CIEA

Congresso Internacional de Engenharia Ambiental

&

10ª REA

Reunião de Estudos Ambientais

ANAIS

Artigos Completos

- VOLUME 2 -

Bacias Hidrográficas e
Gestão de Recursos Naturais



Organizadores
Cristiano Poleto
Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves
Guilherme Fernandes Marques
José Gilberto Dalfré Filho

ANAIS do Congresso Internacional de Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de Estudos Ambientais

Artigos Completos

- VOLUME 2 -

Bacias Hidrográficas e Gestão de Recursos Naturais

Gráfica & Editora
Toledo – PR
2020

Copyright © **2020,** *by* **Editora GFM.**
Direitos Reservados em 2020 por **Editora GFM**.
Editoração: Cristiano Poleto
Organização Geral da Obra: Cristiano Poleto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho
Diagramação: Juliane Fagotti
Revisão Geral: Espaço Histórico e Ambiental
Capa: Eventos Consulting Design Informática

CIP-Brasil. Catalogação na Fonte

Cristiano Poleto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho (Organizadores)

ANAIS do Congresso Internacional de Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de Estudos Ambientais – Artigos Completos – Volume 2 – Bacias Hidrográficas e Gestão de Recursos Naturais / Cristiano Poleto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho (Organizadores) – Porto Alegre, RS: Editora GFM, 2020.

609p.: il.;

ISBN 978-65-87570-07-5

CDU 502.3/.7

É AUTORIZADA a livre reprodução, total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização por escrito da Editora ou dos Organizadores.



COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE MODELAGEM DE ÁREAS INUNDADAS UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESCALA LOCAL, REGIONAL E GLOBAL PARA UMA CHEIA NO RIO URUGUAI

| ID 15824 |

1 Maria Eduarda Pereira Alves, 2 Fernando Mainardi Fan, 3 Vinicius Alencar Siqueira, 4 Leonardo Laipelt

1Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: eduarda.alves@ufrgs.br; 2 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: fernando.fan@ufrgs.br; 3 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: vinisiqueira@gmail.com; 4 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, email:leolaipelt@gmail.com.

| RESUMO |

A delimitação de áreas inundadas é uma informação importante para a gestão de desastres naturais, previsão de impactos ambientais e planejamento territorial. Inundações ocorrem quando uma cheia ultrapassa os limites da calha de um rio e escoa para as planícies de inundação. Quando estas atingem pessoas, elas são consideradas um desastre natural. A delimitação da cheia observada dada a ocorrência de um evento extremo pode ser feita através de técnicas de campo, como o mapeamento percorrendo a área afetada ou utilizando aerofotos. Todavia, o levantamento em campo não é trivial e nem sempre permite a obtenção do dado necessário para um projeto específico. Para este fim, existem múltiplas técnicas para estimativa de manchas de inundação. Algumas são técnicas mais simplificadas, baseadas apenas em um Modelo Digital de Elevação (MDE). Este é o caso do modelo HAND (Height Above Nearest Drainage), que tem ganhado muita fama recentemente na aplicação de delimitação de áreas possivelmente inundadas. Outras técnicas são mais complexas, como o uso de modelagem hidrodinâmica. Nesta linha, existem modelos hidrológico-hidrodinâmicos de grande escala que simulam processos de geração de escoamento e de transporte de água na bacia hidrográfica a partir de dados de chuva, meteorológicos e de características da bacia hidrográfica. Este é o caso do modelo MGB (Modelo de Grandes Bacias), que vem sendo desenvolvido e aplicado para estes tipos de caso. Todavia, não existem trabalhos na literatura que comparem resultados gerados por estas múltiplas abordagens com diferentes graus de complexidade e diferentes escalas espaciais. Exatamente para preencher esta lacuna existente na literatura científica que este trabalho foi desenvolvido. É apresentada aqui, pela primeira vez, a verificação do desempenho do modelo MGB em duas versões, uma de escala regional e outra de escala continental para a delimitação de áreas inundadas, em comparação com uma imagem de satélite observada da cheia e com duas



versões do modelo HAND, uma gerada por um estudo local e outra gerada por um estudo global. O estudo de caso utilizado na verificação foi uma cheia que ocorreu no Rio Uruguai, nas proximidades da cidade de Itaqui (RS), que faz divisa entre os países Brasil e Argentina, em outubro de 1997. Os resultados mostraram que tanto o modelo MGB aplicado em escala regional quando o modelo MGB em escala continental foram capazes de delimitar a área inundada, com algumas superestimativas na porção norte da imagem. O método HAND de escala local também permitiu um mapeamento da área inundada, com áreas mais de cabeceira de pequenos afluentes superestimadas. Já o método HAND em escala global demonstrou ser inadequado para aplicação para a delimitação de áreas inundadas nesta região. Acredita-se que a principal causa seja o pequeno limiar de área de drenagem relacionado com o produto HAND global utilizado.

Palavras-chave: Áreas inundadas, modelagem hidrodinâmica, rio Uruguai.

| INTRODUÇÃO |

Áreas inundadas são áreas que ficam submersas em função da cheia de um rio que ultrapassa os limites da calha principal e ocupa a região conhecida como planície de inundação nos entornos do curso de água. A inundação é diferente do alagamento, pois o alagamento se dá devido ao acúmulo de água por superação da capacidade de um sistema de drenagem local, especialmente em áreas urbanas (CPRM, 2017). As inundações ocorrem principalmente pelo aumento da vazão nos rios, ocasionado pelas precipitações na bacia hidrográfica, que geram maior escoamento superficial drenado para os canais. Especialmente a ocorrência de precipitações com Tempo de Recorrência (TR) mais elevado tendem a gerar também cheias com TRs elevados. Embora o TR de uma precipitação não seja necessariamente o mesmo que de uma cheia, pois a resposta de uma bacia em relação a uma chuva é não-linear e depende de variáveis como a condição antecedente de umidade do solo. Além disso, especialmente em grandes bacias, as cheias que atingem um dado ponto podem ser relacionadas às precipitações heterogêneas ou à ocorrência de vazões elevadas em afluentes dentro da bacia hidrográfica (FLEISCHMANN, et al., 2019).

Inundações também podem ocorrer ou serem potencializadas devido a outros fatores, por exemplo, devido a operação de estruturas hidráulicas (como a abertura de comportas de reservatórios) ou até o rompimento de barragens (TSCHIEDEL & PAIVA, 2018). Outros fenômenos que podem potencializar a ocorrência de cheias são os efeitos de maré ou do vento em regiões estuarinas e/ou de grandes rios (LOPES, et al., 2018). As inundações são um fenômeno natural e não

necessariamente devem ser consideradas desastres naturais quando ocorrem. Uma inundação de fato só é considerada desastre natural quando a sua ocorrência causa danos para a sociedade, como danos materiais ou perdas de vida (KOBIYAMA, M. et al., 2010). Além do potencial desastre natural, também existem outros fatores ambientais relacionados com a importância de áreas inundadas, como a ocorrência de áreas de desova de peixes, deposições de sedimentos ricos em nutrientes, amortecimento de cheias, ocorrência de elevada evaporação de água para a atmosfera, entre outros (PONTES, et al., 2017).

Nessa linha, a delimitação de áreas inundadas, principalmente em áreas urbanas ou outras regiões onde os danos patrimoniais podem ser extensivos, como áreas agrícolas, torna-se uma importante ferramenta de gestão territorial e de tomada de decisão na área ambiental. Após a ocorrência das cheias, esta delimitação pode ser feita *in-situ*, através de extensivos trabalhos de campo de mapeamentos ou realizações de entrevistas com os habitantes locais. Paixão et al. (2018) apresenta um exemplo deste tipo de levantamento. A dificuldade com este tipo de delimitação é que são necessários equipes técnicas para a realização da atividade. Além de que, alguns locais a serem mapeados podem estar inacessíveis ou serem de risco. Uma alternativa neste caso seria a realização de levantamentos utilizando imagens de avião ou drone. Porém, esta segunda hipótese pode ser limitada pela necessidade de recursos financeiros, disponibilidade de equipamentos, ou pelo próprio tempo chuvoso no momento do levantamento.

Alternativamente ao levantamento em campo, a obtenção da mancha de inundação observada pode ser feita através de imagens de sensoriamento remoto, obtidas através de sensores orbitais, que mapeiam a superfície terrestre com imagens ópticas (passivas) ou imagens de radar (ativas). Caso o satélite tenha passado pela região inundada no momento da ocorrência da inundação, é possível processar a sua imagem para a obtenção da máscara de água da área inundada, a ser usada em estudos ambientais. De fato, esta é uma alternativa muito comum, e utilizada por muitos estudos como Townsend (2001); Mengue et al., (2016); Garrafiel (2018); Zhang, Zhu & Liu (2014). A grande dificuldade com esta abordagem é a relacionada com a cobertura de nuvens (que impedem a obtenção de imagens ópticas) ou a necessidade da realização de processamentos na imagem para a extração da máscara. Além do fato de ter que coincidir a passagem do satélite exatamente no momento da inundação sobre a área de interesse.

Portanto, nem sempre é possível obter com trabalho de campo ou através de imagens de satélite uma imagem de uma inundação requerida para um estudo ambiental ou para a delimitação de áreas possivelmente afetadas por um desastre, por exemplo. Devido a esta dificuldade, existe uma gama de técnicas de delimitação de áreas inundadas desenvolvidas ao longo das últimas décadas para a estimativa de áreas inundadas a partir de outras informações. Algumas técnicas são simples e



necessitam apenas do uso de um modelo digital de elevação (MDE) e de um valor observado de cota de inundação para serem aplicadas. Este é o caso de técnicas como as que se baseiam no modelo HAND (*Height Above Nearest Drainage*). Outras técnicas são mais complexas e aplicam equações matemáticas para a modelagem da propagação da onda de cheias em rios e para a obtenção da área inundada associada.

Na linha de modelagem, especialmente para grandes bacias hidrográficas, um modelo que tem sido muito aplicado no território da América do Sul é o modelo chamado de MGB (Modelo de Grandes Bacias), desenvolvido por Collischonn & Tucci (2001) e aprimorado ao longo dos últimos anos por uma série de pesquisadores (PAIVA, et al., 2013; FAN & COLLISCHONN, 2014; FLEISCHMANN, SIQUEIRA, COLLISCHONN, & FAN, 2015; PONTES, et al., 2017). As grandes bacias possuem dificuldades específicas quando se trata do mapeamento de áreas inundadas, pois existem diversos processos atuando ao mesmo tempo para a geração da inundação, como o próprio escoamento próximo das áreas inundadas, chuvas com TRs diferentes ocorrendo de forma heterogênea na bacia, aportes de água por diversos afluentes, bem como a evapotranspiração, a infiltração, efeitos de maré e até do vento sobre a lâmina de água.

Mesmo com essas dificuldades, o modelo MGB tem sido aplicado com relativo sucesso em todos estes tipos de caso, como mostram os trabalhos de Alves, Fan, & Fleischmann (2019); Neto, Dornelles, Fleischmann, & Medeiros (2019); Fleischmann, Collischonn, & Paiva (2018); Kuwajima, et al. (2019); Lopes, et al. (2018); Tschiedel & Paiva, (2018). No trabalho de Siqueira et al. (2018), inclusive, o modelo foi aplicado para todo o território da América do Sul, com capacidade de geração de manchas de inundação para todo o território, a partir de um MDE de 500m do SRTM - Shuttle Radar Topography Mission (FARR, et al., 2007).

Apesar desta aplicação ampla, não existem estudos na literatura que tenham comparado a capacidade de simular áreas inundadas pelo modelo MGB com outras ferramentas de modelagem mais locais e mais simplificadas. Por exemplo, com resultados baseados no descritor de terreno HAND - *Height Above Nearest Drainage* (RENNÓ, et al., 2008; NOBRE, et al., 2011), algumas vezes já usado na literatura para a delimitação de áreas inundadas, como nos trabalhos de Mengue, et al. (2016); Goerl, et al. (2017); Speckhann (2015); Dantas & Canil (2017); e Milanesi, Quadros & Lahm (2017).

Portanto, buscando preencher esta lacuna existente na literatura científica que este trabalho foi desenvolvido. É apresentada aqui, pela primeira vez, a verificação do desempenho do modelo MGB em duas versões, uma de escala regional e outra de escala continental (SIQUEIRA, et al., 2018) para a delimitação de áreas inundadas, em comparação com uma imagem de satélite observada da cheia, e com duas versões do modelo HAND, uma gerada por um estudo local (MENGUE, SCOTTÁ,

SILVA, & FARINA, 2016) e outra gerada por um estudo global (DONCHYTS, et al., 2016). O estudo de caso utilizado na verificação foi uma cheia que ocorreu no Rio Uruguai, nas proximidades da cidade de Itaqui (RS), a qual faz divisa entre os países Brasil e Argentina, em outubro de 1997.

| METODOLOGIA |

A metodologia proposta para cumprir com os objetivos do trabalho consistiu na comparação de resultados das duas versões do modelo MGB (Modelo de Grandes Bacias), uma versão em escala regional (ALVES, 2018) e outra em escala continental (SIQUEIRA, et al., 2018) e de resultados do método HAND (*Height Above Nearest Drainage*) rodados a partir de duas diferentes fontes independentes, uma fonte de escala local (MENGUE, SCOTTÁ, SILVA, & FARINA, 2016) e outra fonte de escala global (DONCHYTS, et al., 2016). Os resultados destes quatro métodos foram utilizados para comparação com a cheia que ocorreu em outubro de 1997, no Rio Uruguai, na fronteira entre Brasil e Argentina, cuja área inundada observada pode ser extraída de uma imagem captada pelo satélite Landsat 5. A área de estudo e cada um dos modelos e métodos utilizados são explicados com detalhes a seguir.

Área de Estudo

A área de estudo utilizada para a comparação é apresentada na Figura 9. Ela consiste no polígono envolvente da imagem de satélite Landsat 5 da região onde a cheia foi observada, no entorno da cidade de Itaqui (RS, Brasil). O rio principal, que corre no sentido norte-sul na porção principal da imagem corresponde ao rio Uruguai. Na parte sul da imagem o Rio Ibicuí que corre no sentido Leste-Oeste é outro grande rio da região que também inundou na época. A máscara de água apresentada na Figura 9 foi derivada a partir da imagem Landsat 5 utilizando um filtro de NDVI (GAO, 1996).

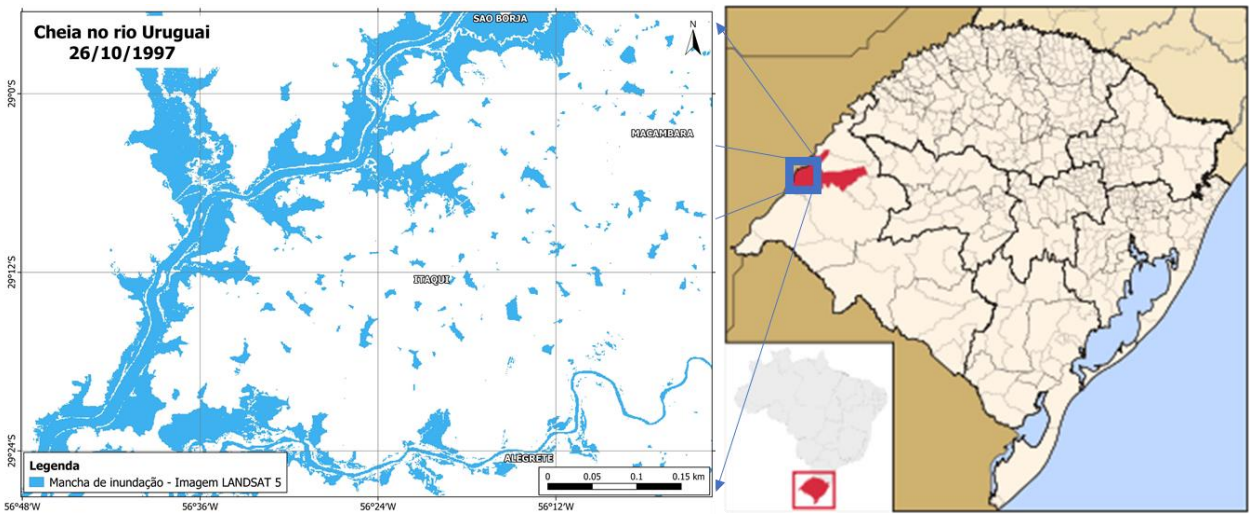


Figura 9. Localização da área de estudo, já com a imagem da mancha de inundação observada processada a partir do satélite Landsat 5

MGB em escala regional

O modelo MGB é um modelo hidrológico-hidrodinâmico semi-distribuído, que simula a bacia hidrográfica subdividindo-a em unidades menores chamadas de minibacias. Simula o balanço hídrico superficial, no solo e no subsolo a partir de uma abordagem do tipo reservatórios lineares, a evapotranspiração por Pennam-Monteith (MONTEITH, 1965), e a propagação de vazões com o método de propagação inercial local. Mais detalhes sobre a versão mais atual do modelo podem ser obtidos em Pontes et al. (2015).

O MGB em escala regional aplicado na presente pesquisa é o mesmo modelo utilizado por Alves, Fan & Fleischmann (2019), que mostrou o modelo hidrológico-hidrodinâmico para todo o território do Rio Grande do Sul Hidrológico (RSH), com resultados considerados satisfatórios. O modelo foi calibrado para o período de 2000 a 2010 e validado para o período de 1990 a 2000. A Tabela 1 apresenta os resultados da calibração deste modelo hidrológico para as estações Passo São Borja (75780000), Itaqui (75900000) e Uruguaiana (77150000), que são os postos fluviométricos do Rio Uruguai que ficam respectivamente a montante, na cidade, e a jusante da área de estudo. São mostrados os resultados do coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NASH & SUTCLIFFE, 1970) e erro de vazões médias (erro de volume - EV). Para a concepção do modelo, foi utilizado o MDE SRTM de 90m de resolução processado para a remoção vegetação, conhecido como Bare Earth SRTM (O'LOUGHLIN, PAIVA, DURAND, ALSDORF, & BATES, 2016).

Tabela 1. Resultados do desempenho do modelo MGB regional utilizado para as estações fluviométricas da área de estudo

Código ANA da estação	Nome da estação	NSE calibração/validação	EV calibração/validação (%)
75780000	Passo São Borja	0,88	5,8
75900000	Itaqui	0,63	10,4
77150000	Uruguaiana	0,85	-8,7

MGB em escala continental

O MGB em escala continental aplicado na presente pesquisa é o mesmo modelo preparado por Siqueira et al. (2018), que calibrou o modelo hidrológico-hidrodinâmico para todo o território da América do Sul. O modelo foi calibrado para o período de 2000 a 2010. A Tabela 2 mostra os resultados da calibração deste modelo para as estações Passo São Borja (75780000) e Uruguaiana (77150000). A estação de Itaqui (75900000) não foi utilizada para calibração e validação no trabalho de Siqueira et al. (2018). Para a concepção do modelo foi utilizado o MDE SRTM de 500m do HydroSHEDS (LEHNER, VERDIN, & JARVIS, 2008).

Tabela 2. Resultados do desempenho do modelo MGB continental utilizado para as estações fluviométricas da área de estudo

Código ANA da estação	Nome da estação	NSE calibração/validação	EV calibração/validação (%)
75780000	Passo São Borja	0,83	2,77
77150000	Uruguaiana	0,80	4,69

HAND em escala local

O modelo HAND em escala local abordado no presente trabalho foi o preparado por Mengue et al. (2016). Os autores testaram várias configurações do modelo HAND e concluíram que a utilizada neste trabalho representa melhor a cheia de 1997 no rio Uruguai, em Itaqui. Este HAND foi preparado a partir do MDE SRTM de 90m, com limiar de início da área de drenagem de 10 mil células e reclassificado para a cota de 11,5m, que coincide com a cota que chegou à inundação na cidade, para a geração da informação de área alagada.

HAND em escala global

O modelo HAND em escala global utilizado no presente trabalho foi o preparado por Donchyts et al. (2016). Os autores rodaram o processamento do HAND para todo o globo terrestre a partir do MDE SRTM de 30m, com limiar de início da área de drenagem de 5 mil células. Este HAND global



pode ser obtido através da ferramenta do *Google Earth Engine* (https://code.earthengine.google.com/0f734fda32464b92ba0b7fbd9b8b408b). Ele foi reclassificado para a cota de 11,5m, que coincide com a cota que chegou à inundação na cidade, de modo a seguir o mesmo padrão utilizado no HAND de escala local testado.

Comparações e análises realizadas

Todos os resultados gerados pelas modelagens hidrológicas-hidrodinâmicas e pelos métodos HAND selecionados foram comparados com a delimitação da imagem Landsat 5 da cheia observada. Os resultados foram analisados em termos de capacidade de representação da cheia e discutidos sob a óptica da limitação de cada uma das abordagens.

| RESULTADOS E DISCUSSÕES |

Na Figura 2 até a Figura 5 são apresentados os resultados obtidos para cada um dos experimentos do presente trabalho. Para todos os casos a mancha em azul representa a mancha modelada pelo respectivo método testado (MGB regional, MGB continental, HAND local e HAND global), e os polígonos pretos representam as áreas inundadas delimitadas a partir da imagem do satélite Landsat 5. É conveniente ressaltar que muitas pequenas áreas isoladas que não são parte da planície de inundação dos rios foram mapeadas como áreas inundadas a partir da imagem de satélite. Estas pequenas áreas correspondem aos açudes existentes localmente, e que são na verdade áreas alagadas. Não se espera e nem se pretende que os métodos utilizados sejam capazes de mapear estas pequenas áreas, uma vez que elas justamente não fazem parte das planícies, que são o objetivo do trabalho.

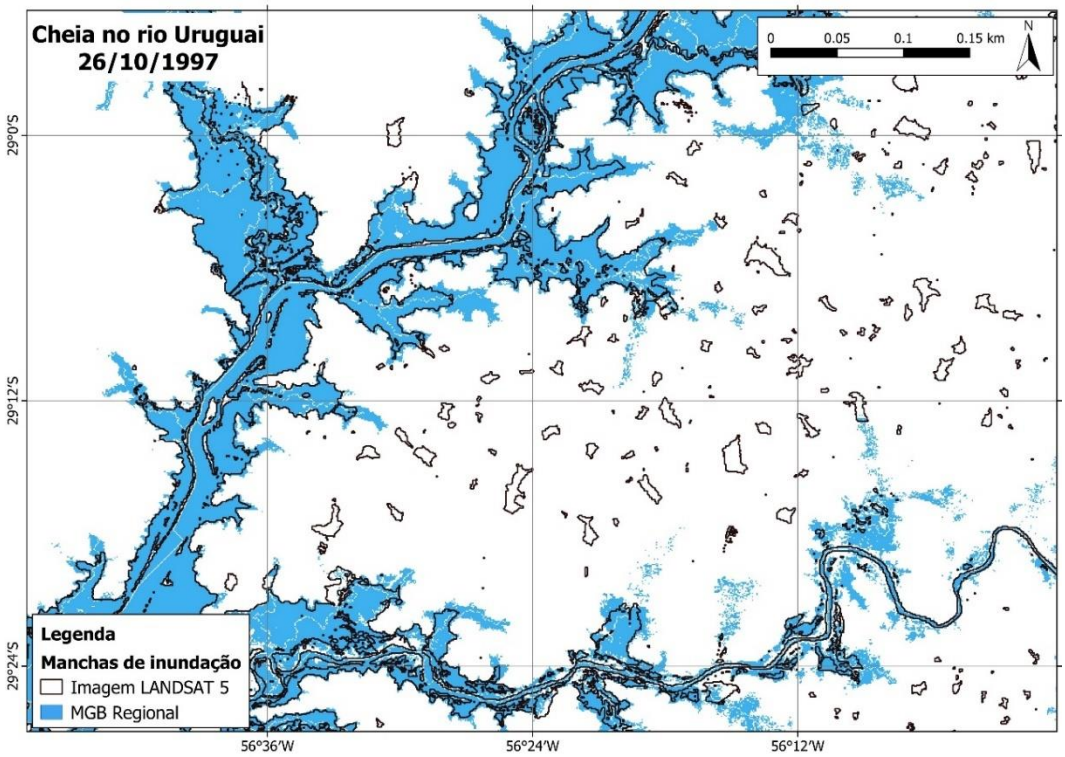


Figura 2. Resultado do modelo MGB regional em comparação com a imagem de satélite para a cheia de outubro de 1997 no Rio Uruguai

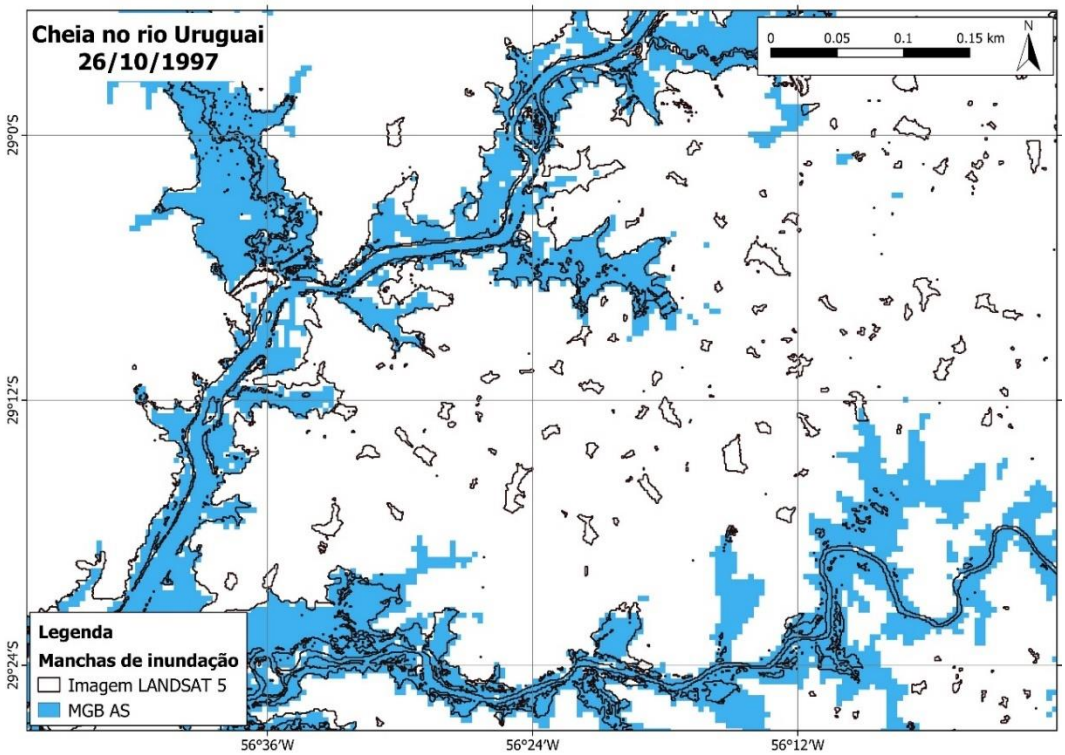


Figura ***3***. Resultado do modelo MGB continental em comparação com a imagem de satélite para a cheia de outubro de 1997 no Rio Uruguai



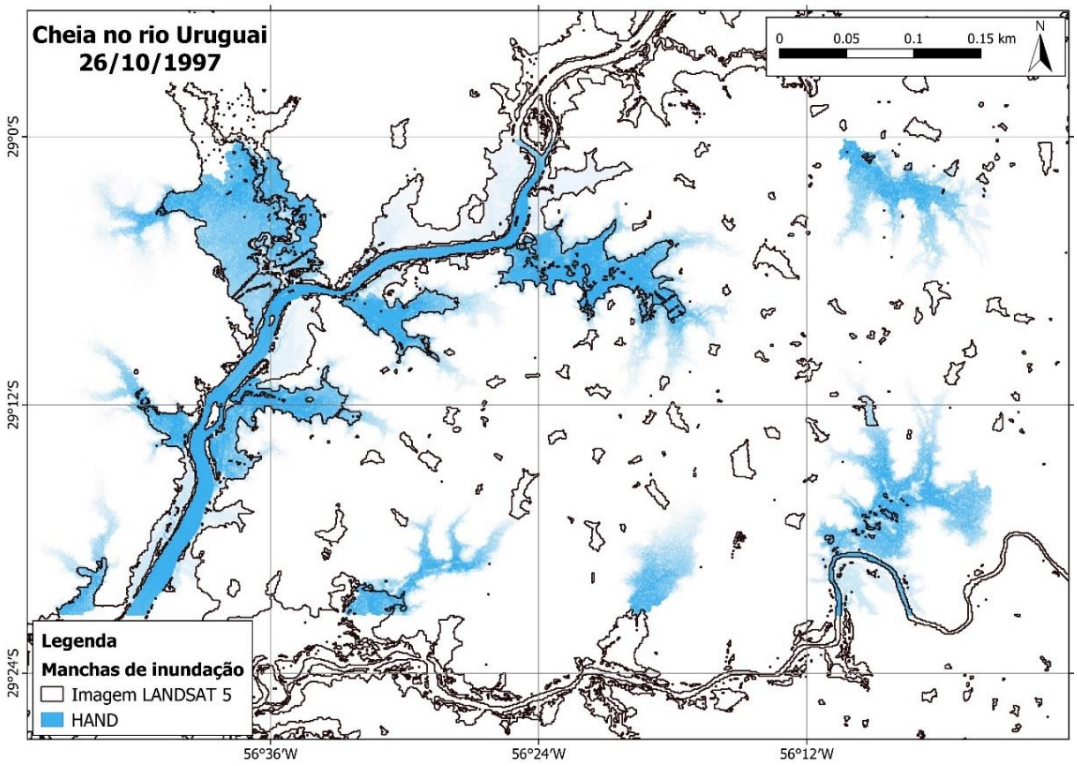


Figura 4. Resultado do método HAND local em comparação com a imagem de satélite para a cheia de outubro de 1997 no Rio Uruguai

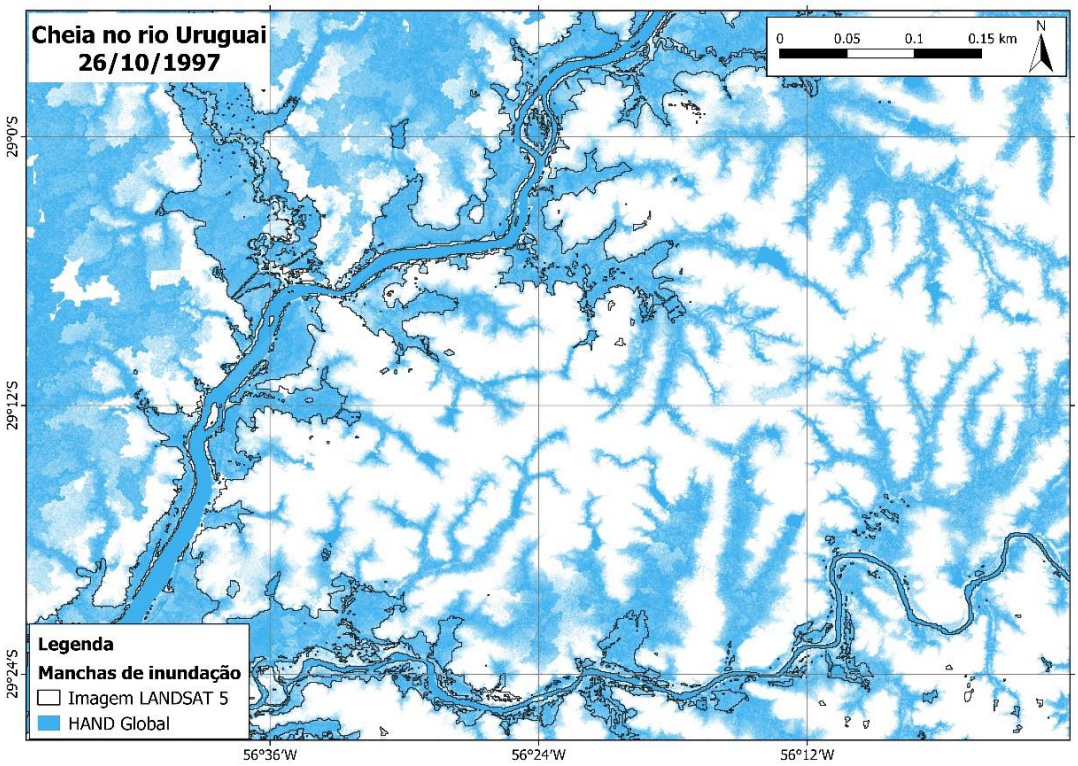


Figura 10. Resultado do método HAND global em comparação com a imagem de satélite para a cheia de outubro de 1997 no Rio Uruguai

Analisando visualmente os resultados, nota-se que a modelagem feita com o modelo MGB na escala regional tende a mapear todas as áreas inundadas com bastante proximidade, com algumas áreas superestimadas mais pronunciadas especialmente na porção norte da Figura , no rio principal. O mesmo pode-se dizer dos resultados com o modelo MGB continental. Com exceção de que se nota o efeito da resolução mais grosseira do modelo continental (500m), além de que algumas áreas foram subestimadas dentro do rio principal, e áreas foram superestimadas na porção sul da bacia, região do rio Ibicuí.

Para o caso do HAND local, nota-se que as áreas inundadas do rio principal são também bem demarcadas. Todavia, com algumas deficiências na porção central do rio principal e com especial superestimativa nas partes mais de cabeceira dos pequenos afluentes inundados. Isto ocorre em vários locais da imagem, como pode-se observar na Figura . Infelizmente o modelo HAND local aplicado por Mengue et al. (2016) e utilizado até o momento não permite comparações para o rio Ibicuí, pois esta área não está incluída no trabalho que realizou a aplicação original do modelo.

Já para o caso do HAND global nota-se que ele teve a tendência de exagerar na delimitação das áreas inundadas. Ao contrário dos outros métodos testados. Neste caso, a análise visual permite destacar que esta base de dados global do HAND a partir de um MDE de 30 metros, com 5 mil células de limiar de área de drenagem (DONCHYTS, et al., 2016), não é adequada para o mapeamento das áreas inundadas nesta região. Provavelmente o exagero nas áreas inundadas se dá pelo limiar pequeno de início de área de drenagem a partir do qual o produto foi desenvolvido, fazendo com que a existência de cursos de água na região fosse superestimada. Para mais discussões sobre a importância da definição do limiar de início da área de drenagem sugere-se a leitura do trabalho de Fan et al. (2013).

| CONSIDERAÇÕES FINAIS |

Este trabalho propôs, pela primeira vez, fazer uma verificação do desempenho do modelo MGB em duas versões, uma de escala regional e outra de escala continental para a delimitação de áreas inundadas, em comparação com duas versões do modelo HAND, uma gerada por um estudo local (MENGUE, SCOTTÁ, SILVA, & FARINA, 2016) e outra gerada por um estudo global (DONCHYTS, et al., 2016). Estes quatro métodos foram comparados com uma imagem de satélite observada da cheia. O estudo de caso utilizado na verificação foi uma cheia que ocorreu no Rio Uruguai, nas proximidades da cidade de Itaqui (RS), que faz divisa entre os países Brasil e Argentina, em outubro de 1997. As comparações foram feitas de maneira visual, e permitiram as seguintes conclusões:



Tanto o modelo MGB aplicado em escala regional quanto o modelo MGB em escala continental foram considerados capazes de delimitar a área inundada, com algumas superestimativas na porção norte da imagem. Especialmente para o caso do modelo continental, algumas superestimativas foram visualizadas também na porção sul da imagem, bem como subestimativas em um trecho no rio principal.

O método HAND de escala local também permitiu um mapeamento considerado adequado da área inundada. Ao longo do rio principal os resultados foram similares com as versões do MGB, e nas áreas mais de cabeceira de pequenos afluentes o HAND apresentou superestimativas de áreas alagadas de maneira mais destacada que os modelos hidrológicos-hidrodinâmicos.

Já o método HAND em escala global demonstrou, mesmo que apenas pela análise visual, ser inadequado para aplicação de delimitação de áreas inundadas nesta região. Acredita-se que a principal causa seja o pequeno limiar de área de drenagem relacionado com o produto global disponível e utilizado.

Para trabalhos futuros nesta linha pretende-se incluir a análise de outras cheias, outros locais de estudo, além de avaliações de desempenho baseadas em métricas de eficiência a partir de índices de alarme falso e índices de alarmes verdadeiros para mapeamento de áreas alagadas.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao CNPq, a CAPES e a ANA (Agência Nacional de Águas) pelos apoios recebidos, que possibilitaram a realização desta pesquisa.

| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS |

ALVES, M. E. (2018). SIMULAÇÃO DE ROMPIMENTO DE BARRAGENS EM CASCATA COM O MODELO MGB. *TRABALHO DE CONCLUSÃO APRESENTADO AO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA UFRGS*. Porto Alegre, RS: UFRGS.

ALVES, M. E., FAN, F. M., & FLEISCHMANN, A. S. (2019). SIMULAÇÃO DE ROMPIMENTO DE BARRAGENS EM CASCATA COM O MODELO MGB. *XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS - ABRH*.

COLLISCHONN, W., & TUCCI, C. E. (2001). Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 95-118.

CPRM. (2017). *Curso de Capacitação de Técnicos Municipais para Prevenção e Gerenciamento de Riscos de Desastres Naturais.* Vitória, ES, Brasil: Processos hidrológicos.

DANTAS, C. G., & CANIL, K. (2017). Identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a inundação na bacia do Aricanduva - SP utilizando o algoritmo descritor de terreno HAND. *ANAIS SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 10 p.

DONCHYTS, G., WINSEMIUS, H., SCHELLEKENS, J., ERICKSON, T., GAO, H., SAVENIJE, H., & GIESEN, N. V. (2016). Global 30 m Height Above the Nearest Drainage. *Proceedings of the EGU General Assembly*, 17–22 .

FAN, F. M., & COLLISCHONN, W. (2014). Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 243-254.

FAN, F. M., COLLISCHONN, W., SORRIBAS, M. V., & PONTES, P. R. (2013). Sobre o Início da Rede de Drenagem Definida a Partir dos Modelos Digitais de Elevação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18*, 241-257.

FARR, T. G., ROSEN, P. A., CARO, E., CRIPPEN, R., DUREN, R., HENSLEY, S., . . . BURBANK, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics. v. 45*.

FLEISCHMANN, A. S., COLLISCHONN, W., & PAIVA, R. (2018). Integrando reservatórios e planícies de inundação para a simulação de cheias em grandes bacias: aplicação na bacia do rio Itajaí-Açu. *Anais do I Encontro Nacional de Desastres*.

FLEISCHMANN, A. S., SIQUEIRA, V. A., COLLISCHONN, W., & FAN, F. M. (2015). Desenvolvimento Do Módulo De Reservatórios Do Modelo Hidrológico MGB-IPH. *XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos* .

FLEISCHMANN, A., BRÊDA, J. P., FAN, F., WONGCHUIG, S., COLLISCHONN, W., KAZAY, D. F., . . . MUSSI, K. (2019). UM MODELO HIDROLÓGICO-HIDRODINÂMICO DA BACIA DO PARANÁ E SEUS RESERVATÓRIOS. *XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS - ABRH*.

GAO, B. C. (1996). NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 257-266.

GARRAFIEL, G. F. (2018). MAPEAMENTO DE INUNDACOES URBANAS A PARTIR DE IMAGENS DE RADAR DE ABERTURA SINTETICA DO PROGRAMA SENTINEL. *Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental*. Porto Alegre, RS: UFRGS.

GOERL, R. F., CHAFFE, P. L., SPECKHANN, G. A., PELLERIN, J. R., FLORES, J. A., ABREU, J. J., & SANCHEZ, G. M. (2017). O MODELO HAND COMO FERRAMENTA DE MAPEAMENTO DE ÁREAS PROPENSAS A INUNDAR. *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos -ABRH*.

KOBIYAMA, M. et al. (2010). Hydrological disasters reductions: lessons from hydrology. *Science and Technology for Environmental Studies*, 49-72.

KUWAJIMA, J. I., FAN, F. M., SCHWANENBERG, D., REIS, A. A., NIEMANN, A., & MAUAD, F. F. (2019). Climate change, water-related disasters, flood control and rainfall forecasting: a case study in river São Francisco. *GEOLOGICAL SOCIETY SPECIAL PUBLICATION*.

LEHNER, B., VERDIN, K., & JARVIS, A. (2008). New Global Hydrography Derived From Spaceborne Elevation Data. *EOS - v. 89*, 93-94.

LOPES, V. A., FAN, F. M., PONTES, P. R., SIQUEIRA, V. A., COLLISCHONN, W., & MARQUES, D. D. (2018). A first integrated modelling of a river-lagoon large-scale hydrological system for forecasting purposes. *JOURNAL OF HYDROLOGY*, 177-196.

MENGUE, V. P., SCOTTÁ, F. C., SILVA, T. S., & FARINA, F. (2016). Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação no Rio Uruguai. *Pesquisas em Geociências*, 41-53.

MILANESI, J., QUADROS, E. L., & LAHM, R. A. (2017). Utilização do modelo HAND no reconhecimento dos terrenos sujeitos a inundação - Porto Alegre/RS. *Revista Brasileira de Cartografia*, 675-686.

MONTEITH, J. L. (1965). Evaporation and environment . *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 205-224.



NASH, J. E., & SUTCLIFFE, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 282-290.

NETO, J. A., DORNELLES, F., FLEISCHMANN, A. S., & MEDEIROS, M. S. (2019). ESTIMATIVA DE IMPACTO DAS CHEIAS DE 1941, 1967 E 2015 EM PORTO ALEGRE NA HIPÓTESE DE INEXISTÊNCIA DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA CHEIAS DO LAGO GUAÍBA . *XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS - ABRH*.

NOBRE, A. D., CUARTAS, L., HODNETT, M., RENNÓ, C., RODRIGUES, G., SILVEIRA, A., . . . SALESKA, S. (2011). Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. *Journal Of Hydrology*, 13-29.

O'LOUGHLIN, F. E., PAIVA, R. C., DURAND, M., ALSDORF, D. E., & BATES, P. D. (2016). A multi-sensor approach towards a global vegetation corrected SRTM DEM product. *Remote Sensing of Environment - v. 182*, 49-59.

PAIVA, R. C., BUARQUE, D., COLLISCHONN, W., BONNET, M.-P., FRAPPART, F., CALMANT, S., & MENDES, C. A. (2013). Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. *Water Resource Research*, 1226-1243.

PAIXÃO, M. A., KOBIYAMA, M., ZAMBRANO, F. C., MICHEL, G. P., & FAN, F. M. (2018). LIÇÕES SOBRE O GERENCIAMENTO DE DESASTRES HIDROLÓGICOS OBTIDAS A PARTIR DA OCORRÊNCIA EM ROLANTE/RS. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 251-267.

PONTES, P. R., COLLISCHONN, W., FAN, F. M., PAIVA, R. C., & BUARQUE, D. C. (2015). Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 888-904.

PONTES, P. R., FAN, F. M., FLEISCHMANN, A. S., PAIVA, R. C., BUARQUE, D. C., SIQUEIRA, V. A., & COLLISCHONN, W. (2017). MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. *Environmental Modelling & Software. v. 94*, 1-20.

RENNÓ, C. D., NOBRE, A. D., CUARTAS, L. A., SOARES, J. V., HODNETT, M. G., TOMASELLA, J., & M. J. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing Of Environment*, 3469-3481.

SIQUEIRA, V. A., FLEISCHMANN, A. S., FAN, F. M., PAIVA, R. C., PONTES, P. R., & COLLISCHONN, W. (2017). DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO HIDROLÓGICO-HIDRODINÂMICO PARA A AMÉRICA DO SUL: PARTE 1. *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ABRH*.

SIQUEIRA, V. A., PAIVA, R. C., FLEISCHMANN, A. S., FAN, F. M., RUHOFF, A. L., PONTES, P. R., . . . COLLISCHONN, W. (2018). Toward continental hydrologic–hydrodynamic modeling in South America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 4815-4843.

SPECKHANN, G. A. (2015). Mapeamento de áreas de inundação em três municípios localizados na bacia do Rio Itajaí. *Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental - UFSC*. Florianópolis, SC.

TOWNSEND, P.A. (2001). Mapping seasonal flooding in forested wetlands using multi-temporal Radarsat SAR. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 857-864.

TSCHIEDEL, A. F., & PAIVA, R. C. (2018). Uncertainty Assessment in Hydrodynamic Modeling of Floods Generated by Dam Break. *REVISTA BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS; v.23*.

ZHANG, F., ZHU, X., & LIU, D. (2014). Blending MODIS and Landsat images for urban flood mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 3237-3253.