

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO NA DEMARCAÇÃO DE FAIXAS DE PRESERVAÇÃO E PROTEÇÃO

Vinicius Kuchinski¹; Rodrigo Cauduro Dias de Paiva & Anderson Ruhoff.

RESUMO

De acordo com o solicitado pelo regramento jurídico para a demarcação de áreas marginais de rios e lagos, foi utilizada uma metodologia híbrida através de modelagem hidrológica e hidrodinâmica e sensoriamento remoto em três locais em estudo no Rio Grande do Sul. Vazões e seus tempos de retorno (TR) foram vinculadas a manchas de inundação observadas, obtidas ao se utilizar o índice modificado de diferença normalizado de água (mNDWI) em imagens dos satélites *Landsat*. Para a previsão, utilizou-se a frequência de inundação do banco de dados do *JRC Global Surface Water*. A observação e a previsão foram comparadas utilizando as métricas de performance: métrica do ajuste, viés e razão de alarme falso. Os resultados obtidos mostraram que para a definição da calha do leito regular, considerado um TR = 1, o desempenho foi satisfatório, contudo não foram obtidas imagens com vazão correspondente suficiente para TR maiores em todas as regiões de estudo, inviabilizando a análise da definição de terreno marginal.

Palavras-Chave – Área de preservação permanente. Faixa marginal. Delimitação.

INTRODUÇÃO

Legislações são conjuntos de regras e ordenamentos que nos fazem conviver em sociedade, de maneira harmoniosa. Existem algumas legislações brasileiras que fazem menção a corpos hídricos e até mesmo às suas planícies de inundação. É o caso do inciso I do art. 4º do Código Florestal Brasileiro, que para a definição de área de preservação permanente cita as faixas marginais de curso d'água natural a partir da calha do leito regular – que é onde correm regularmente as águas durante o ano (BRASIL, 2012). Há também a definição de terreno marginal, que é aquele banhado por correntes navegáveis, demarcado 15 metros além da linha média das enchentes ordinárias – que é média aritmética das cotas máximas anuais referentes às enchentes com períodos de recorrência entre 3 e 20 anos (BRASIL, 1946; BRASIL, 2001).

Neste contexto, de acordo com Siqueira et al. (2018), simulações confiáveis de vazão e processos relacionados são vitais para o suporte de decisões de gestão de recursos hídricos no contexto de segurança hídrica, desastres naturais, navegação, agricultura e produção de energia. Modelos hidrológicos e hidrodinâmicos de grande escala surgem como ferramentas importantes para a simulação do ciclo hidrológico na fase terrestre e já se mostraram acurados o suficiente para serem utilizados na estimativa de vazões, níveis e na previsão de manchas de inundação (PAIVA et al., 2012; SIQUEIRA et al., 2018).

O sensoriamento remoto, por outro lado, há anos tem auxiliado no estudo da dinâmica das águas superficiais globais e trabalhos como o desenvolvido por Pekel et al. (2016) apresentam um avanço na compreensão do comportamento dos corpos hídricos, pois abrangem um período de mais

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 91501-970, Brazil, eng.vinicius@outlook.com

de 30 anos de observação, disponibilizando gratuitamente um banco de dados que apresenta a variação espaço-temporal da água superficial. Outros bancos de dados oriundos de satélites altimétricos e de mapeamento das águas superficiais têm surgido e, a possibilidade de análise em massa destes dados através da computação na nuvem (ex. plataforma *Google Earth Engine*) cria perspectivas animadoras para estudos hidrológicos aplicados (FASSONI-ANDRADE et al., 2020).

Esse trabalho tem por objetivo verificar o uso conjunto de sensoriamento remoto com modelagem hidrológica e hidrodinâmica para delimitação da extensão de corpos hídricos no contexto de atendimento à legislações brasileiras. O intuito é fornecer subsídio para o atendimento de normativas que têm corpos hídricos e suas planícies de inundação como gatilhos para demarcação de faixas de preservação em locais não monitorados.

Material e métodos

Área de estudo

Com o propósito de abranger diferentes tipos de corpos d'água, foram escolhidos três locais de estudo, cada um com características distintas, sendo o rio Uruguai, o rio e o delta do Jacuí e a lagoa o Mirim, todos localizados no estado do Rio Grande do Sul (RS), pertencentes a grande bacia chamada Rio Grande do Sul Hidrológico (RSH). Na tabela 1 são apresentados informações gerais sobre o RS e, também, sobre os municípios em que as minibacias estão inseridas. A figura 1 traz a demarcação do RSH, bem como a localização das áreas em análise e suas respectivas minibacias.

Tabela 1 – Características gerais das áreas selecionadas para o estudo.

Características	RS	Uruguaiana	Porto Alegre	Arroio Grande
Número da minibacia	-	32437	29741	27511
Área territorial (km ²) ¹	281.707,15	5.702,09	490,39	2.508,55
População estimada ¹	11.422.973	126.866	1.488.252	18.238
Produto interno bruto per capita (R\$, em 2017) ^{1,2}	37.371,27	21.808,17	52.149,66	29.608,24
Latitude ¹	-30,000	-29,755	-30,033	-32,238
Longitude ¹	-53,000	-57,088	-51,230	-53,087

¹ Portal IBGE Cidades (BRASIL, 2021);

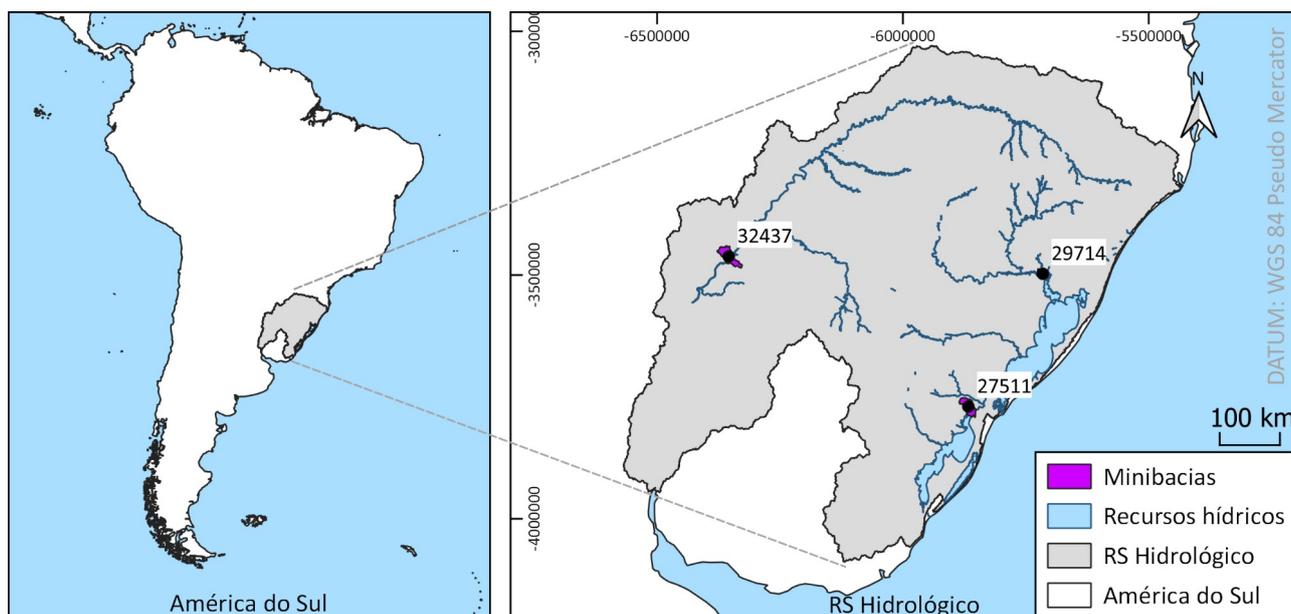
² Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 2020).

Modelagem hidrológica e hidrodinâmica

As minibacias supracitadas são oriundas do MGB-SA, uma aplicação do modelo MGB-IPH, que é um modelo hidrológico, semi-distribuído, de larga escala, apresentado inicialmente por Collischonn et al. (2007) e, neste caso, implementado para a América do Sul por Siqueira et al. (2018). Nesta versão do modelo, as bacias são divididas em unidades de captação (aqui chamadas de minibacias) que são unidades que contém apenas um trecho rio associado.

As séries de vazão simuladas pelo modelo MGB-SA estão disponíveis no sítio eletrônico South America River Time Series (HGE-IPH, 2021) no contexto da iniciativa chamada de SAMEWater (Paiva, et al. 2017), que visa difundir conhecimento científico e avanços tecnológicos na área de recursos hídricos para a América do Sul, seja por meio de desenvolvimentos de técnicas de modelagem ou por disponibilização de banco de dados que deem suporte novas pesquisas, por exemplo. O período simulado que está disponível é de 1990 até 2009.

Figura 1 – Localização das áreas em estudo – minibacias 32437, 29741 e 27511 no contexto do RSH.



Para a consecução do objetivo, realizou-se o cálculo do tempo de retorno (TR) para as vazões dos trechos selecionados. Após, cada imagem foi vinculada com o seu tempo de retorno respectivo, através de interpolação entre os valores intermediários. O cálculo do tempo de retorno foi elaborado por meio da seguinte sistemática:

- os valores de vazão foram organizados por data;
- é selecionado o maior valor para cada ano da série;
- as máximas anuais foram ordenadas da maior para a menor e receberam um número de ordem crescente;
- foi realizado o cálculo do TR, conforme a fórmula de Weibull (Kumar et al. 2015) (equação 1);

$$TR = \frac{(n+1)}{m} \quad (1)$$

onde TR é o tempo de retorno, n é o número total de elementos e m é o número da ordem do elemento em análise

Sensoriamento Remoto

O geoprocessamento do trabalho foi realizado através da plataforma do *Google Earth Engine* (GEE) (GOOGLE, 2021). O código utilizado neste trabalho pode ser acessado [aqui](#). Foram utilizadas as coleções dos satélites *Landsat 4, 5, 7 e 8* (L4, L5, L7 e L8) para a reflectância superficial de primeiro escalão (SR T1). Esse conjunto foi selecionado devido sua resolução espacial (30 metros/*pixel*), resolução temporal (16 dias), resolução espectral (multiespectral, variando do verde visível para o infravermelho de onda curta 2 para os satélites L4 a L8, com a adição da banda pancromática para o L8) e também pelo intervalo de tempo de operação entre suas diferentes missões. A abrangência temporal foi de 1982 até 2021 (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2021b).

As imagens foram selecionadas de acordo com a disponibilidade sobre as áreas em estudo. Evitou-se utilizar imagens com percentual de cobertura de nuvens superior a quarenta. Foi utilizada uma máscara de nuvens, que faz a remoção dos *pixels* onde o valor de seus *bits* foram considerados como nuvem. Para os satélites L4, L5 e L7 os *bits* foram os 66 e 68 (considerados terreno e água, com pouca confiança de nuvens, respectivamente), já para o satélite L8 os *bits* considerados foram 322, 324 e 1346 (considerados limpo e água com pouca confiança de nuvens, e terreno limpo ou obstruído, respectivamente). Essa discrepância nos valores origina-se na diferença de resolução radiométrica dos sensores (SAYLER e ZANTER, 2020; U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2021a).

Essas imagens foram consideradas como a referência observada. A partir disso, foi extraída a máscara d'água por meio do índice modificado de diferença normalizado de água (mNDWI – eq. 2 e 3) para cada uma das imagens, conforme adaptado de Xu (2006). Após a aplicação do mNDWI, foi transformado o resultado em uma máscara dicotômica de inundação onde o valor 0 foi considerado como não água e 1 como água.

$$mNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR} = \frac{Band\ 2_{L4,5,7} - Band\ 5_{L4,5,7}}{Band\ 2_{L4,5,7} + Band\ 5_{L4,5,7}} \quad (2)$$

$$mNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR} = \frac{Band\ 3_{L8} - Band\ 6_{L8}}{Band\ 3_{L8} + Band\ 6_{L8}} \quad (3)$$

Comparou-se, então, a referência observada com manchas de inundação denominadas como previstas. Estas manchas foram obtidas utilizando mapas de frequência de inundação conforme explicadas por Fassoni-Andrade et al. (2020). Nesse artigo os autores disponibilizaram uma rotina para o GEE que calcula a frequência de inundação para determinado local, baseado no banco de dados *JRC Global Surface Water* disponibilizado por Pekel et al. (2016), que contém o histórico da ocorrência de água para cada mês, em um intervalo entre 1984 e 2020.

O código disponibilizado foi ajustado para que fosse extraída uma mancha conforme a frequência de inundação requerida (e informada) pelo usuário. Assim, através da equação 4, foram obtidas as frequências de inundação (f) de acordo com os TR que se deseja comparar.

$$f = \frac{1}{TR} \quad (4)$$

Por fim, quando da comparação entre as manchas observadas e as manchas previstas, realizou-se uma seleção das imagens que estavam entre o intervalo de TR superior e inferior ao TR requerido. Para que todas as imagens do intervalo fossem consideradas, utilizou-se o valor mediano para cada *pixel*, selecionando apenas aqueles em que o resultado era igual a 1,00, ou seja, indicando sua presença em todas as imagens.

Performance

Por fim, para verificar a performance da previsão, utilizou-se as seguintes métricas (Bates e Roo, 2000), Wilks (2006) e Paiva et al. (2012):

a) métrica do ajuste, ou *threat score* (TS), equação 5, que mede a acurácia, penalizando áreas onde errou-se na previsão, quanto mais próximo da unidade o valor do TS, melhor a previsão;

- b) o índice de viés (BIAS), equação 6, que é a simples verificação da razão entre as previsões consideradas como sim e as observações consideradas como sim, quanto mais próximo da unidade, menos enviesado é o resultado, valores maiores que a unidade indicam previsões de inundação excessivas, enquanto valores menores que a unidade indicam que a previsão está sendo insuficiente;
- c) a razão de alarme falso (FAR), equação 7, que mede a fração de área inundada prevista que não se materializa na observação;

$$TS = \frac{a}{a+b+c} \quad (5)$$

$$BIAS = \frac{a+b}{a+c} \quad (6)$$

$$FAR = \frac{b}{a+b} \quad (7)$$

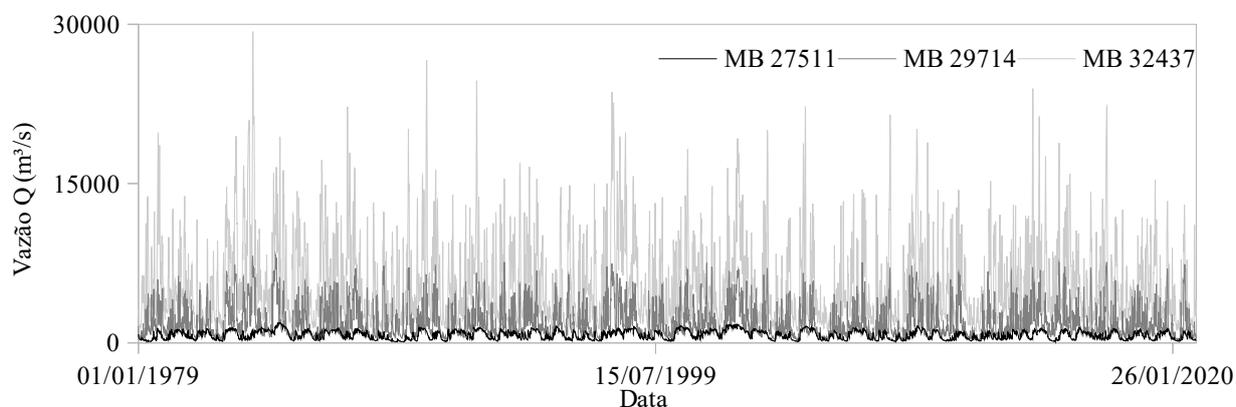
onde a é o total dos *pixels* que são previstos e observados molhados, b é o total dos *pixels* que são previstos molhados mas não observados, c é o total de *pixels* que são previstos secos mas não observados e d é o total dos *pixels* previstos e observados secos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho faz parte de uma pesquisa em desenvolvimento. Sendo assim, os resultados e as conclusões aqui apresentados são preliminares.

Foram utilizadas séries estendidas para os trechos de minibacias selecionados, com o objetivo do cálculo do tempo de retorno das vazões ser o mais representativo possível. As séries abrangeram o período de 01-01-1979 até 02-02-2021 e estão dispostas na figura 2.

Figura 2 – Séries de vazões utilizadas para cada um dos trechos (minibacias) selecionados no estudo.



Pode-se perceber que os três trechos selecionados têm grandezas distintas, pois enquanto a minibacia 27511, em Arroio Grande, tem uma vazão média (Q_m) para o período de $755 \text{ m}^3/\text{s}$, a minibacia 29714, em Porto Alegre, tem uma $Q_m = 1.989 \text{ m}^3/\text{s}$ e a Q_m da minibacia 32437 em Uruguaiana foi de $5.722 \text{ m}^3/\text{s}$.

Foi processado um total de 1.547 imagens, sendo 38% para a cidade de Uruguaiana, 30% para a cidade de Porto Alegre e 32% para a cidade de Arroio Grande, conforme a disponibilidade dos dados de satélites *Landsat*. Atribuiu-se uma vazão correspondente (Q_{corr}) para cada imagem, e deste total, apenas 218 imagens tinham Q_{corr} que estava dentro dos valores máximos anuais utilizados para cálculo do TR. Baseado nestes valores, foi possível verificar o TR equivalente (TR_{equiv}) à mancha de inundação proveniente da cena em análise. A tabela 2 traz um resumo do cálculo do TR_{equiv} para alguns dos valores de TR obtidos por interpolação dos valores superiores e inferiores de vazão e de TR (Q_{sup} , Q_{inf} , TR_{sup} , TR_{inf} , respectivamente).

Como pode ser verificado na tabela 2, que relaciona as imagens disponíveis para o período, de maneira resumida, foi possível obter TR variando de 1 a 3 para o rio e delta do Jacuí em Porto Alegre (29714) e TR variando entre 1 e 8 para o rio Uruguai em Uruguaiana (32437), arredondando. Já para o município de Arroio Grande (27511), no canal de São Gonçalo, entre a lagoa dos Patos e a lagoa Mirim, com o maior quantitativo de imagens que coincidiram com mais vazões entre as vazões máximas, foi possível obter valores de TR variando de 1 até 43.

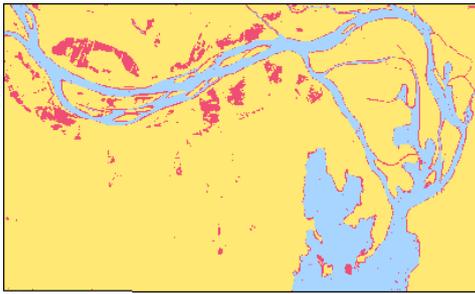
Tabela 2 – TR equivalente para as minibacias em estudo e suas imagens correspondentes (resumo).

Código da imagem	Data	Q_{corr}	Q_{sup}	Q_{inf}	TR_{sup}	TR_{inf}	TR_{equiv}
Minibacia 29714 – Porto Alegre							
LT05_221081_19890929	29/09/1989	7.116	7.127	7.103	3,07	2,69	2,89
LE07_221081_20121006	10/06/2012	4.951	5.466	4.894	1,08	1,05	1,05
Minibacia 32437 - Uruguaiana							
LT05_225081_19900608	06/08/1990	23.265	23.634	22.261	8,60	7,17	8,21
LT05_225081_19971118	18/11/1997	20.187	21.488	20.143	4,78	4,30	4,32
LT05_225081_20081031	31/10/2008	16.947	17.220	16.917	2,05	1,95	1,96
LT05_225081_19930312	03/12/1993	11.760	11.792	11.602	1,05	1,02	1,04
Minibacia 27511 - Arroio Grande							
LT05_222082_19840805	08/05/1984	1.898	1.901	1.738	43,00	21,50	42,68
LE07_222082_20020612	06/12/2002	1.730	1.740	1.604	21,50	14,33	21,08
LE07_222082_20020714	14/07/2002	1.657	1.738	1.604	21,50	14,33	17,16
LT05_222082_20020316	16/03/2002	1.082	1.086	1.010	1,05	1,02	1,05

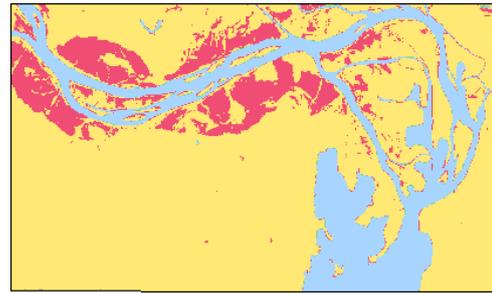
A figura 3 traz o resultado da comparação entre as manchas de inundação observadas e as manchas previstas. São apresentados alguns dos resultados, onde cada um deles representa um TR diferente. Pode-se verificar, visualmente, que o leito principal do rio Jacuí (29714) é representado de maneira adequada para ambos os TR, porém quando se observa a planície de inundação é perceptível que a mancha prevista não consegue representar de maneira adequada a área úmida que foi observada.

Na comparação das manchas em Uruguaiana (32437), informa-se que apesar dos filtros aplicados no momento da seleção das imagens, mesmo assim houve imagens com ruídos que pouco ou nada agregaram na análise ($TR = 3$ e 5 – comparações não apresentadas). Vê-se que o leito principal do rio Uruguai também é bem representado para todos os TR e que, da mesma forma que para a minibacia 29714, é perceptível que a mancha prevista não consegue representar adequadamente área úmida observada.

Figura 3 – Comparação entre as manchas previstas e observadas , com diferentes TR.



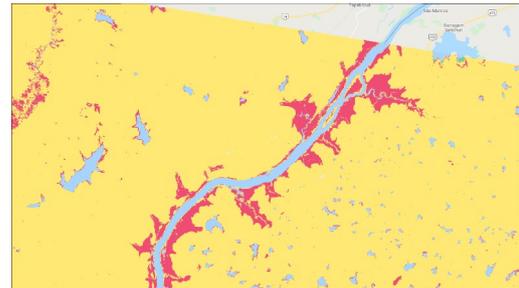
Minibacia 29714 – Porto Alegre, TR = 1



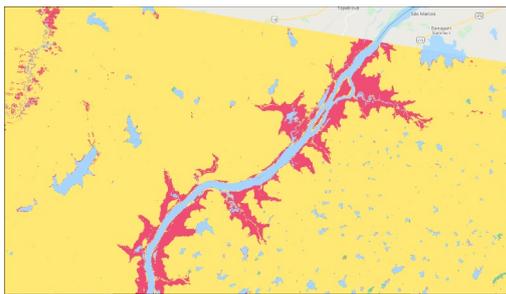
Minibacia 29714 – Porto Alegre, TR = 3



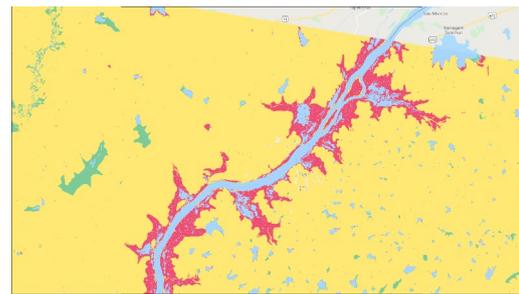
Minibacia 32437 – Uruguaiiana, TR = 1



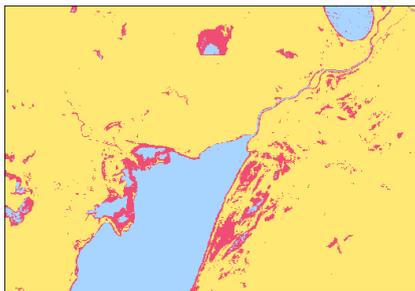
Minibacia 32437 – Uruguaiiana, TR = 2



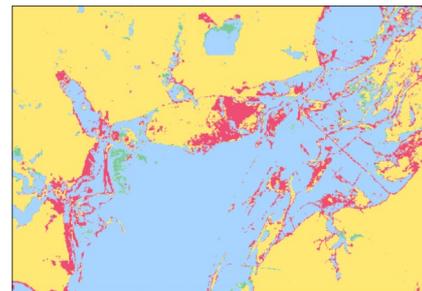
Minibacia 32437 – Uruguaiiana, TR = 4



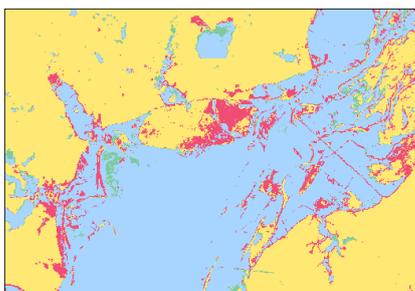
Minibacia 32437 – Uruguaiiana, TR = 8



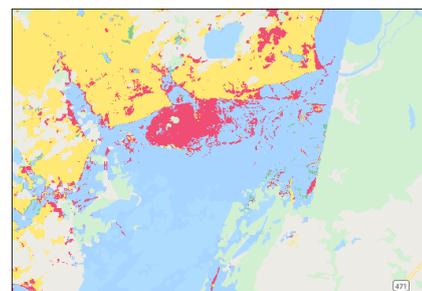
Minibacia 32437 – Arroio Grande 27511, TR = 1



Minibacia 32437 – Arroio Grande 27511, TR = 17



Minibacia 32437 – Arroio Grande 27511, TR = 21



Minibacia 32437 – Arroio Grande 27511, TR = 43

Legenda

■ Previsto e observado molhado
 ■ Previsto molhado, mas não observado
 ■ Previsto seco, mas não observado
 ■ Previsto e observado seco

Com relação aos resultados para Arroio Grande (27511), para os TR 1, 2 e 6 verificou-se a mesma dificuldade de se representar a área úmida na planície de inundação pela previsão. Já para os TR maiores, percebe-se um maior índice de acertos. No TR = 43 existem algumas falhas decorrentes da presença de nuvens, removidas pelos filtros aplicados.

As estatísticas de performance foram compiladas na tabela 3. Fleischmann et al. (2019) propuseram requisitos para que as estimativas de um modelo hidrodinâmico sejam consideradas localmente relevantes. Neste caso, embora as manchas de inundação não tenham sido geradas por um modelo hidrodinâmico, para a análise da performance das estimativas optou-se por adotar os critérios propostos por Fleischmann et al. (2019). Sendo assim, o mapa binário de mancha de inundação com TS acima de 0,65 poderia ser considerado relevante localmente.

Tabela 3 – Resultado das estatísticas de performance.

Estatísticas	Porto Alegre			Uruguiana					Arroio Grande									
	Tempo de retorno equivalente																	
	1	2	3	1	2	3	4	5	8	1	2	3	6	8	13	17	21	43
TS	0,77	0,54	0,61	0,65	0,42	0,38	0,42	0,03	0,38	0,71	0,47	0,65	0,63	0,42	0,67	0,78	0,81	0,77
BIAS	0,77	0,55	0,62	0,66	0,42	0,38	0,45	0,04	0,64	0,71	0,49	0,69	0,68	1,78	1,33	0,85	0,88	0,80
FAR	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,05	0,11	0,29	0,00	0,02	0,03	0,05	0,54	0,30	0,04	0,05	0,02

Diante dos resultados, nos locais em estudo, para um TR = 1, pode-se considerar todos como localmente relevantes, pois ficaram com TS acima de 0,65, com BIAS variando entre 0,66 a 0,77 o que indica um certo viés e previsão insuficiente, o que é confirmado pelo FAR muito próximo a zero nas três comparações.

Entendeu-se que a metodologia eleita para previsão poderia ser aplicada para cumprimento da legislação do Código Florestal (Lei 12,651/2012) quanto à definição de leito regular. Conforme a lei, leito regular é a calha por onde correm regularmente as águas do curso d'água durante o ano (BRASIL, 2012). Ao se aplicar o conceito de TR à mancha de inundação, prevê-se que sua extensão para um TR = 1 poderia ser considerada como sua ocorrência regular durante o ano.

Não se entendeu da mesma forma para a definição de terrenos marginais. De acordo com o art. 4º do Decreto-Lei 9,760/1946 (BRASIL, 1946) e os itens 4.10 e 4.10.6 da ON-GEADE-003, em que a extensão da faixa marginal depende da localização da margem do corpo hídrico quando a cota de referência é a média das cotas máximas anuais de enchentes entre 3 e 20 anos (BRASIL, 2001). Pois, não se obteve imagens que com TR entre 3 e 20 anos para todos os locais de estudo.

Por fim, considerando leito regular (BRASIL, 2012) e faixa marginal (BRASIL, 1946), os resultados mostraram-se satisfatórios para o primeiro dispositivo legal. Entretanto, carece de maiores investigações quanto: a precisão da utilização da vazão em detrimento ao nível do escoamento superficial no contexto de definição do TR; a adequada resolução espacial para atendimento da legislação e posterior delimitação das áreas de preservação permanente ou de faixas marginais reservadas; no contexto das faixas marginais, verificar a possibilidade de se realizar a média das manchas de inundação entre os TR = 3 e 20 para o efetivo cumprimento legal.

CONCLUSÕES

O presente trabalho, que faz parte de uma pesquisa em andamento, teve por objetivo utilizar sensoriamento remoto e modelagem hidrológica e hidrodinâmica para atendimento de legislações

brasileiras que têm dispõem sobre corpos hídricos e suas planícies de inundação. Vinculou-se tempos de retorno oriundos de séries de vazões às manchas de inundações de imagens de satélite para que se pudesse obter as manchas que atendessem a tais dispositivos legais.

Os resultados preliminares obtidos foram satisfatórios no contexto da legislação referente ao Código Florestal Brasileiro para a delimitação de áreas de preservação permanente, através da definição da calha do leito regular do rio (BRASIL, 2012). Sugere-se novas investigações a fim de confirmar a aplicação da metodologia proposta. Já para a delimitação de faixas marginais (BRASIL, 1946), não foi possível definir a mancha de inundação da média das enchentes ordinárias pois não haviam imagens suficientes para atendimento do disposto legal.

Para continuidade do trabalho, deixa-se como sugestão a substituição de séries de vazão para séries de níveis, que também podem ser obtidas por modelagem hidrodinâmica. Outra sugestão é investigar novas formas de traduzir a frequência de inundação para diferentes TR. Também sugere-se a realização da média das extensões das manchas de inundação entre os TR = 3 a 20, para verificar a possibilidade de utilização da metodologia para delimitação de faixas marginais.

REFERÊNCIAS

BATES, Paul D.; ROO, A. P. J. de. *A simple raster-based model for flood inundation simulation*. Journal Of Hydrology, Bristol, p. 54-77, 2000.

BRASIL. *Decreto-Lei nº 9760, de 5 de setembro de 1946*. Dispõe sobre os bens imóveis da União e dá outras providências. Rio de Janeiro, 1946.

BRASIL. *Lei nº 12651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Código Florestal. Brasília, 2012.

BRASIL. Ministério do Planejamento. Superintendência de Patrimônio da União. *Orientação Normativa nº 003, de 04 de junho de 2001*. Disciplina a demarcação de terrenos marginais e seus acrescidos. ON-GEADE-003. Brasília, 2001.

BRASIL. *Portal Cidades*. Elaborado por Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 24 maio 2021.

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.; DA SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M.. *The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling*, Hydrolog. Sci. J.-Journal Des Sciences Hydrologiques, 52, 878–895, <https://doi.org/10.1623/hysj.52.5.878>, 2007.

FASSONI-ANDRADE, A. C.; PAIVA, R. C. D.; FLEISCHMANN, A. S.. *Lake Topography and Active Storage From Satellite Observations of Flood Frequency*. Water Resources Research, v. 56, n. 7, 29 jun. 2020. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2019wr026362>.

FLEISCHMANN, A.; PAIVA, R.; COLLISCHONN, W.. *Can regional to continental river hydrodynamic models be locally relevant? A cross-scale comparison*. Journal Of Hydrology X, v. 3, p. 100027, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hydroa.2019.100027>.

GOOGLE. *Google Earth Engine Code*. 2021. Disponível em: <https://code.earthengine.google.com/>. Acesso em: 10 maio 2021.

HGE-IPH, Hidrologia de Grande Escala. *South America River Discharge Time Series*. 2021. Disponível em: <https://sarts-samewater.herokuapp.com/#>. Acesso em: 05 maio 2021.

KUMAR, R.; BHARDWAJ, A.. *Probability analysis of return period of daily maximum rainfall in annual data set of Ludhiana, Punjab*. Indian Journal Of Agricultural Research, v. 49, n. 2, p. 160, 2015. Diva Enterprises Private Limited. <http://dx.doi.org/10.5958/0976-058x.2015.00023.2>.

PAIVA, R. C. D. D., COLLISCHONN, W., FAN, F. M., SIQUEIRA, V. A., FLEISCHMANN, A. S., RUHOFF, A. L., ... & BRÊDA, J. P. L. F.. "SAMEWATER: Uma agenda de pesquisa integrada da hidrologia da América do Sul" in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos, Florianópolis, 2017.

PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; BUARQUE, D. C.. *Validation of a full hydrodynamic model for large-scale hydrologic modelling in the Amazon*. Hydrological Processes, v. 27, n. 3, p. 333-346, 19 mar. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.8425>.

PEKEL, J.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A. S.. *High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes*. Nature, v. 540, n. 7633, p. 418-422, 7 dez. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature20584>.

RIO GRANDE DO SUL. *Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul*. 5. Ed, Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. Departamento de Planejamento Governamental, 2020.

SAYLER, K.; ZANTER, K.. *Landsat 8 Collection 1 (C1) Land Surface Reflectance Code (LaSRC): Product Guide*. Sioux Falls: U.S. Geological Survey, 2020.

SIQUEIRA, V. A.; PAIVA, R. C. D.; FLEISCHMANN, A. S.; FAN, F. M.; RUHOFF, A. L.; PONTES, P. R. M.; PARIS, A.; CALMANT, S.; COLLISCHONN, W.. *Toward continental hydrologic-hydrodynamic modeling in South America*. Hydrology And Earth System Sciences, v. 22, n. 9, p. 4815-4842, 18 set. 2018. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-22-4815-2018>.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. *Landsat Collection 1 Level-1 Quality Assessment Band*. 2021a. Disponível em: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-collection-1-level-1-quality-assessment-band/>. Acesso em: 24 maio 2021.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. *Landsat Satellite Missions*. 2021b. Disponível em: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions/>. Acesso em: 24 maio 2021.

WILKS, D.S.. *Statistical Methods In The Atmospheric Sciences*. 2. ed. Burlington: Elsevier, 2006. 649 p.

XU, H.. *Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery*. International Journal Of Remote Sensing, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 20 jul. 2006. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160600589179>.