

INCERTEZAS E IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS

Carolina Natel de Moura, Miriam Rita Moro Mine e Eloy Kaviski

Universidade Federal do Paraná, Brasil.

E-mail: carolina.natel@gmail.com, mrmine.dhs@ufpr.br, eloy.dhs@ufpr.br

Introdução

As mudanças climáticas poderão impactar os recursos hídricos disponíveis em todo o mundo, com variações na intensidade e sentido (redução e/ou aumento da vazão) dependendo da localização geográfica (Milly; Dunne; Vecchia, 2005).

Modelos chuva-vazão combinados com cenários de mudanças climáticas são amplamente utilizados para avaliar o impacto das mudanças do clima na escala de bacias hidrográficas, o que requer projeções climáticas realistas e modelos hidrológicos robustos, que sejam confiáveis em condições climáticas variáveis.

Contudo, existem diversas fontes de incertezas que podem ser consideradas nessa abordagem, classificadas em: incertezas sobre os cenários de emissões, incertezas dos modelos climáticos, incertezas quanto à técnica de remoção de viés e incertezas da modelagem hidrológica (Wilby, 2006).

O conhecimento sobre as incertezas inerentes aos estudos de impacto das mudanças climáticas permite obter uma visão consistente de como os resultados devem ser interpretados e possibilita a obtenção de informações mais confiáveis sobre a resposta hidrológica (Webster; Sokolov, 2000).

A quantificação das incertezas associadas aos estudos de impactos das mudanças climáticas não é prática frequente, e quando é abordada, geralmente considera somente as incertezas relativas aos modelos climáticos e cenários e negligencia outras fontes de incertezas (Adam, 2015). No entanto, estudos indicam que as incertezas dos modelos hidrológicos, por exemplo, podem estar na mesma faixa de importância ou até maior que a incerteza climática (Goderniaux et al., 2015, Dams et al., 2015, Zhang; Xu; Fu, 2014, Bastola; Murphy; Sweeney, 2011).

Trabalhos conduzidos em bacias brasileiras que abordaram algumas das fontes de incerteza concluíram que as alterações nas vazões e disponibilidade hídrica podem variar de acordo com o modelo climático utilizado, método de *downscaling* e/ou cenários de emissão, obtendo-se resultados divergentes entre aumento e redução das variáveis em estudo sob o efeito de mudanças climáticas em um mesmo local estudado (Adam; Collischonn, 2013, Bravo et al., 2013, Paiva; Collischonn, 2010, Nóbrega et al., 2011).

Dessa forma, salienta-se a importância da análise de incertezas, a fim de gerar resultados confiáveis que subsidiem a gestão de recursos hídricos, planejamento energético e de outros setores ligados à disponibilidade de água.

Incerteza das mudanças climáticas nos recursos hídricos

Incerteza é uma condição gerada pela falta de certeza acerca da saída de um processo físico que resulta em uma diferença entre o resultado obtido e o valor “verdadeiro”. No entanto, é importante diferenciar as definições de erro e incerteza. Erro expressa a diferença entre um valor simulado e um valor observado, enquanto a incerteza está associada ao sentido probabilístico, uma vez que trata da variação nos resultados de um evento aleatório, dos distúrbios derivados de considerações errôneas ou da distribuição de erros associados com as quantidades observadas ou estimadas.

Existe um consenso na literatura sobre a importância relativa das diferentes fontes de incerteza nos estudos de impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos. Atualmente, as abordagens adotadas nestes estudos incluem a avaliação sem qualquer quantificação da incerteza (Gosain; Rao; Basuray, 2006; Thodsen, 2007), focam apenas na incerteza climática e negligenciam a incerteza hidrológica (Woldemeskel; Sharma; Mehrotra, 2014) ou mesmo tomam uma única projeção climática e avaliam apenas a incerteza hidrológica (Steele-Dunne et al., 2008).

Embora alguns trabalhos apontem que a incerteza do Modelo Climático Global (MCG) domina outras fontes de incertezas em estudos de impacto hidrológico (Wilby; Harris, 2006, Prudhomme; Davies, 2009, Kay et al., 2009, Arnell, 2011), há também aqueles que afirmam que a incerteza preditiva dos modelos hidrológicos pode estar na mesma faixa de importância ou até maior que a incerteza climática (Goderniaux et al., 2015, Dams et al., 2015, Zhang; Xu; Fu, 2014, Bastola et al., 2011). Ainda, a importância das fontes de incerteza pode variar temporalmente e sob a escala de análise escolhida (Shrestha et al., 2016) e variável em análise (vazões baixas ou vazões altas) (Meresa; Romanowicz, 2016).

A abordagem atual envolve a utilização de vários modelos climáticos como entrada de vários modelos hidrológicos para produzir um conjunto de potenciais mudanças, como uma medida indireta da incerteza. A média ou a mediana do conjunto das projeções do modelo é muitas vezes defendida como uma representação útil do futuro. No entanto, uma questão importante que deveria ser levantada é, e se a maioria (ou todos) os modelos se revelarem errados na projeção de uma mudança em uma variável de interesse?

Análise e quantificação das incertezas

A análise da incerteza em hidrossistemas ou seus componentes requer o uso de probabilidade e estatística. Existem inúmeros métodos analíticos para a análise de incerteza, no entanto destacam-se alguns recentemente aplicados em estudos de impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos.

A maioria dos estudos encontrados na literatura avaliam as incertezas individuais de cada fonte de incerteza, podendo ser empregados, análise de sensibilidade e cenários, bem como a abordagem formal probabilística (método de Monte Carlo). Geralmente, o modelo é analisado como livre de incertezas, apenas as entradas (por exemplo, valores de parâmetro) são passíveis de variação (Katz, 2002).

Já a análise de multi-propagação pode ser utilizada para detectar a incerteza total do conjunto (isto é, incerteza geral nas avaliações de mudanças climáticas), em vez da análise de propagação única, na qual os elementos de uma única fonte de incerteza são variados enquanto os de outras fontes são estáticos. Esta análise considera todas as combinações possíveis de elementos entre as fontes de incertezas e as contribuições de cada fonte para a incerteza geral e os efeitos das interações entre as fontes (Meresa; Romanowicz, 2016, Addor et al., 2014).

Exemplos de estudos que contemplaram a análise de diversas fontes de incerteza como modelos climáticos, cenários de emissão e modelagem hidrológica foram os trabalhos

conduzidos por Meresa e Romanowicz, 2017, Addor et al, 2014 e Minville et al., 2008.

A utilização da Análise de Variância (ANOVA) tem sido uma técnica frequentemente utilizada (Meres; Romanowics, 2017, Vetter et al., 2017, Addor et al., 2014, Bosshard et al., 2013). Na abordagem ANOVA, escolhe-se a variância da projeção como uma estimativa de sua incerteza e quantifica-se a contribuição das diferentes fontes de incerteza para a incerteza total (ADDOR et al., 2014).

Outro modelo que pode ser empregado é o modelo de Média Bayesiana. Ele pode ser usado para explicar a incerteza do modelo ao combinar distribuições preditivas de diferentes fontes. A aplicação deste modelo está crescendo em projeções *ensemble* para produzir projeções médias e probabilísticas de impactos de mudanças climáticas.

Neste método, a Função de Densidade de Probabilidade (PDF) de qualquer variável de interesse é uma média ponderada de PDFs centrados nas previsões individuais, onde os pesos são iguais às probabilidades posteriores dos modelos que geram as previsões, e reflete em contribuições relativas dos modelos para a habilidade preditiva no período de treinamento (Bastola; Murphy; Sweeney, 2011).

Conclusão

Apesar da análise das incertezas não ser um tema recente na área de mudanças climáticas e hidrologia, muitos estudos não incluem essa análise em seus resultados. No entanto, sem a inclusão do fator incerteza, esses estudos podem indicar variações que não representem as condições futuras, e acabar por prejudicar a gestão dos recursos hídricos. A propagação das incertezas durante as etapas de aquisição de dados, tratamento dos dados, modelagem e análise dos resultados faz com que as mudanças climáticas ainda sejam foco de especulação e até mesmo, contradição.

Os métodos anteriormente empregados em trabalhos, que avaliavam a incerteza unitária de fontes diversas devem ser substituídos por análises conjuntas de incertezas, através de métodos como a análise bayesiana ou ANOVA. Essa abordagem deveria ser considerada padrão para os estudos de impactos de mudanças climáticas nos recursos hídricos a fim de melhorar a qualidade das publicações na área.

Referências

Adam, K. N. et al. (2015) “Mudanças climáticas e vazões extremas na bacia do Rio Paraná”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 20, No. 4, pp. 999-1007.

Adam, K. N.; Collischonn, W. (2013) “Análise dos impactos de mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão na bacia hidrográfica do rio Ibicuí”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 18, No. 3, pp. 69-79.

Addor, N. et al. (2014) “Robust changes and sources of uncertainty in the projected hydrological regimes of Swiss catchments”. *Water Resources Research*, Vol. 50, pp. 7541–7562.

Arnell, N. W. (2011) “Uncertainty in the relationship between climate forcing and hydrological response in UK catchments”. *Hydrology and Earth System Science*, Vol. 15, pp. 897–912.

Bastola, S., Murphy, C., Sweeney, J. (2011) “The role of hydrological modelling uncertainties in climate change impact assessments of Irish river catchments”. *Advances in Water Resources*, Vol. 34, pp. 562–576.

Bravo, J. M. et al. (2013) “Impact of projected climate change on hydrologic regime of the Upper Paraguay River basin”. *Climatic Change*.

Beven, K., Binley, A. (1992). “The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction”. *Hydrological processes*, 6(3), 279-298.

Bosshard, T. et al. (2013). “Quantifying uncertainty sources in an ensemble of hydrological climate impact projections”. *Water Resources Research*, 49(3), 1523-1536.

Dams, J. et al. (2015) “Multi-model approach to assess the impact of climate change on runoff”. *Journal of Hydrology*, Vol.529, pp. 1601-1616.

Goderniaux, P. et al. (2015) “Uncertainty of climate change impact on groundwater reserves – Application to a chalk aquifer”. *Journal of Hydrology*, Vol. 528, pp. 108-121.

Gosain; A. K.; Rao, S.; Basuray, D. (2006) “Climate change impact assessment on hydrology of Indian river basins”. *Current Science*, Vol. 90, No. 3, pp. 346-353.

Katz, R. W. (2002). “Techniques for estimating uncertainty in climate change scenarios and impact studies”. *Climate Research*, 20(2), 167-185.

Kay, A. L. et al. (2009) “Comparison of uncertainty sources for climate change impacts: flood frequency in England”. *Climatic Change*, Vol. 92, pp. 41-63.

Li, B.; He, Y.; Ren, L. (2017) “Multisource hydrologic modeling uncertainty analysis using the IBUNE framework in a humid catchment”. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 32, pp. 37-50.

Meres, H. K.; Romanowicz, R. J. (2017) “The critical role of uncertainty in projections of hydrological Extremes”. *Hydrology and Earth System Sciences: Discussions*, Vol. 21, pp. 4245–4258.

Milly, P. C. D.; Dunne, K.A.; Vecchia, A.V. (2005) “Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate”. *Nature*, Vol. 438, pp. 347-50.

Minville M.; Brissette F., Leconte R. (2008) “Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed”. *Journal of Hydrology*, Vol. 358, pp. 70–83.

Nóbrega, M. T. et al. (2011) “Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil”. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 15, pp. 585-595.

Paiva, R. C. D.; Collischonn, W. (2010) *Climate change impacts on Quaraí river flow*. Climate and Water Resources Modelling, edited by: Fung, CF, Lopez, A., and New, M., John Willey & Sons.

Prudhomme, C.; Davies, H. (2009) “Assessing uncertainties in climate change impact analyses on the river flow regimes in the UK. Part 1: baseline climate”. *Climatic Change*, Vol. 93, pp. 177-195.

Shrestha et al. (2016) “Uncertainty in flow and sediment projections due to future climate scenarios for the 3S rivers in the Mekong Basin”. *Journal of Hydrology*, Vol. 540, pp. 1088–1104.

Steele-Dunne, S. et al. (2008) “The impacts of climate change on hydrology in Ireland”. *Journal of Hydrology*, Vol. 356, pp. 28–4.

Thodsen, H. (2007) “The influence of climate change on stream flow in Danish rivers”. *Journal of Hydrology*, Vol. 333, pp. 226–238.

Vetter, T. et al. (2017). “Evaluation of sources of uncertainty in projected hydrological changes under climate change in 12 large-scale river basins”. *Climatic Change*, 141(3), 419-433.

Webster, M. D.; Sokolov, A. P. (2000) “A methodology for quantifying uncertainty in climate projections”. *Climatic Change*, Vol. 46, pp. 417–446.

Wilby, R. L.; Harris, Y. (2006) “A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK”. *Water Resources Research*, Vol. 42, W02419.

Woldemeskel, F. M.; Sharma, A.; Sivakumar, B.; Mehrotra, R. (2014) “A framework to quantify GCM uncertainties for use in impact assessment studies”. *Journal of Hydrology*, Vol. 519, pp. 1453-1465.

Zhang, X.; Xu, Y-P.; Fu, G. (2014) “Uncertainties in SWAT extreme flow simulation under climate change”. *Journal of Hydrology*, No. 515, pp. 205-222.