



Métodos elétricos aplicados à detecção da contaminação do subsolo provocada por combustíveis: sete casos estudados no Rio Grande do Sul, Brasil

Costa, A.F.U.^{*,**}, Azambuja, E.^{***}, Nanni, A.S.^{***}

* Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

** AFC Geofísica Ltda

*** Azambuja Engenharia e Geotecnia Ltda

Abstract

An integrated study including geoelectrical methods, drilling and chemical water analysis was carried out in seven distinct areas. The objective was to determine the extent of oil contamination in groundwater. The boundary detection of the oil contamination depends upon the geologic conditions. The resistivity of the partially saturated rock is critical to detection of adsorbed oil above groundwater level. The water table depth determines the geoelectrical capacity to detect the hydrocarbon thin layer situated at the interface between unsaturated zone and comparatively more conductive saturated zone below.

INTRODUÇÃO

Um dos problemas de difícil solução nas atividades voltadas para a proteção ambiental consiste na detecção da extensão, em subsuperfície, da contaminação das águas subterrâneas, provocada por vazamentos em tanques de combustíveis (gasolina e óleo diesel). As técnicas tradicionais de sondagens mecânicas e coleta de amostras para análise são limitadas devido ao seu custo e morosidade.

Os métodos geofísicos elétricos podem auxiliar consideravelmente na solução do problema, permitindo a delimitação rápida e contínua da distribuição lateral e em profundidade da pluma de contaminação. O contraste de resistividade elétrica entre as águas subterrâneas e os hidrocarbonetos é muito grande, normalmente 1 para 10^{11} . As dificuldades que podem ocorrer, e que em certas situações podem resultar em insucessos na aplicação dos métodos, resultam da forma como os contaminantes (gasolina e óleo diesel) comportam-se em subsuperfície e das características elétricas do meio em que se encontram (MAZÁC et al. 1994).

Na superfície do topo do nível freático, entre a zona normalmente mais resistiva subsaturada e a zona abaixo saturada, mais condutiva, forma-se uma fina camada com hidrocarbonetos livres, cuja detecção através dos métodos elétricos depende basicamente da profundidade em que se encontra. Normalmente, utilizando-se parâmetros adequados, as condições de detecção são favoráveis até profundidades da ordem de 3 metros, em terrenos baixos, formados por sedimentos mais condutivos, com fração argilosa predominante. Em terrenos onde o nível freático é mais profundo e as rochas menos argilosas e mais resistivas, a detecção dos hidrocarbonetos livres pode tornar-se muito difícil ou mesmo impossível. Neste caso, a anomalia capaz de ser detectada refere-se normalmente aos hidrocarbonetos adsorvidos às superfícies das partículas da rocha, situados na zona parcialmente saturada, acima do nível freático. Nesta zona, a capacidade dos métodos elétricos detectarem a contaminação depende fundamentalmente das características elétricas do meio. Quanto mais resistivo for o material, maior a dificuldade de detecção.

Neste trabalho, são apresentados e discutidos os resultados dos estudos realizados em sete áreas distintas, os quais empregaram, além dos métodos elétricos, as técnicas de sondagens mecânicas, com coleta de amostras de solo e água em diferentes níveis de profundidade, e análises.

FASES DE CONTAMINAÇÃO POR HIDROCARBONETOS

Os hidrocarbonetos que constituem os combustíveis como óleo diesel e gasolina são compostos de baixa densidade e a maioria dos seus componentes consistem de uma fase não solúvel em água. Normalmente, um vazamento de combustível em um tanque de abastecimento promove diferentes fases de contaminação, conforme relatam MERCER&COHEB(1990). Diante das evidências obtidas em vários trabalhos realizados no sul do Brasil e apoiados em relativo consenso no meio técnico (KIERCHHEIM et al, 1998), propomos a designação de cinco fases de contaminação que tipicamente se manifestam em vazamentos de tanques de combustível e que podem ser assim descritas:

- Fase adsorvida* – constitui no halo de dispersão entre a fonte e o nível freático e caracteriza-se por uma fina película de hidrocarbonetos envolvendo grãos de solo ou discontinuidades existentes no saprólito ou rocha, sendo mais importante para os produtos mais viscosos como o diesel;
- Fase livre* – constitui em um véu não miscível sobre o topo do freático livre e que pode ser mais espesso em casos onde o sistema freático é pouco dinâmico (várzeas);
- Fase dissolvida* – constitui em contaminações por dissolução de aditivos polares e por uma fração emulsionada de hidrocarbonetos que possui maior mobilidade e dissipa-se abaixo no nível freático livre, sendo mais importante para

- fluidos menos viscosos como a gasolina;
- d) *Fase vaporizada* – constitui uma fase gasosa dos componente voláteis dos combustíveis e que ocupa vazios do solo ou rocha, sendo mais importante para os hidrocarbonetos de menor ponto de vaporização, como aqueles que compõe a gasolina;
- e) *Fase condensada* – aparece mais tipicamente em áreas urbanas onde a pavimentação do solo é intensa e pouco permeável, caracterizando-se pela acumulação de produtos condensados sob os pavimentos.

Na maioria dos casos de contaminação por combustíveis em postos de abastecimento, a preocupação do diagnóstico consiste em delimitar as fases adsorvida e livre, pois estas são as mais importantes no que concerne ao risco ambiental e, além disto, são as fases onde as ações de remediação podem ser mais efetivas.

CASOS HISTÓRICOS

Foram estudadas duas áreas altas formadas por rochas graníticas com manto de intemperismo espesso e nível freático profundo; uma área em encosta de morro granítico; três locais em zonas baixas onde ocorrem depósitos flúvio-aluviais recentes e aterros mecânicos, com domínio de sedimentos argilo-arenosos; e uma área litorânea com sedimentos terciários de ambientes de barreiras e lagunares.

O emprego da investigação geofísica teve como objetivo identificar o perfil geotécnico e proceder um delineamento preliminar da extensão da pluma de contaminação. Esse delineamento permite racionalizar o número de sondagens, as profundidades alvo para a coleta de amostras e suas correspondentes análises. Em nenhum caso, portanto, a geofísica foi considerada um método auto-suficiente para o diagnóstico da contaminação.

O método eletrorresistividade (ER) foi empregado através das técnicas de sondagens elétricas verticais (SEV) e de caminhamentos elétricos (CE), através dos arranjos Schlumberger e Wenner e parâmetros adaptados a cada caso. As SEV's, normalmente visaram a estimativa da profundidade do nível freático e a caracterização indireta do perfil geológico em cada área. Os caminhamentos elétricos visaram a detecção da contaminação em vários níveis definidos. Em uma das áreas foi aplicada a técnica *mise-à-la-masse*, visando aumentar a capacidade de resolução na determinação do avanço lateral da contaminação em material predominantemente argiloso. As técnicas de sondagem empregadas foram trado manual e em alguns casos sondagens rotativas até 8 metros. Nas análises para determinação de gasolina e óleo diesel foram empregadas as técnicas de cromatografia a gás e absorção em gel de sílica.

O Quadro 1 apresenta uma síntese dos casos indicando o tipo de perfil, os métodos empregados e a correlação obtida com as amostragens diretas.

Quadro 1 – Síntese dos casos de contaminação por combustíveis diagnosticados com o auxílio da eletrorresistividade.

Caso	Perfil	Arranjo	Correlação com as análises
1	Sedimentos recentes muito argilosos, NF 1,50m	Schlumberger	Boa
2	Sedimentos recentes arenosos e argilosos, NF 1,60m	Schlumberger	Satisfatória
3	Sedimentos recentes arenosos e argilosos, NF 2,50m	Schlumberger	Regular
4	Alteração de sienogranito, NF 7,00m	Schlumberger	Satisfatória
5	Alteração de granito, NF não identif.	Schlumberger	Ruim
6	Alteração de granito/colúvios, NF subsuperficial.	Wenner	Satisfatória
7	Sedimentos terciários de barreiras, NF 6,00m	Schlumberger <i>mise-à-la-masse</i>	Satisfatória

RESULTADOS

Em todos os trabalhos foi possível correlacionar os resultados de resistividade elétrica com as análises geoquímicas. Na maior parte dos estudos, essa correlação mostrou-se satisfatória, o que significou que o objetivo da prospecção indireta cumpriu seu objetivo de determinar uma aproximação da pluma de contaminação e orientar as prospecções diretas.

Em alguns casos, essa correlação foi tão estreita que as envoltórias de iso-resistividade guardavam também correlações com as envoltórias de isotores obtidas pela cromatografia. Entretanto, em situações onde as resistividades do substrato eram intrinsecamente elevadas, as correlações entre as envoltórias de iso-resistividade e a pluma de contaminação não foram suficientes para orientar os trabalhos de diagnóstico.

A figura 1 ilustra as envoltórias de iso-resistividade e isotores de hidrocarbonetos obtidas no Caso 5. Os resultados mostram que existe uma fase adsorvida de contaminação nos horizontes mais superficiais que dispersam-se paralelamente à topografia do terreno e em concordância com as frentes de saturação geradas pelas águas de infiltração.

Neste caso, a geofísica foi especialmente importante porque possibilitou a identificação de um segundo halo de dispersão mais verticalizado que propagou-se com gradientes mais verticalizados e atingiu o freático livre a 6,5 metros de profundidade. Assim, além da economia obtida com a racionalização dos custos com sondagens profundas, a geofísica permitiu o diagnóstico de um vetor de dispersão de combustíveis que dificilmente poderia ser identificado com um plano de simples amostragem direta.

Prospecções Geofísicas

Prospecções Geoquímicas

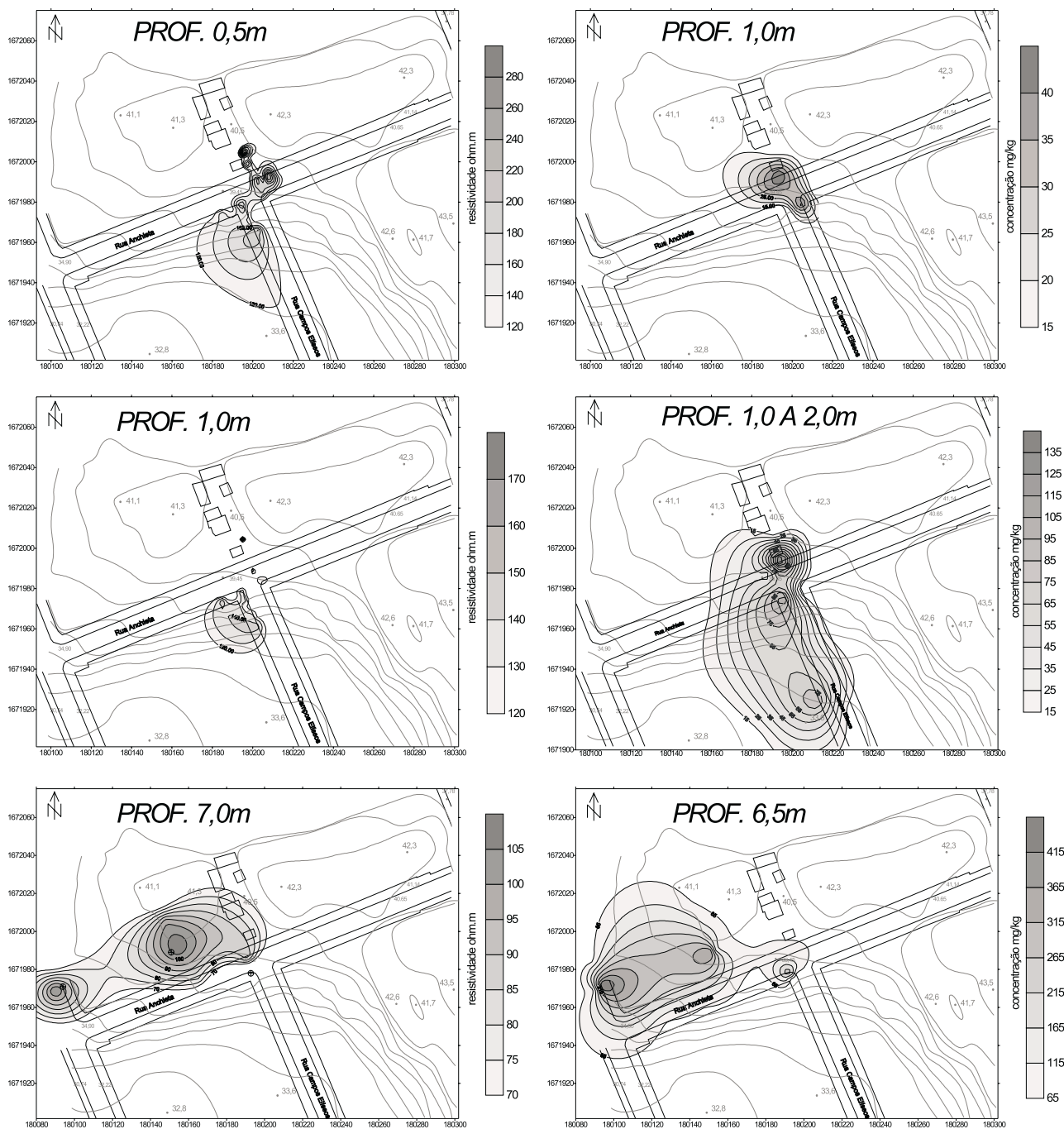


Figura1 – Envoltórias de iso-resistividades e de isoteores de hidrocarbonetos em área de alteração de granito

CONCLUSÕES

O método de prospecção geofísica por eletrorresistividade, através dos arranjos Schlumberger e Wenner, apresentou-se como uma ferramenta útil no diagnóstico de plumas de contaminação por hidrocarbonetos e combustíveis correlatos. Entretanto, a técnica mostra-se mais acurada quando associada a determinados perfis de subsolo, especialmente aqueles que favorecem o contrastat de resistividade a partir da presença do próprio hidrocarboneto, sabidamente mais resistivo do que a água e do que os argilo-minerais.

Em ambientes de depósitos recentes, especialmente nas várzeas com freático próximo à superfície, a geofísica pode determinar com relativa acurácia a fase livre de contaminantes, ou seja, aquelas ocorrências em forma de lâminas não miscíveis sobre o freático. Para freáticos com profundidades superiores a 4 metros, a determinação indireta da fase livre é virtualmente impossível.

Em ambientes com menor saturação, a geofísica pode determinar a fase adsorvida dos contaminantes, ou seja, aquela

que corresponde ao halo de dispersão de hidrocarbonetos, especialmente se esses produtos forem mais viscosos como o diesel. Essa determinação, todavia, só possui boa correlação com a pluma de contaminação quando essa fase desenvolve-se em solos mais argilosos, onde o contraste de condutividade elétrica é maior.

REFERÊNCIAS

KIERCHHEIM, R.E.; COTA, S.D.S.; CAICEDO, N.L. Contaminação de águas subterrâneas por vazamentos em tanques de combustíveis na cidade de Porto Alegre – RS: diagnóstico preliminar. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, Porto Alegre, 1998. *Anais*. pp.500-504.

MAZÁC, O., BENES, L., LANDA, I. & MASKOVA, A. Determination of extent of oil contamination in groundwater by geoelectrical methods. *Geotechnical and Environmental Geophysics*, Ed: Stanley H. Ward, SEG, V. 11, 1994, pp.107-112.

MERCER, J.W.; COHEB, R.M. A Review of immiscible fluids in the subsurface: properties, models, characterization and remediation. *Journal of Contamin. Hydrology*, V.6, 1990. pp. 107-163.