PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A EFICÁCIA DO USO DE BARRAGINHAS PARA A RECARGA DE AQUÍFEROS, INCREMENTANDO SUA RESILIÊNCIA À MUDANÇAS CLIMÁTICAS, UMA REVISÃO

Parameters influencing the effectiveness of barraginhas in aquifer recharge, enhancing their resilience to climate change: a review

Thiago Paim de Almeida Lana
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | lana.civil@gmail.com

Rogério Cabral de Azevedo
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | rogeriocabral@cefetmg.br

Hersília de Andrade e Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | *hsantos@cefetmg.br*

RESUMO

Em 2015 a ONU aprovou a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, entre as ODS estipuladas destacam-se os objetivos 6 e 13, relacionados com a oferta de água e ações contra a mudança climática. A disponibilidade limitada de água de qualidade já é uma realidade atual. Para enfrentar esse desafio, é essencial a implementação de técnicas resilientes às mudanças climáticas. Destacam-se as Soluções Baseadas na Natureza (SbN), como a implantação de barraginhas. Este artigo, por uma revisão bibliográfica narrativa, buscou na identificar os principais parâmetros que podem influenciar na taxa de infiltração destas bacias. Foi possível observar variações de até 168% em alterações de temperatura (0º a 38º), a colmatação por falta de manutenção pode a afetar em até 700% e a presença de bolhas na zona não saturada pode a afetar em até 600%. Conclui-se que a colmatação é o fator preponderante na queda da taxa de infiltração.

Palavras-chave: Barraginhas, Mudanças Climáticas, Recarga, Infiltração, Soluções Baseadas na Natureza

ABSTRACT

In 2015, the United Nations approved the 2030 Agenda for Sustainable Development, highlighting Sustainable Development Goals (SDGs) 6 and 13, which focus on water availability and climate action. The limited availability of high-quality water is already a current reality. To address this challenge, the implementation of climate-resilient techniques is essential. Among these, Nature-Based Solutions (NBS) stand out, such as the deployment of infiltration basins (barraginhas). This article, through a narrative literature review, aimed to identify key parameters that may influence the infiltration rate of these basins. Variations of up to 168% were observed due to temperature changes (0°C to 38°C). Sedimentation due to lack of maintenance can affect the infiltration rate by up to 700%, while the presence of air bubbles in the unsaturated zone can impact it by up to 600%. The study concludes that sedimentation is the predominant factor in the decline of infiltration rates.

Keywords: Micro-Dams, Climate Change, Groundwater Recharge, Infiltration, Nature-Based Solutions

1 INTRODUÇÃO

Em 25 de setembro de 2015, a Assembleia Geral da ONU, representada por 193 líderes mundiais, aprovou a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Esta agenda é um plano que visa alcançar a prosperidade de forma sustentável, sendo composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) com 169 metas associadas, que visam, entre outros, combater a desigualdade e injustiça, conter as mudanças climáticas e proteger o planeta da degradação. Entre as ODS firmadas destacam-se o objetivo 6, assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos e o objetivo 13, tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.

Segundo De Gouvello (2010) a economia verde está diretamente ligada às mudanças climáticas, pois preconiza o baixo carbono, a eficiência energética e a energia renovável, além disso seus conceitos estão bem elaborados em termos de capital natural, redução de pobreza, baixo carbono etc. No que tange o uso de tecnologias sustentáveis com vistas para a transição para um modelo econômico mais sustentável, Ferreira e Soares (2018) definem Tecnologia Verde como o uso racional de recursos naturais, água e energia, com valorização da biodiversidade na redução, reaproveitamento ou mitigação das emissões de carbono. É necessário que sejam adotadas medidas capazes de conservar nossos recursos naturais, não apenas com o foco em mitigar sua extinção, mas também de modo a reduzir os impactos gerados pela exploração desenfreada e predatória.

A escassez hídrica representa um dos desafios mais urgentes e críticos para as sociedades contemporâneas no que tange ao desenvolvimento sustentável. A disponibilidade limitada de água impacta diretamente a segurança alimentar, a saúde pública e o desenvolvimento socioeconômico. Para enfrentar esse desafio, é essencial a implementação de técnicas que promovam a gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos aumentando resiliência da sociedade aos impactos das mudanças climáticas.

Dentre as alternativas possíveis, destaca-se a implantação de barraginhas, essencialmente pequenas bacias de infiltração implantadas em zonas rurais. Esta tecnologia, pode ser classificada como uma Solução baseada na Natureza (SbN), por utilizar processos naturais tais como a infiltração e recarga de aquíferos, além disso, é uma técnica resiliente às mudanças climáticas, ecoeficiente e de baixo carbono, por promover a infiltração de água no solo a partir do mínimo impacto no meio ambiente, em essência, a escavação das bacias (Fraga; Sayago, 2020).

Desenvolvido e aprimorado no Brasil em 1991, este sistema consiste na construção de pequenas bacias de captação de água da chuva, estrategicamente distribuídas em áreas rurais. As barraginhas têm o objetivo de captar e armazenar a água das chuvas, permitindo sua infiltração no solo e a recarga dos aquíferos, além de controlar a erosão e melhorar a qualidade do solo (Gazeta do Cerrado, 2017).

Neste artigo, iremos explorar os parâmetros que podem influenciar na sua eficiência em infiltrar água no meio a que estão inseridas. Ao compreender e disseminar essas práticas, podemos contribuir para a construção de um futuro mais sustentável e resiliente frente à escassez hídrica.

2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste artigo, realizou-se uma revisão bibliográfica narrativa optando por não utilizar uma metodologia de revisão sistemática da literatura. O uso de uma abordagem não sistematizada proporcionou a uma abordagem interpretativa dos assuntos abordados, visto a multidisciplinaridade do tema abordado.

Definiu-se como objetivos da revisão buscar na literatura acervo de artigos sobre a aplicação de pequenas bacias de infiltração com objetivos de aumentar a recarga hídrica. Para tanto, realizou-se uma busca nas bases científicas disponíveis pelas palavras-chaves bacias de infiltração, eficácia, taxa de infiltração, condutividade hidráulica no *Google Scholar*. Não foi considerada temporalidade nas pesquisas realizadas, visto a atualidade do tema. Selecionou-se para leitura os artigos que trataram sobre parâmetros que influenciam na taxa de infiltração, foram descartados os artigos com dados empíricos.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados identificados por meio da revisão bibliográfica narrativa.

3.1 BACIAS DE INFILTRAÇÃO

As bacias de infiltração, exemplificada pela Figura 1, são estruturas projetadas para promover a recarga de aquíferos através da retenção e infiltração de águas pluviais em solos permeáveis. São reservatórios temporários que coletam o escoamento superficial das chuvas, permitindo que a água infiltre lentamente no solo, em um processo que promove a recarga dos aquíferos. No entanto, para garantir a eficácia e a segurança das bacias de infiltração, é fundamental que estas sejam projetadas, construídas e mantidas adequadamente (Barros, 2018).

A medição constante das taxas de infiltração de forma precisa é um desafio, uma vez que a mesma define a eficiência do sistema e depende da variabilidade dos solos, da compactação e do acúmulo de sedimentos, fatores que variam ao longo do tempo. A falta de manutenção é um dos principais fatores que comprometem sua funcionalidade. A acumulação de sedimentos pode entupir os poros da bacia, provocando colmatação e reduzindo sua capacidade de infiltração.

Figura 1 - Escavação de uma bacia de infiltração circular



Fonte: o autor (2022)

3.2 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA EFICÁCIA DAS BARRAGINHAS

O fenômeno da infiltração de água é um processo que se dá pela invasão da água nos poros do solo, substituindo o volume ocupado pelo ar e está sujeito a diversos fatores, tais como, as características do solo, o uso atual da terra, sua cobertura, a saturação do solo, temperatura e outros (Helles; Mogheir, 2022).

Na tentativa de caracterizar os regimes de escoamento e infiltração de uma bacia de infiltração foram desenvolvidos diversos métodos empíricos, entre eles citamos Green-Ampt, Kostiakov, Horton, Philip, Holtan (Helles; Mogheir, 2022). Dentre estes, destaca-se o de Beganskas e Fisher (2017), que utiliza a avaliação in situ (no local) para, pelas medições da altura da lâmina d'água em determinados intervalos de tempo, avaliar as taxas de infiltração. Esta tentativa consistiu em aplicar a Lei da Darcy em um regime de escoamento laminar, expressa pela Equação 1, e utilizam a taxa de fluxo volumétrico perpendicular para calcular a vazão de infiltração do solo, expresso pela Equação 2, onde V é a velocidade de descarga em (cm/s ou m/s), K é a constante de permeabilidade (cm/s ou m/s), i é o gradiente hidráulico, Q expressa a vazão, A expressa a área perpendicular a este fluxo.

$$V = K \times i \tag{1}$$

$$Q = A \,.\, V \tag{2}$$

A constante de permeabilidade não é exclusivamente definida pelo solo, visto que há correlação entre a permeabilidade do solo, a densidade do fluído, a gravidade e a viscosidade dinâmica do fluído, sendo influenciada diretamente pela temperatura, sua variação chega a 168% em uma variação de temperatura de 0 a 38º C (Emerson; Traver, 2008).

3.3 IMPACTO DO PROJETO E DIMENSÕES DA BARRAGINHA

Quanto maior a área superficial da bacia, maior a sua capacidade de armazenamento e infiltração, devida a íntima correlação disposta na Equação 2. É importante perceber que uma maior área de contato entre a

interface solo/água ou filtro/solo permite uma maior dispersão dos ultrafinos que podem ocasionar a colmatação da estrutura porosa da bacia de infiltração.

A colmatação do solo, dada pela deposição de partículas finas na superfície das Bacias de Infiltração, influenciam diretamente no funcionamento eficiente das Bacias de Infiltração (Lucas *et al.,* 2015). Este problema é maior quando esta bacia recebe água pluvial decorrente de escoamento superficial de solo, pois ocorre carreamento de matéria orgânica e finos em excesso (El Mrabet; El Mezouary; El Mansouri, 2021). Entretanto, este fenômeno pode ser reduzido com a disposição de elementos drenantes com fins de retenção de finos e folhas (Moura; Barraud; Baptista, 2009)

Quando as bacias de infiltração são dotadas de filtros, a combinação de silte e cascalho possui desempenho pior que a combinação de silte e areia. O entupimento dos poros na interface entre o filtro e o solo adjacente, ocorre de forma mais lenta caso haja a presença constante de uma lâmina de água ao fundo das bacias de infiltração do que em regimes de rápido enchimento e esvaziamento por infiltração. Isto se dá pela presença de um tampão de sedimentos que protege a interface entre o filtro e solo (El Mrabet; El Mezouary; El Mansouri, 2021)

3.4 O PAPEL DA MANUTENÇÃO NA EFICÁCIA DAS BARRAGINHAS

O desempenho das bacias de infiltração condições de fluxo normal e de entupimento indicam uma variação de 700% (Masetti *et al.,* 2016), demonstrando que a manutenção é essencial para o bom funcionamento do sistema. Deste modo, Bacias de Infiltração implantadas em solos com alta permeabilidade intrínseca, onde ocorrem rápidos regimes de enchimento e esvaziamento, ocasionados por chuvas torrenciais, necessitam de manutenção periódica com maior frequência para a manutenção da eficiência do elemento.

Não foi possível precisar um período mínimo de manutenção para bacias de infiltração, o que pode ser explorado futuramente.

3.5 INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO NA INFILTRAÇÃO

A taxa de infiltração também sofre influência do tipo de solo. Resultados experimentais demonstram que as bacias de infiltração construídas em solos silto arenosos possuem uma taxa de infiltração inicial menor devido á umidade inicial do solo, além disso, a presença de bolhas na porosidade do solo se traduz em uma barreira de pressão para a percolação da água, criando entraves para a manutenção da taxa de infiltração (El Mrabet; El Mezouary; El Mansouri, 2021).

A presença de bolhas de ar preso na zona não saturada é um fator significante na redução da taxa de infiltração e consequentemente na diminuição da contribuição para a recarga dos aquíferos, logo, bacias secas possuem desempenho menor do que bacias de infiltração que uma lâmina d'agua permanente até a próxima chuva. Estudos demonstram que esta redução pode chegar a 600% (El Mrabet; El Mezouary; El Mansouri, 2021). Logo, bacias secas possuem taxas de infiltração reduzidas ao serem solicitadas, quando comparadas a bacias que permanecem com lâmina de água durante o período seco.

4 CONCLUSÃO

As bacias de infiltração podem ser uma importante opção sustentável para a recarga de aquíferos. Sua implementação contribui com o aumento das taxas de infiltração e com o aumento da disponibilidade de água subterrânea. A implantação de barraginhas atende a ODS 6 por ajudarem na recarga de aquíferos, aumentando a disponibilidade hídrica e garantindo o acesso à água, e a ODS 13 por promover a infiltração, reduzir a erosão e escoamento superficial, minimizando os efeitos climáticos extremos.

Sua manutenção regular é essencial para evitar entupimentos e garantir a eficiência do sistema, pois a colmatação reduz em até 700% as taxas de infiltração. Filtros inferiores compostos de silte e areia têm desempenho superior aos de silte e cascalho (Masetti *et al.,* 2016). A presença de bolhas de ar na zona não saturada pode reduzir a taxa de infiltração em até 600%. Podemos inferir que bacias secas têm desempenho inferior a bacias que permanecem com uma lâmina de água durante todo o ano seco. Solos silto arenosos apresentam taxa de infiltração iniciais menores quanto comparados a outros solos (El Mrabet; El Mezouary; El Mansouri, 2021).

A dimensão da área superficial da bacia de infiltração é crucial para o dimensionamento e aferição de durabilidade, ao aumentar a capacidade de armazenamento e infiltração, também diminui a possibilidade de entupimento devido à dispersão das partículas ultrafinas provenientes do escoamento superficial *(Lucas et*

al., 2015). Variações de temperatura entre 0 e 38º podem ocasionar em acréscimos de até 168% da vazão de infiltração, sugere-se que deverá existir variação no desempenho das bacias de infiltração devida à sazonalidade (Emerson; Traver, 2008).

A revisão bibliográfica narrativa não segue um protocolo rigoroso, podendo introduzir viés na seleção de estudos e afetar a representatividade dos resultados. Além disso, sua menor reprodutibilidade dificulta a validação dos achados por outros pesquisadores. Como tema para pesquisas futuras, sugere-se a realização de uma revisão sistematizada sobre o assunto.

5 AGRADECIMENTOS

Agradeço ao PPGEC e ao CEFET-MG pelo suporte acadêmico e institucional, bem como à CAPES pelo incentivo à pesquisa e pelo financiamento, fundamentais para a realização deste artigo.

REFERÊNCIAS

BARROS, L. C. Barraginhas: uma caixa d'água natural. *[S. l.]*, 2018. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/491298. Acesso em: 10 abr. 2025.

BEGANSKAS, S.; FISHER, A. T. Coupling distributed stormwater collection and managed aquifer recharge: Field application and implications. **Journal of Environmental Management,** *[S. l.]*, v. 200, p. 366–379, 2017. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.05.058.

GOUVELLO, C. Brazil low carbon country case study (English). Washington, DC. Disponível em: https://documents1.worldbank.org/curated/en/651831468021254288/pdf/773120ESMAP0NW00Box377296B00PUBLIC0.pdf. Acesso em: 12 fev. 2025.

MRABET, E. L. *et al,.* A study of water infiltration basin and clogging using column experiments. E3S WEB OF CONFERENCES, *[S. l.]*, v. 314, p. 04005, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202131404005.

EMERSON, C. H.; TRAVER, R. G. Multiyear and Seasonal Variation of Infiltration from Storm-Water Best Management Practices. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, *[S. l.]*, v. 134, n. 5, p. 598–605, 2008. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:5(598).

FERREIRA, B.; SOARES, A. O uso de tecnologias sustentáveis a favor do meio ambiente no Brasil. *[S. l.]*, 2018. Disponível em: https://repositorio.uninter.com/handle/1/279. Acesso em: 12 fev. 2025.

FRAGA, R. G.; SAYAGO, D. A. V. Soluções baseadas na Natureza: uma revisão sobre o conceito. *[S. l.]*, 2020.

GAZETA DO CERRADO. Para combater seca, 200 barraginhas começam a ser construídas em São Valério | Gazeta do Cerrado. 2017. Disponível em: https://gazetadocerrado.com.br/para-combater-seca-200-barraginhas-comecam-a-ser-construidas-em-sao-valerio/. Acesso em: 16 dez. 2024.

HELLES, Z.; MOGHEIR, Y. Assessment of Stormwater Infiltration Basins Models Developed in Gaza Strip. **Journal of Engineering Research and Technology**, *[S. l.]*, v. 9, n. 2, 2022. DOI: 10.33976/JERT.9.2/2022/3.

LUCAS, A. H.; *et al.,* Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, *[S. l.]*, v. 20, n. 1, p. 17–28, 2015. DOI: 10.1590/S1413-41522015020000079923.

MASETTI, M. *et al.,* Impact of a Storm-Water Infiltration Basin on the Recharge Dynamics in a Highly Permeable Aquifer. **Water Resources Management**, *[S. l.]*, v. 30, n. 1, p. 149–165, 2016. DOI: 10.1007/S11269-015-1151-3.

MOURA, P. M.; BARRAUD, S.; BAPTISTA, M. O funcionamento dos sistemas de infiltração de águas pluviais urbanas. *[S. l.]*, 2009. Acesso em: 22 fev. 2025.