

## AVALIAÇÃO DO USO DE PRECIPITAÇÕES PROVENIENTES DE REANÁLISE PARA RECONSTRUÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRODINÂMICA DE EVENTO EM BACIA HIDROGRÁFICA NO SUL CATARINENSE (BRASIL)

*Franciele Maria Vanelli <sup>1\*</sup>; Sly Wongchuig Correa <sup>1</sup>; Joel Avruch Goldenfum <sup>2</sup> & Fernando Mainardi Fan <sup>2</sup>*

**ABSTRACT** – Over the decades, maximum extreme hydrological events have reached Brazilian municipalities causing tangible and intangible damage. To understand these events, the hydrological and hydrodynamic reconstruction aims to represent the past event in order to study the importance of the forcing agents involved and their interactions, as well as the catchment's behavior. However, lack of data may compromise these studies. A recently applied method in hydrology that may assist in obtaining past data refers to the use of reanalysis, which is the constant reprocessing of observations using models and data assimilation methods. The present study aims to analyze if the precipitation data obtained by climate reanalysis can complement the information for hydrological and hydrodynamic reconstruction of a historical flood occurred in March 1974 in Tubarão city, SC. The object of study is a catchment with an area of approximately 6000 km<sup>2</sup>. For this area, precipitations obtained from the reanalysis product ERA-20CM were compared with observed precipitation data and used as input to the MGB-IPH hydrological model, with the resulting hydrographs compared to in-situ flow observations. Analyzing the precipitation occurred in March 1974, it is possible to identify that the reanalysis data present values that are underestimated in relation to the observed data, mainly on the days of more intense rains. Applying precipitation data as forcing in the MGB-IPH model, simulated hydrographs were obtained that were compared to the observed hydrograph from the local rating curve. In the analysis of March 1974, the applied performance measures point to the underestimation of values of the simulated flows from the precipitation data of the reanalysis in relation to the observed data. In this case, the climate reanalysis were insufficient as an alternative for use in hydrological and hydrodynamic reconstruction of the extreme event that occurred in March 1974 in Tubarão city, SC.

**Palavras-Chave** – Reanálise climática; Inundação; MGB-IPH

---

1) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – IPH/UFRGS

2) Professor Titular – IPH/UFRGS

\*franvanelli@yahoo.com.br

## 1 - INTRODUÇÃO

A proximidade das populações com os rios torna a ocorrência de processos hidrológicos intensos, tais como inundações, em desastres naturais (Kobiyama *et al.*, 2006). Conforme o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (Brasil, 2013), enxurradas e inundações são responsáveis por 71,55% das mortes associadas a desastres.

A representação de um determinado evento ocorrido no passado visando compreender a importância dos agentes forçantes envolvidos denomina-se reconstrução. Quando o estudo focar aspectos de hidrologia e/ou hidráulica, visando compreender o evento, seus agentes forçantes e interações, bem como, o comportamento da bacia hidrográfica, esse estudo passa a ser nomeado como reconstrução hidrológica e hidrodinâmica. Sua aplicação para eventos extremos pode colaborar para a tomada de decisões no âmbito da gestão de desastres naturais, tais como, aprimorar o sistema de monitoramento e previsão mitigando os riscos associados. No entanto, a carência de registros com detalhes sobre inundações pode comprometer o estudo de eventos passados e a análise do comportamento da bacia hidrográfica (Giglio e Kobiyama, 2011).

Um método recentemente aplicado na hidrologia que pode auxiliar na obtenção de dados passados se refere ao uso de reanálise, ou seja, estudo retrospectivo da evolução de determinado sistema. Inicialmente, esse método foi desenvolvido nas áreas da meteorologia e oceanografia com a finalidade de gerar um registro coerente de diversas variáveis mediante o uso de modelos climáticos e técnicas de assimilação de dados (Dee *et al.*, 2014), sendo sua aplicação para compreensão dos processos hidrológicos passados no Brasil ainda incomum (Paiva *et al.*, 2017). Wongchuig *et al.* (2017) propuseram a metodologia de Retrospectiva Hidrológica baseada na aplicação de grandes conjuntos de dados de precipitação provenientes de diferentes bases de dados de reanálise como entrada em um modelo hidrológico distribuído visando criar um registro da hidrologia ocorrida no passado, possibilitando a análise de enchentes e secas passadas.

Considerando a aplicação da reanálise para compreensão de eventos hidrológicos passados, o presente estudo visa responder a seguinte questão: “Os dados de precipitação obtidos por reanálise podem complementar as informações para um estudo de reconstrução hidrológica e hidrodinâmica de uma inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar, Santa Catarina (SC), Brasil?”. Para tal, as precipitações obtidas por reanálise, ERA-20CM (Herbasch *et al.*, 2015), foram comparadas com dados provenientes de estações pluviométricas. Além disso, os dados de precipitação dessas duas fontes foram empregados no modelo hidrológico MGB-IPH (Collischonn *et al.*, 2007), cujos hidrogramas resultantes foram confrontados com observações de vazão *in situ*.

## 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada no presente estudo consiste nas seguintes etapas: (a) aquisição dos dados de precipitação e vazão provenientes de estações pluviométricas e fluviométricas, respectivamente; (b) aquisição dos dados de reanálise da base de dados selecionada;

(c) comparação dos hietogramas obtidos pela interpolação espacial dos dados de precipitação; (d) simulação hidrológica; (e) comparação dos hidrogramas simulados aplicando os dados das estações pluviométricas e da base de dados de reanálise com os hidrogramas observados.

## 2.1 - Área de estudo

O Rio Tubarão, que atravessa o município homônimo no sul de SC, nasce nas encostas da Serra Geral e percorre cerca de 120 km até desembocar na sua foz, Lagoa de Santo Antônio. A unidade territorial desse estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar com uma área de cerca de 5.700 km<sup>2</sup>.

O município de Tubarão possui registros de transbordamentos do rio desde o século XIX (Machado, 2005). Entretanto, a inundação ocorrida em 1974 tomou proporções catastróficas, gerando perdas tangíveis e intangíveis. Sobre esse evento, Bigarella *et al.* (1975) atribuem a ocorrência das precipitações contínuas e ventos sudeste no sul de SC ao bloqueio atmosférico e ao anticiclone polar responsável pela circulação das massas de ar frias e saturadas.

## 2.2 - Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH)

O Modelo de Grandes Bacias, MGB-IPH (Collischonn *et al.*, 2007), é um modelo matemático que permite a representação de processos hidrológicos e hidráulicos em bacias com área de drenagem superior a 1.000 km<sup>2</sup>. A simulação inclui os processos de evapotranspiração, balanço de água no solo, geração de escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo, e propagação das vazões na rede de drenagem que pode ser realizada pelo método simplificado Muskingum-Cunge ou pelo modelo inercial (Pontes *et al.*, 2015; 2017). A rede de drenagem é segmentada em trechos originando unidades menores denominadas minibacias. A combinação entre essas unidades, o tipo de solo e classe do solo resultam em Unidades de Resposta Hidrológica (Pontes *et al.*, 2015).

No presente estudo, a rede de drenagem foi segmentada em trechos com distância mínima de 4.000 m resultando em 617 minibacias. Aplicou-se a propagação simplificada pelo método de Muskingum-Cunge. Os parâmetros do modelo hidrológico empregados correspondem aos valores obtidos por Vanelli (2018) que obteve coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe igual ou superior a 0,50 e erro percentual absoluto médio inferior a 30% nas etapas de calibração e validação visando a representação de eventos de máxima extrema.

## 2.3 - Dados hidrológicos

Os dados hidrológicos – precipitação de 24 h acumulada e vazão média diária gerada pela curva-chave – foram obtidos da base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA).

No levantamento dos dados pluviométricos foram identificadas 29 estações localizadas na área de estudo e proximidades com dados consistidos para o período de 1970 a 1979. Utilizando procedimentos inerentes do MGB-IPH, os dados pluviométricos das estações foram espacialmente interpolados para os centroides de cada minibacia pelo método do inverso da distância ao

quadrado (Collischonn *et al.*, 2007). Esses valores foram utilizados como entrada para o modelo hidrológico MGB-IPH, obtendo-se, então, os valores de vazão ao longo do período analisado.

Os dados de vazão são utilizados para comparação entre os hidrogramas observado e simulado. Os valores observados se referem aos dados de vazão consistidos pela ANA para o período de 1970 a 1979. A escolha das estações fluviométricas (Tabela 1) levou em consideração a existência de dados sem falhas para o período de interesse e área de drenagem igual ou superior a 1.000 km<sup>2</sup>, pois os resultados tendem a ser melhores quando avaliados em estações que controlam maior área de drenagem (Collischonn *et al.*, 2007). Para a sub-bacia do Rio Capivari, foi necessário adotar uma estação fluviométrica com área de drenagem de 700 km<sup>2</sup>, visto que a estação com maior área de drenagem não possuía dados.

Tabela 1 – Estações fluviométricas utilizadas

Código	Nome da estação	Rio	Latitude	Longitude	Área drenagem (km <sup>2</sup> )
84580000	Rio do Pouso	Tubarão	-28,42	-49,11	2.740
84600000	Armazém Capivari	Capivari	-28,26	-49,01	770

## 2.4 - Dados de reanálise

A reanálise climática é um reprocessamento de observações climáticas que usam sistemas de previsão do tempo e técnicas de assimilação de dados objetivando obter uma descrição abrangente da circulação atmosférica usando maior quantidade de informação possível (Dee *et al.*, 2014). Um dos produtos da reanálise se trata da precipitação que pode ser gerada por modelos atmosféricos ou pela combinação desses modelos com dados de precipitação *in-situ* e/ou estimados por satélite dentro de um esquema de assimilação de dados. Melhores sistemas de previsão são obtidos pela combinação entre modelos e dados assimilados provenientes de satélite e/ou *in-situ* do que quando usando somente modelos atmosféricos, de modo que se espera que quanto mais informação assimilada, melhor representação da precipitação (Wongchuig *et al.*, 2017). Os mesmos autores apontam que o desempenho da reanálise de precipitações depende de fatores como localização, área da bacia hidrográfica, topografia e características climáticas.

As bases de dados disponíveis gratuitamente para obtenção de dados de precipitação que contemplam o período de interesse consistem apenas em informações de modelos atmosféricos. Assim, optou-se pela base de dados *Twentieth-century atmospheric model ensemble*, ERA-20CM, desenvolvido pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) que apresenta a resolução espacial mais detalhada buscando melhor representação da área de estudo. O produto ERA-20CM disponibiliza dez saídas ou membros de um conjunto de variáveis, dentre elas a precipitação diária, contemplando o período de 1899 a 2010 com resolução espacial de 0,125° x 0,125° (Herbasch *et al.*, 2015).

Foi realizada a aquisição dos dados de precipitação para o período de 1970 a 1979, disponíveis no endereço eletrônico: <<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/era20cm-daily/levtype=sfc/>>. Posteriormente, empregando o programa computacional Matlab® foi realizada a extração dos dados, obtendo informações de 957 estações virtuais para cada um dos dez membros do

conjunto. Com esses valores foi realizada a interpolação espacial pelo método do inverso da distância ao quadrado para o centroide de cada minibacia. Após a aquisição e preparação desses dados, os mesmos foram utilizados como entrada do MGB-IPH, resultando em hidrogramas.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para comparação entre os valores de precipitação observados e os provenientes da base de dados de reanálise ERA-20CM, foi calculada a média ponderada em função da área das minibacias para cada uma das séries de dados. O hietograma apresentado na Figura 1 contempla o mês de março de 1974 e ilustra a máxima, média e mínima do conjunto da reanálise. Comparando-os com os dados de precipitação observados, é possível identificar que os dados de reanálise apresentam valores subestimados, principalmente, no período de chuvas mais intensas. No dia 25/03/1974, o valor observado indica um pico de aproximadamente 90 mm.d<sup>-1</sup>, enquanto a máxima dos membros é inferior a 30 mm.d<sup>-1</sup>. O pico das máximas do conjunto da reanálise e o pico observado apresentam aproximadamente duas semanas de diferença entre eles e a máxima da reanálise é inferior à máxima observada.

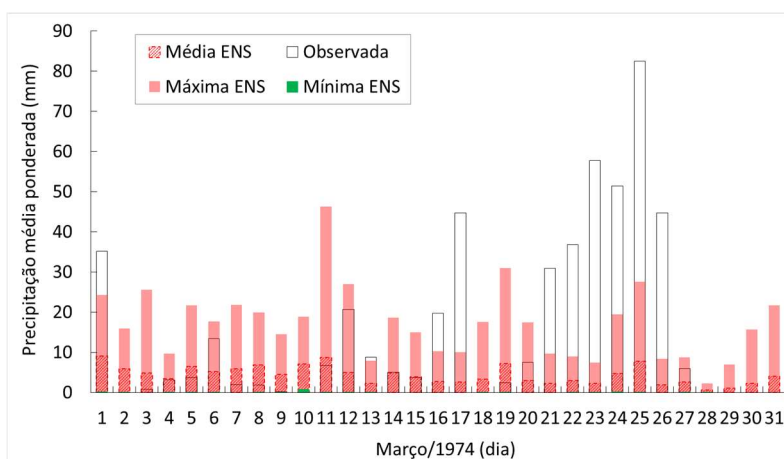


Figura 1 – Hietograma dados observados e média dos dados provenientes de reanálise. (Fonte: autores).

Analisando a representatividade dos membros em relação à média para todo o período de análise, 1970 a 1979, tem-se que o membro 4 (ENS 4) é o mais representativo em relação à média dos membros do conjunto, cuja raiz do erro quadrático médio é de 6,17 mm, enquanto o menos representativo é o membro 6 (ENS 6) com 6,57 mm.

A distribuição espacial da precipitação, ilustrada na Figura 2, foi elaborada considerando o valor acumulado de chuva para o período de ocorrência do evento, 22 a 26/03/1974. Analisando as áreas de contribuição do município, o máximo volume acumulado ocorreu em uma área de aproximadamente 75 km<sup>2</sup>. Nota-se que a escassez de estações pluviométricas na área de estudo pode limitar a representação espacial das chuvas, entretanto, mesmo assim, os dados de reanálise subestimaram os valores da precipitação.

Analisando a área de estudo em relação a escala global que a reanálise é gerada, a bacia hidrográfica é relativamente pequena, podendo ser atribuído a esse fator uma representação insatisfatória da variável precipitação. Além disso, a base de dados de reanálise utilizada – ERA-

20CM – emprega apenas modelos atmosféricos para estimar a precipitação, sendo já citado por Wongchuig *et al.* (2017) que dados provenientes da combinação de reanálise, satélites e estações de monitoramento apresentam melhor desempenho do que os dados gerados apenas por reanálise.

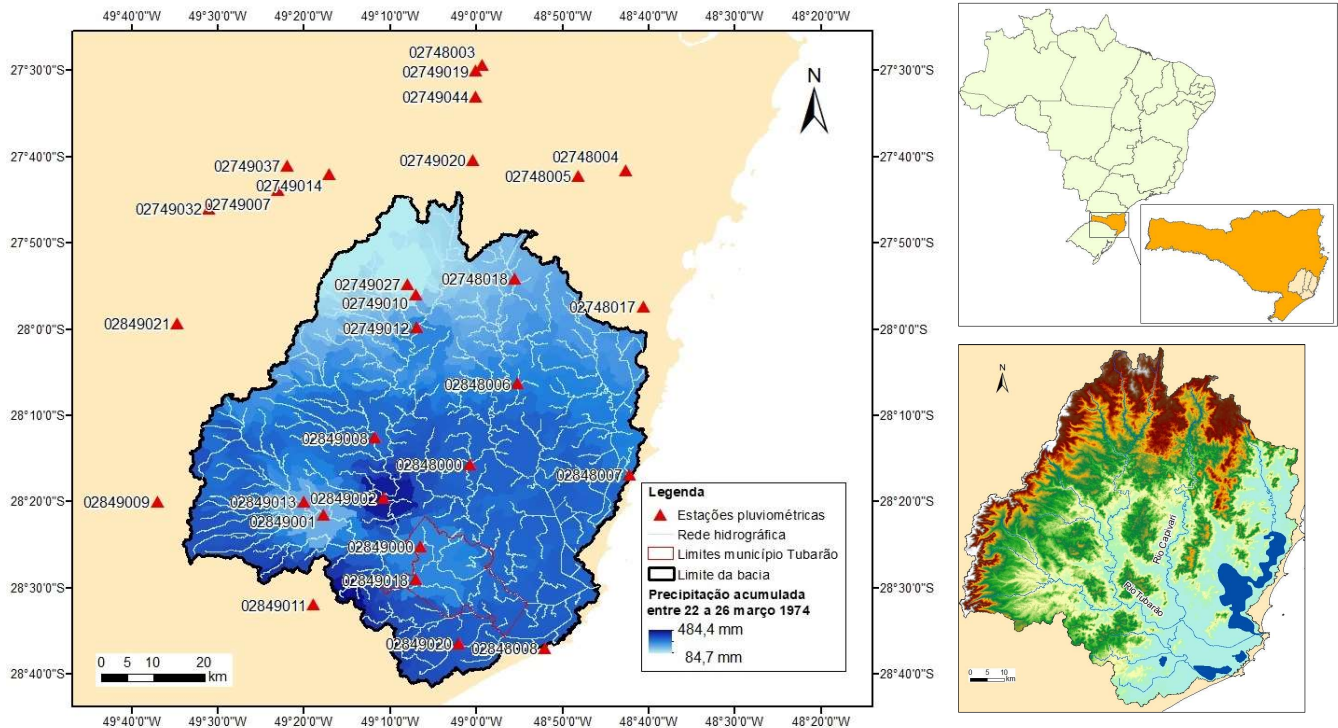


Figura 2 – Distribuição espacial do valor acumulado resultante das precipitações observadas no período de 22/03/1974 a 26/03/1974. (Fonte: autores).

Aplicando os dados de precipitação como forçantes no modelo MGB-IPH se obteve os hidrogramas simulados que foram comparados entre si e com o hidrograma observado, identificado como curva-chave na ilustração. Em análise do mês de março de 1974, a Figura 3 ilustra os hidrogramas para o Rio Tubarão e a Figura 4, para o Rio Capivari. Em ambos, as vazões simuladas a partir dos dados de precipitação da reanálise foram subestimadas em relação aos dados observados. Enquanto que as vazões simuladas a partir das precipitações observadas *in-situ* (ANA-Pobs) superestimaram os valores observados e resultou no atraso do pico em relação ao máximo observado, pois, analisando as séries históricas, tem-se que o máximo valor de precipitação foi registrado no dia 25/03/1974, enquanto a máxima vazão observada foi atribuída ao dia 24/03/1974.

O erro de volume (Collischonn e Tucci, 2003) foi obtido comparando os dados observados de vazão com os resultados da simulação com dados de reanálise. Para março de 1974, o erro de volume para o Rio Tubarão, variou de -0,47 para o membro 7 (ENS 7) a -0,88 membro 8 (ENS 8) e para o Rio Capivari, respectivamente, foi de -0,18 e -0,81.

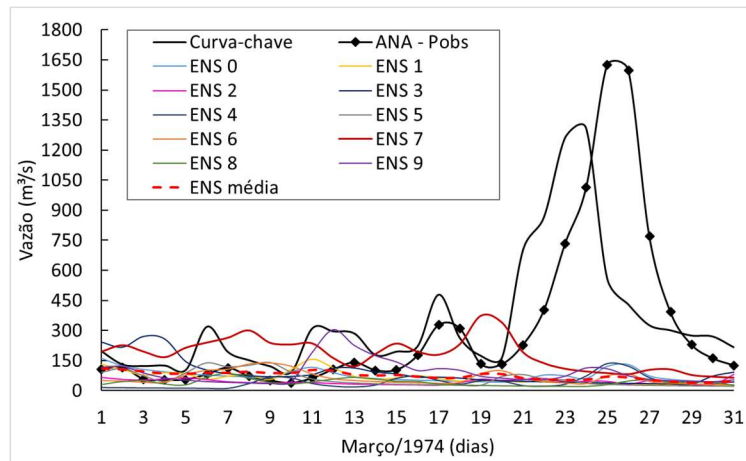


Figura 3 – Hidrograma do Rio Tubarão no período de março de 1974: dados provenientes da curva-chave da estação fluviométrica 84580000, dados resultantes da transformação da precipitação observada e da reanálise em vazão. (Fonte: os autores).

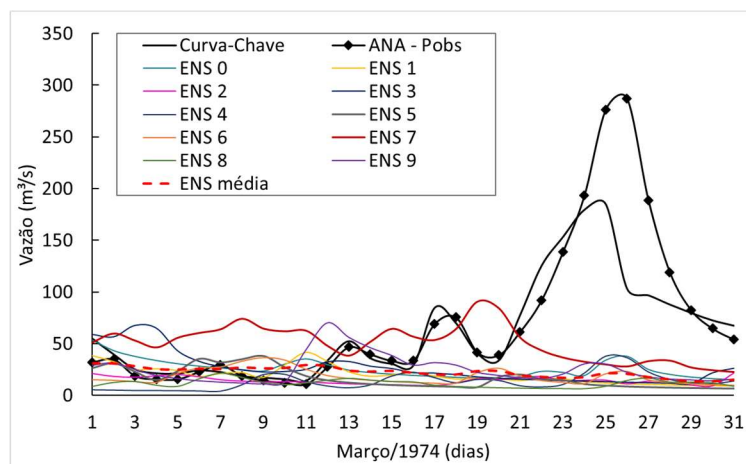


Figura 4 – Hidrograma Rio Capivari no período de março de 1974: dados provenientes da curva-chave da estação fluviométrica 84600000, dados resultantes da transformação da precipitação observada e da reanálise em vazão. (Fonte: os autores).

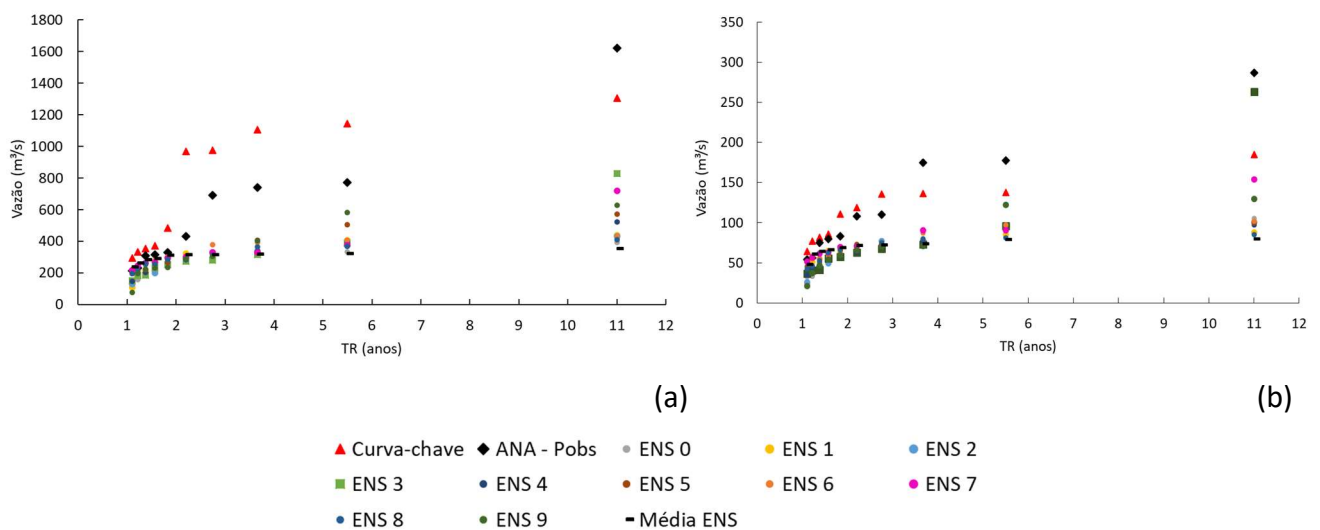


Figura 5 – Curva de frequência dos dados de vazão do Rio Tubarão (a) e do Rio Capivari (b): dados provenientes da curva-chave da estação fluviométrica 84580000 e 84600000, respectivamente, dados resultantes da transformação da precipitação observada e da reanálise em vazão. (Fonte: os autores).

Sendo o evento de interesse um extremo de máxima, uma medida de desempenho para análise das vazões máximas se refere a aplicação da curva de frequência, que consiste em relacionar o valor de vazão máximo anual em termos do período de retorno (Adam *et al.*, 2015). Essa análise foi aplicada para todo o período analisado, 1970 a 1979. A Figura 5(a) apresenta a curva de frequência para o Rio Tubarão, cujas máximas anuais simuladas a partir dos dados de reanálise subestimaram as máximas anuais dos dados observados. Aplicando a mesma análise para o Rio Capivari, obteve-se a Figura 5(b), cujos dados simulados a partir de precipitação *in-situ* e os referentes ao membro 3 (ENS 3) superestimaram os valores em relação aos dados de vazão observada, entretanto, os demais membros do conjunto subestimaram.

As medidas de desempenho aplicadas denotam que os dados de reanálise da variável precipitação não apresentaram resultados suficientemente satisfatórios para a bacia hidrográfica, possivelmente em virtude do tamanho da área de estudo e da base de dados de reanálise empregada consistir apenas em modelos atmosféricos.

## 4 - CONCLUSÕES

No presente estudo foram analisados os dados de precipitação obtidos por reanálise climática da base de dados ERA-20CM considerando uma área de estudo inferior a 10.000 km<sup>2</sup>. Conclui-se que esses dados se mostraram insuficientes como alternativa para complementar o estudo de reconstrução hidrológica e hidrodinâmica de uma inundação ocorrida no município de Tubarão, Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar, SC, Brasil em março de 1974.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq e a Prefeitura Tubarão, SC pelo apoio financeiro recebido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, K. N.; FAN, F. M.; PONTES, P. R.; BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W. (2015). "Mudanças climáticas e vazões extremas na Bacia do Rio Paraná". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, n. 4, p. 999 – 1007.
- BIGARELLA, J. J.; BIGARRELLA, I. E. K.; JOST, H. (1975). "Catastrophic events in the Tubarão area". Boletim Paranaense de Geociências, n. 33, p. 200-206.
- BRASIL. (2013). *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012: volume Brasil*. CEPED/ UFSC, Florianópolis/SC, 127 p.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. (2003). "Ajuste multiobjetivo dos parâmetros de um modelo hidrológico". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 3, p. 27 – 39.
- COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. (2007). "The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling". Hydrological Sciences Journal, v. 52, n. 5, p. 878 – 897.
- DEE, D. P.; BALMASEDA, M.; BALSAMO, G.; ENGELEN, R.; SIMMONS, A. J.; THÉPAUT, J.-N. (2014). "Toward a consistent reanalysis of the climate system". American Meteorological Society, v. 95, p. 1235 – 1248.
- GIGLIO, J. N.; KOBIYAMA, M. (2011). "Uso de registros históricos para análise de inundações: estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC" in XIX Anais Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió/AL, pp. 1 – 8.
- HERSBACH, H.; PEUBEY, C.; SIMMONS, A. BERRISFORD, P.; POLI, P.; DEE, D. (2015). "ERA-20CM: a twentieth-century atmospheric model ensemble". Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 141, p. 2350 – 2375.
- KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G.; RUDORFF, F. (2006). *Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos*. Organic Trading, Curitiba/PR, 109 p.
- MACHADO, C. C. (2005). *Tubarão 1974: fatos e relatos da grande enchente*. Unisul, Tubarão/SC, 203 p.
- PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; SIQUEIRA, V.; FLEISCHMANN, A.; RUHOFF, A.; WONGCHUIG, S. C.; SORRIBAS, M.; GONDIM, G.; BRÊDA, P. F.; BRAVO, J. M.; JARDIM, P. (2017). "SAMEWATER: uma agenda de pesquisa integrada da hidrologia da América do Sul" in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis/SC, 2017, pp. 1 – 8.
- PONTES, P. R. M.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C. (2015). "Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, n. 4, p. 888 – 904.
- PONTES, P.; FAN, F.; FLEISCHMANN, A.; PAIVA, R.; BUARQUE, D.; SIQUEIRA, V.; JARDIM, P.; SORRIBAS, M.; 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, p. 1-20.
- VANELLI, F. M. (2018). "Reconstrução hidrológica e hidrodinâmica do evento de 1974 no município de Tubarão, SC". Plano de dissertação, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.
- WONGCHUIG, S. C.; PAIVA, R. C. D.; ESPINOZA, J. C.; COLLISCHONN, W. (2017). "Multi-decadal Hydrological Retrospective: case study of Amazon floods". Journal of Hydrology, v. 549, p. 667-684.