

## Diagnóstico e prognóstico de serviços ambientais de reconstrução de canais de rios na avulsão do Rio Taquari na região do Caronal

Camila Stael<sup>1</sup>  
Ivan Bergier<sup>1</sup>  
Aguinaldo Silva<sup>2</sup>  
Edward Lo<sup>3</sup>  
Michael McGlue<sup>3</sup>  
Hudson de Azevedo Macedo<sup>4</sup>  
Mario Luis Assine<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Pantanal - CPAP  
Rua 21 de Setembro, 1880 - Caixa Postal 109  
79320-900 - Corumbá - MS, Brasil  
camilastael@gmail.com; ivan.bergier@embrapa.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS  
Avenida Rio Branco, 1.270  
79304-902 - Corumbá - MS, Brasil  
aguinaldo.silva@ufms.br

<sup>3</sup> University of Kentucky - UK  
101 Slone Research Building  
40506-0053 - Lexington - KY, USA  
{edward.lo, michael.mcglue}@uky.edu

<sup>4</sup> Universidade Estadual de Maringá – UEM  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais  
Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário  
87020-900 - Maringá - PR, Brasil  
hud\_azevedo@hotmail.com

<sup>5</sup> Universidade Estadual Paulista - UNESP  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas / Campus de Rio Claro  
Av. 24A, 1515  
13506-900, Rio Claro - SP, Brasil  
assine@rc.unesp.br

**Resumo.** Arrombados e avulsões são fenômenos inerentes a sistemas de rios distributários em lobos ativos de megaleques. No Pantanal, esses fenômenos já aconteceram no passado e o mais recente e de grandes proporções ocorreu na região do Caronal, no Rio Taquari. Este estudo traz novas análises quali-quantitativas da dinâmica espaço-temporal de arrombados no Caronal e da deposição de sedimentos (splay) na avulsão que se estabeleceu na região do Paiaguás. As análises permitiram mapear no tempo as mudanças de surgimento e desaparecimento das arrombados, bem como criar um modelo scale-invariant de previsão indicando que em 2050 o tamanho e o comprimento máximo da área de deposição de sedimentos na avulsão deverão ser respectivamente de 1.258 km<sup>2</sup> e 100 km. Portanto, no longo prazo, a canalização do rio Taquari no Paiaguás deverá ser estabelecida caso sejam mantidas as condições ecohidrológicas e dos serviços ambientais presentes.

**Palavras-chave:** deposição sedimentar, geocologia, serviços ambientais, sucessão ecohidrológica, megaleque.

**Abstract.** Crevasses (arrombados) and avulsions are phenomena inherent at distributary river systems in active lobes of megafans. In the Pantanal, these phenomena have happened repeatedly in the past and the largest, most recent occurred in the Caronal region, in the Taquari River. This study brings new qualitative and quantitative analyses of the spatiotemporal dynamics of arrombados in the Caronal, and the splay (sediment deposition) associated with the avulsion that was established within the Paiaguás region. The data resulted in a series of maps that track the evolution of the arrombados, as well as the creation of a predictive scale invariant model indicating that in 2050, the size and the maximum length of the sediment deposition zone in the avulsion should be 1,258 km<sup>2</sup> and 100 km, respectively. In the long-term, the channelization of Taquari River in the Paiaguás region might be established if present ecohydrological conditions and ecosystem services are maintained.

**Keywords:** ecohydrological succession, ecosystem services, geocology, megafan, splay.

## 1. Introdução

As chuvas na bacia hidrográfica do Alto Paraguai (BAP), onde está localizado o Pantanal, se distribuem de modo não uniforme em função do efeito orográfico (Valeriano et al., 2012), também conhecido por gradiente topográfico alto, “sombra de chuva” ou vento Föhn. Por causa desse efeito, as precipitações concentram-se nas imediações dos relevos escarpados na transição entre os planaltos e a planície, onde se situam as nascentes dos principais rios formadores da BAP: Miranda, Aquidauana, Taquari, São Lourenço, Paraguai e Cuiabá. Nas áreas de captação no planalto, os rios são de leito rochoso com elevado potencial erosivo, acentuado pelo efeito orográfico. Nesse processo erosivo, vales são esculpidos nas rochas e confinam o fluxo de água nos talvegues (Assine et al., 2015a). Na ausência de barramentos naturais ou artificiais, os sedimentos gerados por intemperismo e erosão são transportados para a planície (Pantanal) sendo mínima a deposição aluvial nesses vales rochosos (Planalto).

Nas cabeceiras de rios, a paisagem é moldada por pulsos sazonais de inundação (Junk et al., 1989), o transporte de sedimentos e nutrientes é mais vigoroso, e a biodiversidade é relativamente menor que na planície (Vannote, 1980; Thorp et al., 2008). Quando os rios confinados em vales rochosos adentram o Pantanal, as declividades diminuem bruscamente; os rios confinados, avançando pela planície, se conformam paulatinamente em rios aluviais meandantes entrincheirados em sedimentos pleistocênicos. Com a diminuição da velocidade de escoamento e da capacidade de transporte de material em suspensão, processos de deposição dos sedimentos então se estabelecem, dando origem a uma diversidade de paisagens recortadas por rios multicanais, caracterizados pela presença de muitas ilhas e amplas planícies de inundação (Assine, 2005). Essa miríade de paisagens de sistemas de rios aluviais é derivada da combinação da queda brusca de declividade, da ausência de vales, e da redução da velocidade da vazão das águas.

Quando um rio na planície adquire padrão meandrante, ainda confinado a uma planície fluvial, o transporte de sedimentos e de nutrientes é mantido, seguido de um aumento relativo da diversidade de espécies. O histórico de vazões, isto é, a sequência interanual dos pulsos de inundação, tende a ser o fator hidrológico determinante da configuração da paisagem (Thorp et al., 2008).

À medida que o rio adentra ainda mais na planície e o gradiente topográfico diminui, os rios assumem um padrão distributário, como é o caso dos megaleques fluviais do Pantanal (Assine et al., 2015a,b). O regime de vazão (influências multidecadal e secular, portanto de longo prazo) passa a moldar a paisagem (Thorp et al., 2008), particularmente por meio de rupturas dos diques marginais dos rios (*crevasses*), as quais são chamadas de arrombados e são eventualmente seguidas de avulsões fluviais (Assine et al., 2015a). Essas mudanças no curso dos rios são eventos-chave que sustentam a elevada diversidade de espécies terrestres e aquáticas na paisagem (Vannote, 1980; Thorp et al., 2008).

O Pantanal é uma grande bacia sedimentar que cria continuamente espaço de acomodação, ou seja, espaço disponível para a deposição de sedimentos trazidos pelos rios e formação de *crevasse splays* (Buehler et al., 2011). Os rios depositam sedimentos carregados das áreas fontes (planaltos rochosos), preenchendo certas porções da bacia (lobos ativos), enquanto outras áreas permanecem sem deposição (lobos inativos) e sendo alimentadas quase que exclusivamente por água de chuva (Padovani, 2010). Entretanto, em escalas decadais ligadas ao regime de vazão, os rios na planície podem mudar de posição para melhor acomodar os sedimentos vindos do planalto.

Por este motivo, o comportamento avulsivo de longo prazo dos rios aluviais é processo inerente a lobos ativos de megaleques no Pantanal (Assine et al., 2015a). Rios distributários e multicanais formam-se quando o canal principal muda para outra parte da planície de inundação. A esse fenômeno é dado o nome de avulsão fluvial (Assine, 2005; Assine et al., 2015a), que engloba um conjunto de processos geomorfológicos derivados dos arrombados. O modelo dinâmico de arrombado e avulsão em rios distributários é muito bem ilustrado em Assine et al. (2005) e foi previamente diagnosticado na região do Caronal do Rio Taquari (Buehler et al., 2011; Makaske et al., 2012; Zani et al., 2012).

No processo de avulsão há o extravasamento de grandes volumes de água na planície através de canais divergentes originados a partir dos arrombados. Contudo, apesar de inerentes ao Pantanal (Assine et al., 2015a), sua frequência de ocorrência (ou *timing*) pode ser acelerada pelo desmatamento e amplificação da erosão dos solos nos planaltos que bordejam o Pantanal (Bergier, 2013; Buller et al., 2016), bem como pela intensificação das chuvas e das vazões no verão austral (Bergier et al., 2018; Makaske et al., 2012). A conjugação de erosão amplificada nos planaltos e da agradação acelerada nos canais dos rios na planície potencializa a ocorrência de fenômenos de rompimento de diques marginais e de avulsão. Estes impactos ambientais têm reflexos sobre a bovinocultura de corte e a produção pesqueira no baixo Rio Taquari (Galdino et al., 2006).

Os rompimentos de diques marginais que resultam em avulsões ocasionam alterações drásticas no regime de vazão (Thorp et al., 2008) e, conseqüentemente, em alterações qualitativas dos serviços ecossistêmicos (Bergier, 2013). Em linhas gerais, as avulsões tendem a seguir um longo processo de sucessão ecoidrológica, análogo à construção de uma barragem de rio que reconfigura um ambiente originalmente terrestre e lótico (rios) em um ambiente predominantemente aquático lântico (lago). Tal mudança promove a deposição de sedimentos, a morte de plantas terrestres (formando “paliteiros”) e a explosão do crescimento de plantas aquáticas flutuantes (Lima et al, 1998).

O crescimento dos “baceiros” (bancos de espécies de ciperáceas) tem papel de destaque, pois estes são capazes de formar grandes ilhas flutuantes de solos histosol submersos. Na medida em que o histosol se desenvolve e cresce verticalmente, são restabelecidas gradativamente as condições para o ressurgimento de plantas terrestres (Pott e Silva, 2015). Processo semelhante de sucessão ecoidrológica ‘aquático-terrestre’ no Pantanal foi recém descrito para o megaleque do Rio Paraguai, no Lago Uberaba (Lo et al., 2017).

A sucessão ecoidrológica aquático-terrestre que sucede o fenômeno de arrombado/avulsão está associada ao regime de vazão (Thorp et al., 2008), em escalas de médio e longo prazos. Portanto, os rios na planície pantaneira mudam continuamente (Assine et al., 2015a) em uma escala de tempo muito distinta da dimensão e da capacidade de percepção humana. E, muitas vezes, essa dificuldade de percepção dificulta a plena compreensão da importância desses fenômenos para a manutenção da biodiversidade e da fertilidade dos solos nas planícies inundáveis e não inundáveis.

Conseqüentemente, avulsões são eventos de suma importância para a reorganização e para a manutenção de cadeias alimentares que sustentam a grande biodiversidade no ecossistema

úmido, bem como de populações tradicionais do Pantanal (Curado, 2004; Santos et al., 2002). No entanto, o processo de sucessão ecoidrológica aquático-terrestre, ligada ao regime de vazão (Thorp et al., 2008) e à ocorrência de arrombados e avulsões (Assine et al., 2015a), não foi ainda bem caracterizado e compreendido, sendo, portanto, pouco descrito na literatura relativa ao Pantanal e a outras áreas úmidas análogas no mundo.

## 2. Objetivo

Este trabalho tem por objetivo diagnosticar a dinâmica de ativação e desativação de arrombados, aliada à quantificação da área de deposição de sedimentos na avulsão estabelecida na região do Caronal no Rio Taquari, por meio da análise de dados de imagens orbitais históricas obtidas pelos satélites Landsat-5 e Landsat-8. Com base dessas informações, busca-se melhor descrever e tecer prognósticos quali-quantitativos dos serviços ambientais associados ao processo de sucessão ecoidrológica aquático-terrestre em andamento na região.

## 3. Material e Métodos

### 3.1 Área estudada e banco de imagens

A **Figura 1** apresenta a localização geográfica da área de estudo. A bacia sedimentar do Pantanal localiza-se no interior da América do Sul, região fronteira entre o Brasil, a Bolívia e o Paraguai. A Bacia do Pantanal brasileiro compreende área de aproximadamente 150.000 km<sup>2</sup> na Bacia do Alto Paraguai, cujas altitudes variam de 80 a 200 m acima do nível do mar. A rede de planícies inundáveis do Pantanal está conectada às planícies do Chaco paraguaio ao sul. Os rios de leitos rochosos nascem nos planaltos que circundam o Pantanal e tornam-se rios aluviais ao adentrar a planície pantaneira, pouco a pouco preenchida por sedimentos carreados por este sistema de rios. As falhas são evidentes na morfologia da bacia, limitando terrenos pré-cambrianos na borda ocidental da bacia e condicionando a drenagem aluvial moderna. A sedimentação ocorre em um extenso trato aluvial deposicional formado pela planície do Rio Paraguai e por diversos leques fluviais (Assine et al., 2015a,b).

A hidroclimatologia do Pantanal é determinada pela migração equatorial da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e pela formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Bergier et al., 2018). A precipitação anual média na região é de aproximadamente 1350 mm e cerca de 70% desse volume de água se concentra nas estações de primavera e de verão (Bergier e Resende, 2009). As temperaturas médias possuem sazonalidade marcada, variando entre 13 e 26°C na primavera e no verão e entre 10 e 22°C nos meses de outono e inverno. Extremos de calor no entardecer são comuns e podem superar os 35°C. No inverno, massas polares intensas conhecidas localmente por vento-sul ou friagem, frequentes no mês de julho, podem derrubar bruscamente a temperatura do ar para valores abaixo dos 10°C.

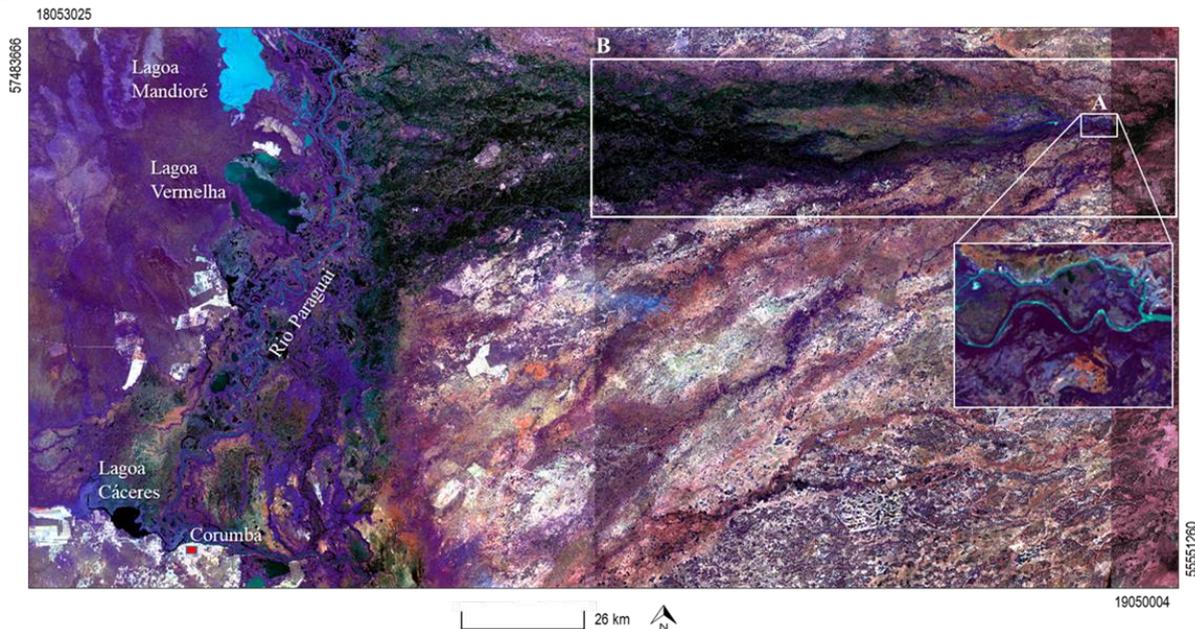
Os estudos aqui apresentados foram baseados numa série histórica de 29 imagens/datas dos satélites Landsat 5 e 8 (órbita/ponto 226/73) obtidas no período de 1984 e 2017 (**Tabela 1**).

**Tabela 1.** Data das imagens obtidas no catálogo EarthExplorer do USGS utilizadas neste estudo. As imagens de 2013 a 2017 são do Landsat-8, as demais do Landsat-5.

Década									
1980	10/1984	09/1985	10/1986	11/1987	09/1988	10/1989			
1990	10/1990	08/1991	11/1993	07/1994	09/1995	11/1996	11/1997	10/1998	10/1999
2000	08/2000	07/2003	09/2004	11/2015	11/2018	10/2007	11/2018	10/2009	
2010	10/2010	09/2011	08/2013	08/2015	09/2016	10/2017			

Imagens relativamente livres de nuvens na época de seca (julho a novembro) foram selecionadas no banco de dados EarthExplorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos

(USGS, <https://earthexplorer.usgs.gov/>). Imagens/datas das bandas 7, 3 e 2 no Landsat-5 e 7, 4, 3 no Landsat-8 foram então importadas no software QGIS 2.18 (<https://www.qgis.org/>) para produzir composições falsa-cor RGB 732 (743 no Landsat-8), visando avaliar as mudanças geológicas e dos serviços ambientais.



**Figura 1.** Localização da área estudada. (A) Região de processos de arrombados na região do Caronal do Rio Taquari (com *zoom*). (B) Região dos processos de deposição de sedimentos na avulsão estabelecida na região do Paiaguás. Imagem/mosaico multiespectral (nível 1C, bandas 12R, 4G e 3B) do satélite Sentinel-2B de setembro 2017 da Agência Espacial Europeia (<https://earth.esa.int>).

### 3.2 Dinâmica de surgimento e desaparecimento de arrombados no Caronal

O quadrante da área de estudo da abertura e fechamento de arrombados é mostrado na **Figura 1A**. A composição colorida R(7)G(3)B(2) (743 no Landsat-8) do ano de 2017 foi utilizada como referência do estado atual dos arrombados na região do Caronal. A partir dessa data, foram avaliados os arrombados nas composições R(7)G(3)B(2) (743 no Landsat-8) nas datas precedentes. Ao longo dos anos, os arrombados ativos foram identificados com letras em ordem alfabética, do mais antigo para o mais recente, e marcados em vermelho. Quando inativos, os arrombados foram marcados em amarelo. Apenas as datas em que houve mudanças evidentes são apresentadas nos resultados.

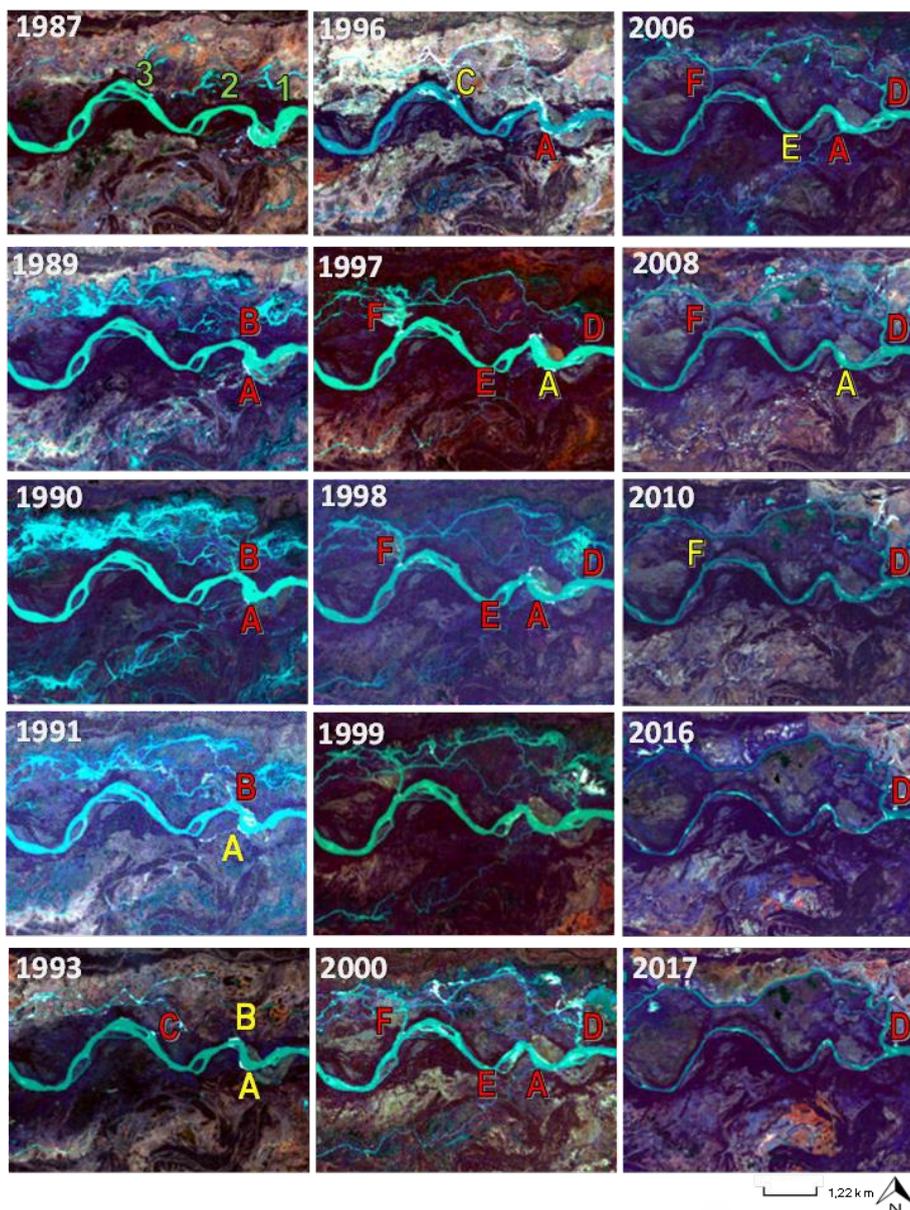
### 3.3 Dinâmica da área de deposição de sedimentos na avulsão do Caronal

O quadrante referente à dinâmica da área de deposição de sedimentos é mostrado na **Figura 1B**. As composições RGB de 1984 a 2017 foram utilizadas para mapear a deposição de sedimentos na avulsão que se estabeleceu na margem direita do Rio Taquari na região do Caronal. Para cada data analisada foram construídos polígonos a partir da interpretação visual das composições RGB. Os valores de área (em km<sup>2</sup>) e de comprimento linear máximo (em km) foram extraídos de cada polígono/data a partir de um ponto inicial próximo ao rio. Com isso, o crescimento uni e bidimensional da área de deposição de sedimentos de 1984 a 2017 foi estimado. Apenas os anos que melhor expressam essa dinâmica são apresentados.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Dinâmica de surgimento e desaparecimento de arrombados no Caronal

Os resultados e a discussão a seguir apresentados referem-se às imagens apresentadas na **Figura 2** e na síntese da dinâmica de mudanças na **Figura 3**. A **Figura 2** ilustra a sucessão temporal de abertura e fechamento de arrombados nas proximidades da fazenda Caronal, situada na margem direita do Rio Taquari.



**Figura 2.** Sucessão temporal de arrombados nos diques marginais do Rio Taquari, nas proximidades da fazenda Caronal, a partir de composições coloridas RGB das bandas 732 do Landsat-5 (743 no Landsat-8). A significação de número e de letras é descrita no texto e na **Figura 3**.

As imagens de 1984 a 1987 não evidenciaram a existência de arrombados nas margens do canal nos meandros 1, 2 e 3 identificados na **Figura 2** em 1987. Desta forma, o ano de 1987 foi definido como início dos processos geomorfológicos aqui analisados. As letras vermelhas

indicam os locais de arrombados ativos e as letras amarelas os locais de arrombados inativos nos diferentes anos. Em 1987, o canal do Rio Taquari não apresentava arrombados, embora estivessem presentes antigos canais na planície de inundação, preenchidos por água proveniente da chuva e/ou por surgência de água subterrânea.

		Ano 1984	1985	1986	1987	1989	1990	1991	1993	1996	1997	1998	1999	2000	2003	2004	2005	2006	2008	2010	2016	2017	
		Anos após 1984																					
		0	1	2	3	5	6	7	9	12	13	14	15	16	19	20	21	22	24	26	32	33	
Arrombado	A (margem esquerda)																						
	B (margem direita)																						
	C (margem direita)																						
	D (margem direita)																						
	E (margem esquerda)																						
	F (margem direita)																						
	G (margem direita)																						

**Figura 3.** Síntese da dinâmica de arrombados nos diques marginais do Rio Taquari na região do Caronal. Vermelho (amarelo) representa presença (ausência) de arrombado ativo.

Em 1989, verifica-se que houve aumento de água nos paleocanais adjacentes às margens esquerda e direita do Rio Taquari. As chuvas de verão neste e nos anos precedentes foram acima da média histórica (Bergier et al., 2018). A combinação de chuvas acima da média e a mudança do uso da terra nos planaltos (Galdino et al., 2006) deve ter contribuído para a aceleração da agitação do leito do rio e, conseqüentemente, para o rompimento dos diques marginais dando origem aos arrombados A e B, que resultou em extravasamento das águas do Rio Taquari (Makaske et al., 2012).

Em 1990, os índices de chuvas de verão permaneceram elevados, originando os arrombados A e B e suas respectivas avulsões. Fechamento do arrombado A é mostrado na imagem de 1991. Inatividade do arrombado B e a ativação de um novo arrombado C na margem direita do rio são registradas na imagem de 1993. Em 1996, há indícios de desativação do arrombado C e de reativação do arrombado A, por onde a água passa a ser novamente drenada para a planície de inundação adjacente.

O ano de 1997, o mais crítico, indica a ativação dos arrombados D, E e F. Na margem esquerda do Rio Taquari há novo indício de fechamento do arrombado A, e na feição em frente, no meandro 2, surge o arrombado E. Na margem direita do rio, surge o arrombado D, conhecido por “Arrombado do Caronal” (Galdino et al., 2006). Digno de nota, destaca-se que o traçado do meandro 1, onde se inicia o arrombado D, mudou sua curvatura ao longo dos anos, adaptando-se à mudança hidráulica induzida pela existência do arrombado. Neste ano também é notado rompimento do dique da margem direita no meandro 3, originando o arrombado F. Os arrombados da margem direita do rio dão vazão às águas que espraiam pela planície e ocupam paleocanais paralelos ao Rio Taquari no trecho observado.

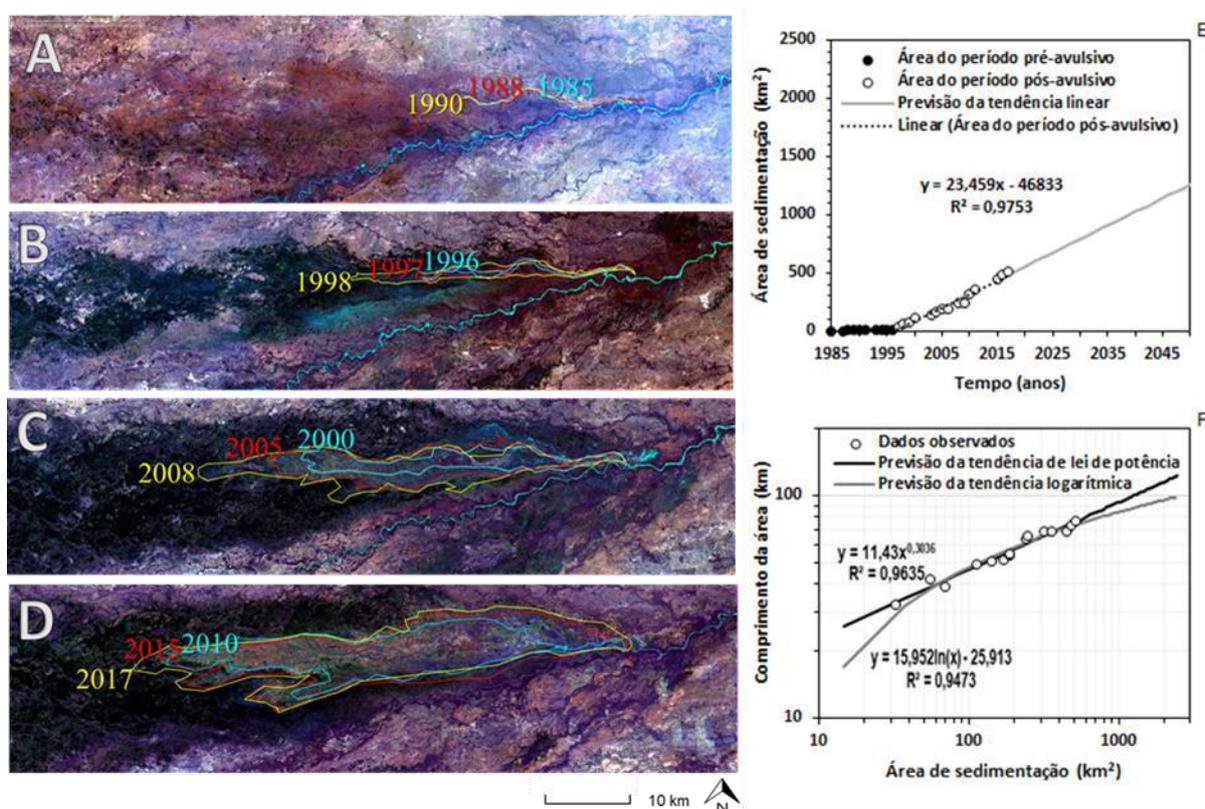
Em 1998, verifica-se que houve extravasamento de grande quantidade de água, principalmente pelo arrombado D. Por estar mais a montante, este arrombado desvia grande parte da água do rio antes mesmo que ela chegue aos arrombados à jusante. O arrombado A é indicado novamente para ressaltar a mudança geomorfológica de 1987 a 1998 no meandro 2. Nos anos de 1999 e 2000, os arrombados permanecem semelhantes à configuração geomorfológica estabelecida a partir de 1998.

O arrombado G, que surge em 2000, é fechado em 2006. As águas provenientes dos arrombados ativos da margem direita do rio seguem a jusante nos paleocanais na planície, delineando padrão de drenagem com múltiplos canais errantes. De 1999 a 2000, inicia-se o estabelecimento de canais mais estáveis, provavelmente devido à deposição de sedimentos e formação de um lobo de avulsão (Assine, 2005; Buehler et al., 2011), conforme modelo avulsivo descrito em Assine et al. (2005). A imagem de 2006 sugere que os arrombados C e E se fecharam no decorrer dos anos, permanecendo ativos os arrombados A, D e F. Há indícios

de que em 2008 o arrombado A se fechou e, a partir de 2010, o arrombado F também tenha se fechado, permanecendo ativo até 2017 somente o arrombado D.

#### 4.2 Dinâmica sedimentar no lobo da avulsão do Caronal

A **Figura 4** apresenta a dinâmica de deposição de sedimentos na área inundada pela avulsão. As imagens foram divididas em quatro períodos. No período A, as áreas do paleocanal principal nos anos de 1985, 1988 e 1990 foram delimitadas por polígonos coloridos. No período B, o mesmo procedimento foi realizado, abrangendo as áreas já identificadas de deposição de sedimentos para os anos de 1996, 1997 e 1998. Essas áreas de deposição de sedimentos na avulsão se tornam cada vez mais evidentes nos polígonos mostrados em C e D relativos aos anos 2000, 2005 e 2008 e 2010, 2015 e 2017, respectivamente.



**Figura 4.** Estimativa do incremento interanual da área de deposição de sedimentos na avulsão do Rio Taquari no Caronal por meio de imagens do Landsat 5 - R7G3B2 e Landsat 8 - R7G4B3. A) imagem de 1985. B) imagem de 1997. C) imagem de 2005. D) imagem de 2017. E) Taxa de incremento anual da área de deposição de sedimentos. F) Relação entre a área e o comprimento máximo da deposição de sedimentos (F).

As estimativas das áreas de deposição de sedimentos nesses anos indicam que a taxa anual de crescimento é de  $\sim 23,5 \text{ km}^2$  e que, mantido esse ritmo linear de crescimento, a área de deposição de sedimentos deverá atingir algo em torno de  $1.258 \text{ km}^2$  em 2050 (**Figura 4 E**). Nessa área, portanto, processos de recanalização do rio (Assine et al., 2005) devem ser estabelecidos na escala de regime de vazão (Thorp et al., 2008). Assumindo a lei de escala como o melhor modelo (maior valor do coeficiente de determinação ou  $R^2$  na **Figura 4 F**), a regressão log-log (*scale invariant*) entre comprimento máximo e a área (**Figura 4 F**) indica que em 2050 o comprimento da deposição de sedimentos poderá chegar a 100 km.

## 5. Conclusões e Sugestões

Em consonância com trabalhos anteriores, este estudo multitemporal de imagens dos satélites da série Landsat indica que apenas um arrombado (D) do Rio Taquari tem se mantido ativo, contribuindo para o *splay* ou deposição contínua de sedimentos na avulsão do Caronal, na região do Paiaguás. A área de deposição tem aumentado anualmente a uma taxa linear de 23,5 km<sup>2</sup>. Esta deposição contínua representa etapas iniciais do processo de reconstrução e consolidação de canais nesta região do lobo ativo do Rio Taquari. O aporte de sedimentos de planalto é de suma importância para esse serviço ambiental de reconstrução, e as fazendas de pecuária atingidas pela avulsão deveriam receber algum tipo de pagamento pela realização desse serviço ambiental na mesma medida da sua perda de capacidade de geração de riqueza (gado). O serviço ambiental de reconstrução é um processo lento, de décadas, e ainda não há disponível informação suficiente que permita prever quando o Rio Taquari estará novamente confinado entre diques marginais. Para tanto, será preciso avaliar também os serviços ambientais da produção de baceiros e de solos histosol na área inundada mais a jusante. Ambos os processos, a deposição de sedimentos à montante e a produção de histosol à jusante da área inundada, são serviços ambientais sinérgicos da recanalização natural do Rio Taquari por meio da sucessão ecoidrológica aquático-terrestre na escala de regime de vazão.

## 6. Agradecimentos

C. Stael agradece à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e à Pontifícia Universidade Católica (PUC) de Minas Gerais pela possibilidade do estágio. Este estudo foi cofinanciado por projetos apoiados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa 03.17.00.047, Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo, Fapesp 2014/06889-2, Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, CNPq 447402/2014-5, Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul, Fundect 33895494610802072015 e National Geographic Society #3048112952. Animações temporais das cenas históricas do satélite Landsat estão disponíveis em <https://cloud.sede.embrapa.br/owncloud/s/er0ncbxaayF9YER> e <https://cloud.sede.embrapa.br/owncloud/s/94L9GWxrFm9o9sO>.

## 7. Referências

- Assine, M. L. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, v. 70, p. 357-371, 2005.
- Assine, M. L.; Padovani, C.; Zacharias, A. A.; Angulo, R. J.; Souza, M. C. Compartimentação geomorfológica, processos de avulsão fluvial e mudanças de curso do Rio Taquari, Pantanal MatoGrossense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, p. 97-108, 2005.
- Assine, M. L.; Macedo, H. A.; Stevaux, J. C.; Bergier, I.; Padovani, C.; Silva, A. Avulsive Rivers in the Hydrology of the Pantanal Wetland. In: (eds) I. Bergier and M. L. Assine **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America. Environmental Chemistry**, 1 ed., Springer, Berlin Heidelberg, pp. 83-110, 2015a.
- Assine, M. L.; Merino, E. R.; Nascimento Pupim, F.; Azevedo Macedo, H.; Santos, M. G. M. The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, p. 475-489, 2015b.
- Bergier I.; Resende E.K. Dinâmica de cheias no Pantanal do rio Paraguai de 1900 a 2009. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 3., 16-20 outubro 2010, Cáceres-MT. **Anais**. Cáceres: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2010, pp. 35-43.
- Bergier, I. Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. **Science of Total Environment**, v. 463, p. 1060-1066, 2013.

- Bergier, I.; Assine, M. L.; Mcglue M. M.; Alho, C. J. R.; Silva, A.; Guerreiro, R. L.; Carvalho, J. C. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Science of Total Environment**, v. 619-620, p. 1116-1125, 2018.
- Buehler H.A.; Weissmann, G. S. Scuderi, L. A.; Hartley, A. J. Spatial and temporal evolution of an avulsion on the Taquari river distributive fluvial system from satellite image analysis. **Journal of Sedimentary Research**, v. 81, p. 630-640, 2011.
- Buller, L. S.; Bayma-Silva, G.; Ortega, E.; Bergier, I. Soil Loss as a Negative Externality in the Emergy Accounting: Case Study of an Agricultural Commodities Municipality in the Brazilian Savannah. **Journal of Environmental Accounting Management**, v. 4, pp. 129-147, 2016.
- Curado, F. F. Considerações Sócio-Econômicas e Ambientais Relacionadas aos “Arrombados” na Planície do Rio Taquari, MS. **Documentos**, 67, Embrapa Pantanal, Corumbá, MS. 2004. 33p.
- Galdino, S.; Vieira, L. M.; Pellegrin, L. A. **Impactos ambientais e socioeconômicos na bacia do Rio Taquari - Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006, 356p.
- Junk, W. J.; Bayley, P. B.; Sparks, R. E. The flood-pulse concept in river-floodplain systems. In: (Ed.) D. P. Dodge **Proceedings of the International Large River Symposium (LARS)**, 106, Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Sciences, p. 110-127, 1989.
- Lima, I. B. T.; Novo, E. M. L. M.; Bins, L. Multitemporal TM image analysis to assess the spatial and temporal dispersion of floating macrophytes in Brazilian hydroelectric reservoirs. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, 1998. **Anais**. Santos: INPE, 1998, pp. 145-154.
- Lo, E. L.; Silva, A.; Bergier, I.; Mcglue, M. M.; Silva, B. L. De P.; Silva, A. P. S.; Pereira, L. E.; Macedo, H. A.; Assine, M. L.; Silva, E. R. Dos S. da. Spatiotemporal evolution of the margins of Lake Uberaba, Pantanal Floodplain (Brazil). **Geografia**, Rio Claro, v. 42, n. 3, pp. 159-173, 2017.
- Makaske, B.; Maathuis, B. H. P.; Padovani, C. R.; Stolker, C.; Mosselman, E.; Jongman, R. H. G. Upstream and downstream controls of recent avulsions on the Taquari megafan, Pantanal, south-western Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 37, p. 1313-1326, 2012.
- Padovani, C.A. 2010. **Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal**. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo-USP, Piracicaba, 2010, 174p.
- Pott A.; Silva J.S.V. Terrestrial and aquatic vegetation diversity of the Pantanal wetland. (eds) I. Bergier and M. L. Assine **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. **Environmental Chemistry**, 1 ed., Springer, Berlin Heidelberg. pp. 111-131, 2015.
- Santos, S. A.; Pellegrin, A. O.; Moraes, A. S.; Barros, A. T. M. Comastri-Filho, J. A.; Sereno, J. R. B.; Silva, R. A. M. S.; Abreu, U. G. P. Sistema de produção de gado de corte do Pantanal. **Sistemas de Produção**, 1. Embrapa Pantanal, Corumbá, MS. 2002, 80p.
- Thorp, J. H.; Thoms, M.C.; Delong, M. **The Riverine Ecosystem Synthesis**. London: Academic Press. 2008.
- Valeriano, M. M.; Salvi, L. L.; Aragão, J. R. L. Relações entre a distribuição da precipitação e o relevo da bacia do alto Paraguai. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 4., Bonito, MS, 20-24 de outubro 2012. **Anais**. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, pp.289-298, 2012.
- Vannote, R.L.; Minshall, G. W.; Cummins, K.W.; Sedell, J.R.; Cushing, C.E. The river continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, p. 130-137, 1980.
- Zani H., Assine M. L., McGlue M. M. Remote sensing analysis of depositional landforms in alluvial settings: Method development and application to the Taquari megafan, Pantanal (Brazil). **Geomorphology**, v. 161-162, p. 82-92, 2012.

## Diagnóstico e prognóstico de serviços ambientais de reconstrução de canais de rios na avulsão do Rio Taquari na região do Caronal

Camila Stael<sup>1</sup>  
Ivan Bergier<sup>1</sup>  
Aguinaldo Silva<sup>2</sup>  
Edward Lo<sup>3</sup>  
Michael McGlue<sup>3</sup>  
Hudson de Azevedo Macedo<sup>4</sup>  
Mario Luis Assine<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Pantanal - CPAP  
Rua 21 de Setembro, 1880 - Caixa Postal 109  
79320-900 - Corumbá - MS, Brasil  
camilastael@gmail.com; ivan.bergier@embrapa.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS  
Avenida Rio Branco, 1.270  
79304-902 - Corumbá - MS, Brasil  
aguinaldo.silva@ufms.br

<sup>3</sup> University of Kentucky - UK  
101 Slone Research Building  
40506-0053 - Lexington - KY, USA  
{edward.lo, michael.mcglue}@uky.edu

<sup>4</sup> Universidade Estadual de Maringá – UEM  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais  
Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário  
87020-900 - Maringá - PR, Brasil  
hud\_azevedo@hotmail.com

<sup>5</sup> Universidade Estadual Paulista - UNESP  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas / Campus de Rio Claro  
Av. 24A, 1515  
13506-900, Rio Claro - SP, Brasil  
assine@rc.unesp.br

**Resumo.** Arrombados e avulsões são fenômenos inerentes a sistemas de rios distributários em lobos ativos de megaleques. No Pantanal, esses fenômenos já aconteceram no passado e o mais recente e de grandes proporções ocorreu na região do Caronal, no Rio Taquari. Este estudo traz novas análises quali-quantitativas da dinâmica espaço-temporal de arrombados no Caronal e da deposição de sedimentos (*splay*) na avulsão que se estabeleceu na região do Paiaguás. As análises permitiram mapear no tempo as mudanças de surgimento e desaparecimento das arrombados, bem como criar um modelo *scale-invariant* de previsão indicando que em 2050 o tamanho e o comprimento máximo da área de deposição de sedimentos na avulsão deverão ser respectivamente de 1.258 km<sup>2</sup> e 100 km. Portanto, no longo prazo, a canalização do rio Taquari no Paiaguás deverá ser estabelecida caso sejam mantidas as condições ec hidrológicas e dos serviços ambientais presentes.

**Palavras-chave:** deposição sedimentar, geoecologia, serviços ambientais, sucessão ec hidrológica, megaleque.