

REVISÃO SISTEMÁTICA: CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO APLICADA A ESTIMATIVA DA RECARGA DE AQUÍFEROS

PAOLA RIVAROLI VIEIRA¹; SAMANTA TOLENTINO CECCONELLO²; RAYANE RIBEIRO VIEIRA³; ISADORA DE CASTRO MAYER⁴; LUANA NUNES CENTENO⁵

^{1 2 3 4 5}O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense – paolarivaroli@gmail.com¹; samantacecconello@ifsul.edu.br²; rayaneribeirvieira@gmail.com³; isadoracmayer@gmail.com⁴; luanacenteno@ifsul.edu.br⁵

1. INTRODUÇÃO

A condutividade hidráulica do solo saturado, também conhecida como Ksat, desempenha um papel de extrema importância na gestão e no entendimento da recarga de aquíferos (UHLEMANN et al., 2022). Este atributo é fundamental porque está diretamente relacionado à capacidade do solo de permitir a infiltração de água, que é essencial para a recarga de aquíferos subterrâneos (GLASS et al., 2020).

A Ksat, em sua essência, representa a velocidade com que a água penetra no solo quando este está completamente saturado, mantendo um estado constante (ZHUANG et al., 2022). Ela reflete a resistência que a matriz do solo oferece à passagem da água (BARBOSA et al., 2021). Portanto, a determinação precisa da Ksat é fundamental para avaliar a eficiência da recarga de aquíferos e, por conseguinte, a disponibilidade de água subterrânea (BECKER et al., 2018).

A relação entre a Ksat e a recarga de aquíferos é de suma importância em várias aplicações práticas. Portanto, ter valores representativos de Ksat e compreender sua distribuição espacial são fundamentais para a gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas, sistemas de irrigação, conservação da água, controle de poluentes e práticas agrícolas (SUTTON; PRICE, 2020). Sendo assim, a estimativa da Ksat em áreas específicas torna-se uma ferramenta valiosa para tomar decisões informadas nessas áreas, visando a sustentabilidade e a eficiência na recarga de aquíferos (BRITO et al., 2021).

Dada a importância crítica da Ksat na recarga de aquíferos, a análise sistemática traz várias vantagens, pois ajuda a resumir, analisar e sintetizar o conhecimento existente sobre um tópico específico de forma estruturada e objetiva (HUANG et al., 2019). Auxiliando assim, a consolidar o entendimento atual e a identificar áreas em que mais investigações são necessárias ou os maiores avanços e aplicações sobre um determinado tema (OH; LEE, 2020). Diante isto, este estudo tem como o objetivo realizar uma análise sistêmica sobre a condutividade hidráulica de solo saturado aplicada à recarga de aquíferos.

2. METODOLOGIA

Para elaboração desse estudo admitiu-se a primeira etapa do método Proknow-C de ENSSLIN et al. (2010), definidas de seleção de portfólio bibliográfico, a qual deu-se pela busca de material científico na base de dados da Web of Science (WoS). A estruturação se fez pela definição de palavras-chave relacionadas ao tema, obtendo-se artigos científicos do período de 2018 até 2022. A etapa posterior objetivou a seleção através da leitura dos artigos pré-selecionados. Com isso, foi feita a exclusão dos artigos com títulos fora do tema. E assim, realizou-se a leitura dos resumos dos artigos selecionados. Os artigos, cujos resumos não tratavam sobre condutividade hidráulica de solo saturado aplicada a recarga de aquíferos, foram excluídos da análise. Por fim, realizou-se a leitura dos artigos selecionados

na íntegra buscando identificar o que está sendo publicado atualmente sobre o tema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na etapa de busca dos artigos que tratavam do tema em questão, obteve-se 154 artigos científicos publicados em periódicos internacionais, os quais foram exportados para planilhas eletrônicas. Em seguida, fez-se uma leitura dos títulos destes estudos e observou-se que apenas 21 apresentavam títulos alinhados com o interesse da pesquisa, ou seja, que tratavam da condutividade hidráulica de solo saturado aplicada a recarga de aquíferos. Destes, 16 possuíam resumos alinhados à pesquisa, porém apenas 11 destes estavam de fato conectados com o objetivo do estudo.

Nesse contexto, destaca-se o estudo onde o modelo SWAT, implementado por NEGEWO e SARMA (2021), foi empregado para avaliar a recarga de um aquífero subterrâneo na Etiópia. Entretanto, por meio da análise de sensibilidade anterior a calibração do modelo, tornou-se evidente que a condutividade hidráulica do solo saturado é um dos principais fatores que afetam o fluxo de água. Em consonância com essas descobertas, o estudo conduzido por BAKHEET, SEFELNASR e SABER (2020), também utilizou modelos hidrológicos para examinar a recarga do aquífero, tendo como principal parâmetro a condutividade hidráulica saturada do solo na região de Wadi El-Assiuti, no Egito.

Saindo dos modelos, CLARK, DEFRIES e KRISHNASWAMY (2021), conduziram uma análise sobre o impacto do aumento na cobertura florestal na Índia em relação à infiltração e recarga das águas subterrâneas. Para essa investigação, eles coletaram medidas in situ de 118 amostras de condutividade hidráulica do solo saturado e concluíram que a cobertura florestal intermediária possui potencial para aumentar a recarga, enquanto o cultivo de arroz reduz a infiltração. Abordando uma temática semelhante relacionada ao uso do solo, MAHAPATRA et al. (2020), investigaram o processo de infiltração em uma região tropical subúmida da Índia. O estudo considerou sete modelos hidrológicos e examinou como o uso do solo influencia a Ksat e, por conseguinte, a recarga de aquíferos.

Ainda no contexto do uso do solo, porém, em relação à área de recuperação de minas, SUTTON e PRICE (2020), conduziram uma análise na qual examinaram as camadas de materiais de resíduos de minas cobertas por solo. E observaram mudanças significativas nas propriedades hidráulicas do solo. Que incluiu um aumento na Ksat. Essa mudança, por sua vez, resultou em um aumento de 64% na recarga de água subterrânea devido ao enfraquecimento da barreira capilar entre o solo de cobertura e os materiais de resíduos. Em um estudo subsequente, UHLEMANN et al. (2022), além de utilizar amostras "in situ" da condutividade hidráulica saturada (Ksat) para mitigar o estresse hídrico e assegurar o fornecimento sustentável de recursos hídricos subterrâneos, empregaram imagens geofísicas em 3D. Eles constataram que a variabilidade nas propriedades hidráulicas possui um impacto direto nas taxas potenciais de infiltração. E isso não apenas permite a previsão das taxas de infiltração, mas também oferece meios para otimizar a infraestrutura de águas subterrâneas.

Outra pesquisa inovadora foi realizada por BARBOSA et al. (2021), na qual avaliaram o uso de uma tecnologia denominada "cosmic-ray neutron sensing" (CRNS) para medir a Ksat em uma escala de campo. Isso foi feito com o objetivo de estimar as taxas de recarga de águas subterrâneas em uma base diária. Os pesquisadores compararam essas estimativas com medições das variações no lençol freático e os resultados demonstraram que o CRNS foi capaz de fornecer

estimativas confiáveis das taxas de recarga de águas, superando as técnicas tradicionais de medição em pontos específicos.

Assim como NEGEWO e SARMA (2021) e BAKHEET, SEFELNASR e SABER (2020), tinham em seus modelos a Ksat como principal parâmetro QI e ZHAN (2022), concentraram-se na condutividade hidráulica de solo saturado como um dos principais parâmetros a ser incorporado no modelo numérico de elementos finitos utilizando o “COMSOL Multiphysics” para avaliar o controle das propriedades do solo e da heterogeneidade subsuperficial na recarga de poços de zona vadosa.

Ademais, foram realizados diversos estudos de simulação buscando compreender a Ksat aplicada a recarga de aquífero: ZHUANG et al. (2022), simularam um expoente que descreve como a diminuição da Ksat afeta o balanço hídrico subterrâneo. Em outras palavras, analisaram como a taxa de decaimento da Ksat influencia a quantidade de água que entra, sai ou é armazenada no aquífero. Já GLASS et al. (2020), aplicaram uma abordagem na qual reduziram a Ksat ao longo do tempo usando uma função exponencial, simulando assim um processo de entupimento do solo. Ao final desses experimentos, foi observada uma redução de 60% na Ksat da camada superior do solo devido ao entupimento. Por fim, traz-se o estudo de BELIAEV et al. (2018), pois eles enfatizam, que a relação entre a condutividade hidráulica e a resposta do nível das águas subterrâneas às mudanças nas condições de contorno não é tão simples como geralmente se assume. A Ksat não é o único determinante da entrada de água. Por exemplo, em situações de inundação inicial, solos com menor Ksat podem ter uma resposta mais rápida na elevação do nível freático em comparação com solos de maior Ksat. Isso demonstra que a permeabilidade do meio poroso desempenha um papel complexo na resposta das águas subterrâneas às mudanças nas condições ambientais, necessitando assim de estudos com diferentes interações ambientais.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que, foi possível obter uma visão abrangente sobre a importância da condutividade hidráulica do solo saturado, na avaliação da recarga de aquíferos. Os estudos também destacaram a necessidade de considerar fatores ambientais, como a cobertura florestal, e a aplicação de tecnologias avançadas, para entender e prever a recarga de aquíferos, além do emprego de simulações de decaimento da Ksat ao longo do tempo. Destacando, por fim, a importância de abordagens multidisciplinares na compreensão desse fenômeno.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKHEET, Adel; SEFELNASR, Ahmed; SABER, Mohamed. Rain Transmission Losses Assessment in Arid Environment, Egypt: numerical and experimental study. **Iop Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S.L.], v. 975, n. 1, p. 012011, 1 dez. 2020.

BARBOSA, Luís Romero; et al. Dynamic groundwater recharge simulations based on cosmic-ray neutron sensing in a tropical wet experimental basin. **Vadose Zone Journal**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 1-15, 29 jun. 2021.

BECKER, R.; GEBREMICHAEL, M.; MÄRKER, M. Impact of soil surface and subsurface properties on soil saturated hydraulic conductivity in the semi-arid Walnut Gulch Experimental Watershed, Arizona, USA. **Geoderma**, [S.L.], v. 322, p. 112-120, jul. 2018.

BELIAEV, Alexey; KRICHEVETS, Gennady. Qualitative Effects of Hydraulic Conductivity Distribution on Groundwater Flow in Heterogeneous Soils. **Fluids**, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 102, 5 dez. 2018.

BRITO, Alderlene Pimentel de *et al.* Análise comparativa entre métodos de estimativa de recarga para uma microbacia na Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus - AM. **Geologia Usp**. Série Científica, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 59-73, 4 out. 2021.

CLARK, Benjamin; DEFRIES, Ruth; KRISHNASWAMY, Jagdish. India's Commitments to Increase Tree and Forest Cover: consequences for water supply and agriculture production within the central indian highlands. **Water**, [S.L.], v. 13, n. 7, p. 959, 31 mar. 2021.

ENSSLIN, L *et al.* **ProKnow-C**: Processo de análise sistêmica. Brasil: Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI, 2010.

GLASS, Jana; HMÖNEK, Jiří; STEFAN, Catalin. Scaling factors in HYDRUS to simulate a reduction in hydraulic conductivity during infiltration from recharge wells and infiltration basins. **Vadose Zone Journal**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 1-19, jan. 2020.

HUANG, Cui *et al.* Evolution of topics in education research: a systematic review using bibliometric analysis. **Educational Review**, [S.L.], v. 72, n. 3, p. 281-297, 26 fev. 2019.

MAHAPATRA, Smaranika; *et al.* Assessing Variability of Infiltration Characteristics and Reliability of Infiltration Models in a Tropical Sub-humid Region of India. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 1-15, 30 jan. 2020.

NEGEWO, Tufa Feyissa; SARMA, Arup Kumar (2021). Estimation of water yield under baseline and future climate change scenarios in Genale watershed, Genale Dawa River basin, Ethiopia, using SWAT model. **Journal of Hydrologic Engineering**, 26(3), 05020051.

OH, Namkyung; LEE, Junghyae. Changing landscape of emergency management research: a systematic review with bibliometric analysis. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [S.L.], v. 49, p. 101658, out. 2020.

QI, Cuiting; ZHAN, Hongbin. Soil Property and Subsurface Heterogeneity Control on Groundwater Recharge of Vadose Zone Injection Wells. **Journal of Hydrologic Engineering**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 1-14, mar. 2022.

SUTTON, Owen F.; PRICE, Jonathan S. Soil moisture dynamics modelling of a reclaimed upland in the early post-construction period. **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 718, p. 134628, maio 2020.

aquifer recharge basins. **Frontiers In Earth Science**, [S.L.], v. 10, p. 21-35, 24 ago. 2022.

ZHUANG, Chao; *et al.* Effects of exponentially decaying aquitard hydraulic conductivity on well hydraulics and fractions of groundwater withdrawal in a leaky aquifer system. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 607, p. 127439, abr. 2022.