

NOVA TECNOLOGIA DE MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Geotecnologia *dProbe*

Nilton Silva ¹, Marcelo H. Fritz ¹, Nilton J. Miyashiro², Marco T. Riyis ³, Luiz F. Miliorini ⁴

¹ Tec3GEO. Av. Prof. Lineu Prestes, 2242. São Paulo (SP). nilton@tec3geo.com.br

² Engesolos. Al. Raja Gabaglia, 271. São Paulo (SP). engenharia@engesolos.com.br

³ ECD Ambiental. Av. Américo de Carvalho, 790. Sorocaba (SP). marcos@ecdambiental.com.br

⁴ KW Ambiental. Rua Artur Pinto da Rocha, 111. São Paulo (SP). luiz@kwambiental.com.br

Palavras-Chave: poços de monitoramento multinível; amostragem de alta resolução; melhora da resolução vertical; amostragem de baixa vazão;

RESUMO

Este trabalho apresenta a geotecnologia *dProbe* de investigação de água subterrânea em alta resolução, um novo conceito de instrumental de grande versatilidade para amostragem de água subterrânea multinível e nível único, onde diversas limitações dos poços convencionais e multiníveis foram superadas ou minimizadas, sem deixar de atender a essência das normas em vigor. Ao final, são apresentados alguns resultados comparativos do desempenho de purga e amostragem entre um poço convencional e um poço *dProbe* de nível único, realizados no Centro Universitário SENAC em área não contaminada.

INTRODUÇÃO

A amostragem de águas subterrâneas é fundamental na avaliação de passivos ambientais, como definido na norma CETESB DD-38, 2017. O instrumental de acesso à subsuperfície é o conhecido “poço de monitoramento convencional”, definido nas normas ABNT NBR 15.495, constituído por um tubo de revestimento e seu tubo filtro, estando a metodologia de seu uso definida na norma ABNT NBR 15.847/2010.

No entanto, a investigação de água subterrânea por poço convencional apresenta limitações e talvez a principal delas seja a dificuldade em se obter dados discretos das unidades hidroestratigráficas de interesse. E, sendo a distribuição de contaminantes dissolvidos na subsuperfície espacialmente complexa, principalmente na direção vertical, este método é um meio deficiente de investigação de água subterrânea (Einarson, 2005). Adicionalmente, no Brasil, os tubos filtro comercializados são excessivamente longos, múltiplos de metro. Melhoras na resolução vertical via poços convencionais podem se dar com a instalação de diferentes tubulações na mesma perfuração ou em perfurações próximas, mas de maiores incertezas, custos e intervenções.

Alguns esforços internacionais têm sido realizados na criação de instrumentais de amostragem multinível, quando um único instrumento acessa diversas profundidades, melhorando significativamente a resolução vertical. Estes esforços estão melhor descritos em Einarson, 2005.

Contudo, mesmo as soluções multiníveis importadas apresentam deficiências, além dos altos custos e prazos. As deficiências gerais nos instrumentais de monitoramento (convencional e multinível) para água subterrânea são: **i)** grandes dimensões, quantidades de partes ou pesos; **ii)** logísticas complexas de transporte e armazenagem; **iii)** dificuldades de manobras em superfície; **iv)** acesso ao interior do poço; **v)** trocas gasosas intrapoço e **vi)** volumes internos e de purga elevados.

Poços convencionais têm as deficiências específicas: **vii)** nível único e filtros longos, comprometendo a resolução vertical e **viii)** dificuldades de execução, colocação de pré-filtro e selagem vertical.

As soluções multiníveis importadas, além de maiores prazos e custos, têm as deficiências específicas: **ix)** complexidades do instrumental e **x)** inadequação às condições locais: solos inconsolidados ou **xi)** execução da selagem extremamente difícil.

MOTIVAÇÃO E ESCOPO

Neste cenário, um primeiro modelo de instrumental multinível foi idealizado por pesquisadores do IAG/USP em pesquisas geoambientais na EACH/USP, com resultados adequados, mas muito restritos (Abreu, 2012). Os bons resultados da fase acadêmica, em 2014, levaram à fase empresarial de PD&I com subvenção FAPESP/FINEP, na incubadora CIETEC da USP/IPEN/IPT, quando o modelo do instrumento foi reformulado para atacar as deficiências apontadas anteriormente com o apoio de importantes atores do geonegócio de São Paulo. Em 2017 o projeto atingiu o *status* de produto e foi batizado de Geotecnologia *dProbe*.

A NOVA GEOTECNOLOGIA

A geotecnologia *dProbe* é uma solução de concepção inovadora, uma sonda independente por porta de amostragem, rompendo o paradigma de um instrumento único com diversas portas de amostragem, veja **Figura 1**. Seu complemento é sua controladora (*dProbe Controller - dPC*) extremamente portátil, utilizada apenas nas operações de purga e amostragem. A sonda *dProbe* pode ser instalada em modo **multinível**, ou

nível único (uma sonda no poço), uma opção vantajosa ao poço convencional, que se adequa perfeitamente a terrenos inconsolidados (sedimentos quaternários, aterros, etc.) e se encaixa no conceito de método Investigação Geoambiental de Alta Resolução (*High Resolution Site Characterization – HRSC*) (EPA, 2018).

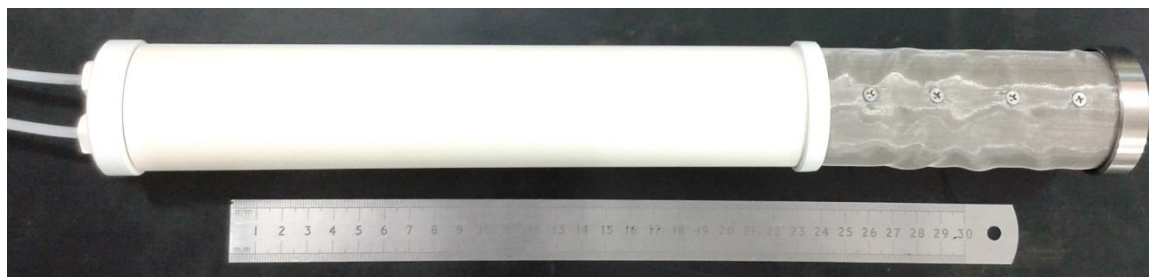


Figura 1: Sonda dProbe standard produzida em PVC e inox. Da esquerda para a direita, as duas vias de acionamento, o segmento de bombeamento e o filtro (tela de inox) e a tampa inferior de lastro em inox.

A sonda *dProbe* é dividida em duas partes: filtro e bomba. O filtro pode ser produzido em comprimentos de centímetros (HRSC) a metros, com elemento filtrante de tela em inox com abertura também customizada. Sua tampa inferior de inox também serve como lastro e dá à sonda vazia densidade de $2,5\text{g/cm}^3$.

A bomba se baseia no princípio de deslocamento positivo, sendo simples e robusta. Do topo da bomba partem dois tubos de diâmetro externo reduzido (4 mm) que se estendem até a superfície, vias de pressurização e de esgotamento. O bombeamento de gás inerte através da *dPC* impele os fluídos internos da bomba pela via de esgotamento, e dependendo do método empregado as pressões podem ser positivas e negativas. Adicionalmente, há um método automático de bombeamento especial para que ocorra Troca Gasosa Mínima (TGM) entre a amostra e o gás propelente (inerte), não havendo contato direto entre amostra e gás propelente.

Em consequência do diâmetro reduzido destas vias a execução dos poços de monitoramento *dProbe* é bastante facilitada devido ao maior espaço anelar, resultando num poço com estanqueidade vertical de qualidade superior em relação às tecnologias com instrumentais de bitola larga, múltinível ou convencional.

Na **Figura 2**, em sua porção superior esquerda, está a controladora de amostragem *dPC* e o cilindro de gás Argônio. Pode-se observar a pequena logística da solução, não havendo a necessidade de equipamentos de maior porte. Na porção superior direita está o registro da Equipe KW Ambiental realizando o teste comparativo. Na parte inferior da **Figura 2** estão os poços *dProbe2* (esquerda) e PM22 (direita) convencional distanciados 0,75m entre si, com os quais foram realizados os testes de desempenho.



Figura 2: Teste de desempenho. Na parte superior, à esquerda, a logística demanda na geotecnologia *dProbe* e à direita a Equipe da KW. Na parte inferior os poços *dProbe2* e PM22 SENAC Santo Amaro.

As principais características da geotecnologia *dProbe* são: **1)** amostragem de baixa vazão, permite atender os requisitos da norma **NBR 15.847/2010**; **2)** medidas automatizadas de N.A. e prof. de instalação de cada sonda (incerteza de $\pm 1\text{cm}$); **3)** controladora *dPC* calibrada pelo IPT/SP; **4)** medida de vazão automática

durante purga e amostragem (5 a 250ml/min); **5**) alta resolução vertical com comprimento de filtro e abertura de tela filtro customizados; **6**) manobras e logísticas otimizadas em: **6A**) transporte e armazenagem (dimensões e pesos reduzidos); **6B**) manobras de instalação (tempo e execução); **6C**) operação rápida e segura; **7**) melhores condições de amostragem: **7A**) menores volumes de purga e interferências locais; **7B**) isolamento interno do instrumento e **7C**) método de Troca Gasosa Mínima (TGM); **8**) estanqueidade vertical facilitada/melhorada; **9**) segurança do poço (ocultação das vias) e **10**) tecnologia e produto totalmente nacionais.

METODOLOGIA

Dois poços teste foram instalados no Centro Universitário SENAC - Santo Amaro, importante centro de ensino e pesquisa ambiental da zona sul da capital paulista, que concedeu espaço para instalação desta geotecnologia em área não contaminada destinada a ensaios e aulas. O poço designado dProbe1 foi instalado com três níveis e o poço designado dProbe2 foi instalado com nível único a 0,75m de um poço pré-montado (PM22) similar a um poço convencional. Os resultados apresentados se referem apenas aos poços dProbe2 e PM22 para comparação de desempenho de amostragem com base no item 7.2.2 da norma NBR 15.847/2010.

Tanto o poço dProbe2 quanto o poço PM22 foram instalados pelo sistema de cravação *Direct Push*, em área aluvionar da bacia sedimentar de São Paulo. A **Figura 3** exhibe os perfis dos poços realizados por sondagem utilizando a técnica *Direct Push* e amostradores do tipo *Piston Sampler*, com resultados idênticos.

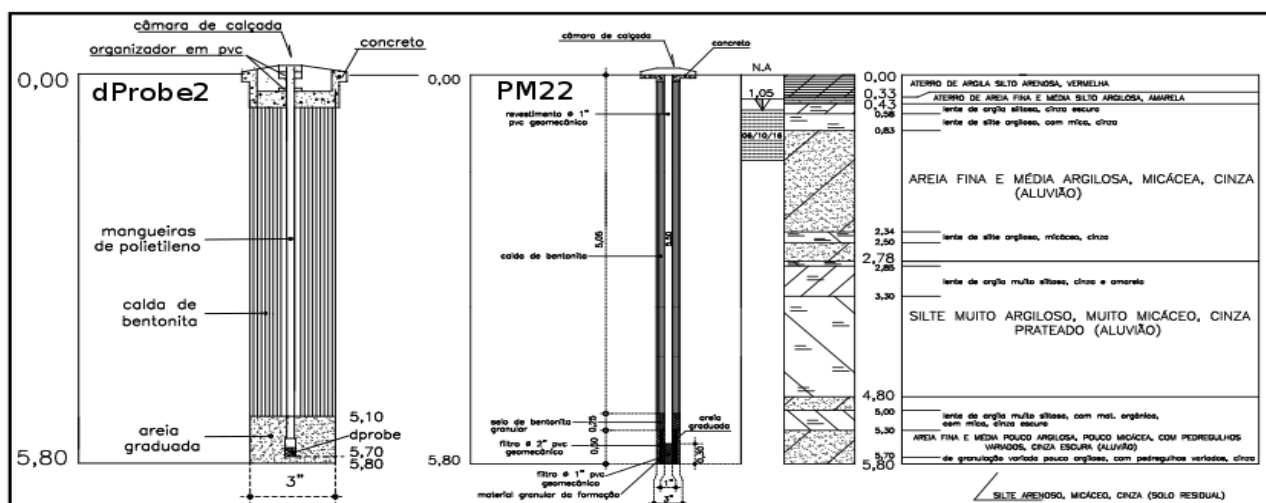


Figura 3: Poços e perfil de solo do local de instalação dos poços dProbe2 e PM22 no SENAC Santo Amaro.

Na porção direita da **Figura 3** está o perfil do poço convencional PM22, que possui seção filtrante de 0,30m e $\phi 1''$ encamisada por outro filtro PVC de $\phi 2''$, todos em PVC, com intervalo anelar entre os dois filtros preenchido com areia de pré-filtro, poço pré-montado instalado em perfuração de $\phi 3''$ em 06/10/16. Na porção esquerda da **Figura 3** está o perfil de instalação do poço dProbe, executado em perfuração de $\phi 3''$ em 23/06/17. As duas instalações foram executadas pela equipe da empresa parceira Engesolos e os poços *dProbe* também tiveram acompanhamento da empresa parceira ECD Ambiental. A seção filtrante do poço dProbe2 foi executada com 0,70m (5,10 a 5,80), filtro de 0,12m e tela de aço de 0,0035mm (eliminar finos) e a seção do PM22 foi de 0,50m (6,00 a 5,50) e filtro de 0,30m ranhurado.

Para efeitos de comparação foram realizadas amostragens nos poços dProbe2 de nível único e no poço convencional PM22 em 04/07/18 pela equipe da empresa parceira KW Ambiental. Esta empresa possui acreditação concedida pela Cgcre do INMETRO de acordo com a norma ABNT NBR ISSO IEC 17025 (Acreditação CRL 1.111) e todo o instrumental foi disponibilizado pela KW Ambiental, exceto a controladora *dPC* e o cilindro de Argônio. As vazões adotadas foram de 90ml/min no poço convencional (bomba peristáltica) e 60ml/min para o *dProbe*. Foi utilizada a mesma célula de fluxo de 250ml na saída dos dois sistemas e observado o procedimento descrito no item 7.2.2 da norma NBR 15.847/2010.

RESULTADOS E CONCLUSÃO

O desempenho de purga e amostragem do sistema *dProbe* foi bastante satisfatório, sendo que a aplicação do método de baixa vazão, dentro do item 7.2.2 da norma ABNT NBR 15.847/2010 pela Equipe KW, se mostrou adequada nos dois poços, pois os rebaixamentos dos níveis d'água permaneceram dentro do exigido e as estabilizações dos parâmetros físico-químicos indicadores ocorreram dentro de um intervalo de tempo que pode ser considerado bastante satisfatório.

O sistema *dProbe* exigiu metade do volume de purga que o poço convencional, o que pode ser reduzido a depender do volume da célula de fluxo. Também a quantidade de mangueiras descartáveis de PE foi bastante reduzida, apenas 0,70m no *dProbe* contra 8m do poço convencional, com uso de bomba peristáltica.

Como há indicação de solo residual na sondagem do poço PM22 (aluvião), a tela do filtro da sonda *dProbe* foi customizada com abertura de 0,035mm para minimizar presença de finos este fator e o menor comprimento de filtro podem explicar a diferença no nível dinâmico (ND) de bombeamento de 0,23m, mesmo com o poço dProbe2 em menor vazão, sendo isto corroborado pela menor turbidez no dProbe2 (1 NTU) em relação ao PM22 (60 NTU). Porém, há outro fator que pode explicar, de forma independente, a alta turbidez do poço PM22 é a menor quantidade de pré-filtro na sua execução por tratar-se de um poço pré-montado.

A maior condutividade elétrica, 101 uS/cm no dProbe2 para 82 uS/cm no PM22, pode ser explicada pela menor presença de particulado fino na amostra, uma vez que estes finos retidos podem ser considerados como areia fina (sílica - isolante elétrico), como indicado na sondagem. A interpretação do parâmetro de sólidos totais dissolvidos (STD) segue o mesmo raciocínio da condutividade elétrica.

Os parâmetros de pH e ORP dependem fortemente da temperatura e a diferença de 1,1 °C entre as amostras torna arriscada uma interpretação. Esta diferença se deve à falta de proteção do sol durante a operação, pois o foco do ensaio era o desempenho na amostragem do item 7.2.2 da norma de purga e amostragem, o que será corrigido em ensaios futuros.

Tabela 1

Poço	vazão	Tempo	NA	Temp.	pH	ORP	OD	Cond.	Turbidez	STD
	(ml/min.)	(min.)	(m)	(°C)		(mV)	(mg/l)	(uS/cm)	(NTU)	(mg/l)
PM21	90	15	1,31	20,17	5,77	-7,6	0,0	82	60	41
dProbe2	60	20	1,54	21,07	6,04	-29,7	0,0	101	1	50

Assim, relativamente ao poço similar ao convencional, a Geotecnologia *dProbe* teve desempenho melhorado, cabendo poucos aperfeiçoamentos e refinamentos técnicos que já estão em curso.

Portanto, é possível afirmar que a geotecnologia está madura para ingressar no mercado pois sua aplicação nos seus diversos níveis desde da sua produção industrial, passando pela instalação em campo, até seu uso final por uma equipe acreditada, foi posta à prova e teve desempenho dentro do esperado, validando a Geotecnologia *dProbe* em termos práticos de campo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos Cursos de Pós-Graduação em Gerenciamento de Áreas Contaminadas e Remediação de Áreas Contaminadas do Centro Universitário SENAC por ceder espaço à esta iniciativa.

A Tec3GEO agradece às Empresas parceiras ASA Consultoria em Meio Ambiente e UNWELT Consultoria pelo apoio técnico, incentivos, discussões e ideias extremamente fecundas.

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e a Finep Inovação e Pesquisa (processos 13/50.626-3 e 15/50.673-7) que financiou a pesquisa que deu origem ao artigo científico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, E. L. Imageamento de Resistividade Elétrica de Áreas Contaminadas Utilizando Arranjos Poço-Superfície. Dissertação Mestrado. Depto Geofísica – IAG/USP. São Paulo. 2012.

CETESB DD-38. Decisão de Diretoria NO 038/2017/c de 07 Fevereiro de 2017. CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/2014/12/DD-038-2017-C.pdf> . Acesso em 20/07/2018 12:30hs.

Einarson, M., In: Nilsen, D. M. Practical Handbook of Environmental Site Characterization and Ground Water. New York. Second Edition. 2005. CRC Press. cap 11. ISBN 9781566705899.

EPA. High-Resolution Site Characterization (HRSC). United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://clu-in.org/characterization/technologies/hrsc/> . Acesso em 10/07/2018 17:00hs.