

GEOFÍSICA APLICADA

MÉTODOS
GEOELÉTRICOS EM
HIDROGEOLOGIA

ANTONIO CELSO
DE OLIVEIRA BRAGA

Copyright © 2016 Oficina de Textos

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

Conselho editorial Arthur Pinto Chaves; Cylon Gonçalves da Silva;
Doris C. C. K. Kowaltowski; José Galizia Tundisi;
Luis Enrique Sánchez; Paulo Helene; Rozely Ferreira
dos Santos; Teresa Gallotti Florenzano

Capa e projeto gráfico Malu Vallim
Diagramação Alexandre Babadobulos
Preparação de figuras Leticia Schneiater
Preparação de textos Carolina A. Messias
Revisão de textos Pâmela de Moura Falarara
Impressão e acabamento Rettec artes gráficas

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

Braga, Antonio Celso de Oliveira
Geofísica aplicada : métodos geoeletricos em
hidrogeologia / Antonio Celso de Oliveira Braga. --
São Paulo : Oficina de Textos, 2016.

Bibliografia.
ISBN 978-85-7975-191-2

1. Águas subterrâneas 2. Geofísica 3. Métodos
4. Recursos hídricos - Desenvolvimento I. Título.

15-06661

CDD-551.49

Índices para catálogo sistemático:

1. Geofísica aplicada : Métodos : Hidrogeologia
551.49

Todos os direitos reservados à **Editora Oficina de Textos**

Rua Cubatão, 798

CEP 04013-003 São Paulo SP

tel. (11) 3085-7933 fax (11) 3083-0849

www.ofitexto.com.br

atend@ofitexto.com.br

prefácio

O acesso aos recursos hídricos requer a atenção dos gestores públicos diante do aumento da demanda e da diminuição da oferta em termos de qualidade, acessibilidade e vazões proporcionadas por recursos hídricos superficiais. O recurso hídrico subterrâneo é uma alternativa considerada em muitos casos, preferencialmente onde a disponibilidade do recurso superficial é escassa, vindo complementar ou até substituir essa forma de captação, além de ser relevante em termos econômicos. A Geofísica, quando aplicada em estudos envolvendo as águas subterrâneas, representa um subsídio fundamental na gestão e no planejamento para captação visando ao abastecimento, monitoramento e remediação de áreas contaminadas. O uso de métodos geoeletricos é uma possibilidade nesse contexto, considerando a sensibilidade de mensuração indireta de parâmetros físicos alteráveis em presença de poluentes em solos e águas subterrâneas e a ampla cobertura para investigação em termos espaciais de forma rápida a um custo relativamente reduzido, quando comparado a técnicas tradicionais diretas de investigação. Além disso, os métodos geoeletricos auxiliam na indicação de áreas favoráveis de aquíferos promissores visando à captação de águas subterrâneas.

Este livro visa preencher uma lacuna no meio científico brasileiro em relação a material técnico envolvendo conceitos teóricos básicos e práticos de aquisição e análise de dados geoeletricos fundamentados em critérios geológicos, cujos aspectos são abordados no livro e de interesse de profissionais e pesquisadores envolvidos no tema. O público-alvo principal deste material são alunos de graduação (de Geologia, Geofísica e Engenharia Ambiental) e pós-graduação (de Geociências e Meio Ambiente), além de usuários da Geofísica Aplicada de modo geral, pois fornece subsídios para a escolha das metodologias geofísicas mais adequadas em estudos para captação e preservação das águas subterrâneas, considerando resolução, custos e prazos. A falta de conhecimento específico leva a uma utilização muitas vezes inadequada das metodologias geofísicas, tornando os dados coletados e processados imprecisos e não consistentes, com conseqüente descrédito

dos métodos utilizados. O conteúdo deste livro aborda tanto as questões teóricas sobre os métodos geoeletricos como as questões extremamente práticas no desenvolvimento das técnicas e arranjos de campo, fornecendo orientações na coleta e na interpretação de dados, além de várias ilustrações sobre a metodologia. Casos históricos envolvendo objetivos e geologia variada são apresentados e discutidos, proporcionando ao leitor subsídios para a avaliação e a escolha da metodologia empregada mais adequada.

Agradecemos a todos os profissionais que, de alguma forma, colaboraram para a conclusão deste trabalho, com ênfase aos profissionais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e da Universidade Estadual Paulista (Unesp – Rio Claro). Destacamos particularmente os seguintes colaboradores por suas participações nas diversas etapas do trabalho: Prof. Dr. Walter Malagutti Filho (Unesp), geólogos pesquisadores Régis Gonçalves Blanco e Carlos Alberto Birelli (IPT), Prof. Dr. César Augusto Moreira (Unesp), pelo conteúdo técnico; Fernanda Bacaro (Engenharia Ambiental – IGCE/Unesp) e Richard Fonseca Francisco (pós-graduação – IGCE/Unesp), pela revisão; arquiteta e *designer* Maria Carolina de Oliveira Braga, pelas ilustrações gráficas.



Diversos materiais complementares produzidos pelo autor, contendo infográficos e planilhas sobre conceitos apresentados nesta obra, podem ser encontrados na página do livro na internet (http://www.ofitexto.com.br/produto/metodos_geoeletricos.html).



As figuras com o símbolo  são apresentadas em versão colorida entre as páginas 141 e 155.

sumário

Parte I – Conceitos teóricos e práticos dos métodos geoeletricos.....	7
1 Métodos geoeletricos aplicados.....	15
1.1 Método da eletroresistividade	15
1.2 Método da polarização induzida.....	21
1.3 Método do potencial espontâneo.....	25
1.4 Parâmetros de Dar Zarrouk	26
2 Técnica da sondagem elétrica vertical.....	31
2.1 Sondagem Elétrica Dipolar (SED)	31
2.2 Sondagem Elétrica Vertical (SEV)	32
3 Técnica do caminhamento elétrico	67
3.1 Caminhamento Elétrico (CE)	67
Parte II – Aplicação dos métodos geoeletricos	81
4 Métodos geoeletricos na captação de águas subterrâneas	89
4.1 Aplicações em Investigações Hidrogeológicas	90
4.2 Casos históricos.....	100
5 Métodos geoeletricos na contaminação das águas subterrâneas	117
5.1 Aplicações em Investigações Hidrogeológicas	117
5.2 Casos históricos.....	126
Referências bibliográficas.....	157

Parte I

CONCEITOS TEÓRICOS E PRÁTICOS DOS MÉTODOS GEOELÉTRICOS

A Geofísica pode ser definida basicamente como uma ciência aplicada à Geologia que estuda suas estruturas e corpos delimitados pelos contrastes de algumas de suas propriedades físicas com as do meio circundante, utilizando medidas tomadas na superfície da Terra, no interior de furos de sondagens e em levantamentos aéreos. Apresenta uma íntima relação da Física com a Geologia, procurando resolver, com base na Física, questões de ordem geológica. Tanto o geofísico como o geólogo estudam a parte sólida da Terra e, apesar de esses profissionais utilizarem instrumentos de trabalho diferentes, seus objetivos convergem para a mesma direção.

Os principais fenômenos físicos que ocorrem no interior da Terra, nos quais a Geofísica se baseia, estão ligados a: *campo magnético terrestre; fluxo geotérmico; propagação de ondas sísmicas; gravidade; campos elétricos e eletromagnéticos; correntes telúricas e radioatividade* (Quadro I.1).

QUADRO I.1 FENÔMENOS FÍSICOS NATURAIS E OS MÉTODOS GEOFÍSICOS

Fenômenos físicos da Terra	Métodos geofísicos
Campo magnético terrestre ⇒	Magnetometria
Fluxo geotérmico ⇒	Geotermia
Propagação de ondas sísmicas ⇒	Sísmicos
Força da gravidade ⇒	Gravimetria
Campos elétricos e eletromagnéticos ⇒	Geoelétricos
Radioatividade ⇒	Espectrometria

Em função do parâmetro físico estudado, a Geofísica pode ser dividida em quatro grupos: *gravimétrico, magnetométrico, geoelétricos e sísmicos*. Os métodos da gravimetria e magnetometria utilizam campo natural, estudando as perturbações que determinadas estruturas ou corpos produzem sobre campos preexistentes. Os métodos geoelétricos (exceção do potencial espontâneo e magneto telúrico) e os sísmicos são artificiais, ou seja, o campo físico a ser estudado é criado por meio de equipamentos apropriados.

1.1 MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE

Pertencente ao grupo dos métodos geoeletricos, a *eletrorresistividade* (ER) é um método geofísico cujo princípio está baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais que, juntamente com a constante dielétrica e a permeabilidade magnética, expressa fundamentalmente as propriedades eletromagnéticas dos solos e rochas. Os diferentes tipos de materiais existentes no ambiente geológico apresentam como uma de suas propriedades fundamentais a resistividade elétrica, parâmetro físico aplicável para caracterização da integridade física de materiais geológicos, em termos de alteração, fraturamento, saturação etc., além de possibilitar a identificação de litotipos sem a necessidade de amostragem ou reconhecimento direto.

Considerando um condutor homogêneo, de forma cilíndrica ou prismática (Fig. 1.1), em que L é seu comprimento e S é a área de sua seção transversal, com base na lei de Ohm, é definida a relação entre a resistividade (ρ) e a resistência (R), dada pela Eq. 1.1.

$$\rho = R \frac{S}{L} \quad (\Omega \text{ m}) \quad (1.1)$$

Portanto, o parâmetro resistividade é o produto da resistência elétrica (Ω) por um comprimento (m) e área da seção (m^2), razão pela qual a unidade de resistividade no sistema SI é Ωm . Trata-se de um

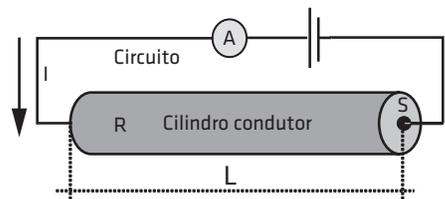


FIG. 1.1 Relação resistividade e resistência



O infográfico "Lei de Ohm" ilustra a relação entre resistividade e resistência.

quanto menor a continuidade elétrica entre os grãos minerais, ou seja, diretamente proporcional à disseminação em subsuperfície.

1.2.2 POLARIZAÇÃO DE MEMBRANA OU ELETROLÍTICA

Ocorre em rochas com escassez de substâncias metálicas, fenômeno atribuído a uma diferença de mobilidade entre os ânions e cátions, produzida pela presença de minerais de argila (Fig. 1.9). Tais minerais são eletricamente carregados, atraindo uma “nuvem catiônica” que permite a passagem dos portadores positivos, mas não dos negativos, exercendo o efeito de uma membrana. Assim, são produzidos gradientes de concentração, que levam um tempo para desaparecer depois de suprimida a tensão exterior e que originam, portanto, uma sobretensão residual.

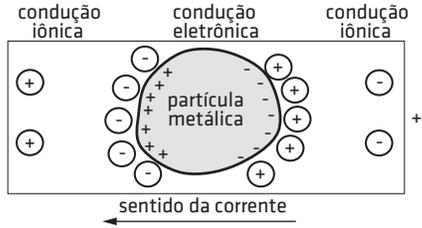


FIG. 1.8 Polarização metálica
Fonte: adaptado de Orellana (1974).

▶ Conferir o infográfico “Polarização metálica ou eletrônica”.

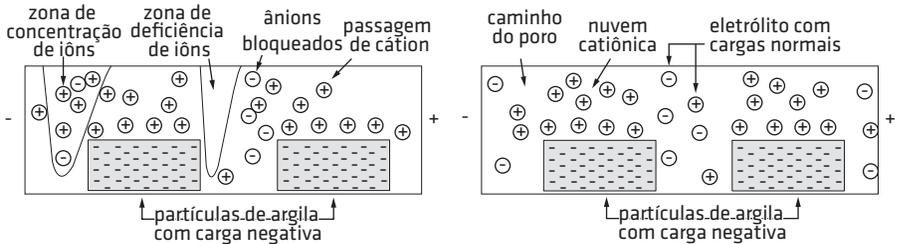


FIG. 1.9 Polarização de membrana: (A) antes e (B) após a aplicação de um campo elétrico
Fonte: adaptado de Ward (1990).

O trabalho de Sumi (1965) relata que a polarização induzida em minerais e rochas não metálicas é causada principalmente pelo potencial de membrana, que aparece quando a corrente elétrica circula, através de uma membrana semipermeável (argilominerais), no eletrólito contido nos poros dos materiais. Isso ocorre devido ao fato de essa membrana ser permeável somente para cátions. Segundo o autor referido, os minerais polieletrólíticos reagem com os

A técnica de sondagem elétrica pode ser do tipo: simétrica ou dipolar. As simétricas, com alinhamento dos eletrodos AMNB constante, são chamadas de *sondagens elétricas verticais*, enquanto as dipolares, com alinhamento variável, são denominadas de *sondagens elétricas dipolares* (Orellana, 1972).

2.1 SONDAGEM ELÉTRICA DIPOLAR (SED)

As *sondagens elétricas dipolares* são caracterizadas em função do não alinhamento entre os quatro eletrodos utilizados, apresentando uma configuração irregular com separação crescente entre os centros dos dipolos AM e MN (Fig. 2.1). Existem três tipos de arranjos de desenvolvimento: axial, equatorial e azimutal. A Fig. 2.2 ilustra os arranjos principais e seus coeficientes geométricos ajustados com base na equação geral. Maiores considerações sobre as SEDs podem ser encontradas em Orellana (1972). Essas sondagens são recomendadas principalmente para estudos envolvendo grandes profundidades (por exemplo: > 2.000 m). Nesse caso, recomenda-se iniciar os ensaios com a sondagem elétrica vertical até o $AB/2 = 3.000$ m, enquanto para valores acima deste sugerem-se ensaios com sondagens dipolares.

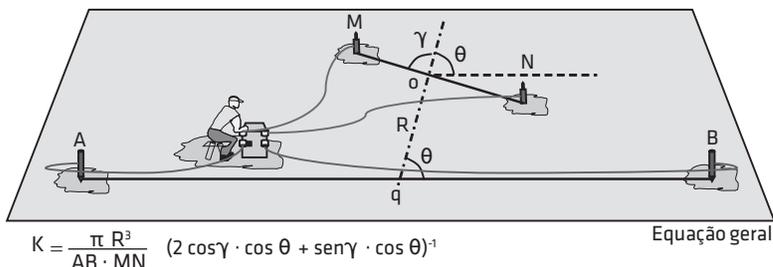


FIG. 2.1 Técnica da sondagem elétrica dipolar

▶ Conferir o infográfico "Sondagem elétrica vertical (SEV)".

2.2.1 ARRANJOS DE DESENVOLVIMENTO

Existem dois tipos principais de arranjos de campo para o desenvolvimento da técnica da SEV: *Schlumberger* e *Wenner*. O arranjo Schlumberger pode ser considerado superior, tanto em praticidade como em qualidade dos resultados, e é adotado na maioria dos trabalhos desenvolvidos no Brasil. O Quadro 2.1 apresenta as características de cada arranjo.

QUADRO 2.1 ARRANJOS DE DESENVOLVIMENTO

Arranjo Schlumberger	Arranjo Wenner
- Deslocamento de apenas dois eletrodos (AB).	- Deslocamento dos quatro eletrodos (AMNB).
- Leituras menos sujeitas às interferências produzidas por "ruídos" indesejáveis.	- Leituras mais sujeitas às interferências produzidas por "ruídos" indesejáveis.
- Menos suscetível a erros interpretativos em terrenos não homogêneos.	- Mais suscetível a erros interpretativos devido a heterogeneidades laterais.

Com os quatro eletrodos simetricamente dispostos em relação a um centro O, tem-se a configuração conforme apresentada na Fig. 2.5, na qual $AO = OB = L$ e $MN = a$.

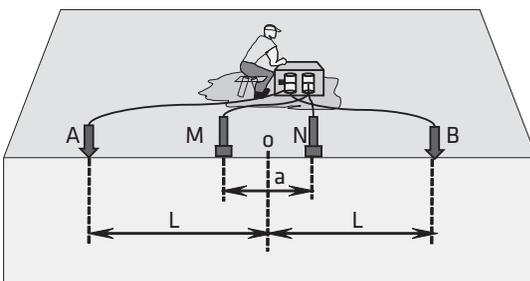


FIG. 2.5 Arranjos eletrônicos simétricos

Conforme deduzido por Orellana (1972), o cálculo para arranjos eletrônicos simétricos, considerando a distância entre os quatro eletrodos igual, $AM = MN = NB = a$, resulta no *arranjo Wenner*, cuja resistividade aparente pode ser calculada pela Eq. 2.1:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (2.1)$$

encontradas no trabalho de Alfano (1966), que discute as influências dos sedimentos superficiais nos valores de resistividade aparente, demonstrando a grande importância na profundidade investigada pelas SEVs.

2.2.7 PROCEDIMENTOS DE CAMPO – SELEÇÃO DO CENTRO DA SEV

A escolha do local do centro da SEV (posição dos eletrodos AMNB) é de fundamental importância, pois é o ponto de atribuição dos resultados. Deve-se efetuar um reconhecimento prévio, procurando evitar situações que possam interferir na qualidade dos resultados, como encanamentos e tubulações, formigueiros com grandes dimensões, caixas de alta tensão etc. Tais ocorrências, situadas entre os eletrodos de potencial MN ou ao longo da linha de expansão AMNB (SEV-01 na Fig. 2.14), podem provocar uma distorção do campo elétrico, alterando os resultados de maneira contínua, afetando grande parte da curva de campo. A proximidade de tais estruturas dos eletrodos de corrente AB produz distorções pontuais, podendo ser desprezadas, não prejudicando a curva final de campo (SEV-02 na Fig. 2.14).

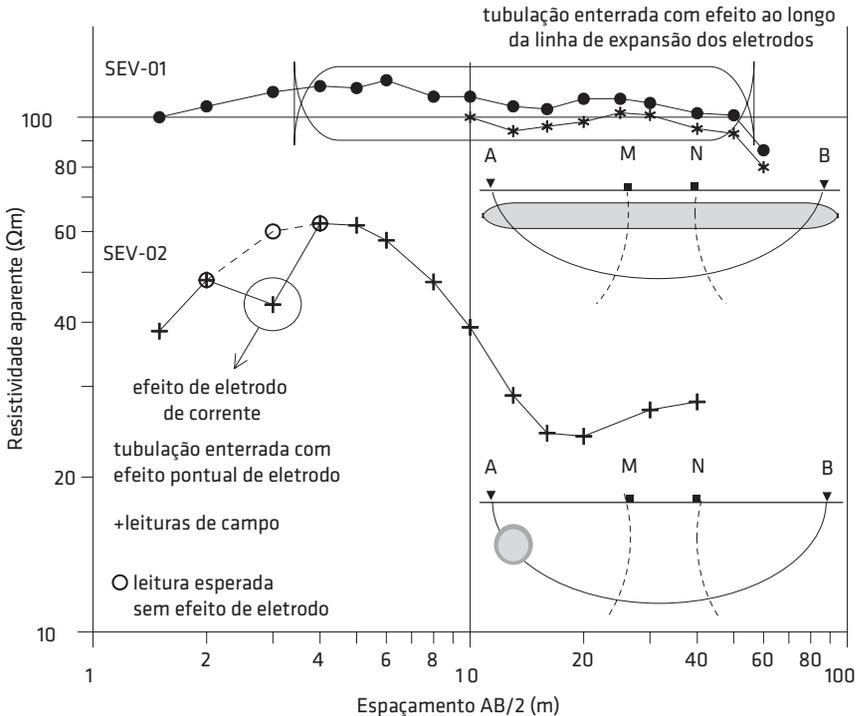


FIG. 2.14 Efeitos na curva de campo – tubulação e camada resistiva

A técnica do caminhamento elétrico (CE) se baseia na análise e interpretação de um parâmetro geoeletrico, obtido com base em medidas efetuadas na superfície do terreno, com espaçamento constante entre os eletrodos AMNB. Por meio dessa técnica, investigam-se, ao longo de linhas, as variações laterais do parâmetro físico a uma ou mais profundidades determinadas; com isso, a direção da linha de investigação permanece fixa e o centro do arranjo AMNB varia com o seu desenvolvimento (Fig. 3.1).

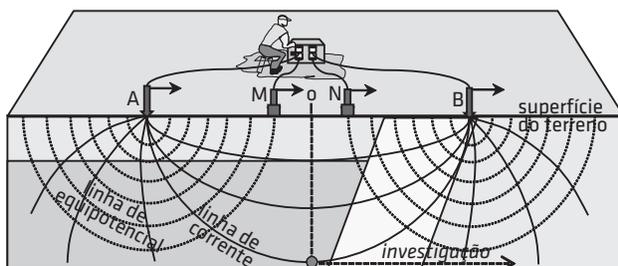


FIG. 3.1 Técnica do caminhamento elétrico

Quando sua investigação é programada para uma profundidade fixa, as medidas resultam num perfil geoeletrico 1D; já quando envolve mais profundidades, refere-se a uma seção geoeletrica 2D – *imageamento geoeletrico*. Os resultados obtidos podem ser expressos por meio de mapas (a uma ou mais profundidades determinadas) ou de seções (com várias profundidades de investigação).

3.1 CAMINHAMENTO ELÉTRICO (CE)

Para o desenvolvimento dessa técnica, podem ser usados vários tipos de arranjo de desenvolvimento, como Schlumberger, Wenner, gradiente, dipolo-dipolo, polo-dipolo etc.

3.1.8 OBTENÇÃO DE PSEUDOSSEÇÕES

As pseudosseções de CE são assim denominadas, pois representam seções com profundidades teóricas de investigação cujos parâmetros geoeletricos (resistividade, cargabilidade) são considerados aparentes. A plotagem dos dados segue a configuração do arranjo utilizado. A Fig. 3.14 ilustra uma pseudosseção de resistividade aparente, com cinco níveis de investigação e espaçamento $x = 10,0$ m, conforme obtida e calculada no campo, para o arranjo dipolo-dipolo.

A Fig. 3.15 apresenta uma pseudosseção obtida pelo arranjo Wenner, com cinco níveis de investigação e espaçamento de 40 m.

Determinados níveis com valores pontuais muito discrepantes em relação à seção, sem indicativos de origem geológica, devem ser retirados das seções e desconsiderados no processamento. Existem vários *softwares* para o traçado das curvas de isovalores.

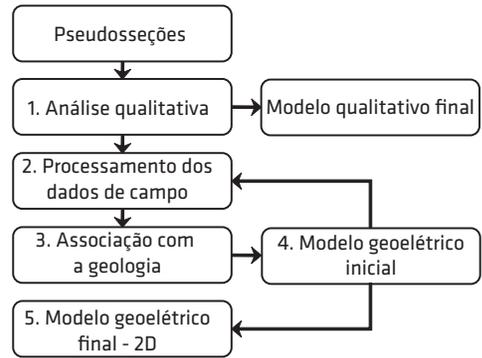


FIG. 3.13 Etapas na interpretação – CE

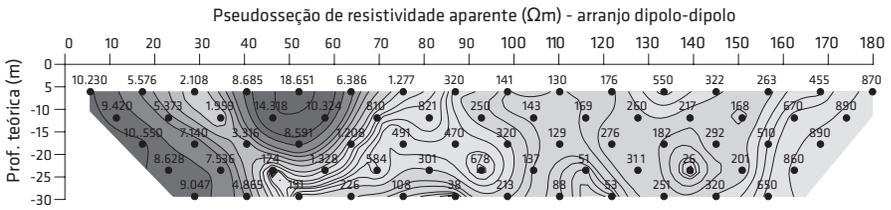


FIG. 3.14 Pseudosseção de resistividade aparente – CE-DD

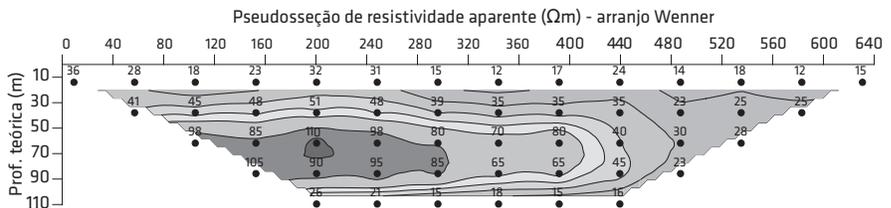


FIG. 3.15 Pseudosseção de resistividade aparente – CE-Wenner

Parte II

APLICAÇÃO DOS MÉTODOS GEOELÉTRICOS

A técnica da SEV utilizando o método da eletrorresistividade é um importante instrumento de apoio em estudos envolvendo as águas subterrâneas, tendo como aplicação principal a investigação de aquíferos aluvionares (sedimentos inconsolidados) e aquíferos sedimentares (rochas sedimentares), visando à locação de poços tubulares para a captação de águas subterrâneas.

Em áreas de rochas calcárias e cristalinas (rochas ígneas e metamórficas), envolvendo a identificação de aquíferos, respectivamente, cársticos e fraturados, a técnica da SEV não apresenta resultados satisfatórios. Entretanto, a técnica do CE (método da eletrorresistividade), inicialmente muito empregada na prospecção mineral, é aplicada com bastante frequência em estudos referentes a esses aquíferos. Em estudos ambientais envolvendo a contaminação das águas subterrâneas, as técnicas da SEV e CE (método da eletrorresistividade) têm sido utilizadas em conjunto com grande sucesso, tanto no que se refere à precisão dos resultados obtidos quanto aos custos e prazos relativamente reduzidos, resultando em um excelente apoio à programação de amostragem e análises diretas. Em estudos geológico-geotécnicos, a eletrorresistividade, definida por meio da SEV, tem bons resultados, indicando o estado de compactação dos sedimentos, tal como demonstrou Braga (1997), relacionando o grau de compactação das rochas sedimentares com os parâmetros geoeletricos de resistividade e espessura das formações.

No estabelecimento de uma campanha por meio dos métodos geoeletricos, a estratégia metodológica adotada é importante para se atingir com sucesso os objetivos propostos. A Fig. II.1 apresenta uma sequência de etapas básicas a um projeto que considere a geofísica como ferramenta de investigação em potencial. Após o estabelecimento do tema do projeto com os objetivos gerais, a compilação de dados preexistentes é importante, pois além de fornecer dados geológicos sobre a área, pode proporcionar informações, como topografia, acidentes naturais etc. Essas características, dependendo das condições, podem inviabilizar uma determinada metodologia geoeletrica.

Para melhor entendimento e utilização dos métodos geoeletricos em estudos envolvendo as águas subterrâneas, com a definição da metodologia

MÉTODOS GEOELÉTRICOS NA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

4

A aplicação dos métodos geoeletricos na investigação de aquíferos deve ser subdividida conforme a geologia da área: em rochas sedimentares e rochas cristalinas. Cada situação envolve metodologias geofísicas específicas e mais adequadas aos estudos. Quando a metodologia empregada é inadequada, acaba gerando produtos totalmente inconsistentes e imprecisos. Os aquíferos devem ser analisados conforme suas principais características, tais como: *rochas sedimentares* – aquíferos granulares e cársticos (envolvendo aquíferos costeiros) – e *rochas cristalinas* – aquíferos fraturados, ou sedimentares de elevada complexidade faciológica.

A Fig. 4.1 apresenta a metodologia recomendada (métodos, técnicas e arranjos) em estudos visando à captação de águas subterrâneas e os principais produtos a serem obtidos.

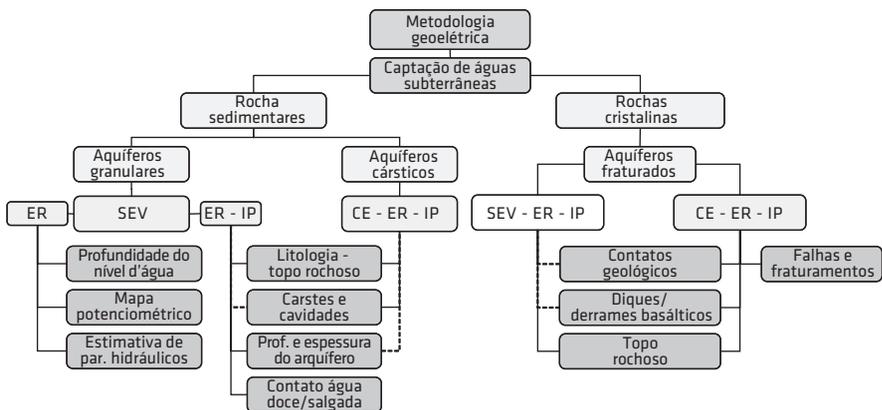


FIG. 4.1 Metodologia em investigação para captação de água subterrânea

visão tridimensional. A Fig. 4.14 mostra uma pseudosseção de CE-DD com os flancos condutores identificados e associados a fraturamento na rocha. A ocorrência desses flancos se deve ao sistema do arranjo dipolo-dipolo.

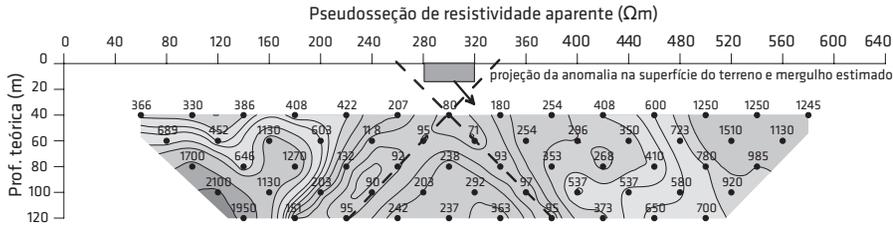


FIG. 4.14 Pseudosseção de resistividade aparente e anomalia condutora associada a fraturamento na rocha

4.2 CASOS HISTÓRICOS

4.2.1 AQUÍFEROS GRANULARES

Caso 1

A Fig. 4.15 mostra um caso de SEV-ER executada com a finalidade de auxiliar a locação de poço tubular para captação de água subterrânea, em área de afloramento do grupo Tubarão, na bacia do Paraná. São apresentadas as curvas de resistividade aparente e resistividade real, modelo geoeletrico e o perfil do poço tubular perfurado ao lado. A sequência estratigráfica local indicava uma perfuração de risco, espessa intrusão de diabásio e incerteza na ocorrência de aquíferos promissores em profundidade (formação Itararé). Após a perfuração do poço tubular, com uma vazão de 12 m³/h, os dados obtidos mostraram a boa precisão do modelo geoeletrico obtido previamente.

Na Fig. 4.16 tem-se uma SEV executada em área sedimentar para captação rasa. O modelo identifica um estrato geoeletrico com $\rho = 45 \Omega\text{m}$ que poderia indicar o aquífero procurado. Esse valor, relativamente baixo, sugere que esse pacote deve corresponder a um aquífero saturado. Considerando as classes da resistência transversal DZ para aquíferos potenciais, esse aquífero apresenta uma resistividade típica para classe de aquífero *médio*, entretanto, sua elevada espessura resulta em um $T = 6.300$, o que o classifica como aquífero *bom*.

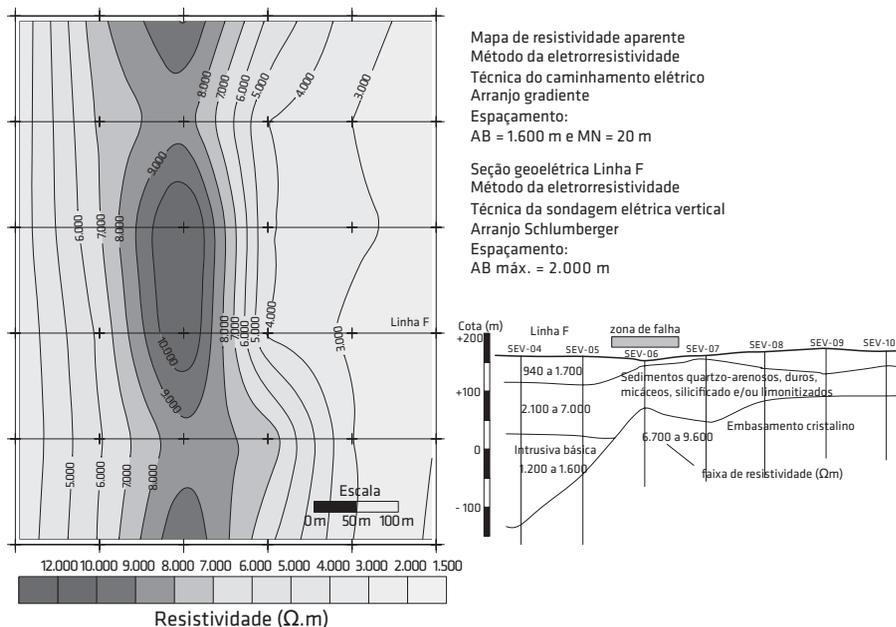


FIG. 4.30 Aquífero fraturado – CE/Gradiente

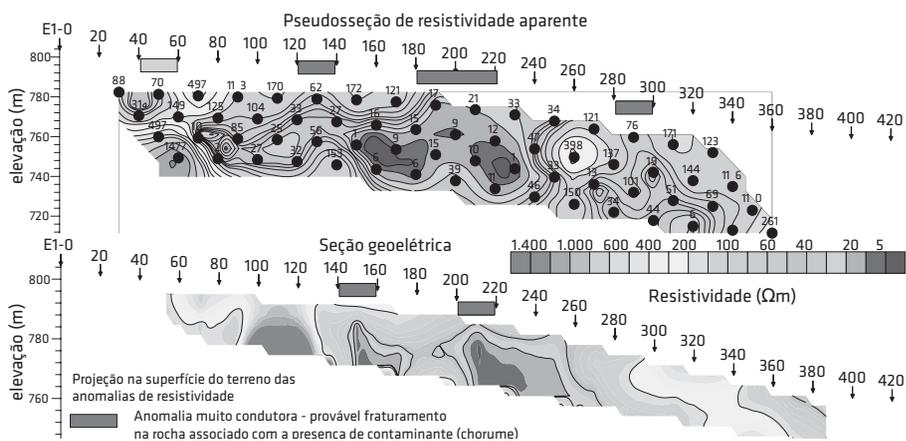


FIG. 4.31 Inversão de CE-DD – Área de aterro sanitário
Fonte: Geotomo Res2dinv.

4.2.6 POTENCIALIDADE DE AQUÍFEROS POR RESISTÊNCIA TRANSVERSAL DAR ZARROUK

A Fig. 4.33 apresenta os mapas de resistência transversal e resistividade de um horizonte arenoso correspondente ao aquífero livre de

MÉTODOS GEOELÉTRICOS NA CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

5

Estudos que utilizam métodos geoeletricos para analisar a contaminação de solos e águas subterrâneas apresentam bons resultados tanto nas fases de avaliação preliminar quanto nas de monitoramento e remediação. Seus produtos minimizam os custos de um projeto e indicam os locais mais adequados para, por exemplo, instalação de poços de monitoramento, além de proporcionar uma avaliação ampla e determinística do contexto geológico e hidrogeológico.

A técnica da SEV pode ser utilizada na identificação de plumas de contaminação, embora apresente resultados pontuais e que exigem uma quantidade de ensaios que torna a técnica improdutiva e dispendiosa em comparação à técnica de CE. O emprego das SEVs é recomendado em situações nas quais as áreas de estudos são de grandes dimensões, por exemplo, > 3 km², caso em que o CE-DD não é aconselhável, podendo ser utilizado, entretanto, no detalhamento das anomalias identificadas nas SEVs. Na Fig. 5.1 tem-se a metodologia recomendada, com os principais produtos esperados. Pode-se acrescentar o método do potencial espontâneo na identificação de plumas de contaminação; esse método apresenta bons resultados e levantamentos com prazos reduzidos em relação a outras metodologias.

5.1 APLICAÇÕES EM INVESTIGAÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

Nos estudos visando obter um diagnóstico de solos, rochas e águas subterrâneas, de contaminações em sedimentos inconsolidados e rochas sedimentares, podem ser empregadas tanto as técnicas de SEV quanto as de CE, por meio dos métodos da eletrorresistividade, polarização induzida e potencial espontâneo. A técnica do CE assume papel importante nesses estudos, delimitando com detalhe, lateralmente e em profundidade, eventuais plumas de contaminação, com maior resolução e prazos reduzidos em relação às SEVs e demais métodos/

Devido à ocorrência da zona condutora na linha 1, e situada a montante da área estudada (topograficamente mais elevada), não é possível afirmar sua relação direta com a fonte de contaminação. Nesse caso, pode-se simplesmente indicar zona de fratura condutora, sendo, portanto, necessária a locação de um poço de monitoramento (linha 3 – E-60) para coleta e análise das águas subterrâneas. Os resultados geofísicos permitiram direcionar com maior precisão a locação desse poço.

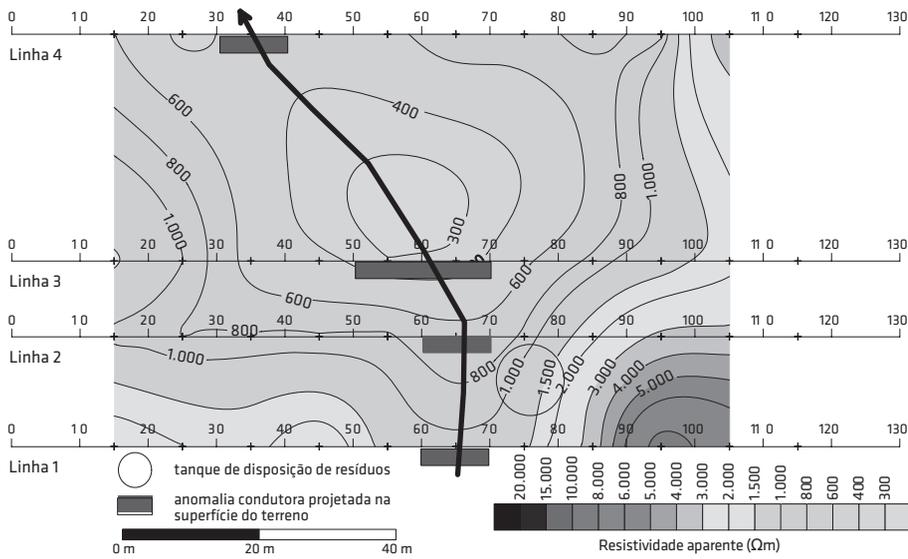


FIG. 5.10 Mapa de resistividade aparente

5.2 CASOS HISTÓRICOS

5.2.1 MAPA POTENCIOMÉTRICO

Em estudos ambientais envolvendo a contaminação de solos e águas subterrâneas, o entendimento da geologia aliado ao mapa de fluxo das águas subterrâneas constitui a base inicial dos trabalhos, direcionando os estudos posteriores com redução de custos e elevação da precisão dos resultados obtidos. As Figs. 5.11 a 5.14 apresentam mapas potenciométricos, referentes ao aquífero livre, de diferentes áreas de estudo. Podem-se observar nessas figuras as diferentes direções e sentidos do caminho preferencial das águas subterrâneas, bem como os divisores desses fluxos. Esses mapas oferecem informações básicas para planejamento adequado para locação de poços de monitoramento e coleta das águas para análises posteriores.

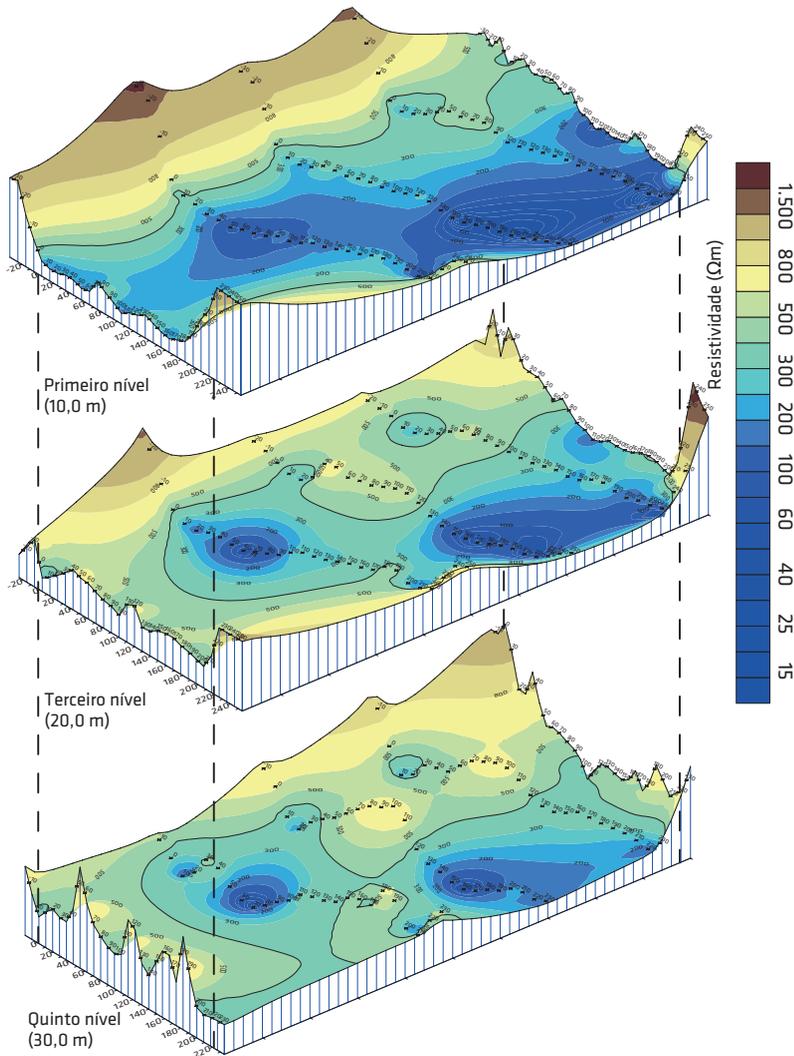


FIG. 5.15 Mapas de resistividade aparente

A Fig. 5.19 apresenta os resultados do CE-DD de três linhas representativas dos ensaios efetuados em área de disposição de resíduos sanitários (lixão). As linhas 1 e 2 foram executadas com espaçamento de 40 m, e a linha 3, com espaçamento de 10 m, visando detalhar a zona mais rasa da linha 1, compreendida entre as estacas 620 e 840. A linha 1 foi executada próxima do lixão, e a linha 2, a jusante. Pode-se observar nesses gráficos o contraste significativo entre os valores de resistividade do solo não saturado e do solo contaminado pelo chorume (valores $< 500 \Omega\text{m}$), resultante da decomposição

de valores que, por exemplo, sedimentos arenosos saturados de água salgada e/ou choroume. Portanto, o intérprete deve considerar não apenas o resultado processado, mas o contexto geológico local.

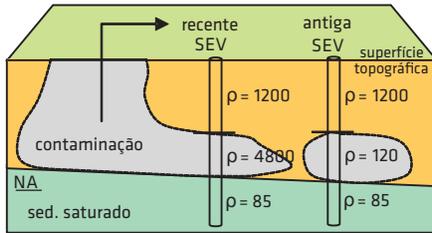


FIG. 5.26 Contaminação por derivados de hidrocarbonetos

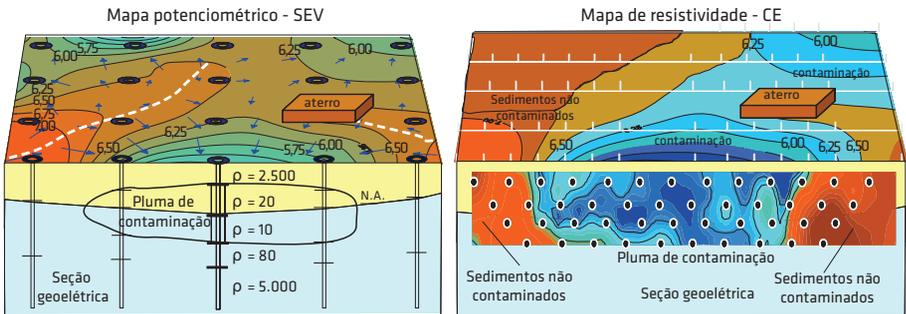


FIG. 5.27 Metodologia geoeletrica em estudos de aterros sanitários

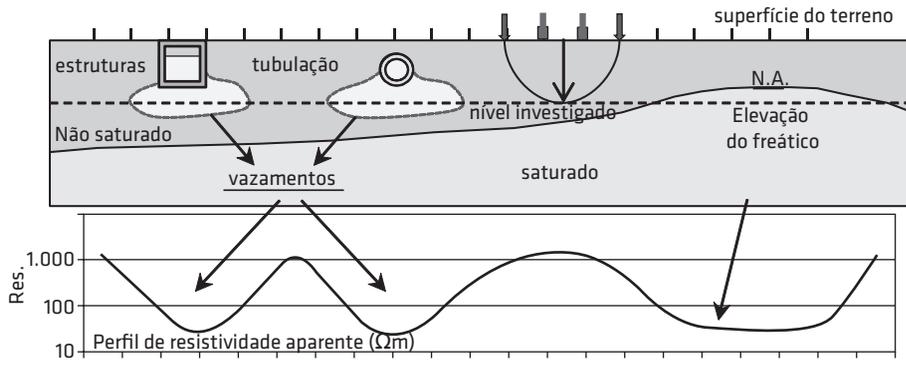


FIG. 5.28 Anomalias geofísicas

Na Fig. 5.30, tem-se uma pseudosseção de resistividade aparente executada em área de disposição de resíduos sólidos de uma indústria de fundição, localizada em terreno sedimentar. As análises indicaram concentrações elevadas nos seguintes minerais metálicos: chumbo, cromo total,

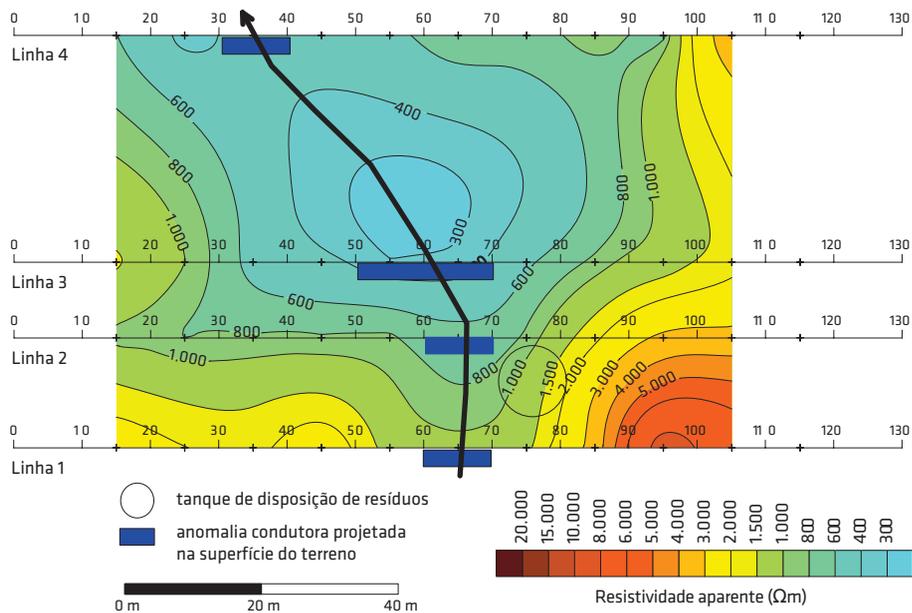


FIG. 5.10 Mapa de resistividade aparente

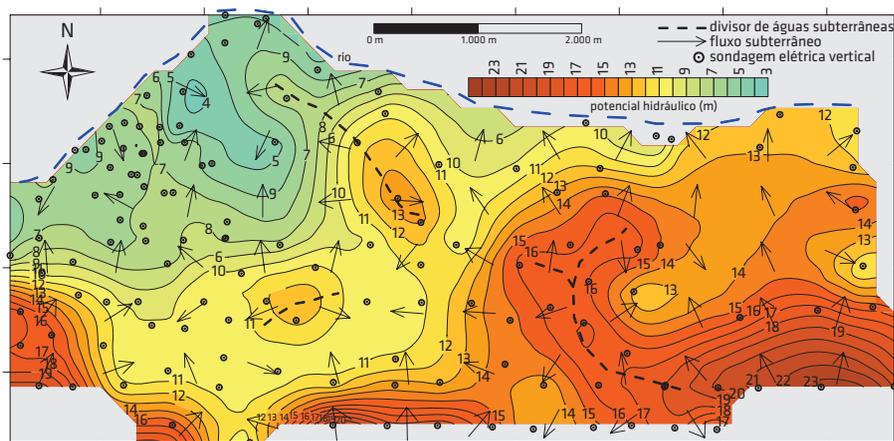


FIG. 5.11 Mapa potenciométrico em área industrial

Os recursos hídricos subterrâneos têm se mostrado uma fonte complementar para abastecimento ou mesmo fonte alternativa, em determinados aquíferos, no cenário de demanda crescente e escassez de água com qualidade. Os métodos geoeletricos apresentam-se como importante ferramenta, de baixo custo, em estudos para captação e monitoração da qualidade de águas subterrâneas.

Geofísica aplicada: métodos geoeletricos em Hidrogeologia apresenta os conceitos teóricos fundamentais, as técnicas e arranjos de campo para caracterização do aquífero e análises de casos históricos, permitindo a escolha da metodologia mais adequada para a aquisição de dados geoeletricos. Voltada para alunos de graduação e pós-graduação em Geologia, Geofísica e Engenharia Ambiental, a obra apresenta ilustrações e gráficos detalhados para as diferentes técnicas, além de diversos materiais complementares disponíveis para *download*.

ISBN 978-85-7975-191-2



9 788579 751912