

APOIO AO DESENVOLVIMENTO TÉCNICO-CIENTÍFICO NO BRASIL

A FVD – Fundação Victor Dequech, entidade sem fins lucrativos, criada em 2001, apoia e incentiva ações e projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico e Inovativo no Brasil.

Com foco na pesquisa e engenharia mineral -- bem como nas áreas de energia, óleo e gás, meio ambiente e tecnologias a elas relacionadas -- a FVD sente-se plenamente honrada por apoiar a ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental na edição de suas Diretrizes, Guias, Manuais, Boletins e outros documentos assemelhados, agora como Normas Técnicas dessa conceituada associação.

A FVD e a ABGE estão irmanadas no esforço para a educação e a capacitação continuada, que proporcionam qualificação, habilidades e competências de empresas e de profissionais, contribuindo assim com o desenvolvimento e a melhoria da qualidade de vida em nosso país.

Cumprimentamos a todos os participantes dessa iniciativa pioneira.

Antonio de Padua Vieira Chaves
Diretor Presidente da FVD



Rua São Vicente, 255. Bloco B
Bairro Olho D'água - Belo Horizonte, Minas Gerais,
Brasil. CEP 30.390-570.
Tel. +55 31 3288-1742 | www.fvd.org.br



NORMA DA ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE
ENGENHARIA E AMBIENTAL

NÚMERO DE REFERÊNCIA:
NORMA ABGE 203/2023
1ª Edição, 2023

INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA EM TERRA – MÉTODOS ELETROMAGNÉTICOS E POTENCIAIS



NORMA ABGE 203
1ª Edição, 2023

ABGE — AJUDANDO AS EMPRESAS A TRABALHAREM MELHOR



Copyright 2023. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE
Todos os direitos reservados a ABGE.

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

Souza, Luiz Antonio Pereira de
Norma ABGE - 203/2023 : investigação geofísica
em terra : métodos eletromagnéticos e potenciais /
Luiz Antonio Pereira de Souza, Otávio Coaracy
Brasil Gandolfo. -- 1. ed. -- São Paulo : ABGE, 2023.

Vários colaboradores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-88460-20-7

1. Geofísica 2. Geologia 3. Geotecnia
4. Infraestrutura 5. Normas técnicas I. Gandolfo,
Otávio Coaracy Brasil. II. Título.

CDD-628
-624.151
-624.15

23-179468

Índices para catálogo sistemático:

1. Geofísica aplicada 628
2. Geologia de engenharia 624.151
3. Geotecnia 624.15

Tábata Alves da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9253

Sugestão de referência bibliográfica::

Souza, L. A. P.; Gandolfo, O. C. B. ABGE NORMA 203/2023 – Investigações geofísica em terra – Métodos elétricos e potenciais. Vários colaboradores. 1ª Edição. São Paulo: ABGE, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL – ABGE
Av. Prof. Almeida Prado, 532, Prédio 59. Cidade Universitária, São Paulo, SP CEP 05508-901
www.abge.org.br – abge@abge.org.br
Fones: (11) 3767.4361 (11) 9.8687.6560

A ABGE e todos os colaboradores, revisores, coordenadores, autores e editor participantes dessa Norma ou de artigos e livros utilizados como referência bibliográfica, não possuem responsabilidade de qualquer natureza por eventuais danos ou perdas pessoais ou de bens originados do uso da presente publicação. Aqueles que usam essa publicação são responsáveis por tomar suas próprias decisões quando aplicarem as informações aqui fornecidas e as cotejarem e harmonizarem com outras. Críticas e contribuições devem ser encaminhadas a Secretaria Executiva da ABGE:
abge@abge.org.br

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	5
1. INTRODUÇÃO	7
1.1 A caracterização geológica/hidrogeológica do meio físico:	7
1.2 A identificação de contaminantes e fontes de contaminação:.....	8
1.3 A caracterização de solos/rochas e ensaios em estruturas para fins de engenharia:.....	8
1.4 Aplicações para:	8
2. FINALIDADE.....	9
3. EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS.....	10
4. MÉTODOS ELETROMAGNÉTICOS -RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR).....	10
4.1 Breve descrição do método.....	10
4.2 Vantagens	11
4.3 Limitações.....	12
4.4 Aquisição dos dados.....	12
4.5 Processamento e apresentação dos resultados.....	12
5. MÉTODO ELETROMAGNÉTICO NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA (FDEM)	13
5.1 Breve descrição do método.....	13
5.2 Vantagens	13
5.3 Limitações.....	13
5.4 Aquisição dos dados.....	14
5.5 Processamento e apresentação dos resultados.....	14
6. MÉTODO ELETROMAGNÉTICO NO DOMÍNIO DO TEMPO (TDEM).....	15
6.1 Breve descrição do método.....	15
6.2 Vantagens	15
6.3 Limitações.....	15
6.4 Aquisição dos dados.....	15
6.5 Processamento e apresentação dos resultados.....	16
7. MÉTODOS POTENCIAIS – MAGNETROMETRIA (MAG)	17
7.1 Breve descrição do método.....	17

7.2	Vantagens	17
7.3	Limitações.....	17
7.4	Aquisição dos dados.....	17
7.5	Processamento e apresentação dos resultados.....	18
8.	MÉTODOS POTENCIAIS – MICROGRAVIMETRIA (GRAV)	19
8.1	Breve descrição do método.....	19
8.2	Vantagens	19
8.3	Limitações.....	19
8.4	Aquisição dos dados.....	20
8.5	Processamento e apresentação dos resultados.....	20
9.	PRINCIPAIS PARTICIPANTES.....	21
10.	REFERÊNCIAS/LEITURAS RECOMENDADAS.....	22
11.	REFERÊNCIAS NORMATIVAS E DIRETIVAS	23

APRESENTAÇÃO

A Norma ABGE 203/2023 apresenta os **métodos eletromagnéticos e potenciais de investigações geofísicas em terra**. Essa Norma deve ser cotejada com a “Norma ABGE 200/2023 – Investigações geofísicas – Métodos e técnicas”, norma essa que fornece informações de âmbito conceitual, dentre elas as que possibilitam a escolha dos métodos mais adequados para aplicação da geofísica em estudos, projetos e obras de engenharia e as de natureza ambiental.

A Geofísica Aplicada é uma das mais importantes técnicas de investigações geológico-geotécnicas. Quando bem planejada e interpretada, conjuntamente com os demais estudos e investigações como, por exemplo, mapeamentos geológicos, sondagens mecânicas e ensaios de campo e laboratório, sua importância se torna um método de investigação não apenas eficaz, mas imprescindível às boas práticas da engenharia de obras e de natureza ambiental.

A “Norma ABGE 203/2023 possibilita aprofundar o entendimento dos métodos eletromagnéticos e potenciais utilizados em investigações geofísicas em terra. A publicação aborda três métodos eletromagnéticos: radar de penetração em solo (GPR), método eletromagnético no domínio da frequência (FDEM) e método eletromagnético no domínio do tempo (TDEM); e dois métodos potenciais: Magnetometria (MAG) e microgravimetria (GRAV).

A presente norma tem por base o conteúdo do livro “Geofísica aplicada à geologia de engenharia e meio ambiente – Manual de boas práticas” (Souza e Gandolfo, 2021), publicado pela ABGE.

A Norma ABGE possui formato próprio, mas semelhante ao publicado por entidades civis e associações técnicas e profissionais, nacionais ou estrangeiras, como ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ASTM (American Society for Testing and Materials), API (American Petroleum Institute), ISO (international Organization for Standardization), ASCE (American Society of Civil Engineering), CDA (Canadian Dam Association), IAEG (International Association for Engineering Geology and the Environment), dentre outras. Essas entidades publicam Normas (Standards), Diretrizes (Guidelines),

Boletins (Bulletins), Regras (Codes) e outros documentos assemelhados, com a finalidade de ajudar empresas e profissionais a trabalharem melhor.

As normas e as publicações técnicas editadas pelas entidades acima citadas, assim como a presente NORMA ABGE, são de aceitação voluntária. A sua aplicação somente passará a ter caráter vinculante no plano legal/normativo, caso seja reconhecida e de alguma forma chancelada/acolhida pelo poder público (por exemplo, se a adoção de alguma NORMA ABGE for exigida ou referida por algum dispositivo legal); e, no plano privado, caso seja mencionada em um contrato como norma a ser observada pelas partes no cumprimento de suas obrigações (Passini & Alvares Sociedade de Advogados, 2021).

Sugerimos que os usuários das informações dessa publicação a cotejem e a harmonizem com outras sobre o mesmo tema, assim possibilitando maior consistência nos termos de referências e contratos e maior eficácia, segurança e economicidade nos estudos, projetos e obras.

Agradecimentos aos sócios, às empresas patrocinadoras da ABGE e a todos que apoiaram e colaboraram com a presente publicação, em especial aos autores e colaboradores do livro “Geofísica aplicada à geologia de engenharia e meio ambiente – Manual de boas práticas”, publicado pela ABGE em 2021.

João Jeronimo Monticelli

Editor

Fábio Soares Magalhães

Presidente da ABGE – Gestão 2023-2024

1 INTRODUÇÃO

Para aprimorar o conhecimento dos conceitos básicos e dos fundamentos e aplicabilidade dos métodos sísmicos em terra, recomenda-se a leitura das várias publicações disponíveis na literatura geofísica, como as mencionadas na Norma ABGE 200/2023 nos itens Referências Bibliográficas, Leituras Recomendadas e Referências Normativas e Diretivas. Recomenda-se, ainda, consultar o Glossário publicado naquela Norma.

Os métodos geofísicos empregados em levantamentos terrestres (sísmica, métodos elétricos, métodos eletromagnéticos e métodos potenciais), seus principais conceitos e aplicabilidade – bem como a importância da utilização de mais de um método geofísico terrestre – foram abordados na Norma ABGE 200/2023. Tais métodos permitem:

1.1 A caracterização geológica/hidrogeológica do meio físico:

- determinação da espessura de material inconsolidado e da profundidade do topo rochoso;
- estratigrafia geológica/geotécnica;
- localização de falhas com grande rejeito;
- localização de zonas fraturadas;
- localização de diques de rochas básicas;
- localização de matacões;
- localização de paleocanais;
- detecção de zonas carstificadas, vazios e cavidades rasas;
- análise de escorregamentos e caracterização de encostas;
- determinação da profundidade do nível d'água;
- determinação da direção do fluxo de água subterrânea e de fluxos preferenciais;
- identificação de zonas com maior percolação de água em maciços;

- identificação do contato entre água doce e salgada em regiões costeiras.

1.2 A identificação de contaminantes e fontes de contaminação:

- identificação e mapeamento de plumas de contaminantes inorgânicos;
- identificação e mapeamento de plumas de contaminantes orgânicos;
- delimitação de valas, cavas, trincheiras e aterros;
- identificação de salinidade nos solos.

1.3 A caracterização de solos/rochas e ensaios em estruturas para fins de engenharia:

- determinação de módulos elásticos dinâmicos de maciços para engenharia geotécnica e de fundações;
- determinação do grau de escarificabilidade de maciços;
- determinação da resistividade elétrica para projetos de aterramento, proteção catódica e estudos de corrosão;
- inspeção de pavimentos;
- inspeção de estruturas de concreto.

1.4 Aplicações para:

- detecção de utilidades enterradas em ambientes urbanos (dutos, galerias, adutoras, cabos);
- localização de objetos enterrados (tanques, tambores);
- identificação de fuga d'água em corpos de barragens e lagoas de rejeitos;
- identificação de alvos rasos para fins arqueológicos e forenses.

Os métodos geofísicos empregados na investigação em terra, que serão tratados nesta Norma são os Métodos Eletromagnéticos e Potenciais, conforme listados a seguir:

- Método eletromagnético – Radar de penetração no solo (GPR);
- Método eletromagnético no domínio da frequência (FDEM);
- Método eletromagnético no domínio do tempo (TDEM);
- Método potencial – Magnetometria (MAG)
- Método potencial – Microgravimetria (GRAV).

Os métodos geofísicos em ambiente aquático não constam da presente Norma e serão tratados à parte. Os métodos geofísicos terrestres sísmicos e elétricos foram tratados na Norma ABGE 201/2023 e Norma ABGE 202, respectivamente.

2 FINALIDADE

Os métodos eletromagnéticos (GPR, FDEM e TDEM) e potenciais (MAG e GRAV) podem ser considerados complementares em relação aos métodos sísmicos e elétricos e, por vezes, com finalidades bem específicas, de checagens de feições geológico-geotécnicas identificadas nos métodos citados anteriormente.

O método do Radar de Penetração no Solo (GPR) tem sido largamente empregado para identificar alvos enterrados rasos (até 10 m), enquanto os métodos FDEM e TDEM podem atingir maiores profundidades.

A Magnetometria (MAG) detecta anomalias do campo magnético da Terra, devido à presença de minerais magnéticos nas rochas e materiais ferromagnéticos enterrados (tubulações, veículos etc.); já a Microgravimetria (GRAV) mede diferenças da aceleração da gravidade (g) para determinar a densidade dos materiais em subsuperfície.

O “Quadro 1 – Métodos geofísicos utilizados na investigação em terra e suas principais aplicações”, apresentado na ABGE NORMA 200/2023 contém as principais aplicações (finalidades) recomendadas para os métodos elétricos e potenciais. As descrições nos itens 4 a 8 apresentam informações mais detalhadas sobre as finalidades e limitações de cada método eletromagnético e potencial.

3 EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS

Os equipamentos e procedimentos dos métodos eletromagnéticos e potenciais constantes na presente Norma estão relatados nos itens 4 a 8, a seguir.

4 MÉTODOS ELETROMAGNÉTICOS -RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR)

4.1 Breve descrição do método

O radar de penetração no solo (GPR – *Ground Penetrating Radar*) é um método de investigação geofísica que utiliza ondas eletromagnéticas de altas frequências (entre 10 MHz e 3.000 MHz), que são irradiadas para o subsolo por uma antena transmissora e captadas por uma antena receptora (Figura 1). Antenas de baixa frequência (menores que 200 MHz) fornecem menor resolução e maiores profundidades de penetração, ocorrendo o contrário quando são utilizadas antenas com frequências mais elevadas (maiores que 200 MHz) que possibilitam maior resolução em sacrifício da penetração. O dado resultante consiste em uma imagem 2D da subsuperfície.

As marcas mais comuns de GPR utilizadas no Brasil pelas empresas, universidades e institutos de pesquisas, são fabricadas pelas empresas Geophysical Survey Systems Inc (GSSI), IDS, Malã GeoScience e Sensors & Software.

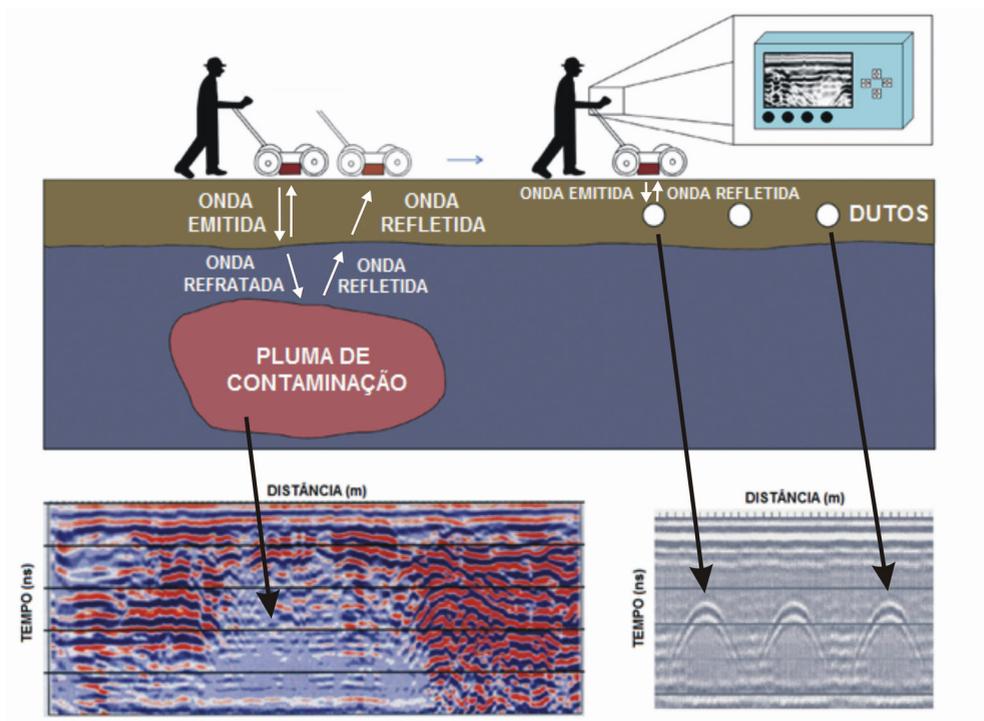


Figura 1 – Aquisição de dados com o método GPR (acima); resultados fornecidos sob a forma de seções 2D (imagens) mostrando uma anomalia associada à uma pluma de contaminação (abaixo à esquerda) e a presença de três tubulações em subsuperfície (abaixo, à direita).

Fonte: elaborada pelos autores.

4.2 Vantagens

O método GPR fornece uma excelente resolução horizontal e vertical. Este método utiliza equipamentos portáteis, o que facilita a aquisição dos dados em campo, sendo possível sua utilização em locais com piso e pavimentos. Na presença de ruídos eletromagnéticos, recomenda-se a utilização de antenas blindadas. O GPR tem capacidade para identificar alvos enterrados, metálicos e não metálicos, por vezes até de dimensões centimétricas, se forem utilizadas antenas de altíssimas frequências (maiores ou iguais a 1 GHz). Além disso, a aquisição de dados é extremamente rápida.

4.3 Limitações

O GPR é um método que apresenta uma limitada profundidade de investigação, comumente inferior a 10 m e é fortemente dependente do tipo de terreno. Pode alcançar profundidades maiores (de algumas dezenas de metros) em condições favoráveis, como solos secos, arenosos e maciços rochosos aflorantes. Em ambientes com presença de materiais geológicos eletricamente condutivos, como, por exemplo, solos muito argilosos, com o nível d'água muito raso, a profundidade de investigação pode ser mais limitada.

4.4 Aquisição dos dados

A aquisição de dados é realizada em perfis lineares ou em uma malha (perfis transversais e longitudinais) de maneira extremamente rápida. Devem ser evitados terrenos demasiadamente irregulares. É aconselhável realizar ensaios específicos para obtenção in situ das velocidades de propagação das ondas eletromagnéticas (denominados de *CMP* ou *WARR*), operação que se torna bastante simplificada caso as antenas do equipamento constituam-se de elementos fisicamente separados entre si (antena T_x transmissora e antena R_x receptora).

4.5 Processamento e apresentação dos resultados

O fluxograma adotado no processamento dos dados de GPR deve ser informado ao contratante. As seções 2D devem ser apresentadas preferencialmente em profundidade e, neste caso, deverá ser informado o procedimento adotado para determinar a velocidade que foi utilizada na conversão do tempo de percurso das ondas eletromagnéticas (nanosegundos) para a profundidade em metros. Este procedimento pode ser feito por meio dos ensaios *CMP* ou *WARR*, do ajuste de hipérboles, da calibração a partir de um refletor com profundidade conhecida, das medidas de permissividade dielétrica do terreno ou pela adoção de valores tabelados, entre outros. A interpretação com base na imagem (seção 2D) é feita geralmente de uma forma qualitativa e identificando as interfaces refletoras, alvos e anomalias observadas.

Informações mais detalhadas sobre o método GPR podem ser obtidas em ASTM-D6432 (Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation, 2005).

5 MÉTODO ELETROMAGNÉTICO NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA (FDEM)

5.1 Breve descrição do método

O método FDEM baseia-se na medida da condutividade elétrica utilizando campos eletromagnéticos induzidos no terreno. Uma bobina transmisora cria um campo primário (H_p). A presença de condutores no subsolo cria um campo secundário (H_s) que, juntamente com o primeiro, é captado por uma bobina receptora. A relação H_p/H_s fornece informações sobre a condutividade elétrica do terreno.

5.2 Vantagens

Os equipamentos utilizados em levantamentos FDEM não necessitam de contato direto com o solo, diferentemente do método da Eletrorresistividade, no qual se faz necessária a cravação de eletrodos na superfície do terreno (Figura 2). Os dispositivos são versáteis, o que proporciona uma rápida aquisição de dados e com ampla cobertura espacial, o que permite uma excelente resolução lateral. A maioria dos equipamentos, que estão atualmente em uso no Brasil pelas empresas, universidades e institutos de pesquisa, são fabricados pela Iris Instruments, Geonics Limited e pela Geophysical Survey Systems, Inc (GSSI).

5.3 Limitações

Os equipamentos utilizados no método FDEM são extremamente sensíveis a ruídos e interferências eletromagnéticas tais como: redes de alta tensão e proximidade de objetos metálicos em superfície. Este método fornece uma resolução vertical menor do que a fornecida pelo Caminhamento Elétrico/Imageamento.

5.4 Aquisição dos dados

A aquisição de dados é extremamente rápida, podendo ser conduzida por uma equipe de no máximo duas pessoas. Devem ser evitados os locais com intensa presença de ruído de natureza eletromagnética (cercas, redes elétricas etc.).

5.5 Processamento e apresentação dos resultados

Os dados de um levantamento FDEM são apresentados sob a forma de perfis e/ou mapas, o que requer pouco processamento, podendo ser interpretados de modo qualitativo, identificando-se as anomalias de condutividade elétrica.

Informações mais detalhadas sobre o método FDEM podem ser obtidas em ASTM-D6639 (Standard Guide for Using the Frequency Domain Electromagnetic Method for Subsurface Investigations, 2008).

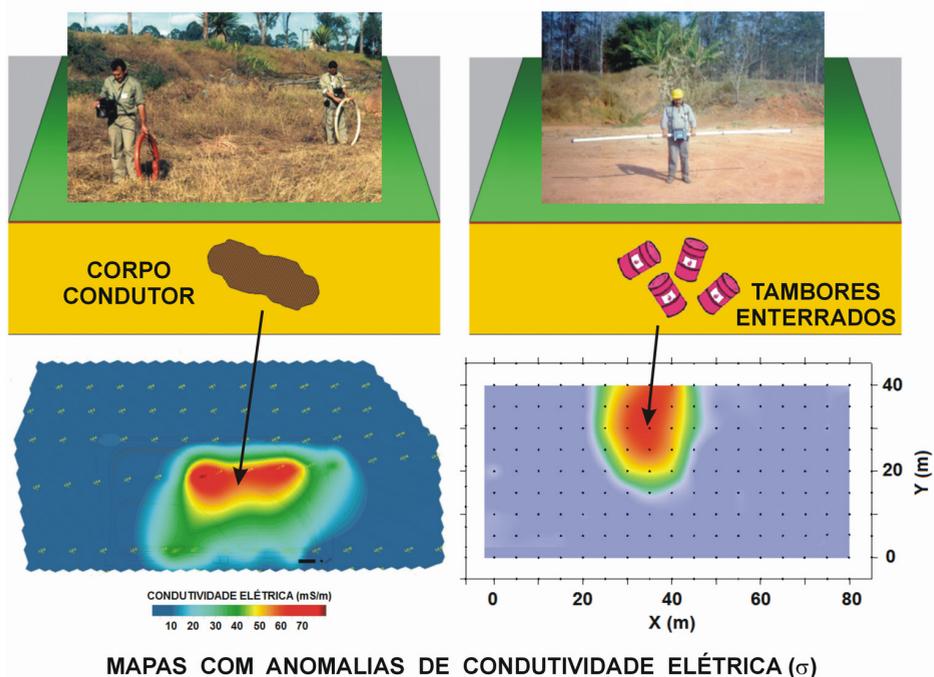


Figura 2 – Aquisição de dados do método FDEM (acima); resultados apresentados sob a forma de mapas, onde podem ser observadas as anomalias de condutividade elétrica relacionadas à presença de corpos condutores em subsuperfície (abaixo).

Fonte: elaborada pelos autores.

6 MÉTODO ELETROMAGNÉTICO NO DOMÍNIO DO TEMPO (TDEM)

6.1 Breve descrição do método

O método eletromagnético no domínio do tempo (TDEM) mede a resistividade elétrica da subsuperfície por meio da indução de pulsos de corrente no terreno emitidos por um *loop* transmissor, que gera um campo magnético primário. Após o súbito desligamento deste pulso, ocorre uma diminuição das correntes induzidas, resultando no decaimento de um campo magnético secundário em função do tempo, que é medido por um *loop* receptor (Figura 3). A Geonics Limited é uma das empresas que se destaca na fabricação de equipamentos de TDEM em uso no Brasil.

6.2 Vantagens

Comparado com o método FDEM, o método TDEM propicia maiores profundidades de investigação (centenas de metros), sendo capaz de identificar um maior número de camadas geoeletricas em relação ao FDEM. O TDEM proporciona bons resultados em ambientes geológicos que apresentem alta condutividade elétrica.

6.3 Limitações

Assim como o método FDEM, o TDEM é igualmente suscetível a ruídos eletromagnéticos de origem antrópica ou natural. A aquisição dos dados TDEM é mais demorada se comparada ao do método FDEM. O TDEM não fornece informações com boa resolução das camadas mais rasas. Desta forma, é aconselhável que um levantamento TDEM seja complementado por um levantamento de Sondagem Elétrica Vertical (SEV).

6.4 Aquisição dos dados

A investigação com o TDEM é pontual, fornecendo um perfil da variação da resistividade elétrica em função da profundidade, tal qual o resultado fornecido pela SEV (modelo 1D). Para obter uma seção 2D, deve ser feita uma

série de levantamentos 1D, o que demanda um tempo maior na aquisição dos dados, utilizando-se de diferentes arranjos (*loop central* ou *fixed-loop*). Para a instalação dos *loops* na aquisição de dados em campo há necessidade da disponibilidade de espaço físico suficiente, tendo em vista as grandes dimensões destes dispositivos.

6.5 Processamento e apresentação dos resultados

Os dados de TDEM são processados utilizando softwares de inversão, os quais resultam em um modelo geoeletrico que apresenta a variação da resistividade elétrica em profundidade (1D). Tipicamente, podem ser determinadas de três a cinco camadas geoeletricas. O dado pode também ser apresentado sob a forma de uma seção 2D, agrupando os resultados de diversos perfis 1D ao longo de uma linha de investigação.

Informações mais detalhadas sobre o método TDEM podem ser obtidas em ASTM-D6820 (Standard Guide for Use of the Time Domain Electromagnetic Method for Subsurface Investigation, 2007).

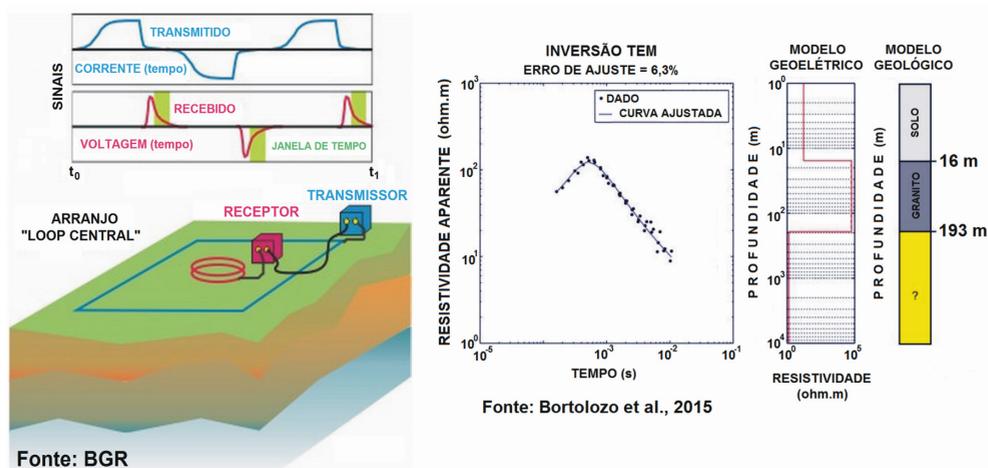


Figura 3 – Aquisição de dados do método TDEM, com o arranjo *loop central* (esquerda); apresentação dos resultados, mostrando um modelo geoeletrico 1D e o respectivo modelo geológico interpretado (direita).

Fonte: elaborada pelos autores.

7 MÉTODOS POTENCIAIS – MAGNETOMETRIA (MAG)

7.1 Breve descrição do método

O método da Magnetometria detecta anomalias no campo magnético da Terra causadas pela presença de rochas que contêm quantidades significativas de minerais magnéticos, principalmente magnetita, ou pela ocorrência de materiais ferromagnéticos antrópicos (tubulações de ferro, veículos enterrados etc.) em subsuperfície. A propriedade física investigada é a suscetibilidade magnética. O campo magnético é medido por equipamentos denominados de magnetômetros (Figura 4). Os principais equipamentos em uso no Brasil hoje são fabricados pelas empresas GEM Systems, Geometrics e Scintrex.

7.2 Vantagens

Na Magnetometria são utilizados equipamentos portáteis, de operação relativamente simples, que proporcionam uma rápida aquisição de dados em campo e que pode ser realizada por apenas uma pessoa. Este método pode ser uma alternativa ao método FDEM na localização de objetos metálicos enterrados, desde que sejam ferromagnéticos.

7.3 Limitações

A Magnetometria detecta apenas objetos compostos de materiais ferromagnéticos. Corpos compostos por metais como o cobre, o aço inoxidável ou o alumínio, tampouco materiais não metálicos, não são detectáveis por este método. As medidas magnéticas são suscetíveis à presença de interferências, tais como: redes elétricas, veículos e flutuações naturais do campo magnético terrestre.

7.4 Aquisição dos dados

A aquisição dos dados em campo é realizada ao longo de perfis ou de uma malha, onde, em cada ponto, é obtida a medida da intensidade do campo magnético. No caso do emprego de magnetômetros convencionais, com

apenas um sensor, devem ser executadas medidas regulares em um local fixo (estação base) ao longo de todo o período do levantamento, para monitorar variações temporais do campo magnético. Se forem utilizados gradiômetros, que são equipamentos providos de dois sensores separados por uma distância fixa, não há necessidade de estabelecimento de estações fixas.

7.5 Processamento e apresentação dos resultados

O processamento dos dados de Magnetometria é relativamente complexo, pois envolve uma série de correções e aplicações de filtros. Os dados de Magnetometria podem ser apresentados sob a forma de perfis ou de mapa de contornos.

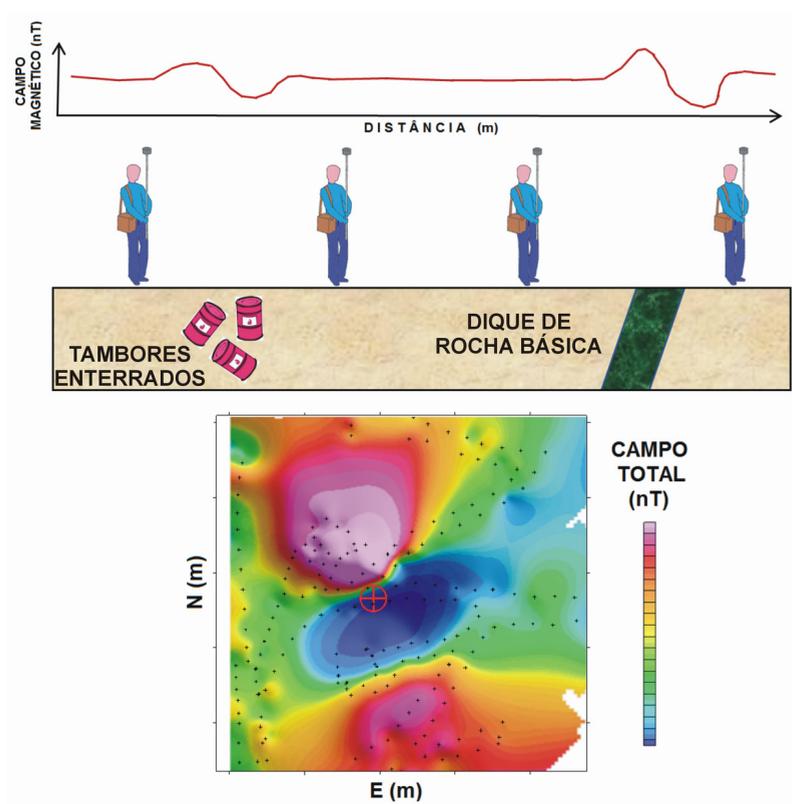


Figura 4 – Aquisição de dados de Magnetometria mostrando as anomalias identificadas ao longo de um perfil (acima); apresentação de um resultado sob a forma de mapa de contorno (abaixo).

Fonte: elaborada pelos autores.

8 MÉTODOS POTENCIAIS – MICROGRAVIMETRIA (GRAV)

8.1 Breve descrição do método

A Gravimetria é um método que utiliza o campo gravitacional da Terra e efetua medidas da aceleração da gravidade (g) para a determinação da distribuição de densidades dos materiais em subsuperfície. O emprego deste método exige a utilização de equipamentos capazes de realizar as medidas com grande precisão, da ordem de miligal (10^{-3} gal), denominados gravímetros (Figura 5). Os gravímetros mais clássicos em uso no Brasil são os fabricados pela empresa Lacoste & Romberg-Scintrex, Inc.

A Gravimetria pode ser utilizada também na investigação rasa, quando da necessidade de levantamentos com grande detalhe. Nestes casos, o método é denominado de Microgravimetria, já que as diferenças de densidade a serem determinadas são pequenas, exigindo uma densa malha de medidas e maior precisão nas leituras, que são da ordem de microgal (10^{-6} gal).

8.2 Vantagens

A Gravimetria, diferentemente de diversos outros métodos geofísicos, não sofre a influência de ruídos ambientais, podendo ser utilizada em praticamente qualquer tipo de ambiente. Este método pode ser utilizado para determinar a profundidade do topo rochoso, quando este se encontra a grandes profundidades, comumente, maiores que 40 m. Em áreas onde o topo rochoso se encontra a profundidades inferiores a 40 m, o método de Sísmica de Refração oferece melhor solução sob o ponto de vista da relação custo-benefício.

8.3 Limitações

O levantamento de campo é relativamente demorado e o equipamento utilizado (gravímetro) tem alto custo. O processamento de dados é muito elaborado devido aos diversos procedimentos utilizados para obtenção do produto final, como correções, filtragens etc.

8.4 Aquisição dos dados

As medidas de aceleração da gravidade (g) são realizadas em pontos distribuídos no terreno, chamados de estações, ao longo de um perfil ou em uma malha. No caso da Microgravimetria, estes espaçamentos devem ser pequenos (da ordem de metros) resultando em uma malha densamente amostrada. O posicionamento destes pontos deve ser efetuado com um levantamento topográfico de altíssima precisão, principalmente com relação à altitude, que é um parâmetro importante utilizado no processamento dos dados.

8.5 Processamento e apresentação dos resultados

Os dados brutos adquiridos em campo passam por intenso processamento, tendo em vista a necessidade de aplicação de uma série de correções referentes a variáveis diversas (latitude, altitude etc.) que influenciam a aceleração da gravidade local e que não são relacionados às variações de densidade dos materiais em subsuperfície propriamente dita. O resultado deve ser apresentado na forma de perfis, ou na forma de um mapa de contornos, denominados de “mapas de anomalia *Bouguer*” (recomendado). Podem também ser apresentados como seções modeladas 2D ou 3D, obtidas por processos de inversão de dados, que exibem a geometria dos corpos em subsuperfície e suas respectivas densidades (ou contrastes de densidades).

Informações mais detalhadas sobre o método da Gravimetria podem ser obtidas em ASTM-D6430 (Standard Guide for Using the Gravity Method for Subsurface Investigation, 2005).

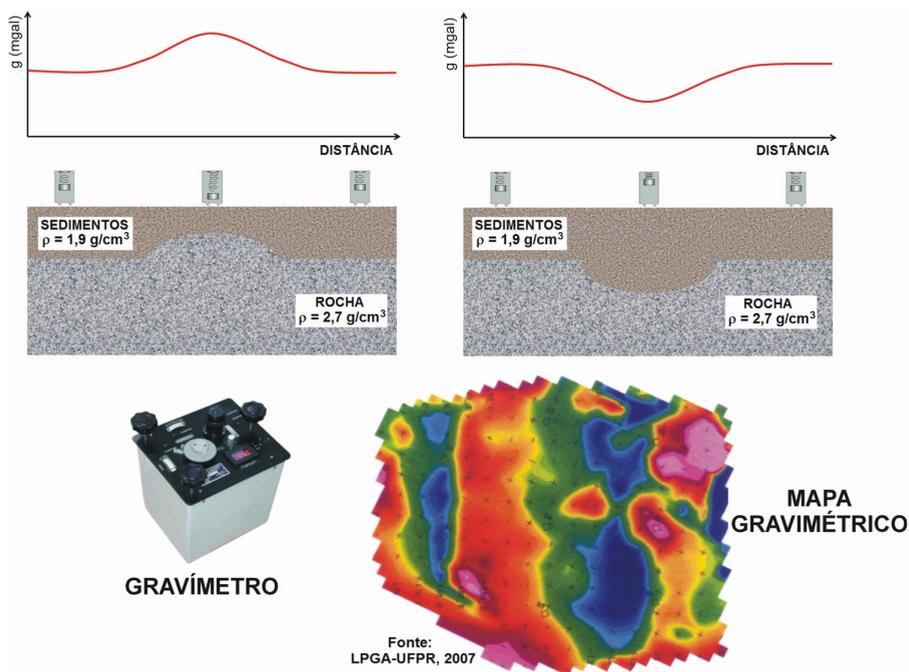


Figura 5 – Aquisição de dados de Gravimetria ao longo de um perfil mostrando uma anomalia negativa e uma anomalia positiva da gravidade (acima); abaixo, à esquerda, o equipamento utilizado para a aquisição dos dados de campo (gravímetro) e abaixo, à direita, o resultado de um levantamento sob a forma de mapa de anomalia Bouguer.

Fonte: elaborada pelos autores.

9 PRINCIPAIS PARTICIPANTES

Editor: João Jeronimo Monticelli

Autores: Luiz Antonio Pereira de Souza e Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

Colaboradores: Adalberto Aurélio Azevedo (Consultor), Adriano Marchioreto (Alta Resolução), Aluizio Oliveira Júnior (Delfos Marítima), Anita Gomes Oliveira (UFBA), Antonio Celso de Oliveira Braga (Consultor), Arthur Ayres Neto (UFF), Augustinho Rigoti (Gideon), César Alexandre Félix (Tessec Serviços Marítimos), Debora Silveira Carvalho, (Geofísica Consultoria), Deborah Durgin e Carol A. Morrissey (Klein Marine Systems), Eduardo Rodrigues e Hasan Aktarakçi (AGI), Fábio Novais e Kayque Bergamaschi (Rural Tech), Garry Kozak (Edgetech), Geraldo Cunha (Microars), Gerrit Olivier e Tjaart

de Wit (IMS), John Gann e Ashley Chan (Chesapeake), José Domingos Faraco Gallas (IGc-USP), Juliano Vitorino e Fábio Miranda (Neogeo), Kim Olá e Tom Olá (Meridata), Kinoshita Yasumasa (Serviço Geológico do Japão – GSJ) – *in memoriam*, Leonardo Santana, Eduardo Yassuda, Camila Rodrigues e Lorena Andrade Oliveira (Tetra Tech), Lisa Brisson e Damon Wolfe (Echo81), Luis Américo Conti (USP Leste), Marco Ianniruberto (UNB), Marcos Saito de Paula (JS Geologia Aplicada), Mariucha da Silva (Consultora), Mascimiliano de los Santos Maly (IO-USP), Michel Michaelovitch de Mahiques (IO-USP), Mike Brissette (R2Sonic), Moysés Gonzales Tessler (Consultor), Nabil Alameddine (Ministério Público do Estado de São Paulo), Oleg Bokhonok (UNISANTOS), Régis Gonçalves Blanco (*in memoriam*), Carlos Alberto Birelli, Vicente Luiz Galli e Leonides Guireli Netto (IPT), Renato Luiz Prado (IAG-USP), Roberto Bianco (INPH), Rodolfo Jasão Soares Dias (Subgeo), Sérgio Augusto Palazzo (SAP Service Engenheiros Consultores) e Sérgio Correia (Belov).

9 REFERÊNCIAS/LEITURAS RECOMENDADAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM-D6430:** Standard Guide for Using the Gravity Method for Subsurface Investigation, West Conshohocken, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM-D6432:** Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation. West Conshohocken, 2005, 17 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM-D6639:** Standard Guide for Using the Frequency Domain Electromagnetic Method for Subsurface Investigations, West Conshohocken, 2008, 14 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM-D6820:** Standard Guide for Use of the Time Domain Electromagnetic Method for Subsurface Investigation, West Conshohocken, 2007, 15 p.

PASSINI & ALVARES – SOCIEDADE DE ADVOGADOS. **Parecer** – Natureza das “Nomas” a serem emitidas pela ABGE. Relatório de consultoria jurídica à ABGE. São Paulo: ABGE, 13 p. Disponível em www.abge.org.br

SOUZA, L. A. P.; GANDOLFO, O.G. B. **Geofísica aplicada à geologia de engenharia e ambiental**. 1ª Ed. São Paulo: ABGE, 2021.

SOUZA, L. A. P.; GANDOLFO, O.G.B. Geofísica aplicada. *In*: Oliveira, A.M.S.; Monticelli, J.J.(Editores.): **Geologia de engenharia e ambiental, Volume 2 – Métodos e Técnicas, Cap. 15**. São Paulo: ABGE, 2018.

10 REFERÊNCIAS NORMATIVAS E DIRETIVAS

Cabe ao usuário da presente publicação cotejar a mesma com outras normas (diretrizes, guias, manuais, boletins técnicos, instruções e artigos técnicos, em geral), nacionais e estrangeiras, visando harmonização e melhor aplicação prática nos projetos. No presente caso, recomenda-se considerar, dentre outras, as seguintes publicações:

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM-D6430**: Standard Guide for Using the Gravity Method for Subsurface Investigation, West Conshohocken, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM-D6432**: Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation. West Conshohocken, 2005, 17 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM-D6639**: Standard Guide for Using the Frequency Domain Electromagnetic Method for Subsurface Investigations, West Conshohocken, 2008, 14 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM-D6820**: Standard Guide for Use of the Time Domain Electromagnetic Method for Subsurface Investigation, West Conshohocken, 2007, 15 p.

NORMA ABGE 100/2023. Investigações geológico-geotécnicas para obras de infraestrutura – Métodos e técnicas. Vários colaboradores. São Paulo: ABGE, 2023.

SOUZA, L. A. P.; GANDOLFO, O.C.B. ABGE NORMA 200/2023. Geofísica aplicada – Métodos e técnicas. Vários colaboradores. 1ª Edição. São Paulo: ABGE, 2023.