



## **Papel das macrófitas aquáticas na sucessão ecológica em sistemas fluvio-lacustres do Pantanal: Lago Uberaba**

Edward L. Lo<sup>1</sup>  
Aguinaldo Silva<sup>2</sup>  
Ivan Bergier<sup>3</sup>  
Michael M. McGlue<sup>1</sup>  
Beatriz Lima de Paula Silva<sup>2</sup>  
Ana Paula Souza Silva<sup>3</sup>  
Luciana E. Pereira<sup>2</sup>  
Hudson de Azevedo Macedo<sup>4</sup>  
Mario Luis Assine<sup>4</sup>  
Edson Rodrigo dos Santos da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Earth and Environmental Sciences, University of Kentucky—UK  
101 Slone Research Bldg.  
Lexington, KY 40506-0053, USA  
{edward.lo, michael.mcglue}@uky.edu

<sup>2</sup>Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul—UFMS-CPAN  
Corumbá, MS, Brasil  
{aguinald\_silva, beatrizlpaula, edson\_r\_silva}@yahoo.com.br,  
l.escalante.pereira@gmail.com

<sup>3</sup>Laboratório de Conversão de Biomassa, Embrapa Pantanal  
Corumbá, MS, Brasil  
ivan.bergier@embrapa.br  
ana\_psilva21@yahoo.com

<sup>4</sup>Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista  
Av. 24A, 151, Bela Vista. Rio Claro - SP, Brasil  
hud\_azevedo@hotmail.com  
assine@rc.unesp.br

**Resumo.** As macrófitas aquáticas são importantes componentes do ecossistema úmido que podem promover mudanças e a evolução de paisagens naturais. Os sistemas de informação geográficas ou SIGs auxiliam na identificação de áreas com mudança na cobertura vegetal em planícies inundáveis do Pantanal. O foco deste estudo foi determinar o papel das macrófitas aquáticas flutuantes nas margens do Lago Uberaba situado em um sistema fluvial. O mapeamento temático em imagens georreferenciadas do satélite Landsat no período seco revelou um decréscimo de 21,4% da área de água aberta do lago ao longo de 30 anos (-4,7 km<sup>2</sup>/ano). Entretanto, pouca correlação foi encontrada entre a área de água aberta do lago e a cota do rio Paraguai nesse período. A taxa de crescimento da cobertura de macrófitas no lago foi de 1,4 km<sup>2</sup>/ano. Os dados sugerem que o crescimento das macrófitas independe da quantidade de chuva e da vazão de água na região. As áreas classificadas como terrestres também tiveram aumento. Para explicar as observações satelitárias históricas, buscou-se inserir nesse contexto o processo de sucessão ecológica vegetal. Nesse processo, plantas r-estrategistas (predomínio aquático) dão lugar a plantas k-estrategistas (predomínio terrestre) em direção ao clímax. Estudos adicionais no Lago Uberaba e outros análogos serão necessários para melhor avaliar essa hipótese formulada para descrever a evolução de processos geomorfológicos dinâmicos na planície de inundação do Pantanal.

**Palavras-chave:** Pantanal, Lago Uberaba, *Eichhornia crassipes*, Landsat, Sucessão ecológica, Geomorfologia.

**Abstract.** Aquatic macrophytes are important components of wetland ecosystems that induce change and evolution of natural landscapes. Geographic Information Systems or GIS help identify areas with changing vegetation cover in the floodplains of the Pantanal. The focus of this study was to determine the role of floating macrophytes on the shores of Lake Uberaba situated within a fluvial system. Thematic mapping in Landsat geo-referenced images during the dry season revealed a decrease of 21.4% in the open water area of the lake over 30 years ( $-4.7 \text{ km}^2/\text{year}$ ). However, weak correlation was found between the open water area of the lake and the height of the Paraguay River in that period. The growth rate of macrophyte coverage on the lake was  $1.4 \text{ km}^2/\text{year}$ . The data suggest that the growth of aquatic macrophytes does not rely on the amount of rainfall and water flow in the region. Areas classified as land also increased. To explain the historical imagery observations, we invoked vegetation ecological succession. In this process, *r*-strategist plants (predominantly aquatic) are gradually replaced by *k*-strategist plants (predominantly terrestrial) towards the climax phase. Additional studies on Lake Uberaba and similar lakes are needed to better assess this hypothesis formulated to describe the evolution of dynamic geomorphological processes in the Pantanal floodplain.

**Keywords:** Pantanal, Lake Uberaba, *Eichhornia crassipes*, Landsat, Ecological succession, Geomorphology.

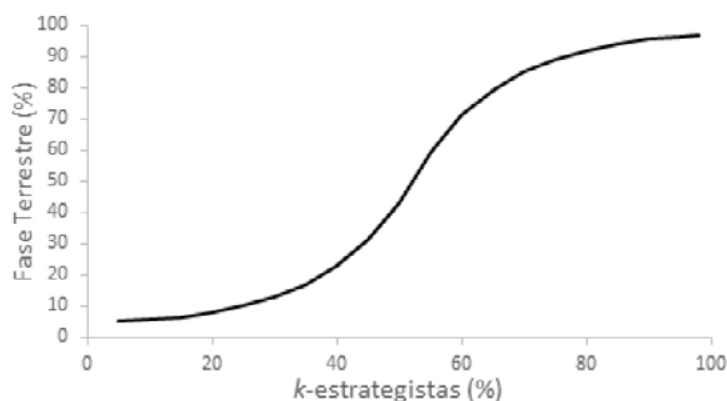
## 1. Introdução

Os lagos de planícies fluviais são o segundo tipo de lago mais comum do mundo. Estes corpos d'água são normalmente rasos e efêmeros no tempo geológico (Cohen, 2003). São vários os fatores que podem influenciar suas características e longevidade. O assoreamento de sedimentos nos rios pode isolar e criar uma pequena bacia que enche de água e se torna um lago. O mesmo fenômeno pode preencher de sedimentos o lago recém-criado em poucos milhares de anos (Cohen et al., 2015). Nas regiões tropicais, lagos em planícies inundáveis continentais são pouco estudados.

O aguapé nativo *Eichhornia crassipes* é uma das espécies de macrófitas aquáticas mais abundantes em ilhas flutuantes (camalotes) da planície pantaneira (Castro et al., 2010). Essa espécie pode ser considerada pioneira em processos ecológicos de sucessão vegetal, fundamentais no desenvolvimento de paisagens geomorfológicas. A Síntese Ecosistêmica de Sistemas Aquáticos (*Riverine Ecosystem Synthesis* ou RES, em inglês) é um conceito científico que incorpora o processo de sucessão ecológica vegetal na evolução de ecossistemas dominados por rios (Thorp et al., 2006).

No Pantanal, a sucessão ecológica pode iniciar-se por processos avulsivos (Assine et al., 2015a,b) que repentinamente inundam vastas áreas de planícies, as quais podem ser ocupadas por macrófitas aquáticas, semi-aquáticas e terrestres. Há, porém, outras relações ainda mais complexas dependentes de fatores como, por exemplo, a conexão do canal principal do rio com a planície, a troca de nutrientes, e a quantidade de sedimentos exportada ou armazenada.

Nesse processo de sucessão originado por avulsões, a paisagem e a composição florística mudam ao longo do tempo, de uma vegetação composta predominantemente por espécies *r*-estrategistas (investem energia na reprodução, ciclo de vida curto), para outra vegetação mais terrestre (herbáceas e lenhosas) dominada por espécies *k*-estrategistas (investem energia na fixação de biomassa, ciclo de vida longo) (**Figura 1**). As plantas *r*-estrategistas se reproduzem mais rapidamente enquanto que as plantas *k*-estrategistas alocam recursos no crescimento e amadurecimento da planta, resultando em maior longevidade e tamanho dos indivíduos (MacArthur e Wilson, 1967 apud Gadgil e Solbrig, 1972).



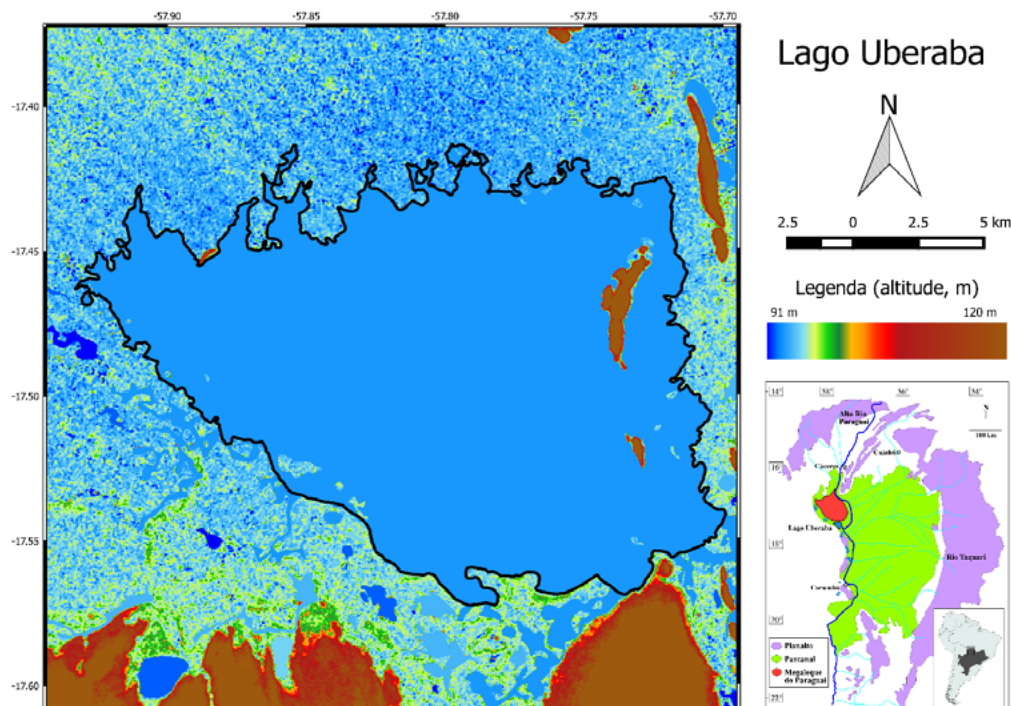
**Figura 1.** Dominância de plantas *k*-estrategista em relação a plantas *r*-estrategista ao longo do tempo em áreas lacustres de planícies aluviais em função do acúmulo de sedimentos e matéria orgânica. As plantas *k*-estrategistas têm maior chance de sucesso à medida que sedimentos e matéria orgânica acumulados favorecem a fase terrestre do pulso anual de inundação.

O uso de geotecnologias como o Sensoriamento Remoto e Sistemas de Processamento de Imagens e de Informações Geográficas (SIG) auxiliam no monitoramento e identificação das mudanças ambientais (e.g. Galo et al., 2002). Sensoriamento remoto é uma abordagem bastante difundida em estudos ambientais, sendo utilizado em várias linhas de pesquisa. Souza et al. (2011) utilizaram imagens do sensor *Thematic Mapper* do satélite Landsat-5 para mapear macrófitas aquáticas na sub-região do Pantanal do Rio Paraguai (Assine and Soares, 2004) ao longo de duas décadas. A pesquisa revelou uma relação positiva entre a cheia e a quantidade de macrófitas aquáticas, bem como identificou 70 km<sup>2</sup> de macrófitas aquáticas permanentes na planície de inundação do rio Paraguai. Essas áreas permanentes foram consideradas *hotspots* de conservação visando a manutenção da produção de biomassa na região para seu uso como energia sustentável (Souza et al., 2011). Foi realizada também a estimativa de biomassa de aguapés exportada pelo rio Paraguai e verificou-se que, de modo geral, a exportação é da ordem de 1% da produtividade primária líquida (Vianna et al., 2011; Bergier et al., 2012, Buller et al., 2013). Fora de seu habitat natural, e em condições favoráveis de crescimento e dispersão, *E. crassipes* pode vir a ser uma espécie danosa aos ecossistemas, à economia e à saúde humana (Villamagna e Murphy, 2010; Zhang et al., 2010), como no caso dos Everglades na Flórida.

Em termos hidrológicos e geomorfológicos, a dinâmica populacional e a extensão da cobertura de macrófitas aquáticas podem sinalizar a etapa de evolução do processo de sucessão ecológica de lagos marginais (meandros abandonados) e lagos em planícies inundáveis. De médio a longo prazo, o acúmulo sucessivo de resíduos senescentes de macrófitas aquáticas *r*-estrategistas após cada pulso anual de inundação pode levar ao recobrimento quase total do espelho d'água do lago, direcionando-o a um eventual assoreamento com o predomínio de macrófitas terrestres *k*-estrategistas.

O Lago Uberaba (**Figura 2**) está situado na franja do megaleque fluvial do Rio Paraguai, na fronteira entre o Brasil e a Bolívia, perto da Morraria Ínsua, no sul da região do Pantanal de Cáceres (Assine e Silva, 2009). Um megaleque fluvial é um grande ( $\geq 10^3$  km<sup>2</sup>) sistema de rios distributários, em parte anastomosados, sujeito a vazão elevada e regime sazonal (Leier et al., 2005; Assine e Silva, 2009; Weissmann et al., 2010; Latrubesse, 2015). O Lago Uberaba é o único no Pantanal influenciado por muitos canais ativos, como o Corixo Grande e o recente Rio Canzi (Assine et al., 2015a,b), e está situado em local estratégico para estudos de megaleques fluviais. O lago está localizado à montante do Lago Gaíva, sendo os dois conectados pelo Canal Dom Pedro II. Há poucas informações disponíveis sobre a hidrossedimentologia e evolução

geológica do Lago Uberaba.



**Figura 2.** Mapa de elevação digital do terreno (SRTM, *Shuttle Radar Topographic Mission*, resolução espacial 30 m após atualização ao 1 arco segundo) no Lago Uberaba. A Sul e a Leste do lago encontram-se terrenos de altitude mais elevadas, peculiares no cenário da planície pantaneira. A Norte e a Oeste do lago há conexão com a planície de inundação da franja do megaléque fluvial.

## 2. Objetivo

O objetivo deste estudo é avaliar o fenômeno e o papel 'hidrogeomorfológico' de macrófitas aquáticas livres e flutuantes no sistema fluvio-lacustre do Lago Uberaba. Este tipo de análise tem importantes implicações para a ecologia, um conceito que relaciona ecologia e hidrologia na interpretação de processos geomorfológicos (Moraes, 2009).

## 3. Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida utilizando uma série histórica de 30 anos de imagens de satélite (1984-2015), sendo mapeada e quantificada a cobertura da lâmina d'água e de macrófitas flutuantes no lago. Para a análise multitemporal foram utilizadas imagens de satélite do programa Landsat, trabalhadas em ambiente SIG. O programa Landsat é uma série de satélites ambientais voltados para a observação e monitoramento terrestre, desenvolvido pelos EUA. O primeiro satélite da série foi lançado em meados do século XX, entre as décadas de 70 e 80.

Da série de satélites do programa, foram utilizadas imagens do Landsat-5, Landsat-7, e Landsat-8, o satélite mais recente da série. Do satélite Landsat-5 usou-se imagens dos anos de 1984 a 2011, ano em que o satélite deixou de imagear. As exceções são 1999 e 2002, imagens obtidas do satélite Landsat-7 devido a melhor qualidade das imagens. Para o período de 2013 a 2015 foram utilizadas imagens do Landsat-8, mas o ano de 2012 não foi analisado devido à indisponibilidade de imagens. Embora tenham sido analisadas imagens de três satélites, comparações entre imagens podem ser feitas devido à semelhança na configuração das análises. Para

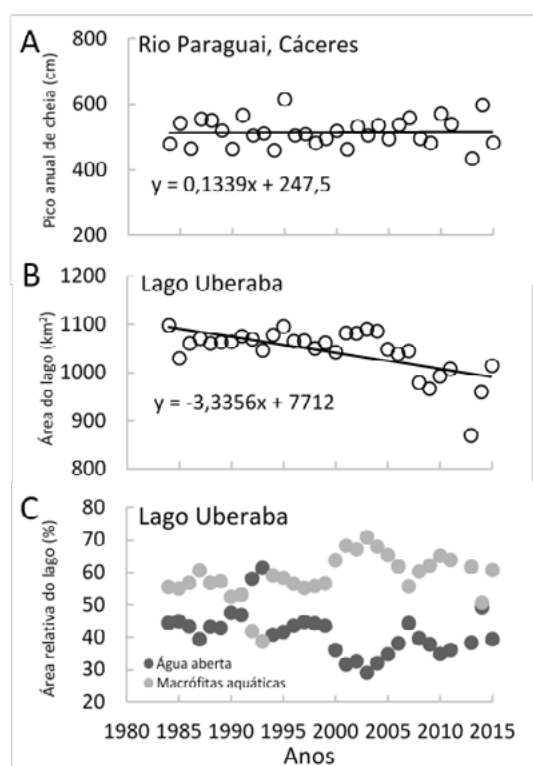
mapear a cobertura do lago anualmente, imagens do período menos chuvoso (menor nebulosidade), na estação seca no Pantanal entre 7 de julho e 19 de outubro, foram obtidas na página da USGS *Global Visualization Viewer* (GLOVIS, <http://glovis.usgs.gov/>).

O tratamento e processamento das imagens foram realizados nos SIGs SPRING versão 5.3 e QGIS versão 2.8, ambos softwares livres. Foram selecionadas imagens georreferenciadas e sem nuvens. Visando a geração do mapa de cobertura do solo, as imagens foram classificadas por segmentação (classificação supervisionada orientada a objeto) no SPRING para o mapeamento de três classes temáticas: água, macrófitas aquáticas e entorno (vegetação indefinida). Com a classificação foi possível estimar os valores de cobertura do solo de cada classe.

Dados do nível do rio Paraguai em Cáceres fornecidos pela Marinha Brasileira foram processados para obter uma série histórica dos picos anuais de cheia, similar à série histórica apresentada em Bergier e Resende (2010) que compararam a chuva de verão no Pantanal com o pico de cheia medido na estação de Ladário.

#### 4. Resultados e Discussão

A **Figura 3** apresenta os resultados obtidos a partir da análise das imagens do Landsat e de dados de picos de cheia do rio Paraguai na estação fluviométrica de Cáceres.



**Figura 3.** Comparação de variação de indicadores hidrológicos no intervalo de tempo 1984-2015: (A) nível do rio Paraguai em Cáceres-MT (nível do rio em cm) a montante do Lago Uberaba; (B) espelho d'água do Lago Uberaba; (C) áreas relativas de água aberta e de macrófitas aquáticas no Lago Uberaba.

O pico de cheia anual do Rio Paraguai em Cáceres variou de 434 a 615 cm, com ausência de tendência de aumento ou decréscimo (**Figura 3A**). O pico de cheia anual em Cáceres correlacionou-se fracamente com a área superficial total do lago ( $r = 0,142$ ;  $p = 0,445$ ). Por outro lado, a área total do lago reduziu-se anualmente em  $3,33 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$  (**Figura 3B**). A área superficial

de água aberta variou entre 317 km<sup>2</sup> e 642 km<sup>2</sup>, sendo a tendência linear de redução de 4,7 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto que a área superficial de macrófitas aquáticas variou de 405 km<sup>2</sup> a 772 km<sup>2</sup> com uma tendência linear de aumento de 1,4 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>. As variações em termos relativos das áreas de macrófitas aquáticas e de água aberta são apresentadas na **Figura 3C**.

Durante missão de campo em setembro de 2015 foram identificados baceiros (nome dado aos bancos flutuantes de macrófitas aquáticas com predomínio de gramíneas da família das ciperáceas como *Scirpus sp.*, e eventualmente alguns aguapés) no norte do Lago Uberaba (17.5° S 57.8° O) (**Figura 4**). A maioria dos bancos de camalote formados predominantemente por aguapés foi vista próximo à maior ilha do lago (Morro do Pato), a nordeste (**Figura 2**). No meio do lago havia pequenos camalotes, menores que os baceiros verificados no lago e também em outros canais de rios. A análise de imagens do satélite Landsat revelou a presença de áreas influenciadas por sedimento em suspensão, fato constatado no campo.

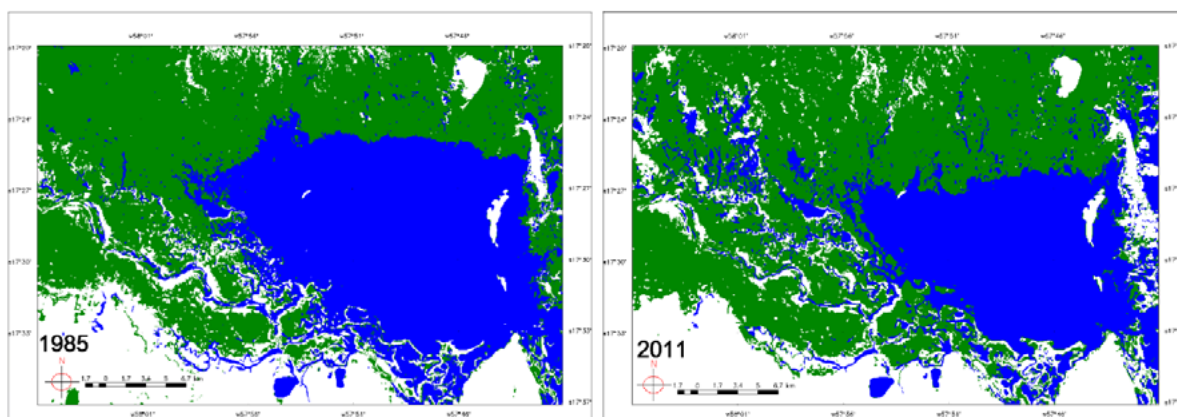


**Figura 4.** Baceiros em diferentes estádios fenológicos na margem norte do Lago Uberaba (17.46° S 57.86° O) em 3 de setembro de 2015. A vegetação é dominada por ciperáceas e apresenta eventualmente aguapés. Foto: Edward Lo.

A **Figura 5** apresenta a comparação visual das áreas mapeadas de plantas aquáticas em agosto de 1985 e em outubro de 2011. Os estudos publicados sugerem que os aguapés tropicais (*Eichhornia sp.*) originários da América do Sul sejam capazes de contribuir com uma deposição orgânica de até 10 cm ano<sup>-1</sup> no estado da Flórida, EUA (Joyce, 1985 apud Anderson, 2014). Aguapés são macrófitas aquáticas, um tipo de vegetação flutuante com raízes livres em contato direto com a água (Pivari et al., 2008). No caso da Flórida, o fluxo do Rio Kissimmee foi reduzido e desviado para outros canais. Durante o período de fluxo reduzido, o aguapé invasor *E. crassipes* presente no rio provavelmente contribuiu com a maior parte do material orgânico (Anderson, 2014).

De modo geral, a área do espelho livre de água do Lago Uberaba sofreu redução de 21,4%, em grande medida devido ao avanço da cobertura de macrófitas aquáticas (**Figura 5**). Os resultados sugerem, portanto, que o avanço das macrófitas no lago deve independer da variabilidade da chuva e da descarga fluvial, considerando o nível do rio em Cáceres como um dado *proxy* de uma parte das entradas de água no lago. A **Figura 3C** sugere claramente uma tendência da área de macrófitas superar os 60% nos próximos anos ou décadas. Tendo em vista que a maior parte desse avanço é realizada por baceiros de ciperáceas, a redução verificada do espelho d'água pode representar um exemplo de processo de sucessão ecológica de vegetação r-estrategista para k-estrategista nesses ambientes hidrológicamente 'mutantes' em função dos processos

avulsivos (Assine et al., 2015a)



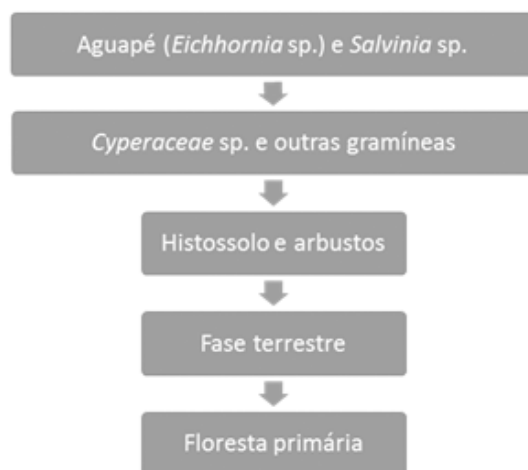
**Figura 5.** Macrófitas (verde) em 1985 e em 2011, e água (azul) no Lago Uberaba. Houve significativo avanço de macrófitas aquáticas na região norte do lago e o aumento das áreas de plantas aquáticas espectralmente classificadas como áreas terrestres ou entorno (em branco) em 2011.

A **Figura 6** apresenta um modelo teórico de sucessão ecológica em lagos de megaleques fluviais com processos avulsivos. Inicialmente, a colonização é feita por camalotes de aguapés, que incluem, além de *Eichhornia* sp., exemplares do gênero *Salvinia* sp. e outras espécies (Castro et al., 2010). Na medida em que estas plantas se desenvolvem, parte delas se desprendem e fluem livremente na forma de camalotes, e outras morrem no local (Castro et al., 2010). Espécies de ciperáceas também fazem parte do processo inicial de colonização. Essas plantas *r*-estrategistas, no entanto, tendem a formar baceiros, bancos maiores e mais agregados de plantas flutuantes capazes de crescer sobre si mesmas após morrerem. Nesse processo se dá a formação de histossolos (**Figura 7**, ver Pivari et al., 2008).

Tanto as plantas vivas como as senescentes de camalotes e baceiros têm papel relevante na retenção de sedimentos, aumentando a capacidade dos histossolos em sustentar espécies arbóreo-arbustivas (Pott e Silva, 2015). O desenvolvimento pleno de espécies arbóreo-arbustivas pode levar o sistema a um novo patamar do processo de sucessão em fase semi-terrestre ou plenamente terrestre. Nesse caso, o clímax sucessional dá origem a uma vegetação lenhosa e, portanto, a transformação de um ambiente preferencialmente aquático em outro preferencialmente terrestre (**Figura 6**), embora ainda influenciado pelo pulso anual de inundação. Este processo pode ser uma das vias de formação de ilhas e corredores de florestas verificados nas planícies de inundação. Em específico ao Lago Uberaba, sua porção norte é dominada por gramíneas aquáticas flutuantes da família *Cyperaceae*. A **Figura 5** sugere que esta região se encontra nas segunda e terceira fases da sucessão ecológica evidenciada na **Figura 6**. Já sua porção a sudoeste (**Figura 2**), apresenta áreas de vegetação terrestre que podem resultar de um processo ecológico sucessional aquático-terrestre de origem avulsiva.

Vale destacar que bacias hidrográficas, no contexto da RES, possuem Zonas de Processos Funcionais (*Functional Processes Zones*, FPZ em inglês). A caracterização de uma FPZ, considerando também o conceito de *River Continuum*, leva em conta propriedades específicas locais, desde as nascentes até a foz de uma bacia de drenagem, como, por exemplo, as taxas de vazão e sedimentação, o clima, a profundidade, as espécies presentes, entre outras (Vannote et al., 1980; Thorp et al., 2006). Em geral, FPZ dispõe de funções distintas e são regidas pela escala, de modo que os arredores do Lago Uberaba na franja do leque fluvial do Rio Paraguai caracterizam um tipo de FPZ que naturalmente deve se replicar em outros leques fluviais do

Pantanal e de outras zonas úmidas análogas. Considerando o modelo de sucessão ecológica aquático-terrestre (**Figura 6**), as FPZs podem evoluir para outras FPZs em função de processos avulsivos (Assine et al., 2015a).



**Figura 6.** Modelo teórico de formação de áreas florestais terrestres em zonas úmidas, particularmente nas porções distais de leques fluviais.



**Figura 7.** Exemplo de histossolo coletado no rio Paraguai. Em grandes cheias anuais, quando baceiros se desprendem de meandros abandonados e lagos, é possível coletá-los na calha principal do Rio Paraguai. Os pantaneiros chamam de ‘batume’ os histossolos encontrados no rio. Foto: Ivan Bergier.

## 5. Conclusões

O papel das macrófitas aquáticas flutuantes na diminuição do espelho d’água no sistema fluvio-lacustre do Lago Uberaba foi verificado com o emprego de imagens históricas da série Landsat. Em aproximadamente três décadas, a área do lago diminuiu 21,4%. Com o tempo, e considerando a possibilidade de sucessão ecológica aquática-terrestre, o lago pode mudar radicalmente sua configuração, apresentando num futuro próximo mais áreas terrestres dominadas por vegetação lenhosa sobre histossolos, composta de plantas *k*-estrategistas. O aporte sedimentar e a ocupação vegetal do lago pode dar origem a novos processos avulsivos, o que pode conferir à paisagem do Pantanal um caráter continuamente mutante.



A hipótese de sucessão ecológica aquático-terrestre em sistemas fluviais distributários, descrita neste estudo, pode ajudar a melhor conceituar e entender os processos dinâmicos atuando em lagos tropicais de planícies de inundação em áreas úmidas. Novos estudos que corroborem, refutem ou melhorem esse modelo serão necessários para melhor compreender a evolução do ecossistema, com novas visitas a campo e estudos com imagens orbitais de melhor resolução espacial e espectral, ou mesmo com imagens SAR (*Synthetic Aperture Radar*).

Estudos de caráter multidisciplinar como este contribuem no esclarecimento de questões sobre a dinâmica de processos geomorfológicos na planície pantaneira. Os resultados e premissas aqui apresentadas ampliam o entendimento do papel de macrófitas aquáticas como ‘agentes geomorfológicos’ na bacia de drenagem de rios distributários, influenciando o nível trófico, a formação e a longevidade de lagos em planícies aluviais. Estudos de processos geo-ecológicos em várias escalas temporais, ligados às mudanças hidrológicas, devem contribuir também na ampliação do entendimento da evolução do Pantanal como sistema natural (McGlue et al., 2012).

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à ECOA pelo apoio logístico, por intermédio de Jocemir Antunes, e à Comissão Fulbright Brasil que, junto com a CAPES do Brasil, proporcionou recursos financeiros para este estudo em Corumbá, que envolve parceria entre pesquisadores norte-americanos e brasileiros. Este estudo teve suporte institucional da Embrapa-Pantanal, da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - Câmpus do Pantanal e da Unesp Rio Claro pelo Projeto Fapesp 2014/06889-2 (Mudanças paleo-hidrológicas, cronologia de eventos e dinâmica sedimentar no Quaternário da Bacia do Pantanal). À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul – FUNDECT, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e também pela bolsa de pesquisador (PQ2) para Aguinaldo Silva. Os autores também agradecem ao 17º Batalhão de Fronteira – Corumbá.

## 7. Referências

- Anderson, D. H. Geomorphic Responses to Interim Hydrology Following Phase I of the Kissimmee River Restoration Project, Florida. **Restoration Ecology**, v. 22, p. 367-375, 2014.
- Assine, M. L.; Macedo, H. A.; Stevaux, J. C.; Bergier, I.; Padovani, C. R.; Silva, A. Avulsive Rivers in the Hydrology of the Pantanal Wetland. Em: I. BERGIER, M. L.; ASSINE, M. L. (Ed.). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**, New York: Springer, p. 83-110, 2015a.
- Assine, M. L.; Merino, E.R.; Pupim, F. N.; Macedo, H. A.; Santos, M. G. M. The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 3, p. 475-489, 2015b.
- Assine, M. L.; Silva, A. Contrasting fluvial styles of the Paraguay River in the northwestern border of the Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, v. 113, p. 189-199, 2009.
- Assine, M. L.; Soares, P. C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, v. 114, n. 1, p. 23-34, 2004.
- Bergier, I.; Resende, E. K. Dinâmica de cheias no Pantanal do rio Paraguai de 1900 a 2009. Em: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 3., 2010, Cáceres. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2010. p. 35-43, Geopantanal 2010.
- Bergier, I.; Salis, S. M.; Miranda, C. H. B.; Ortega, E.; Luengo, C. A. Biofuel production from water hyacinth in the Pantanal wetland. **Ecohydrology Hydrobiology**, v. 12, p. 77-84, 2012.
- Buller, L. S.; Bergier, I.; Ortega, E.; Salis, S. M. Dynamic energy valuation of water hyacinth biomass in wetlands: an ecological approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 177-187, 2013.
- Castro, W. J. P.; Vianna, E. F.; Salis, S. M.; Galvani, F.; Lima, I. B. T. Composição Florística e Fauna

Associada das Ilhas Flutuantes Livres, Rio Paraguai, Corumbá, MS. Em: Simpósio Sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal, 5., 2010, Corumbá. **Anais...** Corumbá Embrapa, 2010. 4 p.

Cohen, A. S. **Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems**. New York, Oxford University Press, 2003. 525 p.

Cohen, A. S.; McGlue, M. M.; Ellis, G. S.; Zani, H.; Swarzenski, P. W.; Assine, M. L.; Silva, A. Lake formation, characteristics, and evolution in retroarc deposystems: A synthesis of the modern Andean orogeny and its associated basins. Em: Decelles, P. G.; Ducca, M. N., Carrapa, B.; Kapp, P. A., eds. Geodynamics of a Cordilleran Orogenic System: The Central Andes of Argentina and Northern Chile: **Geological Society of America Memoir** 212, p. 309-335, 2015.

Gadgil, M.; Solbrig, O. T. The Concept of r- and k-Selection: Evidence from Wild Flowers and Some Theoretical Considerations. **The American Naturalist**, v. 106, p. 14-31, 1972.

Galo, M. L. B. T.; Velini, E. D.; Trindade, M. L. B.; Santos, S. C. A. Uso do Sensoriamento Remoto Orbital no Monitoramento da Dispersão de Macrófitas nos Reservatórios do Complexo Tietê. **Planta Daninha**, v. 20, p. 7-20, 2002.

Latrubesse, E. M. Large rivers, megafans and other Quaternary avulsive fluvial systems: A potential “who’s who” in the geological record. **Earth-Science Reviews**, v. 146, p. 1-30, 2015.

Leier, A. L.; Decelles, P. G.; Pelletier, J. D. Mountains, monsoons, and megafans. **Geology**, v. 33, p. 289-292, 2005.

McGlue, M. M.; Silva, A.; Zani, H.; Corradini, F. A.; Parolin, M.; Abel, E. J.; Cohen, A. S.; Assine, M. L.; Ellis, G. S.; Trees, M. A.; Kuerten, S.; Gradella, F. S.; Rasbold, G. G. Lacustrine records of Holocene flood pulse dynamics in the Upper Paraguay River watershed (Pantanal wetlands, Brazil). **Quaternary Research**, v. 78, p. 285-294, 2012.

Moraes, L. A. F. A visão integrada da ecologia para o manejo sustentável dos ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 4, p. 676-687, 2009.

Pivari, M. O.; Pott, V. J.; Pott, A. Macrófitas aquáticas de ilhas flutuantes (baceiros) nas sub-regiões do Abobral e Miranda, Pantanal, MS, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, p. 563-571, 2008.

Pott, A.; Silva, J. S. V. Terrestrial and Aquatic Vegetation Diversity of the Pantanal Wetland. In: I. Bergier; Assine, M. L. (Ed.). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**, New York: Springer, p. 111-131, 2015.

Souza, R. C. S.; Vianna, E. F.; Pellegrin, L. A.; Salis, S. M.; Costa, M.; Bergier, I. Localização de áreas permanentes de vegetação aquática na planície de inundação do Rio Paraguai e adjacências. Em: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2010, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. 2036 p.

Thorp, J. H.; Thoms, M. C.; Delong, M. D. The Riverine Ecosystem Synthesis: Biocomplexity in River Networks Across Space and Time. **River Research and Applications**, v. 22, p. 123-147, 2006.

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.

Vianna, E. F.; Souza, R. C. S.; Buller, L. S.; Salis, S. M.; Bergier, I. Avaliação de algoritmos de processamento em batelada de imagens videográficas para a estimativa de exportação fluvial de ilhas de biomassa flutuante pelo Pantanal. Em: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. 5171 p.

Villamagna, A. M.; Murphy, B. R. Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. **Freshwater Biology**, v. 55, p. 282-298, 2010.

Weissmann, G. S.; Hartley, A. J.; Nichols, G. J.; Scuderi, L.A., Olson, M.; Buehler, H.; Banteah, R. Fluvial form in modern continental sedimentary basins: Distributive fluvial systems. **Geology**, v. 38, p. 39-42, 2010.

Zhang, Y.; Zhang, D.; Barrett, S. C. H. Genetic uniformity characterizes the invasive spread of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), a clonal aquatic plant. **Molecular Ecology**, v. 19, p. 1774-1786, 2010.