

APOIO AO DESENVOLVIMENTO TÉCNICO-CIENTÍFICO NO BRASIL

A FVD – Fundação Victor Dequech, entidade sem fins lucrativos, criada em 2001, apoia e incentiva ações e projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico e Inovativo no Brasil.

Com foco na pesquisa e engenharia mineral -- bem como nas áreas de energia, óleo e gás, meio ambiente e tecnologias a elas relacionadas -- a FVD sente-se plenamente honrada por apoiar a ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental na edição de suas Diretrizes, Guias, Manuais, Boletins e outros documentos assemelhados, agora como Normas Técnicas dessa conceituada associação.

A FVD e a ABGE estão irmanadas no esforço para a educação e a capacitação continuada, que proporcionam qualificação, habilidades e competências de empresas e de profissionais, contribuindo assim com o desenvolvimento e a melhoria da qualidade de vida em nosso país.

Cumprimentamos a todos os participantes dessa iniciativa pioneira.

Antonio de Padua Vieira Chaves
Diretor Presidente da FVD



Rua São Vicente, 255. Bloco B
Bairro Olho D'água - Belo Horizonte, Minas Gerais,
Brasil. CEP 30.390-570.
Tel. +55 31 3288-1742 | www.fvd.org.br



NORMA DA ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE
ENGENHARIA E AMBIENTAL

NÚMERO DE REFERÊNCIA:
NORMA ABGE 107/2024
1ª Edição, 2024

**ENSAIOS DE PERMEABILIDADE EM SOLOS
UTILIZANDO FURO DE SONDAGEM, POÇO, CAVA,
SLUG TEST E ANEL DUPLO - PROCEDIMENTOS
PARA EXECUÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE
RESULTADOS**

NORMA ABGE 107
1ª Edição, 2024

ABGE – AJUDANDO AS EMPRESAS A TRABALHAREM MELHOR



Copyright 2024. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE
Todos os direitos reservados a ABGE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Norma ABGE : 107/2024 : ensaios de permeabilidade em solos utilizando furo de sondagem, poço, cava, slug test e anel duplo : procedimentos para execução e interpretação de resultados. -- 1. ed. -- São Paulo : ABGE, 2024.

Vários colaboradores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-88460-30-6

1. Geotecnia 2. Investigação geológica
3. Investigações geotécnicas 4. Normas técnicas.

24-201585

CDD-624.15
-624.151

Índices para catálogo sistemático:

1. Geotecnia 624.15
2. Geologia de engenharia 624.151

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Sugestão de referência bibliográfica:

Norma ABGE 107/2024. Ensaios de permeabilidade em solo utilizando furo de sondagem, poço, cava, *slug test* e anel duplo – Procedimentos para execução e interpretação de resultados. Vários colaboradores. 1ª Edição. São Paulo: ABGE, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL - ABGE

Av. Prof. Almeida Prado, 532, Prédio 59. Cidade Universitária, São Paulo, SP CEP 05508-901

www.abge.org.br - abge@abge.org.br

Fones: (11) 3767.4361 (11) 9.8687.6560

A ABGE e todos os colaboradores, revisores, coordenadores, autores e editor participantes dessa Norma ou de artigos e livros utilizados como referência bibliográfica, não possuem responsabilidade de qualquer natureza por eventuais danos ou perdas pessoais ou de bens originados do uso da presente publicação. Aqueles que usam essa publicação são responsáveis por tomar suas próprias decisões quando aplicarem as informações aqui fornecidas e as cotejarem e harmonizarem com outras. Críticas e contribuições devem ser encaminhadas a Secretaria Executiva da ABGE: **abge@abge.org.br**

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	5
1. FINALIDADE.....	7
2. DEFINIÇÃO.....	8
3. IDENTIFICAÇÃO.....	8
4. EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS	9
5. OS TIPOS DE ENSAIO E SUAS RELAÇÕES COM AS INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	9
5.1 Classificação dos ensaios.....	9
5.2 Programação dos ensaios.....	11
5.3 Propriedades dos solos de interesse ao planejamento dos ensaios	12
5.4 Validade dos ensaios.....	13
6. A PRÁTICA DOS ENSAIOS	15
6.1 Ensaios em sondagens.....	15
6.1.1 Definição do trecho a ser ensaiado.....	16
6.1.2 Preparação do trecho a ser ensaiado	17
6.1.3 Escolha do tipo de ensaio.....	17
6.1.4 Equipamentos e ferramentas.....	18
6.1.5 Execução e acompanhamento dos ensaios	19
6.2 Ensaios em poços de investigação	21
6.3 Ensaios em cavas	24
7. CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE	26
7.1 Ensaios em sondagens.....	26
7.2 Ensaios em poços de investigação	27
7.3 Ensaios em cavas	27
7.4 Planilhas	27
8. <i>SLUG TEXT</i>	27
8.1 Vantagens e desvantagens do método.....	28
8.2 Equipamentos e ferramentas.....	29
8.3 Execução dos ensaios	30
8.4 Interpretação dos ensaios	34

8.5	Problemas mais comuns na execução e interpretação de ensaios.....	39
8.6	Softwares e planilhas eletrônicas para interpretação.....	41
8.7	Notações utilizadas nas figuras e fórmulas para cálculo da condutividade hidráulica do ensaio <i>Slug Test</i> .	41
9.	ENSAIO DE INFILTRAÇÃO POR ANEL DUPLO.....	42
9.1	Procedimentos para a realização do ensaio	43
9.2	Cálculo da velocidade ou taxa de infiltração.....	44
10.	PADRONIZAÇÃO E DIGITALIZAÇÃO DE RESULTADOS	46
11.	PRINCIPAIS PARTICIPANTES	47
12.	REFERENCIAS NORMATIVAS E DIRETIVAS	49
13.	REFERÊNCIAS/LEITURAS RECOMENDADAS.....	51
	ANEXO I – FIGURAS DE ENSAIOS	56
	ANEXO II – ÁBACOS.....	61
	ANEXO III – PLANILHAS	66

APRESENTAÇÃO

Essa Norma destina-se aos diversos protagonistas interessados na execução, cálculo e interpretação de **ensaios de permeabilidade em solo utilizando furos de sondagem, poço, cava, slug test e anel duplo**, como são os casos de proprietários de obras, investidores, construtoras, mineradoras, empresas executoras de serviços geológico-geotécnicos de campo e de laboratório, projetistas, consultores e encarregados de fiscalização.

A presente Norma utilizou, como referência básica, o Livro 4, de título “Ensaio de permeabilidade em solos – orientações para a sua execução no campo” que faz parte do livro “Investigações geológico-geotécnicas–Guia de Boas Práticas”, publicado pela ABGE em 2021. Nessa referência consta o método “Permeâmetro de Guelp”, que mede permeabilidade do solo até 75 cm de profundidade. Entretanto, esse método não se encontra suficientemente desenvolvido, ao âmbito da ABGE, para fazer parte dessa Norma. Interessados no método Guelp podem recorrer a Soto (1999), Celligoy *et al.*, (2006), Costa & Nishiyama (2007) e Soto *et al.* (2009).

A Norma ABGE possui formato próprio, mas semelhante ao publicado por entidades civis e associações técnicas e profissionais, nacionais ou estrangeiras, como ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ASTM (American Society for Testing and Materials), API (American Petroleum Institute), ISO (International Organization for Standardization), ASCE (American Society of Civil Engineering), CDA (Canadian Dam Association), IAEG (International Association for Engineering Geology and the Environment), dentre outras. Essas entidades publicam Normas (Standards), Diretrizes (Guidelines), Boletins (Bulletins), Regras (Codes) e outros documentos assemelhados, com a finalidade de ajudar empresas e profissionais a trabalharem melhor.

As normas e as publicações técnicas editadas pelas entidades acima citadas, assim como a presente NORMA ABGE, são de aceitação voluntária e sua aplicação somente terá caráter vinculante no plano legal/normativo, caso reconhecida e de alguma forma chancelada/acolhida pelo poder público; e, no plano privado, caso seja mencionada em contrato a ser observado pelas partes (Passini & Alvares Sociedade de Advogados, 2021).

Sugerimos que os usuários das informações dessa publicação a cotejem e a harmonizem com outras sobre o mesmo tema, assim possibilitando maior consistência nos termos de referências e contratos e maior eficácia, segurança e economicidade nos estudos, projetos e obras.

Agradecimentos aos sócios, às empresas patrocinadoras da ABGE e a todos que apoiaram e colaboraram com a presente publicação, em especial aos participantes do livro “Investigações geológico-geotécnicas – Guia de Boas Práticas”, de 2021.

João Jeronimo Monticelli

Editor de Normas da ABGE
– 2023-2024

Fábio Soares Magalhães

Presidente da ABGE – Gestão 2023-2024

1 FINALIDADE

Os ensaios de permeabilidade em solos são correntemente realizados em investigações geológico – geotécnicas visando a caracterização hidráulica e hidrogeotécnica de terrenos naturais ou solos construídos*. A caracterização se dá pela determinação da condutividade hidráulica, expressa pela permeabilidade (K), cotejadas com as condições locais e metodologias e limitações dos ensaios**.

São realizados com frequência em:

- projeto, construção, manutenção, operação e descomissionamento de obras civis e minerárias (barragens, pilhas de rejeito, canais, túneis etc.);
- implantação e monitoramento de aterros sanitários;
- projetos e obras de controle ambiental de infiltrações de contaminantes (postos de gasolina, pátios com reservatórios de combustíveis ou de produtos químicos etc.);
- Investigações de áreas contaminadas;
- investigação da interface entre obras e suas fundações.

* Solo construído tem aqui um significado abrangente, englobando cortes, aterros, barragens e pilhas de rejeito de mineração, dentre outros materiais antropogênicos.

** O termo Condutividade Hidráulica é a denominação mais adequada para indicar a permeabilidade obtida por meio de ensaios em furos de sondagens. Normalmente, dentro dos objetivos dos ensaios de permeabilidade em solo (e de perda d'água em rocha), para projetos e obras geotécnicas e ambientais, a condutividade hidráulica é expressa de duas maneiras: a) perda d'água específica (PE) em L/min por Kg/cm², e b) “Permeabilidade K” em cm/s, neste caso obtida através de correlações e ábacos PE x K, como os publicados nessa Norma 107/2024 e nas Normas ABGE 108/2024 e ABGE 109/2024. Esse procedimento simplificado de obtenção do valor da “Permeabilidade K” evita usar a denominação “Coeficiente de Permeabilidade K” indiscriminadamente. “Coeficiente de permeabilidade K” pressupõe sua obtenção em ensaio realizado em solo homogêneo, regime de fluxo permanente (Lei de Darcy) e uso de fórmulas, cálculos e análises adequadas caso a caso, conforme comentado ao longo da presente Norma.

Em menor escala, são usados em outros tipos de obras, como as de controle de erosão, dutos, estradas e ferrovias.

2 DEFINIÇÃO

Ensaios de permeabilidade são conhecidos genericamente como ensaios de infiltração e geralmente são realizados em furos de sondagens à percussão, poços de monitoramento e piezômetros, e com menor frequência em poços de investigação e cavas abertas em solo.

Esses ensaios não utilizam sistemas de observação da variação das cargas piezométricas nas imediações do furo onde se realiza o ensaio (Silva *et al.*, 1978). Por esta razão, os ensaios objeto dessa Norma são também conhecidos como “ensaio pontuais”, e perfazem o conjunto de ensaios de permeabilidade comumente usados nas investigações geológico – geotécnicas em projetos de obras civis, minerárias e de natureza ambiental.

3 IDENTIFICAÇÃO

Os ensaios de permeabilidade são identificados de acordo com o tipo de investigação realizada, conforme descritos a seguir:

- Ensaio em furo de sondagem: identificação da obra, número da sondagem, trecho ensaiado e data, complementado com anotação do tipo de ensaio: acima ou abaixo do nível d’água; infiltração, bombeamento, recuperação ou rebaixamento; e, ainda, as demais informações que detalham a metodologia do ensaio, conforme mostrado na Figura 1 do ANEXO III.
- Ensaio em cava: identificação da obra, número, local e data, complementado com as demais anotações que detalham a metodologia do ensaio, conforme mostrado na Figura 2 do ANEXO III.
- Ensaio em poço: identificação da obra, número do poço, trecho ensaiado, local e data, complementado com as demais anotações

que detalham a metodologia do ensaio, conforme mostrado na Figura 3 do ANEXO III.

- Ensaio do tipo *Slug Test*: identificação da obra e número do poço, localização, local e data, complementado com a anotação do tipo de ensaio, se rebaixamento ou recuperação, e com as demais informações que detalham a metodologia do ensaio, conforme mostrado na Figura 4 do ANEXO III.

4 EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS

Os equipamentos e ferramentas necessários aos diversos tipos de ensaios estão apresentados dentro dos capítulos que tratam de cada tipo de ensaio.

5 OS TIPOS DE ENSAIO E SUAS RELAÇÕES COM AS INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

5.1 *Classificação dos ensaios*

Embora os ensaios de permeabilidade em solos estejam, na prática, intimamente associados ao método de prospecção empregado (sondagens a trado e/ou a percussão, poços rasos, trincheiras, etc.), do ponto de vista hidrogeotécnico tais ensaios podem ser classificados conforme a maneira de sua realização (ensaio a nível constante e a nível variável) e o diferencial de pressão aplicado ao aquífero, positivo (carga) ou negativo (descarga), conforme descrito no “Quadro 1 – Classificação de ensaios de permeabilidade em solos conforme a maneira de realização e o diferencial de pressão aplicado ao aquífero”. Deve-se considerar que os ensaios realizados nas porções não saturadas dos solos (acima do nível freático) admitem, obviamente, apenas a realização por injeção de água (ensaio de carga).

Destaca-se, neste cenário, o ensaio *slug test*, realizado sempre abaixo do nível d’água, tanto em ensaios de carga como de descarga.

Quadro 1 – Classificação de ensaios de permeabilidade em solos conforme a maneira de realização e o diferencial de pressão aplicado ao aquífero

Maneira de realização	Pressão aplicada	Denominação dos ensaios	Método de prospecção
Nível constante	carga	infiltração	sondagens, poços e cavas
	descarga	bombeamento	poços e sondagens
Nível variável	carga	rebaixamento	sondagens e poços
	descarga	recuperação	poços e sondagens

Os ensaios a nível constante são realizados por meio da manutenção do nível d'água no interior de um furo de sondagem, poço ou trincheira, em uma posição constante ao longo de toda duração do ensaio. Este nível d'água constante pode ser estabelecido de duas maneiras:

- pela introdução de água (ensaios de infiltração): neste caso é aplicada uma carga (constante), medindo-se a vazão injetada, necessária para manutenção do nível d'água constante; e
- por meio da retirada de água (ensaios de bombeamento): neste caso, o aquífero é descarregado, medindo-se a vazão bombeada necessária para manter constante o nível d'água rebaixado, sempre na mesma posição.

Nos ensaios a nível variável, o nível d'água natural é alterado para uma posição que se pode denominar nível d'água inicial do ensaio. A tendência do nível d'água voltar à posição original é acompanhada ao longo do tempo de realização do ensaio. O nível d'água inicial pode também ser estabelecido de duas maneiras:

- pela introdução de água (ensaios de rebaixamento) e medindo-se em seguida a velocidade de rebaixamento; e
- por meio da retirada de água (ensaios de recuperação) e medindo-se, em seguida, a velocidade de recuperação.

Ressalta-se que o ensaio *slug test* é sempre executado a nível variável, tanto em ensaio de rebaixamento como em ensaio de recuperação do nível d'água.

5.2 Programação dos ensaios

É conveniente, antes de se detalhar a execução dos ensaios propriamente ditos, identificá-los no contexto de uma programação.

Considerando-se a realização dos ensaios no âmbito de um estudo hidrogeotécnico aplicado a um dado local, sua programação obedece às orientações gerais de tal estudo. Em geral, essas orientações visam caracterizar os comportamentos hidráulicos de cada uma das unidades geotécnicas presentes, ou, em outras palavras, os compartimentos hidrogeotécnicos do maciço objeto do estudo.

A definição destas unidades resulta da identificação prévia das características geológicas de cada uma das unidades geológicas presentes (lentes, camadas, estratos, litotipos) que implicariam, numa primeira aproximação, em compartimentos hidrogeotécnicos relevantes frente às solicitações impostas pela obra (Figura 1).

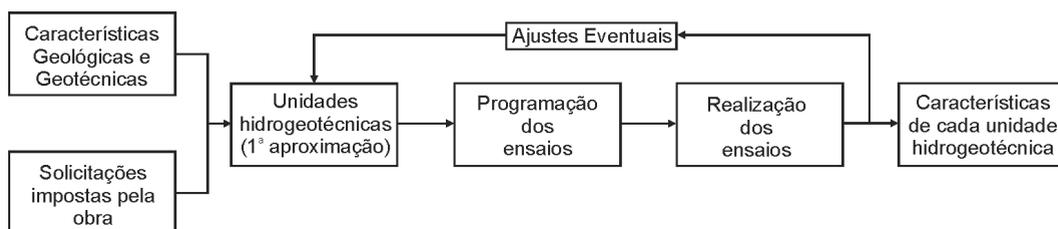


Figura 1 – Fluxograma metodológico para a caracterização das unidades hidrogeotécnicas do maciço objeto do estudo.

Cada unidade constitui o referencial básico para todas as operações de análise dos resultados dos ensaios assim programados: interpolações e extrapolações de resultados, análises estatísticas, correlações com outros parâmetros geotécnicos etc.

À medida que os ensaios são realizados e outras observações no âmbito de uma campanha de investigação são obtidas (resultados de monitoramento piezométrico, por exemplo), os compartimentos hidrogeotécnicos são aferidos, e, eventualmente, reformulados, até que os dados obtidos sejam compatíveis com o plano de estudo e objetivos inicialmente propostos.

Por outro lado, nos estudos de projeto de obras (em especial de barragens, túneis e em projetos ambientais, onde os ensaios devem ser realizados de maneira sistemática), a programação dos ensaios fica na dependência da programação geral dos estudos que não têm, como único objetivo, a caracterização hidrogeotécnica. Compete aos responsáveis por tais estudos gerais compatibilizar todos os meios de prospecção usados, aplicando um roteiro metodológico adequado e que cumpra da melhor forma possível todos os objetivos visados. Por exemplo: sondagens a percussão para obtenção concomitante de dados geológicos, de valores de SPT, de coeficientes de permeabilidade; poços para retirada de amostras indeformadas e ensaios de permeabilidade etc.

5.3 *Propriedades dos solos de interesse ao planejamento dos ensaios*

A estimativa prévia da propriedade de permeabilidade dos solos pode ser de interesse à programação dos ensaios (escolha dos tipos de ensaios, tamanho dos trechos a ensaiar, vazões esperadas etc.). Esta estimativa pode ser efetuada com base na granulometria dos solos, por meio de fórmulas, como a de Hazen (*apud* MELLO, TEIXEIRA, 1967) ou, sobretudo, por meio da experiência técnica.

Segundo Hazen, a permeabilidade (K) pode ser estimada com base no diâmetro efetivo d_{10} (diâmetro tal que o peso de todos os grãos menores constitua 10% do peso total da amostra).

Embora esta fórmula tenha sido determinada empiricamente, com grãos de areia uniformes, cujo d_{10} variava entre 0,01 e 0,3 cm, esta estimativa de K (em cm/s) pode ser usada como ordem de grandeza.

A experiência técnica pode ser sistematizada como exemplificado na Figura 2.

A coesão do solo pode ser condicionante na programação dos ensaios, por constituir uma limitação à abertura de poços e trincheiras e à preparação de trechos de ensaio em furos de sondagem. Com efeito, problemas de desmoronamento podem influir significativamente nos resultados dos ensaios, ou mesmo impedir sua realização. Tais problemas costumam ser facilmente constatados em poços e trincheiras, ou mesmo em furos de sondagem à percussão. A coesão do material pode ser estimada por análise táctil-visual das amostras

coletadas durante a execução das sondagens e a experiência tem mostrado que os maiores problemas ocorrem somente com areias puras, aluvionares, também conhecidas como “areias lavadas”.

K (cm/s)		10 ²	1	10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻⁸
SOLO	pedregulhos		areias	areias finas siltosas e argilosas, siltes argilosos		argilas	

Figura 2 – Estimativa da permeabilidade dos solos com base na granulometria do material.
Fonte: de acordo com a fórmula de Hazen (apud MELLO, TEIXEIRA, 1967)).

5.4 Validade dos ensaios

Dentre os vários fatores que condicionam a validade dos ensaios, destaca-se o regime de escoamento que, teoricamente, deve ser permanente, permitindo assim o uso da maioria das fórmulas adotadas.

O regime de escoamento pode ser controlado no campo por meio das medidas de absorção durante a execução dos ensaios. Quando as absorções permanecem constantes ao longo do tempo, pode-se afirmar que foi alcançado um regime de escoamento permanente.

O regime de escoamento permanente é atingido de maneira mais rápida em trechos de ensaio situados abaixo do nível d’água natural, pois o solo já se encontra saturado. Em trechos de ensaio situados acima do nível d’água, deve-se dar mais atenção ao tempo envolvido no ensaio, pois será necessária a prévia saturação do solo até que o regime de escoamento permanente seja alcançado.

Os tempos recomendados para a execução dos ensaios não são suficientes para atingir plenamente o regime de escoamento permanente (vazões constantes). Contudo, a experiência tem demonstrado que estes tempos parecem ser suficientes para se alcançar resultados satisfatórios, compatíveis com os erros inerentes à própria execução dos ensaios. Portanto, estes tempos devem ser considerados como orientativos, cabendo ao técnico responsável o seu redimensionamento, caso necessário. Para efeitos práticos, consideram-se vazões estabilizadas quando:

- não é observada uma variação progressiva nos valores de absorção lidos;
- a diferença entre leituras isoladas e seu valor médio não supera 20%.

Deve-se também considerar, ainda sob o mesmo aspecto de validade, a aplicação das fórmulas além de seus limites de validade. Ou seja, cabe ao responsável pelos ensaios adotar, ou não, as fórmulas fora de seus limites de validade, assim como as restrições e limitações impostas para a execução de alguns ensaios, tendo em vista, por um lado, a precisão requerida na definição da permeabilidade e, por outro lado, a conveniência em se executar ensaios diferentes num mesmo furo ou poço, para melhor controle dos valores obtidos. Por exemplo, um ensaio de infiltração pode ser imediatamente sucedido por um de rebaixamento, a exemplo do que é usualmente executado em ensaios *slug test*. Ainda sob o aspecto da aplicabilidade das fórmulas, merece atenção o fato de sempre se considerar o solo ensaiado como homogêneo e isotrópico, onde permanece válida a lei de Darcy.

Cabe, finalmente, considerar a eventual ocorrência de “surpresas” durante a execução dos ensaios, tais como, por exemplo, variações bruscas do nível d’água, alteração das medidas de vazão após ter sido atingida certa constância etc. Tais “surpresas” devem ser consideradas como ocorrências naturais, que merecem a devida atenção, e serem elucidadas, pois, caso não tenham sido provocadas por erros de execução do ensaio (vedação entre revestimento e terreno natural prejudicada, erros de medida etc.), podem estar revelando comportamentos que tenham importância geológico – geotécnica ao projeto (susceptibilidade a *piping*, heterogeneidade do solo, colmatação, ocorrência de estruturas orgânicas como formigueiros, cupins etc.).

Em resumo, pode-se considerar que a questão da validade do ensaio deve ser observada segundo dois aspectos:

1º) No que se refere ao ensaio propriamente dito: trata-se de um procedimento para se testar o comportamento hidrogeotécnico do terreno e não sendo apenas um meio restrito para a determinação do coeficiente de permeabilidade (valor de K). Portanto, sua validade repousa no acompanhamento detalhado

de sua realização e na elucidação dos fenômenos que porventura venham a ocorrer. Somente após a elucidação de tais fenômenos é que se deve entrar em considerações a respeito da validade do cálculo de K.

2º) No que se refere a este segundo aspecto, da determinação do valor de K, a validade é relativa à precisão requerida pelo problema de engenharia geotécnica e limitada pela margem de erro imposta pela própria execução dos ensaios.

Tanto um aspecto quanto o outro exigem uma atenção especial do profissional responsável pela realização dos ensaios.

6 A PRÁTICA DOS ENSAIOS

Considerando-se que os ensaios se encontram, na prática, bastante vinculados ao método de prospecção, optou-se por apresentar este capítulo segundo tais métodos, ou seja, ensaios em furos de sondagens a trado e a percussão, em poços e em trincheiras (cavas).

A prática dos ensaios envolve todas as etapas, desde a preparação do trecho de ensaio, até a execução propriamente dita, incluindo a escolha do tipo de ensaio mais adequado às condições existentes no local.

Os ensaios *slug test* são executados em perfurações de pequenos diâmetros, geralmente igual ou menores que 2 polegadas e em piezômetros.

6.1 *Ensaio em sondagens*

Os ensaios de infiltração em sondagens são os mais comumente utilizados. Seus resultados são apresentados em perfis individuais (*logs*) e interpretados juntamente com as demais informações geológico-geotécnicas obtidas. As Normas ABGE 101/2023 (Sondagem a trado manual e trado oco) (ABGE, 2023a), 103/2023 (Sondagens à percussão) (ABGE, 2023b), 104/2023 (Sondagens rotativas e mistas) (ABGE, 2023c) e 109/2024 (Descrição e classificação de sondagens) (ABGE, 2024a) devem ser consultadas para atender às Normas de interpretação e apresentação dos resultados de ensaios realizados em sondagens.

6.1.1 Definição do trecho a ser ensaiado

Em sondagens revestidas, o trecho de ensaio corresponde ao intervalo entre o final do revestimento e o fundo do furo. Em sondagens não revestidas, nos ensaios a nível constante, o trecho de ensaio corresponde ao intervalo entre a posição do nível d'água e o fundo do furo, e nos ensaios a nível variável o trecho de ensaio varia com a carga. Neste caso, para cálculo, recomenda-se considerar o trecho de ensaio como sendo aquele compreendido entre a posição do nível d'água na metade do tempo necessário para o rebaixamento considerado no cálculo e o fundo do furo.

É conveniente a escolha de trechos tanto maiores quanto menor for a permeabilidade estimada, de maneira a permitir uma medida mais acurada da absorção. A grandeza da vazão em função da permeabilidade (K) esperada e da carga atuante (h), para trecho de ensaio de 1 m em furos com diâmetro de 6,35 cm (2 1/2") pode ser estimada a partir da Figura 3.

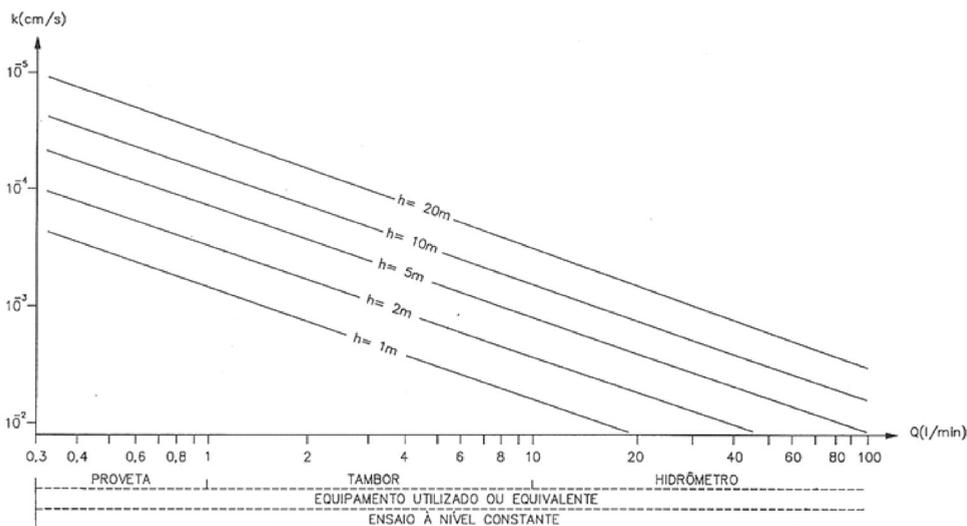


Figura 3 – Grandeza da vazão em função da permeabilidade (K) esperada e da carga atuante (h), para trecho de ensaio de 1 m em perfurações com diâmetro de 6,35 cm (2 1/2")

A escolha de trechos, tanto menores quanto menos coesivo for o solo a ser ensaiado, pode eliminar, ou minimizar, problemas de desmoronamentos. O limite é a execução do ensaio no fundo do furo (paredes totalmente

revestidas). Contudo, os resultados de ensaios executados nestas condições estão sujeitos a erros importantes devido à pequena área ensaiada (influência de pequenas estruturas locais) e à possibilidade de decantação de finos no fundo do furo, colmatando-o.

Deve-se considerar ainda que, no caso de sondagens revestidas, a escolha de um trecho longo tende a minimizar o erro advindo de eventuais fugas d'água entre o revestimento e as paredes do furo.

6.1.2 Preparação do trecho a ser ensaiado

Durante a perfuração do trecho a ser ensaiado, deve ser utilizada água limpa, sem material em suspensão visível a olho nu.

Ao se atingir a cota de ensaio, deve-se levantar um pouco a composição de perfuração e, com o revestimento posicionado na profundidade prevista, manter a circulação d'água até que a água de retorno se apresente sem detritos ou materiais em suspensão, visíveis a olho nu.

Em furos revestidos não se deve girar o revestimento durante a perfuração, de modo a minimizar a possibilidade de fugas d'água entre o revestimento e as paredes do furo.

Em solos poucos coesivos, especialmente quando abaixo do nível d'água, deve-se procurar manter a coluna d'água na boca do furo para evitar o desmoronamento das paredes.

6.1.3 Escolha do tipo de ensaio

A escolha de ensaios de bombeamento ou recuperação (descarga) exige, de início, a disponibilidade de dispositivos que, normalmente, não são necessários nos ensaios de infiltração ou rebaixamento (carga). Tais dispositivos são, basicamente, filtros que impeçam o eventual carregamento de partículas do solo do trecho ensaiado e bombas. Devido a estes requisitos, que exigem, inclusive, melhor infraestrutura no local, são mais raramente executados. Contudo, vale lembrar que a ocorrência de artesianismo pode se assemelhar a um ensaio de bombeamento, onde a diferença de altura entre os níveis estático e dinâmico equivale à descarga total passível de se alcançar e a vazão da surgência equivale à vazão bombeada. Sendo assim, a imposição de um nível

dinâmico variável, condicionado pela variação da altura da saída da água na boca do revestimento, corresponde a um ensaio de descarga (bombeamento).

Portanto, dada a maior simplicidade de execução, a escolha frequentemente recai nos ensaios de carga. Para estes ensaios sugere-se o seguinte critério de opção entre se realizar um ensaio a nível constante (infiltração) ou a nível variável (rebaixamento): o ensaio de rebaixamento será feito quando a carga hidráulica do trecho ensaiado for superior a 0,02 MPa (> 2 metros) e, por avaliação visual, o rebaixamento da água no interior do revestimento for inferior a 10 cm/min. Nos casos em que o nível d'água estiver próximo da superfície do terreno, admite-se carga mínima de 0,01 Mpa (1 m de coluna d'água).

6.1.4 Equipamentos e ferramentas

Para os ensaios de carga, os seguintes equipamentos e ferramentas são necessários:

- a) bomba d'água com capacidade mínima de 40 litros por minuto;
- b) hidrômetro calibrado, em boas condições, com divisões de escala em litros, testado no início de cada furo e/ou sempre que houver suspeita de mau funcionamento. O hidrômetro não deve apresentar desvio superior a 10% do valor real na faixa de vazão entre 10 e 40 L/min. É vedado o uso de curvas de calibração;
- c) tambor graduado, em litros, com capacidade de, aproximadamente, 200 litros;
- d) latas graduadas, em litros, com capacidade máxima de, aproximadamente, 10 litros;
- e) provetas graduadas a cada centímetro cúbico, com capacidade mínima de 1 litro;
- f) funil com rosca para acoplamento no revestimento, com redução mínima de 2,54 cm (1"), diâmetro maior que 20 centímetros e altura da ordem de 50 centímetros;

- g) escarificador, constituído por uma haste decimétrica de madeira, com numerosos pregos sem cabeça semi-cravados; e,
- h) medidor de nível d'água.

Para os ensaios de bombeamento, ou recuperação, deve-se incluir:

- a) bombas do tipo injetora, bomba de sucção ou bomba submersa, tubos de PVC e tela.

6.1.5 Execução e acompanhamento dos ensaios

Os ensaios em furos de sondagens podem ser:

- a) ensaio de infiltração;
- b) ensaio pontual de bombeamento;
- c) ensaio de rebaixamento; e,
- d) ensaio de recuperação.

O ANEXO I contém ilustrações relativas à execução dos diferentes tipos de ensaios.

Os ábacos utilizados para a interpretação dos ensaios encontram-se no ANEXO II.

Para o acompanhamento adequado dos ensaios, recomenda-se que os dados de campo sejam lançados em um dos modelos de planilha, como indicado no ANEXO III.

a) Ensaio de infiltração

Preenche-se o furo com água até a boca do revestimento, tomando-se este instante como tempo zero (t_0). O nível de água no furo deve ser mantido constante, alimentado por uma fonte apropriada (utilizar gráfico orientativo apresentado anteriormente), medindo-se o volume de água (absorção) introduzido durante certo intervalo de tempo (vazão).

Deve-se elaborar um gráfico onde seja lançado na abscissa o tempo, em minutos, e na ordenada o volume acumulado (absorção, em litros) ou vazão

(em litros/minuto). Tal gráfico possibilita a observação da estabilização da absorção, ou da vazão, que é caracterizada por uma reta. Essa é a vazão que será utilizada no cálculo da permeabilidade (vazão constante).

Pode-se estimar um tempo médio de 20 minutos por ensaio, sendo os 10 minutos iniciais necessários para alcançar a estabilização da vazão e os 10 minutos restantes para a realização do ensaio.

O ensaio de infiltração pode ser realizado em zona não saturada, ou seja, acima do nível d'água subterrânea, ou em zona saturada, abaixo do nível d'água subterrânea (Figuras 12 e 13 do ANEXO I).

b) Ensaio pontual de bombeamento

Começa-se a bombear a água do furo, tomando-se este instante como tempo zero (t_0). Anota-se, na folha do ensaio, o tempo, a variação do nível d'água no interior do furo e o volume d'água retirado do furo, até que o nível d'água no interior do furo e a vazão permaneçam praticamente estáveis. É aconselhável a elaboração de dois gráficos. No primeiro, são lançados os valores de vazão x tempo. No segundo, rebaixamento x tempo. Esses gráficos possibilitam a observação da estabilização do nível d'água no furo e a vazão correspondente, necessária para manter o rebaixamento constante, a qual será usada no cálculo da permeabilidade, juntamente com o rebaixamento alcançado.

O ensaio pontual de bombeamento em sondagens é realizado na zona saturada (abaixo do nível d'água subterrânea) em aquíferos livres ou em aquíferos confinado (Figura 13 do ANEXO I).

c) Ensaio de rebaixamento

Preenche-se o furo com água até a boca do revestimento. Em ensaios realizados acima do nível d'água do terreno, o nível d'água deve ser mantido na boca da perfuração, estável, por cerca de, no mínimo, 10 minutos, para “saturação”.

Interrompe-se o fornecimento de água, tomando-se este instante como tempo zero (t_0). Imediatamente após, e a intervalos curtos no início e mais longos em seguida (por exemplo, 15”, 30”, 1', 2', 3', 4', 5', e assim, sucessivamente),

acompanha-se o rebaixamento do nível d'água no interior do furo. Recomenda-se que o ensaio seja dado por concluído quando o rebaixamento atingir 20% da carga inicial aplicada ou 30 minutos de ensaio.

O ensaio de rebaixamento pode ser realizado em zona não saturada, ou seja, acima do nível de água subterrânea (Figura 12 do ANEXO I), ou em zona saturada, abaixo do nível d'água subterrânea (Figura 14 do ANEXO I).

d) Ensaio de recuperação

Bombeia-se a água do furo até se obter um rebaixamento de, pelo menos, 1 metro abaixo do nível d'água estático, mantendo-se assim até se atingir condições de fluxo permanente (vazões constantes), ou próximas.

Interrompe-se o bombeamento, tomando-se este como tempo zero (t_0). Imediatamente após, e em intervalos de tempo semelhantes aos do ensaio de rebaixamento, controla-se a recuperação do nível d'água. Para o término do ensaio, recomenda-se seguir as mesmas orientações anteriormente apresentadas para os ensaios de rebaixamento, ou seja, quando a recuperação atingir cerca de 20% abaixo do nível estático inicial ou após 30 minutos de ensaio.

O ensaio de recuperação é realizado em zona saturada (abaixo do nível d'água subterrânea) (Figura 14 do ANEXO I).

6.2 *Ensaio em poços de investigação*

6.2.1 *Definição do trecho a ser ensaiado*

Em poços de investigação os trechos de ensaio devem ser definidos em função dos diferentes materiais atravessados. Entretanto, as normas de segurança restringem cada vez mais a execução do ensaio de permeabilidade em poços sem revestimento, acima ou abaixo do NA do terreno. Atualmente, em função das normas de segurança do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE, 2022, MTE 2024), apenas poços rasos (de até 2 m de profundidade) são utilizados para ensaios de infiltração. Abaixo dessa profundidade, há necessidade de planejamento cuidadoso e do acompanhamento de profissionais responsáveis (pela investigação/ensaio e pela segurança do trabalho), em todas as etapas de execução dos serviços (ABGE, 2024b).

6.2.2 Preparação do trecho a ser ensaiado

Além dos cuidados necessários para se evitar desmoronamentos, é importante escarificar as paredes do trecho para evitar qualquer vedação provocada pela escavação (obstrução dos poros). Deve-se efetuar um mapeamento ou inspeção tátil visual para identificação dos horizontes de solos (natureza geológica, pedológica e granulometria) e de possíveis particularidades (estruturas, presença de formigueiros, cupins, raízes vegetais etc.) que possam ter influência significativa nos resultados.

6.2.3 Escolha do tipo de ensaio

Os poços de inspeção geológico – geotécnica, quando acima do nível d'água do terreno, permitem apenas a execução de ensaios do tipo infiltração e rebaixamento (carga). Abaixo, admitem também a execução de ensaios de bombeamento e recuperação, respeitando-se os limites citados em 6.2.1.

6.2.4 Equipamentos e ferramentas

A lista relacionada como necessária para execução de ensaios em sondagens permanece válida para os ensaios em poços. Contudo, dada à possibilidade de ensaios em poços envolverem vazões muito superiores às utilizadas em sondagens, ressalta-se a necessidade de se prever, antes do início dos ensaios, sua ordem de grandeza. Esta previsão deverá permitir a escolha dos equipamentos mais adequados. No caso de ensaios de carga, deve também possibilitar a verificação de se a fonte de água disponível é suficiente, ou não, para a realização do ensaio.

6.2.5 Execução e acompanhamento do ensaio

A execução e o acompanhamento do ensaio pressupõem o preenchimento da planilha de título “Ensaio de permeabilidade em solos – Ensaios em poços”, apresentada no ANEXO III. A quantidade de água necessária para a realização do ensaio de carga envolve o volume para encher o trecho do ensaio no interior do poço, o volume para saturar o terreno no entorno do poço (para se atingir uma vazão constante) e o volume usado no ensaio propriamente dito (para garantir as medidas de vazão constante). A Figura 4 apresenta um

volume correspondente à vazão constante do ensaio, estimado a partir de um valor de permeabilidade compatível com as observações realizadas no terreno a ser ensaiado, para ensaios de infiltração com carga de um metro em poços de 1 e 2 m de diâmetro.

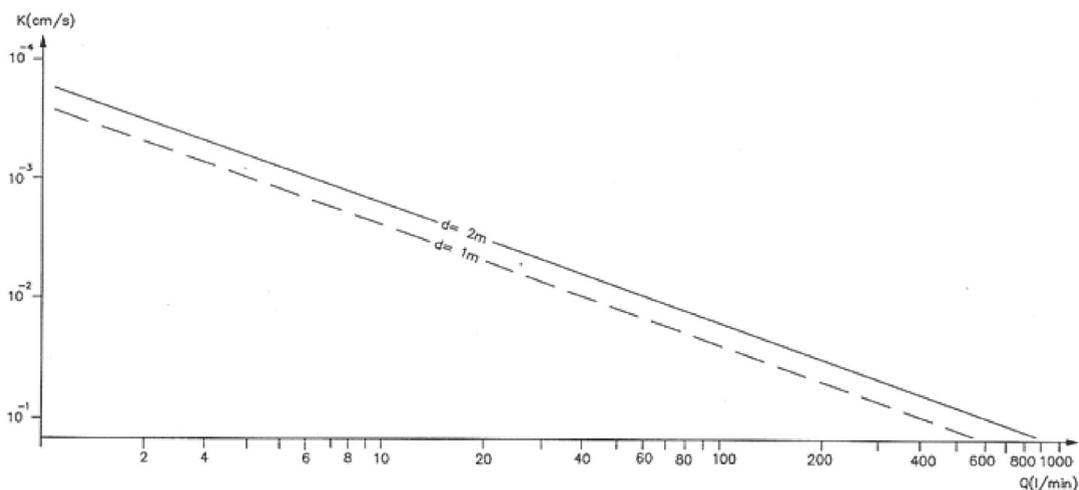


Figura 4 – Estimativa de volume correspondente à vazão constante do ensaio.

Analisando-se o gráfico da Figura 4, verifica-se, contudo que, excetuando-se o caso de solos muito permeáveis, a questão da previsão de volumes reside, predominantemente, no volume necessário para encher o poço até o nível desejado (Tabela 1).

Tabela 1 – Estimativa de volume de água necessário para encher um poço com uma altura de água de 1 m.

Diâmetro do poço (m)	Altura d'água (m)	Volume (L)
1	1	785
2	1	3.140

A forma de execução destes ensaios é semelhante à descrita para os ensaios correspondentes em sondagens, conforme ilustrado na Figura 15 (ANEXO I).

6.3 *Ensaio em cavas*

MATSUO (1953), desenvolveu este tipo de ensaio para cavas regulares, estabelecendo uma metodologia simples para sua realização. As cavas utilizadas segundo este método são rasas (< 2 m), com forma regular e seção trapezoidal. Dada a divulgação que este ensaio teve, passou a ser conhecido, no meio técnico, por ensaio Matsuo. As orientações apresentadas a seguir dizem respeito a este tipo de ensaio*

6.3.1 *Preparação do local e da cava a ser ensaiada*

No local do ensaio, o terreno deve ser escavado até o horizonte do solo a ser ensaiado. A escavação deve prever uma área com dimensões apropriadas, nivelada e protegida por drenagem superficial.

Nesta área delimitada é aberta a cava. Recomenda-se, como no caso dos poços, escarificar suas paredes e fundo.

Para a determinação e controle do nível freático na área do ensaio, sugere-se a execução de uma sondagem a trado nas proximidades da cava, a uma distância de aproximadamente 5,0 m, por exemplo.

6.3.2 *Equipamentos e ferramentas*

Podem ser usados os mesmos descritos para os ensaios em sondagens. Dependendo das dimensões da cava e da permeabilidade do solo, a principal preocupação reside na previsão dos volumes de água necessários para atender as absorções de água durante a realização do ensaio.

6.3.3 *Execução e acompanhamento do ensaio*

A evaporação d'água durante o ensaio pode alcançar taxas elevadas, suficientes para influir nos resultados. É necessário, portanto, medi-la durante a realização do ensaio, o que pode ser feito por meio de um recipiente de seção conhecida. Para se obter a medida de evaporação, coloca-se, ao início do ensaio, um volume d'água conhecido no recipiente e, ao terminar o ensaio,

* Da mesma forma que o ensaio em poços, (vide 6.2.1), normas de segurança do MTE restringem a utilização desse tipo de ensaio a até 2 m de profundidade (ABGE, 2024b).

mede-se o volume d'água remanescente. A diferença entre o volume de água inicial e o volume final fornece o volume de água evaporado. A partir do volume de água evaporado, do tempo de ensaio e da área de evaporação (do recipiente), pode-se calcular a taxa de evaporação por unidade de área, em função do tempo.

A taxa de evaporação permite calcular a quantidade de água evaporada da cava durante o ensaio. Este valor deve ser descontado das vazões de infiltração medidas.

O ensaio é executado em duas etapas (Figura 16 do ANEXO I):

a) Primeira etapa

A execução e o acompanhamento do ensaio pressupõem o preenchimento da planilha de título “Ensaio de permeabilidade em solos – Ensaio em cava -Tipo Matsuo”, apresentada no ANEXO III.

Encher cuidadosamente a cava (de modo a evitar a colocação de partículas de solo em suspensão) até o ponto de referência, utilizando-se mangueira acoplada a um hidrômetro. A cava deve ser preenchida com água até atingir o nível d'água do ensaio (ponto de referência). Este nível d'água deve ser mantido constante durante todo o transcorrer do ensaio.

Durante o ensaio, deve-se fazer a escarificação cuidadosa da cava, de tempos em tempos (10 minutos, por exemplo), de modo a evitar que a decantação de partículas finas possa impermeabilizar o fundo da cava.

Durante o ensaio é necessário o acompanhamento das vazões infiltradas por meio de um gráfico de vazão, ou volume acumulado x tempo, para auxiliar na decisão do término do ensaio. Para as primeiras leituras, o intervalo de tempo deve ser da ordem de 5 minutos e esse intervalo de tempo deve ser adaptado às variações de vazão obtidas no decorrer do ensaio. A 1ª etapa do ensaio será concluída quando a vazão se mantiver aproximadamente constante durante certo intervalo de tempo.

b) Segunda etapa

Com a cava novamente seca, deve-se proceder à ampliação dela, tomando-se os mesmos cuidados que foram tomados quando da sua abertura inicial.

Realiza-se novamente o ensaio, agora na cava ampliada conforme a Figura 5, e da mesma maneira como descrito na Primeira etapa.

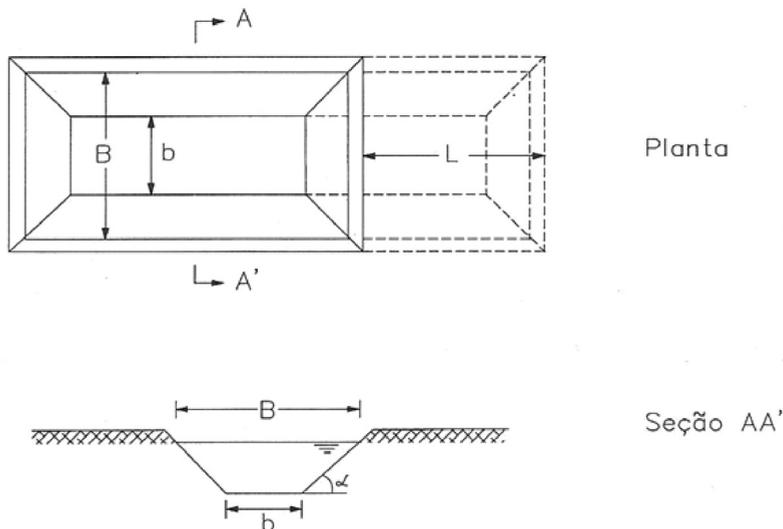


Figura 5 – Ampliação da cava para execução de ensaio de permeabilidade tipo Matsuo.

7 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

São apresentadas as fórmulas selecionadas para o cálculo do coeficiente de permeabilidade, organizadas por método de prospecção (sondagens, poços e cavas), bem como figuras esquemáticas para apresentar as variáveis utilizadas nas fórmulas de cálculo.

Cumprе relembrar as considerações feitas anteriormente (Item 5.4 – Validade dos ensaios) dessa Norma, a respeito das limitações da aplicação das fórmulas. As figuras com o esquema para a execução dos ensaios e as fórmulas de cálculo são apresentadas no ANEXO I:

7.1 Ensaios em sondagens

Figura 12 (ANEXO I) – Ensaios de infiltração e rebaixamento em sondagens.

Figura 13 (ANEXO I) – Ensaios de infiltração e bombeamento em sondagens.

Figura 14 (ANEXO I) – Ensaio de rebaixamento e recuperação em sondagens.

7.2 Ensaio em poços de investigação

Figura 15 (ANEXO I) – Ensaio de infiltração, rebaixamento, recuperação e bombeamento em poços de investigação

7.3 Ensaio em cavas

Figura 16 (ANEXO I) e Figura 21A (Anexo II) – Ensaio em cavas.

Visando facilitar a determinação do valor de K, apresentam-se, no ANEXO II, ábacos para os casos de ensaios mais frequentes (Figura 17 a Figura 21).

7.4 Planilhas

No ANEXO III são apresentadas as planilhas para o registro e acompanhamento da execução dos ensaios no campo

8 SLUG TEXT

O *Slug Test* ainda não possui terminologia correspondente em português. Trata-se de uma técnica de ensaio que mede a condutividade hidráulica do terreno natural ou antrópico, geralmente executada em poços de pequeno diâmetro (até 2”), em piezômetros e em trechos de sondagem isolados por obturadores.

O ensaio consiste em provocar a variação instantânea do nível d’água no interior de um poço. Embora tal variação possa ser provocada por injeção ou bombeamento instantâneo de água no poço, o método mais frequentemente utilizado para provocar tal variação é pela inserção, ou retirada, de um cilindro sólido, denominado, popularmente, de “tarugo”. Quando o cilindro é inserido, ocorre uma elevação instantânea do nível d’água no interior do poço. Passa-se, imediatamente, a medir o tempo necessário para o rebaixamento desse nível d’água até o retorno ao nível d’água original, ou próximo a ele. Inversamente, quando o cilindro sólido é retirado, ocorre um rebaixamento instantâneo do nível d’água e, ao contrário da situação anterior, passa-se então a medir o tempo de recuperação desse nível. O volume deslocado equivale à

adição, ou à retirada, de água do poço, sendo esta proporcional ao volume do cilindro sólido (Figura 6).

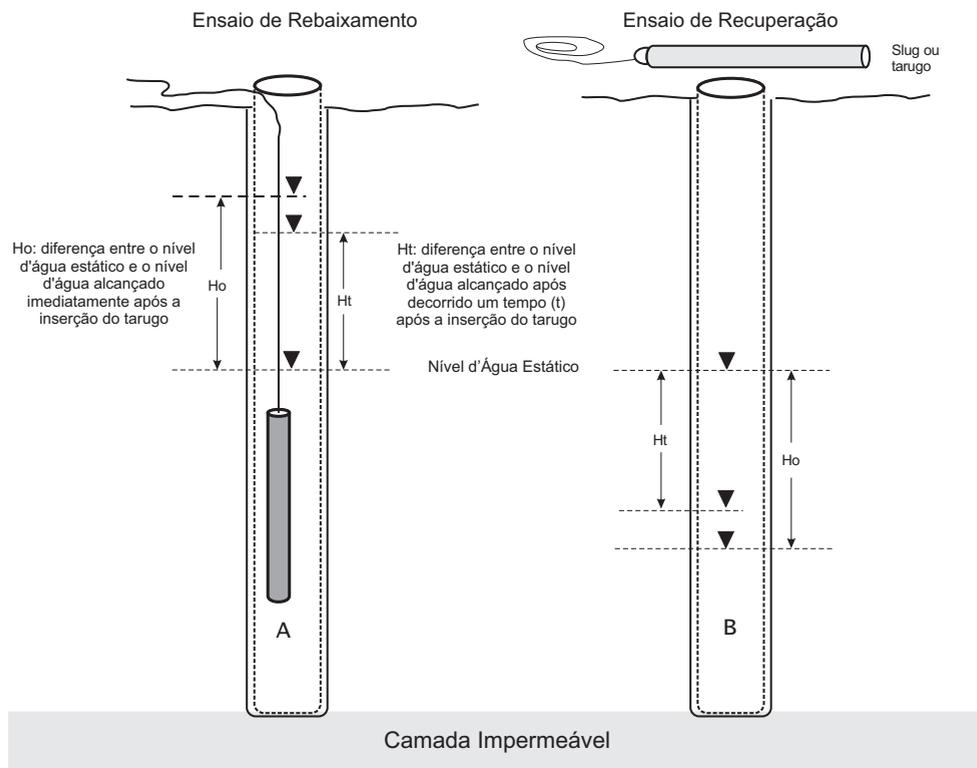


Figura 6 – Variação instantânea do nível d'água no interior de um poço ocasionado pela inserção ou retirada de um cilindro sólido ("tarugo").

8.1 Vantagens e desvantagens do método

O método apresenta as seguintes vantagens:

- Simples, rápido e de baixo custo;
- Apresenta resultados compatíveis com outros métodos;
- Adequado para uma ampla gama de furos de pequeno diâmetro;
- Gera quantidade reduzida de efluentes;
- Não é necessário inserir ou extrair água;
- Não necessita de equipamentos de bombeamento;

- Pode ser realizado por apenas uma pessoa, caso seja utilizado transdutor de pressão;
- É possível, em um mesmo poço, fazer os dois tipos de ensaios, de rebaixamento e recuperação, um sucessivo ao outro.

Como desvantagens, pode-se mencionar:

- Realizado apenas em poços de pequeno diâmetro (até 2”), como piezômetros convenientemente instalados (com pré-filtro e filtro), ou em trechos de sondagens isolados por obturadores;
- O raio de influência do ensaio é de apenas 1m a partir do poço;
- Não permite a determinação do armazenamento do aquífero;
- Para aquíferos muito permeáveis é necessário utilizar transdutores de pressão;
- Necessita que o furo esteja muito bem desenvolvido.

8.2 Equipamentos e ferramentas

Para a execução do ensaio *slug test* são necessários os seguintes equipamentos e materiais:

- Cilindro de PVC sólido, ou outro material, com volume conhecido, preenchido com areia, argamassa ou outro material, hermeticamente fechado, para que não flutue. Para poços de monitoramento de 2” (duas polegadas) de diâmetro e filtros totalmente submersos, é usual utilizar “tarugos” de 1,5” (uma polegada e meia) de diâmetro e 1 m de comprimento. Caso necessário, é recomendável que o cilindro sólido seja dimensionado em função do diâmetro do poço e da coluna d’água disponível no interior do poço;
- Cabo resistente (corda de náilon, cabo de aço fino etc.) para introdução e retirada do cilindro sólido do interior do poço;
- Conjunto de ferramentas usuais para ensaios de campo (chaves de grifo, chaves de fenda, canivete, lanternas etc.).

Dependendo da forma de medição do nível d'água no interior do poço, serão ainda necessários:

a) Para ensaios utilizando medidor de nível d'água:

- Cronômetro;
- Medidor de nível d'água com cabo graduado (fita métrica com uma pequena sonda acoplada que, quando entra em contato com a água, ativa um alarme sonoro e/ou luminoso, denominado pio elétrico ou pio sonoro);
- Prancheta;
- Planilha para registro de dados;
- Caneta, lápis e borracha;
- Calculadora simples.

b) Para ensaios utilizando transdutores de pressão:

- Transdutor de pressão e cabo de transmissão ou Unidade de Transmissão de Dados Remoto;
- Sistema para recepção de dados: computador portátil com sistema de aquisição de dados instalado, telefone (para recepção por SMS) ou outro dispositivo equivalente.

8.3 Execução dos ensaios

Recomenda-se realizar três ensaios por poço/piezômetro para se obter um valor mais representativo da condutividade hidráulica do meio ensaiado.

Na execução do ensaio *slug test* devem ser adotados os seguintes procedimentos:

- Efetuar o levantamento dos dados técnicos dos poços/piezômetros/ trechos de ensaio, tais como, profundidade, diâmetro da perfuração e do revestimento, posição dos obturadores, descrição geológico – geotécnica dos materiais perfurados, altura do nível d'água no interior do poço (nível estático), profundidade do topo e base da(s) seção(ões) filtrante(s), profundidade da base impermeável do

aquífero, ou seja, o perfil geológico e o perfil construtivo do poço/piezômetro);

- Efetuar a limpeza e o desenvolvimento do poço/piezômetro/trechos a serem ensaiados com antecedência mínima de 24h antes do início do ensaio;
- Averiguar a existência de possíveis interferências nas proximidades, como, poços em regime de bombeamento, redes de água, esgoto, influência de maré etc. e demais possíveis interferências que possam ocasionar eventuais variações no nível d'água local;
- Certificar-se de que o nível da água no interior do poço/piezômetro/trechos de ensaios está estabilizado;
- Calcular o volume do cilindro sólido para estimar a altura aproximada da elevação da coluna d'água no interior do poço.

8.3.1 Ensaio com medidor de nível d'água

Para a execução do ensaio *slug test* utilizando-se medidor de nível d'água, devem ser adotados os seguintes procedimentos:

- Medir o nível d'água estático no interior do poço/ piezômetro/ trechos de ensaio;
- Inserir o cilindro sólido instantaneamente no poço/ piezômetro/ trechos de ensaio junto com o medidor de nível d'água. Visto que as medidas de nível d'água devem ser iniciadas imediatamente após a inserção do cilindro sólido no poço, o sensor elétrico (pio elétrico ou pio sonoro) deve ser posicionado logo acima do cilindro sólido, mas nas proximidades da altura estimada para a elevação da coluna d'água no interior do poço;
- A primeira medida de nível d'água, realizada imediatamente após a inserção do cilindro sólido no interior do poço, e admitida como instante de equilíbrio, deve ser adotada como o instante de tempo zero (t_0);
- Medir o rebaixamento do nível d'água no interior do poço/piezômetro/trechos de ensaios em intervalos de tempo curtos no início

do ensaio e em espaços de tempo mais longos ao final, a exemplo do indicado para ensaios análogos em furos de sondagem;

- Acompanhar o rebaixamento do nível d'água até que este alcance valor próximo ao nível estático inicial. É recomendável que o nível d'água no interior do poço/piezômetro/ trechos de ensaios fique, no máximo, cerca de 10% acima do nível estático inicial (corresponde a 90% da variação da carga hidráulica instantânea inicial, ou seja, a diferença entre o nível d'água estático e o nível d'água após o rebaixamento);
- Quando o nível d'água retornar ao nível estático inicial ou tiver rebaixado cerca de 90% em relação à variação da carga hidráulica inicial, deve-se retirar o sensor elétrico e, logo após, retirar instantaneamente o cilindro sólido do interior do poço;
- Como resposta, o nível d'água no interior do poço irá rebaixar instantaneamente. Imediatamente, deve-se inserir o sensor até as proximidades da profundidade anteriormente estimada e medir o nível d'água em intervalos de tempo curtos no início do ensaio e em espaços de tempo mais longos ao final (aproximadamente nos mesmos tempos utilizados para o ensaio de carga), até o nível d'água retornar à sua posição original (nível estático) ou, pelo menos, apresentar recuperação de 90% em relação à variação da carga hidráulica inicial.

São necessárias três pessoas para a realização do ensaio. A primeira é responsável pela inserção e retirada do sensor elétrico no interior do poço/piezômetro/trechos de ensaios, bem como pela leitura do nível d'água. A segunda, pela inserção e retirada do cilindro sólido do interior do poço/ piezômetro/ trechos de ensaios. A terceira deve preencher a ficha de ensaio, cronometrar o tempo, anotar os dados obtidos e definir o momento em que o ensaio pode ser finalizado (mediante o cálculo do rebaixamento e/ou recuperação do nível d'água no poço, ou mediante um gráfico de rebaixamento e/ou recuperação x tempo, para auxiliar na definição da conclusão do ensaio).

Recomenda-se que os registros dos níveis d'água sejam em centímetros, em função do curto intervalo de tempo que é necessário no início do ensaio.

8.3.2 Ensaio com transdutor de pressão

Para a execução do ensaio *slug test* utilizando-se transdutor de pressão, devem ser adotados os seguintes procedimentos:

- O transdutor de pressão deve ser inserido no interior do poço antes da inserção do cilindro sólido, e deve ficar posicionado abaixo deste, mas nas proximidades do nível d'água a ser alcançado após a retirada do cilindro sólido para realização do ensaio de rebaixamento (Figura 7);

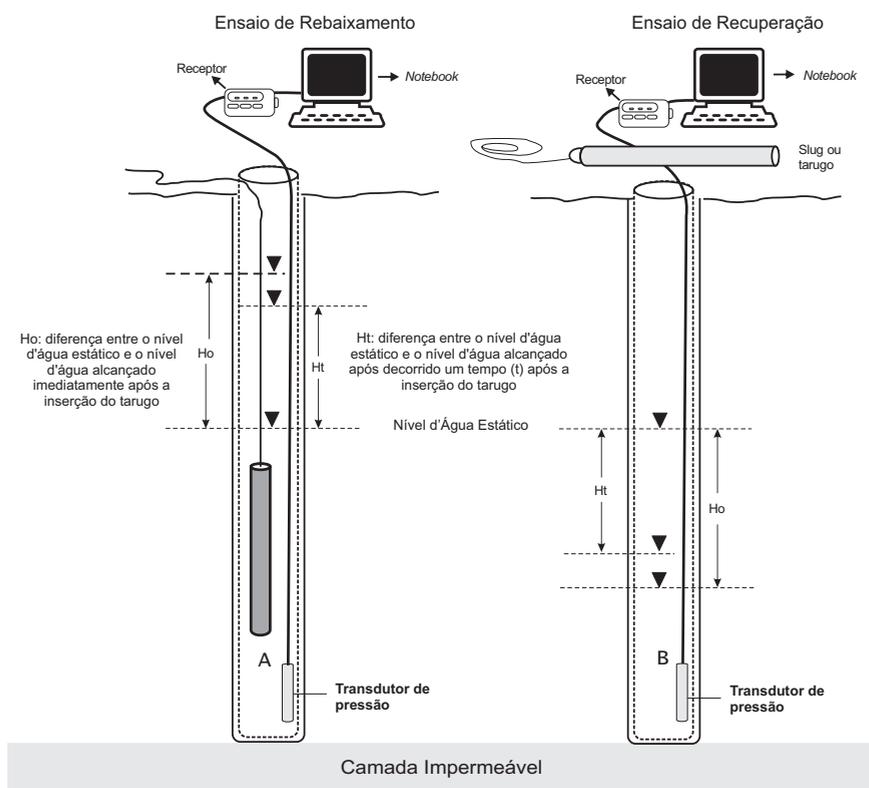


Figura 7 – Ensaio *slug test* utilizando-se transdutor de pressão.

Fonte: modificado de Pede (2004).

- Inserir instantaneamente o cilindro sólido no interior do poço/ piezômetro/trechos de ensaio;

- As medidas do rebaixamento do nível d'água devem ser obtidas por meio de um sistema de aquisição de dados, cujo intervalo de amostragem deve ser preliminarmente definido;
- Quando o nível d'água retornar ao nível estático inicial ou tiver rebaixado cerca de 90% em relação à variação da carga hidráulica inicial, deve-se retirar instantaneamente o cilindro sólido do interior do poço;
- Na sequência, devem ser realizadas as medidas da recuperação do nível de água do poço, obedecendo-se o mesmo procedimento relativo ao rebaixamento com o uso do sistema de aquisição de dados;
- Quando o nível d'água retornar ao nível estático inicial ou apresentar recuperação de, pelo menos, 90% em relação à variação da carga hidráulica inicial, o ensaio pode ser considerado encerrado.

8.4. Interpretação dos ensaios

Para cálculo da condutividade hidráulica a partir do ensaio *slug test*, estão disponíveis soluções analíticas desenvolvidas por vários autores, sendo as mais usadas e indicadas as desenvolvidas por Hvorslev (1951), Cooper et. al. (1967) e Bouwer e Rice (1976).

As notações de todas as variáveis utilizadas nas ilustrações e nas equações estão apresentadas ao final desse capítulo (item 8).

8.4.1 Método de Hvorslev

Esse método é aplicado para aquíferos livres e confinados, extensão assumida como praticamente infinita, meios homogêneos, isotrópicos e anisotrópicos, de espessura uniforme, nível d'água horizontal, poços/piezômetros/trechos de ensaio total ou parcialmente penetrantes, fluxo radial horizontal e com a lâmina d'água recobrimdo totalmente os filtros.

O método apresenta como restrições e/ou limitações:

- O comprimento do poço deve ser maior do que oito vezes o raio interno do poço. Normalmente, essa restrição não é problema, a não ser para poços muito rasos ou de diâmetros muito grandes;

- O método ignora os efeitos de armazenamento compressivo (aquífero confinado);
- É assumido que o aquífero tem uma espessura infinita e o fator de espessura saturada não é considerado (aquífero livre).

Os elementos para cálculo do ensaio estão apresentados na Figura 8 e na planilha do Anexo III.

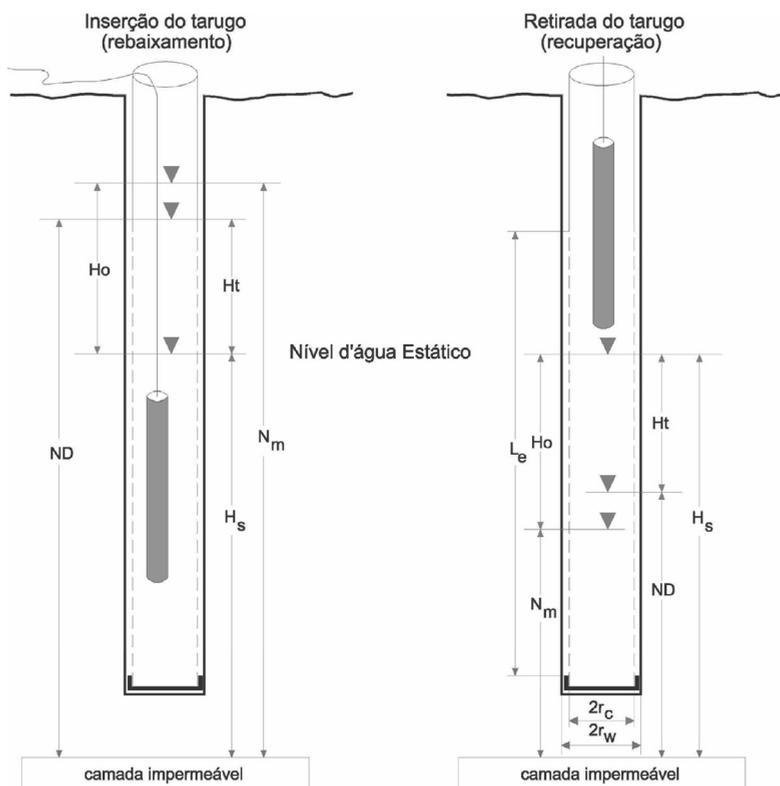


Figura 8 – Elementos para cálculo do ensaio *slug test*.

O procedimento para o cálculo do ensaio envolve:

- Determinação da relação H_t/H_0 para os vários instantes de tempo t , depois que o cilindro sólido é introduzido, ou removido;
- Plotar em um gráfico semilogarítmico a relação H_t/H_0 versus o tempo t decorrido desde o início do ensaio (em minutos), sendo a

relação H_t/H_0 , em escala logarítmica, plotada no eixo das ordenadas e t , em escala decimal, plotada no eixo das abscissas (Figura 9);

- Traçar uma linha reta, interpolada entre os pontos plotados no gráfico, conforme a Figura 9;

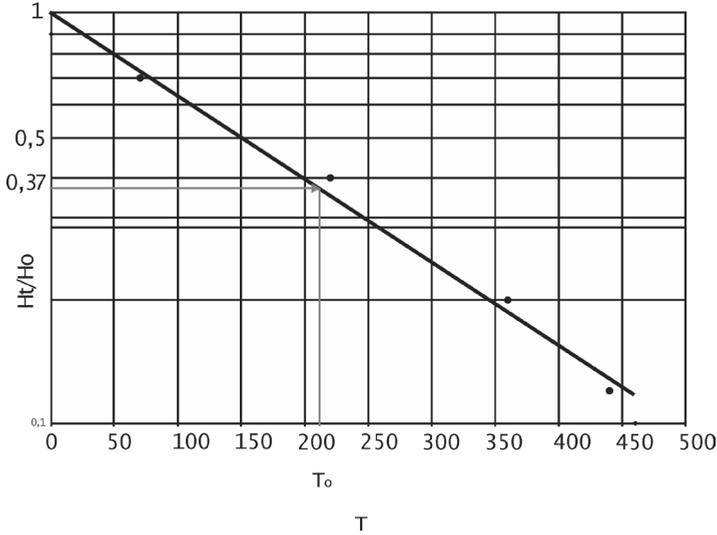


Figura 9 – Reta interpolada entre pontos plotados com a relação H_t/H_0 versus o tempo t .

- Obter, no eixo do tempo, o valor correspondente a 0,37 do valor da relação H_t/H_0 , correspondente ao tempo de resposta básico, denominado T_0 (Figura 9);
- Substituir o valor do tempo de resposta básico (T_0) obtido na equação abaixo, para calcular a condutividade hidráulica;

$$K = r_c^2 \ln\left(\frac{L_e}{r_w}\right) / 2L_e T_0$$

8.4.2 Método de Bouwer e Rice

Esse método é aplicado para aquíferos homogêneos, isotrópicos, de extensão praticamente infinita, com espessura uniforme e nível de água horizontal. A perda de carga é negligenciável com a entrada da água no poço. O

fluxo na franja capilar pode ser ignorado e o rebaixamento do nível d'água ao redor do poço é desprezível. Utilizado para poços totalmente ou parcialmente penetrantes em aquíferos livres. Pode ser usado também para aquíferos semi-confinados que recebem água do aquífero adjacente (superior ou inferior), esse fenômeno é denominado drenança.

A geometria e notações de um poço parcialmente penetrante, perfurado em um aquífero livre, após a introdução de cilindro sólido e elevação do nível d'água é apresentada na Figura 10.

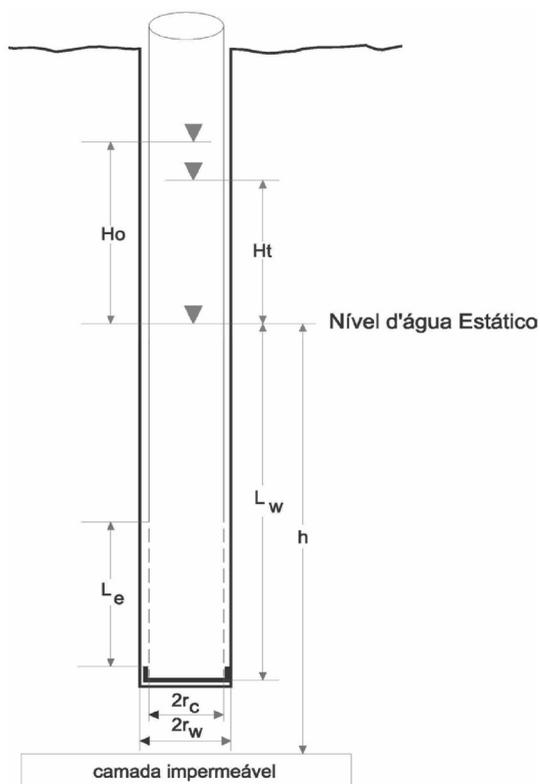


Figura 10 – Geometria e notações de um poço parcialmente penetrante em um aquífero livre, após a elevação do nível d'água.

Para o cálculo da condutividade hidráulica é utilizada a equação geral abaixo:

$$K = [r_c^2 \ln(R_c/r_w)/2L_c](1/t)\ln(H_o/H_t)$$

Para avaliar R_c , expressa em termos de $\ln(R_c/r_w)$, são apresentadas, a seguir, as equações para poços parcialmente e totalmente penetrantes, as quais foram obtidas a partir de resultados analógicos.

Para poços parcialmente penetrantes:

$$\ln(R_c/r_w) = \{1,1/\ln(L_w/r_w) + A+B\ln[(h-L_w)/r_w]/(L_c/r_w)\}-1$$

Para poços totalmente penetrantes:

$$\ln(R_c/r_w) = [1,1/\ln(L_w/r_w) + C/(L_c/r_w)]-1$$

A, B e C são coeficientes adimensionais determinados em função de L_e/r_w , utilizando o ábaco da Figura 11.

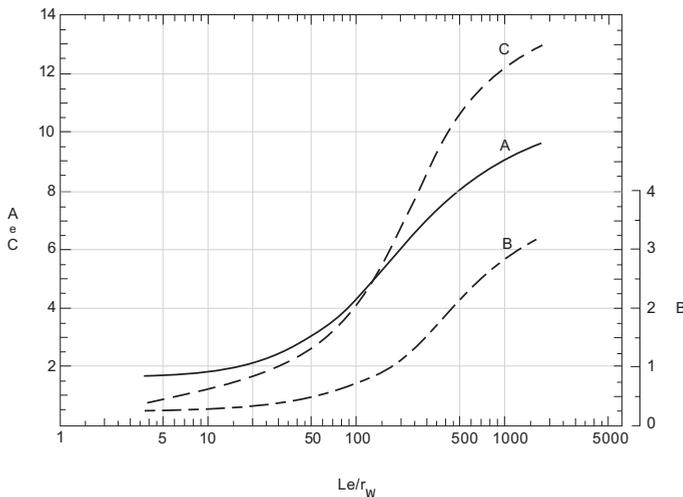


Figura 11 – Determinação de A, B e C em função de L_e/r_w .

Assim como no método de Hvorslev (1951), os dados de campo devem fornecer uma linha reta quando plotados como H_t/H_o versus t. Os valores que se ajustam a uma linha reta são aqueles a serem considerados nas análises, tal como obtido acima, no método Hvorslev.

8.5 Problemas mais comuns na execução e interpretação de ensaios

Algumas situações atípicas podem ser observadas no momento da interpretação dos ensaios. As mais comuns são apresentadas a seguir:

- a) anomalias devido à drenagem do pré-filtro: as anomalias observadas pela ocorrência de trechos caracterizados por duas linhas retas no gráfico $\log H_t/H_0$ versus t foram atribuídas a duas possíveis situações:
 1. drenagem retardada através do pré-filtro;
 2. formação de zonas desenvolvidas ao redor do poço que podem ocorrer logo após o rebaixamento. A esse fenômeno Bouwer (1989) denominou de double straight line effect. Caso seja observado, recomenda-se consultar Bouwer (1989), Palmer e Paul (1987), Fetter (2001) e Butler (1997).
- b) Influência do diâmetro do poço: o método de Bouwer e Rice (1976) é aplicável para qualquer diâmetro e profundidade de furo, desde que as dimensões do sistema estejam adequadas à aplicação do método. Furos de pequeno diâmetro fornecem valores de K válidos apenas para uma pequena região ao redor do poço e, portanto, são mais sensíveis à variabilidade espacial. Portanto, quanto maior r_w e L_e , maior a porção do aquífero para a qual o valor K será determinado. Para aquíferos estratificados, são recomendados valores de L_e menores, ou seja, instalados em apenas uma camada litológica. Assim, é possível obter maiores informações acerca da distribuição vertical de K nos diferentes tipos de solos, com ensaios efetuados em diferentes profundidades.
- c) Velocidade de variação do nível d'água no poço: se o nível d'água em um poço/furo submetido a um *slug test* sobe ou desce com uma velocidade pequena, ou seja, o aquífero é pouco permeável, medidores de nível d'água convencionais e um cronômetro podem ser suficientes para o ensaio. Entretanto, para aquíferos de alta permeabilidade, quando a elevação/descida do nível d'água é

rápida, recomenda-se o emprego de transdutores de pressão. Além disso, recomenda-se a consulta a Bouwer e Rice (1976) para a compreensão de outros detalhes envolvidos na interpretação.

- d) Acréscimo inicial de carga: para estudos mais detalhados visando à análise da condutividade hidráulica, avalia-se o acréscimo inicial de carga H_0 , representado pelo deslocamento da coluna de água, sendo este um parâmetro muito importante e sensível na análise dos dados. Teoricamente, é simples de avaliar se um cilindro sólido de volume conhecido é introduzido instantaneamente sem turbulência, como apresentado por Pandit e Miner (1986). Entretanto, na prática, é impossível descer um cilindro sólido abaixo do nível d'água instantaneamente, sem provocar turbulência. O acréscimo de carga inicial é afetado pela permeabilidade e pelo armazenamento do meio que é testado. Outras dificuldades práticas como *drenanças* (entradas ou saídas de fluido não esperadas) e características de construção do poço de monitoramento/piezômetro/trecho de ensaio também interferem no valor do acréscimo de carga inicial. Em materiais relativamente impermeáveis, os valores dos acréscimos de carga inicial podem estar razoavelmente próximos do máximo valor computado teoricamente, desde que o cilindro sólido seja introduzido no furo tão rapidamente quanto possível. Contudo, em materiais muito permeáveis, é mais difícil se obter o acréscimo de carga inicial, uma vez que esse acréscimo de carga sofre dissipação muito rapidamente durante o tempo necessário para a introdução do cilindro sólido e para a dissipação da turbulência. Para aquíferos livres, os acréscimos de carga inicial são calculados pelo Método da Regressão de Bouwer e Rice (1976) e mais adequadamente pelo Método de Translação de Peck *et al* (1980, apud Pandit e Miner, 1986). Nesse método, o acréscimo de carga inicial é aquele do instante que corresponde ao início do decaimento constante exponencial observado no registro de carga feito por transdutores versus o tempo.

- e) O processo de ajuste de curvas: para reduzir a subjetividade envolvida no processo de ajuste da curva de dados com as curvas-tipo dos modelos matemáticos analíticos, deve ser utilizada a função matemática dos mínimos erros quadrados. Essa função indica a qualidade do ajuste entre a curva de dados H_t/H_0 versus t e a curva tipo, de modo automatizado, com o emprego de *softwares* específicos para tal fim.

8.6 Softwares e planilhas eletrônicas para interpretação

Atualmente, o mercado dispõe de diversos softwares e planilhas eletrônicas, desenvolvidos especificamente para apoiar a interpretação dos ensaios *slug test*.

8.7 Notações utilizadas nas figuras e fórmulas para cálculo da condutividade hidráulica do ensaio *Slug Test*

As notações utilizadas nas figuras e fórmulas para cálculo do ensaio *slug test* são:

K – Condutividade hidráulica [L/T]

L_e – comprimento da seção filtrante [L]

r_c – raio interno do revestimento do poço [L]

r_w – raio da perfuração [L]

T_0 – tempo de resposta básico [T]

NE – nível estático da água subterrânea [L]

ND – nível dinâmico da água subterrânea [L]

N_m – nível d'água mínimo/máximo atingido após a inserção/retirada do cilindro sólido do poço [L]

H_0 – diferença vertical entre o nível d'água no poço e o nível estático no instante de tempo T_0 [L]

H_t – diferença vertical entre o nível d'água no poço e o nível estático no instante de tempo t [L]

T_0 – Instante de tempo inicial, logo após introdução do cilindro sólido [T]

t – Instante de tempo qualquer durante o rebaixamento do nível d'água [T]

L_w – distância vertical entre o nível estático e a profundidade final do poço [L]

h – espessura saturada do aquífero [L]

R_e – raio efetivo no qual H_t é dissipada no sistema de fluxo [L]

\ln – logaritmo neperiano

9 ENSAIO DE INFILTRAÇÃO POR ANEL DUPLO

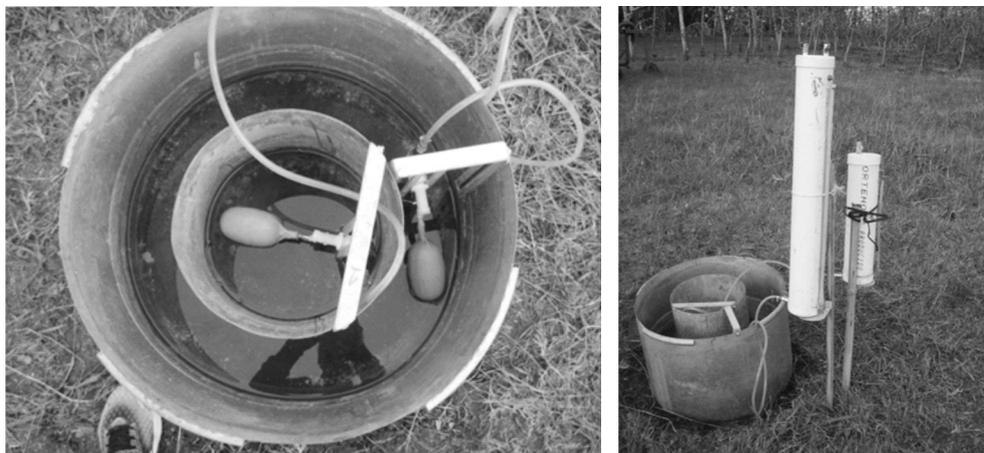
O método, também denominado de Ensaio com Infiltrômetro de Anel Duplo, permite a medição da “taxa de infiltração” em solos. Seu uso tem aplicações amplas: estudos sobre a disposição de resíduos líquidos, instalação de fossas sépticas, projeto de sistemas de irrigação e drenagem, estimativa de perda d'água de canais ou reservatórios, entre outros. A descrição do método, apresentada a seguir, tem como base a Norma ASTM D3385-18 (2018) e considera algumas particularidades de sua aplicabilidade no Brasil.

O método se mostra útil na medição, em campo, da denominada “taxa de infiltração” da água em solos, acima do nível freático (na zona não saturada) e é particularmente aplicável em solos de grãos finos relativamente uniformes, com ausência de argilas muito plásticas e de partículas do tamanho de cascalho, e com resistência moderada a baixa à penetração dos anéis. Ele pode ser conduzido na superfície do solo ou em cavas, em solo descoberto ou com vegetação, dependendo das condições para as quais a sua aplicabilidade é desejada. O teste deve ser realizado em local nivelado, com área aproximada de 3 x 3 m, para permitir resultados representativos das condições locais.

O ensaio é recomendado para solos com permeabilidade entre 10^{-2} e 10^{-6} cm/s (não para solos secos ou rígidos que podem fraturar quando os anéis forem instalados), sendo que o solo diretamente abaixo da zona de teste deve ter taxas de fluxo iguais ou maiores que a zona de teste. Para ensaios em solos argilosos de granulação fina, com taxas de infiltração na faixa de 10^{-5} a 10^{-8} cm/s, recomenda-se utilizar como referência o método de anel duplo selado, dado pela norma ASTM D5093—15e1 (2015).

9.1 Procedimentos para a realização do ensaio

O método do infiltrômetro de anel duplo consiste em cravar no solo dois cilindros abertos (com diâmetro de 300 mm e 600 mm cada, e altura de 500 mm), um dentro do outro, encher os anéis parcialmente com água e, em seguida, manter o nível constante do líquido. O objetivo do anel externo é promover o fluxo vertical unidimensional abaixo do anel interno. O volume de água adicionado ao anel interno, para manter constante o seu nível, é o volume de água que se infiltra no solo. Esse volume, infiltrado durante os intervalos de tempo, é convertido em uma velocidade de infiltração acumulada (cm/h). A velocidade de infiltração acumulada média é equivalente à taxa de infiltração. A ilustração abaixo ajuda a entender o procedimento.



À esquerda observam-se os anéis interno e externo, com o sistema de boias para a manutenção da carga constante. À direita, se observa o arranjo geral do dispositivo, com os sistemas de tubos alimentadores e de leitura externa.

Etapas para a realização do ensaio:

- 1) Insira o anel externo no solo (em posição vertical), evitando o vazamento de fluido para a superfície, em torno do anel e mais profundo do que a profundidade do anel interno (a profundidade de cerca de 150 mm). O anel deve penetrar no solo uniformemente, evitando que ocorra fraturamento da superfície do solo.

- 2) Insira o anel interno no solo (em posição vertical), centralizado em relação ao anel externo e conduza a uma profundidade que evite o vazamento do fluido de teste para a superfície, em torno do anel (a profundidade entre 50 e 100 mm).
- 3) Insira água em ambos os anéis até a mesma profundidade desejada em cada anel. Não registre este volume inicial de líquido. Controle o nível com um medidor de profundidade, como uma fita de aço ou régua.
- 4) Mantenha o nível de água constante tanto no anel interno como no espaço anular entre os anéis (por controle manual do fluxo, uso de válvulas flutuantes de nível constante ou uso de tubo de Mariotte). Registre o volume de água que é adicionado para manter o nível de água constante no anel interno e no espaço anular, a cada intervalo de tempo:
 - a) solos médios: a cada 15 min na primeira hora, 30 min para a segunda hora, e 60 min durante o restante de um período de pelo menos 6 h, ou até obter uma taxa de infiltração relativamente constante;
 - b) materiais de alta permeabilidade: leituras mais frequentes;
 - c) materiais de baixa permeabilidade: o intervalo de leitura pode ser igual ou superior a 24 h.

O volume de água utilizado em qualquer intervalo de leitura não deve ser inferior a 25 cm³. Coloque uma cobertura sobre os anéis durante os intervalos entre as medições para minimizar a evaporação.

9.2 *Cálculo da velocidade ou taxa de infiltração*

A interpretação dos dados deve levar em consideração informações do local, tais como descrição pedológica, geológica e tátil-visual da textura (granulometria) do solo, compactação/consistência, densidade, resultados de ensaios de tipo Shelby e outras. Destaca-se que a taxa de infiltração obtida com este ensaio deve ser considerada como um índice indicativo das condições de

permeabilidade do solo, sendo que o método não é adequado para indicar o coeficiente de permeabilidade, assunto tratado nos tópicos anteriores da presente publicação.

O volume de água utilizado para manter a carga hidráulica constante, durante cada intervalo de tempo medido é convertido em velocidade de infiltração acumulada, para o anel interno e para o espaço anular, usando a seguinte equação:

$$V_I = \Delta Q_A / (A \cdot \Delta_t)$$

V_I = velocidade da infiltração acumulada da água (cm/h)

ΔQ_A = volume de água utilizado durante o ensaio para manter o nível de água constante (cm³)

A = área interna (cm²) (do anel interno ou do espaço anular, dependendo para qual deles se está calculando a infiltração acumulada)

Δ_t = intervalo de tempo (h)

Outra forma de calcular a infiltração de água no solo é utilizando a equação dada por Kostiakov (1932), onde os coeficientes e expoentes são determinados pelo método da regressão linear, aplicando-se a transformação logarítmica nos dados de tempo acumulado e infiltração acumulada. A velocidade de infiltração básica – VIB e a Infiltração acumulada podem ser determinadas a partir das seguintes equações (BERNARDO *et al.*, 2006, aplicado por PINHEIRO *et al.*, 2009 aplicado em área agrícola; MANCUSO *et al.*, 2014 aplicado em área urbana):

$$\text{Velocidade de Infiltração: } V_I = a.n.T^{n-1}$$

$$\text{Infiltração Acumulada: } I = aT^n$$

Pinheiro *et al.* (2009) calcularam a taxa de infiltração pela equação dada por Horton (1938), como apresentado abaixo:

$$f = fc + (fo - fc).e^{-\beta t}$$

f = taxa de infiltração (mm/hora)

f_c = taxa de infiltração em condição de saturação (mm/hora)

f_o = taxa de infiltração inicial (mm/hora)

t = tempo (horas)

β = parâmetro que depende do tipo de solo (constante)

Para maiores detalhes sobre o ensaio de infiltração com anel duplo consultar as referências bibliográficas, principalmente os artigos publicados no Brasil, como Mancuso *et al.* (2014), Pinheiro *et al.* (2009) e Bernardo *et al.* (2006). A principal referência estrangeira é a norma ASTM D3385-18, de 2018.

10 PADRONIZAÇÃO E DIGITALIZAÇÃO DE RESULTADOS

A presente “NORMA ABGE 107/2024: Ensaio de permeabilidade em solos utilizando furo de sondagens, poço, cava, *slug test* e anel duplo – Procedimentos para execução e interpretação de resultados”, bem como as demais da série 100, referentes às sondagens, justificam a importância do planejamento, da digitalização e da padronização das campanhas de sondagens e de ensaios, por meio de softwares disponíveis no mercado, que possibilitem o intercâmbio de informações numa linguagem comum, a qualquer tempo, entre os diversos atores envolvidos nos serviços, principalmente Investidor, Projetista, Fiscalização e Executor. Essa padronização em linguagem comum adquire importância ainda maior ao longo do tempo ao assegurar:

- a) rapidez e eficiência, mesmo que sejam alterados os entes envolvidos durante o período de vida do empreendimento, desde os estudos iniciais, projeto, construção, operação e até o descomissionamento; e,
- b) construção de bancos de dados.

A Figura 12 apresenta tabela com classificação padronizada da condutividade hidráulica (perda d’água específica/permeabilidade (K) utilizada na digitalização de resultados, perfis de sondagens (*logs*) e modelagem

geológico-geotécnica. Essa tabela, ou outra devidamente aprovada pelo Investidor ou Projetista, deve ser fornecida ao Executor e fazer parte das Especificações/Contrato dos trabalhos. A “Norma ABGE 109/2024 – Descrição e classificação de sondagens” contém tabelas com os demais parâmetros de sondagens a serem padronizados.

Sigla	Perda d'Água Específica - PE (L/min . m . kgf/cm ²)	Permeabilidade / Condutividade Hidráulica - K (cm/s)
H1	< 0,1	< 10 ⁻⁵
H2	0,1 – 1,0	10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁴
H3	>1,0 – 5,0	>10 ⁻⁴ – 5,0 x 10 ⁻⁴
H4	>5,0 – 10,0	>5,0 x 10 ⁻⁴ – 10 ⁻³
H5	> 10,0	> 10 ⁻³

Correlação aproximada entre PE e K.

Figura 12 – Classificação de condutividade hidráulica/permeabilidade

Fonte: Norma ABGE 109/2024 – Descrição e classificação de sondagens

11 PRINCIPAIS PARTICIPANTES

Editor: João Jeronimo Monticelli

Revisores: Malva Andrea Mancuso, Adalberto Aurélio Azevedo e Marcos Musso

Autores e colaboradores das versões anteriores:

1ª Edição. Autores: Antonio Manoel dos Santos Oliveira e Diogo Corrêa Filho, contando com a colaboração de Lindolfo Soares, João Francisco A. Silveira e Ricardo Fernandes da Silva. Boletim 04, 1ª Edição: “Orientações para a execução em campo de ensaios de permeabilidade em solos – 1ª Tentativa”. Foi editado pela ABGE em 1981. À época, a edição teve um caráter de “primeira tentativa”, e pretendeu-se que sugestões e críticas fossem feitas com o intuito de aprimorá-las, procedimento que já vinha acontecendo com o tradicional “Manual de Sondagens da ABGE.

2ª Edição. Autores: Antonio Manoel dos Santos Oliveira e Diogo Corrêa Filho, contando com a colaboração de Lindolfo Soares, João Francisco A. Silveira e Ricardo Fernandes da Silva. Boletim 04, 2ª Edição: : “Ensaios de

permeabilidade em solos – Orientações para sua execução no campo”. Editado pela ABGE, em 1996.

3ª Edição. Autores: Antonio Manoel dos Santos Oliveira e Diogo Corrêa Filho, contando com a colaboração de Lindolfo Soares, João Francisco A. Silveira e Ricardo Fernandes da Silva. Boletim 04, 3ª Edição: : “**Ensaio de permeabilidade em solos – Orientações para sua execução no campo**”. Editado pela ABGE. Apesar de citado como 3ª Edição, tratou-se de reimpressão da edição anterior, então esgotada.

4ª Edição. Comissão formada por Adalberto Aurélio Azevedo e José Luiz Albuquerque Filho (coordenadores) e colaboração de Anna Maciel Carvalho, Diogo Corrêa Filho, Gustavo Cavalli Ciotto, Luiz de Almeida Prata Bacellar, Malva Andrea Mancuso, Marcos Musso, Marilda Tressoldi e Monique Lizier. Boletim 04, 4ª Edição: Ensaio de permeabilidade em solos – Orientações para sua execução no campo”. Editado pela ABGE, em 2013. Essa publicação, com CD anexo, incluiu um capítulo destinado ao ensaio “*Slug Test*”.

5ª Edição. Comissão formada por Malva Andrea Mancuso (Coordenadora), José Luiz Albuquerque Filho e Marcos Musso, com a colaboração de Reinaldo Lorandi. Boletim 04, 5ª Edição: Ensaio de permeabilidade em solos – Orientações para sua execução no campo”. Essa publicação corresponde ao Livro 4, da publicação “Investigações geológico-geotécnicas – Guia de boas práticas”, editado pela ABGE, em 2021. A 5ª Edição revisa e atualiza os métodos de ensaios publicados na versão anterior, incorpora o método de “Infiltração por anel duplo” e faz uma breve introdução aos ensaios com o “Permeâmetro de Guelp”.

Edição da Norma ABGE 107/2024: Para a presente Norma, o Editor (João Jerônimo Monticelli) e os Revisores (Malva Andrea Mancuso, Adalberto Aurélio Azevedo e Marcos Musso) mantiveram o texto original do Boletim 04 publicado na 5ª Edição, reescrito segundo nova itemização, compatível às demais Normas e Diretrizes Normativas da ABGE. Consta, ainda, nessa Norma ABGE 107/2024, a limitação de profundidade de ensaio em poços de investigação e em cavas, sendo que profundidades maiores que 2 m exigem rigorosos cuidados técnicos e de segurança do trabalho.

Nota histórica

Para alcançar o objetivo proposto de publicação de um Boletim Técnico da ABGE sobre ensaios de permeabilidade em solos, a equipe responsável pela elaboração da 1ª Edição realizou um amplo levantamento bibliográfico dos vários métodos e formulações, seguindo-se como critérios de seleção:

- - a fundamentação teórica e a comprovação prática que deixassem a menor margem a dúvidas; e,
- - a simplicidade da aplicação das fórmulas.

Esta seleção foi apoiada por uma série de ensaios, programados e realizados no campo, possibilitando a comparação objetiva entre os diversos métodos. A análise dos diversos métodos não ficou limitada às fórmulas de cálculo dos coeficientes de permeabilidade, mas também se estendeu à definição do modo mais indicado à realização dos ensaios.

Para as edições subsequentes, os responsáveis pelas suas elaborações passaram a se basear, principalmente, na experiência acumulada pelo meio técnico e acadêmico. Em todas as edições, julgou-se ser de interesse para o meio técnico e acadêmico, não a fixação somente de diretrizes normativas rígidas, mas o estabelecimento de orientações que, ao servirem para o uso adequado da técnica, também deveriam permitir o seu contínuo aperfeiçoamento.

A formatação inicial, desde a primeira Edição, foi mantida nas edições seguintes e mesmo na presente Norma, que se utiliza de itemização condizente com as demais Normas ABGE.

12 REFERENCIAS NORMATIVAS E DIRETIVAS

É importante que os usuários das informações dessa Norma a cotejem e a harmonizem com outras sobre o mesmo tema, assim possibilitando maior consistência nas especificações, nos termos de referências e contratos e maior eficácia, segurança e economicidade nos estudos, projetos e obras. Dentre outras, as seguintes publicações devem ser levadas em consideração:

ABNT NBR 13.292/2021. **Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante – Método de Ensaio.** Versão Corrigida. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro: ABNT. 21/09/2021. ISBN 978-65-5659-786-7. 2021. 13p.

ABNT NBR 14.545/2021. **Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2ª Ed. 05/03/2021. Rio de Janeiro: ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 16p.

ASTM D5093-15e1. **Standard Test Method for Field Measurement of Infiltration Rate Using Double-Ring Infiltrometer with Sealed-Inner Ring.** American Society for Testing and Materials (ASTM). International Standards. 2015. 3p.

ASTM D3385-18 . **Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer.** American Society for Testing and Materials (ASTM). International Standards. 2018. 4p.

BUTLER, J.J.Jr. (1997). **The design, performance, and analysis of slug tests.** Lewis Publishers, London. 252p.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. (2022). **Norma Regulamentadora nº 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção Civil.** Acesso em 18.03.2024. Disponível em: www.gov.br

MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. (2024). **Norma Regulamentadora nº 22 – Segurança e saúde ocupacional na mineração.** Portaria MTE 225, de 26.02.2024 (revisão prevista para vigorar a partir de 28.05.2024). Acesso em 25.03.2024. Disponível em: <https://br.lisam.com/pt-br/lisam/news/normas-regulamentares-e-seguran%c3%a7a-no-trabalho-um-guia-completo/>.

NORMA ABGE 101/2023. **Sondagem a trado manual e trado oco.** São Paulo: ABGE, 2023. 22p.

NORMA ABGE 103/2023: **Sondagem à percussão.** São Paulo: ABGE, 2023. 78p.

NORMA ABGE 104/2023: **Sondagem rotativa e sondagem mista.** São Paulo: ABGE, 2023. 53p.

NORMA ABGE 102/2024: **Poço e trincheira – Investigação geológico=geotécnica e coleta de amostras deformadas e indeformadas.** São Paulo: ABGE, 2024. 30p.

NORMA ABGE 108/2024: **Ensaio de perda d'água sob pressão.** São Paulo: ABGE, 2024. 55p;

NORMA ABGE 109/2024: **Descrição e classificação de sondagens.** São Paulo: ABGE, 2024. 98p.

USBR (1951). **Permeability tests using drill holes and wells.** Bureau of Reclamation Geology Report nº G-97, January 3, 43p.

13 REFERÊNCIAS/LEITURAS RECOMENDADAS

ABGE. (2023a). NORMA ABGE 101/2023. **Sondagem a trado manual e trado oco.** São Paulo: ABGE, 2023. 22p.

ABGE. (2023b) NORMA ABGE 103/2023. **Sondagens à percussão.** São Paulo: ABGE, 2023.78p.

ABGE. (2023c). NORMA ABGE 104/2023. **Sondagens rotativas e mistas.** São Paulo: ABGE, 2023.53p.

ABGE. (2024a). NORMA ABGE 109/2024. **Descrição e classificação de sondagens.** São Paulo: ABGE, 2024. 98p.

ABGE. (2024b). NORMA ABGE 102/2024: **Poço e trincheira – Investigação geológico--geotécnica e coleta de amostras deformadas e indeformadas.** São Paulo: ABGE, 2024.30p.

ASTM. (2015). ASTM D5093-15e1. **Standard Test Method for Field Measurement of Infiltration Rate Using Double-Ring Infiltrometer with Sealed-Inner**

Ring. American Society for Testing and Materials (ASTM). International Standards. 3p.

ASTM. (2018). ASTM D3385-18 . **Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer.** American Society for Testing and Materials (ASTM). International Standards. 4p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. (2006). **Manual de Irrigação.** 08. ed. Viçosa: Editora UFV, 625p.

BOUWER, H. e RICE, R.C. (1976). *A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells.* Water Resources Research, 12(3): 423-428.

BOUWER, H. (1989). *The Bouwer and Rice slug test – an update.* Ground Water, 27 (3): 304-309.

BUTLER, J.J.Jr. (1997). *The design, performance, and analysis of slug tests.* Lewis Publishers, London. 252p.

CELLIGOI, A.; SOUZA, R. V. B.; MEDEIROS, H. R.; LAMÔNICA, D.; MACHADO, A. C. (2006). *Utilização do permeâmetro Guelph na determinação da condutividade hidráulica da zona não-saturada do aquífero freático nas imediações do lixão de Londrina – PR.* Anais do XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

COOPER, H.H.; BREDEHOEFT, J. D.; PAPADOULOS, I. S. (1967). *Response of a finite diameter well to an instantaneous change of water.* Water Resources Research Division, U.S. Geological Survey, Vol. 3, nº. 1. pp. 263-269.

COSTA, F. P. M.; MISHIYAMA, L. (2007). *Utilização do permeâmetro Guelph e penetrômetro de impacto em estudos de uso e ocupação dos solos em bacias hidrográficas.* Caminhos de Geografia.V.8, n.24 p 131-143. Disponível em www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html

COTTEREAU, C. *Determination pratique des caracteristiques hydrodynamiques d'un sol.* s.1. Compagnie National du Rhône, s.d.

ELETRICITÉ DE FRANCE (1970). **Essais d'eau en sondage-milieu poreux**. s.l. Direction de L' Equipement-Division Géologie Geotechnique.

FETTER, C.W. (2001). **Applied hydrogeology**. 4 ed, New Jersey, Prentice Hall, Merrill Publishing Company. 598 p.

GILB B., GAVARD, M. (1957). **Calcul de la perméabilité par dès essais d'eau dans les sondagens en alluvions**. Bulletin Technique de la Suisse Romande, v. 83, n. 4.

HARR, M.E. (1962). **Groundwater and seepage**. New York: McGraw-Hill Book.

HORTON, R.I. (1938). The interpretation and application of runoff plot experiments with reference to soil erosion problems, **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 3, p.340–349.

HVORSLEV, M.J. (1951). **Time lag and soil permeability in ground water observations**. U.S. Army Corps of Engineers. Waterway Experimentation Station, Bulletin 36.

JIMENEZ SALAS, J.A. (1951) **Determinación de la permeabilidad**. In: *Mecánica del Suelo*. s.n.t.: Apend. 6. 393p.

KOSTIAKOV, A.N (1932). The Dynamics of the Coefficient of Water Percolation in Soils and the Necessity for Studying It from a Dynamic Point of View for Purpose of Amelioration. **Society of Soil Science**, 14, p.17-21.

LUTHIN, J.N. (1967). **Drenaje de tierras agrícolas**. s.l. Centro Regional de Ayuda Técnica México.

MANCUSO, M.A.; FLORES, B. A.; ROSA, G.M.; SCHROEDER, J.K.; PRETTO, P.R. (2014). Características da taxa de infiltração e densidade do solo em distintos tipos de cobertura de solo em zona urbana. **Revista Monografias Ambientais (REMOA/UFSM)**. v.13, p.2890–2898.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO – MTE (2022): **Norma Regulamentadora nº 18** - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção Civil. 2022. Disponível no portal www.gov.br acesso em 18.03.2024.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO – MTE (2024): **Norma Regulamentadora nº 22** – Segurança e saúde ocupacional na mineração. Portaria MTE 225, de 26.02.2024 (revisão prevista para vigorar a partir de 28.05.2024). Disponível em <https://br.lisam.com/pt-br/lisam/news/normas-regulamentares-e-seguran%c3%a7a-no-trabalho-um-guia-completo/> acesso em 25.03.2024.

MATSUO, S. (1953). **A field determination of permeability**. In: Conferência Internacional de Mecânica de Solos, 3.

MELLO, V., TEIXEIRA, A.M. (1967). **Mecânica dos solos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Publicação nº 137.

OLIVEIRA, A.M.S.; SILVA, R.F.; FERREIRA JUNIOR, J. (1975). **Ensaio de perda d'água sob pressão – Diretrizes**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE, Boletim nº 2.

PASSINI & ALVARES – SOCIEDADE DE ADVOGADOS. (2021). **Parecer – Natureza das “Normas” a serem emitidas pela ABGE**. Relatório de consultoria jurídica, 13 p. Disponível em www.abge.org.br.

PALMER, C.D.; PAUL, D.G. (1987). **Problems in the interpretation of slug test data from fine-grained tills**. In: Proc. NWWA FOCUS Conf. Northwestern Ground Water Issues, National Water Well Association.

PANDIT, N.S. e MINER, R.F. (1986). **Interpretation of slug test data**. *GroundWater*, 24(6): 743-749.

PEDE, M.A. (2004). **Caracterização da condutividade hidráulica do embasamento cristalino alterado saturado na região metropolitana de São Paulo**.

Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, SP. 106p.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L.; KAUFMANN, V. (2009). Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. *Revista Ambiente & Água*, v. 4, p. 188-199.

RÓDIO, S.A. (1965). *Mesures des permeabilites en place*. S.I.: Cooperation Technique A.S.T.E.F., Stage de Perfectionnement, Geoconseil.

SILVA, R.F.; ARAÚJO, J.S; MONTICELI, J.J. (1978). Special “in situ” test for the determination of permeability condition. *Atas do III International Congress of IAEG*. Madri.

SOTO, M.A.A. (1996). *Estudo da Condutividade Hidráulica em Solos não Saturados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SOTO, M.A.; CHANG, K.H.; VILAR, M. (2009). *Análise do método do permeâmetro de Guelph na determinação da condutividade hidráulica saturada*. *Revista ABAS*, V. 23, n. 1. São Paulo: ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas.

USBR (1951). *Permeability tests using drill holes and wells*. Bureau of Reclamation Geology Report nº G-97, January 3, 43p.

ZANGAR, C.N. (1953). *Theory and problems of water percolation*. Denver: USBR, Engineering Monographs, 8.

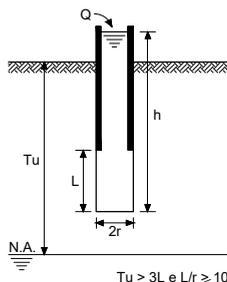
ANEXO I – FIGURAS DE ENSAIOS

ENSAIOS EM SONDAENS

ACIMA DO NÍVEL D'ÁGUA

ENSAIO DE INFILTRAÇÃO

$$K = \frac{Q}{h} \cdot \frac{1}{Cu \cdot r}$$

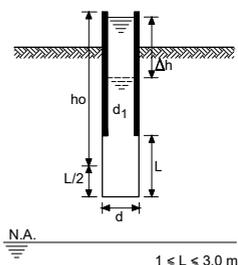


Ábacos: para cálculo de Cu : Figura 17 - A
para cálculo de K : Figura 18 - A

ZANGAR, C.N. (1953)

ENSAIO DE REBAIXAMENTO

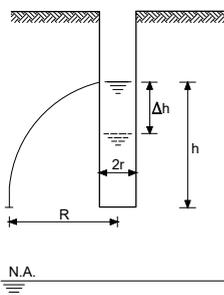
$$K = \frac{\Delta h}{\Delta t} \cdot \frac{d_1^2}{8 h_0 \sqrt{d} \cdot L}$$



Ábaco: para cálculo de K : Figura 19

GILG, B. & GAVARD, M. (1957)

$$K = \frac{\Delta h}{\Delta t} \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^2$$



Onde: $R^2 + R \cdot h = 0$ (em metros)

Obs.: - a relação entre R e h foi obtida supondo que o escoamento se faz segundo uma parábola cujo vértice está no centro do furo, na altura do nível d'água inicial ($t=0$)
- é evidente que quanto menor for o rebaixamento, menor será a variação de R e mais válida será a aplicação da fórmula.

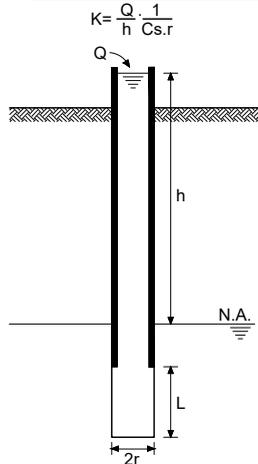
RODÍO S. A. (1960)

Figura 13 – Ensaios de infiltração e rebaixamento em sondagens.

ENSAIOS EM SONDAGENS

ABAIXO DO NÍVEL D'ÁGUA

ENSAIO DE INFILTRAÇÃO



Ábacos: para cálculo de Cs: Figura 17 - B
para cálculo de K: Figura 18 - B

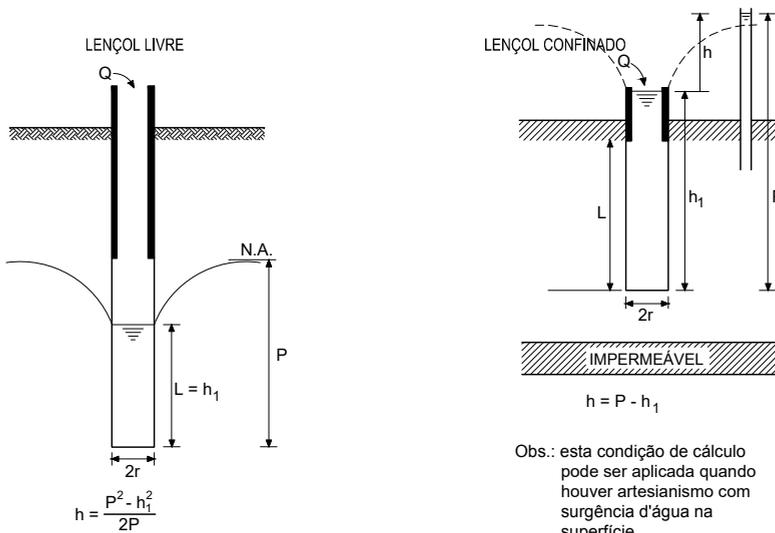
- Obs.: 1. Quando $L = 0 \rightarrow Cs = 5$ a 6
2. Quando o fundo for impermeável:

$$K = \frac{Q}{h} \cdot \frac{6.2}{2\pi L} \approx \frac{Q}{h \cdot L}$$

ZANGAR, C.N. (1953)

ENSAIO DE BOMBEAMENTO

$$K = \frac{Q}{h} \cdot \frac{1}{Cs \cdot r}$$



Obs.: esta condição de cálculo pode ser aplicada quando houver artesianismo com surgência d'água na superfície

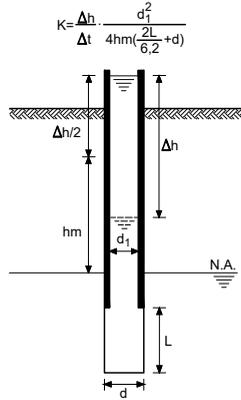
Ábacos: para cálculo de Cs: Figura 17 - B

ZANGAR, C.N. (1953)

Figura 14 – Ensaios de infiltração e bombeamento em sondagens.

ENSAIOS EM SONDAGENS ABAIXO DO NÍVEL D'ÁGUA

ENSAIO DE REBAIXAMENTO



Ábaco para cálculo de K: Figura 20
Obs.: 1. quando L=0 (ensaio de fundo)

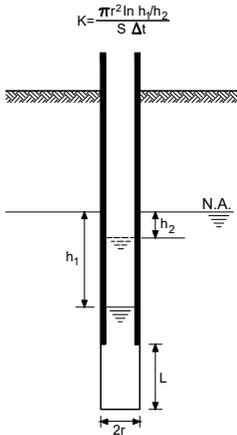
$$K = \frac{\Delta h}{\Delta t} \frac{d}{8hm}$$

2. quando o fundo do furo for impermeável

$$K = \frac{\Delta h}{\Delta t} \frac{6,2 \cdot d^2}{8 L hm}$$

GILG, B & GAVARD, M (1957)

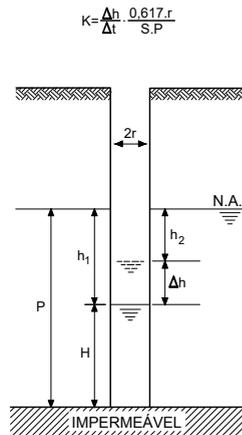
ENSAIO DE RECUPERAÇÃO



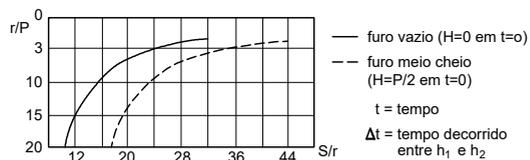
S = coeficiente determinado por analogia elétrica
Veja tabela abaixo:

L/r	1	2	3	4	5	6	7	8
S/r	9	12	15	17	19	21	23	25

Δt = tempo decorrido entre h₁ e h₂
ln = logaritmo neperiano



S = coeficiente determinado por analogia elétrica
É obtido a partir do gráfico abaixo.



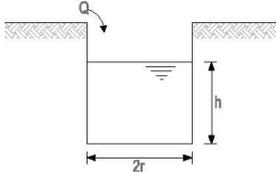
LUTHIN, J.N. (1967)

Figura 15 – Ensaios de rebaixamento e recuperação em sondagens.

ENSAIOS EM POÇOS ACIMA DO NÍVEL D'ÁGUA

ENSAIO DE INFILTRAÇÃO

$$K = \frac{Q}{h \cdot 4 \pi r \sqrt{\frac{L}{2r} + \frac{1}{4}}}$$

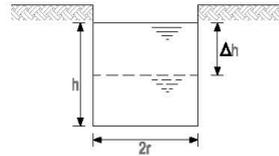


$$L/r < 4$$

ELETRICITÉ DE FRANCE (1970)

ENSAIO DE REBAIXAMENTO

$$K = \frac{\Delta h}{\Delta t} \cdot \frac{1}{i \left(\frac{2h}{r} + 1 \right)}$$



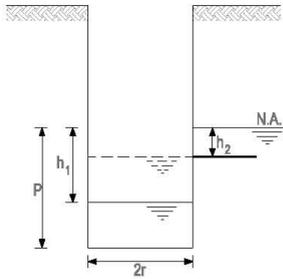
Para h de 0,2 a 0,3 m → i = 3 a 5

RODIO, S.A. (1960)

ABAIXO DO NÍVEL D'ÁGUA

ENSAIO DE RECUPERAÇÃO

$$K = \frac{2,3 r S}{(2P+r) \Delta t} \cdot \log = \frac{h_1}{h_2}$$



$$S = \frac{rP}{19} \text{ (em metros)}$$

Δ t = tempo decorrido entre h₁ e h₂

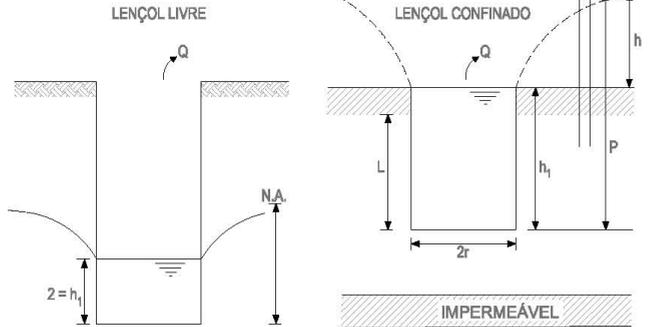
Obs.: quando o fundo do poço for impermeável

$$K = \frac{2,3 r S}{2 P \Delta t} \log = \frac{h_1}{h_2}$$

LUTHIN, J.N. (1967)

ENSAIO DE BOMBAMENTO

$$K = \frac{Q}{h} \cdot \frac{1}{Csr}$$



$$h = P - h_1$$

Obs.: esta condição de cálculo pode ser aplicada quando houver artesianismo com surgência d'água na superfície.

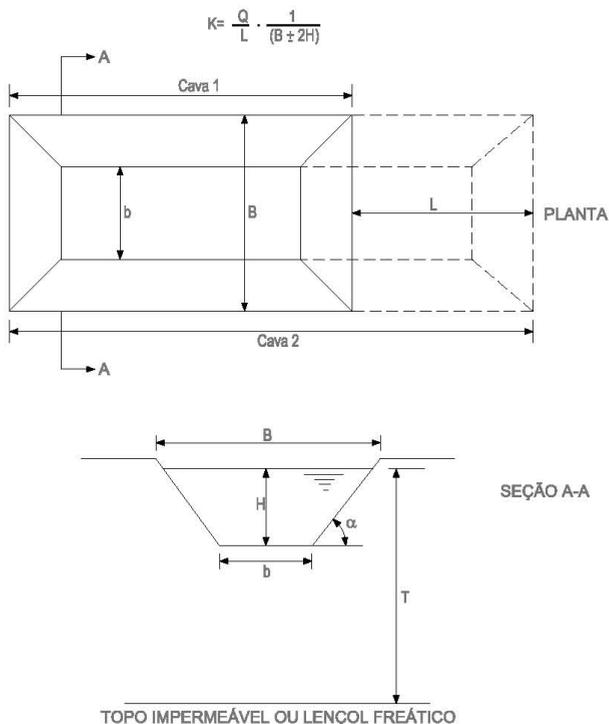
Ábacos: para cálculo de Cs: Figura 6 - B

ZANGAR, C.N. (1953)

Figura 16 – Ensaios de infiltração, rebaixamento, recuperação e bombeamento em poços de inspeção.

ENSAIOS EM CAVAS ACIMA DO NÍVEL D'ÁGUA

ENSAIO DE INFILTRAÇÃO



$Q = Q_2 - Q_1$

Q_1 = vazão da cava 1

Q_2 = vazão da cava 2

Obs.: 1. quando : $T/H > 10$, utiliza-se na fórmula: $B + 2H$
 $T/H < 10$, utiliza-se na fórmula: $B - 2H$

2. maior precisão (HARR - 1962)

- Para $T/H > 10$

$$K = \frac{Q}{L} \cdot \frac{1}{(B + AH)}$$

Cálculo de A: Figura 10 - B

- Para $T/H < 10$

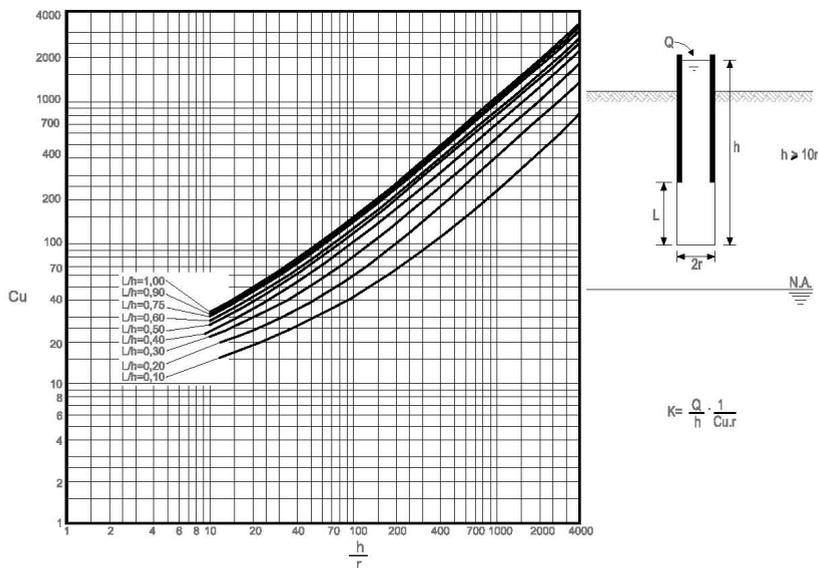
somente no caso de $\alpha \sim 34^\circ$ (talude 1,5:1)

Cálculo de K: Figura 10 - C

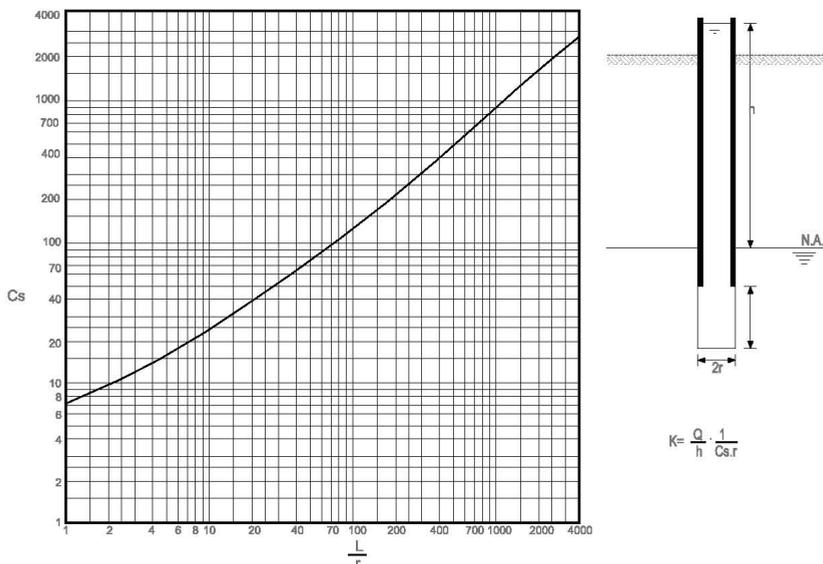
MATSUO, S. (1953)

Figura 17 – Esquemas para ensaios em cavas.

ANEXO II – ÁBACOS

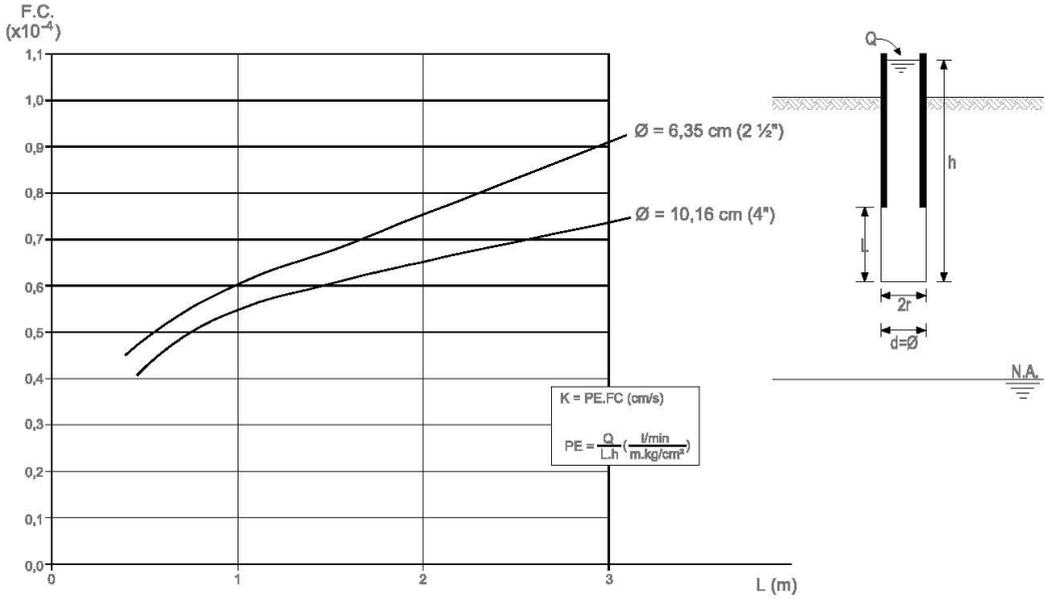


A - COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE DE MEIOS NÃO SATURADOS (C_u)

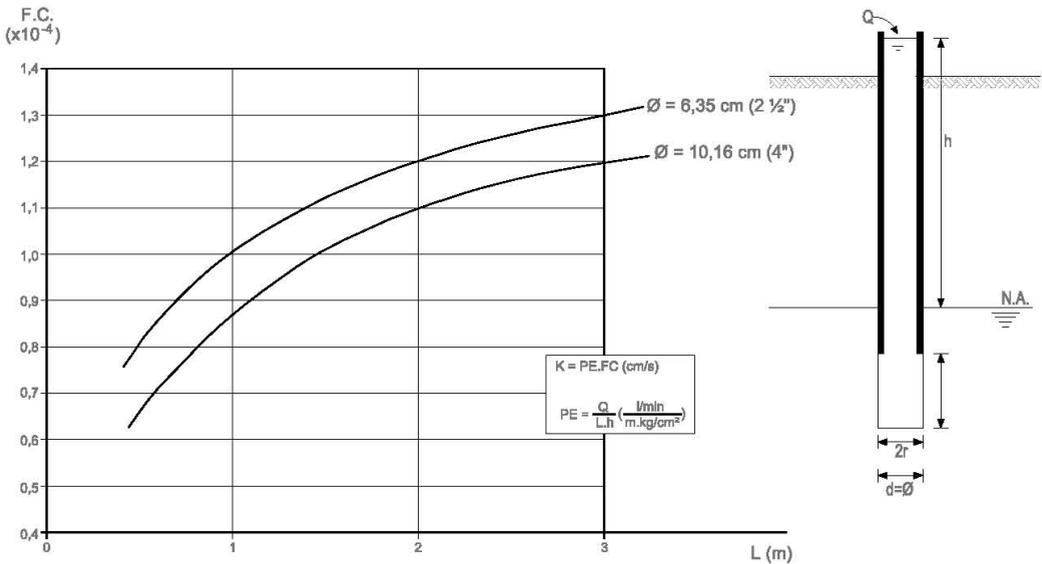


B - COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE DE MEIOS SATURADOS (C_s)

Figura 18 – Ábacos para determinação de coeficiente de condutividade.



A - PARA TRECHOS DE ENSAIO SITUADOS ACIMA DO N.A.



B - PARA TRECHOS DE ENSAIO SITUADOS ABAIXO DO N.A.

Figura 19 – Ensaios de infiltração. Ábacos para conversão de perda d’água específica (PE) em permeabilidade (K).

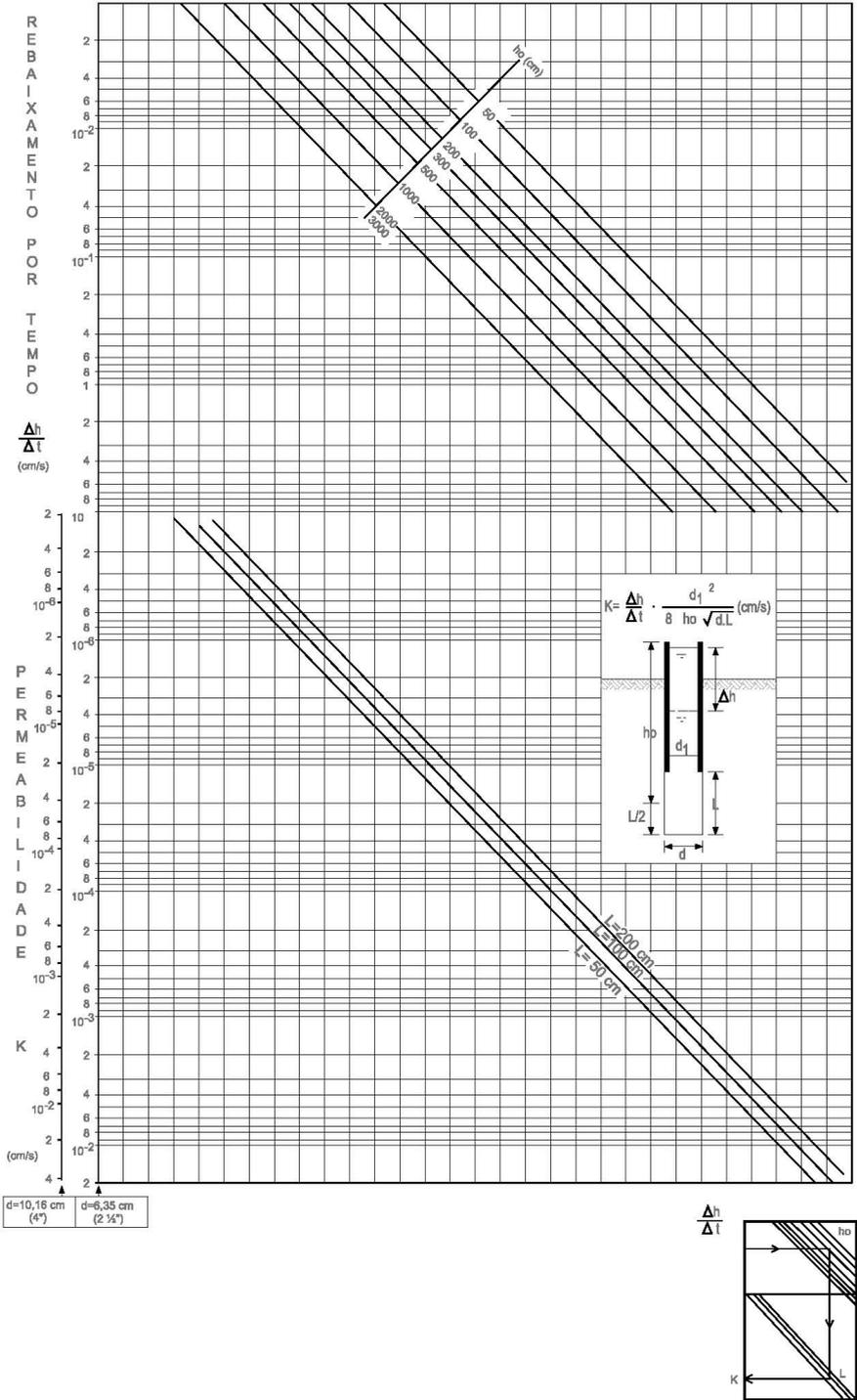


Figura 20 – Ábaco para cálculo de ensaios de rebaixamento para trechos situados acima do N.A.

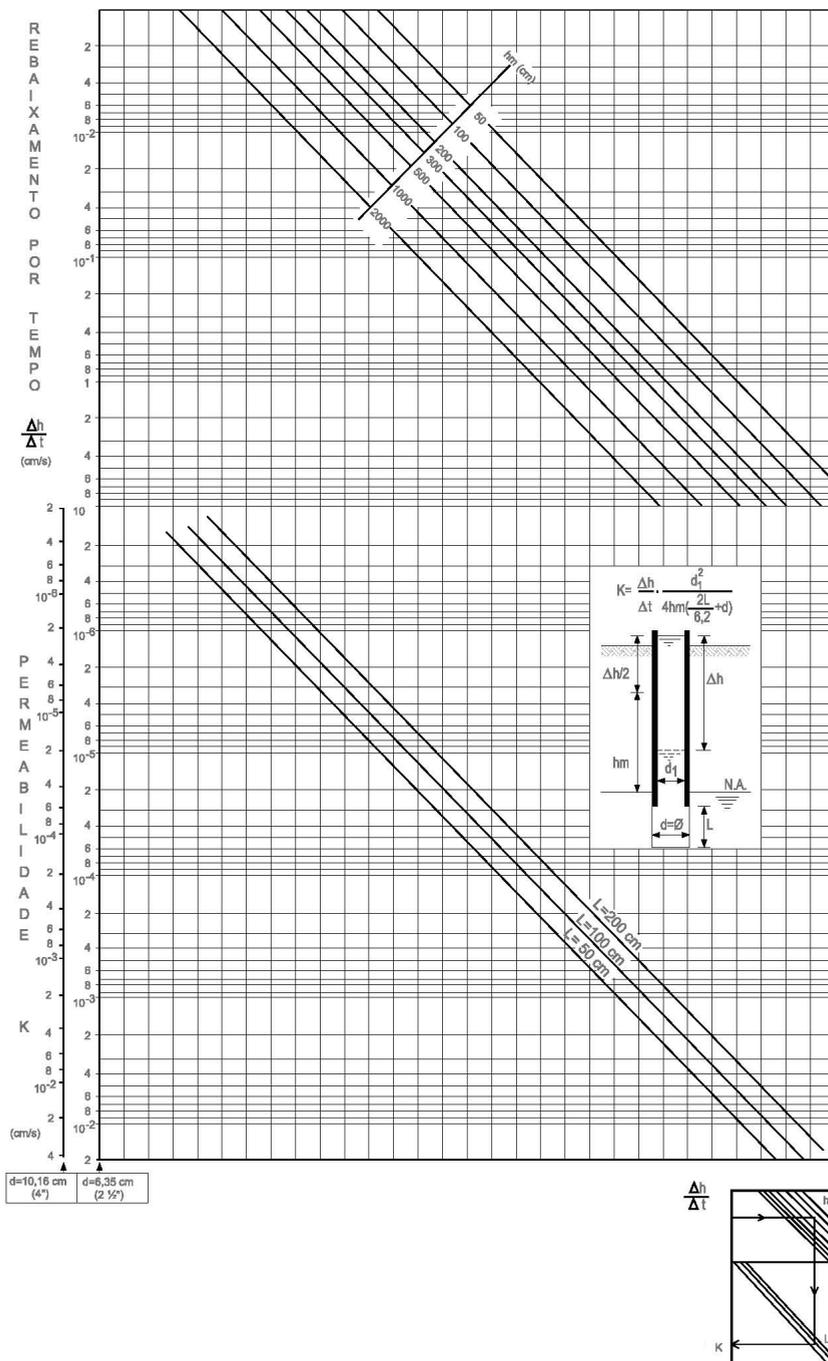
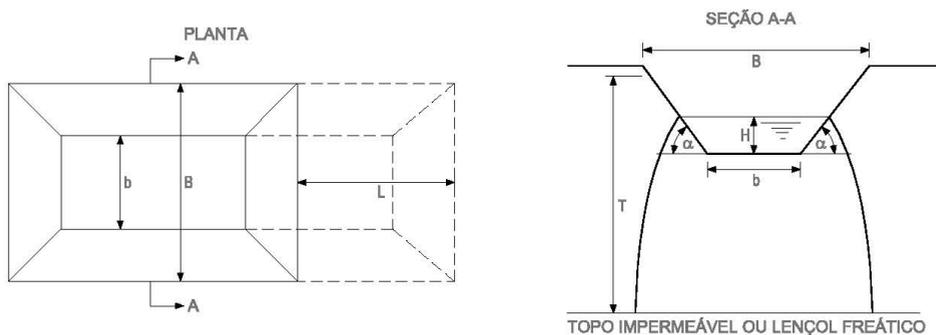
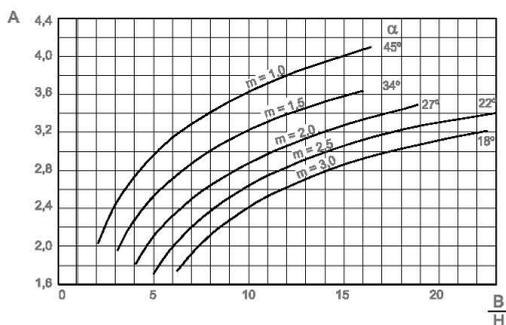


Figura 21 – Ábaco para cálculo de ensaios de rebaixamento para trechos de ensaios situados abaixo do N.A.



(HARR, 1962)

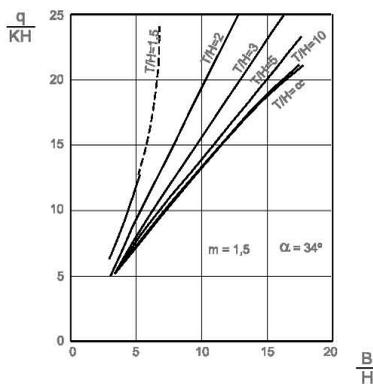
- A -



$$m = \cotg \alpha = \frac{B-b}{2H}$$

(HARR, 1962)

- B -



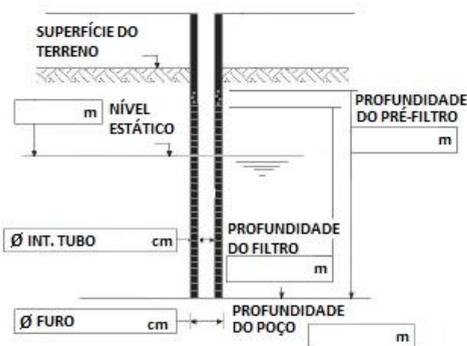
$$q = \frac{Q}{L}$$

(HARR, 1962)

- C -

Figura 22 – Ensaios de cava – parâmetros e variáveis utilizadas na determinação de permeabilidade.

ENSAIO TIPO SLUG TEST



Projeto: _____

Identificação do poço: _____

Localização: _____

Equipe: _____

Data: _____

Hora: _____

Choveu no dia anterior: () sim () não

Observações: _____

ENSAIO DE REBAIXAMENTO				ENSAIO DE RECUPERAÇÃO			
Volume do tarugo (m ³):				Volume do tarugo (m ³):			
N.A. zero (m):				N.A. zero (m):			
Δ Carga hidráulica (N.E. - N.A.zero) (m):				Δ Carga hidráulica (N.A.zero - N.E.) (m):			
Δ Carga hidráulica x 0.1 (m):				Δ Carga hidráulica x 0.1 (m):			
N.E. - Δ Carga hidráulica x 0.1 (m): (ensaio concluído)				N.E. + Δ Carga hidráulica x 0.1 (m): (ensaio concluído)			
Tempo	Nível da água (m)	Tempo	Nível da água (m)	Tempo	Nível da água (m)	Tempo	Nível da água (m)
0s		9m		0s		9m	
10s		10m		10s		10m	
20s		12m		20s		12m	
30s		14m		30s		14m	
40s		16m		40s		16m	
50s		18m		50s		18m	
1m		20m		1m		20m	
1m30s		22m		1m30s		22m	
2m		24m		2m		24m	
2m30s		26m		2m30s		26m	
3m		28m		3m		28m	
3m30s		30m		3m30s		30m	
4m		35m		4m		35m	
4m30s		40m		4m30s		40m	
5m		45m		5m		45m	
6m		50m		6m		50m	
7m		55m		7m		55m	
8m		60m		8m		60m	
Obs.:						ENSAIO Nº	POÇO Nº
Fiscal:		Verif.:		Resp.:			