

Balanço hídrico da Bacia do Alto Paraguai por meio de dados TRMM e MOD16A2

Hudson de Azevedo Macedo¹

José Cândido Stevaux^{1,2}

Aguinaldo Silva³

Ivan Bergier⁴

1Universidade Estadual de Maringá–UEM
Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais
Av. Colombo, 5790–PEA – Sala 9 – Bloco G-90
87020-900 - Maringá - PR, Brasil
hud_azevedo@hotmail.com; josecstevaux@gmail.com

2Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS
Campus Três Lagoas - Geografia
Av. Capitão Olinto Mancini, 1662 - Caixa Postal 210
79603-011–Três Lagoas - MS, Brasil
josecstevaux@gmail.com

3Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS
Campus do Pantanal - Geografia
Av. Rio Branco, 1270 - Caixa Postal 252
79304-902 - Corumbá - MS, Brasil
aguinald_silva@yahoo.com.br

4Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Pantanal
Rua 21 de Setembro, 1880 - Caixa Postal 109
79320-900 - Corumbá - MS, Brasil
ivan.bergier@embrapa.br

Resumo. O armazenamento de água de uma bacia de drenagem determina sua segurança hídrica. A quantidade de água retida na bacia pode ser medida por meio do cálculo do balanço hídrico, definido pela entrada de água subtraída das saídas. As medidas de entrada e saída hídrica em uma bacia de drenagem são onerosas, o que torna o uso de dados de sensoriamento remoto uma ferramenta de grande impacto socioeconômico para este fim. Somado a isto, tem-se que estudos de disponibilidade hídrica com sensores orbitais são relativamente escassos para a Bacia do Alto Paraguai (BAP). Dessa forma, a partir do processamento de dados de precipitação do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) e de evapotranspiração do MODIS Global Evapotranspiration Project (MOD16), o presente trabalho traz uma estimativa do balanço hídrico da BAP com sensores orbitais. Para tanto, foi criada no ArcGIS 10 uma ferramenta no ModelBuilder. Os resultados indicam que a BAP possui um superávit hídrico anual entre 2000 e 2014, muito embora os parâmetros hídricos anuais sejam pouco correlacionados. No entanto, pode haver fenômenos atmosféricos-climáticos que maximizam a correlação entre os parâmetros hidrológicos e a anomalia de temperatura com atrasos de 2 a 5 anos, teleconexões defasadas com QBO e ENSO.

Palavras-chave: hidrologia, Pantanal, processamento de imagens, QBO, ENSO.

Abstract. Water storage in a drainage basin determines its hydric security. The quantity of water retained in the watershed can be measured by means of the water balance calculation. This balance can be defined by the input of water subtracted from the outputs. However, for the Pantanal, the measurements of water inlet and outlet are expensive, which makes the use of remote sensing data a high impact tool with sharp socioeconomic advantages. Studies of water availability with orbital sensors are relatively scarce in the Upper Paraguay Basin (BAP). Thus, this work is an attempt to estimate the BAP water balance using rainfall and evapotranspiration remote sensing data from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) and the MODIS Global Evapotranspiration Project (MOD16), respectively. For that purpose, a ModelBuilder tool was developed in ArcGIS 10. The results indicate that BAP has an annual surplus of water between 2000 and 2014, but water parameters seem weakly correlated at annual basis. However, there may be atmospheric-climatic phenomena that maximize the correlation between the hydrological parameters and the temperature anomaly with delays of 2 to 5 years, suggesting lagged teleconnections with QBO and ENSO.

Keywords: image processing, hydrology, Pantanal, QBO, ENSO.

1. Introdução

Mudanças espaço-temporais do balanço hídrico em larga escala determinam a segurança hídrica de bacias hidrográficas. O balanço hídrico é definido pela relação entre influxos de água subtraídos pela água que deixa o sistema. O saldo líquido é expresso por $\Delta S = P - ET - Q_s$ [Eq.1], em que ΔS é a mudança líquida do volume de água armazenado; P é a precipitação (V_{input}); ET é a evapotranspiração (V_{output}); e Q_s é a descarga na saída da bacia (exutório/ H_{output}).

A medição de variáveis de observação terrestre de larga escala é onerosa em bacias hidrográficas devido a dificuldades de acesso e na manutenção de equipamentos. Como resultado, os dados de sensoriamento remoto, via satélite, tornaram-se muito úteis e uma fonte confiável de dados hidrológicos da superfície terrestre. Além disso, várias bacias de drenagem no Brasil têm limitações de dados hidrológicos *in situ* e a maioria dos estudos é realizada apenas em áreas pequenas ou baseadas em abordagens simplificadas (Galdino; Clarke, 1997; Nunes et al., 2016); exceto em recente trabalho, em que todas as estações pluviométricas disponíveis foram usadas para estudar mudanças de longo prazo no Pantanal (Bergier et al., 2018).

Em geral, estudos da hidrologia da Bacia do Alto Paraguai (BAP) contam apenas com medições *in situ* de estações de medição (precipitação, cota e vazão fluvial), sendo a estação fluvial de Ladário a principal referência, já que fornece dados do nível do rio Paraguai de 1900 aos dias atuais. Exemplos de tais estudos são os desenvolvidos por Hamilton et al. (1996), Clarke et al. (2003), Prass et al. (2012) e Bergier (2013). Em outro estudo, o Modelo Linear de Mistura Espectral (Shimabukuro et al., 1998) em imagens de índice de vegetação do MODIS foi desenvolvido para estudar e quantificar a dinâmica de inundação do Pantanal (Padovani, 2010). Outros autores utilizaram modelos numéricos ou baseados em processos para simular rotas de escoamento e de vazão de água para toda a BAP por meio de interpolação de dados meteorológicos (Bravo et al., 2012; Paz et al., 2014).

Até o momento, poucas pesquisas foram realizadas no intuito de obter o balanço hídrico da BAP utilizando dados orbitais (e.g. Penatti et al., 2015). Sob essas perspectivas, o presente artigo traz novas informações para a compreensão do regime hidrológico da BAP, propondo um novo método de calcular o balanço hídrico, o qual, em linhas gerais, reflete o estado ou condição hidrológica de toda a bacia hidrográfica do Pantanal. O objetivo deste trabalho é fornecer, além de o balanço hídrico da bacia, uma ferramenta que auxilie nos cálculos de precipitação e evapotranspiração anual. A proposta é realizar o balanço hídrico (c.f. Eq.1) da bacia de drenagem do rio Paraguai com área de captura determinada em função da estação fluviométrica de Porto Murtinho (**Figura 1**).

O BAP tem seu exutório na fronteira entre o Brasil e o Paraguai, possuindo superfície de aproximadamente 600.000 km² em terras do Brasil, Bolívia e Paraguai. No Brasil, ocupa 362.376 km², dos quais 48 % estão no estado do Mato Grosso e 52 % no estado do Mato Grosso do Sul (Silva, 2010). A área da bacia delimitada neste estudo é um pouco menor, já que possui exutório a montante da foz do rio Apa: 583.798,25 km².

A BAP possui três regiões bem distintas, o Planalto, o Pantanal e o Chaco (**Figura 1**). O Planalto é uma região alta com elevação superior a 200 m e pode chegar a 1400 m de altitude. Possui drenagem bem definida e convergente localizada na porção leste e norte do BAP, quase inteiramente em território brasileiro.

O Pantanal é uma região mais baixa, localizada no centro da bacia, onde os rios inundam as planícies e alimentam um complexo sistema de drenagem distributária que inclui milhares de lagos, córregos divergentes e multicanais (*anabranching*) e áreas de inundação e escoamento sazonais. O Chaco, um sistema de drenagem endorreico ou indefinido que termina em pântanos e lagos, está localizado na fronteira oeste do Brasil e tem uma precipitação anual menor que 1000 mm.

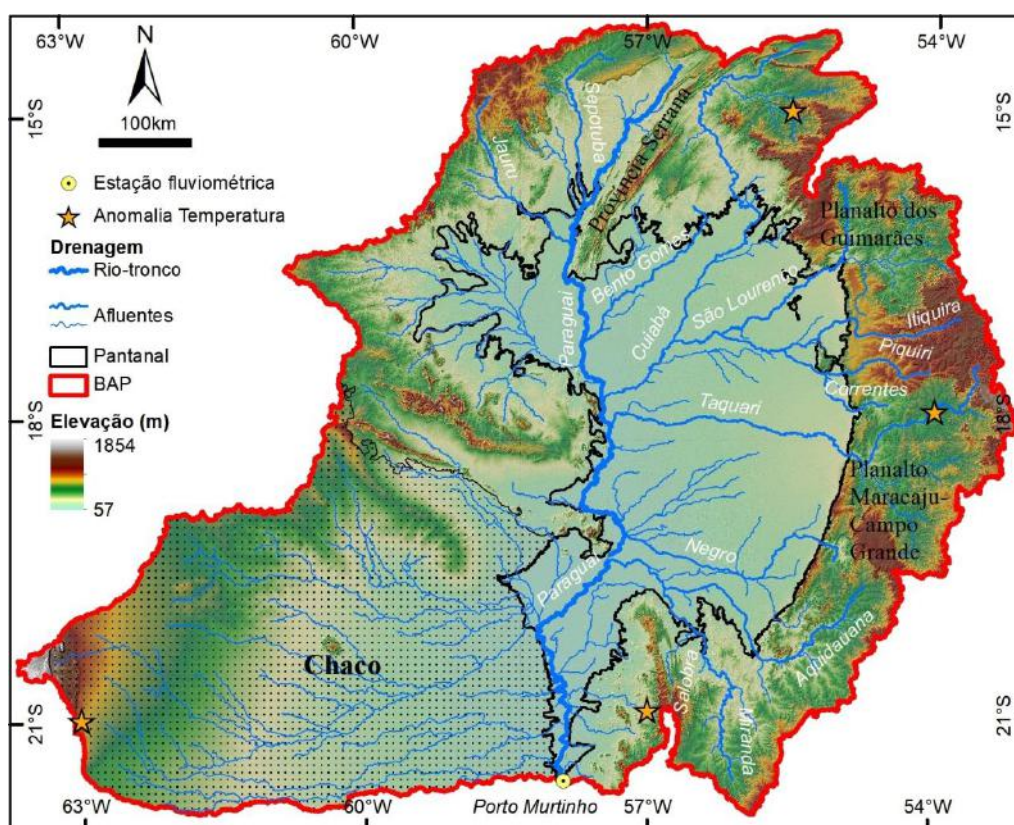


Figura 1 - Bacia de drenagem do rio Paraguai com exutório na estação fluviométrica de Porto Murtinho. Rede de drenagem e limite da bacia obtidos por meio de método automático (ESRI, 2010). Dados de elevação: SRTM 90m. Limites do Pantanal segundo Padovani (2010). Anomalias de temperatura obtidas em NOAA (2018).

2. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é estimar o balanço hídrico anual da bacia de drenagem do rio Paraguai com exutório na estação fluviométrica de Porto Murtinho. O objetivo secundário é apresentar uma nova metodologia para estimar o balanço hídrico com base em dados orbitais de precipitação e evapotranspiração nesta bacia hidrográfica.

3. Materiais e Métodos

O presente trabalho estima o balanço hídrico da bacia hidrográfica do rio Paraguai acima da estação fluviométrica de Porto Murtinho com uso de dados de precipitação (V_{input}), evapotranspiração (V_{output}) e descarga fluvial (H_{output}). Dados de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) foram utilizados para computar V_{input} (Huffman et al, 2007). A evapotranspiração na bacia foi estimada por meio de dados MOD16A2 do *Numerical Terradynamic Simulation Group* – NTSG (Mu et al, 2007; Mu et al, 2011; Mu et al, 2013). A precipitação foi estimada com uso do produto TRMM-3B43, o qual apresenta valores de taxa de precipitação mensal. Dados de taxa de precipitação do produto 3B43 foram convertidos em precipitação acumulada (km^3) por meio da expressão $P_{Acc} = (P_{tx} \times D \times h \div 1 \times 10^6) \times A$ [Eq.2], onde P_{Acc} é a precipitação acumulada em quilômetros cúbicos (km^3); P_{tx} é a taxa de precipitação dada pelo produto 3B43; D é o número de dias do mês a ser calculado; h é o número de horas que um dia possui (24 horas); A é a área cada pixel do produto 3B43 (tamanho da célula em X vezes tamanho da célula em Y).

Os produtos MOD16A2 do NTSG foram convertidos em km^3 para cada mês em cada ano. Os valores dos pixels foram então integrados para obter a evapotranspiração anual da bacia. Para realização, com sucesso, dos cálculos de balanço hídrico da BAP, uma ferramenta (modelo) foi desenvolvida por intermédio do ArcGIS ModelBuilder 10 (ESRI, 2010). Essa ferramenta está disponível para ser utilizado em outras regiões do mundo (ver Material Complementar). As **Figuras 2 e 3** apresentam uma simplificação do fluxograma das ferramentas e as integrações dos dados que fornecem os mapas de precipitação e evapotranspiração anual.

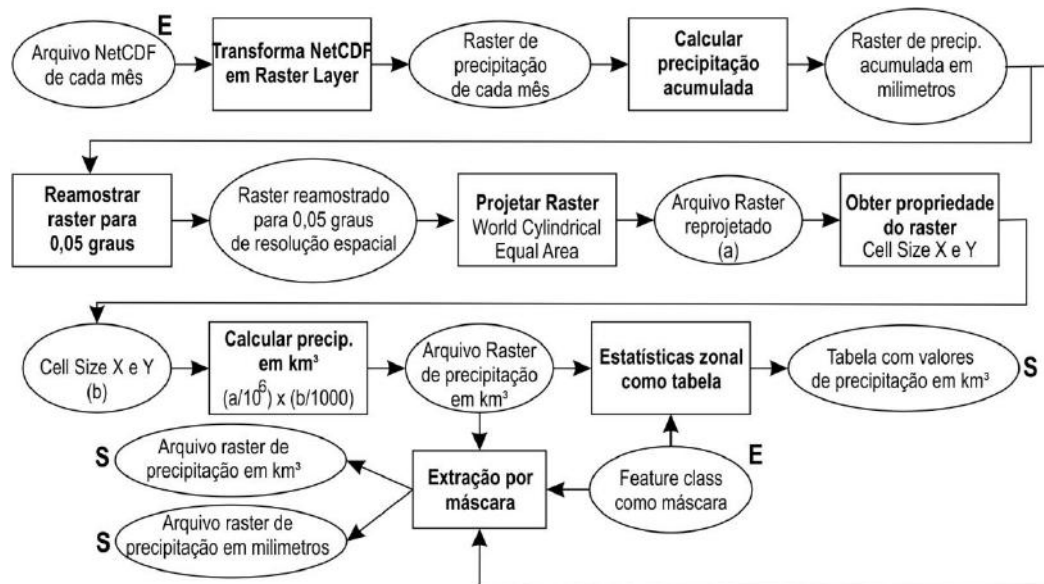


Figura 2 - Fluxograma do modelo para cálculo de precipitação anual. Os retângulos indicam processos e as elipses produtos. As letras “E” e “S” significam parâmetro de entrada e de saída, respectivamente.

A descarga fluvial da bacia (H_{output}) foi determinada com uso dos dados de vazão da estação de Porto Murtinho, calculados pela curva-chave disponível no site da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018). Gráficos de descargas médias mensais foram construídos a partir de descargas calculadas na estação. O volume total de saída de água da bacia foi calculado como equivalente à área abaixo da vazão média mensal. Os meses foram

transformados em segundos e a área foi calculada pelo método da matriz de Gauss: $Area = 1/2 |x_1y_2 + x_2y_3 + \dots + x_{n-1}y_n + x_ny_1 - x_2y_1 - x_3y_2 - \dots - x_ny_{n-1} - x_1y_n|$ [Eq.3]; em que x é mês expresso em segundos e y é a vazão expressa em m³/s.

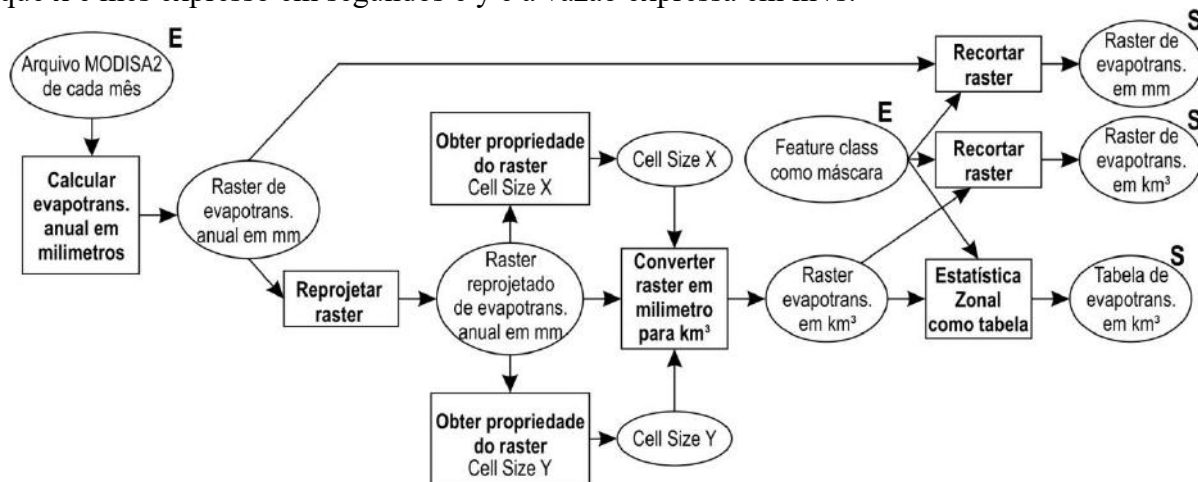


Figura 3 - Fluxograma do modelo de cálculo de evapotranspiração anual. Os retângulos indicam processos e as elipses produtos. As letras “E” e “S” significam parâmetro de entrada e de saída, respectivamente.

4. Resultados e Discussão

Os valores de precipitação, evapotranspiração, descarga e balanço hídrico anual para os quinze anos medidos, entre 2000 e 2014, estão discriminados na **Tabela 1** e **Figura 6**. As distribuições espaciais da precipitação anual estão apresentadas na **Figura 4**. As distribuições espaciais da evapotranspiração anual estão apresentadas na **Figura 5**.

A amplitude de variação interanual da precipitação na BAP foi de 282,5 km³ (máx em 2014: 874,6 e mín em 2002: 592,1). A precipitação anual média na BAP no período foi de 730 km³ ($\sigma = 70,4$). A amplitude de variação interanual da evapotranspiração foi de 279,1 km³ (máx em 2014: 515,2 e mín em 2002: 236,1). A evapotranspiração anual média na BAP foi de 381,8 km³ ($\sigma = 105,1$). Já a amplitude de variação interanual da descarga da bacia foi de 40,8 km³ (máx em 2014: 89,3 e mín em 2009: 48,5). A descarga anual média foi de 66,2 km³ ($\sigma = 11,9$). Em média, a evapotranspiração anual foi 48 % menor que a precipitação anual e a descarga anual foi 91 % e 81 % menor que a precipitação e a evapotranspiração, respectivamente.

Nos quinze anos analisados, o balanço hídrico da BAP foi sempre positivo, indicando que a bacia apresentou superávit hídrico, mesmo nos anos mais secos, como no caso de 2010 (+54,61 km³). O balanço hídrico da BAP permaneceu relativamente constante (~400 km³, **Figura 6**) nos sete primeiros anos analisados. A partir de 2007, a bacia teve uma redução do seu armazenamento hídrico, alcançando o menor valor em 2010. No ano seguinte, o armazenamento elevou-se para ~200 km³, mantendo-se assim por dois anos consecutivos e crescendo mais um pouco em 2014 (~70 km³). A diminuição do armazenamento na BAP é explicada principalmente pelo aumento da evapotranspiração anual a partir de 2007. Esse aumento da ET também foi reconhecido no trabalho de Penatti et al. 2015, que encontrou, para o Pantanal, um acréscimo de 19 mm/mês na média da ET a partir de novembro de 2006.

Para toda a BAP, apesar de a evapotranspiração anual apresentar baixa correlação com a precipitação anual ($r=0,236$), os mapas de distribuição espacial desses dois parâmetros mostram que há uma tendência geral da primeira ser maior em regiões onde a precipitação é maior e vice-versa. Por exemplo, a região do Chaco é a que apresenta as menores taxas anuais

de precipitação e evapotranspiração. A correlação entre esses dois parâmetros hídricos da BAP já foi demonstrada no trabalho realizado por Penatti et al. (2015), em que foram analisados valores mensais, ao invés de anuais.

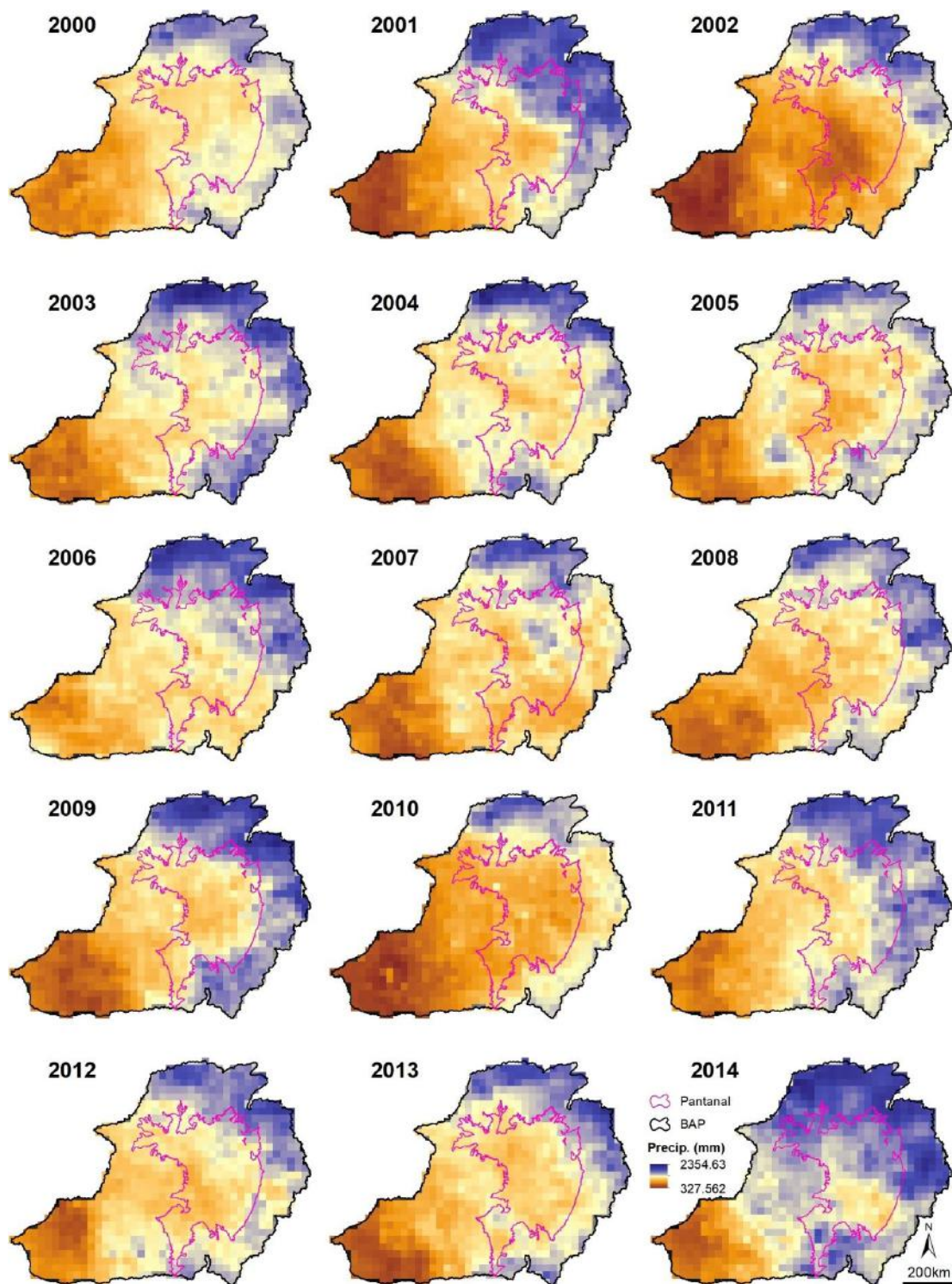


Figura 4 - Precipitação anual em milímetros.

Outra informação que podemos extrair dos mapas é o bem conhecido padrão de precipitações na bacia, em que estas são maiores nos planaltos e menores no Pantanal e no

Chaco. Essa distribuição irregular da chuva em toda BAP é fortemente influenciada pelas diferenças no relevo regional que criam um tipo de efeito orográfico (Valeriano et al., 2012; Bergier, 2013) também conhecido como “ventos Fohn ou Foehn” (Elvidge; Renfrew, 2016).

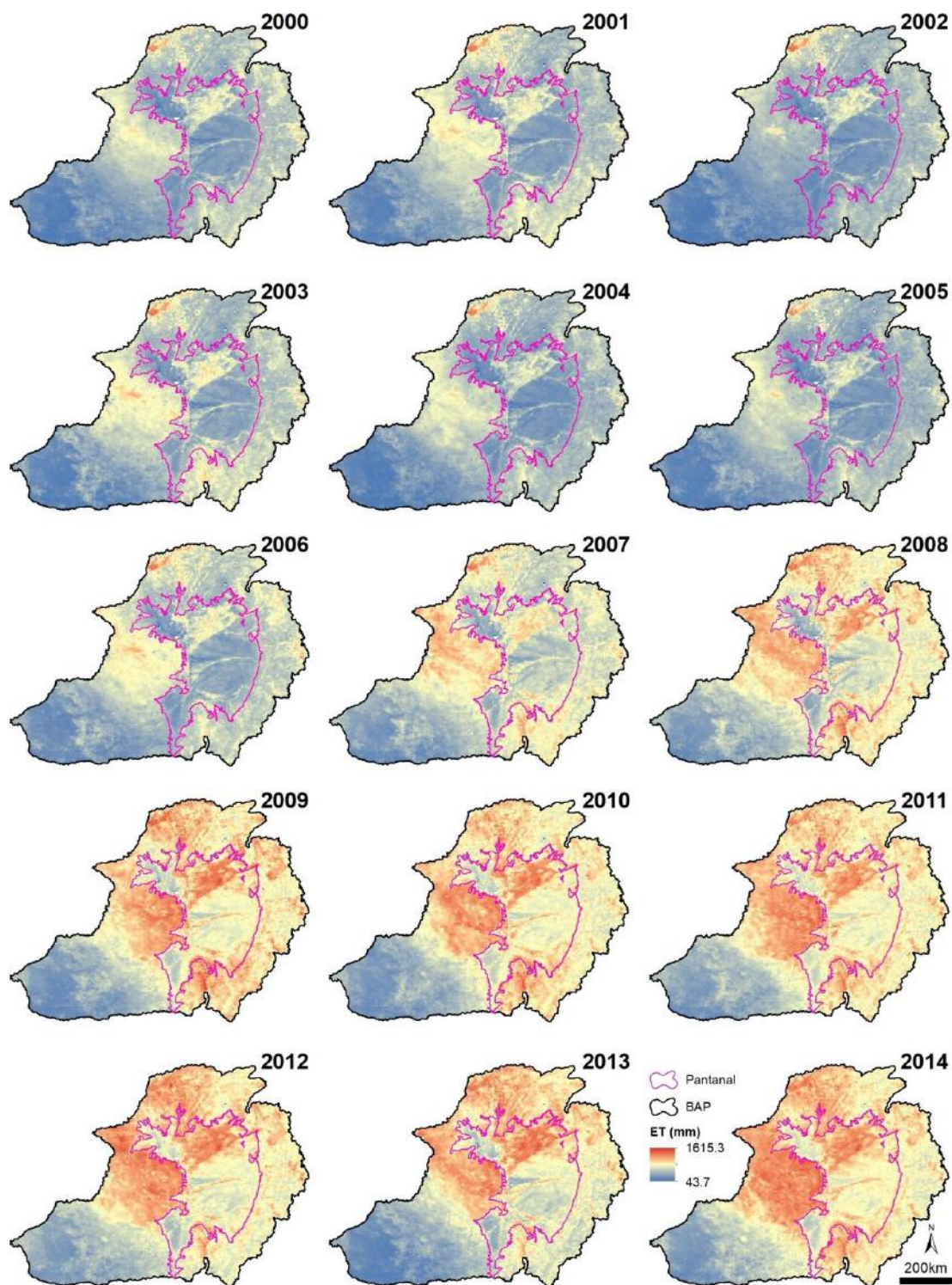


Figura 5 - Evapotranspiração anual em milímetros.

Alguns anos da série analisada apresentaram particularidades. Em 2002, por exemplo, a ET anual foi menor que nos anos anteriores, mas a precipitação foi bem menor, com uma descarga razoavelmente elevada. O ano de 2010 foi particularmente seco, provavelmente pela

baixa taxa de precipitação e, principalmente, pela elevada taxa de ET anual. A BAP recupera seu armazenamento hídrico a partir de 2011 pela elevação das taxas de precipitação, apesar do aumento da taxa de evapotranspiração anual. Conforme pode ser observado na **Figura 6**, o aumento da ET anual não é significativamente correlacionado ao aumento da anomalia de temperatura (AT) na bacia ($r=0,290$). Todavia, a média de AT no período de 2007 a 2014 elevou-se $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$ em relação a 2000-2006 (**Figura 6**), sugerindo uma possível defasagem entre o aumento da temperatura e a ET.

Tabela 1 - Balanço hídrico da BAP.

Ano	Precipitação (km ³)	Evapotranspiração (km ³)	Descarga (km ³)	Balanço (km ³)
2000	721,9	274,0	63,1	384,8
2001	753,8	297,5	53,1	403,1
2002	592,1	236,1	68,4	287,6
2003	784,3	305,0	67,6	411,7
2004	740,1	260,1	63,1	417,0
2005	718,5	254,8	54,5	409,2
2006	783,6	323,2	73,8	386,7
2007	685,1	397,6	72,7	214,7
2008	711,7	457,5	75,4	178,8
2009	751,1	489,1	48,5	213,5
2010	597,2	478,0	64,6	54,6
2011	775,1	495,0	85,7	194,4
2012	742,7	493,8	51,4	197,4
2013	720,2	449,8	62,0	208,4
2014	874,7	515,2	89,3	270,2

Em adição, a análise de correlação cruzada (defasagem) entre AT e os demais parâmetros hídricos sugerem que as correlações são maximizadas com atrasos de tempo de 2 e de 5 anos da temperatura (especialmente para P e ET – **Figura 6**). Este resultado pode sugerir uma eventual teleconexão da climatologia do Pantanal com fenômenos atmosféricos como a *Quasi Biannual Oscillation* (QBO) e *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), respectivamente (Yuan et al., 2014). Contudo, serão necessários novos estudos com séries mais longas de dados para se avaliar essa hipótese.

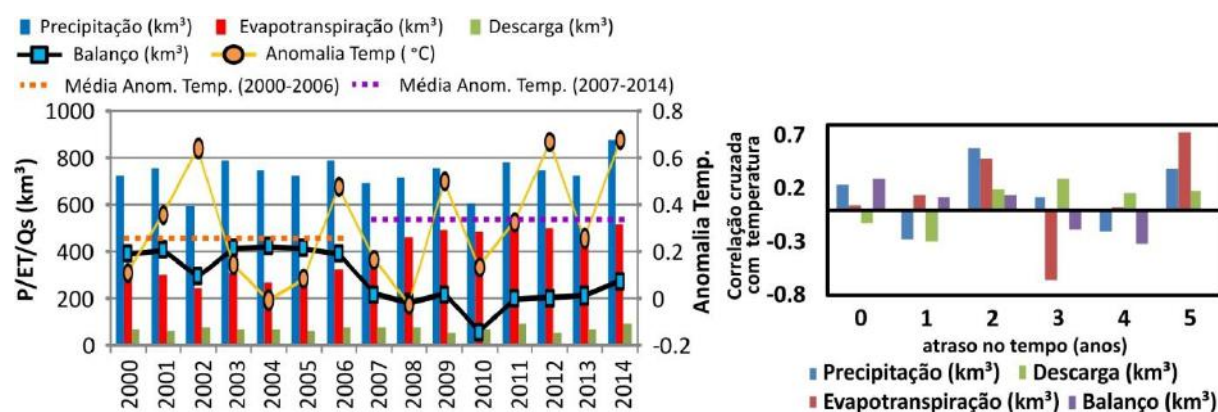


Figura 6 - Parâmetros do balanço hídrico da BAP comparados com variações de temperatura. Dados de anomalia de temperatura obtidos em <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series>. Para localização dos pontos medidos ver Figura 1.

5. Conclusão

Estudos sobre o balanço hídrico, apesar de escassos, são de suma importância para a compreensão da dinâmica hidrológica e o planejamento de uma bacia hidrográfica. O presente trabalho demonstra que a BAP é uma bacia de drenagem que pode apresentar superávit hídrico.

Os modelos construídos por meio do *ModelBuilder* do ArcGIS 10 (*TRMM Annual Precipitation; MOD16A2 Annual Evapotranspiration*) permitiram estimar com acurácia a precipitação e a evapotranspiração anual da BAP. Com estas ferramentas é possível calcular a precipitação e evapotranspiração anual de qualquer região da Terra, coberta e revisitada por estes sensores orbitais. A otimização nos cálculos se dá principalmente pelo fato de os modelos concatenarem várias etapas de cálculos dos dados utilizados (TRMM e MODIS), que de outra forma (manualmente) demandaria muito tempo, além dos riscos de erros nas várias etapas de cálculo.

Os valores de precipitação anual não apresentaram correlação com os valores de evapotranspiração, talvez pelo baixo número de anos medidos (2000 a 2014). Outra constatação importante é que os valores de descarga da bacia também não se correlacionam bem com os outros dois parâmetros medidos neste trabalho.

Os valores de balanço hídrico mostram que há uma tendência geral de diminuição da quantidade de água armazenada na BAP no intervalo de tempo avaliado. Esta tendência pode resultar do aumento da evapotranspiração anual na bacia, que a partir de 2007 alcançou valores próximos a 400 km³/ano. Não foi possível determinar com exatidão a causa para o aumento da evapotranspiração na BAP a partir de 2007, mesmo quando considerada mudanças na anomalia da temperatura na bacia. Entretanto, a análise de correlação cruzada sugere que tanto esse parâmetro quanto a precipitação apresentam maiores correlações com a temperatura para defasagens de 2 a 5 anos, possivelmente devido a fenômenos climático-atmosféricos como QBO e ENSO, respectivamente, o que deve ser futuramente abordado e avaliado.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP 2014/06889-2), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 443437/2014-9), a Embrapa Macroprograma (SEG 03.17.00.047.00.00) e a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul – FUNDECT (TO: 083/2016) pelo apoio financeiro à nossas pesquisas na Bacia do Pantanal; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão de bolsa ao primeiro (140334/2015-7; 169329/2017-8) e ao segundo autor (304863/2015).

7. Material complementar

A ferramenta para calcular precipitação e evapotranspiração anual está disponível em <https://1drv.ms/u/s!ArdUczeHp2hZwEdibH7fkGCPyiAT>. Os arquivos MOD16A2 estão disponíveis em <https://1drv.ms/f/s!ArdUczeHp2hZhyqUeKy4Mw9vMkOF>. Os arquivos TRMM estão disponíveis em <https://1drv.ms/f/s!ArdUczeHp2hZhyz41qJjn-PHEEb5>. Um tutorial para utilização da ferramenta está disponível em <https://1drv.ms/b/s!ArdUczeHp2hZyHLr1160uV4BuE5f>.

8. Referências

- ANA. **Sistema de Informação Hidrológica**. 2018. Disponível em: www.hidroweb.ana.gov. Acesso em 01/06/2018.
- Bergier, I. Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. **Science of The Total Environment**, v.463-464, p. 1060-1066, 2013.
- Bergier, I.; Assine, M. L.; McGlue, M.; Alho, C.; Silva, A.; Guerreiro, R. L.; Carvalho, J.C. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Science of The Total Environment**, v. 619-620, p. 1116-1125, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.163.
- Bravo, J.; Allasia, D.; Paz, A.; Collischonn, W.; Tucci, C.. Coupled hydrologic–hydraulic modeling of the Upper Paraguay River Basin. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.17, p. 635-646, 2012. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000494.
- Clarke, R. T.; Tucci, C. E.; Collischonn, W.. Variabilidade temporal no regime hidrológico da bacia do rio Paraguai. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, p. 201-211, 2003.
- Elvidge, A. D.; Renfrew, I. A.. The causes of Foehn Warming in the lee of mountains. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 97, n. 3, p. 455-466, 2016. DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00194.1.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS 10**. Redlands, California, United States of America, 2010.
- Galdino, S.; Clarke, R. T.. **Probabilidade de ocorrência de cheia no Rio Paraguai, em Ladário, MS Pantanal**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1997.
- Hamilton, S. K.; Sippel, S. J.; Melack, J. M.. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. **Archiv fur Hydrobiologie**, v. 137, p. 1-23, 1996.
- Huffman, G. J.; Adler, R. F.; Bolvin, D. T.; Gu, G.; Nelkin, E. J.; Bowman, K. P.; Bowban, K.P.; Hong, Y.; Stocker, E.F.; Wolff, D.B.. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, p. 38-55, 2007. DOI: 10.1175/JHM560.1.
- Mu, Q.; Heinsch, F. A.; Zhao, M.; Running, S. W.. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. **Remote Sensing of Environment**, v.111, p. 519-536, 2007. DOI:10.1016/j.rse.2007.04.015.
- Mu, Q.; Zhao, M.; Running, S. W.. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 1781-1800, 2011. DOI:10.1016/j.rse.2011.02.019.
- Mu, Q.; Zhao, M.; Running, S. W.. **MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3) - Algorithm Theoretical Basis Document: Collection 5**. Missoula: NASA Headquarters, 2013.
- NOAA. **National Centers for Environmental information, Climate at a Glance: Global Time Series**, published May 2018, retrieved on June 13, 2018 from <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/>
- Nunes, M. C.; Neves, S. A.; Neves, R.; Nery, J. T.. Comportamento da precipitação pluvial no município de Cáceres Pantanal Mato-Grossense no período de 1971 a 2011. **Científica**, v. 44, n. 3, p. 271-278, 2016.
- Padovani, C. R.. **Dinâmica das Inundações do Pantanal**. Piracicaba: USP/ESALQ, 2010.
- Paz, A. R.; Collischonn, W.; Bravo, J. M.; Bates, P.; Baugh, C.. The influence of vertical water balance on modelling Pantanal (Brazil) spatio-temporal inundation dynamics. **Hydrological Processes**, v. 28, p. 3539-3553, 2014. DOI: 10.1002/hyp.9897.
- Penatti, N. C.; Almeida, T.S.R.; Ferreira, L.G.; Arantes, A.E.; Coe, M.T.. Satellite-based hydrological dynamics of the world's largest continuous wetland. **Remote Sensing of Environment**, v. 170, p. 1-13, 2015. DOI: 10.1016/j.rse.2015.08.031.
- Prass, T. S.; Bravo, J. M.; Clarke, R. T.; Collischonn, W.; Lopes, S. R.. Comparison of forecasts of mean monthly water level in the Paraguay River, Brazil, from two fractionally differenced models. **Water Resources Research**, v. 48, p. 1-13, 2012. DOI:10.1029/2011WR011358.

Shimabukuro, Y. E.; Novo, E. M. L. M.; Ponzoni, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1729-1737, 1998. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/viewFile/5057/7206>.

Silva, A. **Geomorfologia do megaleque do rio Paraguai, Quaternário do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. Tese de Doutorado (Geociências e Meio Ambiente) – UNESP Rio Claro-SP, 2010.

Valeriano, M. d.; Salvi, L. L.; Aragão, J. R.. Relações entre a distribuição da precipitação e o relevo da bacia do alto Paraguai. In: *Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, 4., 2012, Bonito-MS. **Anais...** São José dos Campos-SP: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2012. p. 289-298.

Yuan, W.; Geller, M. A.; Love, P. T. ENSO influence on QBO modulations of the tropical tropopause. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 140, p. 1670-1676, 2014. DOI: 10.1002/qj.2247.