

## PANORAMA DA PESQUISA QUANTITATIVA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL

HENRIQUE SANCHEZ FRANZ<sup>1</sup>; DANIELLE BRESSIANI<sup>2</sup>; RUI SÉRGIO SARAIVA DUARTE JÚNIOR<sup>3</sup>; PAULA JOSYANE FRANCISCO<sup>4</sup>; JULIANA PERTILLE<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pelotas – [franzhenrique@yahoo.com.br](mailto:franzhenrique@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pelotas – [daniebressiani@gmail.com](mailto:daniebressiani@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Pelotas – [ruiduarte.eg@gmail.com](mailto:ruiduarte.eg@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Pelotas – [paula.josyane.eng@gmail.com](mailto:paula.josyane.eng@gmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Federal de Pelotas – [juliana.pertill@gmail.com](mailto:juliana.pertill@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

Diante do crescimento econômico e populacional a demanda e o consumo de água têm aumentado; conduzindo ao estresse hídrico em muitas regiões (UN - WATER, 2010). Em relação a disponibilidade da água no mundo, destacam-se as águas subterrâneas representando 98,7% do total de água disponível para consumo, enquanto as águas superficiais representam menos de 1,0% (UNESCO, 2006). No Brasil, 44% do uso da água subterrânea é destinado para abastecimento humano, 30% para agricultura e 10% para indústria e outros fins. Ainda, estima-se a existência de mais de 2,4 milhões de poços tubulares no Brasil (ANA, 2020), no entanto apenas ~346.000 estão registrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS (CPRM, 2022).

Cabe ressaltar que o Brasil enfrenta problemas relacionados ao saneamento básico, e ainda a maior parte das águas subterrâneas é consumida sem nenhum tratamento (SNIS, 2016). As estiagens severas e o aumento da população, aumentam a demanda por águas subterrâneas ameaçando a sustentabilidade dos aquíferos (HIRATA e CONICELLI, 2012). Portanto, estudos que visam estimar a quantidade de água subterrâneas dos aquíferos auxiliam no planejamento do uso dos recursos hídricos. Diante do exposto o objetivo principal desse artigo é apresentar o panorama geral da pesquisa quantitativa de águas subterrâneas no Brasil, através de uma revisão das publicações em revistas internacionais de referência. Para tal, os objetivos específicos são: (a) caracterizar a hidrogeologia do Brasil; (b) apresentar uma revisão e os principais aprendizados e desafios reportados sobre modelagem e quantificação de águas subterrâneas brasileiras; e (c) citar os principais bancos de dados e bases informações disponíveis no Brasil para desenvolver tais estudos.

### 2. METODOLOGIA

A primeira etapa foi caracterizar a hidrogeologia do Brasil, destacando os principais domínios hidrogeológicos e os principais aquíferos, para tanto foram coletadas informações e dados do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM, 2022). Posteriormente, foram buscados artigos de modelagem de águas subterrâneas desenvolvidos em território brasileiro e publicados em periódicos internacionais. A busca por artigos foi realizada nas plataformas: SCOPUS e Web of Science, utilizando como palavras-chave: *groundwater modeling*, *hydrogeological modeling*, *groundwater recharge*, and *groundwater storage*, todas junto à palavra *Brazil*. O terceiro passo foi revisar e compilar as principais informações dos artigos, como:

as regiões brasileiras onde os estudos foram desenvolvidos, tipos de informações coletadas, tipos de aquífero estudados, palavras-chave, principais periódicos, ano de publicação, metodologias utilizadas, parâmetros estimados, aprendizados e desafios reportados nos estudos, e principais fontes de dados disponíveis no Brasil.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os aquíferos brasileiros são divididos em sete domínios hidrogeológicos, sendo estes: formações cenozóicas e bacias sedimentares (aquíferos sedimentares), domínio poroso/sedimentar (aquíferos sedimentares e fraturados), domínio metassedimentar/metavulcânico, vulcânico e domínio cristalino (aquíferos fraturados) e o domínio dos carbonatos (aquíferos cársticos). Quanto aos tipos de sistema aquíferos, os granulares abrangem mais de 50% do território nacional, os fraturados ~ 47% e os aquíferos cársticos correspondem a 3%. O maior volume de águas subterrâneas está nos Sistemas aquíferos Amazonas e Guarani, juntos eles armazenam 80% do total de água subterrânea no Brasil. Tais aquíferos compõem as bacias sedimentares com maior potencial de reserva de água subterrânea no mundo (RICHTS *et al.*, 2011).

Foram encontrados 63 artigos científicos publicados nas plataformas SCOPUS e Web of Science de acordo com as palavras-chave definidas. Esses foram publicados em 35 periódicos diferentes. Dentre as revistas com mais publicações destacam-se: *Environmental Earth Science* com 7 artigos, *WATER* com 6 artigos e a *Hydrogeology Journal* com 6 artigos. As palavras-chave mais utilizadas nos artigos foram: *Recharge*, *Isotopes* e *Groundwater*. As instituições com maior número de artigos publicados foram a UNESP, UFPE e a UNB. Notou-se uma visível tendência de aumento no número de publicações, com significativo aumento nos últimos três anos (2019 a 2021) (Figura 1E).

A Figura 1E apresenta a distribuição espacial dos estudos no país: a maioria dos estudos foram desenvolvidos no Sistema Aquífero Guarani (15), seguido pelo Amazonas (8). Os estados de SP, MG, DF e AM tiveram a maior quantidade de trabalhos (Figura 1E). Já em relação aos tipos de aquífero (Figura 1A); a maioria dos estudos foram realizados em aquíferos sedimentares (36). Os aquíferos sedimentares são preferidos, pois são considerados meios homogêneos e isotrópico (WANG e CHEN, 2021). Além de serem terrenos que possibilitam com maior facilidade a perfuração de poços tubulares.

Os objetivos dos artigos foram classificados em quatro grupos (Figura 1B). A avaliação do fluxo de águas subterrâneas foi o objetivo mais visado pelos artigos analisados (24). Os estudos cujo propósito foi simular o fluxo de águas subterrâneas, utilizaram meios para estimar parâmetros, como: nível estático e armazenamento de águas subterrâneas, visando entender o impacto de fenômenos naturais e da ação humana nos aquíferos (MACHADO *et al.*, 2007).

Os dados utilizados pelos artigos são em maioria dados secundários (Figura 1C), ou seja, dados disponíveis em banco de dados institucionais, no entanto diversos estudos utilizam de dados experimentais (coletados em campo). As metodologias foram categorizadas em quatro grupos (Figura 1D). A metodologia mais utilizada foi a modelagem computacional. Dentre os modelos utilizados, destaca-se o MODFLOW que é um modelo físico e distribuído que combina a Lei de Darcy com o balanço de massa de modo a simular o fluxo de águas subterrâneas em regimes transientes e permanentes (McDONALD e HARBAUGH, 1984).

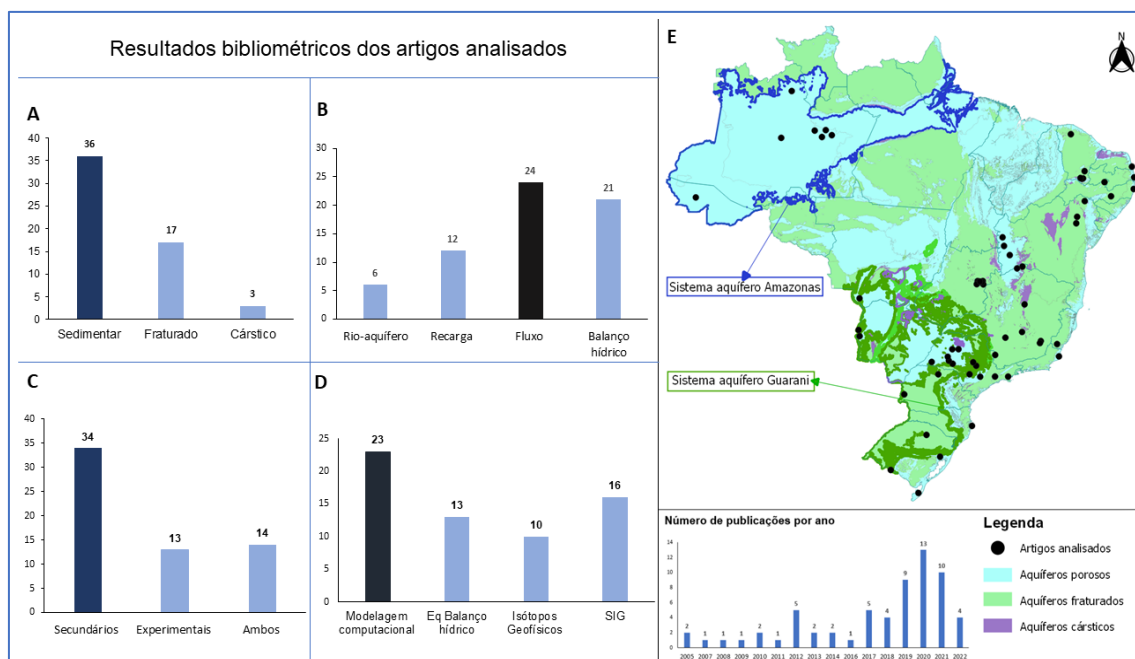


Figura 1. Resultados bibliométricos e distribuição espacial dos estudos investigados. 1A - Tipos de aquíferos mais investigados; 1B - Objetivo do estudo; 1C - Tipo de dado utilizado; 1D - Metodologia predominantemente utilizada; 1E – Distribuição Espacial dos Estudos em referência aos Sistemas Aquíferos, tipos e estados brasileiros.

Os principais desafios da gestão dos recursos hídricos do Brasil, no que diz respeito às águas subterrâneas são: a superexploração de águas subterrâneas em regiões semiáridas, pois devido à falta de chuva a recarga é menor, aumento do uso de águas subterrâneas para irrigação superando a taxa de recarga (EGER *et al.*, 2021), o impacto do uso e ocupação do solo que diminui a infiltração da água, o impacto das mudanças climáticas na quantidade de águas subterrâneas, o uso insustentável de águas subterrâneas para abastecimento (MACHADO *et al.*, 2007). De modo geral, os artigos investigados destacam a necessidade de informações e dados relacionados a quantidade de águas subterrâneas para a gestão de recursos hídricos.

Para tanto, as metodologias requerem um amplo conjunto de dados. Dentre as principais fontes de dados, destacam-se a EMBRAPA e o IBGE para os tipos de solos, MapBiomas e IBGE, para uso e cobertura dos solos, INMET para dados meteorológicos, a ANA para dados de precipitação e vazão, entre outras. Para os modelos de águas subterrâneas o repositório institucional do serviço geológico brasileiro RIGeo e o plataforma SIAGAS são os mais utilizados para a construção do modelo conceitual hidrogeológico. Entretanto, dados de séries históricas ainda são muito limitados. Tal limitação dificulta a calibração e validação dos resultados, o que aumenta as incertezas. Nesse sentido, os futuros estudos de modelagem devem ter o foco na diminuição das incertezas (COSTA *et al.*, 2021).

## 4. CONCLUSÕES

O Brasil possui um amplo potencial hídrico de águas subterrâneas tendo os aquíferos localizados nas bacias sedimentares com maior reserva de água subterrânea no mundo. O presente estudo investigou 63 artigos publicados internacionalmente sobre águas subterrâneas no Brasil. Os estudos no Brasil ainda

são escassos, principalmente levando em consideração o volume de reserva em sistemas aquíferos no país. Os estudos apontam como principais dificuldades a disponibilidade de dados. Os tipos de aquíferos mais investigado pelos estudos são sedimentares, os dados utilizados são, em sua maioria, dados secundários, porém dados coletados em campo ainda são muito necessários.

A estimativa de fluxo de águas subterrâneas e das variáveis do balanço hídrico foram os objetivos mais visados. Para tanto, as metodologias mais utilizadas foram a modelagem computacional e os sistemas de informações geográficas. Tais metodologias demandam um amplo conjunto de dados, os quais podem ser adquiridos de instituições nacionais e estaduais. Entretanto no que se refere a parâmetros hidrogeológicos os dados ainda são limitados. Ainda assim, é possível gerar informações que visam investigar os principais desafios enfrentados pelos gestores e pela sociedade como um todo, relacionados as águas subterrâneas.

## 5. REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil,. Disponível em:<http://biblioteca.ana.gov.br/index.asp?> Acesso em: Novembro 2021
- COSTA, A.C. et al. Integrated surface-groundwater modelling for assessment of aquifer recharge and groundwater availability in a semi-arid region in the context of inter-basin water transfer. 2021.
- CPRM. Serviço Geológico Brasileiro. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/> . Acesso em: Agosto de 2022
- HIRATA, R.; CONICELLI, B.P. Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v. 2, p. 297-312, 2012.
- MACHADO, C.J.F. et al. Hydrogeochemical and flow modeling of aquitard percolation in the Cariri Valley-Northeast Brazil. **Aquatic Geochemistry**, v. 13, n. 2, p. 187-196, 2007.
- EGER, G, Z, S. et al. Recharge assessment in the context of expanding agricultural activity: Urucuia Aquifer System, western State of Bahia, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. 2021
- McDONALD M.G.; HARBAUGH A.W. **A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model**.US Geological Survey, Washington, ed. 1, 1984.
- RICHTS, A.; STRUCKMEIER, W.; ZAEPEKE, M. **WHYMAP and the Groundwater Resources of the World 1:25,000,000**. In: Jones J. (Eds.): Sustaining Groundwater Resources. 2011 International Year of Planet Earth; Springer
- SNIS. Sistema Nacional de Informações de Saneamento Básico. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/pmss/snis>. Acesso em: Agosto de 2022.
- UNESCO. World Water Assessment Programme World Water Development Report. WWAP, 2006.
- WANG, Y.; CHEN, N. Recent progress in coupled surface-ground water models and their potential in watershed hydro-biogeochemical studies: A review. **Watershed Ecology and Environment**. v. 3, p. 17-29, 2021.
- UN - WATER. Climate change adaptation: The pivotal role of water. United Nations, Genebra, Suíça, 2010.