

AVANÇOS NA COMPREENSÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E VAZÕES EXTREMAS NO BRASIL

*Larissa de Castro Ribeiro*¹; *Rodrigo Cauduro Dias de Paiva*²; *Walter Collishconn*³; *Hugo Oliveira Fagundes*⁴; *Arthur Kolling Neto*⁵; *Pedro Torres Mirandas*⁶; *Julia Brusso Rossi*⁷; *Gabriel Matte Rios Fernandez*⁸; *Alexandre Abdalla Araujo*⁹ & *Saulo Aires de Souza*¹⁰

Palavras-Chave – Mudanças Climáticas, Sensibilidade de Modelos Hidrológicos, Extremos de Vazão.

INTRODUÇÃO

Projeções de mudanças climáticas indicam alteração em eventos hidrológicos, seja em frequência e/ou intensidade (Alfieri *et al.*, 2015; Hirabayashi *et al.*, 2013), trazendo significantes impactos socioeconômicos (Winsemius *et al.*, 2016). O crescimento populacional e as práticas de uso do solo na América do Sul aumentam a vulnerabilidade da população (Debortoli *et al.*, 2017), o que implica em danos em decorrência de eventos extremos cada vez mais catastróficos (Jongman *et al.*, 2012; Visser *et al.*, 2014).

As projeções climáticas são tipicamente geradas por simulações de Modelos Climáticos Globais (GCM em inglês) conduzidos por diferentes cenários de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Os dados de saída de GCMs em um cenário escolhido produzem as condições atmosféricas utilizadas para simular a dinâmica dos recursos hídricos. No intuito de aumentar a credibilidade das projeções climáticas, criou-se o CMIP - Coupled Models Intercomparison Project (Eyring *et al.*, 2016), que se propõe a desenvolver e comparar continuamente um extenso conjunto de GCMs. Os GCMs também são limitados em termos de detalhamento espacial e capacidade de representar fenômenos climáticos de menor escala.

A análise de vazões extremas em cenários futuros, utilizando dados climáticos gerados pelos GCMs em modelagem hidrológica, demanda que a sensibilidade do modelo hidrológico utilizado e do sistema hidrológico sejam levados em consideração. Nas bacias hidrográficas os processos hidrológicos podem não ser lineares e isto pode gerar um comportamento diferente do previsto pelo modelo hidrológico, tornando-as mais ou menos sensível a alguns parâmetros, como a precipitação.

Ao longo das últimas décadas, questões relacionadas a Mudanças Climáticas foram incorporadas às atividades da ANA, desde a Instituição da Política Nacional de Mudança no Clima (Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009) até o recente desenvolvimento do tema para inclusão no âmbito do novo Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH 2022-2040) e do 1º Relatório de Conjuntura de Mudanças Climáticas em Recursos Hídricos da ANA, em elaboração.

Neste contexto, através da cooperação técnica entre o Grupo de Pesquisa Hidrologia de Grande Escala (HGE) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), está sendo desenvolvido um

1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), larissa.ribeirocr@gmail.com

2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), rodrigo.paiva@ufrgs.br

3) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), collischonn@iph.ufrgs.br

4) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), h.o.fagundes@hotmail.com

5) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), arthur.kolling@hotmail.com

6) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), pedrotorresm121@gmail.com

7) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), juliabrusso@gmail.com

8) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), gabriel.matterios@gmail.com

9) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), alexandre.Araujo@ana.gov.br

10) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), saulo.souza@ana.gov.br

Projeto no tema de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos. O projeto visa a produção de informações e análises de mudanças climáticas no apoio ao estudo realizado no âmbito do PNRH 2022-2040 e do 1º Relatório de Conjuntura de Mudanças Climáticas em Recursos Hídricos da ANA com base em projeções existentes. Dentro do projeto existem os subtemas de Sensibilidade de Vazões à Variabilidade e Mudanças Climáticas, Impactos de Mudanças Climáticas em Extremos de Vazão (Cheias e Estiagens) e Impacto de Mudanças Climáticas na Segurança Hídrica. Neste resumo as principais vertentes do projeto serão apresentadas. A Figura 1 apresenta os temas abordados no projeto.

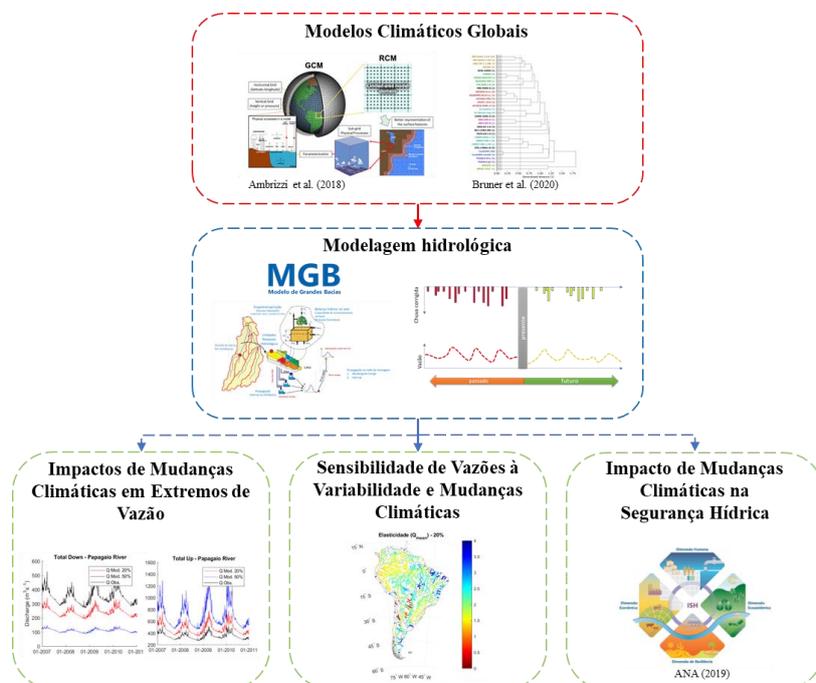


Figura 1. Temas abordados no projeto de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos. Fonte: autoria própria.

SENSIBILIDADE DE VAZÕES À VARIABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O objetivo desse subtema é caracterizar e mapear a sensibilidade de vazões de cheias e estiagens de rios brasileiros devido à variabilidade e às mudanças climáticas através de simulações com o modelo hidrológico MGB da América do Sul.

Um passo importante para desenvolver projeções do impacto dos extremos hidrológicos nos rios brasileiros é conhecer a sua sensibilidade às mudanças e variabilidade climática. O modelo MGB SA (Siqueira *et al.*, 2018) é de base física e vem sendo considerado confiável para estudos de projeções de alterações hidrológicas, incluindo estudos de mudanças climáticas (e.g. Brêda *et al.*, 2020, Sorribas *et al.*, 2016). Este tipo de modelo pode ser utilizado para estudar a sensibilidade dos rios às alterações climáticas. Brêda *et al.* (2020) avaliou a sensibilidade das vazões médias, e encontrou maior sensibilidade em rios com baixo coeficiente de escoamento e baixa precipitação. Entretanto, a sensibilidade de vazões de cheias e estiagens ainda é desconhecida, e pode ser explorada com o modelo MGB SA.

Foram gerados resultados preliminares, para América do Sul, da sensibilidade das vazões às mudanças climáticas sobre o regime de precipitação, utilizando o MGB SA. Foram avaliadas através do cálculo da elasticidade a vazão média (Q_{mean}), vazões com permanência no tempo de 10% (Q_{10}) e 95% (Q_{95}), a partir de cenários que consideram aumento e redução da precipitação em $\pm 10\%$; $\pm 20\%$ e $\pm 50\%$. Os resultados mostraram que há diferença entre as regiões mais/menos sensíveis à mudança da precipitação para as vazões mínima, média e máxima. A vazão mínima (Q_{95}) registrou baixa sensibilidade, principalmente no semiárido, podendo estar relacionada às regiões com rio

intermitentes e com baixas vazões. Nas vazões Q_{mean} e Q_{10} , apesar de diferentes magnitudes, os valores de elasticidade apresentaram distribuições espaciais similares. A vazão está principalmente relacionada ao coeficiente de escoamento superficial, pois maiores valores da elasticidade ocorrem justamente em regiões secas.

IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM EXTREMOS DE VAZÃO (CHEIAS E ESTIAGENS)

Este subtema tem por objetivo estudar impactos de mudanças climáticas sobre extremos de vazão (cheias e estiagens) nos rios brasileiros, com base na aplicação do modelo hidrológico MGB AS, utilizando projeções de modelos climáticos. Apesar de haver muitos estudos relacionados a impactos sobre o balanço hídrico e sobre as vazões médias no território nacional (e.g. Brêda *et al.*, 2020), os possíveis impactos de mudanças climáticas sobre extremos hidrológicos, como cheias e estiagens, ainda são desconhecidos.

As limitações dos modelos climáticos e hidrológicos na representação de eventos extremos colocam-se como um desafio ao subtema. Modelos de base física como o MGB SA (Siqueira *et al.*, 2018) tem sido cada vez mais capazes de representar vazões de cheias e secas (e.g. Wongchuig Correa *et al.*, 2017; Fleischmann *et al.*, 2021). Por outro lado, modelos climáticos regionais têm melhorado sua resolução espacial, trazendo novas perspectivas para a representação de precipitações intensas e estiagens (e.g. Giorgi *et al.*, 2009). Esses fatores evidenciam a oportunidade para estudos de impactos de mudanças climáticas em vazões extremas adotando o modelo MGB SA e modelos climáticos mais atuais podendo contribuir para uma representação na escala das bacias hidrográficas, o que é de vital importância para subsidiar processos de tomada de decisão.

IMPACTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA SEGURANÇA HÍDRICA

O objetivo deste subtema é propor e calcular indicadores relacionados ao efeito de mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica e sobre estiagens para serem usados como insumos para determinação de Índice de Segurança Hídrica (ISH). A segurança hídrica está relacionada a múltiplos fatores, podendo ser representada em diversas dimensões, tais como as dimensões humana, econômica, ecossistêmica e de resiliência (ANA, 2019).

Eventos hidrológicos extremos, como secas e cheias, podem gerar impactos sociais, ecológicos e econômicos significativos, por representarem risco ao abastecimento de água, produção de alimentos, geração de energia elétrica e segurança humana (Brunner *et al.*, 2021; Getirana, 2016). O Brasil é particularmente vulnerável a eventos de seca, que comprometem a água superficial e subterrânea, podendo afetar o abastecimento humano, a irrigação e a produção agrícola e elétrica (Getirana, 2016). Por outro lado, eventos de precipitação extrema também causam impactos negativos consideráveis, uma vez que inundações repentinas podem ocasionar os mais destrutivos dos eventos extremos (Marengo *et al.*, 2009). Portanto, propor e calcular indicadores relacionados aos efeitos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica e sobre estiagens, para serem usados no ISH é de fundamental relevância para subsidiar inúmeros processos de tomada de decisão.

CONCLUSÕES

O projeto de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos possui os subtemas de Sensibilidade de Vazões à Variabilidade e Mudanças Climáticas, Impactos de Mudanças Climáticas em Extremos de Vazão (Cheias e Estiagens) e Impacto de Mudanças Climáticas na Segurança Hídrica, onde serão desenvolvidos estudos para o PNRH 2022-2040 e para a elaboração do 1º Relatório de Conjuntura de Mudanças Climáticas em Recursos Hídricos da ANA.

Neste âmbito, ainda existem muitos desafios, como as incertezas das projeções dos Modelos Climáticos Globais, a capacidade dos modelos climáticos globais e regionais em representar extremos climáticos e a elaboração de índices de segurança hídrica que representem os efeitos das mudanças climáticas. Os avanços na compreensão de mudanças climáticas e vazões extremas no Brasil, através de iniciativas do como o projeto de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos, podem apoiar a melhoria da gestão de serviços ambientais e tomadas de decisão relacionadas aos usos da água.

REFERÊNCIAS

- ANA. (2019). Plano Nacional de Segurança Hídrica. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília.
- ALFIERI, L.; BUREK, P.; FEYEN, L.; FORZIERI, G. (2015). "Global warming increases the frequency of river floods in Europe". *Hydrology and Earth System Sciences*, v.19, p2247–2260.
- BREDA, J. P. L. F.; PAIVA, R.C.D.; COLLISCHONN, W.; BRAVO, J.M.; SIQUEIRA, V.A. (2020). "Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections". *Climatic Change*, v.158, p.1-20.
- BRUNNER, M.I.; SLATER, L.; TALLAKSEN, L.M.; CLARK, M. (2021). "Challenges in modeling and predicting floods and droughts: A review". *WIREs Water*, v.8.
- DEBORTOLI, N. S.; CAMARINHA, P. I. M.; MARENGO, J. A.; RODRIGUES, R. R. (2017). "An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change". *Natural Hazards*, v.86, p557–582.
- EYRING, V.; BONY, S.; MEEHL, G. A.; SENIOR, C. A.; STEVENS, B.; STOUFFER, R. J.; TAYLOR, K. E. (2016). "Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization". *Geoscientific Model Development*, v.9, p1937–1958.
- FLEISCHMANN, A.S.; BRÊDA, J.P.F.; PASSAIA, O.A.; WONGCHUIG, S.C.; FAN, F.M.; PAIVA, R.C.D.; MARQUES, G.F.; COLLISCHONN, W. (2021). "Regional scale hydrodynamic modeling of the river-floodplain-reservoir continuum". *JOURNAL OF HYDROLOGY*, v.596, p126114.
- GETIRANA, A. (2016). "Extreme Water Deficit in Brazil Detected from Space". *J. Hydrometeorol*, v.17, p591–599.
- GIORGI, F.; JONES, C.; ASRAR, G.R. (2009). "Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework". *World Meteorol. Org. (WMO) Bull*, v.58, p175.
- HIRABAYASHI, Y.; MAHENDRAN, R.; KOIRALA, S.; KONOSHIMA, L.; YAMAZAKI, D.; WATANABE, S.; KIM, H.; KANAE, S. (2013) "Global Flood Risk under Climate Change". *Nature Climate Change*, v.3, p816-821.
- JONGMAN, B.; WARD, P. J.; AERTS, J. C. J. H. (2012). "Global exposure to river and coastal flooding: Long term trends and changes". *Global Environmental Change*, v.22, p823–835.
- MARENGO, J.A.; JONES, R.; ALVES, L.M.; VALVERDE, M.C.; (2009). "Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system". *Int. J. Climatol*, v.29, p2241–2255.
- 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. (2018). "Toward continental hydrologic-hydrodynamic modeling in South America". *Hydrology and Earth System Sciences*, v.22, p4815–4842.
- SORRIBAS, M. V.; PAIVA, R. C. D.; MELACK, J. M.; BRAVO, J. M.; JONES, C.; CARVALHO, L.; BEIGHLEY, E.; FORSBERG, B.; COSTA, M.H. (2016). "Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin". *Climatic Change*, v.136, p555–570.
- STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; *et al.* (2013). *Climate change 2013: The physical science basis*. Cambridge University Press Cambridge.
- VISSER, H.; PETERSEN, A. C.; LIGTVOET, W. (2014). "On the relation between weather-related disaster impacts, vulnerability and climate change". *Climatic Change*, v.125, p461–477.
- WINSEMIUS, H.C.; AERTS, J. C. J. H.; VAN BEEK, L. P. H.; BIERKENS, M. F. P.; BOUWMAN, A.; JONGMAN, B.; KWADIJK, J.C.J.; LIGTVOET, W.; LUCAS, P.L.; VUUREN, D.P.; WARD, P.J. (2016). "Global drivers of future river flood risk". *Nature Climate Change*, v.6, p381–385.
- WONGCHUIG CORREA, S.; PAIVA, R. C. D.; ESPINOZA, J. C.; COLLISCHONN, W. (2017). "Multi-decadal Hydrological Retrospective: Case study of Amazon floods and droughts". *Journal of Hydrology*, v.549, p667-684.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) pelo financiamento através do projeto "Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos".