

Desenvolvimento e patente de equipamento para medição de vazão de água em corpos de prova com fissura e validação por meio de metodologia de ensaio

Pedro Henrique Tavares Geraldino¹; 0009-0002-6281-8986
Dionatan Amaral Rodrigues¹; 0000-0002-5584-9277
Cidirlei de Paula Silva¹; 0009-0009-3662-7677
Cirlene Fourquet Bandeira¹; 0000-0001-7034-2477
Roberto de Oliveira Magnago ¹²; 0000-0003-0910-1572

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.

2 – UERJ-FAT, Universidade do estado do Rio de Janeiro – Faculdade de tecnologia, Resende, RJ.

pedrohgeraldino@gmail.com (contato principal)

Resumo: A crescente demanda por soluções duráveis e sustentáveis na engenharia civil tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias voltadas à mitigação de patologias recorrentes do concreto, como a fissuração e a alta permeabilidade. Diante desse cenário, este trabalho teve como objetivo aprimorar uma metodologia de ensaio já existente para avaliação da autocicatrização em concretos com adições cristalizantes, por meio da aplicação de um equipamento inédito, projetado e desenvolvido durante a pesquisa, para medição precisa da vazão de água em corpos de prova com fissuras. O dispositivo, patenteado sob o número BR 10 2024 009216-7, proporcionou ganhos significativos em precisão, reprodutibilidade e segurança na execução dos ensaios, demonstrando-se uma solução tecnológica viável tanto para fins acadêmicos quanto para aplicações em controle de qualidade. Os corpos de prova foram moldados, fissurados e submetidos a testes mecânicos e de vazão, permitindo a observação da redução progressiva do fluxo de água como indicativo da capacidade de autocicatrização promovida pelo aditivo cristalizante. Os resultados confirmam a eficácia da técnica utilizada e reforçam a importância da inovação proposta como ferramenta de apoio à avaliação da durabilidade de materiais cimentícios, contribuindo para avanços científicos e práticos no setor da construção civil.

Palavras-chave: Concreto autocicatrizante; aditivo cristalizante; autocicatrização; fissuração; durabilidade do concreto; equipamento de ensaio.

INTRODUÇÃO

O controle da qualidade do concreto é essencial para garantir a segurança e durabilidade das estruturas, visto que falhas, como a fissuração, comprometem sua resistência e favorecem a penetração de agentes agressivos. A fissuração pode ocorrer por retração na cura, variações térmicas ou cargas externas, afetando estética, integridade e desempenho do material (GAMBALE; POSSAN; HASPARYK, 2023).

Soluções convencionais, como injeção de resinas, preenchimento com argamassa, selagem e vedação, são paliativas e pouco duráveis (DIONÍSIO; QUARESMA; FLORIAN, 2023).

Nesse contexto, o uso de aditivos cristalizantes destaca-se como alternativa eficaz, pois penetram nas fissuras e formam cristais que bloqueiam a entrada de água e agentes agressivos, aumentando resistência e durabilidade do concreto. Compostos como silicato de sódio (Na_2SiO_3) e cloreto de cálcio (CaCl_2) podem ser incorporados à mistura ou aplicados superficialmente, sendo sua eficácia dependente da dosagem, do concreto e das condições ambientais. Além de melhorar o desempenho estrutural, esses aditivos reduzem custos de manutenção em longo prazo (GAMBALE; POSSAN; HASPARYK, 2023).

A autocicatrização é outra propriedade relevante do concreto, pois permite o reparo natural de fissuras pela formação de cristais em contato com a água, restaurando a continuidade estrutural e diminuindo a necessidade de reparos, o que contribui para a sustentabilidade (KAEFER, 1998; GAMBALE; POSSAN; HASPARYK, 2023).

Diante disso, surgiu a demanda de uma empresa especializada em patologia do concreto por um equipamento capaz de medir, com precisão, a passagem de água em corpos de prova fissurados, devido à ausência de dispositivos adequados no mercado nacional. Essa necessidade motivou o desenvolvimento e patente de um equipamento inédito, associado ao aprimoramento de metodologia existente, estabelecendo um elo entre pesquisa acadêmica e setor construtivo.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um equipamento para medir a vazão de água em fissuras de corpos de prova, a fim de avaliar a autocicatrização de concretos com aditivos cristalizantes e, assim, aumentar a durabilidade e reduzir a fissuração. Especificamente, busca-se: 1) realizar revisão bibliográfica sobre concreto, aditivos, autocicatrização e ensaios; 2) selecionar aditivo conforme ABNT NBR 11768; 3) dosar e preparar corpos de

prova segundo ABNT NBR 12655; 4) realizar ensaios de compressão e ruptura diametral; 5) aplicar testes de vazão para avaliar autocicatrização; e 6) pesquisar patentes relacionadas a equipamentos de ensaio.

MÉTODOS

O aditivo cristalizante utilizado neste estudo é à base de sílica (Na_2SiO_3), classificado como aditivo integral de impermeabilização por cristalização, conforme requisitos da ABNT NBR 11768. Entre os tipos disponíveis no mercado, os aditivos de sílica, que reagem com a cal livre e formam cristais insolúveis, mostraram melhor desempenho que os à base de cloreto de cálcio (CaCl_2), que apresentam maior risco de reatividade química e corrosividade. Ensaios preliminares confirmaram a superioridade da sílica na redução da permeabilidade e na promoção da autocicatrização, sendo a escolha final pautada em critérios técnicos e econômicos.

A preparação dos corpos de prova seguiu normas da ABNT, visando assegurar resultados confiáveis. Foram utilizados cimento Portland CPIII, agregados, água e o aditivo cristalizante. A dosagem buscou resistência característica de 28–32 MPa aos 28 dias (NBR 5739), com proporções de 350 kg/m³ de cimento, 700 kg/m³ de agregado miúdo, 1050 kg/m³ de agregado graúdo e 175 L/m³ de água. Os moldes foram confeccionados em tubos de PVC (100 x 250 mm) para facilitar o ensaio de compressão diametral. A preparação incluiu secagem dos materiais (NBR 6467), mistura em betoneira conforme NBR 12655, moldagem com vibração, cura inicial de 24h (NBR 5738) e posterior imersão em água a 23 °C por 28 dias (NBR 9479).

Os corpos de prova foram retirados nos intervalos de 7, 15 e 28 dias para ensaios de compressão, fissuração e permeabilidade, comparando amostras com e sem aditivo. Nos dois primeiros estágios, foram coletados dados preliminares de resistência e permeabilidade; no estágio final, avaliou-se a eficácia geral do cristalizante na recuperação da integridade do concreto.

Os ensaios de compressão (NBR 5739) foram realizados em máquina calibrada SOLOTEST 200f, registrando a carga máxima até ruptura ou até fissuras de 5 mm. Já os ensaios de tração por compressão diametral (NBR 7222) avaliaram a resistência à

fissuração, monitorando carga e deslocamento até a ruptura, com controle da abertura máxima de fissuras em 5 mm.

Para os ensaios de autocicatrização, desenvolveu-se um dispositivo específico de medição de vazão de água em corpos de prova fissurados. O equipamento possui estrutura em “L”, reservatório de fluxo gravitacional controlado, câmaras de ensaio individuais e sistema de coleta da água permeada. Ele permite testar até doze corpos de prova simultaneamente, garantindo precisão e reprodutibilidade. A água que atravessa as fissuras é coletada em béqueres e quantificada em intervalos controlados, com auxílio de cronômetro digital.

Esse sistema possibilitou mensurar a vazão ao longo do tempo, fornecendo dados precisos sobre a eficácia dos aditivos cristalizantes em reduzir a permeabilidade e promover a autocicatrização do concreto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

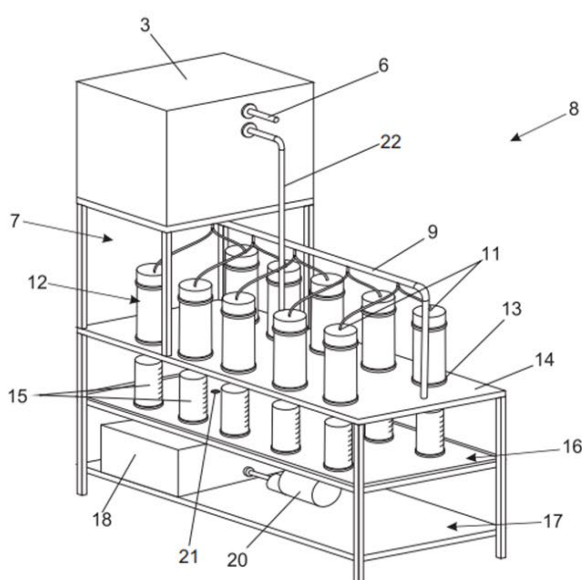
O equipamento desenvolvido para medição e monitoramento da vazão de água em corpos de prova rompidos foi projetado para aplicações laboratoriais, priorizando precisão, flexibilidade e segurança. Registrado no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) sob o número BR 10 2024 009216-7, o dispositivo demonstra caráter inédito e potencial de uso em contextos acadêmicos e industriais.

Sua estrutura é composta por três módulos principais: alimentação, medição e descarte/recirculação. A inovação está na integração desses módulos em um sistema portátil, de baixo custo e fácil operação, com válvulas de controle, conectores rápidos, suportes em polímero e pontos de calibração que garantem a repetibilidade dos ensaios.

O dispositivo foi aplicado em diferentes ensaios hidráulicos, adaptando-se rapidamente às condições geométricas e de escoamento. Os resultados mostraram concordância com modelos teóricos, validando o desempenho do equipamento e a metodologia experimental. Além disso, o sistema reduziu o tempo de montagem, facilitou a manutenção e aumentou a segurança operacional, destacando-se ainda pela portabilidade e potencial de uso em atividades didáticas e de extensão tecnológica.



Figura 1 - Representação esquemática do equipamento patentado



1. Suporte e base para reservatório de água
2. Base com quatro apoios para sustentação do equipamento
3. Reservatório de água
4. Entrada de água
5. Boia de controle de nível de água
6. Ladrão de água (transbordo)
7. Seção intermediária de sustentação do reservatório
8. Equipamento completo (visão geral)
9. Tubulação de distribuição da água
10. Corpos de prova envelopados com PVC
11. Tampas superiores em PVC com entrada de água
12. Câmaras individuais em PVC para os corpos de prova
13. Base de encaixe dos corpos de prova
14. Plataforma de apoio superior
15. Béqueres para coleta da água percolada
16. Base com leve declive para drenagem
17. Estrutura inferior de suporte para bomba e filtro
18. Tanque auxiliar com filtro
19. Mídia filtrante no tanque
20. Bomba de recirculação da água
21. Dreno localizado na base inclinada
22. Tubo de alimentação principal

Fonte: (Elaborado pelo autor. 2025)

Assim, o desenvolvimento do equipamento contribuiu diretamente para os resultados desta pesquisa e representa um avanço técnico significativo para a engenharia.

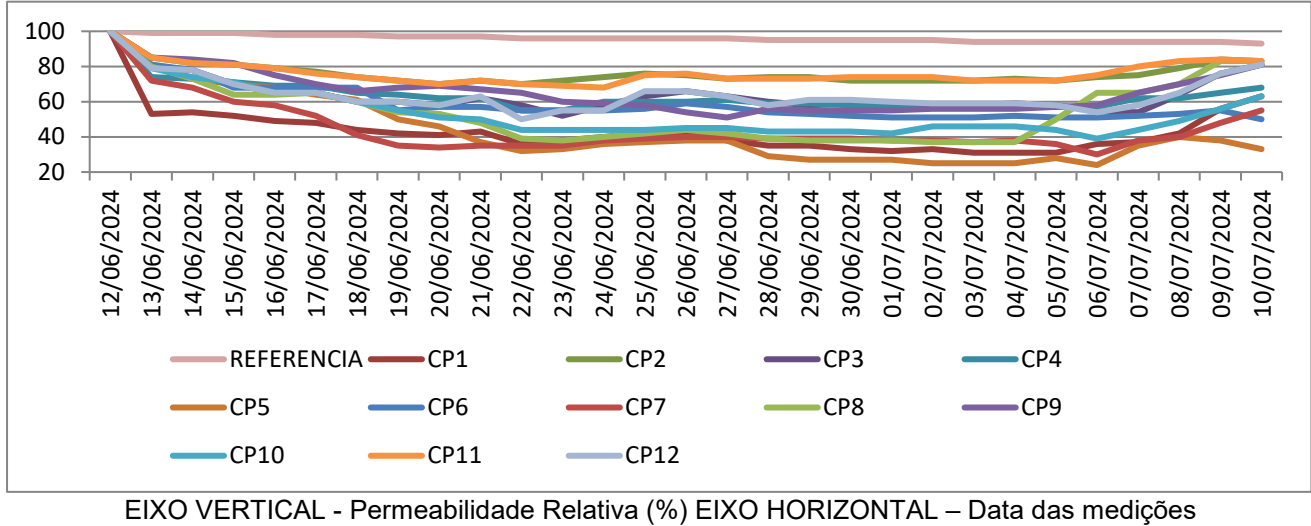
Os testes realizados com amostras de concreto após 28 dias de cura, com fissuras entre 0,4 e 0,5 mm, demonstraram que o equipamento desenvolvido assegurou a correta aplicação do aditivo cristalizante, promovendo distribuição uniforme e preenchimento dos poros capilares. Como resultado, observou-se significativa redução da permeabilidade e aumento da durabilidade em comparação ao corpo de prova de referência, evidenciando a eficácia do sistema.

Nos ensaios subsequentes, os resultados confirmaram a consistência do desempenho, com redução contínua da permeabilidade relativa e selamento parcial de fissuras menores. Esse comportamento indica que o aditivo aplicado pelo equipamento favoreceu a autocicatrização, mantendo a integridade estrutural e as propriedades de resistência do concreto.

Assim, conclui-se que o dispositivo viabilizou a aplicação eficiente do aditivo cristalizante e demonstrou na prática seu funcionamento.

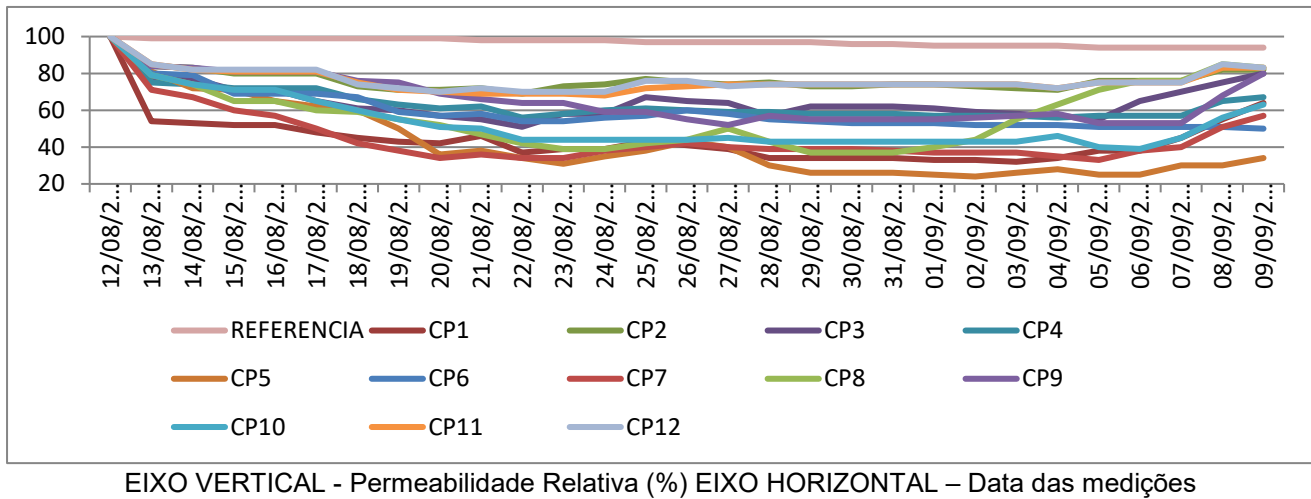


Figura 2 - Teste 1 dos corpos de prova



Fonte: (Elaborado pelo autor. 2025)

Figura 3 - Teste 2 dos corpos de prova



Fonte: (Elaborado pelo autor. 2025)

Ambos os testes demonstraram que os corpos de prova contendo o aditivo cristalizante apresentaram uma autocatrização relevante ao longo do período analisado. Ressalta-se que a ação desse tipo de aditivo não se limita ao intervalo de tempo avaliado, podendo manter sua eficácia mesmo após o encerramento dos ensaios, o que sugere uma tendência de melhoria contínua da impermeabilidade ao longo do tempo. Observou-se

ainda que, em grande parte das amostras, houve uma redução significativa na vazão de água inicialmente, seguida por um novo aumento pontual. Esse comportamento pode ser atribuído à natureza não uniforme das fissuras geradas durante os testes, as quais favorecem o surgimento de caminhos alternativos para o escoamento da água. Nesses casos, o processo de cicatrização pode demandar mais tempo para a formação de cristais capazes de vedar completamente as novas trajetórias, reforçando a importância de períodos de avaliação prolongados em estudos futuros.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento do equipamento proposto mostrou-se plenamente funcional, atendendo aos requisitos técnicos e operacionais definidos ao longo do trabalho. A sua aplicação prática nos testes realizados evidenciou sua capacidade de operar de forma eficiente, segura e reproduzível, demonstrando que a concepção e os materiais utilizados foram adequados para os objetivos propostos.

Além disso, a metodologia estabelecida para a utilização do equipamento foi testada de maneira sistemática, apresentando resultados. Os procedimentos experimentais aplicados, bem como os dados coletados, permitem afirmar que a metodologia é eficaz na obtenção dos parâmetros desejados e pode ser replicada.

Dessa forma, conclui-se que tanto o equipamento quanto a metodologia desenvolvidos e empregados neste estudo representam contribuições válidas e inovadoras para a área de pesquisa abordada, abrindo novas possibilidades para investigações futuras e otimizações tecnológicas.

Adicionalmente, os resultados obtidos nos ensaios com concretos contendo aditivo cristalizante indicaram uma autocicatrização relevante ao longo do período analisado. Vale destacar que a ação desse tipo de aditivo persiste mesmo após o encerramento dos testes, sugerindo uma potencial melhora contínua da impermeabilidade. Em diversos corpos de prova foi observada uma redução inicial na vazão de água, seguida por um leve aumento em determinados momentos, possivelmente devido à heterogeneidade das fissuras, que podem ter permitido a abertura de novos caminhos de percolação. Nessas situações, a atuação do aditivo tende a demandar mais tempo para preencher integralmente essas rotas alternativas, o que reforça a importância de estudos com

acompanhamento em períodos prolongados para melhor compreender o comportamento de longo prazo desses materiais..

REFERÊNCIAS

DIONÍSIO, Iago Serpa; QUARESMA, José Eduardo; FLORIAN, Fabiana. Eficácia de técnicas e produtos de reabilitação em estruturas de concreto armado: uma revisão bibliográfica. Revista Científica Multidisciplinar RECIMA21, v. 4, n. 1, p. 1–17, jan. 2023.

GAMBALE, A. L.; POSSAN, E.; HASPARYK, N. P. Avaliação da capacidade de autocicatrização de argamassas especiais contendo aditivo mineral cristalizante e agentes biológicos. Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção e Congresso de Controle de Qualidade na Construção, 2023.

KAEFER, L. Fissuração em estruturas de concreto armado: causas, tipos e controle. Revista Técnica da Construção Civil, Porto Alegre, 1998.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

NBR 5739: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

NBR 6467: Materiais pozolânicos — Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 2009.

NBR 12655: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2015.

NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

NBR 9479: Argamassa e concreto — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2006.

NBR 7222: Concreto — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.