

Primeira edição
18.06.2007

Válida a partir de
18.07.2007

Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental — Procedimento

Borings in order to analysing enviromental quality – Procedure

Palavras-chave: Sondagem. Meio ambiente.
Descriptors: Sounding. Environmental.

ICS 13.080.05



Número de referência
ABNT NBR 15492:2007
31 páginas

©ABNT 2007

© ABNT 2007

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito pela ABNT.

Sede da ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 2220-1762

abnt@abnt.org.br

www.abnt.org.br

Impresso no Brasil

Sumário

Página

Prefácio.....	iv
0 Introdução	iv
1 Escopo	1
2 Referência normativa	1
3 Termos e definições	1
4 Equipamentos e métodos de perfuração	3
4.1 Generalidades	3
5 Considerações e planejamento da perfuração	4
5.1 Modelo conceitual	5
5.2 Locações das perfurações	5
6 Métodos de perfuração	8
6.1 Trado	8
6.1.1 Trado manual	8
6.2 Trados mecanizados	10
6.2.1 Trado espiral	10
6.2.2 Trado helicoidal oco (<i>Hollow stem auger</i>)	10
6.2.3 Trado helicoidal sólido.....	12
6.3 Métodos rotativos mecanizados	13
6.3.1 Método rotativo com circulação de fluido à base de água	15
6.3.2 Método rotativo com ar comprimido (rotopneumática).....	17
6.3.3 Método rotativo com cabo (<i>Wireline</i>)	18
6.3.4 Método rotativo com circulação reversa.....	19
6.4 Perfuração a percussão (percussora).....	19
6.5 Cravação contínua (<i>direct-push</i>)	20
6.6 Perfuração sônica.....	22
6.7 Percussão com lavagem.....	23
7 Registros das perfurações	24
8 Descontaminação de equipamentos	25
Anexo A (normativo) Litografia do perfil da sondagem	26
A.1 Descrição.....	26
A.2 Cor.....	26
A.3 Textura	28
A.4 Consistência	28
A.5 Nódulos e concreções minerais	28
A.6 Presença de carbonatos	29
A.7 Presença de manganês.....	30
A.8 Coesão	30
A.9 Aspectos descritivos das estruturas da amostra	30
Bibliografia	31

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais Temporárias (ABNT/CEET), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da Diretivas ABNT, Parte 2.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) chama atenção para a possibilidade de que alguns dos elementos deste documento podem ser objeto de direito de patente. A ABNT não deve ser considerada responsável pela identificação de quaisquer direitos de patentes.

A ABNT NBR 15492 foi elaborada pela Comissão de Estudo Especial Temporária de Avaliação da Qualidade do Solo e da Água para Levantamento de Passivo Ambiental e Avaliação de Risco à Saúde Humana (CEET-00:001.68). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 02, de 28.02.2007, com o número de Projeto 00:001.68-002.

Esta Norma é baseada nas ASTM D 6286:1998, ISO 10381-2:2002 e ISO 10381-3:2001.

0 Introdução

Esta Norma não pretende abordar todos os métodos e questões relacionadas com a perfuração para finalidades ambientais. Os usuários devem buscar profissionais qualificados para tomar as decisões quanto ao equipamento apropriado e métodos que seriam os mais bem-sucedidos para a sua investigação ambiental. Poderão estar disponíveis outros métodos e os profissionais qualificados devem ter liberdade para exercer o seu discernimento quanto às possíveis alternativas que não tenham sido cobertas por esta Norma, desde que justificadas tecnicamente.

Além disso, esta Norma não pretende abordar todas as possíveis condições de subsuperfície que podem ocorrer, tais como geológicas, topográficas, climáticas ou antrópicas.

Esta Norma oferece um conjunto de informações ou uma série de opções e não recomenda um método específico. Esta Norma não pode substituir a formação profissional e a experiência, devendo ser utilizada conjuntamente com o discernimento de um profissional. Nem todos os aspectos desta Norma podem ser aplicáveis em todas as circunstâncias.

Esta Norma está atualizada para a época do seu lançamento, porém podem surgir novos métodos alternativos anteriormente às suas revisões; portanto, os usuários devem consultar os fabricantes ou produtores antes de iniciar o projeto.

É de responsabilidade do usuário desta Norma estabelecer práticas de segurança e saúde apropriadas e determinar a aplicabilidade de limitações regulamentares anteriormente à sua utilização. Esta Norma não pretende esgotar todas as preocupações com segurança, caso estejam associadas com a sua utilização.

Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental — Procedimento

1 Escopo

1.1 Esta Norma estabelece os requisitos exigíveis para a execução de sondagem de reconhecimento de solos e rochas para fins de qualidade ambiental.

1.2 Esta Norma apresenta os equipamentos e descreve métodos de perfuração para a caracterização ambiental de áreas (sondagens ambientais em solo e rocha, para a instalação de poços de monitoramento e para outros dispositivos de monitoramento da qualidade da água subterrânea), com as respectivas vantagens e desvantagens que estão associadas aos métodos apresentados. Entretanto, não contempla os métodos de amostragem de solo e de água subterrânea, métodos de construção, desenvolvimento ou instalação de poços. Estes tópicos são cobertos por normas específicas.

2 Referência normativa

O documento relacionado a seguir é indispensável à aplicação deste documento. Para referência datada, aplica-se somente a edição citada. Para referência não datada, aplica-se a edição mais recente do referido documento (incluindo emenda).

ABNT NBR 6484:2001 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio

ABNT NBR 15495-1:2007 – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e construção

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições

3.1

agregados

material natural constituído por partículas primárias do solo que são ligadas entre si por substâncias orgânicas, carbonatos, sílica, óxidos de ferro e de alumínio, e a própria argila

3.2

amostrador

dispositivo utilizado para a coleta de amostras de solo

3.3

anéis de lama

materiais de solo ou rocha que formam um anel(s) na haste(s) durante a perfuração rotativa e, como tal, impedem que o material perfurado seja levado para cima e para fora do furo

3.4

aqüífero

formação ou grupo de formações geológicas capazes de armazenar e conduzir água subterrânea.

3.5

barrilete

tubo especial que geralmente mede de 1 m a 6 m, onde se aloja o testemunho, colocado na parte interna da coluna de perfuração. Durante a operação da perfuração, o cilindro de rocha não fragmentado é encapsulado pelo barrilete interno à medida que a coroa avança, e posteriormente é trazido à superfície

3.6

calda

material de baixa permeabilidade, colocado no espaço anular entre o tubo de revestimento e a parede do furo, para manter o alinhamento dos tubos e prevenir o movimento da água subterrânea ou água da superfície pelo espaço anular

3.7

chaminés drenantes

Sistemas de drenagem formada por material de alta condutividade hidráulica

3.8

desmoronamento do furo

entrada de material não consolidado dentro do furo, devido à perda da força coesiva do material da formação

3.9

espaço anular

espaço entre a parede do furo e um tubo ou entre dois tubos concêntricos. Ele pode incluir o espaço entre um ou mais tubos instalados num único furo, concêntricamente ou adjacentes um ao outro

3.10

furo

abertura circular criada por uma perfuração manual e/ou mecânica

3.11

fluido de perfuração

fluido (líquido ou gás) que pode ser usado nas operações de perfuração para remover do furo, os fragmentos do material perfurado, para limpar e resfriar a broca de perfuração e para manter a integridade do furo durante a perfuração

3.12

Kelly bar

barra de aço quadrada ou sextavada, conectada na sua parte inferior à primeira haste de perfuração e na superior à cabeça rotativa (*swivel*). O *kelly* passando pelo centro da mesa rotativa é acionado por ela, rodando e permitindo o avanço de todo o conjunto de perfuração.

3.13

modelo conceitual

constitui-se numa síntese das informações relativas a uma área em estudo, atualizada na conclusão de cada etapa de trabalho

3.14

revestimento

tubulação com diâmetro e composição variados, usada na perfuração, com a finalidade de sustentar as paredes do furo em formações inconsolidadas e servir também para isolar camadas indesejáveis

3.15**sapata**

dispositivo fabricado com material relativamente inerte, que é posicionado na parte mais inferior do revestimento permanente (dentro ou fora) de forma a prevenir a movimentação da calda para o seu interior

3.16**tixotropia**

propriedade que alguns fluidos têm em apresentar redução da viscosidade após um determinado tempo em cisalhamento constante. Muitos géis e colóides são materiais tixotrópicos e exibem uma forma estável em repouso e se tornam fluidos quando agitados, como tintas a óleo. Algumas argilas são também tixotrópicas, o que faz com que alguns solos argilosos possam praticamente se liquefazer sob a agitação de um tremor de terra

4 Equipamentos e métodos de perfuração**4.1 Generalidades**

A escolha de um determinado equipamento para a perfuração (ver Tabela 1) exige a consideração de características específicas de cada área, do objetivo do trabalho e as vantagens e desvantagens de cada método. Estas características devem incluir (embora não se limitem) os parâmetros hidrogeológicos e as condições ambientais existentes na área.

Tabela 1 — Guia de seleção de métodos de perfuração

Métodos de perfuração	Fluido de perfuração	Utilização de revestimento	Tipo de material perfurado	Profundidade atual m ^a	Varição do diâmetro do furo mm	Possibilidade de coleta de amostras	Tipo de amostra ^b
Trado manual	Nenhum	Não	Solo	< 20,0	50,8 - 254,0	Sim	S
Trado espiral mecanizado	Nenhum	Não	Solo	< 25,0	50,8 - 254,0	Sim	S
Trado helicoidal oco (<i>Hollow Stem Auger</i>)	Nenhum, água, lama	Sim	Solo, rocha alterada	< 45,0	127,0 - 558,8	Sim	S, F
Trado helicoidal sólido (<i>Solid Stem Auger</i>)	Nenhum, água, lama	Não	Solo, rocha alterada	< 45,0	50,8 - 254,0	Sim	S
Rotativa com fluido	Água, lama	Sim	Solo, rocha	- ^c	50,8 - 152,4	Sim	S, R
Rotopneumática (Rotativa com ar)	Ar, água, espuma	Sim	Solo, rocha	- ^c	50,8 - 914,4	Sim	S, R, F
Rotativa com cabo (<i>Wireline</i>)	Ar, água, espuma	Sim	Solo, rocha	- ^c	76,2 - 152,4	Sim	S, R, F
Rotativa com circulação reversa (<i>Reverse Fluid Rotary</i>)	Água, lama	Sim	Solo, rocha	< 600,0	304,8 - 914,4	Não, amostra de calha	S, R, F

Tabela 2 (conclusão)

Métodos de perfuração	Fluido de perfuração	Utilização de revestimento	Tipo de material perfurado	Profundidade atual m ^a	Varição do diâmetro do furo mm	Possibilidade de coleta de amostras	Tipo de amostra ^b
Percussora	Água	Sim	Solo, rocha	< 1 500,0	101,6 - 609,6	Sim	S, R, F
Cravação contínua (Direct-push)	Nenhum	Sim ou não	Solo	< 30,0	31,75 - 76,2	Sim	S, R, F
Sônica	Nenhum, ar, água, lama	Sim	Solo, rocha, matações	< 150,0	101,6-304,8	Sim	S,R, F
Percussão com lavagem	Água, lama	Sim	Solo	< 45,0	50,8-101,6	Sim	S, R, F

^a As profundidades das perfurações indicadas na Tabela podem variar de acordo com as condições hidrogeológicas existentes no local e o tamanho do equipamento utilizado. Por exemplo, sondas grandes com alto torque podem perfurar maiores profundidades que as menores, sob as mesmas condições. Furos abertos usando ar/ar e espuma podem atingir maiores profundidades com maior eficiência, usando compressores de deslocamento positivo de dois estágios com a capacidade de desenvolver pressões de trabalhos de 250 psi a 350 psi e 500 cfm a 750 cfm, particularmente quando a submergência exige altas pressões. Os menores compressores do tipo rotativos são capazes apenas de produzir uma pressão de trabalho máxima de 125 psi e produzir 500 cfm a 1200 cfm. Do mesmo modo, a torre da sonda deve ser construída seguramente para levantar a carga esperada. Considerando as eventualidades, é recomendado que a taxa de capacidade da torre seja pelo menos duas vezes a carga prevista ou a carga normal levantada. Os métodos descritos na Tabela podem ser utilizados isolados ou combinados.

^b S (solo),
R (rocha),
F (fluido) - somente abaixo do NA (nível d'água)

Algumas amostras podem exigir instrumentos para amostragem.

^c Normalmente utilizada para grandes profundidades e sem limite definido de alcance de perfuração.

5 Considerações e planejamento da perfuração

Antes da definição do método de perfuração a ser aplicado em um determinado local, um profissional habilitado deve estudar todos os fatores que afetam as condições superficiais e subsuperficiais da área em estudo.

Os acessos e as condições para instalação dos equipamentos de perfuração também devem ser considerados. O alcance ao local e os métodos a serem empregados devem ser determinados pelos objetivos do estudo. O objetivo do estudo também definirá o tipo e a complexidade da amostragem a ser realizada.

A definição dos locais para a perfuração pode variar devido à disponibilidade de dados confiáveis sobre a área. Entretanto, o procedimento usual é o apresentado a seguir:

a) levantamento histórico de informações e pesquisa bibliográfica

- deve-se coletar e revisar todas as informações e dados disponíveis, sobre as condições superficiais e de subsuperfície da área. É necessário pesquisar dados existentes referentes à área de estudo, que incluem, mas não se limitam a: mapas topográficos, fotos aéreas, imagens de satélites, informações sobre sondagens anteriores, dados geofísicos, mapas e artigos geológicos, dados oficiais de mapeamento de solo e rocha, artigos sobre recursos hídricos e dados de poços existentes na área de interesse, uso de ocupação de solo pretérito, atual e futuro;

- b) relatórios disponíveis sobre a superfície ou subsuperfície de áreas próximas ou adjacentes podem ser considerados e as informações pertinentes podem ser utilizadas no corrente projeto, se forem aplicáveis e confiáveis. Levantamentos geofísicos e dados da água subterrânea também podem ser utilizados para planejar a localização das perfurações. Em seguida, deve-se analisar a confiabilidade e abrangência destes.

5.1 Modelo conceitual

É necessário o desenvolvimento de um modelo conceitual preliminar da área. Este pode ou não abranger o modelo hidrogeológico conceitual preliminar, a hipótese de um sistema ambiental e os processos biológicos, físicos e químicos que determinam o transporte de contaminantes das fontes através dos meios até os receptores do sistema, elaborado a partir dos dados obtidos no levantamento histórico de informações e em visita à área.

5.2 Locações das perfurações

Com base nas informações dos passos descritos em 5.1 e 5.2, devem ser localizadas as perfurações. A localização e a quantidade das perfurações devem ser feitas com base nos objetivos do projeto e de acordo com as normas e procedimentos vigentes.

Antes de iniciar as perfurações, deve-se certificar de que não haja interferências subterrâneas (tubulações, cabeamento, galerias de água pluvial, redes de esgoto etc.). Esta informação deve ser levantada previamente e checada em campo.

Durante as sondagens, devem ser definidas e descritas as principais litologias (solos e rochas), tanto horizontal quanto verticalmente. Este assunto é tratado com mais detalhe no Anexo A.

Caso as perfurações sejam destinadas à instalação de poços de monitoramento, estes devem ser instalados com um adequado conhecimento do modelo conceitual hidrogeológico do local. Frequentemente estes são utilizados como parte de uma investigação global da área, visando um propósito específico, como, por exemplo, a determinação da qualidade química da água, compreensão dos processos hidroquímicos, ou para prever a eficácia da remediação de um aquífero. Nesses casos, pode ser necessária a obtenção de informações adicionais geotécnicas e hidrogeológicas da área em estudo.

Se for amostrada a água do poço de monitoramento durante a execução da perfuração, visando a determinação de sua qualidade, deve ser considerada a possibilidade de ocorrer avarias no equipamento e subsequente contaminação do aquífero pelos fluidos de perfuração. Na instalação de poços de monitoramento destinados a amostragem de água, deve-se preferir métodos de sondagens que não utilizem fluidos de perfuração ou, se forem utilizados, os que impliquem pequena ou até ausência destes fluidos na parede do poço. A contaminação da parede do poço por fluidos de perfuração normalmente é resultado de uma má escolha destes fluidos ou sua má utilização.

Nestes casos, devem ser utilizados métodos de perfuração que permitem o avanço do revestimento, pois é muito efetivo para minimizar a invasão de fluidos nas paredes dos furos. Estes métodos que possibilitam o revestimento do furo incluem perfuração a percussão, a trado helicoidal oco, com circulação reversa, método rotativo, sônicos entre outros. Entretanto, se o objetivo destes métodos for alargar o furo, a contaminação pode mover-se ao longo do revestimento durante a perfuração.

Os métodos que não utilizam fluidos de perfuração são preferíveis, porque estes excluem a possibilidade de contaminação do aquífero. Tais métodos incluem o trado helicoidal oco, o trado manual, perfuração sônica e percussora.

Métodos que normalmente requerem o uso de fluidos incluem percussão com lavagem, rotativa com circulação reversa e rotativa com circulação de ar e fluido. Nos casos em que for utilizado fluido de perfuração, é obrigatório registrar a estimativa da quantidade da perda do fluido e da profundidade de ocorrência. Dados da perda destes fluidos podem ser úteis no planejamento das técnicas de desenvolvimento destes poços para serem utilizados na conclusão do furo. Outro importante fator para ser considerado quando são avaliados estes dados é a colocação da seção filtrante.

É importante saber que a água sem aditivos não constitui um bom fluido de perfuração por duas razões:

- a) não possui capacidade de carrear o material cortado devido à sua baixa viscosidade;
- b) não possui capacidade de tixotropia para formar um anel de lama em torno do furo, travamento das ferramentas nas paredes do furo e a criação de “chaminés drenantes” devido à erosão interna do furo.

Também, a água contendo apenas argilas naturais não deve ser utilizada como lama de perfuração. Esta mistura fluida, contendo apenas argilas naturais, produz apenas um fluido pesado que não terá capacidade (viscosidade) para carrear o material cortado furo acima e não fará um anel delgado de lama ao longo da perfuração para impedir seu colapso.

Se os métodos de perfuração não forem corretamente empregados, obtém-se como resultado amostras de baixa qualidade, furos danificados ou poços de monitoramento mal instalados, principalmente em material inconsolidado (solos). Caminhos preferenciais de infiltração podem ser formados perto das paredes do furo pela lavagem das partículas finas e a criação de “chaminés drenantes”, que são muito difíceis de serem seladas. Estes danos são mais severos quando se perfura material inconsolidado do que quando se perfura rocha. Embora relatos destas ocorrências sejam raros, eles ocorrem. E são provavelmente originados pelo baixo controle do fluido de perfuração ou má operação durante as perfurações.

Ainda podem ocorrer outros danos devido à rapidez da execução da perfuração, o uso incorreto das diferentes velocidades, pressão e outras variáveis de controle sob a responsabilidade do sondador. Qualquer método de perfuração utilizando meio circulante para controlar o corte e a remoção de material pode causar fraturamento hidráulico dos materiais perfurados, se for muito alta a velocidade de perfuração ou a pressão de circulação.

Quando se utiliza uma sonda rotativa com ar, a pressão do ar injetado deve ser registrada. A pressão do ar de retorno deve ser adequada para manter a remoção do material cortado, mas não excessiva a ponto de causar fraturamento hidráulico do material que está sendo perfurado. Tal prática pode resultar em dano na parede do furo e impedir a correta aplicação do selo entre o revestimento e o furo durante a instalação.

A utilização de revestimentos temporários durante a perfuração, visando separar aquíferos, pode resultar em contaminação cruzada, quando um aquífero ou uma camada confinada de material impermeável é perfurado. Para evitar ou minimizar a possibilidade desta contaminação, é recomendada a técnica descrita a seguir:

- a) para que a perfuração atravesse o material impermeável, mas não entre em contato com ele. Um revestimento deve ser instalado dentro do material impermeável e cimentado sob pressão. Após a cura do cimento, o material remanescente no revestimento deve ser removido;
- b) métodos geofísicos, por exemplo, podem ser utilizados para avaliar o selamento entre o furo anelar e a parede do revestimento. Somente após ter-se produzido um selamento aceitável, a perfuração pode prosseguir pela camada confinada;
- c) operações contínuas de sondagem/amostragem devem prosseguir até atingir a profundidade desejada. Se outra(s) camada(s) impermeável(is) for(em) perfurada(s) no mesmo furo, a técnica anteriormente descrita pode ser seguida, porém o próximo revestimento instalado deve ser imediatamente de diâmetro menor do que o utilizado anteriormente.

Alguns métodos podem ser usados para avaliar a integridade hidráulica do furo ou a subsequente instalação dos poços. São os seguintes:

- a) métodos indiretos:
 - métodos geofísicos;
 - introdução de traçadores nos furos combinados com teste de bombeamento;

b) métodos diretos:

- testes de bombeamento de poços;
- testes de injeção de poços;
- teste com obturadores infláveis em poços.

A seleção do método de perfuração deve ser realizada somente após serem levadas em consideração todas as vantagens e desvantagens de cada método em relação ao objetivo da coleta de dados. Em alguns casos, um método de sondagem cujo processo minimiza o potencial de contaminação subsuperficial pode limitar o tipo de dados que podem ser coletados como, por exemplo, dados de sondagem geofísica de um poço.

Investigações geofísicas também podem ser utilizadas, quando possível, para auxiliar na seleção do método de perfuração. Métodos geofísicos superficiais, tais como sísmica, eletrorresistividade e eletromagnético podem ser particularmente de grande valia na distinção de diferenças nas propriedades dos materiais próximos à subsuperfície. Métodos geofísicos, tais como resistividade, gama, neutrons, registro de velocidade sônica, perfilagem *caliper* e perfilagem óptica, são utilizados para confirmar condições geológicas específicas de subsuperfície.

A perfilagem óptica permite um estudo visual das condições das paredes das sondagens existentes, assim como visualizar as condições do revestimento em sondagens revestidas. Registros de sondagens acústicas podem exibir o fraturamento na sondagem. A orientação das fraturas, assim como sua extensão e ocorrência, podem ser determinadas utilizando esse método.

As vantagens e desvantagens de vários métodos de perfuração apresentadas nesta Norma podem variar dependendo das características específicas da área e das circunstâncias do projeto. Profundidade e diâmetro das perfurações mostrados na Tabela 1 são valores nominais para o método e podem variar em casos ou condições específicos.

A escolha do tipo de equipamento de perfuração a ser utilizado no projeto deve incluir considerações sobre a necessidade de amostragem e instalação de poços. O acabamento e a disposição dos filtros do poço são requisitos comuns na sua instalação, e a capacidade de completar cada um desses itens depende muito do tipo de equipamento utilizado. A finalização satisfatória dos procedimentos de abandono de sondagem, assim como a facilidade de descontaminação de cada equipamento de perfuração, também são fatores importantes a serem considerados.

Em todos os métodos de perfuração têm-se algumas desvantagens, como, por exemplo, as perfurações a trado tendem a colmatar as paredes do furo com sedimentos finos durante a rotação do equipamento. Métodos a percussão podem causar danos na sondagem, pela repetição cíclica dos movimentos oscilantes de subida e descida da ponta da sonda, que podem forçar sedimentos finos nas paredes do furo. Métodos de perfuração rotopneumática, também podem danificar o furo por meio da introdução de ar no material perfurado ou fraturando as paredes do furo, caso a pressão da perfuração não seja monitorada e exceda a pressão necessária para manter o furo livre dos materiais perfurados.

A escolha do método de perfuração pode variar dependendo dos objetivos da coleta de dados - a caracterização hidrogeológica ou a amostragem da qualidade da água subterrânea. Por exemplo, métodos de perfuração rotativa com fluido são bons métodos para caracterizar a litologia em subsuperfície, porque a maioria das ferramentas de sondagens elétricas e sônicas ou geofísicas exige que o furo não seja revestido, mas seja preenchido com fluido. Os mesmos métodos de perfuração, contudo, são menos desejáveis para a instalação de poços de monitoramento, visando à verificação da qualidade da água, porque há a possibilidade de o fluido alterar a química da água subterrânea. Apesar disso, perfurações rotativas com fluido podem ser o método selecionado após a consideração das vantagens e desvantagens de outros métodos de perfuração.

Além disso, a seleção de um método de perfuração precisa considerar todos os aspectos da instalação do poço de monitoramento, incluindo a composição dos materiais de revestimento e filtro, o equipamento de monitoramento superficial e sua instalação, materiais de acabamento e procedimentos de disposição dos resíduos gerados, assim como qualquer outro plano para a instalação e desenvolvimento de poço. Por exemplo, quando um método de perfuração utilizado pode afetar a química da água subterrânea, é necessário que seja feito um bom desenvolvimento do poço. O desenvolvimento do poço está descrito na ABNT NBR 15495-1.

Finalmente, o método de perfuração selecionado precisa ser logisticamente prático e, se possível, minimizar os danos nas perfurações. A avaliação local de um tipo particular de equipamento de perfuração também será um fator extremamente importante a ser considerado antes de um método ser selecionado. Por exemplo, a viabilidade do equipamento de percussão pode ser totalmente fora de questão em algumas partes do país, onde os métodos de perfuração rotativos prevalecem em função das condições locais. Adicionalmente, informações sobre a hidrogeologia podem ser possivelmente requeridas e obtidas durante a perfuração ou durante o registro de sondagem geofísica, ou através da combinação de ambos. Dessa forma, a seleção final do método de perfuração deve ser feita somente após a devida consideração de todos os objetivos do projeto.

Independentemente do método de perfuração a ser usado, é importante lembrar que todas as sondagens eventualmente interrompidas e as não utilizadas para instalação de poço de monitoramento ou outro dispositivo de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, devem ser totalmente preenchidas com calda de cimento ou bentonita (selagem adequada). Este procedimento visa a evitar uma eventual contaminação do subsolo através do caminho preferencial gerado pelas sondagens – furos abertos e abandonados.

O material excedente gerado na perfuração deve ser acondicionado e armazenado adequadamente para posterior classificação e destinação final de acordo com legislação vigente.

6 Métodos de perfuração

6.1 Trado

Os métodos de perfuração a trado incluem o uso de trado helicoidal oco, helicoidal sólido e manual. Todos os métodos de perfuração a trado estão normalmente limitados à perfuração em solos não consolidados ou saprolito. Estes métodos normalmente não exigem o uso de um fluido de perfuração durante o processo, porém, em alguns casos, pode ser necessária a adição de água ou fluido de perfuração.

6.1.1 Trado manual

A perfuração a trado manual é realizada através da introdução e rotação manual do conjunto acoplado às hastes de curta extensão. O trado é então retirado do furo e a amostra deformada do solo é retirada com uma ferramenta apropriada.

O processo é repetido até que a profundidade requerida seja atingida ou não haja mais recuperação do material perfurado. Hastes são adicionadas e presas ao trado conforme a perfuração prossegue. O sucesso da perfuração a trado manual depende da manutenção do furo aberto. Normalmente há o desmoronamento das paredes do furo quando a perfuração é executada em solo saturado. Portanto, a perfuração a trado pode ser limitada em solos saturados.

Pode ser instalado um poço de monitoramento no furo aberto com trado manual, entretanto recomenda-se tomar alguns cuidados para garantir a segurança do pessoal envolvido e uma adequada instalação. Quando necessário, devem ser utilizados centralizadores, para manter o alinhamento dos tubos de revestimento.

Uma prática comum da instalação de poço de monitoramento usando este método é perfurar até o nível d'água, extrair o conjunto e, depois, descer o revestimento temporário (tubo de aço) e avançar a perfuração com trado manual ou com bomba-balde de menor diâmetro até a profundidade requerida. O trado manual é muito útil para a descrição litológica e para a obtenção da profundidade estimada do nível da água.

Em geral, trados manuais são mais fáceis de usar em solos não argilosos. Nestes solos os trados podem ser usados até a profundidade de aproximadamente 20 m. Ao usar trados manuais, deve-se tomar cuidado para evitar a contaminação pelo solo, proveniente da parte superior das paredes do furo, durante a perfuração ou durante a coleta. Revestir o furo, à medida que avança a perfuração, com um tubo de aço, pode prevenir a contaminação cruzada.

As perfurações com trados manuais permitem a observação do perfil de subsuperfície e a coleta das amostras em profundidades preestabelecidas. Deve-se tomar cuidado para obter amostras representativas se a perfuração atravessar porções contaminadas.

A Figura 1 ilustra alguns tipos de trado manual.

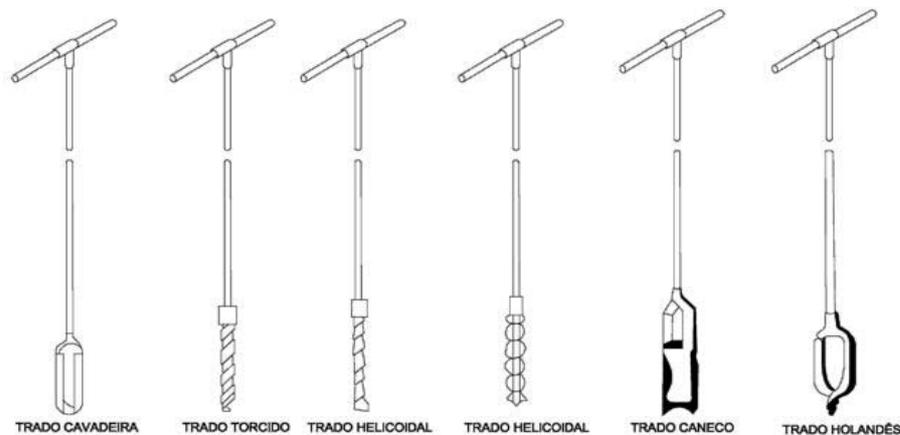


Figura 1 — Tipos de trado manual

As vantagens da utilização do trado manual são:

- normalmente não requer a utilização de fluidos de perfuração;
- podem ser obtidas amostras do solo. Além disso, podem ser usados diversos tipos de dispositivos de amostragem de solo para obter amostras indeformadas, de qualquer profundidade, após retirar, primeiramente, o conjunto do trado manual;
- equipamento altamente móvel (acessibilidade à área normalmente não é um problema);
- fácil acesso e uso em locais remotos, onde a sonda de perfuração não alcançaria, devido a questões ambientais ou outros problemas logísticos.

As desvantagens da utilização do trado manual são:

- pode ocorrer desmoronamento do furo durante as operações de perfuração a trado manual, particularmente quando está sendo executada abaixo do nível d'água;
- a perfuração a trado manual é muito lenta e de mão-de-obra intensiva;
- furos limitados a profundidades relativamente rasas, normalmente menores que 20 m;
- diâmetro do furo é limitado a cerca de 25,4 cm (10 pol);
- furos limitados à perfuração de solos que não sejam cimentados e que não contenham cascalhos, calhaus, seixos e matacões grandes ou raízes;
- o revestimento não pode ser avançado.

6.2 Trados mecanizados

É possível utilizar trados mecanizados movidos por pequenos motores, reduzindo o trabalho requerido durante a perfuração para amostragem.

Os cuidados para se evitar a contaminação cruzada são os mesmos requeridos pelo trado manual. Os trados mecanizados podem ser montados em veículos e são utilizados para diversos fins.

Deve-se tomar cuidado ao utilizar motores movidos a combustíveis, por causa da possibilidade de contaminação da amostra com o combustível usado, com o lubrificante do motor e com a fumaça do escapamento. Os trados mecanizados movidos a motores elétricos minimizam o risco de tal contaminação.

6.2.1 Trado espiral

O trado espiral é movido por uma máquina, de modo que uma grande força possa dirigi-lo para baixo. A broca consiste em uma ou mais espirais com 360°. O método de perfuração consiste no avanço da broca, sua retirada do furo é feita através de um giro na broca no sentido inverso para retirada do material. Este processo é repetido até que a profundidade desejada seja alcançada.

Este método não é muito satisfatório para a amostragem, por causa do potencial de contaminação cruzada e o não favorecimento para descrição da litologia. O método permite uma rápida perfuração com diâmetros grandes e em profundidades de até 25 m.

Não é necessária a lubrificação dos trados, mas alguma dispersão do material contaminado pode ocorrer enquanto a broca é girada no sentido inverso.

6.2.2 Trado helicoidal oco (*Hollow stem auger*)

O método de perfuração a trado helicoidal oco é muito útil na instalação de poços de monitoramento. Isto porque, as hélices do trado oco servem como um revestimento temporário, que impede o desmoronamento e o deslizamento da parede do furo, enquanto o revestimento do poço de monitoramento está sendo instalado internamente. Este procedimento pode ser realizado quando a perfuração for concluída e antes da retirada dos trados do furo.

Este método também permite a utilização da coluna do trado como um revestimento para as atividades de perfuração posteriores em solos ou rocha. Os diâmetros das perfurações podem chegar a até 55,88 cm

Durante a perfuração pode ser realizada a amostragem de solo usando o amostrador bipartido, o amostrador alinhado com o anel ou o amostrador com tubo de parede fina. Neste caso, o amostrador contínuo avança com a perfuração dentro do trado oco ou é cravado no material inalterado durante uma pausa na perfuração. A recuperação da amostra é realizada antes de recomeçar a perfuração. As hélices contínuas do trado trazem o material da perfuração para a superfície.

As amostras do solo também podem ser obtidas durante a perfuração, seja por retorno pelas hélices do trado ou puxando-se os trados e fazendo a coleta de amostra do material preso às hélices; porém, tais amostras são menos satisfatórias, pois o solo foi movimentado do local da perfuração e exposto a outras camadas do solo. As amostras desta natureza geralmente não são consideradas adequadas para a análise química.

Podem-se coletar amostras de água subterrânea durante a perfuração, usando uma seção de trado oco com filtro. Os métodos de cravação também podem ser usados antes do trado-guia durante as pausas da perfuração para coletar amostras de água (fluido) ou de solo, ou de ambos.

O trado helicoidal oco para testemunhagem do solo compreende um trado rotativo oco com uma broca de corte na parte inferior e um amostrador interno não-rotativo. A sapata de corte do amostrador é estendida além da broca de corte do trado em casos de solos de baixa consistência ou retraída no caso de solos mais resistentes.

O trado helicoidal oco é uma forma de trado helicoidal contínuo, no qual a hélice contínua envolve o tubo central oco. O trado é formado por duas partes, a parte exterior circular e o piloto interno no centro, o qual evita a entrada do material perfurado no interior do trado.

A possibilidade de sacar a parte central e deixar o revestimento helicoidal no lugar é a vantagem principal do trado helicoidal oco. Retirar o piloto permite deixar um furo aberto para amostragem, de modo que os amostradores, os instrumentos e outros dispositivos possam ser introduzidos à profundidade desejada.

A remoção de uma ferramenta ou de um dispositivo e a recolocação do piloto permitem a continuação da perfuração.

A técnica fornece um furo inteiramente revestido e pode evitar alguns dos problemas potenciais da contaminação cruzada, existentes na perfuração à percussão. As amostras de solo são coletadas por amostradores ou barriletes introduzidos na parte inferior do tubo oco. O método tem sido bem-sucedido em alguns aterros sanitários e pode ser usado para a instalação de poços de monitoramento de água subterrânea ou poços de extração de gases.

Além do acesso direto à parte inferior da perfuração, o trado helicoidal oco permite a execução de uma sondagem à percussão ou uma amostragem dirigida durante o avanço da perfuração, na parte central do tubo oco.

A técnica permite a coleta de amostras deformadas e indeformadas, além de testes no furo e descrição das camadas.

A Figura 2 apresenta o esquema de um trado helicoidal oco.



Figura 2 — Trado helicoidal oco (*Hollow stem auger*)

As vantagens da utilização do trado helicoidal oco são:

- a) normalmente não utiliza fluidos para perfuração;
- b) possibilidade de amostragem contínua durante a perfuração, usando amostrador contínuo, bipartido ou de paredes finas;
- c) amostras de água subterrânea podem ser coletadas durante a perfuração usando trado com filtro;
- d) a coluna do trado helicoidal oco pode ser usada para atividades de perfuração subseqüentes em rocha ou solos;
- e) o equipamento de perfuração a trado é relativamente móvel;
- f) a perfuração é moderadamente rápida.

As desvantagens da utilização do trado helicoidal oco são:

- a) em alguns tipos de materiais arenosos, nos quais há uma pressão hidráulica que causa a entrada de materiais no interior da coluna do trado pela sua parte inferior, há a necessidade de equalizar a pressão interna com a utilização de um tampão ou a introdução de fluido;
- b) as amostras do solo trazidas à superfície pela hélice do trado são modificadas, tornando difícil a determinação da profundidade precisa de sua procedência;
- c) pode ocorrer a mistura de água subterrânea com o material desagregado proveniente da perfuração com o trado;
- d) a parede do furo pode ser colmatada por argila perfurada previamente;
- e) o preenchimento com pré-filtro e a colocação do selo podem ser de difícil execução;
- f) a perfuração é difícil em materiais extremamente secos e finos;
- g) dificuldade para perfuração em solos que contenham cascalhos muito graúdos, calhaus, seixos ou matacões.

6.2.3 Trado helicoidal sólido

A perfuração a trado helicoidal sólido pode ser usada como uma alternativa à perfuração a trado helicoidal oco e a outros métodos de perfuração em solos, rochas brandas e saprolitos não saturados. A perfuração em argilas saturadas é de fácil execução devido à menor probabilidade de desmoronamento do furo.

Este método é realizado empurrando-se o conjunto da coluna do trado abaixo da superfície do solo e iniciando uma rotação a baixa velocidade. Conforme a perfuração avança, são incluídas hélices adicionais do trado à coluna do conjunto. As hélices contínuas do trado trazem o material da perfuração para a superfície.

Este método permite obter amostras deformadas do solo. Se o furo permanecer aberto após a retirada do conjunto da coluna do trado, pode ser instalado, neste furo aberto, um poço de monitoramento.

O método de perfuração a trado helicoidal sólido é menos eficaz para a instalação de poço de monitoramento do que a perfuração a trado helicoidal oco, pois o trado helicoidal sólido não pode ser usado como revestimento temporário para impedir o desmoronamento e o deslizamento da parede do furo.

Sob condições saturadas, as paredes do furo nas perfurações com trado helicoidal sólido normalmente desmoronam imediatamente após a retirada do trado. Em alguns casos, se o solo perfurado usando trado helicoidal sólido possuir uma quantidade relativamente grande de materiais coesivos, tais como materiais argilosos, siltes etc., o furo permanecerá completamente aberto por toda a profundidade perfurada após a retirada do trado, tornando muito fácil a instalação do poço de monitoramento.

Este método permite a amostragem do solo usando um amostrador de parede fina ou bipartido, que poderá ser realizada puxando as hélices do trado cada vez que a amostra for coletada. O sucesso da operação de amostragem depende da integridade da parede do furo.

As vantagens da utilização do trado helicoidal oco são:

- a) normalmente não utiliza fluidos de perfuração;
- b) o equipamento de perfuração a trado é relativamente móvel;
- c) a perfuração é moderadamente rápida.

As desvantagens da utilização do trado helicoidal oco são:

- a) o material da perfuração, por vezes, não é trazido à superfície pelos trados;
- b) as amostras do solo trazidas à superfície pela hélice do trado estão modificadas, tornando difícil a determinação da profundidade precisa da amostra;
- c) pode ocorrer a mistura de água subterrânea com o material desagregado proveniente da perfuração com o trado;
- d) a parede do furo pode ser colmatada por argila perfurada previamente;
- e) a parede do furo pode desmoronar antes da conclusão da instalação do poço de monitoramento ou dispositivo de monitoramento;
- f) o preenchimento com pré-filtro e a colocação do selo podem ser de difícil execução;
- g) dificuldade para perfuração a trado em solos que contenham cascalhos muito graúdos, calhaus, seixos ou matacões;
- h) perfuração difícil em materiais extremamente secos e finos.

6.3 Métodos rotativos mecanizados

Perfurações rotativas mecanizadas usam uma broca na extremidade de uma haste, que perfura o solo enquanto gira com o auxílio de um motor. O sistema requer alguma forma de lubrificação (fluidos de perfuração) para manter a broca refrigerada e para remover o material perfurado. O fluido de perfuração usado pode ser feito de água misturada com aditivos.

O fluido de perfuração traz o material perfurado pela broca até a superfície. Na superfície do solo, o fluido de perfuração com fragmentos é descarregado em um tanque ou série de tanques onde são decantados. Após a sedimentação do material no fundo do tanque(s) de circulação, o fluido de perfuração pode ser recirculado conforme a perfuração avança.

Os fluidos de perfuração comuns consistem em água, misturas de água e argilas naturais, bentonita ou ar pressurizado. Os fluidos também podem ter aditivos que modifiquem suas características, tais como a baritina para o controle do peso; carboximetilcelulose (CMC), incluído como um incrementador da viscosidade; e cloreto de potássio, adicionado para retardar a hidratação e dilatação das argilas, evitando o encrramento da broca. Alguns desses aditivos podem causar contaminação em um furo ou em uma unidade hidrogeológica.

No caso de usar algum fluido durante a perfuração, devem constar no relatório de sondagem todas as quantidades, composição química, tipos de elementos do fluido de perfuração, aditivos usados na mistura composta do fluido e as profundidades em que novos aditivos foram introduzidos. A qualidade da água a ser utilizada na composição do fluido de perfuração, bem como os meios utilizados para transportá-la, devem ser controlados, com o objetivo de evitar a contaminação do fluido.

A utilização de fluidos de perfuração pode ocasionar contaminação cruzada, devido ao contato do fluido com as paredes do furo aberto.

Há dois tipos básicos de perfuração rotativa, a “destrutiva” e a “descritiva”. A destrutiva utiliza uma broca (por exemplo, tipo tricône) que perfura e expulsa para a superfície todo o material cortado em forma de pequenos fragmentos que podem ser coletados para descrição litológica.

A “descritiva” utiliza um barrilete acoplado a uma broca de corte para perfuração que permite coletar um testemunho (com diâmetro menor que o da perfuração), para descrição litológica e ensaios.

Esta técnica geralmente utiliza barrilete convencional (simples), duplos ou triplos, com coroa diamantada ou de vídea, podendo ser usadas hastes ou cabos. O objetivo é conseguir a melhor recuperação do testemunho com qualidade, compatível com o custo. É importante que a escolha do tipo da coroa seja função do material a ser perfurado.

No barrilete simples, o testemunho entra em contato com o fluido de perfuração. No barrilete duplo, o testemunho somente entra em contato com o fluido de perfuração quando passa através da coroa, porém, dependendo da camada e da natureza das exigências da investigação, isto poderia ser suficiente para impedir o uso do testemunho para finalidades da amostragem.

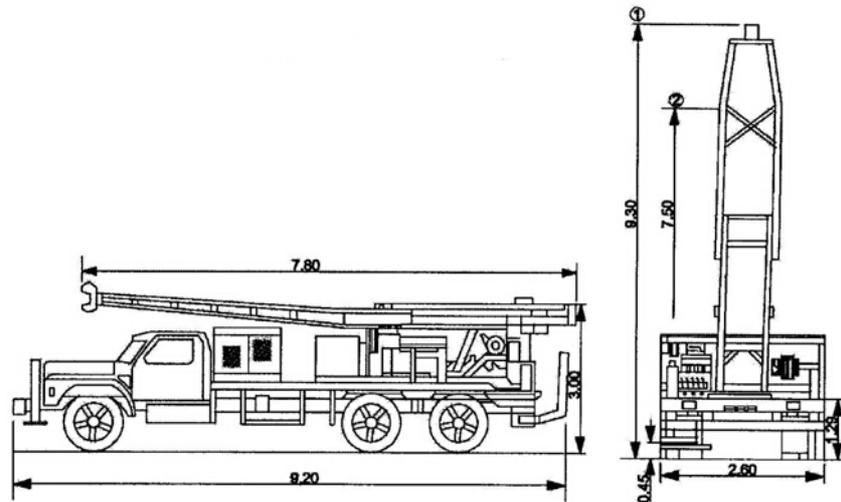
O barrilete triplo contém um amostrador ou tubo para a coleta da amostra. No fim de cada manobra, este tubo com o testemunho é retirado e a amostra é armazenada em uma caixa de amostra. Este método não aumenta a recuperação do testemunho, mas tende a preservar as condições originais da amostra.

Após a recuperação, o testemunho deve ser retirado, preferencialmente na mesma direção que entrou no barrilete, e armazenado em uma caixa de testemunhos rígida tipo meia cana, onde as camadas podem ser descritas e as amostras coletadas.

O uso dos tubos bipartidos para coletar o testemunho em barriletes duplos e triplos pode tornar a descrição das camadas mais fácil, mas os tubos de plástico são úteis se o testemunho for requerido para amostras indeformadas.

A Figura 3 apresenta o esquema de um equipamento rotativo mecanizado.

Dimensões básicas do caminhão sonda – CME-75



- 1 – Altura livre mínima para trabalho com "torre completa", 10
- 2 – Altura livre mínima para trabalho com "meia torre", 7,50

Dimensões em metros s/escala

Figura 3 — Esquema de um equipamento rotativo mecanizado

6.3.1 Método rotativo com circulação de fluido à base de água

Este método de perfuração utiliza diversos tipos de ferramentas de testemunho de amostragem de solos/rochas, podendo ser usado na maioria deles. A perfuração com fluido à base de água é realizada por meio da rotação de uma broca, simultaneamente com a circulação do fluido de perfuração (conforme descrito anteriormente).

O fluido de perfuração possui as seguintes (diversas) finalidades:

- a) carrega o material da perfuração para a superfície;
- b) impede o desmoronamento da parede do furo;
- c) impede a entrada da água subterrânea para dentro do furo;
- d) resfria e lubrifica a broca e a haste de perfuração.

A perfuração rotativa pode utilizar um método de avanço de revestimento, no qual o revestimento é direcionado um pouco à frente da broca e da coluna de perfuração. Este método permite a perfuração e testemunhagem de solos saturados que, de outra forma, poderiam não ser possíveis em razão de desmoronamento do furo. O avanço do revestimento também elimina o problema da perda de circulação.

O uso de revestimento temporário veda as zonas contaminadas, impede o desmoronamento do furo e minimiza o contato do fluido de perfuração com aquíferos. O uso deste método também elimina a incerteza se as amostras do solo (testemunhos) e amostras de água subterrânea se originam da profundidade real da perfuração ao invés de outros locais no furo.

A Figura 4 apresenta o esquema de perfuração rotativa com circulação de fluido à base de água.

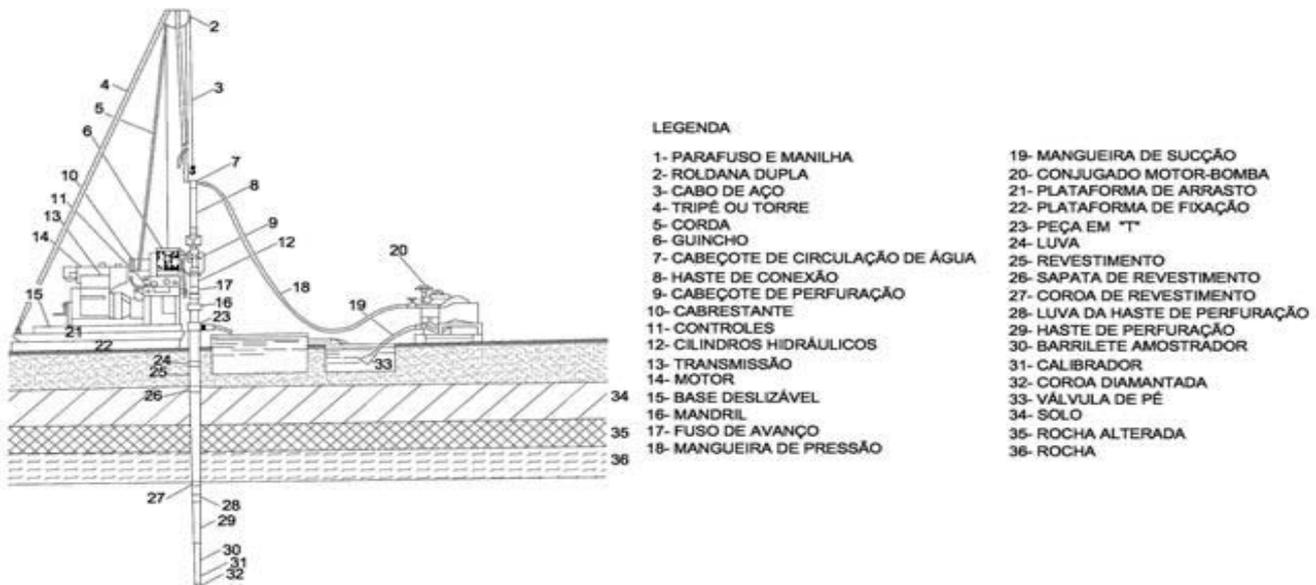


Figura 4 — Esquema de perfuração rotativa com circulação de fluido à base de água

As vantagens da utilização da perfuração rotativa com circulação de fluido à base de água são:

- perfuração possível em qualquer tipo de solo e rochas;
- a profundidade da perfuração é ilimitada para todos os fins de amostragem e perfuração geoambiental;
- a descrição litológica a partir do material de perfuração obtido no retorno do fluido é moderadamente confiável;
- a perfuração é relativamente rápida em solos utilizando brocas tricône;
- o furo normalmente fica acessível para perfilagem geofísica antes da instalação de um poço de monitoramento ou dispositivos para monitoramento.

As desvantagens da utilização da perfuração rotativa com circulação de fluido à base de água são:

- o fluido da perfuração pode alterar as características físicas, químicas e biológicas do meio;
- os lubrificantes usados nos equipamentos durante o processo de perfuração podem contaminar o fluido da perfuração, a água presente no furo e as amostras do solo/rocha;
- o material aderido na parede do furo pode impedir o desenvolvimento completo do poço;
- a determinação da zona saturada pode ser difícil durante a perfuração;
- o fluido da perfuração é freqüentemente perdido ou a sua circulação é de difícil manutenção em rochas fraturadas, zonas de raízes, em cascalhos, calhaus ou seixos;
- normalmente é necessário o revestimento do solo de cobertura;
- são necessárias ferramentas adicionais para instalar o revestimento do furo;

h) a perfuração é difícil em matacões, calhaus ou seixos.

6.3.2 Método rotativo com ar comprimido (rotópneumática)

O princípio da perfuração rotativa a ar comprimido é semelhante à rotativa com fluido de perfuração à base de água. Este método utiliza diversos dispositivos para amostragem e pode ser feito na maioria dos solos e rochas. O ar é circulado para baixo através da coluna de perfuração e o seu retorno carrega o material perfurado para cima pelo espaço anular formado entre a coluna de perfuração e a parede do furo, devendo ser armazenado em recipientes adequados para destinação final.

Este método, que utiliza um martelo de fundo (DTH), é normalmente usado para perfuração de rochas duras, matacões, calhaus e seixos. Neste método, a broca golpeia a rocha enquanto gira lentamente. O efeito percussivo pulveriza a rocha, aumentando a velocidade de perfuração.

Normalmente, para impedir falha do martelo e o aprisionamento da broca devido ao aquecimento causado pela fricção das partes móveis, o martelo de fundo deve ser lubrificado com produto adequado. Devem constar no relatório de sondagem o tipo, a profundidade e a quantidade do lubrificante usado, bem como a sua constituição química.

O fluxo de ar usado na perfuração rotativa a ar não proporciona suporte para a parede do furo; portanto, diferentemente da rotativa com fluido, a rotativa a ar confia na integridade da parede do furo para impedir o seu desmoronamento. Conseqüentemente, a perfuração rotativa a ar é limitada a unidades de rocha e solos parcialmente litificados.

Uma alternativa de perfuração é a utilização da rotativa com fluido à base de água para perfurar através das unidades não consolidadas e depois converter para rotativa a ar assim que atingir a rocha semiconsolidada. Uma técnica usada para aumentar a velocidade de perfuração e a retirada do material perfurado é a inclusão de um surfactante de espuma no fluxo de ar. A espuma também reduz a perda da circulação do ar na parede do furo; porém, o uso da espuma deve ser controlado e registrado, já que ela pode alterar as características físico-químicas do solo e da água subterrânea.

A maioria dos compressores de ar utilizado neste método é do tipo pistão, que trabalham com algum tipo de óleo para lubrificação. Mesmo com a utilização de filtros coalescentes na entrada e na saída do ar do compressor ainda existe a possibilidade de contaminar o solo e a água subterrânea. Estão disponíveis no mercado compressores isentos de óleo, mas eles não são comuns. Da mesma forma, o uso de ar durante a perfuração pode promover a volatilização dos contaminantes da parede do furo, afetando temporariamente a qualidade do solo e da água subterrânea.

As vantagens da utilização da perfuração rotativa com ar comprimido são:

- a) rápida perfuração e instalação de poços em rochas duras e rochas parcialmente litificadas;
- b) profundidade da perfuração ilimitada para todas as finalidades práticas;
- c) o furo fica acessível à perfilagem geofísica antes da instalação do poço de monitoramento;
- d) o desenvolvimento do poço é relativamente fácil;
- e) pode usar o método de avanço de revestimento.

As desvantagens da utilização da perfuração rotativa com ar comprimido são:

- a) a injeção de água, espuma ou outro fluido, assim que a zona saturada for encontrada, impede a formação de anéis de lama na haste de perfuração. Entretanto, a adição de espuma ao fluxo de ar pode alterar as características físico-químicas do solo e da água subterrânea, devendo ser controlada e documentada;
- b) a determinação das zonas saturada pode ser difícil durante a perfuração;

- c) o ar da descarga do compressor pode conter hidrocarbonetos;
- d) o fluxo de ar pode promover a volatilização de contaminantes da parede do furo durante a perfuração, afetando temporariamente a qualidade do solo e da água subterrânea;
- e) a perfuração com martelo de fundo (DTH) pode causar fraturamento hidráulico da parede do furo;
- f) normalmente é necessário o revestimento do solo de cobertura;
- g) o martelo de fundo exige lubrificação durante a operação;
- h) pode ocorrer a colmatação ou fraturamento hidráulico na parede do furo se a velocidade de perfuração for muito rápida, ou se permitir que a pressão do ar circulante no fundo do poço aumente muito, ultrapassando a pressão adequada para retirar o material perfurado.

6.3.3 Método rotativo com cabo (*Wireline*)

A perfuração rotativa com cabo utiliza um barrilete especial preso a um cabo de aço que permite a sua movimentação no interior das hastes de perfuração. Este método permite sacar o barrilete com o testemunho sem que as hastes de perfuração sejam removidas. A parte inferior da haste possui uma broca de testemunhagem de diamante ou vídea e um escarificador preso à extremidade.

O adiantamento do furo pode ser realizado sem amostragem através do uso de uma broca-piloto em forma de cone com rolamento ou broca de arrasto até que a profundidade desejada seja alcançada.

A broca-piloto ou o conjunto do barrilete do testemunho pode ser inserido e retirado a qualquer momento durante o processo de perfuração. As hastes com diâmetro interno maior fornecem um revestimento temporário que permite a execução de testes no furo (obturadores, dispositivos de perfilagem geofísica etc.) ou a instalação de dispositivos de monitoramento.

A aplicação deste método associado a fluido estende-se à perfuração de uma variedade de solos ou rochas, desde que a circulação do fluido de perfuração possa ser mantida. Esta técnica permite alta velocidade de penetração na perfuração em vários tipos de materiais, com o benefício adicional de a haste de perfuração com diâmetro maior servir como um revestimento protetor.

Ao perfurar com circulação de fluido, o material retorna à superfície através do espaço anular formado entre a parede do furo e a haste de perfuração. O emprego deste método pode ser problemático nos casos em que a velocidade de perfuração é muito rápida e existe perda da circulação (por exemplo, possível fraturamento na rocha) ou quando há desmoronamento ou obstrução da saída do fluido na broca.

Os fluidos usados para a perfuração ou testemunhagem de solo devem ser relativamente viscosos. Frequentemente a perfuração em rocha exige fluido à base de polímeros, que têm a capacidade de penetrar ainda mais na parede do furo e, conseqüentemente, vedar sistemas de fraturas maiores.

As vantagens da utilização da perfuração rotativa com cabo são:

- a) a perfuração com cabo de aço permite testes em intervalos durante as pausas na perfuração;
- b) a perfuração é possível em vários tipos de solo, inclusive em depósitos de cascalhos, calhaus e seixos;
- c) a velocidade de perfuração em rocha é muito rápida.

As desvantagens da utilização da perfuração rotativa com cabo são:

- a) a perfuração em rochas fraturadas, intemperizadas ou extremamente porosas pode ocasionar perda de circulação. Os polímeros adicionados ao fluido de perfuração podem invadir as fraturas das rochas;

- b) independentemente do fluido utilizado, há possibilidade de ocorrer a volatilização de contaminantes e no caso de o fluido ser o ar comprimido pode ocorrer também o transporte de partículas de poeira pelo ar.

6.3.4 Método rotativo com circulação reversa

Na perfuração com circulação reversa, o fluido é circulado no espaço anular formado entre a coluna de perfuração e a parede do furo, através da broca, e retorna à superfície dentro da coluna de perfuração carreando o material perfurado. Para isso, o método utiliza uma coluna de perfuração de parede dupla, no qual o ar comprimido é injetado entre as paredes da coluna, promovendo o deslocamento do fluido. Esta mistura é, posteriormente, descarregada na superfície em um ou mais tanques de decantação onde o material perfurado sedimenta.

Pode ser usada água limpa como fluido de perfuração desde que disponível em quantidade e qualidade suficientes. Caso sua viscosidade e densidade não sejam suficientes para carrear o material de perfuração, faz-se necessário o uso de aditivos.

Quando o método de perfuração com circulação reversa é utilizado, o usuário deve estar ciente de que a água usada como fluido pode atingir o aquífero, alterando suas características físico-químicas. O mesmo pode acontecer quando utilizados aditivos nos fluidos de perfuração. Esta ocorrência deve ser registrada.

As vantagens da utilização da perfuração com circulação reversa são:

- a) perfuração rápida e fácil em solos e rochas;
- b) em algumas vezes, a perfilagem estratigráfica e litológica são possíveis a partir de amostras do material de perfuração;
- c) o revestimento externo impede o desmoronamento do furo durante a perfuração;
- d) o furo, se revestido, permite uma fácil instalação do poço de monitoramento para avaliação da qualidade da água subterrânea e preenchimento de material no espaço anular formado entre o revestimento do poço de monitoramento e a parede do furo.

As desvantagens da utilização da perfuração com circulação reversa são:

- a) dificuldade em aquisição e locação destes equipamentos;
- b) extração do revestimento pode acarretar a colmatação da parede do furo com silte ou argila;
- c) deve ser instalado um revestimento temporário para instalar um poço;
- d) só é possível coletar amostras de calha;
- e) os equipamentos de perfuração são grandes e pesados; portanto, o acesso ao local pode ser um problema;
- f) o uso de fluidos da perfuração e aditivos poliméricos pode alterar as características físicas, químicas e biológicas da água e do solo;
- g) são normalmente exigidas grandes quantidades de água para a perfuração.

6.4 Perfuração a percussão (percussora)

O método a percussão usa geralmente um equipamento móvel com um guincho de 1 t a 2 t de capacidade, composto por um motor a óleo diesel e por uma torre, podendo ser rebocado por um veículo de pequeno porte.

Este método é normalmente usado para finalidades geotécnicas e para sondagens acima de 20 m de profundidade. Esta técnica pode ser usada para investigar locais profundos, que tenham dificuldade de perfuração com broca ou solos instáveis.

O solo é perfurado usando diferentes ferramentas que dependem das suas características. O trépano é utilizado para solos coesivos e o trado para solos friáveis. As sapatas podem ser utilizadas para perfurar solo muito duro. Os furos abertos por esta técnica são revestidos à medida que a perfuração avança. O revestimento evita a contaminação cruzada, porém seu interior deve ser totalmente desobstruído antes da coleta da amostra na base do furo.

Para se evitar uma possível contaminação cruzada em perfurações, recomenda-se descartar os primeiros 5 cm de solo na amostra, em função dos resíduos acumulados no fundo do furo de sondagem.

Se a perfuração for realizada em solos compostos basicamente por areias ou em cascalhos/pedregulhos, particularmente na zona saturada, o revestimento de aço deve ser introduzido antes do avanço da perfuração para evitar o colapso das paredes. Equipamento como o balde-caçamba pode ser utilizado para limpar o interior do revestimento. Porém, em função dos bruscos movimentos, o solo é muito revolvido, dificultando a amostragem.

Em alguns tipos de solo, pode ser necessária a adição de fluidos de perfuração para ajudar na lubrificação. Nestes casos, deve-se levar em consideração a possível interferência do fluido na qualidade das amostras. A adição de fluido deve ser registrada no perfil da perfuração.

Amostras indeformadas podem ser coletadas em estratos coesivos e rochas moles, cravando um tubo oco de no mínimo 100 mm e retirando o testemunho/amostra resultante para ensaios geotécnicos laboratoriais.

As vantagens da utilização da perfuração a percussão são:

- a) a perfuração é possível na maioria dos tipos de solos e rochas;
- b) uma sonda de perfuração pequena permite a perfuração onde o acesso pode ser um problema com outros métodos de perfuração;
- c) o uso do revestimento mantém a estabilidade do furo;
- d) é um método prático de perfuração em calhaus, seixos, matacões e rochas cársticas ou fraturadas;
- e) potencial mínimo para contaminação cruzada de água subterrânea devido ao revestimento;
- f) fácil instalação do revestimento do poço.

As desvantagens da utilização da perfuração a percussão são:

- a) a velocidade de perfuração pode ser baixa;
- b) o deslocamento de sedimentos não consolidados para o fundo do revestimento pode ser um problema;
- c) o revestimento temporário pode causar problemas com as técnicas de instalação de poço, particularmente na colocação efetiva do pré-filtro e do selo, conforme a ABNT NBR 15495-1;
- d) há risco de contaminação cruzada de amostras de solo;
- e) necessita de revestimento com parede mais espessa e pesada e com diâmetro maior do que os utilizados por outros métodos.

6.5 Cravação contínua (*direct-push*)

O método consiste na cravação de um amostrador especial no solo, utilizando força hidráulica ou mecânica.

O amostrador avança até a profundidade onde o solo, a água ou o gás deve ser coletado. As profundidades alcançadas pela técnica dependem particularmente do sistema ou força de cravação que pode ser aplicada em conjunto com o peso do equipamento.

Os amostradores podem variar de comprimento e diâmetro. Possuem uma abertura na parte inferior com uma sapata cortante por onde o material entra, enquanto é cravado no solo. Hastes são utilizadas para aprofundar os amostradores. Ao amostrar o material da profundidade desejada, o amostrador e as hastes são alçadas à superfície com o auxílio de um macaco mecânico. Depois de removido do furo, o solo pode ser inspecionado e perfilado e um determinado intervalo pode ser amostrado.

Amostras de solo também podem ser obtidas utilizando amostradores bipartidos, que são tubos linearmente cortados ao meio e unidos por anéis durante a amostragem. Esses amostradores permitem rápida recuperação do testemunho.

Amostras de solo também podem ser obtidas utilizando um amostrador com um tubo interno (*liner*), desde que este garanta a qualidade e integridade da amostra. O sistema pode ser utilizado para coletar amostras a profundidades determinadas ou contínuas.

Amostradores de diversos diâmetros estão disponíveis no mercado (35 mm a 80 mm) e devem ser selecionados de acordo com as condições do subsolo. Os tubos selecionados geralmente diminuem de diâmetro com o aumento da profundidade a ser atingida.

Sistemas são disponíveis para permitir que uma ponteira, com dispositivo de amostragem, possa ser inserida num furo previamente aberto até a profundidade na qual se deseja amostrar. A ponteira é solta e alçada pela parte interna do tubo. O amostrador é cravado e a amostra é coletada.

Os sistemas de cravação permitem a instalação de poços de monitoramento temporários (provisórios). O uso de equipamento apropriado permite a amostragem e a medição de fase livre (*NAPL - Nonaqueous phase liquids*) nesses furos.

Quando este método é combinado com outros para a instalação de um poço de monitoramento, deve-se consultar os itens anteriores sobre métodos de perfuração para que possa ser selecionado o método de perfuração adequado. Um sistema de cravação pode ser empurrado quase estaticamente, martelado ou vibrado no solo.

O preenchimento e a vedação do furo podem ser mais difíceis devido ao pequeno diâmetro do equipamento.

A Figura 5 apresenta os equipamentos usados para cravação contínua.

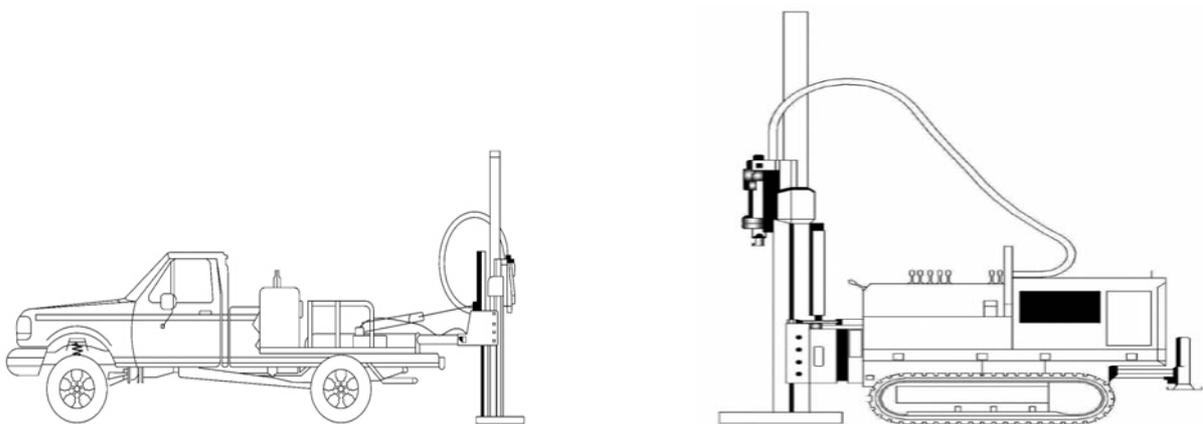


Figura 5 — Equipamentos usados para a cravação contínua (*Direct push*)

As vantagens da utilização da cravação contínua são:

- não utiliza fluidos e lubrificantes durante a perfuração;
- equipamento altamente móvel. Acessibilidade do local em geral não é um problema para pequenas sondas de perfuração;

- c) a perturbação das condições geoquímicas durante a instalação é minimizada;
- d) há uma perturbação mínima do local da perfuração devido ao baixo peso do equipamento;
- e) a perfuração é rápida;
- f) a tecnologia de cravação gera pouco material excedente de perfuração;
- g) dependendo das condições da área de estudo e das exigências de profundidade, podem ser realizadas várias sondagens por dia;
- h) o filtro do poço provisório temporário não será exposto às zonas sobrejacentes das quais não serão retiradas amostras;
- i) o equipamento de cravação pode ser usado para instalar aspersores de ar (*air sparging*) e extração de vapores do solo (SVE) e equipamento de monitoramento do gás em aterro.

As desvantagens da utilização da cravação contínua são:

- a) em geral a instalação é limitada a solos em geral. O equipamento de cravação não é projetado para penetrar rocha consolidada, tal como calcário, granito ou basalto;
- b) o preenchimento e a vedação de um furo podem ser mais difíceis devido ao pequeno diâmetro do equipamento;
- c) o pequeno diâmetro da perfuração impede a condução de perfilagem geofísica convencional;
- d) os poços de monitoramento de pequeno diâmetro e dispositivos de amostragem não são projetados para produzir grandes volumes de água como seria necessário em teste aquífero.

6.6 Perfuração sônica

A perfuração sônica, rotossônica, vibratória ou sônica ressonante são algumas denominações deste sistema de perfuração com duplo revestimento que emprega a vibração mecânica de alta frequência para amostragem contínua de solos.

A perfuração sônica é uma alternativa para outros métodos de perfuração quando ocorrerem difíceis condições para a execução do furo, ou na amostragem contínua, ou ambos, se for necessário. Os processos que resultam em avanço do furo são a fratura, o cisalhamento e o deslocamento.

A perfuração através de calhaus, seixos, matacões e rochas é realizada pela fratura do material, pelo movimento inerte da broca de perfuração. O cisalhamento ocorre em siltes densos, argilas e folhelhos, desde que a amplitude da broca de perfuração seja alta o bastante para superar a elasticidade do material que está sendo perfurado.

O deslocamento ocorre quando o material do solo é fluidificado pela coluna de perfuração vibratória e se desloca para longe desta. Pouquíssimo material de perfuração é transportado para a superfície. A maior parte do material entra no barrilete, exceto por uma pequena quantidade que é empurrada para dentro da parede do furo. Conseqüentemente, o material da perfuração gerado normalmente é muito menor do que em outros métodos.

O sistema de perfuração sônica emprega movimento rotacional de baixa velocidade e vibracional de alta frequência para avançar a ponta cortante de uma coluna de perfuração circular. Esta ação produz uma perfuração uniforme enquanto fornece amostras contínuas de testemunhos de solos e da maioria das rochas.

Uma sonda de perfuração sônica avança um barrilete de 10 cm a 30 cm (4" a 12") nominais para amostragem e pode avançar até um revestimento externo de 30 cm (12") para a construção de poços de monitoramento padrões e telescopados ou encaixados.

O revestimento externo pode ser cravado na mesma posição ou abaixo das hastes de perfuração e do barrilete. O revestimento externo pode ser cravado completamente seco na maioria das circunstâncias, ou pode utilizar água, ar ou fluido de perfuração com aditivos, dependendo dos tipos de materiais perfurados, profundidade e diâmetro do furo, ou quaisquer outras exigências do projeto.

O revestimento externo impede a contaminação cruzada durante a perfuração e proporciona a instalação segura do poço de monitoramento. Após a instalação, o revestimento externo é suavemente vibrado para fora do furo.

As amostras de testemunho podem ser retiradas diretamente do barrilete dentro de um saco plástico ou qualquer outro recipiente apropriado ou através de *liners*.

Além do avanço das sondagens e da instalação de poços de monitoramento, o método de perfuração sônica oferece a capacidade de coletar amostras usando equipamento de testemunho por cravação (*direct-push*), para amostras de solo e vapores de solo, e realiza amostragem de água subterrânea. Esse método também pode ser usado para testemunhar e revestir sondagens perfuradas em ângulo da vertical para quase horizontal.

As vantagens da utilização da cravação contínua são:

- a) a capacidade de obter testemunhos contínuos e de grande diâmetro, em quase qualquer tipo de solo sem o uso de fluidos de perfuração;
- b) a perfuração e amostragem através de matacões, madeira, concreto e outros entulhos de construção;
- c) o sistema de perfuração sônica pode perfurar e amostrar a maioria das rochas brandas, tais como arenito, calcário, folhelho e ardósia, com alta porcentagem de recuperação do testemunho;
- d) a perfuração pode ser mais rápida do que a maioria dos outros métodos, dependendo da profundidade e do material perfurado, com a exceção da perfuração de circulação reversa;
- e) sondagens uniformes com um mínimo de desvio, ideal para a instalação de poço de monitoramento e correspondente tempo de desenvolvimento;
- f) redução do resíduo resultante da perfuração.

As desvantagens da utilização da cravação contínua são:

- a) a perfuração e amostragem de rochas requerem a adição de água ou ar, ou ambos, para remover o material da perfuração;
- b) dificuldades em aquisição e locação destes equipamentos;
- c) a extração do revestimento pode impregnar a parede da perfuração com silte ou argila;
- d) o solo pode ser deslocado para a parede do furo durante a perfuração.

6.7 Percussão com lavagem

Este método é realizado bombeando água sob pressão pelas hastes de perfuração. A ação de jateamento do fluido de perfuração, associada ao avanço do trépano, provoca a desagregação do solo e o avanço da perfuração. O material perfurado é carregado pelo fluido de perfuração até a superfície no espaço anular formado entre a coluna de perfuração e a parede do furo.

Para melhorar a ação de corte do trépano, a coluna de perfuração deve ser girada enquanto o processo de jateamento está sendo realizado. Nos casos em que ocorre desmoronamento do furo, o revestimento deve ser utilizado.

Em geral, são necessárias grandes quantidades de água para a perfuração a percussão com lavagem. A água usada durante o processo de perfuração pode alterar a qualidade do solo e da água caso ocorra o jateamento em um furo não revestido, por causa da mistura vertical ascendente da água subterrânea e materiais geológicos provocando a contaminação cruzada.

As vantagens da utilização da percussão com lavagem são:

- a) quantidade mínima de equipamento;
- b) equipamento altamente móvel;
- c) perfuração rápida em alguns solos.

As desvantagens da utilização da percussão com lavagem são:

- a) o uso da água pode alterar a qualidade do solo e da água subterrânea;
- b) a parede do furo pode desmoronar antes da instalação do poço de monitoramento, se o furo não estiver revestido;
- c) o preenchimento e a selagem podem ser difíceis devido ao desmoronamento do furo;
- d) exigência de grandes quantidades de água durante o processo de perfuração;
- e) a presença de cascalhos ou materiais maiores pode limitar a perfuração;
- f) limitado à perfuração de profundidades relativamente pequenas, furos com pequenos diâmetros.

A Figura 6 apresenta o esquema de equipamento a percussão com lavagem.

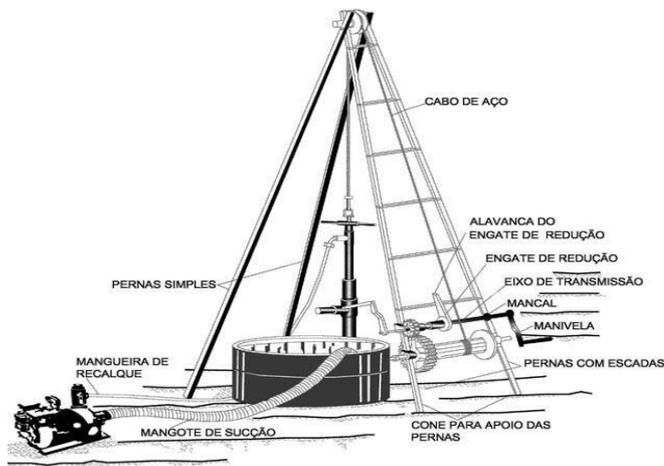


Figura 6 — Esquema de equipamento a percussão com lavagem

7 Registros das perfurações

7.1 Todas as ocorrências, informações e procedimentos adotados durante a execução de cada perfuração devem ser documentados e registrados, de modo a possibilitar o posterior entendimento e tratamento dos dados apresentados. Os registros devem ser feitos em documento ou formulário adequado.

7.2 Os registros devem conter:

- a) data;
- b) equipe;

- c) profissional responsável;
- d) descrição da metodologia e dos equipamentos utilizados;
- e) volumes e tipos de fluidos (quando utilizados);
- f) unidades geológicas perfuradas;
- g) condições climáticas;
- h) distribuição litológica;
- i) profundidades da perfuração;
- j) características litológicas do perfil da sondagem (textura, estrutura, cor, cimentação, coesão etc. – ver Anexo A);
- k) profundidade do(s) nível(eis) da água;
- l) recuperação da amostra;
- m) indícios de contaminação;
- n) medições realizadas no campo (concentração de vapores no solo etc.); e
- o) dificuldades encontradas.

Além dos itens listados acima, os registros devem conter dados sobre a locação dos furos, a descrição da área investigada e um mapa georreferenciado em UTM (referência do *datum* utilizado) com localização de cada sondagem/perfuração.

8 Descontaminação de equipamentos

8.1 Todas as ferramentas e equipamentos que estão diretamente em contato com a amostra a ser coletada e/ou com o material encaixante, que não sejam descartáveis, como, por exemplo, trados (caneco, holandês, helicoidal etc.), brocas, amostradores, pás, espátulas, baldes, revestimentos, hastes etc., devem ser obrigatoriamente descontaminados entre as amostragens, entre as perfurações em uma mesma área e entre áreas distintas.

8.2 O procedimento de descontaminação varia de acordo com o tipo de contaminante e do equipamento utilizado. A descontaminação deve ocorrer em local apropriado e os resíduos/efluentes gerados devem ser armazenados e destinados adequadamente.

8.2.1 O procedimento mínimo a ser seguido é o seguinte:

- a) remover o solo aderido no equipamento ou ferramenta por meio de espátula ou escova;
- b) lavar as ferramentas e equipamentos com uma solução de água e detergente alcalino, isento de fosfato, utilizando uma bomba de alta pressão ou vapor. A água utilizada deve ser de fonte de qualidade conhecida e que não contenha compostos que possam comprometer a integridade e a qualidade das amostras;
- c) enxaguar cuidadosamente as ferramentas e equipamentos com água. A água utilizada deve ser de fonte de qualidade conhecida e que não contenha compostos que possam comprometer a integridade e a qualidade das amostras;
- d) enxaguar cuidadosamente as ferramentas e equipamentos com água destilada;
- e) secar as ferramentas e equipamentos com material inerte ou naturalmente e armazenar em local limpo.

Anexo A (normativo)

Litografia do perfil da sondagem

A.1 Descrição

A.1.1 Nos casos em que o método de perfuração escolhido permitir a coleta de amostras (ver Tabela 1), é obrigatória a descrição das características do material. Para isso é necessária uma observação táctil-visual do solo amostrado durante a sondagem de campo.

As características que devem ser observadas e descritas, quando possível, são:

- a) cor;
- b) textura;
- c) consistência;
- d) nódulos e concreções minerais;
- e) presença de carbonatos;
- f) presença de manganês;
- g) coesão;
- h) aspectos descritivos das estruturas da amostra.

A.1.2 Os dados obtidos e observados em campo com base nas características listadas acima devem ser registrados e, quando possível, devem ser fotografados. Estas informações devem ser compiladas e apresentadas em um relatório.

A.2 Cor

A.2.1 Esta é uma característica de mais fácil visualização nos solos, e a partir dela é possível fazer inferências como, por exemplo, quanto ao conteúdo de matéria orgânica (MO). Solos escuros contêm maior conteúdo de MO.

A.2.2 A caracterização da cor segue uma padronização mundial, que é o Sistema *Munsell* de Cores para Solos (*Munsell Soil Color Charts*).

A.2.3 Para a observação da cor, é conveniente quebrar os agregados ou torrões para se determinar se a cor é a mesma, dentro ou fora da amostra. Em casos em que os solos tenham estrutura granular muito pequena como, por exemplo, do tamanho do pó de café, deve se tomar uma porção de material suficiente para a comparação com os padrões existentes na carta de cores. Esta caracterização da cor deve ser feita obrigatoriamente em campo e é importante que haja uma boa iluminação.

A.2.4 A Tabela A.1 apresenta a designações de cores, de acordo com o *Munsell Soil Color Charts*.

Tabela A.1 — Cores de acordo com o *Munsell soil color charts*

Cor		Cor	
Munsell	Correspondente em Português	Munsell	Correspondente em Português
Black	Preto	Light reddish brown	Bruno-avermelhado-claro
Bluish black	Preto-azulado	Light reddish gray	Cinzento-avermelhado-claro
Bluish gray	Cinzento-azulado	Light yellowish brown	Bruno-amarelado-claro
Brown	Bruno	Bluish gray	Cinzento-azulado
Brownish yellow	Amarelo-brunado	Olive	Oliva
Dark bluish gray	Cinzento-azulado-escuro	Olive brown	Bruno-oliváceo
Dark brown	Bruno-escuro	Olive gray	Cinzento-oliváceo
Dark gray	Cinzento-escuro	Olive yellow	Amarelo-oliváceo
Dark grayish brown	Bruno-acinzentado-escuro	Pale brown	Bruno-claro-acinzentado
Dark grayish green	Verde-acinzentado-escuro	Pale green	Verde-claro-acinzentado
Dark greenish gray	Cinzento-esverdeado-escuro	Pale olive	Oliva-claro-acinzentado
Dark olive	Oliva-escuro	Pale red	Vermelho-claro-acinzentado
Dark olive brown	Bruno-oliváceo-escuro	Pale yellow	Amarelo-claro-acinzentado
Dark olive gray	Cinzento-oliváceo-escuro	Pink	Rosado
Dark red	Vermelho-escuro	Pinkish gray	Cinzento-rosado
Dark reddish brown	Bruno-avermelhado-escuro	Pinkish white	Branco-rosado
Dark reddish gray	Cinzento-avermelhado-escuro	Red	Vermelho
Dark yellowish brown	Bruno-amarelado-escuro	Reddish black	Preto-avermelhado
Dusky red	Vermelho-escuro-acinzentado	Reddish brown	Bruno-avermelhado
Gray	Cinzentado	Reddish gray	Cinzento-avermelhado
Grayish brown	Bruno-acinzentado	Reddish yellow	Amarelo-avermelhado
Grayish green	Verde-acinzentado	Strong brown	Bruno-forte
Greenish black	Preto-esverdeado	Very dark brown	Bruno muito escuro
Greenish gray	Cinzento-esverdeado	Very dark gray	Cinzento muito escuro
Light bluish gray	Cinzento-azulado-claro	Very dark grayish brown	Bruno-acinzentado muito escuro
Light brown	Bruno-claro	Very dusky red	Vermelho muito escuro-acinzentado
Light brownish gray	Cinzento-brunado-claro	Very pale brown	Bruno muito claro-acinzentado
Light gray	Cinzentado-claro	Weak red	Vermelho-acinzentado
Light greenish gray	Cinzentado-esverdeado-claro	White	Branco
Light olive brown	Bruno-oliváceo-claro	Yellow	Amarelo
Light olive gray	Cinzento-oliváceo-claro	Yellowish brown	Bruno-amarelado
Light red	Vermelho-claro	Yellowish red	Vermelho-amarelado

A.2.5 Alguns materiais podem estar mesclados com mais de uma cor e esse padrão é chamado de mosqueado ou variegado.

Quando a amostra tiver várias cores, mas não houver predominância perceptível de uma cor constituindo fundo, deve ser denominada coloração variegada. Se a coloração variegada for muito complexa, devem ser registrados os nomes das cores.

A.3 Textura

A.3.1 Esta característica refere-se à proporção relativa das frações granulométricas, ou seja, das frações de areia, silte e argila que compõem a amostra de solo.

A.3.2 A textura deve ser obrigatoriamente descrita no campo e é estimada pelas sensações táteis. A areia pode ser subdividida em areia grossa, média, fina e muito fina. Por exemplo, um solo arenoso será áspero à medida que o teor de areia grossa presente for maior. Os grãos de areia são visíveis a olho nu. O silte é facilmente percebido em amostras que contêm alto teor e confere ao solo uma sedosidade ao tato, semelhante ao talco. A argila confere ao solo uma maior plasticidade (capacidade de moldar-se) e pegajosidade (capacidade de aderir-se), se comparada às frações de areia e silte.

NOTA Quando necessário, um maior refinamento na determinação da granulometria pode ser realizado em campo com o auxílio de peneiras e/ou em laboratórios.

A.3.3 Recomenda-se que, ao se avaliar a textura, a amostra de solo seja homogeneizada, a fim de quebrar os agregados, impedindo uma má interpretação destes como sendo fração areia.

É raro encontrar um solo composto por apenas uma fração granulométrica. Assim, existem classes de textura que tentam definir as diferentes combinações da areia, silte e argila.

Quando forem observadas frações acima de 2 mm de diâmetro, estas são denominadas frações grosseiras e devem ser classificadas em:

- a) cascalho: fração de 2 mm a 2 cm de diâmetro;
- b) calhaus (seixo): fração de 2 cm a 20 cm de diâmetro;
- c) matacão: fração maior que 20 cm de diâmetro.

NOTA O termo seixo é utilizado somente para as frações grosseiras que apresentam contornos arredondados (rolados).

A.4 Consistência

A consistência e a caracterização da plasticidade devem seguir as orientações descritas em 6.3, 6.6 e Anexo A (Tabela dos estados de compacidade e de consistência) da ABNT NBR 6484:2001.

A.5 Nódulos e concreções minerais

Estes são corpos cimentados que podem ser removidos intactos da matriz do solo. A composição destes corpos varia de matérias semelhantes à massa de solo contígua até as substâncias puras de composição totalmente diferente do matriz do solo.

As concreções se diferenciam dos nódulos pela organização interna. As concreções têm simetria interna disposta em torno de um ponto, de um plano ou de uma linha, e os nódulos carecem de uma organização interna ordenada.

A descrição, neste caso, deve contemplar a quantidade, tamanho, dureza, cor e natureza das concreções e nódulos, conforme a seguir:

a) quantidade:

- muito pouco - menos de 5 % do volume;
- pouco – 5 % a 15 % do volume;
- freqüente – 15 % a 40 % do volume;
- muito freqüentes – 40 % a 80 % do volume;
- dominante – mais que 80 % do volume;

b) tamanho:

- pequeno - menor que 1 cm de diâmetro - maior dimensão;
- grande - maior que 1 cm de diâmetro – maior dimensão;

c) dureza:

- macio – pode ser quebrado entre os dedos;
- duro – não pode ser quebrado entre os dedos;

d) forma:

- esférica, angular e irregular;

e) cor:

- utilizar termos simples (preto, branco, vermelho etc.).

f) natureza:

- a natureza do material do qual o nódulo ou a concreção é principalmente formada, por exemplo: concreções ferruginosas (materiais com predomínio de compostos de ferro), ferro-magnesianas, carbonato de cálcio etc.

EXEMPLO DE DESCRIÇÃO: Nódulo pouco pequeno (0,20 cm), macio, irregular, preto, ferroso, de estrutura amorfa.

A.6 Presença de carbonatos

Esta característica é observada em campo pela efervescência do material, por meio da adição de algumas gotas de HCl 10%. A amostra deve ser partida e o HCl deve ser gotejado em uma superfície que não foi exposta a umidade.

A efervescência pode ser:

a) ligeira:

- efervescência fraca, bolhas visíveis;

b) forte:

- efervescência visível, bolhas formam espuma na superfície da amostra;

c) violenta:

- efervescência forte, forma rapidamente espuma e é possível visualizar grãos de Ca na amostra.

A.7 Presença de manganês

É observada em campo pela efervescência da amostra de solo após a adição de algumas gotas de peróxido de hidrogênio (20 volumes). Esta característica pode ser:

a) ligeira:

- efervescência fraca, somente ouvida;

b) forte:

- efervescência visível, sem ruptura dos agregados;

c) violenta:

- efervescência forte, causando na maioria das vezes ruptura dos agregados.

A.8 Coesão

A coesão se divide em dois graus, pois o não coeso é desnecessário, porque neste caso o solo será considerado normal.

a) moderadamente coeso:

- material de solo, quando seco, resiste à penetração do trado e fraca organização estrutural. Quando seco, apresenta consistência geralmente dura; quando úmido, varia de friável a firme;

b) fortemente coeso:

- o material, quando seco, resiste fortemente à penetração do trado e não apresenta organização estrutural visível. Quando seco, apresenta consistência muito dura e às vezes extremamente dura e úmida varia de friável a firme.

As propriedades físicas dos solos não são determinadas somente com base na identificação ou classificação de campo, mas também por ensaios de laboratório ou de campo. Devendo ser realizadas, quando necessário, amostras representativas de solo e/ou rochas provenientes das sondagens devem ser coletadas e armazenadas segundo os procedimentos definidos pela agência regulamentadora, com base em normas específicas sobre o assunto.

A.9 Aspectos descritivos das estruturas da amostra

As características estruturais da amostra devem ser descritas em campo, caso sejam observadas, tais como: estratificação, fraturamento, foliação, grau de intemperismo, entre outros.

Bibliografia

- [1] ISO 10381-2 – Soil Quality –Sampling – part 2- Guidance on sampling techniques.
- [2] ISO 10381-3 – Soil Quality –Sampling – part 3- Guidance on safety.
- [3] American Petroleum Institute (API), “Wireline Operations and Procedures”, 3ª Edição, API, Washington, DC, 1994.
- [4] “Subsurface Characterization and Monitoring Techniques: a Desk Reference Guide,” Vol 1: Solids and Ground Water Appendices A and B, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1993, EPA/625/R- 93/003a.
- [5] CETESB,1999- Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.
- [6] Driscoll, F.G. “Groundwater and Wells,” 2nd ed. Johnson Filtration Systems, Inc., St. Paul, MN, 1986.
- [7] Nielsen, D.M. and Schalla, R., “Design and Installation of Ground-Water Monitoring Wells,” *Practical Handbook of Ground-Water Monitoring*, D.M. Nielsen (ed.), Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1991,.
- [8] Nielsen, D.M. *Practical Handbook of Environmental Site Characterization and Ground-Water Monitoring*-second edition – CRC Press, Boca Raton, FL, 2006.
- [9] Santos, Raphael David dos Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo, por R.D dos Santos e outros autores, 5 edição- Revista e ampliada, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005.
- [10] Shuter, E. and Teasdale, W.E.,“ Application of Drilling, Coring, and Sampling Techniques to Test Holes and Wells,” *U.S. Geological Survey*