

INDICADORES PARA USO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL, POR DOMÍNIO HIDROGEOLÓGICO, UTILIZANDO O SIAGAS

Milla Pechta¹, Vitor Vieira Vasconcelos²

¹ Universidade Federal do ABC, Av. dos Estados, 5001, Santo André (SP), mpechta@ufabc.edu.br

² Universidade Federal do ABC, Av. dos Estados, 5001, Santo André (SP), vitor.vasconcelos@ufabc.edu.br

Palavras-Chave: Vazão Estática; Rebaixamento; Vazão Específica.

INTRODUÇÃO

O SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) é um sistema de bases de dados criado e mantido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) desde 1996, com o objetivo de armazenar, sistematizar e disponibilizar informações georreferenciadas, oferecendo apoio operacional ao cadastramento dos poços (Lima e Branco, 2010; Nascimento et al., 2008). Desse modo, é uma ferramenta útil ao planejamento estratégico e gestão dos recursos hídricos subterrâneos (Ribeiro, 2008). Apesar das dificuldades encontradas pelos órgãos gestores na transferência de seus dados para o SIAGAS, como a falta de recursos humanos, de consistência do cadastramento de poços realizados por terceiros, a falta e/ou precariedade dos relatórios de construção dos poços, o SIAGAS continua importante para o conhecimento hidrogeológico do país, permitindo estudos sobre potencial hídrico, limites de exploração, recargas e qualidade físico-química dos aquíferos, além de servir de orientação a projetos de engenharia (Nascimento et al., 2008).

O Mapa de Domínios/Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil, feito em escala 1:2.500.000 e concluído em 2007, propõe os denominados Domínios Hidrogeológicos cuja definição, segundo Bomfim (2010), seriam as entidades resultantes do “*agrupamento de unidades geológicas com afinidades hidrogeológicas, tendo como base principalmente as características litológicas das rochas*”. Desse agrupamento e reclassificação litológica, foram classificados 7 Domínios Hidrogeológicos (Bomfim, 2010):

1. Formações Cenozóicas (aquífero poroso): apresentam porosidade primária, com elevada permeabilidade nos terrenos arenosos. Podem ser produzidas vazões significativas nos poços tubulares perfurados dessas unidades de acordo com a espessura e da proporção de areia e argila dessas unidades. É comum que os poços localizados neste domínio, captem água dos aquíferos subjacentes.

2. Bacias Sedimentares (aquífero poroso): os poços desse domínio têm alto potencial hídrico, e suas unidades possuem os maiores reservatórios de água subterrânea, devido à alta porosidade/permeabilidade de grande parte de suas litologias, permitindo a exploração de vazões significativas.

3. Poroso/Fissural (aquífero misto): apresenta tanto comportamento de aquífero granular (com porosidade primária baixa/média) quanto comportamento fissural acentuado (porosidade secundária de fendas e fraturas), conferindo-lhe baixo a médio potencial hidrogeológico.

4. Metassedimentos/Metavulcânicas (aquífero fissural): ocorrência de água subterrânea é condicionada principalmente por uma porosidade secundária com reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão, implicando em vazões pequenas nos poços, com água geralmente salinizada. No entanto, deve ser esperada uma maior potencialidade hidrogeológica do que o esperado para o Cristalino.

5. Vulcânicas (aquífero fissural): de comportamento tipicamente fissural (porosidade secundária de fendas e fraturas), com alguma porosidade primária relacionada a estruturas vesiculares. Espera-se, portanto, um potencial hidrogeológico mais elevado do que o ocorrente no domínio anterior.

6. Cristalino (aquífero fissural): ocorrência de água subterrânea é condicionada predominantemente por uma porosidade secundária (fraturas e fendas), ocasionando reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão, produzindo baixas vazões em poços e, geralmente, com água salinizada. Dentre os aquíferos fissurais, tende a ser o domínio de menor potencial hidrogeológico.

7. Carbonatos/Metacarbonatos (aquífero fissural): com superfícies fraturadas e alargadas (cavernas,

sumidouros, e outras feições erosivas típicas resultantes de dissolução química), propiciam porosidade e permeabilidade secundárias, com acúmulo de volumes consideráveis de água. Contudo, são reservatórios heterogêneos, com feições localizadas. Ademais, a água é do tipo carbonatada, com dureza bastante elevada.

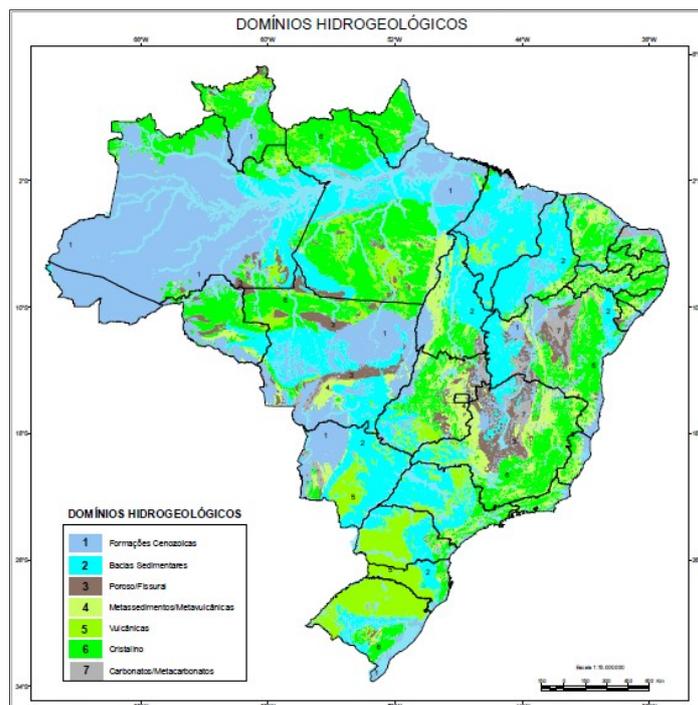


Figura 1. Mapa de Domínios Hidrogeológicos (CPRM, 2007).

A importância da elaboração de indicadores para a gestão das águas subterrâneas foi enfatizada pela UNESCO (Vrba et al., 2007), aconselhando que esses indicadores devam se basear nas bases de dados disponíveis e atualizáveis em cada país. Vasconcelos et al. (2013) utilizaram indicadores a partir do sistema SIAGAS para estudo dos padrões de circulação hídrica subterrânea. Vasconcelos et al. (2017) propuseram que o estudo de vazão e de variação do nível piezométrico a partir de bases de dados de poços tubulares pode fornecer indicadores sobre o potencial de estratégias de uso conjuntivo (água superficial e subterrânea) que busquem um fornecimento estável com menor impacto ambiental.

Com base no exposto, este trabalho visa propor 4 indicadores para o uso de águas subterrâneas utilizando o banco de dados disponibilizado pelo SIAGAS para todo o território brasileiro, separados por tipo de domínio hidrogeológico, ou seja, separados por afinidades litológica e sua potencialidade hidrogeológica. Os indicadores aqui sugeridos são de: Vazão Estática, Rebaixamento, Vazão Específica e Custo Benefício. Além dos critérios utilizados no cálculo de cada um, serão identificadas medidas de tendência central (mediana e média aritmética) e dispersão (desvio padrão) para cada indicador de seu respectivo domínio.

METODOLOGIA

Foram baixados todos os dados disponíveis no SIAGAS para o Brasil (299.227 poços, baixados entre 21 de Dezembro de 2017 e 28 de Fevereiro de 2018). Das variáveis disponibilizadas pelo sistema, foram utilizadas 6 para a determinação dos novos indicadores, sendo elas: vazão, vazão estática, vazão específica, nível dinâmico, nível estático e profundidade final. Os critérios e formulação matemática adotados para a construção de cada indicador estão apresentados em fluxogramas apresentados a seguir (Figuras 2, 3, 4 e 5).

Depois de calculados os indicadores, as células que continham valores nulos foram desconsideradas. Em seguida, foram divididos por domínio hidrogeológico, a fim de agrupá-los por afinidade litológica e potencialidade hidrogeológica. Devido à grande quantidade de dados faltantes, somente 50% dos baixados

puderam ser utilizados nos cálculos para os indicadores de Vazão Estática e o de Custo Benefício, e cerca de 40% para os cálculos dos indicadores de Rebaixamento e o de Vazão Específica. Com os dados separados por indicador e por domínio, foram realizados os cálculos estatísticos (mediana, média e desvio padrão).

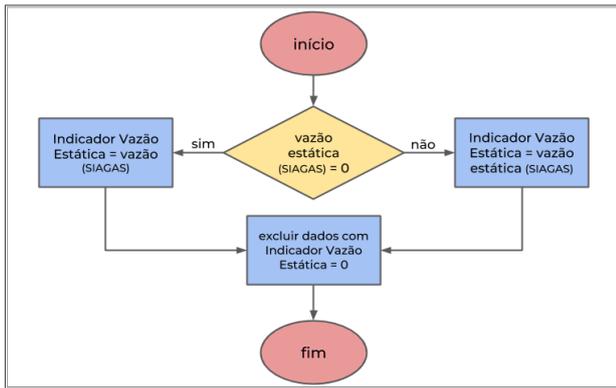


Figura 2. Fluxograma do cálculo do indicador Vazão Estática (Autoria própria, 2018).

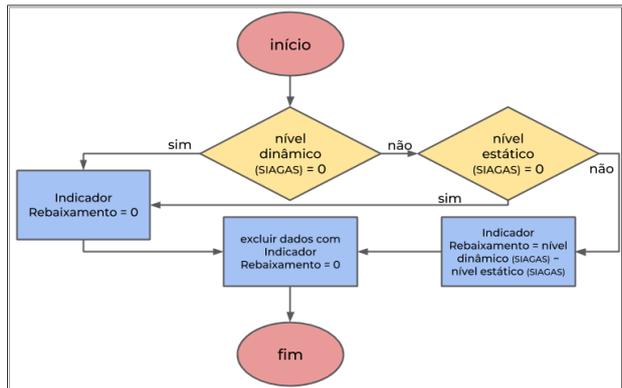


Figura 3. Fluxograma do cálculo do indicador Rebaixamento (Autoria própria, 2018).

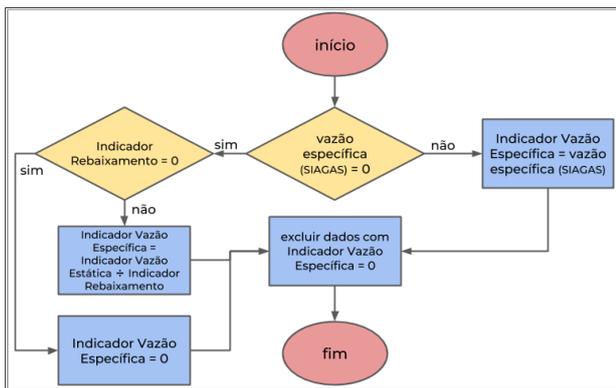


Figura 4. Fluxograma do cálculo do indicador Vazão Específica (Autoria própria, 2018).

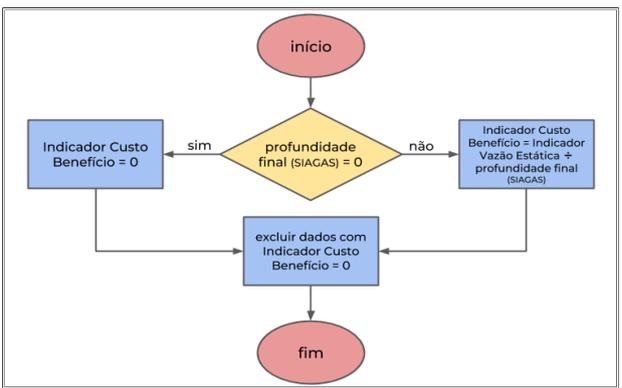


Figura 5. Fluxograma do cálculo do indicador Custo Benefício (Autoria própria, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 divulga o resultado final encontrado das medidas estatísticas realizadas para cada indicador proposto por tipo de domínio.

Tabela 1. Medidas de tendência central (mediana e média) e dispersão (desvio padrão) para cada indicador.

Domínio	Vazão Estática [m³/h]			Rebaixamento [m]			Vazão Específica [(m³/h)/m]			Custo Benefício [(m³/h)/m]		
	Mediana	Média	Desvio Padrão	Mediana	Média	Desvio Padrão	Mediana	Média	Desvio Padrão	Mediana	Média	Desvio Padrão
Bacias Sedimentares	8,00	21,52	726,05	21,00	29,26	28,34	0,48	100,42	17138,73	0,08	0,18	3,66
Carbonatos Metacarbonatos	8,50	22,88	299,28	12,00	20,53	22,06	0,96	18,00	213,41	0,10	0,37	6,45
Cristalino	2,70	9,21	227,69	28,00	85,32	7235,90	0,12	1,13	36,17	0,04	0,17	3,63
Formações Cenozóicas	6,00	27,39	1280,12	14,27	22,40	24,81	0,57	5,12	141,06	0,09	0,34	8,43
Metassedimentos Metavulcânicas	3,00	7,54	52,69	25,12	30,88	24,84	0,14	0,95	5,85	0,05	0,12	0,80
Poroso Fissural	8,00	14,85	42,96	24,99	30,70	26,29	0,33	6,22	58,24	0,09	0,20	0,85
Vulcânicas	7,90	15,92	122,93	23,90	33,19	33,08	0,40	3,42	36,82	0,07	0,22	4,13

As medianas de todos os indicadores e domínios estão abaixo das médias, indicando uma distribuição assimétrica positiva (muitos poços com vazão menor que a média, e um número menor de poços com valores extremamente altos - *outliers*). Nesse contexto, a mediana pode ser considerada uma medida de centralidade mais robusta que a média (Field et al., 2012).

De uma maneira geral, o padrão dos indicadores apresenta conformidade com os padrões esperados por Bomfim (2010), descritos na introdução deste artigo. Os indicadores de vazão estática, vazão específica e custo-benefício apresentam correlação direta entre si, e uma correlação inversa com o rebaixamento. O maior desvio padrão da vazão dos poços em formações cenozóicas pode se dever aos contextos de comunicação ou não com os fluxos freáticos conectados a cursos de água superficiais. O elevado desvio padrão no rebaixamento de poços cristalino reflete os diversos contextos de abertura, densidade e conectividade de fraturas, bem como da transmissividade do material de preenchimento dessas fraturas (Costa, 2008).

Os indicadores levantados apresentam diversas limitações. Por exemplo, o custo-benefício de poços não depende apenas da relação entre vazão/profundidade, mas também da tecnologia de perfuração adequada para cada tipo de rocha, bem com das variações regionais dos custos de serviços e de deslocamento. A vulnerabilidade dos aquíferos não deve levar em conta apenas o rebaixamento, mas também o potencial de recuperação (recarga dos aquíferos), a demanda e o volume das reservas disponíveis (Vrba et al., 2007). Portanto, idealmente, os indicadores apresentados deveriam ser complementados por estudos mais aprofundados. Todavia, apresentam um bom ponto de partida de análise, especialmente em regiões com carência de outros estudos hidrogeológicos mais detalhados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bomfim, L. F. C. Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em Ambiente SIG: concepção e metodologia. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2010, São Luís. **Anais...** São Paulo: Revista Águas Subterrâneas, 2010. 18p.

Costa, W. D. Hidrogeologia dos meios fissurados. In: Feitosa F. A. C. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3ª ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p. 121-151.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil: águas subterrâneas** – Escala: 1:2.500.000. Rio de Janeiro. 2007.

Field, A.; Miles, J.; Field, Z. **Discovering statistics using R**. Los Angeles: Sage publications, 2012. 992p.

Lima, J. B. e Branco, P. C. M. P. A. SIAGAS – Uma evolução em plataforma de softwares livres. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. 2010, São Luís. **Anais...** São Paulo: Revista Águas Subterrâneas, 2010. 16p.

Nascimento, F. M. F.; Carvalho, J. E.; Peixinho; F. C. Sistema de Informações de Água Subterrânea – SIAGAS Histórico, Desafios e Perspectivas. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2008, Natal, 2008. **Anais...** São Paulo: Revista Águas Subterrâneas, 2008. 18p.

Ribeiro, J. A. O SIAGAS e a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2008, Natal, 2008. **Anais...** São Paulo: Revista Águas Subterrâneas, 2008. 11p.

Vasconcelos, V. V. et al. Analysis of spatial-temporal patterns of water table change as a tool for conjunctive water management in the Upper Central Plain of the Chao Phraya River Basin, Thailand. **Applied Water Science**, v. 7, n. 1, 2017, p.245-262.

Vasconcelos, V. V.; Martins Junior, P. P.; Hadad, R. M. Spatial Modeling of Water System using Partial Least Squares: a study case for Paracatu Basin (SF7), in Minas Gerais State, Brazil. **Águas Subterrâneas**, v. 27, n. 2, 2013, p. 47-65.

Vrba, J. et al. Groundwater resources sustainability indicators. In: **Series on Groundwater**, vol.14. Paris: UNESCO, 2007.