



## **Raio de Influência e Coeficiente de Armazenamento em poços tubulares do Sistema Aquífero Serra Geral**

**Pedro Antonio Roehe Reginato<sup>1</sup>, Tiago de Vargas<sup>1</sup>, Franciele Schwanck Carlos<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Hidromecânica e Hidrologia/Instituto de Pesquisas Hidráulicas/

Universidade Federal do Rio Grande do Sul ([pedro.reginato@ufrgs.br](mailto:pedro.reginato@ufrgs.br);

[tiago.devargas@ufrgs.br](mailto:tiago.devargas@ufrgs.br); [schwanck.carlos@ufrgs.br](mailto:schwanck.carlos@ufrgs.br))

### **Resumo**

Este trabalho envolveu a análise e interpretação de ensaios de bombeamento com poços de observação, realizados em poços tubulares do SASG, localizados na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito dos ensaios nos cálculos do coeficiente de armazenamento e raio de influência. Para isso foram selecionados dois ensaios que continham cada um, dois poços de observação, sendo que foram calculados os valores de transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (S) com base na metodologia de Cooper & Jacob. Os resultados encontrados indicaram que os valores de S calculados com base nos dados de poço de bombeamento e distâncias iguais ao raio do poço ou 1m são incoerentes e não devem ser considerados em estudos hidrogeológicos. Já os valores calculados com base nos dados dos poços de observação e distância horizontal entre poços resultaram em valores na ordem de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$ . Os raios de influência calculados resultaram em distâncias elevadas por isso devem sempre ser avaliadas com cautela, em estudos hidrogeológicos de aquíferos fraturados.

Palavras-chave: parâmetros hidrogeológicos, aquíferos fraturados, SASG

Área Temática: Recursos Hídricos

## **Radius of Influence and Storage Coefficient in tubular wells of the Serra Geral Aquifer System**

### **Abstract**

*This work involved the analysis and interpretation of pumping tests with observation wells, carried out in SASG tubular wells, located in the northeast region of the state of Rio Grande do Sul. The aim of the study was to evaluate the effect of the tests on the calculation of the storage coefficient and radius of influence. For this, two trials were selected, each containing two observation wells, and the values of transmissivity (T) and storage coefficient (S) were calculated based on the Cooper & Jacob methodology. The results found indicated that the S values calculated based on pumping well data and distances equal to the well radius or 1m are incoherent and should not be considered in hydrogeological studies. The calculated values based on data from observation wells and horizontal distance between wells resulted in values on the order of  $10^{-4}$  to  $10^{-5}$ . The calculated radius of influence resulted in high distances, so they should always be evaluated with caution in hydrogeological studies of fractured aquifers.*

*Key words: hydrogeological parameters, fractured aquifers, SASG*

*Theme Area: Water Resources*



## 1 Introdução

O uso de parâmetros hidrogeológicos têm grande importância para a caracterização, avaliação de fluxo, produtividade, entre outros estudos de sistemas aquíferos porosos e fraturados. Um desses parâmetros é o coeficiente de armazenamento ( $S$ ), que além de ter relação com o tipo de aquífero (livre ou confinado), pode ser utilizado na avaliação de reservas e estimativas do raio de influência dos poços de bombeamento.

Para Mota e Costa et al. (2009) a avaliação da interferência entre poços deve ser considerada como um critério para outorga da água subterrânea. Segundo Silva et al. (2017) a estimativa do raio de influência tem importância tanto em projetos de locação de novos poços de bombeamento, quando em projetos de rebaixamento do nível de água em atividades de mineração.

No caso de aquíferos fraturados, em função da elevada heterogeneidade e anisotropia pode-se esperar variações significativas para os valores de diferentes parâmetros hidrogeológicos. Makungo et al. (2021) destaca que no caso do  $S$ , os valores podem apresentar variações de mais de uma ordem de grandeza, sendo influenciados pela presença de fraturas e falhas, conexão entre as estruturas, proximidade dos poços das estruturas, entre outros fatores. Para Mesquita et al. (2017) os valores de transmissividade ( $T$ ) e  $S$  refletem as condições de anisotropia e heterogeneidade, grau de confinamento, bem como influência de permeabilidades secundárias e controle estrutural do fluxo da água subterrânea. Já Kaehler & Hsieh (1993) demonstram que em regiões de aquíferos fraturados com presença de camadas aquíferas localizadas no manto de alteração, há ocorrência de valores diferentes para o  $S$ , sendo esses muito menores e variáveis nos aquíferos fraturados.

Para o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) a determinação de parâmetros como condutividade hidráulica ( $k$ ) e  $S$  é difícil de ser realizada, pois é complexo estimar a espessura saturada desses aquíferos, bem como pelo fato de que a maioria dos testes de bombeamento são feitas no próprio poço, sem o envolvimento de poços de observação (VIERO et al., 2021).

Na realização de testes únicos, sem presença de poços de observação, a determinação do parâmetro  $S$  é difícil de ser realizada pois não se tem a distância ( $r$ ) entre o poço bombeado e o poço observado, que é um requisito de diferentes equações. Uma solução empírica adotada é usar o raio do poço ou o valor de 1 m como a distância entre poços. No entanto, essa solução resulta em valores discrepantes que podem ter diferenças significativas, conforme observado por Severgnini (2020). A autora demonstrou que os valores de  $S$  considerando o raio do poço ou a distância empírica de 1 metro, ficaram situados entre  $10^{-1}$  a  $10^{-3}$ , enquanto que considerando a distância dos poços de monitoramento os valores ficaram entre  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$ .

Esse estudo envolveu a avaliação do coeficiente de armazenamento e do raio de influência de dois conjuntos de poços (bombeamento e observação) que captam água do SASG, visando com isso demonstrar o efeito do cálculo do  $S$  na determinação do raio de influência e suas implicações nos estudos de aquíferos fraturados.

## 2 Materiais e Métodos

O desenvolvimento desse estudo envolveu a realização das seguintes etapas: seleção de poços com testes de bombeamento; determinação de parâmetros hidrogeológicos, análise e interpretação dos resultados (Figura 1).

A seleção de poços foi feita com base na análise de dados disponíveis de testes de bombeamento do banco de dados do grupo de pesquisa. Foram selecionados dois conjuntos de testes de aquífero (cada um formado por um poço de bombeamento e dois poços de observação), que estavam situados em dois locais da região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, onde há ocorrência do SASG.



Figura 1 – Fluxograma com as atividades desenvolvidas.



Após a seleção dos testes, os dados de rebaixamento e tempo foram utilizados na elaboração de curvas de rebaixamento x tempo (escala logarítmica), sendo as curvas geradas com uso do programa Excel. Com base nas curvas foram calculados os parâmetros hidrogeológicos.

A determinação dos parâmetros T e S foi realizada por meio do uso da solução de Cooper & Jacob (1946 apud FEITOSA, 2008) e das equações:

$$T = (0,183 \times Q) / s \quad (\text{equação 1})$$

$$S = (2,25 \times T \times t_0) / r^2 \quad (\text{equação 2})$$

Onde: T = transmissividade; Q = vazão de bombeamento; s = rebaixamento dentro um ciclo logarítmico obtido na curva de rebaixamento x tempo;  $t_0$  = tempo de rebaixamento nulo obtido na curva de rebaixamento x tempo; r = distância entre o poço de bombeamento e o poço de observação.

Para o cálculo de S no poço de bombeamento, foram considerados dois valores para “r”, sendo um igual ao raio do poço e outro igual a distância de 1 m. Para os dados dos poços de observação foi considerada a distância horizontal do poço bombeado até o poço observado.

Como o objetivo do trabalho foi avaliar o cálculo do valor de S e o efeito na determinação do raio de influência em aquíferos fraturados, a metodologia de Cooper & Jacob foi selecionada, por ser uma das mais utilizados na determinação dos parâmetros T e S.

Para o cálculo do raio de influência foi utilizada a seguinte equação:

$$R = 1,5 \times \sqrt{(T \times t) / S} \quad (\text{equação 3})$$

Onde: T = transmissividade; t = tempo de bombeamento e S = coeficiente de armazenamento.

Com base nos dados obtidos foi feita a avaliação e interpretação dos resultados, visando identificar o efeito dos valores de S calculados de diferentes formas, na determinação de raios de influência em poços que captam água do SASG.

### 3 Resultados e Discussões

Os dados dos poços do primeiro ensaio (VAP) analisado são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Dados dos poços do primeiro ensaio analisado (VAP).

Código do Poço	Profundidade Final (m)	Raio Poço (")	Nível Estático (m)	Vazão de Estabilização (m <sup>3</sup> /h)	Tempo de bombeamento (h)	Distância entre poços (m)
VAP-PB	80	6	1,43	64,148	33,67	-----
VAP-PO1	72	6	4,33	64,148	33,67	43,45*
VAP-PO2	60	6	0,00	64,148	33,67	40,51*

PB = Poço Bombeado; PO = Poço de Observação \* distância horizontal entre o PB e o PO

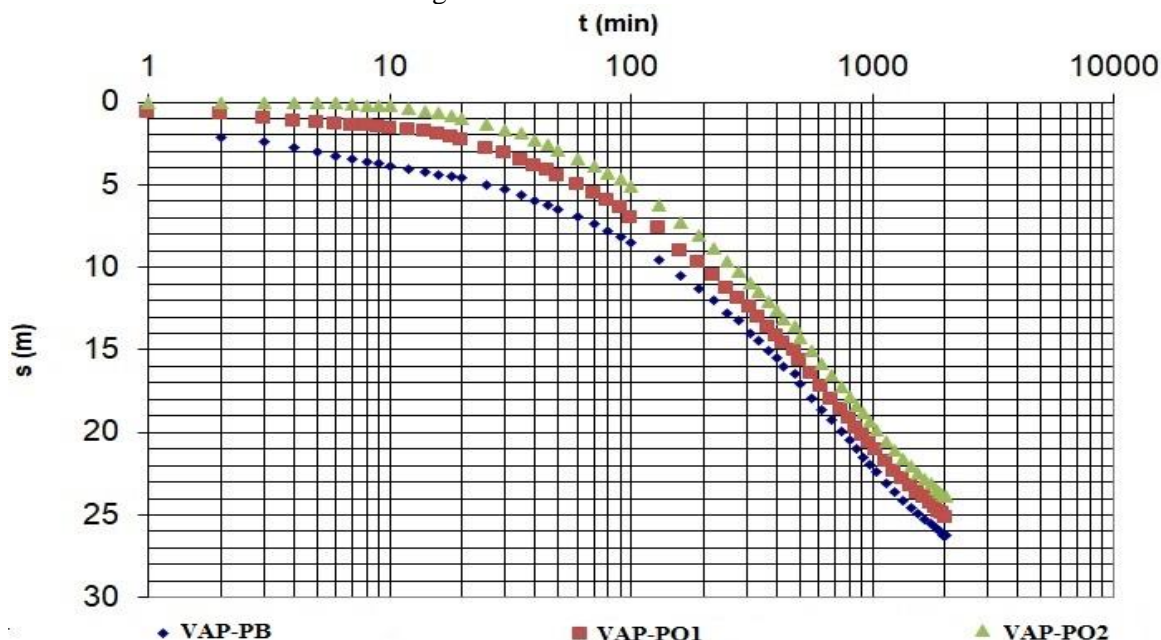
Os dados indicam um poço com alta produtividade, visto que apresenta uma elevada vazão para o SASG, sendo que a mesma permaneceu constante durante todo o desenvolvimento do teste.

As curvas de rebaixamento dos poços são apresentadas na figura 2, onde se pode observar que as curvas nos três poços são semelhantes, apresentando um comportamento típico de aquíferos fraturados (descontínuos), sem estabilização do rebaixamento no final. O poço VAP-PO1 responde imediatamente ao processo de bombeamento, sendo que a 1 minuto já foi registrado rebaixamento. Já o poço VAP-PO2 só passa a responder após 5 minutos do início do teste de



bombeamento. Deve-se ressaltar que esse poço é surgente, portanto isso pode explicar a demora na resposta do rebaixamento observado durante a realização do teste.

Figura 2 – Curva de Rebaixamento



Os resultados obtidos para os parâmetros T, S e raio de influência são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros T, S e do Raio de Influência.

Código do Poço	T (m <sup>2</sup> /h)	S r = raio (m)	S r = 1m	S r = distância entre poços (m)	Raio de Influência (m)
VAP-PB	1,38	37,43	0,217	-----	1,67 a 21,95
VAP-PO1	1,35	-----	-----	1,88x10 <sup>-4</sup>	737,57
VAP-PO2	1,33	-----	-----	3,1x10 <sup>-4</sup>	570,11

Os resultados encontrados indicam que cálculos do parâmetro S realizados em poços únicos (sem poços de observação), considerando o valor de “r”, tanto como sendo o raio do poço ou a distância empírica de 1 metro, resultam em valores não significativos de S, bem como do raio de influência. Isso pode ser comprovado pois os poços de observação estão a mais de 40 m de distância horizontal, sendo que em ambos os poços foi identificada interferência do bombeamento. Já os valores de S calculados com os dados de poços de observação indicaram valores entre 1,88 e 3,1x10<sup>-4</sup>, que refletiram em raios de influência entre 570,11 e 737,57m. Os valores elevados do raio de influência são explicados, pois a equação utilizada considera o tempo de bombeamento como uma das variáveis.

Os dados dos poços do segundo ensaio (IP) analisado são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Dados dos poços do segundo ensaio analisado (IP).

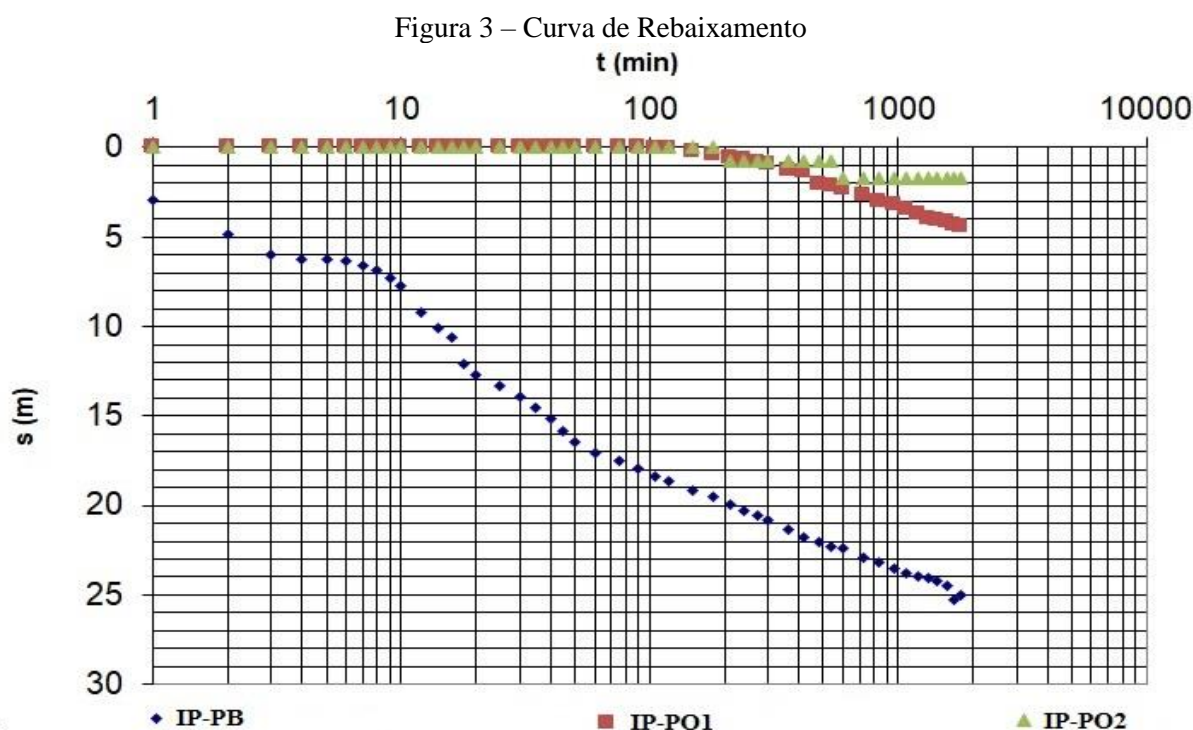
Código do Poço	Profundidade Final (m)	Raio Poço (“)	Nível Estático (m)	Vazão de Estabilização (m <sup>3</sup> /h)	Tempo de bombeamento (h)	Distância entre poços (m)
IP-PB	72	6	3,6	12,412	30	-----
IP-PO1	120	6	0	12,412	30	147,46
IP-PO2	250	6	5,8	12,412	30	509,14

PB = Poço Bombeado; PO = Poço de Observação \* distância horizontal entre o PB e o PO



Os dados indicam um poço com baixa produtividade, típica da maioria dos poços que captam água do SASG, sendo que a mesma permaneceu constante a partir dos 75 minutos após o início do bombeamento.

As curvas de rebaixamento dos poços são apresentadas na figura 3, sendo que se pode observar que as curvas dos três poços não são semelhantes. A curva do poço de bombeamento possui um formato típico das curvas de aquíferos fraturados, também sem estabilização no final. No entanto, as curvas dos poços de observação, demonstram um comportamento diferente, refletindo uma demora ou atraso na interferência causada pelo poço bombeado. O poço IP-PO1 só passa a sofrer interferência do bombeamento após 90 minutos do início do teste, sendo que o rebaixamento é pequeno. Já no poço IP-PO2 esse efeito só tem início após 210 minutos de bombeamento. Deve-se destacar que os poços de observação estão localizados a distâncias grandes do poço de bombeamento, principalmente o poço IP-PO2 que está a mais de 500 m de distância.



Os resultados obtidos para os parâmetros T, S e raio de influência são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Resultados dos parâmetros T, S e do Raio de Influência.

Código do Poço	T (m <sup>2</sup> /h)	S r = raio (m)	S r = 1m	S r = distância entre poços (m)	Raio de Influência (m)
IP-PB	0,3	0,968	5,62x10 <sup>-3</sup>	-----	4,57 a 60,03
IP-PO1	1,62	-----	-----	4,19x10 <sup>-5</sup>	1615,48
IP-PO2	5,16	-----	-----	1,04x10 <sup>-5</sup>	5787,08

Os resultados encontrados também demonstram discrepâncias significativas entre os valores do parâmetro S calculados em poços únicos (sem poços de observação), com os determinados com os dados dos poços de observação. Além disso deve-se destacar que para essa segunda situação, como as curvas de rebaixamento dos poços de observação foram diferentes da curva do poço bombeado, houve uma interferência maior no cálculo do parâmetro T. Como esse parâmetro



também é utilizado no cálculo de S, os valores diferentes também tiveram reflexo nos resultados dos valores de S e raio de influência. Os valores encontrados para o raio foram bastante elevados, entre 1615 e 5787 m, sendo que se os raios forem recalculados considerando o valor de T obtido com os dados do poço bombeado ( $T=0,3\text{m}^2/\text{h}$ ), as distâncias ficam entre 695,19 a 1395,39 m.

Os resultados obtidos nos dois testes são diferentes pois em cada região onde estão localizados os poços (bombeamento e observação), há diferentes condições geológicas e estruturais que condicionam a formação dos aquíferos fraturados que estão sendo captados pelos poços. Assim a heterogeneidade e anisotropia, resultante dos fatores estruturais e geológicos que condicionam a geometria do aquífero, bem como o fluxo da água subterrânea, terão reflexo direto na resposta dos ensaios de bombeamento (por isso os mesmos são diferentes), bem como na determinação de parâmetros hidrogeológicos. Isso já foi observado em diferentes estudos como o de Makungo et al. (2021).

Segundo Zhai et al., (2021) o raio de influência é muito variável pois não reflete as propriedades naturais dos aquíferos e só teria significância se os aquíferos fossem todos horizontais e infinitos, o que não ocorre em sistemas fraturados.

## 4 Conclusões

Os resultados obtidos demonstraram que ensaios de bombeamento com poços de observação, realizados em poços tubulares que captam água do SASG, vão apresentar diferentes respostas por serem influenciados pela heterogeneidade e anisotropia desses aquíferos.

Os ensaios realizados com poços de observação mais próximos e que respondem de forma semelhante ao poço bombeado, apresentam resultados semelhantes e mais consistentes. No entanto, ensaios com poços de observação mais distantes, podem ter uma resposta bastante diferenciada, tendo reflexo na determinação dos parâmetros hidrodinâmicos, que devem ser vistos com bastante cautela.

Os valores de S calculados para ambos os ensaios com base nos dados de poços de observação, ficaram na ordem de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$ , o que indicaria condições de armazenamento semelhante a observado em aquíferos porosos confinados.

Além disso o uso do raio do poço ou o valor empírico de 1 m não deve ser utilizado na determinação do parâmetro S, pois os resultados obtidos são incoerentes, como foi observado por meio do cálculo do raio de influência (valores menores que as distâncias horizontais entre os poços de bombeamento e observação). Por outro lado, os valores de raio, calculados com os dados de poços de observação, resultaram em valores elevados, muito superiores as distâncias entre os poços. Embora sejam aquíferos fraturados, onde o fluxo ocorre ao longo das estruturas e poderia alcançar grandes distâncias, os cálculos de raio de influência devem sempre ser avaliados com bastante cautela.

## Referências

FEITOSA, F.A.C. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro. CPRM. LABHID. 2008. 8112p.

KAEHLER, C.A.; HSIEH, P.A. Hydraulic properties of a fractured-rock aquifer, Lee Valley, San Diego Country, California. **U.S. Geological Survey water supply paper, 2394**. Califórnia. 1993.



## 7º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 9 a 11 de maio de 2023

MAKUNGO, R; ODIYO, J.O; NDIRITU, J.G. “*Hydraulic characteristics of a fractured crystalline basement aquifer in Nzhelele área, Limpopo P/rovince, South Africa*, *Cogent. Enginnering*, 8:1, 1928387, 2021. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1928387>

MESQUITA, D.C.; DANTAS, J.C.M.; PAULA, R.S.; GUERRA, K.J. “*Estudo dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos em ensaios de campo em Itabiritos Brandos da Porção Sudoeste do Quadrilátero Ferrífero, MG*. *Geonomos*, 25(2), 12-19, 2017.

MOTA E COSTA, M.L.; BATISTA, M.L.C.; RIBEIRO, M.M.L.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; RÊGO, J.C. Simulação da Interferência entre Poços como Critério de |Outorga dos Direitos de uso das Águas Subterrâneas. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XVIII, 2009, Mato Grosso do Sul, Anais.

SEVERGNINI, B.R. **Caracterização Hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) através da análise de Testes de Bombeamento**. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2020, 150p.

SILVA, M.V.A; MACEDO, L.G.M; MARIANO, M.C.A.; MACIEL, V.M. “*Estimativa do Raio de Influência dos Poços de Rebaixamento da Mina F4 e sua área de Interferência, Complexo Mineralógico de Araxá, Vale Fertilizantes*. *Águas Subterrâneas*, 2017. <https://doi.org/10.14295/ras.v10..28760>.

VIERO, A.P.; ROISENBERG, A.; FREITAS, M.A.; REGINATO, P.A.R. O Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. In: **Contribuições à Geologia do rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Geologia. Porto Alegre. Compasso Lutr-Cultural, 504p, 2021.

ZHAI, Y.; CAO, X.; JIANG, Y.; SUN, K.; HU, L.; TENG, Y.; WANG, J.; LI, J. “*Further Discussion on the influence radius of a Pumping Werll: a parameter with little scientific and practical sigficance that can easily be Misleading*. *Water*, 13, 2050, 2021.