

# Impactos Projetados pelas Mudanças Climáticas na Recarga das Águas Subterrâneas no Sistema Aquífero Urucuia, Brasil

Barbara Hanna Fernandes Pereira<sup>1</sup>, Claudine Dereczynski<sup>1</sup>, Gerson Cardoso da Silva Junior<sup>1</sup>,  
Eduardo Antônio Gomes Marques<sup>2</sup>

Contato da autora: [barbara.hanna86@gmail.com](mailto:barbara.hanna86@gmail.com)

1 - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia.

2 - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil.

Palavras-chave: Modelos CMIP6, Balanço Hidrometeorológico, Recarga

## 1. INTRODUÇÃO

A água subterrânea desempenha uma série de papéis muito importantes em nosso meio ambiente e em nossas economias, e atualmente sua disponibilidade vem sendo fortemente influenciada pelas mudanças climáticas globais. De acordo com Organização Meteorológica Mundial (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2021), nos últimos 20 anos, o armazenamento de água no solo diminuiu um centímetro por ano, tendo em conta a superfície, o subsolo, mas também a umidade do solo, neve e o gelo. Ao longo das décadas, além da contaminação, o uso crescente das águas subterrâneas para consumo humano, industrial e na agricultura, resultou na diminuição da disponibilidade desse recurso em grande parte do mundo. Além disso, as projeções de mudanças climáticas indicam que haverá aquecimento em todo o planeta, com regiões afetadas por redução da precipitação e aumento da taxa de evapotranspiração, causando uma diminuição da recarga dos aquíferos.

Segundo o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2021 - Masson-Delmotte et al. 2021), a temperatura na superfície terrestre aumentou 1,59 °C em média, e 0,88 °C nos oceanos, no período 2011-2020, em relação ao período pré-industrial (1850-1900). Para a América do Sul, projeta-se para o final do século um aumento das secas agrícolas e ecológicas com alta confiança no “norte da AS (NAS)” e na região de monção da AS (SAM), e com média confiança no NES (Nordeste da América do Sul), o que inclui o Nordeste e Centro-oeste do Brasil (SENEVIRATNE et al. 2021).

O Sistema Aquífero Urucuia (SAU), que é objeto de interesse deste trabalho, está situado em sua maior parte no oeste do Estado da Bahia (BA), e vem se transformando nas últimas décadas no principal polo agrícola baiano. A região possui alguns dos maiores índices de produção do país, devido às suas características geológicas e geomorfológicas que apresentam extensas áreas planas que, em conjunto com a disponibilidade hídrica do SAU-BA, possibilitam o desenvolvimento da agricultura irrigada intensiva. Assim, o estudo do comportamento da recarga desse aquífero frente aos possíveis cenários climáticos futuros é de suma importância para melhor planejamento da gestão dos recursos hídricos na região. O objetivo principal deste trabalho é promover um melhor entendimento nos estudos dos futuros impactos das mudanças climáticas na recarga e no fluxo do SAU-BA utilizando os modelos hidrogeológicos MODFLOW e o *Visual Balan 2.0*, considerando o papel fundamental das águas subterrâneas no abastecimento e atendimento da demanda hídrica na região.

## 2. METODOLOGIA E DADOS

### 2.1 Etapa Meteorológica

Quatro modelos globais do experimento CMIP6 (EYRING et al., 2016) são utilizados neste trabalho: ACCESS-ESM1-5, CanESM5, EC-Earth3, e MIROC6. Dados de precipitação total diária (pr) e temperatura do ar à superfície diária (tas) da primeira realização ('r1i1p1f1') são usados nos experimentos históricos e futuros. Para analisarmos as mudanças no clima futuro, foi escolhido o

período de médio prazo (2041-2060), em dois diferentes cenários futuros: um considerado “otimista” (SSP1-2.6) e o outro “pessimista” (SSP5-8.5) (O’NEILL et al. 2016).

## 2.2 Etapa Hidrológica

Para avaliar os impactos hidrogeológicos futuros em cenários de mudança climática do SAU-BA, o *Visual Balan 2.0*, proposto por Thornthwaite-Mather (1955) e desenvolvido pelo Grupo de Hidrologia Subterrânea da Universidade de Coruña, foi validado nas condições do clima de referência, utilizando os dados climatológicos diários de precipitação e temperaturas máxima e mínima obtidos junto as estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas nas cidades de Barreiras e Correntina (BA), e comparando-os com estudos anteriores da área do SAU-BA. Posteriormente foram inseridos no *Visual Balan 2.0*, os dados de temperatura do ar e precipitação dos quatro modelos do CMIP6 para o clima de referência e para os dois cenários climáticos, SSP1-2.6 e SSP5-8.5, no clima futuro (2041-2060), da área de todo o Aquífero Urucuia, para assim avaliar o comportamento de sua recarga.

Utilizou-se o modelo MODFLOW, para a aplicação método do Balanço de massas e fluxo, que é um modelo de simulação de fluxo de águas subterrâneas por diferenças finitas, desenvolvido pelo Serviço Geológico dos EUA (USGS), que emprega equações de fluxo subterrâneo baseadas na solução da equação de Darcy, combinada com a equação de conservação de massa. Foram então realizadas simulações da recarga e fluxo das projeções futuras e os resultados apresentados referem-se ao final do período 2041-2060, em relação ao clima de referência. Dessa forma, foi possível avaliar os impactos no nível freático do Aquífero Urucuia sob o efeito dos cenários de mudança climática, utilizando os dados dos Modelos do CMIP6.

## 3. RESULTADOS

Os resultados indicam, para as projeções de mudança relativa na precipitação (Figura 1), no cenário SSP1-2.6, que os modelos ACCESS-ESM1-5, CanESM5 e EC-Earth3 apresentam uma redução da precipitação para a área de estudo com valores entre 5 e 20%. Porém, para o cenário SSP5-8.5, esses modelos se comportam de forma diferente, enquanto os modelos CanESM5 e EC-Earth3 indicam uma diminuição ainda maior na precipitação do que no outro cenário, com valores de até 35%, o ACCESS-ESM1-5 projeta um aumento na precipitação de até 25%. De modo oposto aos dos outros modelos, o MIROC6 projeta-se um aumento de até 10% na precipitação no SAU-BA, em ambos os cenários. Com relação às mudanças na temperatura média anual, os quatro modelos concordaram que no futuro haverá aquecimento em ambos os cenários. O ACCESS-ESM1-5 projeta um aumento de temperatura na região do SAU-BA de 2 °C, em ambos os cenários, o CanESM5 de 3 e 4 °C, o EC-Earth3 de 2 e 3 °C, e o MIROC6 de 1 e 2 °C.

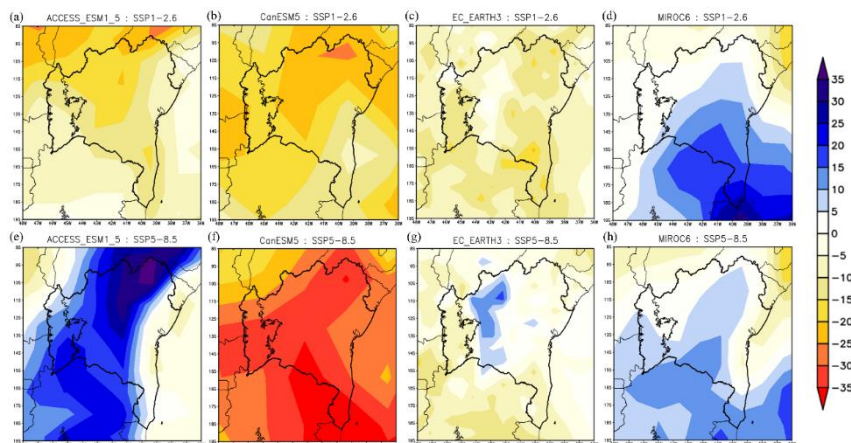


Figura 1 - Mudança relativa (%) na precipitação anual entre o clima futuro (2041-2060) e o clima de referência (1995-2014): (a) modelo ACCESS-ESM1-5 – SSP1-2.6, (b) modelo CanESM5 – SSP1-2.6, (c) modelo EC-Earth3 – SSP1-2.6, (d) modelo MIROC6 – SSP1-2.6, (e) modelo ACCESS-ESM1-5 – SSP5-8.5, (f) modelo CanESM5 – SSP5-8.5, (g) Modelo EC-Earth3 – SSP5-8.5, e (h) modelo MIROC6 – SSP5-8.5.

As projeções de recarga calculadas através do *Software Visual Balan 2.0*, indicaram uma redução entre 27% e 43% com o CanESM5 variando entre um modesto aumento de 1,4% e uma diminuição de aproximadamente 8% com o MIROC6. De maneira oposta a esses modelos, o ACCESS-ESM1-5 e EC-Earth3 apresentam redução na recarga no SSP1-2.6, considerado o cenário mais otimista, o primeiro mostrando uma redução de 21% e aumento na

recarga de 8% no SSP5-8.5, e o segundo com redução entre 14 e 10%. Os cálculos da recarga e do fluxo de água subterrânea do SAU-BA foram realizados também com o modelo MODFLOW. Seus resultados mostram para três modelos climáticos uma redução da recarga ao aquífero, sendo entre 32 e 45% no CanESM5, de 11 e 3% no EC-Earth3, e entre 5 e 9% no MIROC6. Já o ACCESS-ESM1-5 apresenta uma redução de 26% no SSP1-2.6 e um aumento de 5% da recarga, no SSP5-8.5. Ademais, as projeções indicam uma tendência de rebaixamento de nível freático no norte do SAU-BA, atingindo um máximo de até 12 m de descenso com o CanESM5, no SSP5-8.5.

#### 4. CONCLUSÕES

O Sistema Aquífero Urucuia constitui um dos mais importantes sistemas aquíferos do país, e tem se transformado nas últimas décadas no principal polo agrícola baiano. Diante disso, pesquisas complementares sobre a disponibilidade dos recursos hídricos da região, e como serão afetados pelas mudanças climáticas futuras são de suma importância. Os resultados desta pesquisa, mostram que mesmo com os modelos ACCESS-ESM1-5 e MIROC6 apresentando aumentos de precipitação nos dois cenários climáticos, e apenas o ACCESS-ESM1-5 mostrando um pequeno aumento na recarga no cenário SSP5-8.5, é possível concluir que a região do SAU-BA poderá se tornar mais quente e mais seca, com reduções significativas da recarga e de fluxo do aquífero. Recomenda-se, portanto, a incorporação desse e de outros resultados de trabalhos científicos que apontam para as mesmas tendências na gestão desses importantes recursos hídricos.

#### Agradecimentos

Ao PPGM (Programa de Pós-Graduação em Meteorologia) - UFRJ por proporcionar a elaboração deste estudo e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

EYRING, V.; BONY, S.; MEEHL, G. A.; SENIOR, C. A.; STEVENS, B.; STOUFFER, R. J.; TAYLOR, K. E. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 1937–1958, 2016. DOI: 10.5194/gmd-9-1937-2016.

IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

O'NEILL, B. C. et al. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, [S. l.], v. 9, n. 9, p. 3461–3482, 2016. DOI: 10.5194/gmd-9-3461-2016.

SENEVIRATNE, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, and B. Zhou, 2021: *Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate Supplementary Material*. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Available from <https://www.ipcc.ch/>

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *United in Science* 2021. <https://Arcg.Is/0M0Qz8>, [S. l.], n. September, p. 2–10, 2021.