaux (2017), um aspecto fundamental em estudos sobre variáveis em geomorfologia fluvial está relacionado com a diferenciação no espaço e no tempo, ou seja, a escala espaçotemporal e os aspectos que afetam a essa escala, nas quais, há uma relação direta com as variáveis de um sistema fluvial.

Assim, o conhecimento dos aspectos geomorfológicos fluviais são de suma relevância para tomadas de decisão voltadas para questões sobre os recursos hídricos, pois, o rio é um indicador das variações espaciais e sazonais, tanto do ponto de vista da hidrologia como da sedimentologia.

Material e métodos

Os procedimentos para a realização deste estudo foram organizados em quatro etapas: 1) coleta das amostras; 2) individualização morfológica, sedimentológica e hidráulica; 3) processamento dos dados cartográficos e a 4) correlação estatística entre as variáveis físico-fluviais.

Coleta das amostras

Para coleta de amostras, foram selecionados diferentes períodos de monitoramento e amostragem, considerando-se como cheia no mês de maio e estiagem no mês de novembro (ambos em 2012). Tal período foi constatado no monitoramento fluviométrico no município de Ladário pela Régua de Ladário, no rio Paraguai em quatro seções (Figura 1).

Figura 1: Média mensal da régua de Ladário, maio e novembro de 2012.

Fonte: Agência de Fiscalização Náutica do Oeste, 2013.

A área das seções foram delimitadas em um retângulo envolvente de coordenadas 19°25'17''S – 57°02'45''W e 19°27'34''S – 57°08'57''W. Para realização das coletas foram selecionadas quatro seções em um trecho do Rio Abobral: seção 1 - ponte sobre o rio na Estrada Parque (19°26'00 S – 57°03'12'' W); seção 2 - pousada Santa Clara (19°26'27'' S – 57°04'34'' W); seção 3 - montante do corixo dos Patos (19°26'21'' S – 57°07'35'' W) e seção 4 - jusante do corixo dos Patos (19° 26' 20'' S – 57°07'39'' W). Essas sessões foram escolhidas levando em consideração a acessibilidade e sua representatividade (Figura 2).

Figura 2: Localização das seções – retângulo envolvente.

Individualização morfológica, sedimentológica e hidráulica

Em relação a segunda etapa metodológica, configura-se a classificação da morfologia fluvial, caracterização do perfil longitudinal e morfométrica. A morfologia fluvial pode ser considerada sob dois enfoques: o padrão do canal e a forma do canal, assim, o canal fluvial não se ajusta somente às características da seção transversal, mas também a sua morfologia planar ou padrão de canal (Stevaux, 2017). A morfologia da rede de drenagem pode apresentar padrões característicos de drenagem considerados como uma classificação qualitativa do arranjo da rede de escoamento.

Deste modo, foi realizado a classificação do padrão de drenagem representado no retângulo envolvente da área estudada (Figura 1), por meio de interpretação e processamento de dados orbitais (imagem multiespectral, Rapideye) propostos por Zanotta, Ferreira e Zorteia (2019), associados à

modelos vetoriais representativos do trecho do rio Abobral estudado.

Sobre a sinuosidade (Is), foi definida pela razão entre o comprimento do rio principal (Lv) e o comprimento do talvegue em linha reta (Lr), representada por índice ($Is = Lv/Lr$).

Em relação ao perfil longitudinal, será representado por um gráfico a partir das altitudes H e da distância medida da nascente até a foz, na qual, pode representar a dinâmica de um curso fluvial (Stevaux, 2017), bem como, subsidiar a identificação de estruturas geológicas e processos geomorfológicos de uma determinada área, tendo em vista irregularidades apresentadas nos perfis, nas quais, revelam indícios de rochas resistentes ou atividade tectônica (Suizu e Rocha, 2017). Nesse sentido, foram utilizados dados topoaltimétricos disponibilizados em modelos numéricos de elevação (grades numéricas, Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (ALOS-PALSAR)) com resolução espacial de 12,5 m, posteriormente processados em ferramentas destinadas para representar perfis longitudinais que descrevem a elevação de pontos (valor de z) ao longo de uma vetorização.

Sobre os aspectos sedimentológicos, o sedimento é originalmente derivado do processo de erosão após o intemperismo de rocha e transportado por um agente, no caso do sistema estudado predominantemente a água. A erosão na margem do rio também produz uma proporção significativa de sedimentos transportados em um canal (Charlton, 2008). No caso de carga de fundo, entende-se que são materiais particulados maiores que os materiais de cargas suspensas, transportados nos fundos dos canais transportados geralmente por arraste, rolamento ou saltação (Stevaux, 2017).

Nesse sentido, Stevaux (2017), destaca que, a transferência de partículas sedimentares dos pontos mais altos de uma bacia de drenagem até sua deposição final dá-se por uma alternância contínua de processos de erosão, transporte e sedimentação. A deposição no canal fluvial ocorre quando há diminuição da competência, que pode ser causada pela redução da declividade e volume de água escoada ou pelo aumento da carga de sedimentos (Christofolletti, 1981).

Desta forma, foram coletadas amostras de sedimento de fundo com o amostrador de mandíbula do tipo Van-Veen no ponto mais profundo das seções transversais (talvegue). Tais amostras foram submetidas em estufa a 100°C. Após a secagem das amostras, separou-se 150 gramas para o processo no agitador com jogo de peneiras de malhas de 1mm para areia muito grossa; 0,5 mm areia grossa; 0,250 mm areia

média; 0,125 mm areia fina e 0,0625 mm areia muito fina. As frações retidas em cada uma das peneiras foram pesadas, identificando quanto de cada classe granulométrica havia em cada uma das seções, caracterizando a capacidade de transporte do rio.

Além disso, efetuadas em campo, a incidência de luz ou transparência da água foi analisada utilizando medições de profundidade com o disco de Secchi, com preferência aos horários entre 10 e 14 horas (Pompêo, 1999). Os componentes da água responsáveis por suas propriedades ópticas inerentes são: o material orgânico e inorgânico dissolvido, particulado e em suspensão, o material fitoplânctônico e as macrófitas aquáticas. Estes componentes atuam como agentes espalhadores e absorvedores de radiação, influenciando na transmissão da radiação eletromagnética através da coluna d'água (Noernberg et al., 1996).

Outro aspecto relevante analisado foi a transparência da coluna d'água em relação à radiação incidente subaquática, essa área é denominada de zona eufótica. Neste caso, o valor da Profundidade de Secchi é multiplicado pela constante 2,7. O valor obtido a partir desse cálculo é admitido como sendo aproximadamente 1% da radiação superficial do corpo d'água conforme orientações de Esteves (2011).

Em relação a geometria hidráulica, refere-se às características geométricas que compõem os canais fluviais determinadas por meio de relações estabelecidas entre o perfil transversal de uma seção fluvial e as condicionantes do fluxo d'água (Rocha, 2016). Nesse sentido, primeiramente foram elaborados perfis transversais em todas as seções com dados oriundos da batimetria fluvial (medidas de profundidade) mensurados com equidistância fixa com base na largura do canal, ou seja, cada seção obteve-se medida de profundidade com a mesma distância entre os pontos.

Além disso, foram levantados os valores de velocidade do fluxo in loco e calculado a vazão ou descarga. De acordo com Stevaux (2017), a vazão de um rio é dado pelo volume de água por unidade e tempo, normalmente expressa em metros cúbicos por segundo (m^3/s).

Produção cartográfica

Com base na interpretação de imagens orbitais, foram mapeadas as 1) unidades de paisagens no entorno das seções no rio Abobral para o entendimento da sua influência sobre o sistema fluvial sazonal e as 2) feições geomorfológicas fluviais no trecho do canal

analisado com base nas propostas de Yousefi et al., (2016) e Hooke e York (2011). Para isso foram utilizadas imagens orbitais do satélite multiespectral Rapideye sensor Rapideye Earth Imaging System (REIS) de resolução espacial de 6,5 m e um receptor do Global Positioning System (GPS) como suporte para a validação das feições cartografadas.

Nesse sentido, foram utilizadas ferramentas presentes nos Sistemas de Informação Geográfico (SIG) destinados à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados, tais como: 1) registro de imagem; 2) realce de contraste de imagem; 3) eliminação de ruídos e 4) classificação e vetorização.

Hidrologia e sedimentologia fluvial

Com base em Stevaux (2017), avaliou-se a relação do transporte dos sedimentos fluviais associado aos fenômenos de erosão, transporte e deposição com velocidade da corrente e granulação dos sedimentos analisados.

Deste modo, o tratamento de multivariáveis teve como foco pontuar o grau de relação existente entre as variáveis fluviais: a) individualização dos sedimentos com a velocidade de fluxo e b) individualização batimétrica (profundidade (P) e largura (L) das sessões) e velocidade de fluxo (V) e sua relação de tendência potencial com os dados de vazão (Q). No item (a) utilizou-se ferramentas estatísticas de edição de planilhas para correlação e combinação de duas variáveis representada em um gráfico.

No que se refere o item (b), avaliou-se estatisticamente com uso de linha de tendência potencial, ou seja, utilizou-se representações gráficas para análises técnicas para identificar tendências de correlações significativas nas variáveis físico-fluviais que compararam medidas que aumentam numa taxa específica, além disso, foram desconsiderados dados com valores zero ou negativos, pois, são valores sem correlação com os processos fluviais.

Resultados e discussão

Análise das características morfométricas e morfologia fluvial

No trecho do rio Abobral estudado, o padrão de drenagem foi caracterizado como que confluem em ângulos relativamente agudos configurando o sentido geral da drenagem dado pelo prolongamento das confluências em um complexo aluvial com escoamento contínuo até desembocar no rio Paraguai (Figura 3).

Figura 3: Channel planform - rio Abobral.

Além disso, o canal analisado configura-se como Lateral *migration/backswamp floodplains*, ou seja, rios com apenas o poder suficiente para retrabalhar parte de seus vales, o restante gradualmente acumula-se como depósito excessivo em *backswamps* adjacentes, resultando em uma planície de inundação com rios em ambientes com menores fluxos de energia (Nanson e Croke, 1992). Segundo estudos de Cunha et al. (1985), na sub-região pantaneira do Abobral, considera-se como planície de deposição constante de sedimentos, os rios mudaram-se seguidamente de seus leitos à medida que foi se estabelecendo uma obstrução progressiva de depósitos na planície de inundação do rio Paraguai.

Deste modo, o rio Abobral pode ser caracterizado conforme sua gênese de acordo com Nanson e Croke (1992) como a forma de relevo aluvial em grande parte horizontalmente adjacente a um canal, separada do canal por bancos e construída de sedimentos transportados pelo presente regime de fluxo.

Sobre o padrão do canal nas sessões analisadas, o trecho estudado apresenta características de um rio meandrante. Sobre a sinuosidade (I_s) (Quadro 1), classifica-se como rios de alta sinuosidade ($>1,5$). Além disso, tal forma é caracterizada por fluxo contínuo e irregular alterando meandros de diferentes tamanhos e formas com um único canal que transborda suas águas nos períodos de cheia, comum em planícies aluviais de regiões tropicais (Stevaux, 2017).

Quadro 1: Características morfométricas

Comprimento do trecho estudado	12,20 km
Distância vetorial entre os pontos	7,82 km
Sinuosidade	1,56
Elevação máxima	103,516 m
Elevação mínima	102,956 m
Diferença vertical	0,56 m
Declividade	0,004%

Fonte: ALOS PALSAR.

Ferreira, C. C.; Rocha, C. P.; Yoso A. S.; Sokolowski H. G. S.

Em relação ao perfil longitudinal, o do rio Abobral apresenta um desnível de 9,3 m entre nascentes e foz distribuído em 51,7 km de extensão de canal fluvial, indicando um rio de baixa declividade e baixa velocidade de fluxo com valor de declividade de 0,017%. Tal consideração se repete para o trecho rio Abobral analisado, verificou-se um desnível de 0,56 m distribuído em 12,20 km de extensão com valor de declividade de 0,004% (Figura 4).

Figura 4: Perfil longitudinal.

Fonte: ALOS PALSAR.

Sedimento de fundo

Sobre os sedimentos de fundo no mês de maio (período cheio) nas seções 4 e 3 apresentaram maiores quantidades de areia muito fina (0,63 mm) e nas seções 2 e 1 prevaleceram maiores quantidades de areia fina (0,250 mm). Em geral, a areia fina e ou muito fina são levados, conforme a competência do rio.

No trecho analisado do rio Abobral, nos períodos de estiagem funcionam como lagoas com o fluxo seccionado pelos bancos de areia. Nesse caso os sedimentos finos e areia média são depositados como mostram as análises laboratoriais. Assim, no mês de novembro (período

seco) nas seções 4 e 3 apresentaram maiores quantidades de areia muito fina (0,125 mm), a seção 3 prevaleceu quase que totalmente a classe

areia fina (0,250 mm) e na seção 1 obteve-se maior quantidade de areia fina com 0,125 mm de granulometria (Figura 5).

Figura 5: Granulometria dos sedimentos de fundo.

A distribuição dos calibres sedimentológicos de fundo nas seções no rio Abobral, notou-se, respectivamente, que a granulometria com maior representatividade dos sedimentos do canal é areia fina (0,250 mm a 0,125 mm) caracterizando sua competência.

Os calibres granulométricos de fundo das amostras coletadas mostram que na seção 3 nos meses de maio e novembro foram bem distribuídos (conforme classificação) com maior concentração de areia fina e silte, assim como na seção 4. Na seção 2 houve uma concentração de areia fina nos meses de maio e novembro, em seguida com menor representatividade na amostra coletada constatou-se silte. Na seção 1, é caracterizada com maiores concentrações de areia fina e silte, ou seja, os calibres nessa seção foram em sua maioria entre 0,250 mm e 0,062 mm.

Em relação a competência de transporte de sedimento do rio Abobral entende-se que, nas seções 4 e 3 é caracterizada pela sua capacidade de transportar sedimentos, diferentemente das seções 2 e 1 onde foram depositados sedimentos de maiores calibres, ou seja, nas análises de sedimentos de fundo, hipoteticamente compreende que o rio Abobral nas seções 1 e 2 tem maior competência de transporte de sedimentos e nas seções 3 e 4 tem maior capacidade de transporte de sedimentos. Nesse sentido, estudos de Cunha et al. (1985) afirmam que, a planície pantanal baixo comum dos rios Miranda, Aquidauana, Abobral e Negro é composta por um sistema de drenagem com a velocidade das águas insuficiente para transportar totalmente os sedimentos que fluem para o rio Paraguai.

Assine (2015), em estudos sobre a sedimentação na bacia do Pantanal, caracteriza tal

área como um preenchimento sedimentar realizado por um trato ativo de sistemas fluviais, sendo o rio Paraguai a drenagem principal, coletora das águas de diversos leques aluviais e drena a água e parte da carga sedimentar recebida de outras áreas extrabaciais.

Segundo Stevaux (2017), durante o trajeto na rede de drenagem uma partícula passa por alternâncias de processos fluviais de erosão, transporte e sedimentação. Conforme os dados, o tipo de ambiente deposicional é dado pela dinâmica do fluxo sazonal relacionado com a geomorfologia de planície de inundação. Assim, entende-se que o conhecimento granulométrico de fundo é uma variável indicadora de transformações em sistemas fluviais, quando analisadas e monitorada, representa um importante parâmetro para auxiliar no entendimento das condições ambientais fluviais alteradas por ações antrópicas ou uma por processos naturais (erosão e deposição).

Além disso, a morfologia, os depósitos e as características hidrodinâmicas, assumem grande importância na estrutura e função dos ecossistemas rio-planície de inundação. Assim, as características morfológicas e sedimentares atuais e pretéritas, associadas à hidrodinâmica no sistema fluvial são responsáveis pela diversidade espaço-temporal dos processos ecológicos nos seus diferentes sub-ambientes (Rocha, 2011).

Transparência

Na área de estudo, as medidas no disco de Secchi apresentaram com maior material em suspensão no mês de maio, sendo a média de profundidade do disco 12,37 cm e novembro obteve média de profundidade de 36,75 cm (Figura 6). Desta forma pode-se concluir que conforme

maior a profundidade do disco de Secchi maior a incidência de luminosidade na água e transmissão da radiação eletromagnética, diferentemente quando o disco de Secchi tem menor profundidade indicando menor transparência e maiores componentes influenciando a incidência luz, por exemplo, carga suspensa e matéria orgânica.

Figura 6: Profundidade do disco de Secche.

Sobre a zona eufótica ou zona fótica, considerada como área de um ecossistema aquático que recebe luz solar suficiente para a fotossíntese, no trecho do canal estudado variações nas sessões foram constatadas no período de maio, evidenciando maior interferência de luz na seção 1 diferentemente da seção 4 com menor incidência de luz. No caso do período de novembro, a seção 1 continuou com a maior incidência de luz, porém, a seção com menor interferência da luz foi a seção 2 (Tabela 1).

Tabela 1: Zona eufótica (m)

Seções	Maio	Novembro
1	0,4320	1,0260
2	0,2835	0,9350
3	0,3780	1,0260
4	0,2430	0,9720

Deste modo, entende-se que, o rio Abobral no período cheio (maio) com menor transparência na água, em função que nesse período o volume de água é maior assim como o fluxo de água também, ocasionando em maior quantidade o transporte suspenso de alguns materiais orgânicos e inorgânicos, diferentemente do período de estiagem (novembro) caracterizado por depositar mais que transportar esses materiais, ocasionando maior transparência na água.

Individualização de aspectos hidráulicos Perfis transversais

Na Seção 1 no mês de maio a média de profundidade no canal foi de 67,5 cm com maior profundidade no ponto 7 com 96,5 cm. Na mesma sessão no mês de novembro a média de profundidade no canal foi de 101,1 cm com maior profundidade no ponto 3 com 147 cm. Em relação a diferença nos períodos de cheia (maio) e seca

(novembro) na média de profundidade da sessão 1 foram de 79,2 cm, sendo a maior diferença no ponto 4 com 167 cm de diferença, ou seja, nesse ponto o mês de maio apresentou profundidade maior em 167 cm comparado ao mês de novembro. A largura no canal nessa sessão apresentou uma diferença de 3 m sendo em maio 37 m e novembro 34 m de largura do canal.

Justifica-se a média de profundidade no mês de maio ser menor que novembro pelo levantamento batimétrico no mês de maio ter ocorrência de barras submersas impedindo sua visualização constatada no período de águas baixas em novembro, ou seja, no mês de maio foram realizadas medias sob as barras (Figura 7).

Figura 7: Batimetria - Seção 1.

Na seção 2 no mês de maio a média de profundidade no canal foi de 86,2 cm com maior profundidade nos pontos 5 e 8 com 128 cm. Na mesma seção no mês de novembro a média de profundidade no canal foi de 48,8 cm com maior profundidade no ponto 6 com 71 cm. As diferenças nas médias de profundidade nos períodos distintos foram de 37,4 cm, sendo a maior diferença no ponto 8 com 63 cm de diferença. A largura nessa seção apresentou uma diferença de 5m sendo em maio 26 m e novembro 21 m de largura do canal. A seção 2 apresentou as menores profundidades e larguras do canal em ambos períodos comparados com as seções 1, 2 e 4 (Figura 8).

Figura 8: Batimetria - Seção 2.

Na seção 3 no mês de maio a média de profundidade no canal foi de 189,3 cm com maior profundidade no ponto 4 com 263 cm. Na mesma seção no mês de novembro a média de

profundidade no canal foi de 101,1 cm com maior profundidade no ponto 3 com 147 cm (Figura 9). Nos períodos seco e cheio verificou-se uma diferença nas médias de profundidade de 88,2 cm, sendo a maior diferença no ponto 5 com 124 cm de diferença. A largura nessa seção apresentou uma diferença de 4m sendo em maio 30 m e novembro 26 m de largura do canal.

Figura 9: Batimetria - Seção 3.

Na Seção 4 no mês de maio a média de profundidade no canal foi de 205,1 cm com maior profundidade nos pontos 3 e ponto 4 com 331 cm. Na mesma seção no mês de novembro a média de profundidade no canal foi de 125,9 cm com maior profundidade no ponto 2 com 187 cm. Além disso, a seção 4 apresentou as maiores profundidades e larguras (maio 36 m – novembro 36m) do canal em ambos os períodos comparados com as seções 2, 3 e 4 (Figura 10). Esta seção está situada após o Corixo dos Patos, ou seja, o volume de água que deságua no Rio Abobral por esse corixo é representativo, gerando influência direta no processo de erosão no canal.

Figura 10: Batimetria - Seção 4.

Velocidade de fluxo

O rio Abobral em ambos os períodos apresentou baixo fluxo de água sendo em maio média de 0,135 m/s e em novembro 0,072 m/s. (Figura 12) O fluxo maior em maio é compreendido pelo fato que nesse período em regra geral o volume de água foi maior comparado com o mês de novembro. O fluxo de água no rio Abobral teve sua oscilação conforme os períodos de cheia e seca em regra geral.

Figura 11: Velocidade de fluxo.

Nesse sentido, de acordo com Rocha (2011, p 54), “o processo natural representado pelo fluxo de água das cabeceiras de drenagem para a foz de um sistema fluvial é irreversível, no qual a energia é transformada simultaneamente com o aumento da entropia”, ou seja, medida da energia disponível em um sistema fluvial para desenvolvimento de processos. Assim, quanto maior a entropia, menor a quantidade de energia disponível para o trabalho mecânico (erosão, transporte, deposição) (Rocha, 2016). A velocidade de fluxo de um rio está relacionada com o relevo, declividade do terreno do local e forma do canal.

Vazão

A vazão é influenciada pelo clima, aumentando durante os períodos chuvosos e diminuindo durante os períodos secos. Também pode ser influenciada pelas estações do ano, sendo menor quando as taxas de evaporação são maiores (Palhares et al, 2007). No caso das seções examinadas no rio Abobral, no mês de novembro (seco) somente na seção 4 apresentou vazão de 13,14 m³/s, caso tenha sido influenciado pelo Corixo dos Patos, as outras seções nesse período foram nulas. No período de maio (cheio), somente a seção 1 apresentou-se quase nula com 0,06 m³/s, na seção 2 obteve-se vazão de 2,01 m³/s, na seção 3 13,06 m³/s e na seção 4 com 12,47 m³/s (Figura 12).

Figura 12: Vazão.

Pelos dados acima, nota-se que o Rio Abobral em modo geral é caracterizado com baixa vazão principalmente no período de maio (seco), configurado conforme sua atividade hidráulica sazonal. Assim, o regime de *runoff* (descargas)

geralmente é baseado nas descargas médias mensais e permite a avaliação da sazonalidade das vazões (Rocha e Silva, 2018).

Mapeamento de feições geomorfológicas fluviais

Em relação às unidades paisagísticas foram identificados: fragmentos de cerrado, campo, campo sujo, solo exposto e lagoa (Figura 13). Adamoli (1982), descreveu a paisagem do Abobral como de “brejões”, camalotais capões de florestas, com forte incidência da palmeira bacuri (acuri) e campos inundáveis, sem entrar em detalhes florísticos sobre essas florestas. No mapeamento de vegetação do RADAMBRASIL (Loureiro et al. 1982), a área do Pantanal do Abobral foi

classificada como savana parque (parque de cerrado) e savana gramíneo-lenhosa (campo), ambas sem floresta-de-galeria, dentro da área de tensão ecológica de contato savana (cerrado) – Savana Estépica (Vegetação Chaquenha).

Segundo Sakuma e Silva (2017), o Pantanal do Abobral pode ser reconhecido pela sua complexa zona úmida, seu potencial agropecuário e sazonalidade climática o que dinamizou a formação de distintas unidades da paisagem. Nesse sentido, Silva et al. (2017), destaca que tal região é atualmente uma área de intenso processo de uso e ocupação do território, sobretudo na substituição das florestas por pastagens artificiais.

Figura 13: Levantamento fotográfico das unidades da paisagem do entorno da área estudada.

No que se refere às feições geomorfológicas foram mapeados: direção de fluxo, erosão marginal, praias fluviais, barras longitudinais e talvegue. De acordo com Morais e Rocha (2016), as morfologias do ambiente fluvial podem similarmente fornecer importantes indicadores sobre influências no sistema fluvial como mudanças ambientais e até mesmo as atividades antrópicas.

Em relação às formas deposicionais, de acordo Hooke e Yorke (2011), considera-se *bars*

como características deposicionais importantes na morfodinâmica dos rios, pois, relacionam-se com a morfologia, dinâmica de fluxo e sedimento, portanto, pode ser usado como indicadores de características e variações ao longo do tempo.

Assim, diferenciam-se das ilhas pela ausência de vegetação e alta instabilidade. Praias fluviais (*point bars*) são consideradas porção arenosa localizada nas margens dos rios ou em algumas ilhas fluviais que ficam descobertas durante a vazante do rio (Figura 14).

Figura 14: A) Barras longitudinais, B) Praia fluvial e C) Erosão marginal.

Sobre os processos fluviais, são considerados trabalhos realizados por um rio, nos quais, provém da transformação de energia potencial em energia cinética ao longo do canal, dado pelo perfil longitudinal (Stevaux, 2017). A direção de fluxo é dada conforme o sentido de

fluxo de água no canal geralmente ocorrido com maior intensidade no talvegue. Guerra e Guerra (2003), caracterizam *thalweg* (talvegue) como linha de maior profundidade no leito fluvial. Assim, a cartografia das paisagens e das morfologias fluviais apresenta-se na Figura 15.

Figura 15: Cartografia das feições geomorfológicas fluviais e paisagísticas.

Na Seção 1 notou-se o predomínio no entorno do rio Abobral de cerrado, campo, solo exposto, campo sujo e uma lagoa próxima à margem esquerda do rio. Além disso, outro fator importante nessa área é a principal via de acesso da região a “Estrada Parque”. Em relação aos aspectos fluviais, encontraram-se barras longitudinais abaixo da ponte na estrada parque além de pontos de erosão marginal e pequenas praias fluviais.

Na seção 2 encontra-se em seu entorno o predomínio de campo, cerrado e solo exposto, além disso, nessa área esta instalada uma estrutura de pousada denominada de Santa Clara. Na área de solo exposto é utilizada para acesso de rio Abobral destinada para entrada e saída de embarcações. No que se refere aos aspectos fluviais, notou-se erosões marginais e praias fluviais. Entende-se que nessa seção e na seção 1 são as áreas com mais aspectos antropizados.

Na seção 3 e 4, classificou-se no entorno das seções em sua maioria áreas de cerrado por seguinte de campo sujo e campo. Nestas seções a acessibilidade é restrita em função da vegetação densa. Em relação as feições fluviais foram mapeados as margens erodidas e as praias fluviais. Outro aspecto importante é a influência de um afluente nesta área, o corixo dos Patos que desagua na margem esquerda do rio Abobral. Nessa área interpretou-se no entorno das seções 3 e 4 como mais preservadas e com poucos aspectos antropizados comparados com as seções 1 e 2.

Correlações entre variáveis físico-fluviais Período cheio/maio

No trecho do rio Abobral analisado no período de cheia, notou-se uma correlação nas sessões 1 e 2 associada ao baixo fluxo de velocidade do canal (0,09 m/s) com materiais

caracterizados como areia média. Nas sessões 3 e 4, a relação se deu pela velocidade de fluxo mais elevada (0,23 m/s (s3) e 0,13 m/s (s4)) correlacionadas com sedimentos menos grosseiros, tais como, silte/argila e areia muito fina. Nesse sentido, no período de maio entende-se que, a baixa velocidade de fluxo indica depósitos de sedimentos grosseiros, por outro lado, com o aumento da velocidade de fluxo, tais materiais caracterizados como areia média são hipoteticamente transportados e materiais de calibres menores são depositados (Figura 16).

Figura 16: Granulometria e velocidade de fluxo – maio.

Em relação a energia de transporte dos sedimentos no período cheio, correlações entre vazão do canal com a largura das sessões, profundidade das sessões e a velocidade de fluxos das sessões demonstraram a influências de tais variáveis no volume de água que incidiu em cada seção. Assim, notou-se que, sobre a largura das sessões conforme a linha de tendência potencial, o aumento da vazão fluvial correlaciona-se nas sessões de maiores larguras. Sobre a profundidade das sessões ficou evidente que, quanto mais profunda a sessão maior é o índice da vazão fluvial,

bem como, com a velocidade de fluxo, ou seja, associada ao aumento da vazão fluvial nas sessões notou-se a tendência potencial da velocidade de fluxo elevando-se das sessões 1 para 4 sequencialmente, além disso, a equação que obteve maior valor ($y=32,599x^{0,028}$) foi dada pela correlação entre largura e vazão, ou seja, a variável largura foi determinante, neste caso, tal correlação

é interpretada como o trabalho executado pelo rio no trecho analisado no período de cheia é caracterizado como deposicional (Figura 17). Hipoteticamente, os sistemas deposicionais fluviais apresentam diferentes arquiteturas que podem ser controladas pela tectônica, clima e aporte sedimentar (Villela, 2015).

Figura 17: Correlações de vazão com largura, profundidade e velocidade de fluxo - maio.

Período seco/novembro

A velocidade do fluxo atua principalmente para carregar partículas maiores, em relação ao movimento de partículas menores, associa-se a força de cisalhamento (Christofolletti, 1981). Nesse sentido, no período de estiagem, mais especificamente nas sessões 1 e 2 verificou-se uma distribuição maior entre os sedimentos de fundo associado a velocidade de fluxo nula (0,0 m/s). Na sessão 3, mesmo com a velocidade de fluxo nula, predominou-se materiais classificados como área média, por outro lado, na sessão 4 com a velocidade de fluxo mais elevada (0,29 m/s) correlacionou-se com sedimentos menos grosseiros, tais como, silte/argila e areia muito fina. Deste modo, caracteriza-se o período de seca em relação a energia hidráulica fluvial exercida pelo rio Abobral, como baixa e limitada, tendo em vista as velocidades de fluxo nula, bem como, a vazão (S1, S2 e S3) (Figura 18).

Figura 18: Granulometria e velocidade de fluxo – novembro.

No período seco, em relação a energia de transporte dos sedimentos, tendo em vista a influência das variáveis: largura das sessões, profundidade das sessões e a velocidade de fluxos

das sessões sobre a vazão, constatou-se o baixo volume de água que incidiu em cada seção. Assim, notou-se que, as características batimétricas, bem como, a velocidade de fluxo associada ao regime hidrológico fluvial sazonal de rio Abobral, limitam o potencial de vazão neste canal, considerando-o nesse período como deposicional, ou seja, no período de estiagem a velocidade de fluxo e o potencial de vazão são nulos (representados na S1, S2 e S3), sem relacionamento com os processos hidrodinâmicos não ocorrendo o transporte fluvial, caracterizando tanto sedimentos de fundo e em suspensão como estacionados ou caracteriza-se como água parada ou “*backwater effect*”, efeito de remansos associado ao do fluxo de um rio. Nesse sentido, segundo Souza et al., (2017), sobre estudos sedimentológicos no Pantanal, destaca que, o nível da água diminui progressivamente no período de estiagem, assim, reduz também a capacidade de transporte, ocorrendo deposição de sedimentos em leito e canais secundários.

Conclusões

Com a individualização morfológica verificou-se curvas sinuosas e semelhantes, ou seja, meandantes. Além disso, considera-se o rio Abobral de caráter dinâmico continuamente alterando sua morfologia, muitas vezes registrado pela erosão nas margens externas, seguido da deposição na margem interna da curvatura ocasionando formação de barras de pontal. É importante destacar que, tal dinâmica se dá principalmente nos períodos de cheias na planície pantaneira e evidenciadas nos períodos de estiagem. Outro aspecto morfológico relevante no trecho fluvial analisado, está relacionado ao gradiente altimétrico na extensão do canal, no qual, constatou-se como de baixa declividade e baixa

velocidade de fluxo, refletindo diretamente no trabalho executado para manter o equilíbrio entre a capacidade e competência no sistema fluvial. Neste caso o potencial hidráulico no período de estiagem é considerado como nulo ou *backwater*.

Em relação aos aspectos sedimentológicos associadas à hidrodinâmica do sistema fluvial analisado, constatou-se sua influência na diversidade espaço-temporal morfológica, logo, nos processos ecológicos. Deste modo, registrou-se no período de cheia (maio) sedimentos de fundos de calibres fino e muito fino, caracterizando o transporte de sedimentos mais grosseiros. No período de estiagem (novembro) o fluxo apresentou seccionado devido aos bancos de areia, caracterizados por depósitos de sedimentos finos e areia média. Assim, entende-se que os aspectos granulométricos de fundo foi uma variável indicadora de transformações no sistema fluvial analisado.

Nesse sentido, o mapeamento das feições morfológicas fluviais demonstrou áreas como erosão marginal, porções arenosas descobertas “*point bars*” e depósitos de sedimentos finos “*bars*” ambos durante o período de vazante associadas diretamente com o trabalho de transporte exercido no trecho no rio Abobral analisado. Além disso, unidades paisagísticas como fragmentos de cerrado, campo, campo sujo, solo exposto e lagoa foram identificadas ao redor da área estudada, onde, tais unidades são adaptadas ao regime hidrológico da planície pantaneira.

Sobre as correlações entre as variáveis físico-fluviais, no período de cheia a relação do mecanismo de transporte dos sedimentos de fundo, associados as correntes fluviais considerou-se que, a baixa velocidade de fluxo indica depósitos de sedimentos grosseiros, por outro lado, com o aumento da velocidade de fluxo, tais materiais caracterizados como areia média são hipoteticamente transportados e materiais de calibres menores foram depositados. Além disso, a energia de transporte dos sedimentos nesse período, teve correlações com a largura das sessões, profundidade das sessões e a velocidade de fluxos demonstrando suas influências no volume de água que incidiu em cada seção, nas quais, teve-se maior representatividade a tendência potencial dada pela correlação entre largura e vazão, evidenciando uma característica deposicional no trecho analisado.

Em relação ao período de estiagem, constatou-se uma distribuição maior entre os sedimentos de fundo correlacionados a velocidade de fluxo nula, porém, com aumento da velocidade de fluxo, especificamente na sessão 4, correlacionou-se com sedimentos menos grosseiros, tais como,

silte/argila e areia muito fina. Assim, no período de estiagem/seca é considerada a energia hidráulica fluvial como baixa e limitada tendo em vista o transporte de sedimentos.

Pelos aspectos apresentados, considera-se o trecho do rio Abobral analisado como um canal de planície que durante as cheias apresenta uma vazão de uma rede de drenagem com seu curso até a foz (rio Paraguai). No período de estiagem, gradativamente inicia o processo de cessar a vazão, assim, tal canal apresenta-se seccionado, com bancos de areias e aspectos de lagos encaixados e alongados na planície.

Por fim, à metodologia e técnicas utilizadas demonstraram-se eficaz para o estudo realizado e para análises de parâmetros físicos-fluviais associados à análise integrada da paisagem, além disso, os estudos e/ou investigações realizadas evidenciaram a importância de se conhecer prévia e detalhadamente o meio físico para orientações que visam a conservação e preservação dos recursos hídricos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) pelo auxílio logístico e estrutural, aos discentes e docentes vinculados ao Laboratório de Estudos Ambientais UFMS campus Três Lagoas pela colaboração nas expedições técnico científica de campo e ao Laboratório de Geologia da UNESP campus Presidente Prudente-FCT pelo apoio nas análises sedimentológicas.

Referências

- Adámoli, J. O., 1982. Pantanal e suas relações fitogeográficas com o Cerrado: discussão sobre o conceito “Complexo do Pantanal”. In: Congresso Nacional de Botânica, 1981, Teresina. Anais - Teresina: Sociedade Botânica do Brasil.
- Assine, M. L. Merino, E. R., Pupim, F. N., Macedo, H. A., Santos, M. G. M., 2015. The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 45, 475-489.
- Assine, M. L.; Bergier, I.; Macedo, H. A.; Pupim, F. N.; Stevaux, J. C.; Silva, A., 2018. Anatomia funcional da Paisagem. *Revista Ciência Pantanal*, 4, 12-19.
- Brierley, G. J.; Fryirs, K. A., 2000. River Styles, a geomorphic approach to catchment characterization: Implications for river rehabilitation in Bega Catchment, NSW,

- Australia. Environmental Management, volume 25.
- Charlton, R., 2008. Fundamentals of fluvial geomorphology. London, Routledge.
- Christofolletti, A., 1981. Geomorfologia fluvial. Edgard Blucher. São Paulo
- Esteves, F. A., 2011. Fundamentos de Limnologia. 3. ed. Interciência. Rio de Janeiro.
- Guerra, A. T.; Guerra, A. J. T., 2003. Novo dicionário geológico-geomorfológico. Bertrand Brasil, 3.ed. Rio de Janeiro.
- Hooke, J. M. Yorke, L., 2011. Channel bar dynamics on multi-decadal timescales in an active meandering river. Earth Surf. Process. Landforms, 36 1910–1928.
- Jorge, F. N; Uehara, F. N., 1998. Águas Superficiais. In Oliveira A. M. S; Brito, S. N. A. (Org.). ABGE. Geologia de Engenharia. São Paulo.
- Loureiro, R. L. et al., 1982. Vegetação. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Folha SE-21- Corumbá e Folha SE-20, Rio de Janeiro.
- Morais E. S. E Rocha P. C., 2016. Formas e processos fluviais associados ao padrão de canal meandrante: o baixo rio do Peixe, SP. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 17, p. 431-449.
- Noernberg M. A., 1996. Relação entre profundidade Secchi e fator de reflectância da água de ambientes aquáticos lênticos em Cachoeira Paulista, SP. Anais – INPE - VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador.
- Palhares J. C. P; Ramos C. K. J. B. Lima J. M. M. Muller S. Cestorato T., 2007. Medição da Vazão em Rios pelo Método do Flutuador. Comunicado Técnico. Versão Eletrônica Julho, Concórdia, SC.
- Pompêo, M. L. M., 1999. O disco de Secchi. Bioikos.
- Ravaglia, A. G.; Santos, S. A.; Pellegrin, L. A.; Rodela, L. G.; Barbosa, A. de J., 2010. Classificação preliminar das paisagens da sub-região do Abobral, Pantanal, usando imagens de satélite. Embrapa Pantanal, Corumbá.
- Reid, I. et al. Sediment Erosion, Transport and Deposition. In: THORNE, C. R.; HEY, R. D.; NEWSON, M. D., 1997. Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management. John Wiley & Sons. New York.
- Rocha C. P., 2011. Sistemas rio-planície de inundação: geomorfologia e conectividade hidrodinâmica. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, 33, v.1.
- Rocha. C. P., 2016. Geometria hidráulica e transporte de sedimentos em canais do sistema fluvial do alto rio Paraná, centro-sul do Brasil. Geosul, Florianópolis, n. 61 v. 31.
- Rocha, P. C.; Santos, A. A. dos., 2018. Hydrological Analysis In Water Basins. Mercator, 17, e17025.
- Souza C. A. De, Leandro Santos, G. R. Sousa, J. B. Cunha, S. B. · Garcia, P. H. M., 2017. Aporte de sedimentos dos afluentes da margem direita do rio Paraguai, Pantanal Superior – Mato Grosso – Brasil. Ciência Geográfica - Bauru - XXI - Vol. XXI - (1): Janeiro/Dezembro.
- Sakuma, M. Z., Silva, M. H. S., 2017. A técnica das pirâmides de vegetação aplicada a análise de unidades florestais de vegetação arbórea densa no Pantanal do Abobral. E-book XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física, “Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento”.
- Silva, J. S. V. E Abdon, M. M., 1998. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. Pesquisa Agropecuária Brasileira.
- Silva, M. H. S., Gradella, F. S., Decco, H. F., 2017. Estudo comparativo das variações microclimáticas em distintas unidades da paisagem no Pantanal do Abobral em Mato Grosso do Sul. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas/MS – nº 26.
- Suizu, T. M., Rocha, P. C., 2017. Proposta metodológica para a elaboração de perfil longitudinal de vale baseada em softwares livres: estudo de caso no vale do Rio Aguapeí, SP, Brasil. AR@CNE (BARCELONA), 1, 1-22.
- Schumm, S. A., 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. Geological Society of America Bulletin. 74, 1089-1100.
- Stevaux, J. C.; Latrubesse, E. M., 2017. Geomorfologia fluvial. Oficina de textos, São Paulo.
- Villela, E. C., 2015. Sistemas deposicionais, composição de arenitos e assinatura de raio gama da Formação Baralaba Coal Measures (Permiano superior), Bacia de Bowen, nordeste da Austrália. Monografia. UFSC, Centro de Filosofia e Ciências Humanas - Departamento de Geociências.
- Yousefi, S., Pourghasemi, H. R., Hooke, J., Navratil, O., & Kidova, A., 2016. Changes in morphometric meander parameters identified on the Karoon River, Iran, using remote sensing data. Geomorphology, 271, 55-64.
- Zanotta D., Zortea M., Ferreira, M. P., 2019. Processamento de imagens de satélite. Oficina de Textos, São Paulo.