

Estimativa de áreas inundadas em grandes bacias com o modelo MGB-IPH e pacote de geoprocessamento IPH-HydroTools

Ayan Santos Fleischmann¹
Vinícius Alencar Siqueira¹
Fernando Mainardi Fan¹
Paulo Rógenes Monteiro Pontes¹
Pedro Frediani Jardim¹
Vitória Ache Lopes¹
Mino Viana Sorribas¹
Rodrigo Cauduro Dias Paiva¹
Walter Collischonn¹

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS/IPH
Caixa Postal 91501-970, Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, Brasil
ayan.fleischmann@gmail.com, vinisiquera@gmail.com, fernando.fan@ufrgs.br,
p.rogenes@gmail.com, pedro.fjar@gmail.com, varlopes@gmail.com,
mino_vs@hotmail.com, rodrigocdpaiva@gmail.com, waltercollischonn@gmail.com

Abstract. Large floodable areas provide important environmental services worldwide, including regulation of climate and floods. Thus, comprehension of their temporal and spatial variation is important to foster understanding of possible anthropic and natural alterations. Given their large scale extent and remoteness, techniques such as remote sensing and hydrological modelling arise as important tools for such studies. In this work, we present four study cases of application of MGB-IPH model together with IPH-Hydro Tools geoprocessing package in large basins with important flooded areas: Bananal Island (Araguaia river), Purus river and Patos Lagoon in South America and Niger Inland Delta in Africa. The MGB-IPH hydrological model was coupled to the local inertial flow routing method, an simplification of the full 1D hydrodynamic equations that allows the simulation of backwater effects and floodplain attenuation in rivers. For validation, remote sensing estimates of flooded areas were obtained from multi-satellite products, including optical (MODIS and LANDSAT) and radar (JERS-1) images. The model was able to represent large-scale variation of water level and flooding extent, where results analyses indicate a good representation of hydrodynamic and hydrological processes within these areas. Such studies are important for highlighting the importance of coupling remote sensing and modeling estimates to increase our predictability and comprehension of such areas.

Palavras-chave: flooded areas, hydrological modeling, large scale hydrology, MGB-IPH, áreas inundáveis, modelagem hidrológica, hidrologia de grande escala, MGB-IPH.

1. Introdução

Grandes áreas inundáveis prestam diversos serviços ambientais, como fonte e sumidouro de carbono, regulação de clima, áreas de amortecimento de cheias, fornecimento de produtos animais e vegetais e manutenção de biodiversidade (Fan e Miguez-Macho, 2011; Junk et al., 2015). Exemplos importantes destas áreas estão distribuídos pelo globo, como as planícies de inundação amazônicas e as grandes áreas alagáveis do Pantanal na América do Sul e os deltas internos do Niger e do Okavango na África, cuja relevância para processos em escalas globais como regulação de clima é enorme. No entanto, muitas destas regiões são escassas em termos de dados observados *in situ*, seja pelo difícil acesso ou pela grande área coberta, e para o monitoramento e compreensão de processos hidrológicos nestas áreas torna-se fundamental o emprego de técnicas como sensoriamento remoto e modelagem matemática de grande escala (Schumann et al., 2009).

Nestas regiões, modelos hidrológicos distribuídos de grande escala são importantes ferramentas, dada a possibilidade de avaliação de dinâmicas de inundações e impactos de possíveis alterações destas, como construção de barragens e mudanças climáticas. Por outro lado, estimativas de áreas inundadas com técnicas de sensoriamento remoto são importantes para uma melhor validação do modelo, além de serem usualmente menos suscetíveis a incertezas. Exemplos incluem o uso de imagens de radar SAR (e.g., Melack e Hess, 2010) e micro-ondas passivo (e.g., Hamilton et al., 2002) e sensores ópticos como MODIS (e.g., Bergé-Nguyen e Crétaux, 2015) e LANDSAT para delineamento de extensão e variação temporal de áreas inundadas. Idealmente, utilizar produtos de sensoriamento remoto em conjunto com estimativas de modelos, com o uso de, por exemplo, técnicas de assimilação de dados, levando em consideração as incertezas associadas a cada procedimento, tende a gerar melhores estimativas de áreas inundadas e sua variação espaço-temporal.

O desenvolvimento de modelos matemáticos destas grandes áreas inundáveis com satisfatória representação física dos processos hidrológicos exige certa complexidade. Por exemplo, em situações onde efeitos de remanso não podem ser desprezados e planícies de inundação governam o escoamento em rios, como é bastante comum na Amazônia (Paiva et al., 2013) e no Pantanal (Paz, 2011), a propagação de vazão não pode ser tratada através de simplificações usualmente empregadas em modelos de grande escala, como o método de Muskingum-Cunge e de onda cinemática. Este é o caso do modelo MGB-IPH (Collischonn et al. 2007; Fan e Collischonn, 2014), para o qual recentemente foi incorporada simulação hidrodinâmica de rios com através de uma abordagem inercial de propagação de vazões para a simulação de planícies de inundação (Pontes et al. 2015) em conjunto com o pacote de ferramentas de geoprocessamento IPH-HydroTools (Siqueira et al., 2016), permitindo a estimativas de áreas inundáveis em grandes bacias hidrográficas. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar o uso do modelo MGB-IPH com propagação hidrodinâmica de vazões para estimativa de dinâmica de áreas inundadas de grandes planícies de inundação, focando na complementaridade existente entre estimativas por técnicas de modelagem e de sensoriamento remoto.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Áreas de estudo

Quatro grandes áreas inundáveis foram simuladas neste estudo com o modelo MGB-IPH (Figura 1): (i) Ilha do Bananal, no médio rio Araguaia (TO); (ii) Planícies de inundação do rio Purus (AM); (iii) Delta Interno do rio Niger (Mali, África); (iv) bacia da Laguna dos Patos (RS). Estas regiões apresentam características particulares de dinâmica de cheias, como as inundações devido a chuva local na Ilha do Bananal (Valente et al., 2014), as grandes áreas inundáveis ocasionadas por extravasamento da calha fluvial no rio Purus (Melack e Hess, 2010), a existência de uma grande área plana no meio do deserto do Sahel, como é o caso do Delta Interno do Niger (Mahé et al., 2009), ou ainda o sistema fluvial-lacustre da Laguna dos Patos, onde processos de *feedback* entre a lagoa e os corpos hídricos adjacentes comandam as dinâmicas de inundações (Möller et al., 2001). Assim, este estudo visa a avaliar a aplicação do modelo MGB-IPH nestas regiões contrastantes, comparando as estimativas de áreas inundadas obtidas com produtos de sensoriamento remoto e buscando ampliar a compreensão dos distintos processos hidrológicos e hidrodinâmicos existentes nestas áreas.

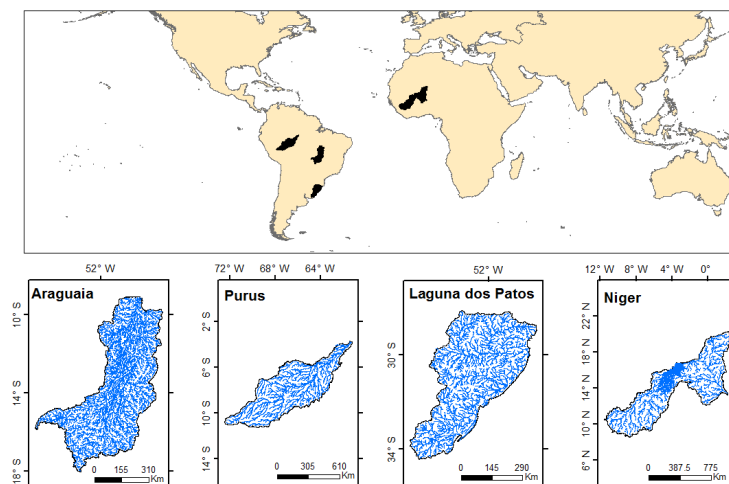


Figura 1. Bacias do Araguaia, Purus, Laguna dos Patos no Brasil, e Niger na África.

2.2 Modelo MGB-IPH

O MGB-IPH (Collischonn et al. 2007) é um modelo hidrológico semi-distribuído do tipo chuva-vazão, desenvolvido para simulação de grandes bacias hidrográficas. Tem sido aplicado em diversas regiões da América do Sul e de outros continentes, envolvendo bacias de clima tropical, temperado e semi-árido (Collischonn et al, 2007; Paz et al., 2011; Paiva et al, 2013; Pontes et al., 2015). De modo geral, a bacia hidrográfica é discretizada em minibacias, e em cada uma é calculado um balanço vertical de água no solo (interceptação vegetal, evapotranspiração, precipitação, infiltração no solo e geração de escoamento), de onde os volumes gerados são transferidos para reservatórios lineares dentro de cada minibacia e então para a rede de drenagem. Por fim, as vazões no rio são propagadas com métodos como Muskingum-Cunge linear (tradicionalmente) ou Inercial (recentemente desenvolvido).

Fane e Collischonn (2014) apresentaram o acoplamento do modelo com o software SIG MapWindow®, enquanto Pontes et al. (2015) introduziram uma nova versão do modelo em que o modelo de propagação inercial é utilizado para cálculo de fluxos em rios e armazenamento de água em planícies de inundação. A propagação inercial é uma simplificação da equação hidrodinâmica completa para escoamento unidimensional em rios, porém permite a estimativa não só de vazões em rios como também de níveis de água, a partir dos quais são estimadas áreas inundadas de forma distribuída ao longo da bacia. Neste estudo, o modelo MGB-IPH com a propagação inercial foi aplicado às quatro bacias descritas no item 2.1, e as estimativas de áreas inundadas foram avaliadas em termos de distribuição espacial e temporal e validadas com produtos de sensoriamento remoto. As quatro aplicações seguiram a metodologia de Pontes et al. (2015), sendo o modelo calibrado para vazões observadas.

2.3 IPH-Hydro Tools

O pacote de ferramentas IPH-HydroTools (Siqueira et al., 2016) foi desenvolvido para realizar etapas de geoprocessamento necessárias para a aplicação do modelo MGB-IPH, envolvendo delimitação de bacia e minibacias (discretização da bacia), extração de rede de drenagem e atributos topográficos das planícies de inundação (e.g., curva cota-área de cada minibacia) e definição de parâmetros topológicos da bacia (e.g., comprimento e declividade de trechos de rio, área de minibacias, porcentagem de uso e tipo de solo de cada minibacia).

2.4 Dados de entrada

Para as quatro aplicações do modelo foi utilizado o MDE SRTM, com resolução espacial variando de acordo com o tamanho da bacia. Além disso, diferentes produtos de precipitação foram utilizados como forçante do modelo a partir de ferramentas disponíveis na interface do

MGB-IPH: TRMM (estimativa de satélite; Huffman et al., 2007), MERGE (combinação entre satélite e dados in-situ; Rozante et al. 2010) e dados de pluviômetro in-situ da Agência Nacional de Águas (ANA). Parâmetros do modelo são relacionados a Unidades de Resposta Hidrológica (URH), que consistem em regiões homogêneas de tipo e ocupação do solo, definidas tipicamente via combinação de imagens de satélite (e.g., mapa de URHs da América do Sul, Fan et al., 2015). A Tabela 1 descreve os principais dados das simulações realizadas.

2.5 Validação com sensoriamento remoto

As estimativas de áreas inundadas foram validadas com produtos de sensoriamento remoto (sensores ópticos e imagens de radar), conforme descrição na Tabela 1. Estimativas derivadas de outros estudos estão referenciadas na tabela.

Tabela 1. Bacias hidrográficas simuladas e informações relativas às simulações, incluindo produtos de sensoriamento remoto utilizados para validação das áreas inundadas.

	Área da bacia	Precipitação	Clima	Período	MDE	Validação
Ilha do Bananal (Bacia do Araguaia)	380.000 km ²	Observação <i>In situ</i> (ANA)	Normais Climatológicas CRU	2000-2010	SRTM 250 m (Farr et al., 2007)	MODIS; Hamilton et al. (2002)
Rio Purus	380.000 km ²	MERGE	Normais Climatológicas CRU	2000-2010	Bare-Earth SRTM 450 m <i>upscaled</i> (O'Loughlin et al., 2016)	JERS-1 SAR (Melack e Hess, 2010)
Delta Interno Niger	657.000 km ²	TRMM	Normais Climatológicas CRU	2000-2010	SRTM 250 m (Farr et al., 2007)	MODIS (Bergé-Nguyen e Crétaux, 2015); LANDSAT 8
Laguna dos Patos	180.000 km ²	Observação <i>In situ</i> (ANA)	Normais Climatológicas INMET	1970-2010	SRTM 90 m e Batimetria da Laguna (carta náutica)	LANDSAT 5; produto Global Inland Water (Feng et al., 2015)

3. Resultados e Discussão

3.1 Extensão de áreas inundadas

A Figura 2 apresenta as estimativas de áreas inundadas no período de águas altas para as áreas da Ilha do Bananal (Rio Araguaia), rio Purus, Laguna dos Patos e Delta Interno do Niger com o modelo MGB-IPH e produtos de sensoriamento remoto. Como descrito na Tabela 1, diferentes produtos foram utilizados para avaliação das áreas inundadas, incluindo composição colorida em cor natural de imagens MODIS e LANDSAT 5 e 8 e classificação de imagens de radar (Imagem SAR - Synthetic Aperture Radar, da missão JERS-1; produto desenvolvido para toda a Amazônia por Melack e Hess, 2010). Comparação visual entre as estimativas de modelo e satélite indicam uma boa representação das áreas inundáveis.

Contudo, diversas incertezas estão associadas à estimativa de extensão de áreas inundadas com modelagem hidrológica, desde a definição de atributos topográficos das planícies de inundação (e.g., o MDE SRTM possui erros da ordem de alguns metros; eventuais “stripes” existentes no MDE) e características hidráulicas de rios (e.g., parâmetros como largura e profundidade de calha cheia de rios que devem ser fornecidos para todos os trechos de rio) até as próprias hipóteses adotadas nas equações do modelo (e.g., mesmo nível d'água no rio e nas planícies de inundação) e os dados de entrada destes (e.g., precipitação e clima imperfeitos).

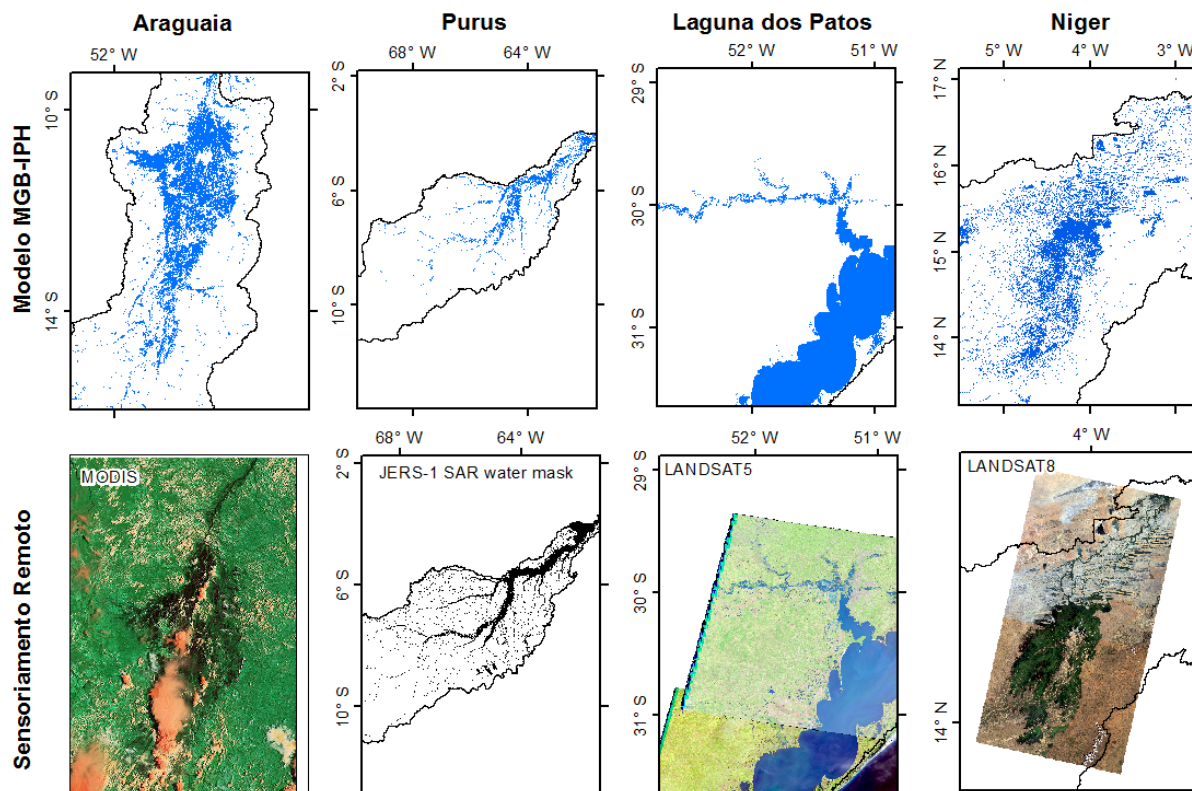


Figura 2. Estimativa de extensão áreas inundadas no período de águas altas para Ilha do Bananal (Rio Araguaia), rio Purus, Laguna dos Patos e Delta Interno do Niger com modelo MGB-IPH (linha superior) e produtos de sensoriamento remoto (linha inferior).

3.2 Variação temporal de áreas inundadas

Além da estimativa de extensão de áreas inundáveis, modelos hidrológicos e hidrodinâmicos de grande escala são também interessantes para geração de séries temporais de áreas inundadas, apresentadas na Figura 3 para as quatro áreas de estudo. Séries temporais de áreas inundadas estimadas por sensoriamento remoto foram incluídas na Figura 3 para o Niger e o Araguaia, a partir de estudos de Hamilton et al. (2002) e Bergé-Nguyen e Crétaux (2015). Valores máximos calculados pelo MGB-IPH são da ordem de 30,000 km² para Ilha do Bananal e Purus e 10,000 km² para o Delta Interno do Niger, enquanto áreas inundadas mínimas variam entre 10,000 km² para Ilha do Bananal, 3,000 km² para Purus e cerca de 100 km² para o Delta do Niger.

Nota-se que a estimativa de séries inundadas para a ilha do Bananal pelo MGB-IPH foi bastante atenuada em relação aos valores de Hamilton et al. (2002), relacionado a incertezas na representação dos processos de inundação na ilha pelo modelo (e.g., efeito de águas subterrâneas na manuten o das áreas inundadas, o que não   representando no MGB-IPH) e a incertezas na estimativa por sensoriamento remoto, que neste estudo foi obtida a partir de regressão entre nível observado *in situ* e áreas inundadas. Além disso,   possível que haja diferenças na defini o da área de estudo entre a aplica o com MGB-IPH e observa o.

Por sua vez, a aplica o na bacia do Niger representou de forma satisfatória a dinâmica de inunda o do Delta Interno, em compara o   estimativa de Bergé-Nguyen e Crétaux (2015), que foi baseada na soma das áreas das classes água aberta e vegeta o aquática obtidas de classifica o de imagens MODIS. Incertezas estão relacionadas, por exemplo, aos limiares adotados para diferencia o de áreas inundadas de solos úmidos.

Quanto   aplica o no Purus, apesar de não ter sido comparado a estimativa de série temporal por sensoriamento remoto, o valor máximo   coerente com o obtido por Melack e

Hess (2010) para a bacia para no período de 1995-1996 (36.000 km²), enquanto as áreas mínimas aparentam subestimar os valores do período de águas baixas, possivelmente devido à não representação de processos como aprisionamento de água em depressões no terreno durante a recessão da cheia, ou ainda devido a estimativas de topografia do terreno e da planície de inundação.

Por fim, a simulação de áreas inundadas na Laguna dos Patos mostra um padrão distinto dos demais casos, em que não há sazonalidade na hidrologia da bacia, além de que altos valores de áreas inundadas são mantidos durante todo o tempo (valores maiores que 17.000 km²). Isto ocorre pois as áreas de corpos lagunares como da Laguna dos Patos e de outras lagoas a ela interligadas são explicitamente representadas no modelo, e assim aparecem como o limite inferior das áreas inundadas da bacia. O valor mínimo de 17.000 km² é coerente com a área estimada a partir do produto Global Inland Water (Feng et al., 2015) e da drenagem vetorizada das cartas do exército fornecida por Hasenack e Weber (2010) que, combinados, geraram uma área de aproximadamente 16.085 km², incluindo desta forma os rios e grandes lagos da bacia. Os picos de áreas inundadas ocorrem devido a cheias nos afluentes da laguna.

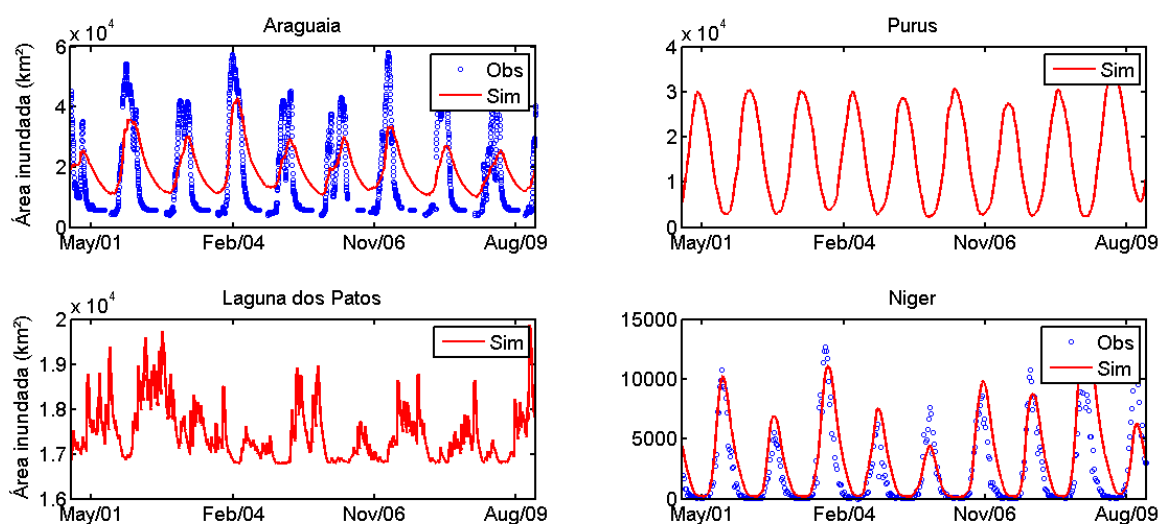


Figura 3. Séries temporais de áreas inundadas estimadas pelo modelo MGB-IPH (Sim, vermelho) e por produtos de sensoriamento remoto (Obs, azul) para a Ilha do Bananal, o Purus e o Delta Interno do Niger. Observações são derivadas dos estudos de Bergé-Nguyen e Crétaux (2015) e Hamilton et al. (2002).

3.3. Comparação entre as áreas inundáveis

As quatro regiões estudadas apresentam distintos ciclos de inundação, bem como contrastantes processos hidrológicos que atuam na manutenção das áreas inundáveis. Assim, enquanto o rio Purus possui uma planície de inundação ao longo da calha do rio, caracterizando um tipo de inundação por “extravasamento de calha”, as regiões da Ilha do Bananal e do Delta Interno do Niger possuem um padrão mais difuso de inundação, onde grandes manchas inundadas ocorrem não apenas ao longo da drenagem principal, mas por toda a planície, devido a acúmulo de chuva local e inúmeras defluências do canal principal. Estes padrões são evidentes nas imagens de satélite apresentadas (Figura 2), onde as áreas inundadas estimadas por radar por Melack e Hess (2010) no Purus são concentradas nas áreas adjacentes ao rio principal, enquanto no Niger e na Ilha do Bananal o padrão difuso é claro nas imagens do MODIS e LANDSAT 8. Por fim, a Laguna dos Patos é distinta dos demais casos, considerando a interação entre o nível da laguna e dos demais rios que drenam para esta (efeito de remanso), bem como as inundações decorrentes da expansão do corpo lagunar.

4. Conclusões

Este trabalho apresenta a potencialidade de modelos hidrodinâmicos de grande escala para representação de áreas inundáveis de grandes planícies de inundação, a partir de aplicações do modelo MGB-IPH e do pacote de geoprocessamento IPH-HydroTools em quatro áreas inundáveis distintas – Ilha do Bananal, Niger, Laguna dos Patos e Purus. Apesar de certa complexidade para realização de simulações, a crescente disponibilidade de pacotes de modelagem e integração com SIG facilita a aplicação destes modelos, possibilitando, por exemplo, estimativa de áreas inundadas em grandes regiões mal monitoradas, além de efeitos de possíveis alterações do ambiente (mudanças climáticas, construção de barragens, etc.). O conhecimento da variação espaço-temporal destas inundações é fundamental para compreensão de efeitos no clima, regime hidrológico e biodiversidade em escalas local e regional.

Por fim, salienta-se que simulações utilizando o modelo MGB-IPH e sua interface SIG (Fan e Collischonn, 2014) podem ser realizadas basicamente através de dados de sensoriamento remoto como dado de entrada - chuva (TRMM, MERGE) e topografia (modelo digital de elevação como SRTM) – e de validação - como extensão de áreas inundáveis (imagens LANDSAT, MODIS ou imagens radar como ALOS-PALSAR e JERS) e altimetria espacial (e.g., ICE-SAT, ENVISAT, JASON, SWOT)-, surgindo como uma importante ferramenta para compreensão de grandes regiões mal monitoradas.

Referências Bibliográficas

- Bergé-Nguyen, M.; Crétaux, J.F. Inundations in the Inner Niger Delta: Monitoring and Analysis using MODIS and global precipitation datasets. **Remote Sensing**, v. 7, p. 2127-2151, 2015.
- Collischonn, W.; Allasia, D.; da Silva, B.C.; Tucci, C.E.M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, n. 5, p. 878-895, 2007.
- Fan, Y., Miguez-Macho, G. A simple hydrologic framework for simulating wetlands in climate and earth system models. **Climate Dynamics** v. 37, p. 253-278, 2011.
- Fan, F.M.; Collischonn, W. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 243-254, 2014.
- Fan, F.M.; Buarque, D.C.; Pontes, P.R.M.; Collischonn, W. Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH), 21, 2015. Brasília. Anais. Porto Alegre: ABRH, 2015.
- Feng, M.; Sexton, J. O.; Channan, S.; Townshend, J. R. A global, high-resolution (30-m) inland water body dataset for 2000: first results of a topographic–spectral classification algorithm, **International Journal of Digital Earth**, 9:2, p. 113-133, 2015. DOI: 10.1080/17538947.2015.1026420.
- Hamilton, S. K., S.J. Sippel, J. Melack. Comparison of inundation patterns among major South American floodplains. **Journal of Geophysical Research** 107(D20), 5-1 – 5-14, 2002.
- Hasenack, H.; Weber, E.(org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5, livreto e ISBN 978-85-63843-01-2, DVD.

Huffman, G., Adler, R., Bolvin, D., Gu, G., Nelkin, E., Bowman, K., Hong, Y., Stocker, E., Wolff, D. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, 2007.

Junk, W. et al. Definição e Classificação das Áreas Úmidas (AUs) Brasileiras: Base Científica para uma Nova Política de Proteção e Manejo Sustentável. Instituto Nacional de Pesquisa e Tecnologia em Áreas Úmidas (INCT-Áreas Úmidas), 2015.

Mahé, G.; Bamba, F.; Soumaguel, A.; Orange, D.; Olivry, J.C. Water losses in the inner delta of the River Niger: water balance and flooded area. **Hydrological Processes**, v. 23, p. 3157-3160, 2009.

Melack, J.M., L. Hess. Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. In W.J. Junk and M. Piedade (org.). Amazonian floodplain forests: Ecophysiology, ecology, biodiversity and sustainable management. **Ecological Studies**, Springer, 2010.

O'Loughlin, F.; Paiva, R.C.D.; Durand, M.; Alsdorf, D.E.; Bates, P.D. A multi-sensor approach towards a global vegetation corrected SRTM DEM product. **Remote Sensing of Environment**, v. 182, p. 49-59. 2016.

Paiva, R., Collischonn, W., Bonnet, M., Buarque, D., Frappart, F., Calmant, S., Mendes, C. Large scale hydrologic and hydrodynamic modelling of the Amazon River Basin. **Water Resources Research** v. 49, p. 1226-1243, 2013.

Paz, A. R., W. Collischonn, C. E. M. Tucci, C. R. Padovani. Large-scale modelling of channel flow and floodplain inundation dynamics and its application to the Pantanal (Brazil). **Hydrol. Processes** v. 25, n. 9, p.1498–1516, 2011.

Pontes, P.R.M.; Collischonn, W.; Fan, F.M.; Paiva, R.C.D.; Buarque, D.C. Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2015.

Rozante, J.R.; Moreira, D.S.; Gonçalves, L.G.G.; Vila, D.A. Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation over South America. **Weather and Forecasting**, v. 25, n. 3, p. 885-894, 2010.

Schumann, G., Bates, P., Horritt, M., Matgen, P., Pappenberger, F. Progress in integration of remote sensing-derived flood extent and stage data and hydraulic models. **Review of Geophysics**, v. 47, RG4001, 2009.

Siqueira, V.A.; Fleischmann, A.S.; Jardim, P.F.; Fan, F.M.; Collischonn, W. IPH-Hydro Tools: a GIS coupled tool for watershed topology acquisition in open-source environment. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 274-287, 2016.

Valente, C.R.; Latrubesse, E.; Ferreira, L.G. Relationships among vegetation, geomorphology and hydrology in the Bananal Island tropical wetlands, Araguaia River basin, Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.46, p. 150-160, 2013.