



A utilização de sistemas dedicados de baixa vazão para coleta de amostras de águas subterrâneas aumenta a precisão da amostra, reduz os custos do monitoramento em até 50% e o volume de descarte em 90%.

por Paulo Negrão, eng.

Estudos recentes realizados nos Estados Unidos apontam a utilização de equipamentos dedicados como sendo o meio mais eficiente e preciso para coleta de amostras de águas subterrâneas. O conceito de se deixar o equipamento permanentemente no poço de monitoramento e bombear a água subterrânea com vazão máxima de 1000 ml/min aumenta a qualidade da amostra, elimina a necessidade de brancos e reduz o volume de purga em até 90%.

Este artigo visa discutir os métodos convencionais de amostragem, estabelecer comparações e apresentar o conceito de amostragem de águas subterrâneas com baixas vazões.

A Importância da Coleta de Amostras de Águas Subterrâneas

O monitoramento e a coleta de amostras de águas subterrâneas são fundamentais para avaliação de um sítio de remediação. Os dados fornecidos pelo programa de amostragem e monitoramento dos aquíferos subterrâneos são subsídios imprescindíveis para a condução de um projeto de recuperação ambiental, de maneira que os procedimentos e métodos para obtenção dessas amostras devem ser tratados com máxima atenção antes, durante e após as ações de saneamento, a fim de que as amostras coletadas reflitam a qualidade da água numa área de interesse.

Um programa de monitoramento bem planejado, com objetivos e parâmetros de qualidade bem definidos, desde o projeto de construção e instalação dos poços até a interpretação dos resultados analíticos, faz com que as decisões a serem tomadas durante a remediação sejam fundadas em dados representativos da situação.

Erros durante a coleta de amostras podem, freqüentemente, levar a obtenção de resultados não representativos e comprometer todo o processo de remediação. A avaliação e qualificação de um sítio de remediação é baseada nos dados analíticos obtidos através dessas amostras, as quais visam revelar a presença ou não de agentes contaminantes. Uma vez que elas não reflitam a realidade, o risco de se classificar de maneira



errada o caso diante dos órgãos ambientais e regulamentações cresce.

Está fora do escopo de intenções deste artigo discutir os aspectos e importâncias da caracterização hidrogeológica do sítio de remediação.

Métodos Convencionais de Coleta de Amostras

As técnicas convencionais de coleta de amostras de águas subterrâneas foram desenvolvidas antes do surgimento da indústria de equipamentos de amostragem. Nesta época as bombas utilizadas eram normalmente elétricas e possuíam altas taxas de bombeamento. Esses métodos recomendavam que a água contida no poço fosse purgada várias vezes antes que a amostra pudesse ser coletada. Os conceitos então vigentes diziam, em resumo: "Bombeie a água ao redor do piezômetro, pois a que está no poço foi alterada devido ao contato com o oxigênio e outros fatores, uma vez

que está estagnada no poço. Livre-se da água que está no poço e amostre a água que migra para ele”.

Os métodos convencionais impunham que fossem eliminados de 3 a 5 vezes o volume do poço e só então a amostra poderia ser coletada em garrafas de 40ml a 1 litro. O volume do poço é o volume d'água que existe no poço no momento da amostragem. Deste modo, um poço de 4" de diâmetro interno e com uma coluna d'água da ordem de 30 metros, gerará cerca de 235 litros de resíduo por purga. O mais comum no entanto é utilizar piezômetros de 2" de diâmetro interno, com 7,50 metros de coluna d'água, para fins de amostragem. Neste caso, cada volume é da ordem de 15 litros, o que resulta num volume de purga entre 45 e 75 litros antes que a amostra seja coletada.

O Método de Coleta de Amostras com Baixas Vazões

A “nova” sabedoria diz que ao se remover a água contida no poço pode-se corromper a amostra, uma vez que se retira a água contida nas camadas baixas e altas da formação. O novo conceito diz que a melhor maneira de se obter uma amostra verdadeiramente representativa é retirar a água do poço de modo bem lento. A vazão de bombeamento deve ser da ordem de 100 a 500ml por minuto, ou de no máximo 1000ml/min, dependendo das condições hidrogeológicas do local. O rebaixamento causado pelo bombeamento deve ser inferior a 10cm.

No trabalho científico divulgado pelo US EPA (Low Flow – Minimal Drawdown – Groundwater Sampling Procedures, EPA/540/S-95/504, Dez'95), os pesquisadores Robert Puls e Michael Barcelona apresentam de maneira objetiva e clara os conceitos do novo método.

Segundo Puls e Barcelona, na coleta de amostras com baixas vazões (Low Flow), a amostra deve ser coletada na metade ou um pouco acima da metade da seção filtrante do poço, ou seja, a captação da bomba deve ser posicionada nesse ponto.

Neste trabalho é sugerido o momento da coleta da amostra como sendo o momento em que os parâmetros de turbidez, condutividade, pH, Oxigênio Dissolvido (DO) e Potencial de Óxido Redução (Redox Potential) da água mostram-se estáveis. As condições de estabilidade não estão rigidamente definidas. Ao invés de se monitorar os cinco parâmetros, aceita-se que sejam monitorados somente o pH, a condutividade, turbidez e oxigênio dissolvido. Três leituras consecutivas devem apresentar variações de ± 0.1 para o pH, $\pm 3\%$ para a condutividade, ± 10 mv no potencial de redox e $\pm 10\%$ para o oxigênio dissolvido e turbidez.

O intervalo de tempo entre as leituras deve variar em função da velocidade do bombeamento e podem ocorrer a cada 1 minuto, ou no máximo a cada 3 ou 5 minutos. Alguns artigos publicados em revistas internaci-

onais dizem que 5 litros de volume de purga são suficientes na maioria dos casos.

Vantagens e Desvantagens da Amostragem com Baixas Vazões

- Amostras que são representações da carga “móvel” dos contaminantes presentes (dissolvidos ou associados a coloidais),
- Distúrbio mínimo do ponto de amostragem, consequentemente minimizando os artefatos de amostragem,
- Menor variabilidade em relação ao operador e maior controle do operador,
- Reduz efeitos na formação (rebaixamento mínimo),
- Menor mistura entre a água estagnada no poço com a água da formação,
- Reduz a necessidade de filtragem e consequentemente redução no tempo de amostragem,
- Menores volumes de purga, o que diminui os custos de disposição de resíduos e tempo de amostragem,
- Melhor consistência da amostra, reduz a variabilidade artificial da amostra,

Algumas desvantagens da purga de baixa vazão incluem:

- Investimento inicial mais alto,
- Maior determinação de setagem de tempos no campo,
- Necessita transporte de mais equipamentos para o site,
- Aumenta a necessidade de treinamento,
- Resistência do pessoal de campo às mudanças,
- Preocupação que os novos dados indiquem “mudanças nas condições” e desencadeiem “ações”.

Portátil ou Dedicado?

A diferença entre equipamentos portáteis ou dedicados (ficam no poço) é essencialmente o orçamento operacional e o capital disponível. A utilização de equipamentos dedicados implica num maior investimento inicial, em comparação com os portáteis, e reduzem os custos de operação associados a mão-de-obra e gastos com análises. Essas reduções são significantivas ao longo da vida do programa de monitoramento.

Nos equipamentos portáteis é necessário que se limpe (descontamine) os instrumentos entre as amostragens, a fim de se evitar os riscos de contaminações cruzadas causadas pelo equipamento. A descontaminação de bombas, mangueiras, tubos, cabos de sustentação e *bailers* pode consumir mais de uma hora de trabalho entre a amostragem de dois poços, aumen-

tando os custos com mão de obra. Ainda, há a necessidade de se coletar um branco do equipamento após cada limpeza. Se a análise acusar traços de contaminação na amostra branca, haverá a necessidade de se reamostrar o poço, adicionando mais custos de mão de obra e análise. Mesmo que sejam tomados todos os cuidados durante os procedimentos de amostragem, ainda há o risco de que durante o manuseio e exposição do equipamento, ocorra a contaminação acidental da amostra. Outro fator a ser considerado é que, com equipamentos portáteis, os operadores ficam mais expostos a contaminações, uma vez que o contato com equipamentos contaminados e agentes químicos é maior.

Utilizando Sistemas Dedicados de Amostragem

Utilizar sistemas dedicados de amostragem significa que o instrumento/equipamento de coleta é deixado permanentemente no poço amostrado. Este procedimento oferece uma série de vantagens em relação ao uso de equipamentos portáteis (mesmo equipamento em vários poços), dentre as quais:

- Elimina a necessidade de se limpar e coletar brancos do equipamento entre a amostragem de cada poço.
- Elimina o risco de contaminação cruzada das amostras e dos poços.
- Reduz o trabalho de campo de 50 a 75%.
- Reduz os custos de análises analíticas, uma vez que não há brancos.
- Melhora a precisão da amostra, uma vez que ela é coletada de um ponto fixo.
- Reduz os riscos de exposição e de saúde dos operadores, pois não há necessidade de se manusear os equipamentos e de se utilizar agentes de limpeza.

Aumentando a Qualidade das Amostras e Controlando os Custos

Os equipamentos dedicados foram utilizados inicialmente para controlar a qualidade e precisão das amostras coletadas através dos métodos convencionais. Os usuários perceberam que a utilização de equipamentos no modo dedicado era o melhor método para se controlar os custos ao longo do tempo. Apesar do investimento inicial ser mais alto, o capital é recuperado através da redução dos custos de mão de obra e da não necessidade dos brancos de equipamento. A mão de obra não perde tempo com a montagem e desmontagem de todo o aparato que vai no interior do poço, e ainda não há a necessidade de se limpar os instrumentos entre amostragens. A maioria dos equipamentos dedicados se

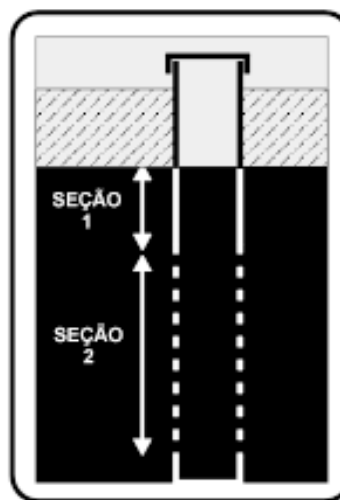
pagam entre 6 e 8 utilizações, atingindo o ponto de equilíbrio no segundo ano de utilização num programa de monitoramento trimestral. Em programas onde a coleta de amostras seja mais freqüente ou os custos de análise dos brancos esteja acima da média, o período de equilíbrio é ainda menor.

Sistemas dedicados aumentam a qualidade e a precisão da amostra, uma vez que a coleta é feita sempre do mesmo ponto (cota fixa) do poço. O risco de contaminação cruzada é eliminado, uma vez que o equipamento permanece no poço. E mais: como não há necessidade de descontaminação dos equipamentos, não há possibilidade de se "introduzir" contaminações através deste método. A mistura e agitação da água no interior do poço não é verificada, pois os equipamentos que ficam no interior do poço não são colocados e retirados após cada uso. Este fato diminui a turbidez da amostra e aumenta a precisão da coleta.

Reduzindo o Volume de Água para Descarte

Para entendermos este conceito, devemos dividir o poço em dois segmentos: O segmento que vai do topo da camada estática da água até o início da seção filtrante e o segmento da seção filtrante. (Veja Ilustração)

Estudos comprovam que, na maioria dos casos, a água contida na porção da seção filtrante de um poço de monitoramento é representativa em relação à água contida na formação. Enquanto a água acima e abaixo da seção filtrante fica estagnada, a água da seção filtrante é constantemente renovada, em função do escoamento do aquífero subterrâneo.



Avaliando-se os métodos convencionais de coleta de amostras, constata-se que o simples fato de se introduzir um *bailer* no interior do poço é suficiente para causar a mistura e a agitação da água contida no poço e em suas imediações. Quando são utilizadas bombas de alta vazão, o bombeamento mistura a água estagnada

acima e abaixo da seção filtrante com a água do intervalo, além de aumentar as chances de se suspender as partículas coloidais precipitadas no fundo do poço.

Os métodos convencionais requerem que sejam retiradas várias vezes o volume do poço. Essa prática implica num volume de água a ser descartado de centenas de litros por poço. É importante lembrar que,

freqüentemente, esta água deve ser levada a uma estação de tratamento ou de descarte.

Por proporcionar um bombeamento suave e lento, as bombas do tipo *bladder* (de bexiga) mostraram-se ser as mais recomendadas para o bombeamento da água contida no intervalo da seção filtrante.

As bombas *bladder* têm somente três partes móveis: a bexiga interna e duas válvulas de retenção. O líquido, quando adentra a bomba, fica abrigado no interior da bexiga. Quando o ar comprimido é liberado para a bomba, através de temporizadores pneumáticos, ele comprime o espaço anelar entre o *case* da bomba e a parte externa da bexiga, portanto não entra em contato direto com o líquido, evitando a aeração da amostra, perda de compostos voláteis, cavitação ou adição de gases à amostra.

Portanto, a utilização de uma bomba de baixa vazão (*low flow*) do tipo *bladder*, pode eliminar a necessidade de se remover grandes quantidades d'água do poço, uma vez que ela bombeia, em volume menor, a água contida no intervalo da seção filtrante. Esta prática resulta em volumes muito menores de purga (normalmente menos de 4 litros), em tempos menores de purga e de amostragem, especialmente quando comparada ao uso de *bailers*.

Um estudo piloto realizado num *site* com 90 poços de monitoramento, comparou os volumes de purga gerados pelos três métodos de coleta de amostra num único evento de coleta: *bailer* e bomba elétrica, *bladder* portátil e *bladder* dedicado.

Os volumes de purga foram: 28.500 litros com o método de *bailers* e bombas elétricas, 9.500 litros com *bladder* portátil e 180 litros com o sistema dedicado.

O Que Acontece em Cada Método

Bailers: é o instrumento de amostragem mais comum. Teoricamente coletam amostras sem alterar a química das mesmas, uma vez que se enchem e esvaziam sem provocar qualquer sucção ou introdução de pressão na amostra. Infelizmente no campo a coisa não é bem assim.

A quantidade de vezes que o *bailer* é introduzido e retirado do poço faz com que o nível d'água suba e desça, causando fluxo de água para dentro e para fora da seção filtrante. Esta reversão do sentido do fluxo faz com que as partículas finas presas ao revestimento, na seção filtrante e nas imediações do poço aumentem a turbidez da água. O aumento da turbidez está associado ao aumento das concentrações de metais e aumento do tempo de filtragem com filtros para metais.

Ainda, a introdução do *bailer* no poço aumenta a aeração da coluna d'água, alterando as concentrações de VOC's e metais.

Por ser um método manual, a qualidade do processo está diretamente ligada à habilidade do operador, podendo ser afetada pela velocidade com que o *bailer* é introduzido no poço, pela profundidade que a amostra é coletada e até mesmo pela maneira de se transferir a amostra para a garrafa. Os *bailers* também agitam a água do poço, misturando as camadas estagnadas com a água do intervalo filtrante.

Outros fatores como o risco de contaminação do operador devido ao manuseio dos instrumentos, contaminação cruzada e exposição ao ambiente externo devem ser consideradas.

Bombas Elétricas Submersíveis: as bombas elétricas sofrem de um problema congênito. São todas movidas por motores compactos que geram calor, o qual é transferido para a água que passa por ele. O ambiente restrito do poço impede que esse motor se refrigere de maneira adequada e a falta de refrigeração pode causar aumento da necessidade de manutenções e até estragos maiores. O conserto de uma bomba elétrica quase nunca pode ser feito no campo.

O calor transferido para a amostra altera as concentrações de VOC's, metais e as características químicas da amostra. Quando se monitora a temperatura da água como parâmetro de estabilização, este aquecimento pode levar a obtenção de dados equivocados.

Bombas elétricas são comumente feitas por parte metálicas, incluindo latão, bronze, aço carbono e inóx. Apesar de serem aceitos como materiais inertes, concentrações clorídricas altas, pH e sólidos dissolvidos podem comprometer esses materiais.

Outro fator importante a ser considerado é a necessidade de eletricidade, o que é normalmente resolvido por um gerador. Os riscos e preocupações de se usar altas voltagens (>220V) no campo são muito maiores com equipamentos elétricos do que com equipamentos manuais ou movidos a ar comprimido.

As bombas elétricas podem produzir vazões excelentes e muito eficientes para a purga de grandes volumes. Porém as altas vazões são um problema em formações compactas, que não produzem água em volume suficiente para dar continuidade ao bombeamento. O excesso de bombeamento num poço de monitoramento implica no aumento da turbidez da amostra, pode danificar a camada filtrante e selos e criar um rebaixamento excessivo, o qual causa a mistura das camadas distintas de água contidas no poço. O rebaixamento pode fazer com que a pluma de contaminação se espalhe ainda mais.

Bombas Bladder: conforme dissemos anteriormente, as bombas do tipo *bladder* foram projetadas para fornecer amostras precisas de água subterrâneas. As partes móveis são somente três e a velocidade com que

a bomba se enche e esvazia pode ser controlada, permitindo baixas vazões. Ao se trabalhar com baixas vazões minimiza-se os distúrbios no poço e na água contida na formação, além de facilitar o enchimento das garrafas de amostras. Já falamos do fato do ar comprimido não entrar em contato direto com a amostra, portanto não há riscos de perda de VOC's, aeração, etc.

Vários artigos técnicos publicados nos últimos anos reconhecem as bombas de bexiga como sendo as melhores para a coleta de amostras de águas subterrâneas.

O consumo de ar de uma bomba bladder é inferior a de um homem respirando. Sua alimentação pode ser feita por um pequeno compressor portátil, e aí incluem-se os compressores sem óleo, ou ainda através de cilindros de nitrogênio. Eliminam-se os riscos de se mexer com eletricidade e altas voltagens nas imediações do poço e a geração de calor.

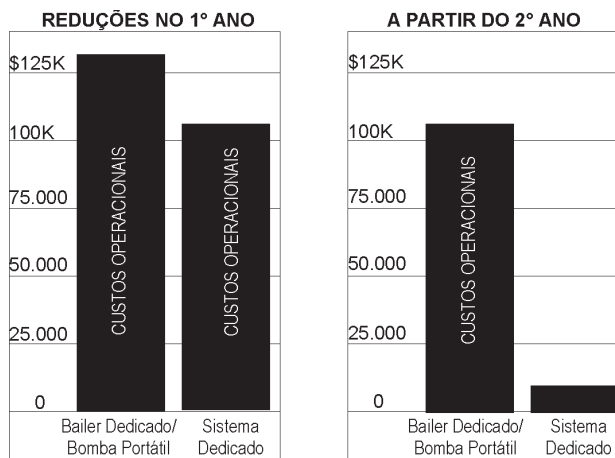
Economizando Dinheiro com o Uso de Sistemas Dedicados

A decisão de se utilizar sistemas dedicados ou portáteis de monitoramento depende da duração do programa de amostragem e da oportunidade de se reduzir custos operacionais. A seguir apresentaremos dois casos para ilustrar as reduções de custo propiciadas pelos sistemas dedicados

Caso 1: Sistema de Bomba Dedicada x Sistema de Bailer Dedicado/Bomba Portátil de Purga.

Uma empresa de processamento de resíduos perigosos localizada no Sul dos Estados Unidos amostrava 120 poços de monitoramento trimestralmente. Comparando-se os custos entre o sistema dedicado e o sistema de bailers dedicados com bombas portáteis para purga, verificou-se uma economia de US\$ 104.000,00 por ano com o uso dos sistemas dedicados.

A maior parte da economia veio da eliminação



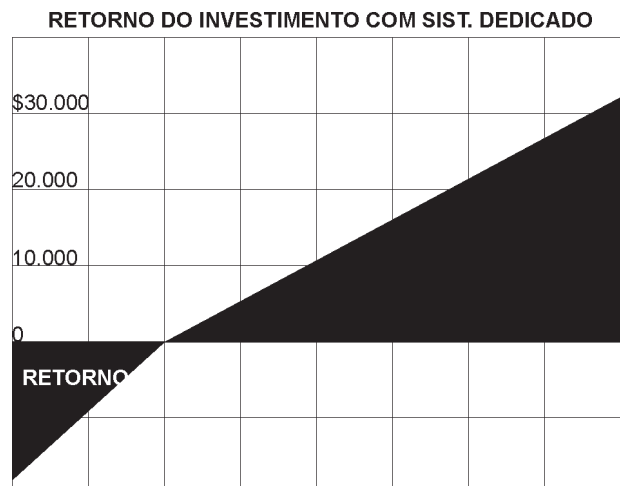
da necessidade dos blancos do equipamento após cada limpeza. Somente 6 poços eram monitorados por dia com o uso de *bailers*, uma vez que a limpeza dos instrumentos e coleta de blancos consumia a maior parte do tempo e recursos. Esses custos foram totalmente eliminados com a introdução de sistemas dedicados.

A redução dos custos operacionais foi suficiente para pagar todo o equipamento dedicado e ainda sobrou US\$ 33.000,00 no primeiro ano. Os custos operacionais nos anos seguintes foram 90% menores em comparação aos sistemas de bailers (US\$11.000,00 x US\$115.000,00).

Caso 2: Sistema Dedicado x Sistema Portátil

Um aterro sanitário localizado do Noroeste dos Estados Unidos vêm monitorando 70 poços com equipamentos portáteis, a cada três meses.

Após a instalação de sistemas dedicados, os custos de mão de obra foram reduzidos em mais de 50%, uma vez que uma pessoa sozinha podia realizar a tarefa de amostrar os poços em menos tempo que duas pessoas anteriormente. Os custos com análise dos blancos de equipamento foram totalmente eliminados. A economia de US\$2.500,00 por evento de amostragem foi suficiente para pagar, em menos de 2 anos, o investimento de US\$19.000,00 feito em equipamentos dedicados. Nos anos seguintes as economias foram da ordem de US\$10.000,00. □

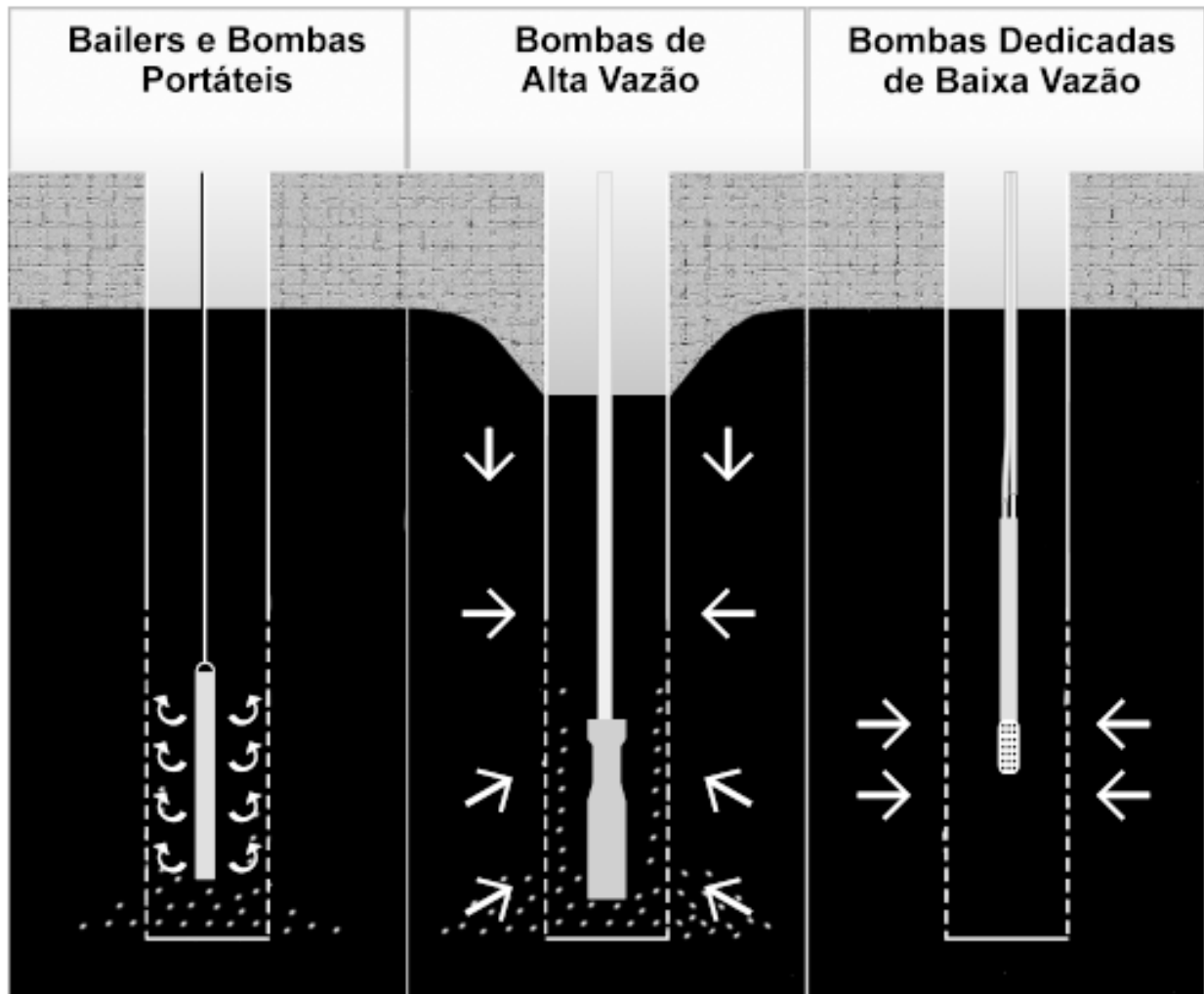


Paulo Negrão é professor na Faculdade de Engenharia da PUC de Campinas e diretor da Clean Environment Brasil, distribuidora dos equipamentos da Clean Environment Equipment no Brasil.

Bibliografia

1. US EPA. 1995. **Low Flow (Minimal Drawdown) Ground-Water Sampling Procedures**, Robert W. Puls e Michael J. Barcelona.
2. Ground Water Monitoring & Remediation. Spring 1992. **Suggested Modifications to Ground Water Sampling Procedures Based on Observations from the Colloidal Borescope**, Peter M. Kearl, Nic E. Korte e Tom A. Cronk.
3. Ground Water. Jan-Feb 1994. **Reproducible Well-Purging Procedures and VOC Stabilization Criteria for Ground-Water Sampling**, Michael J. Barcelona, H. Allen Wehrmann e Mark D. Varljen.
4. Ground Water Monitoring & Remediation. Winter 1992. **Low-Flow Purging and Sampling of Ground-Water Monitoring Wells with Dedicated Systems**, Robert W. Puls e Cynthia J. Paul
5. Journal of Contaminant Hydrology. 1993. **Passive Sampling of Groundwater Monitoring Wells without Purging: Multilevel Well Chemistry and Tracer Disappearance**, Robert M. Powell e Robert W. Puls
6. Ground Water Monitoring & Remediation. Fall 1994. **Field Comparison of Micropurging vs. Traditional Ground Water Sampling**, Peter M. Kearl, Nic E. Korte, Mike Stites e Joe Baker.

Visite a Clean Environment sem sair da cadeira
<http://www.cee.com>



- ♦ A água estagnada mistura-se com água da seção filtrante
- ♦ A introdução dos instrumentos de coleta causam aeração da amostra; a agitação faz com que aumente a turbidez.
- ♦ Amostra menos precisa, mesmo purgando o poço de 3 a 5 vezes.

- ♦ O rebaixamento puxa a água estagnada para a zona de amostragem.
- ♦ Mistura amostras de zonas quimicamente distintas do aquífero.
- ♦ Amostras menos precisas, devido aos efeitos causados nos compostos voláteis, turbidez e mistura.

- ♦ Não há distúrbio na coluna d'água. Não há mistura de águas de zonas distintas e aumento de turbidez.
- ♦ O fluxo de água do aquífero renova a água que passa pela seção filtrante.
- ♦ Amostras representativas, sem necessidade de purgas.