

Desenvolvimento de Sistema de Baixo Custo para Ensaios de Percolação *In Situ*

Fátima Perius

Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Brasil, E-mail: fatimaperius.aluno@unipampa.edu.br

Carissom Ivo Kletke

Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Brasil, E-mail: carissomkletke.aluno@unipampa.edu.br

Diego Arthur Hartmann

Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Rio Grande do Sul, Brasil, E-mail: diegohartmann@unipampa.edu.br

Jaelson Budny

Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Rio Grande do Sul, Brasil, E-mail: jaelsonbudny@unipampa.edu.br

RESUMO: A taxa de percolação do solo é essencial em laudos geológico-geotécnicos, sendo usualmente determinada conforme o Anexo N da NBR 17076 (2024). Duas dificuldades principais surgem: a saturação do solo, que exige manter o nível de água a 30 cm do fundo do furo por até 12 horas, e a medição do nível de água após 30 minutos de infiltração. Este trabalho trata do desenvolvimento de dois sistemas para facilitar essas etapas: um sistema mecânico de controle de saturação e outro eletrônico para medição do nível de água. O primeiro é composto por uma válvula de esfera flutuante acoplada a um tubo de 20 mm ligado ao fornecimento de água e fixado a outro tubo que toca o fundo do furo, garantindo a manutenção do nível. O segundo sistema utiliza um sensor boia e um microcontrolador instalado em tubo de 20 mm, que emite um sinal sonoro ao detectar água, possibilitando a medição mesmo em grandes profundidades. Ambos os sistemas foram testados em campo, demonstrando eficácia, confiabilidade, facilidade de uso e baixo custo, com todos os componentes adquiridos em comércios locais e de fácil reposição.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaios geotécnicos, Percolação do solo, Saturação automática, Sensor de nível.

ABSTRACT: The soil percolation rate is essential in geological-geotechnical reports and is determined according to Annex N of the NBR 17076 standard (2024). The greatest difficulties in these tests occur during soil saturation, which requires maintaining the water level 30 cm from the bottom of the hole for up to 12 hours, and in measuring the water level after 30 minutes of infiltration. This work proposes the development of two systems to facilitate these stages: a mechanical system for saturation control and an electronic system for water level measurement. The first consists of a float ball valve attached to a 20 mm tube connected to the water supply and fixed to another tube that reaches the bottom of the hole, ensuring the maintenance of the level. The second system uses a float sensor and a microcontroller installed in a 20 mm tube, which emits a sound signal upon detecting water, enabling measurement even in deep holes. Both systems were field-tested, demonstrating effectiveness, reliability, ease of use, low cost (less than R\$ 200), and practical applicability, with all components acquired from local suppliers and easily replaceable.

KEYWORDS: Geotechnical tests, Soil percolation, Automatic saturation, Water level sensor.

1 INTRODUÇÃO

Um ensaio de percolação no solo, ou teste de percolação, é uma forma de avaliar a taxa de absorção ou permeabilidade do solo em uma determinada área. Sua finalidade é fornecer o coeficiente de percolação do



solo, o qual é indispensável para o dimensionamento de sumidouros, fossas absorventes e campos de absorção (FUNASA, 2015). No Brasil, esse ensaio é normatizado pela ABNT NBR 17076 (2024), cujo Anexo N descreve o método de campo para estimar o coeficiente de percolação (k). A percolação está diretamente relacionada à permeabilidade do solo, uma propriedade fundamental que expressa a capacidade do solo de permitir o escoamento de fluidos através de seus poros.

Segundo a FAO (2025), a permeabilidade do solo é definida como a facilidade com que os fluidos passam através dos vazios do solo, enquanto a percolação refere-se ao movimento da água pelo solo, fenômeno diretamente relacionado à permeabilidade. A determinação da permeabilidade pode ser realizada por meio de ensaios de laboratório, como os permeâmetros de carga constante ou variável, ou por ensaios de campo específicos. Entre estes, destacam-se os testes de permeabilidade *in situ*, que fornecem resultados em unidades como cm/s, e os testes de percolação, utilizados em sistemas de esgoto, que medem a capacidade de absorção do solo em $m^3/m^2 \cdot d$, conforme critérios normativos.

Apesar de sua simplicidade, a execução do ensaio de percolação apresenta desafios operacionais, sobretudo nas etapas de saturação do solo e na medição do nível d'água após o intervalo de infiltração. A etapa de saturação, por exemplo, exige que o nível de água seja mantido constantemente a 30 cm do fundo do furo por até 12 horas consecutivas (para o caso de solos argilosos), o que demanda tempo e atenção constantes do operador. Já a medição da variação do nível de água, realizada após um período de 30 minutos de infiltração, tem a dificuldade atrelada a profundidade do furo e/ou pela ausência de equipamentos precisos, comprometendo a precisão dos dados obtidos.

Pesquisas recentes têm focado no desenvolvimento de soluções automatizadas para ensaios geotécnicos através da integração de sensores e sistemas de controle. Viana (2021) desenvolveu um protótipo com um microcontrolador e sensor ultrassônico acoplado a um infiltrômetro de anel para automatizar a leitura do nível d'água e determinar a taxa de infiltração do solo. De forma análoga, Almeida e Quilici (2021) criaram um protótipo eletrônico completo utilizando um sensor a laser para medir a variação do nível d'água em furos de sondagem, automatizando toda a coleta de dados e o cálculo do coeficiente de permeabilidade.

Diante dessas limitações, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema prático, de baixo custo e fácil operação para auxiliar na realização dos ensaios de percolação. Para isso, foram projetados e testados dois dispositivos: um sistema mecânico para a manutenção automática do nível de água e um sistema eletrônico para a medição do nível de água, ambos com foco na simplicidade de montagem, viabilidade econômica e aplicabilidade em campo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução dos ensaios de percolação *in situ* foi montado um equipamento de baixo custo, de modo a facilitar o ensaio e garantir maior precisão e acurácia nos resultados medidos. A proposta consistiu no desenvolvimento de dois dispositivos auxiliares: um para a etapa de saturação do solo e outro para a medição do nível de água infiltrada.

2.1 Sistema de controle do nível de saturação

Para automatizar a saturação do solo, foi projetado um sistema mecânico (Figura 1) composto por uma válvula de esfera flutuante, acoplada à extremidade de um tubo de PVC, com 20 mm de diâmetro e comprimento variável conforme profundidade do furo. Esse conjunto foi conectado diretamente a uma fonte de água e fixado a um tubo o qual é assentado no fundo do furo de ensaio. O posicionamento do conjunto garante que a válvula atue para manter o nível d'água constante a 30 cm do fundo, eliminando a necessidade de monitoramento frequente durante o processo de saturação. O funcionamento é simples: quando a água atinge o nível da válvula, a esfera interna flutua no nível d'água selando a entrada de água no sistema.

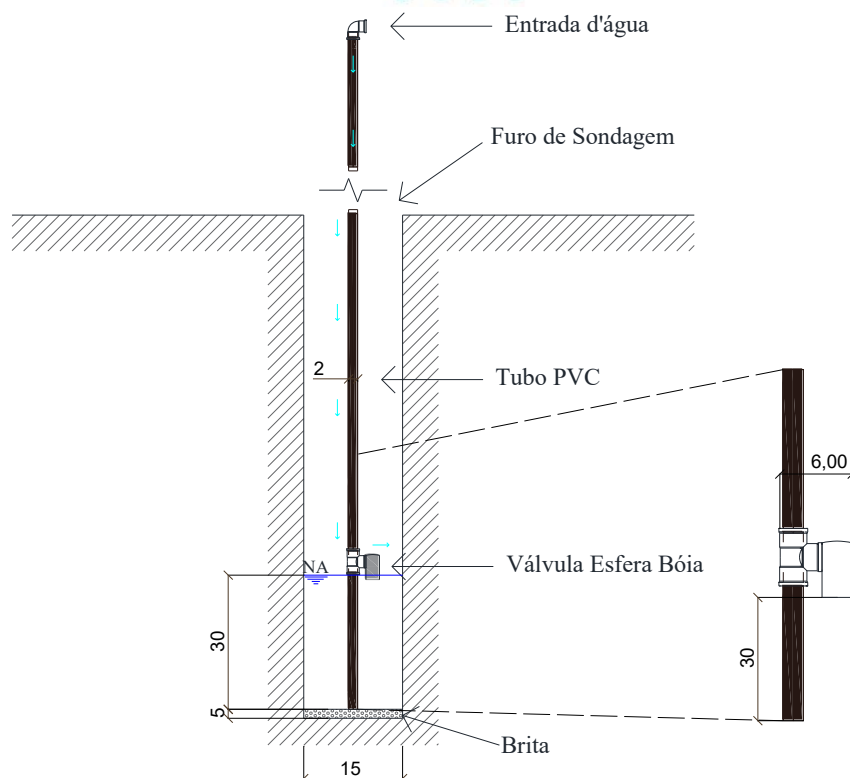


Figura 1. Sistema de controle do nível de saturação.

2.2 Sistema de detecção do nível de água

Com o intuito de facilitar a medição da profundidade do nível d'água após o intervalo de 30 minutos de infiltração, foi desenvolvido um sistema eletrônico (Figura 2) composto de um sensor boia (P45), um sinalizador sonoro (*buzzer*) e um microcontrolador (ESP32). O sensor boia foi fixado na extremidade de um tubo rígido de PVC, com 20 mm de diâmetro e comprimento variável conforme profundidade do furo, que quando em contato com a lâmina d'água aciona o sinalizador sonoro, emitindo um sinal que indica a chegada ao nível de água. O sistema pode ser alimentado por uma bateria externa ou por uma fonte USB comum, como carregadores portáteis ou até mesmo celulares.

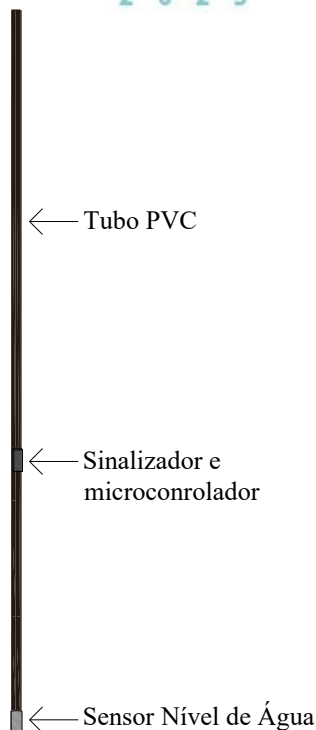


Figura 2. Sistema de detecção do nível de água.

O código do microcontrolador foi desenvolvido em MicroPython de forma que ao atingir o nível de água, o sensor boia emite o sinal para o microcontrolador que ativa o *buzzer* de forma intermitente, com intervalo de atuação facilmente configurável. O conjunto do microcontrolador com o *buzzer* ficarão, em versão futura, protegidos por um invólucro de forma a evitar danos ao sistema eletrônico.

2.3 Materiais utilizados

Todos os componentes utilizados foram adquiridos em comércios locais, com fácil acesso e baixo custo. Na Tabela 1 estão apresentados os materiais empregados na montagem dos sistemas e as faixas de preços observadas no momento da pesquisa.

Tabela 1. Materiais utilizados.

Componente	Descrição	Preço médio (R\$)
Microcontrolador	Placa Super Mini ESP32-C3	15,00 a 30,00
Sinalizador sonoro	Módulo Buzzer 5V Ativo	3,70 a 5,00
Sensor	Sensor Nível de Água - Mini Boia Vertical	15,00 a 26,00
Controle mecânico	Válvula Esfera Boia 1" Alta Vazão	50,00 a 60,00
Tubulação	PVC 20 mm	6,00 a 8,00/m

2.4 Local de aplicação e metodologia geral

Os testes em campo foram realizados com o objetivo de validar o funcionamento dos sistemas desenvolvidos para automatização parcial do ensaio de percolação, o qual é descrito na ABNT NBR 17076 (2024), Anexo N. O procedimento seguiu as etapas normatizadas, com ênfase nas fases de saturação do solo e na medição do nível de água após 30 minutos de infiltração. A proposta metodológica visou facilitar a execução do ensaio *in situ*, garantir maior precisão na coleta dos dados e reduzir a dependência de acompanhamento constante por parte do operador.

3 RESULTADOS

Os sistemas desenvolvidos foram testados em quatro pontos distintos de um terreno previamente selecionado para a realização de ensaios de percolação. O sistema mecânico de controle do nível de saturação demonstrou excelente funcionamento em todos os pontos de ensaio e, devido a geometria da válvula de esfera flutuante ser vertical, permitiu a inserção sem percalços nos furos de 15 cm de diâmetro executados, dispensando também qualquer intervenção manual ao longo do processo de saturação.

O sistema eletrônico de detecção do nível de água também se mostrou eficaz. Ao ser inserido no furo após o período de infiltração, o sensor boia foi capaz de identificar o ponto de contato com a água de forma precisa, acionando imediatamente o sinal sonoro, sendo facilmente audível, garantindo a leitura segura da lâmina d'água mesmo em condições de baixa visibilidade. Apesar de existirem leitores sem contato direto com o fluido, como sensores radar, capacitivos e ultrassônicos, estes ou seriam menos precisos ou de custo muito elevado. O sensor boia empregado, apesar de pontual e de emprego puramente manual, permitiu a detecção direta do nível de água. Sua principal vantagem é o custo de implementação significativamente inferior, resultante de sua construção simplificada, quando comparado a uma sonda de contato.

4 CONCLUSÃO

Os sistemas desenvolvidos mostraram-se tecnicamente viáveis e operacionais para apoiar ensaios de percolação em campo. A solução mecânica automatizou o controle do nível de saturação, reduzindo a necessidade de monitoramento constante, enquanto o sistema eletrônico mediu a lâmina d'água com precisão e resposta imediata, tudo a um custo reduzido. Ambos apresentaram montagem simples, operação intuitiva e utilização de materiais facilmente encontrados no comércio local, o que reforça o potencial de replicabilidade da proposta em diferentes contextos geotécnicos, inclusive em áreas com infraestrutura limitada. A automatização parcial das etapas do ensaio contribuiu para maior confiabilidade, economia de tempo e esforço dos operadores, destacando-se como ferramentas promissoras para ensaios de campo em condições restritas de recursos.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) e à Fundação Luiz Englert.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2024). NBR 17076: Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte — Requisitos. Rio de Janeiro. (Anexo N).
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Glossário de termos de solo. Disponível em: <https://www.fao.org/4/X5648E/x5648e0m.htm>. Acesso em: 07 jul. 2025.
- FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 4. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2015. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/506>. Acesso em: 08 jul. 2025.
- QUILICI, P. S. Desenvolvimento de protótipo eletrônico para auxílio de coleta de dados e emissão de relatório para obtenção de coeficiente de permeabilidade de solos. Brasília, 2021.
- VIANA, V. J. Teste de um protótipo de arduino com sensores de baixo custo associado a infiltrômetro para determinação da capacidade de infiltração de água no solo em um jardim de chuva. Rio de Janeiro, 2021.