

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ESTUDO DO EFEITO
TOPOGRÁFICO NOS DADOS
ELETROMAGNÉTICOS
MULTIFREQUÊNCIA E CRÍTICA
AOS DADOS “EM” DO CAMPO
DE ARAÇÁS

ZOUKANÉRI IBRAHIM MOUMOUNI

SALVADOR – BAHIA

ABRIL – 2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Estudo do efeito topográfico nos dados eletromagnéticos
multifrequência e crítica aos dados EM do campo de Araçás**

por

ZOUKANÉRI IBRAHIM MOUMOUNI

Eng. Florestal (Universidad de Pinar del Rio, Cuba – 2007)

Orientador: Prof. Dr. Hédison Kiuity Sato

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de

MESTRE EM CIÊNCIAS

EM

GEOFÍSICA

à

Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa

da

Universidade Federal da Bahia

Comissão Examinadora

Dr. Hédison Kiuity Sato- Orientador

Dr. Antonio Olivar Lima de Lima

Dr. Carlos José Sant'Ana

Aprovada em 30 de abril de 2010

A presente pesquisa foi desenvolvida no Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da UFBA, com recursos próprios, da CAPES, da FAPESB, PETROBRAS

Q999 Ibrahim Moumouni, Zoukanéri,

Estudo do efeito topográfico nos dados eletromagnéticos multifrequência e crítica aos dados EM do campo de Araçás / Zoukanéri Ibrahim Moumouni. — Salvador, 2010.

48 f.: il., mapas, fotos.

Orientador: Prof. Dr. Hédison Kiuity Sato

Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Geofísica. Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 2010.

1. Bahia - Geofísica. I. Título.

911.6(813.8)(043)

Aos meus pais, a Antonio Puentes e
Iray Galrão.

Resumo

Essa dissertação tem como objetivo estudar o efeito da topografia nos dados eletromagnéticos a multifrequência, com o intuito de suprir com informações teóricas que melhorem a precisão da interpretação dos dados do campo. Considera-se um dipolo magnético vertical sobre um semi-espaço isotrópico e homogêneo para modelagem direta, e analisa-se também esse efeito nos dados do campo de Araçás (Bahia-Brasil). Conseguiu-se determinar a matriz de transformação \tilde{T} e sua inversa \tilde{T}^{-1} , que resumem as informações sobre a superfície inclinada acima da qual é estendida a bobina transmissora em relação a um plano horizontal, assim como, a expressão geral do campo magnético (H_x) no plano inclinado, o que possibilitou realizar simulações tomando em conta a geometria das bobinas (azimute, mergulho), e avaliar a magnitude de erro devido a topografia, analisando a variação da impedância mútua (Z/Z_0) com respeito ao número de indução (θ). Deduziu-se através de três casos analisados que ângulos de inclinação da ordem de até $5 - 10^\circ$ da inclinação do dipolo transmissor não afetam os dados adquiridos, e que a maior influência da topografia é causada pela diferença de altitude entre transmissor e receptor. A análise dos dados do campo de Araçás mostra que, o efeito topográfico aparece em curtas distâncias transmissor-receptor com grandes diferenças de altitude. À medida em que se aumenta a separação transmissor-receptor, o efeito topográfico desaparece progressivamente, ao passo que a razão sinal ruído diminui e torna o sinal indistinguível a partir de 2000 m de separação transmissor-receptor. Propôs-se um modelo inicial de multicamadas para modelagem eletromagnético. O modelo foi deduzido a partir da interpretação dos dados da sondagem elétrica e dos perfis de poço da área, cedido pela Petrobras.

Palavras chaves: Métodos elétricos e eletromagnéticos, efeito topográfico, geometria das bobinas, matriz de transformação.

Abstract

This research aims to study the effect of topography in the multi-frequency electromagnetic data, in order to improve with theoretical information, the accuracy of field data interpretation. It is assumed for that a vertical magnetic dipole on a isotropic and homogeneous half-space. We also discuss this effect in the data of the field of Araçás (Bahia-Brazil). It was determined the transformation matrix \tilde{T} and its inverse \tilde{T}^{-1} , which summarize informations about the sloping surface over which is extended the transmitting coil, as well as a general expression of the magnetic field (H_x) on the slope. That made possible to do simulations taking into account the geometry of the coils (azimuth, dip), and assess the magnitude of error due to topography, analyzing the variation of mutual impedance (Z/Z_0) with respect to the induction number (θ). It is deduced, by means of three cases examined, that angles of up to about $5 - 10^\circ$ tilt of the dipole does not affect the acquired data, and that the most influence of the topography is caused by the difference in altitude of the transmitter and receiver. The analysis of Araçás field data showed that, by increasing the transmitter-receiver separation, the topographic effect gradually disappears, but the signal to noise ratio decreases and the signal becomes indistinguishable from 2000 m of transmitter-receiver separation. It is Proposed an initial model of multilayer modeling. The model was deduced from the interpretation of electrical sounding data and the well profiles facilitated by Petrobras.

Key words: electrical and electromagnetic methods, topographic effect, geometry of the coils, the transformation matrix.

Índice

Resumo	4
Abstract	5
Índice	6
Índice de Tabelas	8
Índice de Figuras	9
Introdução	10
1 Aplicação geofísica eletromagnética	12
1.1 Princípio básico da sondagem eletromagnética	12
1.1.1 Equipamento	13
1.1.2 Fonte	14
1.1.3 A exploração geofísica	14
1.2 Aplicação na indústria dos métodos de indução eletromagnéticos	15
1.2.1 Resistividade aparente	18
1.2.2 Profundidade de investigação	19
1.2.3 Impedância mútua	20
2 Efeitos da topografia em dados FDEM	22
2.1 Geometria e transformações	23
2.2 Campo eletromagnético	26
2.2.1 Matriz W para o caso do semi-espaço homogêneo	28
2.3 Análise de casos particulares	29

2.3.1	Modelagem direta	30
3	Aplicação no caso do estudo no campo de Araçás	41
3.1	Aspectos geológicos, geofísicos e econômicos	41
3.1.1	Localização e economia	41
3.1.2	Aspectos Geológicos	42
3.1.3	Sistemas Aquíferos	44
3.1.4	Sistemas Petrolíferos	45
3.2	Equipamentos e procedimentos de campo	46
3.2.1	Equipamentos	46
3.2.2	Procedimento do campo:	47
3.2.3	Análisis do efeito topográfico nos dados experimentais eletromagnéticos	49
3.2.4	Processamento e interpretação de dados elétricos e da perfilagem . . .	51
4	Conclusões	59
	Agradecimentos	61
	Referências Bibliográficas	62
	Anexo I Programa de Computador Número Um	66

Índice de Tabelas

3.1	Referências da bobina T_1	49
3.2	Referências da bobina T_2	50
3.3	Referências da bobina T_3	50

Índice de Figuras

1.1	Princípio do método eletromagnético.	13
1.2	Arranjos usados no levantamento eletromagnético	16
1.3	Localização do ponto principal de influência, Sato (1979)	20
2.1	Plano inclinado regional e sistema de coordenadas	24
2.2	Dipolo transmissor inclinado	30
2.3	Efeito do dipolo transmissor inclinado	34
2.4	Diferença de altitude	35
2.5	Efeito da diferença de altitude (parte real)	36
2.6	Efeito da diferença de altitude (parte imaginária)	37
2.7	Dipolo transmissor normal ao plano inclinado	38
2.8	Efeito do dipolo normal ao plano inclinado (parte real)	39
2.9	Efeito do dipolo normal ao plano inclinado (parte imaginária)	40
3.1	Limites da Bacia de Recôncavo	42
3.2	Seção geológica da Bacia de Recôncavo	43
3.3	Mapa de contornos elétricos no campo de Araçás.	46
3.4	1-arranjo do transmissor e 2-arranjo do receptor	48
3.5	Fluxograma do levantamento.	49
3.6	Análise do efeito topográfico para distâncias menores.	52
3.7	Análise do efeito topográfico para distâncias maiores.	53
3.8	Perfis dos poços AR-84, AR-85, (Lima, 2009)	54
3.9	Perfis da sondagem elétrica vertical, (a): Se-31, (b): Se-33	56
3.10	Perfis da sondagem elétrica vertical, (d): Se-18, (d): Se-9	57
3.11	Modelo inicial sugerido para modelagem direta, multicamadas.	58

Introdução

Até a década de 1970, os métodos eletromagnéticos tinham sido pouco usados na exploração geofísica. Porém, os avanços tecnológicos registrados nas últimas décadas nas áreas da computação e eletrônica, as técnicas instrumentais, processamento e interpretação dos dados, possibilitaram uma versatilidade de uso dos métodos EM, sendo principalmente aplicados na exploração mineral (Zonge e Hughes, 1991). Esses métodos apresentam vantagens na detecção de contraste de resistividade diferenciando ambientes condutivos e resistivos (água salgada e hidrocarboneto). Assim, têm sido aplicados no mapeamento da distribuição da condutividade elétrica do meio geológico e na exploração de petróleo/gás. Algumas aplicações envolvem técnicas transientes tanto em terra, (Cardador et al., 2003), como em mar (Eidesmo et al., 2002). A mais recente técnica EM de fonte controlada (CSEM), utilizada para o fundo do mar, é conhecida como Sea Bed Logging (SBL). Dias (1968) e Sato (1979) impulsionaram a técnica de uso dos métodos EM no domínio da frequência, contribuindo no desenvolvimento dos protótipos de equipamentos (EMR-40, Mc Phar, T3-unit call) para aquisição, além de técnicas de inversão e interpretação em termos de resistividade aparente e polarização induzida. Os resultados satisfatórios alcançados por esses autores em distintos campos de petróleo de interesse da Petrobras, favoreceu a implementação dessa técnica em um campo maduro na Bacia de Recôncavo/Bahia. A presente dissertação é parte do projeto intitulado: “Exploração direta de petróleo com levantamentos elétricos e eletromagnéticos a multifrequência na Bacia de Recôncavo”. É um projeto Petrobras/CPGG e tem como principais objetivos: (i) aprofundar o conhecimento da fenomenologia da condução elétrica e do efeito de polarização induzida em reservatórios areno-argilosos saturados com água e/ou petróleo; (ii) testar a viabilidade técnica do uso dos métodos elétrico e eletromagnético a multifrequência na exploração direta e na caracterização petrofísica de reservatórios de petróleo;

(iii) testar a viabilidade de usar essas mesmas técnicas no monitoramento do processo de inundação de reservatórios, quando submetidos à injeção forçada de fluidos (água ou vapor) visando o aumento do fator de recuperação de óleo.

Os experimentos teóricos e práticos realizados por Dias (1968) e Sato (1979) foram bastante satisfatórios, contudo existe ainda a preocupação de se conhecer melhor o método. Uma das preocupações se traduz no entendimento do efeito da topografia sobre a resposta do campo magnético no domínio da frequência. Essa dissertação objetiva, então, avaliar a magnitude do efeito topográfico em dados EM multifrequência, com um dipolo vertical sobre um semi-espaço homogêneo. Tais estudos são pouco tratados na literatura, destacando os esforços realizados para amenizar ditos efeitos em dados do método VLF (Baker, 1979; Karous, 1979), pelo método magneto-telúrico (George e Jiracek, 2005) e do método HEM (Helicopter-borne Electromagnetic) (Sasaki e Nakazato, 2003). Esses últimos autores observaram que os dados de EM coletados nas montanhas por um helicóptero (HEM) apresentavam altas anomalias de resistividades no topo e baixas anomalias no pé das montanhas. Nos dados terrestres eletromagnéticos no domínio da frequência, cabe destacar o trabalho de Sinha (1980). Para a maioria dos autores, o efeito topográfico pode ser removido corretamente, integrando a solução direta da resposta do campo, na modelagem e inversão (Ku et al., 1973; George e Jiracek, 2005; Sasaki e Nakazato, 2003). O presente trabalho tem como objetivos específicos: (i) determinar a matriz de transformação que permite relacionar um meio inclinado com uma base horizontal, (ii) avaliar a magnitude do erro cometido pelo efeito da topografia, através de simulações de azimuth e mergulho do terreno, (iii) analisar tal efeito nos dados adquiridos no campo de Araçás e comparar os dados invertidos com os resultados de dados de eletroresistividade e perfilagem de poço da área experimental, cedido pela Petrobrás.

1

Aplicação geofísica eletromagnética

1.1 Princípio básico da sondagem eletromagnética

É chamado de sondagem eletromagnética o conjunto de procedimentos realizados para a prospecção da subsuperfície utilizando métodos eletromagnéticos, com o intuito de determinar a variação da condutividade elétrica da terra com a profundidade (Spies e Frischknecht, 1991). O método eletromagnético baseia-se nos fenômenos físicos de eletricidade e magnetismo, sintetizados pelas equações de Maxwell. Como qualquer outro, o meio geológico é caracterizado por sua permeabilidade magnética, sua permissividade e condutividade elétrica, que contribuem para a distribuição elétrica no interior do mesmo, que por sua vez criam campos eletromagnéticos. Uma corrente fluindo em uma bobina na superfície da terra cria um campo eletromagnético primário nas suas proximidades, que se propaga tanto acima quanto abaixo da superfície. Quando a subsuperfície é um meio homogêneo resistivo, não há diferença entre os campos se propagando acima da superfície e através do solo, que não seja uma leve redução em amplitude do último com respeito ao primeiro. Entretanto, na presença de um corpo condutor, o componente magnético do campo eletromagnético que penetra no solo induz correntes elétricas (“eddy currents”), que percorrem o corpo condutor (Fig. 1.1). Essas correntes induzidas geram seus próprios campos eletromagnéticos denominados secundários, que se propagam. O receptor, então, responde à resultante da chegada dos campos primário e secundário, de forma que a resposta difere em fase e em amplitude da resposta ao

campo primário somente. Essas diferenças entre os campos eletromagnéticos transmitido e recebido revelam a presença do condutor e fornecem informações sobre sua geometria e suas propriedades elétricas. A indução do fluxo de corrente resulta do componente magnético do campo eletromagnético. Conseqüentemente, não há necessidade de contato físico do transmissor ou de receptor com o solo. Os levantamentos EM de superfície podem, assim, ser realizados mais rapidamente que os levantamentos elétricos, nos quais é necessário o contato com o solo. Ainda mais importante, tanto o transmissor quanto o receptor podem ser montados numa aeronave ou rebocados por ela. Os métodos eletromagnéticos aerotransportados são largamente usados na prospecção de corpos condutivos de minério (Philip et al, 2002).

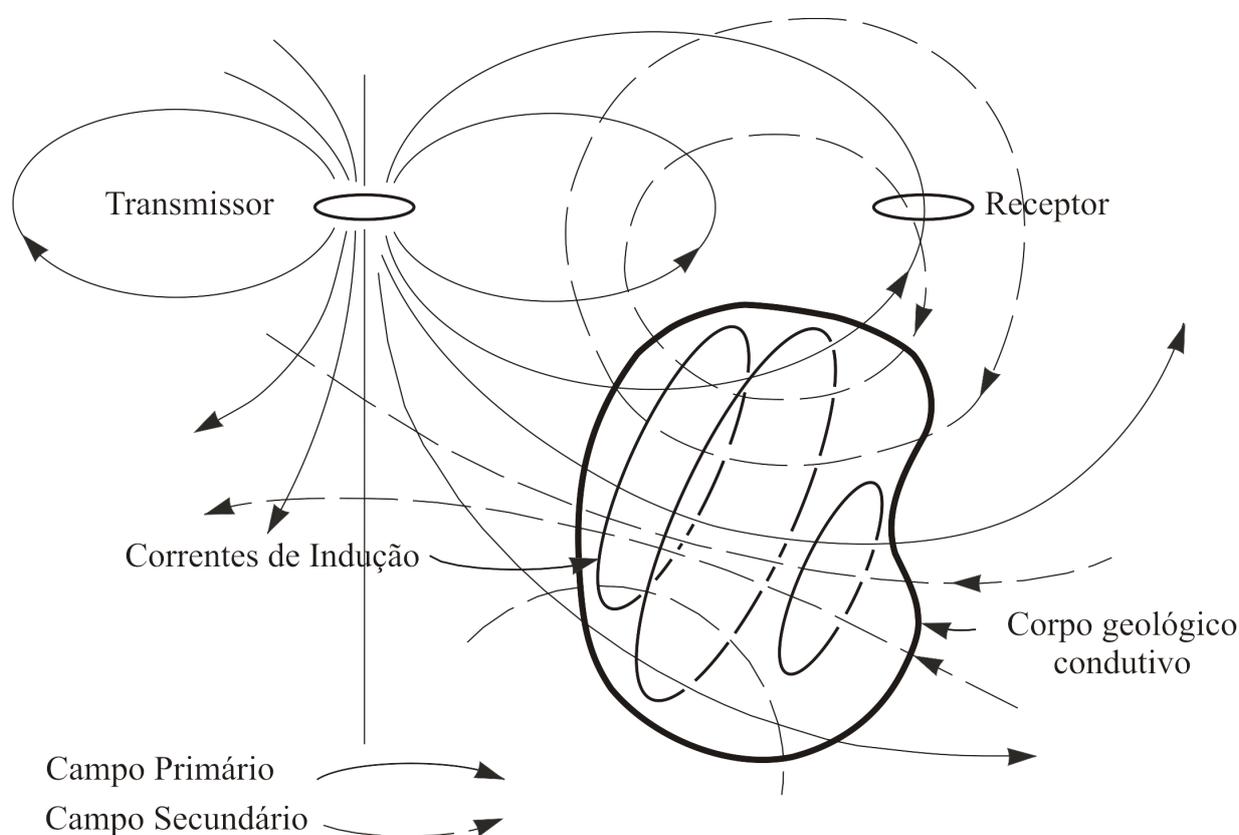


Figura 1.1: Princípio do método eletromagnético.

1.1.1 Equipamento

Os equipamentos EM contam com um sistema de transmissor chamado fonte e outro de receptor. Do sistema de transmissor faz parte um gerador-alternador ou um oscilador tran-

sistorizado. Ligada a fonte de alimentação existe uma bobina ou um cabo longo aterrado. As bobinas podem ter núcleo de ar ou de ferrite. Do sistema de recepção faz parte uma outra bobina, inteiramente portátil, composta de muitas espiras de fio fino, que pode ter núcleo de ar ou de ferrite e cujo sinal segue para um amplificador. Essa bobina é sincronizada a frequência da fonte. Porém, já existem equipamentos como SIROTEM, que utilizam apenas uma bobina, que desempenha as funções de transmissora e receptora. O sistema é bastante sensível ao ruído. As linhas de transmissão elétrica, interferência de onda de rádio ou de celular, conhecidos como ruídos culturais (“man-made”), podem ser fonte de ruído para o sistema, bem como ruídos naturais que incluem a heterogeneidade do meio, os ventos, a idade da rocha e a topografia que é o assunto tratado nesse trabalho.

1.1.2 Fonte

O tipo de fonte usado depende do objetivo da investigação, o cabo linear por exemplo, é útil principalmente para estudos do perfil geológico, ou seja, para mudanças laterais da condutividade. Por outro lado, o dipolo magnético será adequado para sondagem eletromagnética através de uma superfície estratificada (Patras, 1969; Patras e Mallick, 1980). Por isso são usados na exploração mineral, de água subterrânea, e do petróleo/gás. No caso de um dipolo magnético como o que foi utilizado na presente pesquisa, a separação entre bobina transmissora e receptora, e a frequência correspondente devem ser escolhidas de forma judiciousa. Por exemplo, embora a frequência seja menor para maior profundidade investigada, a informação recebida pode ficar com muito ruído e será preciso então aumentar a distância transmissor-receptor.

1.1.3 A exploração geofísica

A exploração geofísica é realizada com uma única ou mais unidades receptoras ou com a fonte e receptor em combinação, dependendo do sistema em uso. Na prática, a distância transmissor-receptor representa apenas uma fração muito pequena do comprimento de onda no espaço livre. Isto quer dizer que em regiões dentro das quais são realizadas as observações eletromagnéticas, as radiações são muito fracas e retardamentos de fase são desprezíveis, de

forma que o efeito de propagação pode ser desconsiderado completamente, dali a condição de quase-estático considerado nos métodos de indução eletromagnética. Esses métodos, portanto, se diferenciam do método sísmico que depende da propagação de ondas sísmicas.

Quando as medidas são feitas fora da bobina transmissora, a separação entre o transmissor e o receptor pode manter-se fixa e as medições feitas num amplo intervalo de frequência, ou a posição transmissor-receptor pode ser mudada ao longo da investigação. No primeiro caso o levantamento é chamado de *paramétrico*, e de *geométrico* no segundo caso. A sondagem *paramétrica* tem relativa vantagem sobre a *geométrica*. A frequente mudança da posição transmissor-receptor na sondagem *geométrica* pode introduzir nas medidas, ruídos geológicos devido ao efeito da heterogeneidade lateral (Ryu et al., 1970; Patras e Mallick, 1980). Para grandes profundidades a sondagem *paramétrica* é muito mais conveniente desde o ponto de vista operacional, além de oferecer uma melhor resolução para menores ou maiores contrastes de condutividade.

Vários arranjos são usados para tais levantamentos como mostrado na Fig. 1.2.

Na presente pesquisa será adotado o arranjo PERP (Perpendicular).

1.2 Aplicação na indústria dos métodos de indução eletromagnéticos

A falta de equipamento de precisão para medição de dados e uma referência de curvas teóricas tem causado um atraso do desenvolvimento dos métodos EM. Hoje esses desafios são levantados graças aos trabalhos de inúmeros pesquisadores (Dias, 1968; Ward et al., 1974; Koefoed e Biewinga, 1976; Sato, 1979) o que permitiu uma ampla aplicação do método. Na indústria do petróleo, a sísmica de reflexão é usada geralmente para determinar estruturas em subsuperfície e para localizar reservatórios potenciais. Todavia, este método é geralmente inadequado para a determinação da natureza do conteúdo de fluido das rochas. Entretanto, este conhecimento passa a adquirir grande importância na indústria de petróleo, na tentativa de se evitar perfurar poços secos, diante da possibilidade da rocha reservatório conter hidrocarbonetos ou não. O método EM tem o potencial para reduzir os riscos de se

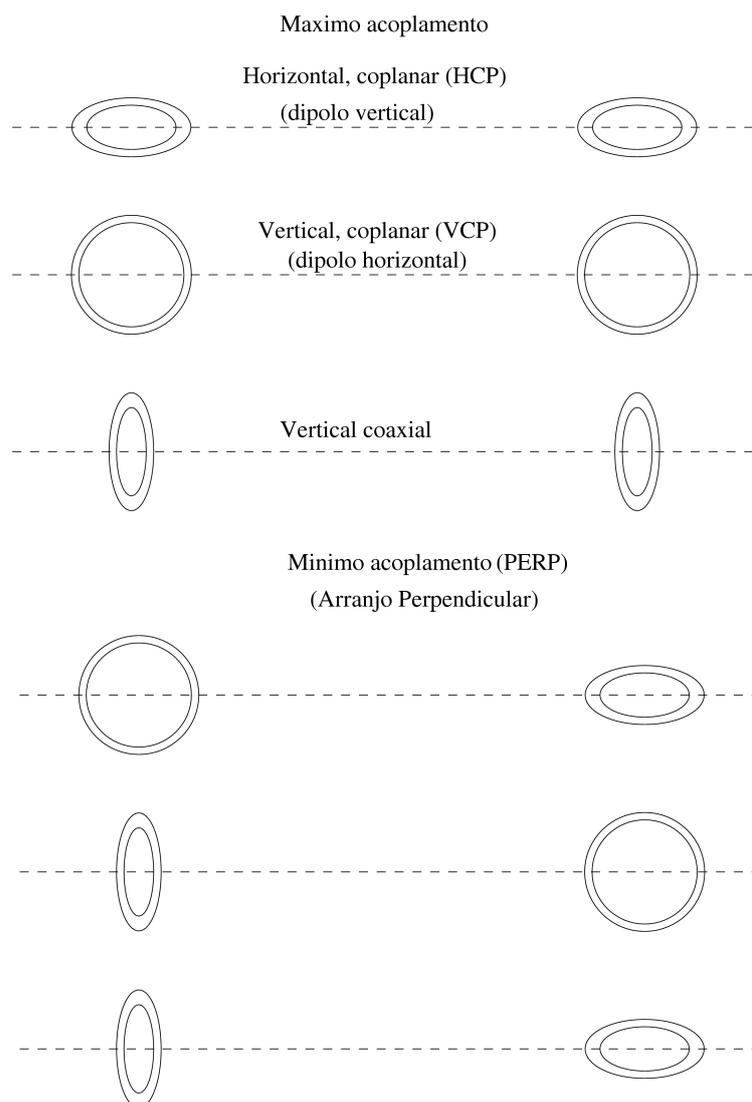


Figura 1.2: Arranjos usados no levantamento eletromagnético

perfurar um poço seco, pois pode discriminar entre reservatórios saturados com água (baixa resistividade) e reservatórios saturados com hidrocarbonetos (alta resistividade). O volume resistivo de uma rocha depende da porosidade, da resistividade do fluido do poro e da saturação. Conseqüentemente, as resistividades obtidas através de sondagens em poços são rotineiramente utilizadas para o cálculo da porosidade e da saturação das rochas reservatório. Quando o fluido poroso dentro da rocha muda de água para hidrocarbonetos, muitas das propriedades físicas da rocha mudam também. A resistividade elétrica é a mais afetada, e, portanto, a substituição da salmoura pelo óleo no reservatório pode causar uma mudança na resistividade elétrica da rocha reservatório de muitas ordens de magnitude. Por outro

lado, este efeito pode ser pouco observado pelo contraste de impedância acústica.

A principal razão de o método EM ser raramente utilizado pela indústria de petróleo é devido à baixa resolução dos dados EM convencionais em comparação com a resolução sísmica, pois a propagação da onda eletromagnética obedece a equação de difusão, e a dispersão do pulso EM ocorre em tempo e distância, enquanto que a propagação da onda sísmica obedece a equação da onda e o pulso sísmico viaja a grandes distâncias com uma pequena perda de sua resolução. Entretanto, novos sistemas de registros multicanais têm garantido um aumento da faixa dinâmica do dado EM. O método eletromagnético multi-frequência, em princípio, permite trabalhar em uma escala enorme de frequência dentro do espectro eletromagnético e pode, desse modo, obter assim, mais informações sobre a distribuição da resistividade em subsuperfície, do que os que trabalham com resistividade dc ou os equipamentos de medidas EM de baixa e única frequência. Wright e Ziolkowski (2002) apresentaram resultados provenientes do experimento realizado com o método eletromagnético transiente para a detecção de hidrocarbonetos e sua monitoração dentro do reservatório. Tarso e Moraes (2003) fizeram um estudo da resposta eletromagnética em reservatórios próximos a superfície trabalhando na bacia Sergipe-Alagoas, bacia costeira brasileira. As medidas foram conduzidas em três campos de petróleo conhecidos desta bacia, como parte do projeto da CENPES/Petrobras, para a investigação da possibilidade de mapear a pluma de alteração de hidrocarbonetos sobre os reservatórios da bacia. Concluíram que a identificação da anomalia eletromagnética associada a pluma de alteração sobre o reservatório ilustra a importância das sondagens obtidas pelo método eletromagnético transiente (TEM) durante a fase de reconhecimento da exploração de petróleo nas bacias costeiras brasileiras e que este estudo poderia, por exemplo, evitar a perfuração de um grande número de poços secos na região. Ellingsrud et al. (2002) demonstraram que, pelo uso do “Sea Bed Logging” (SBL), uma aplicação especial da sondagem eletromagnética que utiliza fontes controladas no domínio da frequência (CSEM), a existência ou não de hidrocarbonetos dentro da camada pode ser determinada e sua extensão e limites laterais podem ser quantificados.

1.2.1 Resistividade aparente

Na caracterização elétrica de um meio geológico, tem sido muito utilizado o conceito de resistividade elétrica dos materiais. As medidas de resistividade elétrica são realizadas em amostra de mão em laboratórios, determinando-se seu valor médio para um certo volume de material, ou em medidas *in situ* em torno de poços ou de zonas de exploração, quando passa a ter a designação de resistividade aparente.

Os mecanismos de condução de corrente elétrica dependem da natureza do material. Em metais e semi-condutores eletrônicos, a corrente é formada por elétrons livres, cuja quantidade é função do elemento químico, temperatura e outras variáveis. Os metais, como ouro e cobre, se caracterizam por terem uma baixa eletronegatividade, ou seja, os elétrons ficam fracamente ligados ao átomo, podendo ser doados facilmente, o que explica sua alta condutividade (Russel, 1994). Em semi-condutores, como o diamante, relativamente poucos elétrons estão livres para se mover através do retículo cristalino, tornando-os menos condutores que os metais.

Na maioria das rochas próximas da superfície terrestre, a condução de corrente elétrica é feita inteiramente por meio de um eletrólito (água com um soluto) contido em seus poros. A condução por meio de minerais é possível em algumas rochas que contenham minerais metálicos em altas concentrações. A lei de Archie é uma relação empírica entre a resistividade da rocha com certos parâmetros físicos e geométricos, dado por

$$\rho_R = a\rho_E\phi^{-1}S_w^{-n} \quad (1.1)$$

onde ρ_R é a resistividade da rocha, ρ_E , a resistividade do eletrólito, ϕ , a porosidade entre 0 e 1, S_w é a saturação em água (eletrólito) entre 0 a 1, e a , m , n são constantes, sendo que n é aproximadamente igual a 2.

Pela equação (1.1), compreende-se que quanto menor a saturação em água, maior a resistividade da rocha. No caso de presença de óleo ou gás, a saturação em água é reduzida e maiores valores de resistividades são encontrados. Microscopicamente, a diminuição da quantidade de fluido eletrolítico acarreta redução da quantidade de sais, aumentando a dificuldade para o fluxo de corrente elétrica.

A resistividade de um material ainda pode variar segundo a temperatura a qual está submetido. Em metais, por exemplo, a resistividade cresce com o aumento da temperatura. Semicondutores, em geral, têm uma relação inversa entre temperatura e resistividade, podendo, em alguns casos, apresentar um coeficiente positivo entre estes. Em rochas contendo água e em condições de temperaturas moderadas, o aumento da temperatura ocasiona aumento da condutividade da rocha (Keller e Frischknecht, 1966).

A resistividade aparente, amplamente utilizada em métodos geológicos elétricos e eletromagnéticos, corresponde *grosso modo* ao valor da resistividade de um semi-espaco ideal homogêneo e isotrópico, que responderia com as mesmas voltagens observadas, para idênticas configurações transmissor-receptor e características instrumentais. Nos métodos elétricos de corrente contínua, a resistividade aparente é uma quantidade real, enquanto que para campos alternados, essa função passa a ser uma quantidade complexa.

1.2.2 Profundidade de investigação

Ward et al. (1974) referem ser uma prática em exploração geofísica estimar a profundidade de exploração como cerca de metade da separação transmissor-receptor para sistemas indutivos de bobinas horizontais. Dias (1968) define a profundidade de exploração como sendo a profundidade na qual a heterogeneidade iria alterar de 10% ou 15%, ao valor dos campos obtidos para um semi-espaco homogêneo, para uma dada posição do transmissor e o ponto de observação. Dias e Sato (1981), usando como fonte um dipolo magnético vertical na superfície de um semi-espaco homogêneo e isotrópico de condutividade real, definiram como profundidade de exploração aquela associada a um ponto do interior do semi-espaco, em que a intensidade do campo elétrico cai $1/e$ do seu valor em um ponto da superfície, diretamente acima do ponto considerado. Com base nesta definição os autores demonstram que a máxima profundidade de exploração que se pode alcançar é a distancia r transmissor-receptor, por menor que seja a frequência ω . Concluem ainda que a região que mais contribui para o sinal recebido está acima da superfície de um cone com vértice no transmissor, e abaixo da qual o campo elétrico tem módulo inferior a $1/e$ do seu valor na superfície do semi-espaco. No interior desta região, à meia distância entre a superfície do terreno e a superfície do cone, está o lugar geométrico dos pontos que são associados às medidas observadas (Fig. 1.3),

por terem eles maior contribuição do que os demais. Desta forma, o ponto principal fica localizado a uma distancia lateral do receptor que varia de $0,2r$, no sentido do transmissor, enquanto que verticalmente está entre $0,4r$ e $0,5r$ (Sato, 1979). Parasnis (1970) afirma que, quando se diminui a frequência, a resposta dos condutores profundos se intensifica e dos superficiais se debilita. A profundidade máxima de penetração é denominada de *skin-depth* e tem como expressão:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu\sigma\omega}}, \quad (1.2)$$

onde σ é a condutividade do meio, μ , a permeabilidade magnética, e ω a frequência. Todavia a profundidade de investigação (Zonge e Hughes, 1991) é dada por:

$$D = \frac{\delta}{\sqrt{2}} \quad (1.3)$$

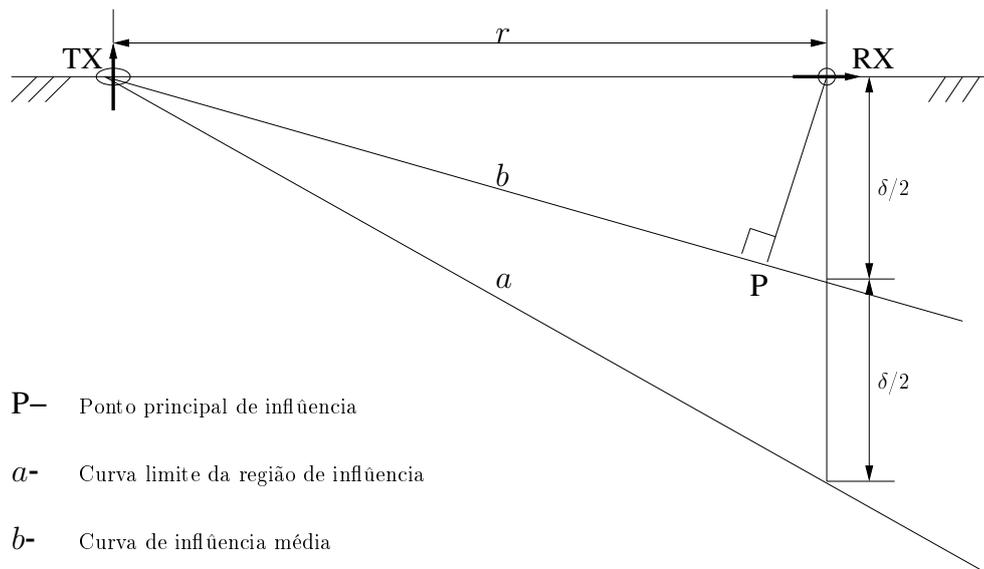


Figura 1.3: Localização do ponto principal de influência, Sato (1979)

1.2.3 Impedância mútua

A impedância mútua, de acordo com Grant e West (1965), é um conceito muito usado para descrever a interação à distância entre circuitos elétricos devidos à indução eletromagnética. Ela aparece na exploração eletromagnética induzida, pois na maioria dos casos, o transmissor e o receptor são ambas bobinas simples e existe uma interação entre elas. Grant e West (1965) consideram que o transmissor e o receptor são simples bobinas de pequena seção transversal,

mantidas fixas em suas posições e orientações relativas. A força eletromotriz (*fem*) induzida no receptor é proporcional à taxa de temporal de mudança da corrente no transmissor, e a constante de proporcionalidade é chamada de coeficiente de impedância mútua.

Nos métodos eletromagnéticos, são geralmente determinados os componentes verticais H_z e horizontais H_x do campo, ou ainda o campo primário H_0 e secundário H_s . Wait (1955) e Frischknecht (1967) expressaram as variações relativas dos campos em termos da impedância mútua definida por (Z/Z_0) , onde Z é a impedância mútua de uma bobina pequena na superfície da terra e Z_0 , a impedância mútua da mesma bobina no espaço livre. É também a razão entre o campo medido no receptor e o valor do campo primário, ou seja, H/H_0 , onde $H = H_s + H_0$, é o campo total. Para um arranjo perpendicular, $Z/Z_0 = H_s/H_0$ e $H_0 = \frac{-m}{4\pi r^3}$.

Ward e Hohmann (1988) apresentaram a expressão da impedância mútua para o arranjo perpendicular como sendo:

$$Z/Z_0 = k^2 r^2 \left[I_1 \left(\frac{ikr}{2} \right) K_1 \left(\frac{ikr}{2} \right) - I_2 \left(\frac{ikr}{2} \right) K_2 \left(\frac{ikr}{2} \right) \right] \quad (1.4)$$

onde $I_n(\cdot)$, $K_n(\cdot)$ funções modificadas de Bessel de primeira e segunda espécie, respectivamente e de ordem n , r , a distância transmissor-receptor e k número de onda.

2

Efeitos da topografia em dados FDEM

Os modelos teóricos usados na exploração geofísica consideram a superfície da terra como plana e horizontal. Na prática, essas condições nem sempre acontecem. Conseqüentemente, além dos efeitos não calculados de presença ou falta de sedimentos e rochas, efeitos meramente geométricos irão alterar os valores medidos. Conhecer a magnitude desses efeitos sobre os dados geofísicos eletromagnéticos de multifrequência é o objetivo desse trabalho.

Os efeitos não previstos pelos modelos teóricos, portanto indejáveis, são conhecidos como ruídos. Vários são os ruídos a serem considerar numa exploração geofísica. Tratam-se dos ruídos culturais (man-made), dos ruídos instrumentais e dos ruídos geológicos (heterogeneidade, idade das rochas, anisotropia, topografia). Trabalhos têm sido feitos no esforço de corrigir ou amenizar o efeito topográfico na exploração eletromagnética com o método VLF (Baker, 1979; Karous, 1979), e o magneto-telúrico (George e Jiracek, 2005; Baba e Chave, 2005). Porém, pouco se sabe na literatura sobre os efeitos da topografia em dados eletromagnéticos multifrequência, tendo como referência os trabalhos de Dias (1968) e Sinha (1980).

2.1 Geometria e transformações

Situações gerais de natureza topográfica implicam que (i) o centro das bobinas transmissora e receptora estão em níveis distintos, e (ii) a bobina transmissora não tem uma geometria simples, tipo quadrado ou círculo, devido à sua própria construção, ou seja, por ser formada com fios colocados diretamente na superfície do terreno irregular. As consequências de uma realidade topográfica geral serão analisadas com algumas simplificações:

1. Existe um terreno plano e inclinado que representa uma média topográfica do relevo, mas que passa pelos centros das bobinas transmissora e receptora,
2. A bobina transmissora tem uma geometria tipo quadrado ou círculo, conseqüentemente plana, mas, devido às condições topográficas locais da sua montagem, o seu plano não coincide com o plano do terreno,
3. Apesar de sua geometria simples, a bobina transmissora será substituída por um dipolo magnético, e
4. Será considerado que o eixo da bobina receptora é horizontal e aponta, ou melhor, intercepta a linha vertical que passa pelo centro da bobina transmissora.

A Fig. 2.1 ilustra a situação descrita e os dois sistemas de coordenadas cartesianas que serão utilizadas:

- O eixo z do sistema (x, y, z) é vertical e aponta para dentro da terra.
- A origem do sistema (x', y', z') coincide com o centro da bobina transmissora e é um ponto do eixo z .
- Os eixos x e x' interceptam-se no local da bobina receptora, cujo eixo, por sua vez, coincide com o eixo x .
- $\mathbf{P} = (1/a, 1/b, 1/c)$ é o vetor normal ao plano definido pelos pontos (a, b, c) .
- α é o azimute do mergulho do plano do terreno em relação ao eixo x .

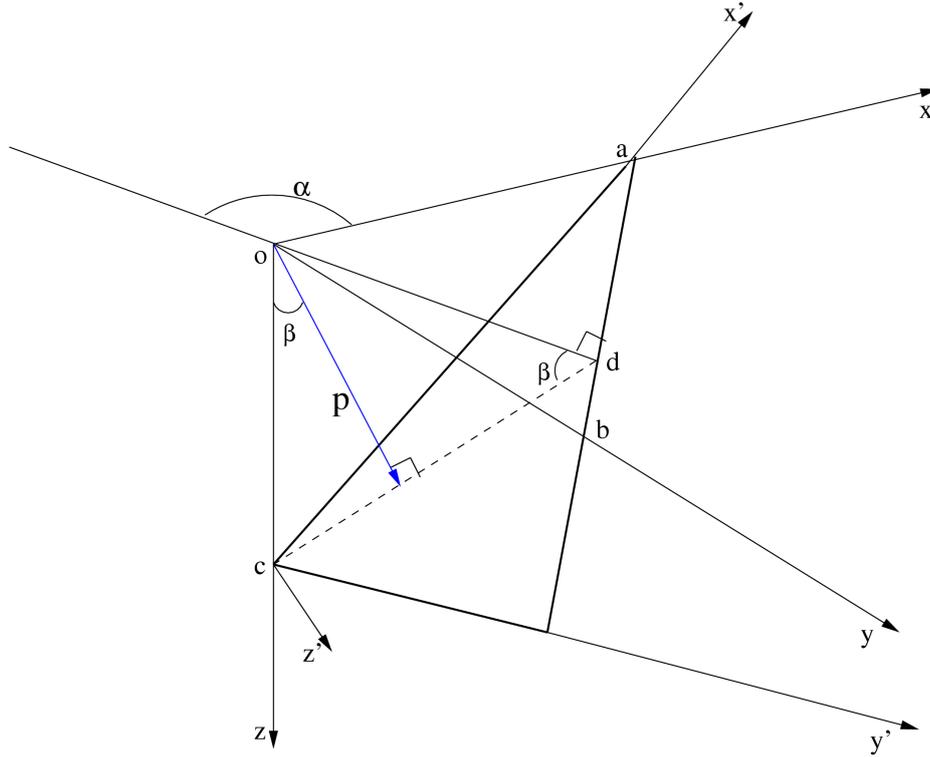


Figura 2.1: Plano inclinado regional e sistema de coordenadas

- β é o mergulho do plano do terreno.

Na medida em que o dipolo magnético não é vertical e nem normal a plano do terreno, considere a sua representação como

$$\tilde{M} = |M| \begin{bmatrix} \sin \beta_M \cos \alpha_M \\ \sin \beta_M \sin \alpha_M \\ \cos \beta_M \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

onde $|M|$ é a magnitude do dipolo magnético, α_M , o ângulo em relação ao eixo $+x$, da projeção do dipolo no plano xy , e β_M , o ângulo entre o eixo $+z$ e o dipolo.

Considerando as direções dos eixos x, y , e z , e dos eixos x', y' e z' mostrados na Fig. 2.1, pode-se definir seus respectivos versores $\mathbf{u}_x, \mathbf{u}_y, \mathbf{u}_z$ e $\mathbf{u}_{x'}, \mathbf{u}_{y'}, \mathbf{u}_{z'}$. Desde que

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_{x'} &\propto a\mathbf{u}_x - c\mathbf{u}_z, \\ &\propto \mathbf{u}_x - \frac{c}{a}\mathbf{u}_z \end{aligned}$$

ou então,

$$\mathbf{u}_{x'} = \frac{1}{\sqrt{1 + (c/a)^2}} \mathbf{u}_x - \frac{c/a}{\sqrt{1 + (c/a)^2}} \mathbf{u}_z. \quad (2.2)$$

O vetor \mathbf{P} é colinear ao versor $\mathbf{u}_{z'}$ do eixo z' , ou seja,

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_{z'} &\propto \frac{1}{a} \mathbf{u}_x + \frac{1}{b} \mathbf{u}_y + \frac{1}{c} \mathbf{u}_z, \\ &\propto \frac{c}{a} \mathbf{u}_x + \frac{c}{b} \mathbf{u}_y + \mathbf{u}_z \end{aligned}$$

Sendo assim,

$$\mathbf{u}_{z'} = \frac{c/a}{\sqrt{(c/a)^2 + (c/b)^2 + 1}} \mathbf{u}_x + \frac{c/b}{\sqrt{(c/a)^2 + (c/b)^2 + 1}} \mathbf{u}_y + \frac{1}{\sqrt{(c/a)^2 + (c/b)^2 + 1}} \mathbf{u}_z. \quad (2.3)$$

Ainda da Fig. 2.1, pode-se escrever:

$$\mathbf{u}_{z'} = l_{z'} \mathbf{u}_x + m_{z'} \mathbf{u}_y + n_{z'} \mathbf{u}_z, \quad (2.4)$$

onde $l_{z'} = -\sin \beta \cos \alpha$, $m_{z'} = \sin \beta \sin \alpha$, e $n_{z'} = \cos \beta$, e são cossenos diretores.

Considerando as expressões das equações (2.3) e (2.4), tem-se as seguintes relações:

$$-\sin \beta \cos \alpha = \frac{c/a}{\sqrt{(c/a)^2 + (c/b)^2 + 1}}, \quad (2.5)$$

$$\sin \beta \sin \alpha = \frac{c/b}{\sqrt{(c/a)^2 + (c/b)^2 + 1}}, \quad (2.6)$$

$$\cos \beta = \frac{1}{\sqrt{(c/a)^2 + (c/b)^2 + 1}}. \quad (2.7)$$

Da equação (2.7), tem-se:

$$\sqrt{(c/a)^2 + (c/b)^2 + 1} = \frac{1}{\cos \beta}.$$

Usando este resultado na equação (2.5) pode-se escrever:

$$\frac{c}{a} = -\tan \beta \cos \alpha,$$

que permite reescrever a equação (2.2) como

$$\mathbf{u}_{x'} = l_{x'} \mathbf{u}_x + m_{x'} \mathbf{u}_y + n_{x'} \mathbf{u}_z, \quad (2.8)$$

onde $l_{x'} = 1/\Delta$, $m_{x'} = 0$, $n_{x'} = \tan \beta \cos \alpha / \Delta$, e $\Delta = \sqrt{1 + (\tan \beta \cos \alpha)^2}$, e são cossenos diretores.

Sendo assim, como o versor $\mathbf{u}_{y'}$ é o produto vetorial de $\mathbf{u}_{z'}$ por $\mathbf{u}_{x'}$

$$\mathbf{u}_{y'} = \mathbf{u}_{z'} \times \mathbf{u}_{x'}$$

tem-se,

$$\mathbf{u}_{y'} = l_{y'} \mathbf{u}_x + m_{y'} \mathbf{u}_y + n_{y'} \mathbf{u}_z, \quad (2.9)$$

onde $l_{y'} = (\tan \beta \cos \alpha / \Delta) \sin \beta \sin \alpha$, $m_{y'} = \cos \beta / \Delta - \sin \beta \sin \alpha$, e $n_{y'} = \sin \beta \sin \alpha / \Delta$, e são cossenos diretores.

A matriz formada pelos cossenos diretores é chamada de *matriz de transformação* (Butkov, 1968), dada por:

$$\underset{\sim}{T} = \begin{pmatrix} l_{x'} & m_{x'} & n_{x'} \\ l_{y'} & m_{y'} & n_{y'} \\ l_{z'} & n_{z'} & n_{z'} \end{pmatrix}. \quad (2.10)$$

e a sua inversa, que faz a transformação oposta, é dada por:

$$\underset{\sim}{T}^{-1} = \begin{pmatrix} l_{x'} & l_{y'} & l_{z'} \\ m_{x'} & m_{y'} & m_{z'} \\ n_{x'} & n_{y'} & n_{z'} \end{pmatrix}. \quad (2.11)$$

As colunas e linhas da *matriz de transformação* e da sua inversa são mutuamente ortogonais e têm módulo unitário (Butkov, 1968).

2.2 Campo eletromagnético

Nesta seção, considerando os dois sistemas de coordenados ortogonais, será feita a formulação a respeito dos componentes do dipolo magnético fonte na superfície de um terreno inclinado, bem como, também, será desenvolvida a formulação a respeito do campo magnético no receptor.

Definindo matrizes coluna para representar o campo magnético e o dipolo magnético

transmissor, ou seja,

$$\begin{aligned}\tilde{H}' &= (H_{x'} H_{y'} H_{z'})^T, \\ \tilde{H} &= (H_x H_y H_z)^T, \\ \tilde{M}' &= (M_{x'} M_{y'} M_{z'})^T \text{ e} \\ \tilde{M} &= (M_x M_y M_z)^T,\end{aligned}$$

eles relacionam-se por:

$$\tilde{M}' = \tilde{T} \tilde{M}, \quad (2.12)$$

$$\tilde{M} = \tilde{T}^{-1} \tilde{M}', \quad (2.13)$$

$$\tilde{H}' = \tilde{T} \tilde{H}, \text{ e} \quad (2.14)$$

$$\tilde{H} = \tilde{T}^{-1} \tilde{H}' \quad (2.15)$$

Considerando que, para cada componente do momento magnético \tilde{M}' , existem três componentes do campo magnético no receptor, a formulação matricial fica

$$\tilde{H}' = \tilde{W} \tilde{M}', \quad (2.16)$$

onde \tilde{W} é uma matriz 3×3 , em que cada elemento W_{ij} é uma função que relaciona um componente de \tilde{H}' do campo magnético a um componente \tilde{M}' do momento magnético. De forma explícita, a expressão (2.16) é escrita como:

$$\begin{pmatrix} H_{x'} \\ H_{y'} \\ H_{z'} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_{x'x'} & W_{y'x'} & W_{z'x'} \\ W_{x'y'} & W_{y'y'} & W_{z'y'} \\ W_{x'z'} & W_{y'z'} & W_{z'z'} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_{x'} \\ M_{y'} \\ M_{z'} \end{pmatrix}. \quad (2.17)$$

Substituindo a expressão (2.12) na equação (2.16), e usando a equação (2.15), tem-se:

$$\tilde{H} = \tilde{T}^{-1} \tilde{W} \tilde{T} \tilde{M}. \quad (2.18)$$

A equação (2.18) representa a forma geral do campo magnético na superfície de um plano inclinado nas condições ilustradas na Fig. 2.1.

A matriz de transformação \tilde{T} e sua inversa contêm as informações sobre a disposição do plano inclinado em relação ao plano horizontal. A matriz \tilde{W} é formada por nove funções que descrevem, no sistema de coordenados (x', y', z') , os campos magnéticos devidos à fonte dipolar magnética com qualquer inclinação.

2.2.1 Matriz \tilde{W} para o caso do semi-espço homogêneo

Com base em Ward e Hohmann (1988), pode-se escrever as seguintes expressões para os elementos da matriz \tilde{W} :

$$W_{x'x'} = \frac{-1}{4\pi r^3} \left[y'^2 \phi + x'^2 r \frac{\partial \phi}{\partial r} \right] \quad (2.19)$$

$$W_{y'y'} = \frac{1}{4\pi r^3} \left[x'y' \phi - x'y' r \frac{\partial \phi}{\partial r} \right] \quad (2.20)$$

$$W_{z'x'} = \frac{k^2 x'}{4\pi r^2} \left[I_1 \left(\frac{ikr}{2} \right) K_1 \left(\frac{ikr}{2} \right) - I_2 \left(\frac{ikr}{2} \right) K_2 \left(\frac{ikr}{2} \right) \right] \quad (2.21)$$

$$W_{x'y'} = \frac{-1}{4\pi r^3} \left[x'y' \phi - x'y' r \frac{\partial \phi}{\partial r} \right] \quad (2.22)$$

$$W_{y'y'} = \frac{-1}{4\pi r^3} \left[x'^2 \phi + y'^2 r \frac{\partial \phi}{\partial r} \right] \quad (2.23)$$

$$W_{z'y'} = \frac{k^2 y'}{4\pi r^2} \left[I_1 \left(\frac{ikr}{2} \right) K_1 \left(\frac{ikr}{2} \right) - I_2 \left(\frac{ikr}{2} \right) K_2 \left(\frac{ikr}{2} \right) \right] \quad (2.24)$$

$$W_{x'z'} = \frac{x'k^2}{4\pi r^2} \left[I_1 \left(\frac{ikr}{2} \right) K_1 \left(\frac{ikr}{2} \right) - I_2 \left(\frac{ikr}{2} \right) K_2 \left(\frac{ikr}{2} \right) \right] \quad (2.25)$$

$$W_{y'z'} = \frac{y'k^2}{4\pi r^2} \left[I_1 \left(\frac{ikr}{2} \right) K_1 \left(\frac{ikr}{2} \right) - I_2 \left(\frac{ikr}{2} \right) K_2 \left(\frac{ikr}{2} \right) \right] \quad (2.26)$$

$$W_{z'z'} = \frac{1}{2\pi k^2 r^5} \left[9 - (9 + 9ikr - 4k^2 r^2 - ik^3 r^3) \exp(-ikr) \right] \quad (2.27)$$

onde (x', y') são as coordenadas do receptor, $r = (x'^2 + y'^2)^{1/2}$, k , o número de onda, $I_n(\cdot)$, função modificada de Bessel de primeira espécie, $K_n(\cdot)$ função modificada de Bessel de segunda espécie, e

$$\phi = \frac{2}{k^2 r^4} \left[3 + k^2 r^2 - (3 + 3ikr - k^2 r^2) \exp(-ikr) \right] \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial r} = \frac{2}{k^2 r^5} \left[-2k^2 r^2 - 12 + (ik^3 r^3 - 5k^2 r^2 + 12ikr + 12) \exp(-ikr) \right] \quad (2.29)$$

2.3 Análise de casos particulares

Relembrando que, por hipótese, o dipolo transmissor e o receptor localizam-se na superfície de um semi-espço homogêneo e isotrópico, serão estudados diversos casos em que os ângulos α e β definidos na Fig.2.1 como azimute e mergulho, variam, criando novas situações de medidas e respostas no receptor. Sinha (1980) analisou os casos para os valores de azimute $\alpha = 0^\circ$ e $\alpha = 180^\circ$, supondo que o plano do transmissor coincide com o plano do terreno. Casos particulares tridimensionais serão analisados, considerando outros valores do azimute além de 0° e 180° , e para mergulhos ($0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$).

Para tanto, serão consideradas variações em torno de um sistema de transmissor-receptor perpendicular (PERP), e será analisada a resposta do campo horizontal (H_x), para frequências variando de 10^{-1} a 10^4 Hz.

A partir da forma geral do campo dado pela expressão (2.18) o componente horizontal H_x do campo magnético, pode ser obtido por:

$$H_x = [1 \ 0 \ 0] \underset{\sim}{T}^{-1} \underset{\sim}{W} \underset{\sim}{T} \underset{\sim}{M}. \quad (2.30)$$

definindo

$$\underset{\sim}{S}_x = [1 \ 0 \ 0] \underset{\sim}{T}^{-1}$$

e retomando a equação (2.11), tem-se que

$$\underset{\sim}{S}_x = [l_{x'} \ l_{y'} \ l_{z'}]$$

e, dessa forma,

$$H_x = \underset{\sim}{S}_x \underset{\sim}{W} \underset{\sim}{T} \underset{\sim}{M}. \quad (2.31)$$

Consequentemente,

$$H_y = \underset{\sim}{S}_y \underset{\sim}{W} \underset{\sim}{T} \underset{\sim}{M}, \quad (2.32)$$

$$H_z = \underset{\sim}{S}_z \underset{\sim}{W} \underset{\sim}{T} \underset{\sim}{M}, \quad (2.33)$$

onde,

$$\underset{\sim}{S}_y = [0 \ 1 \ 0] \underset{\sim}{T}^{-1}$$

$$\underset{\sim}{S}_z = [0 \ 0 \ 1] \underset{\sim}{T}^{-1}$$

2.3.1 Modelagem direta

As simulações mostradas a seguir abordam diferentes situações encontradas em terrenos acidentados. Devido a irregularidade do relevo, apenas três casos serão tratados: (1) as variações que ocorrem no eixo do dipolo transmissor, com o receptor ainda no plano horizontal ($\alpha = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$), (2) o plano da bobina transmissora é horizontal, mas ocorrem variações na altitude do receptor ($\alpha_M = 0^\circ$, $\beta_M = 0^\circ$), (3) as bobinas transmissora e receptora estão em um mesmo plano inclinado ($\alpha_M = \pi - \alpha$, $\beta_M = \beta$). Será analisado em cada caso, o efeito causado sobre os componentes em fase e em quadratura da impedância mútua.

Caso 1

Erros podem ocorrer devido a um relevo localmente irregular onde a bobina transmissora se encontra construída, tal que o plano dessa bobina, que segue o plano do terreno, não seja horizontal. Essa situação causará uma inclinação do dipolo transmissor no sentido do receptor, ou não, como ilustrado nos esquemas (a), (b), (c) da Fig. 2.2. O receptor nesse caso está no plano horizontal. O esquema (a) considera o dipolo inclinado no sentido do receptor, correspondendo o valor de azimute $\alpha_M = 0^\circ$. No esquema (b), a inclinação do dipolo é no sentido contrário ao sentido do receptor, correspondendo a $\alpha_M = 180^\circ$. No esquema (c) o eixo do dipolo forma um ângulo de azimute $\alpha_M = 90^\circ$.

A Fig. 2.3 mostra o comportamento da parte real e imaginária da impedância mútua com o número de indução, para diferentes valores de β_M , ângulo formado pelo eixo do dipolo e a vertical

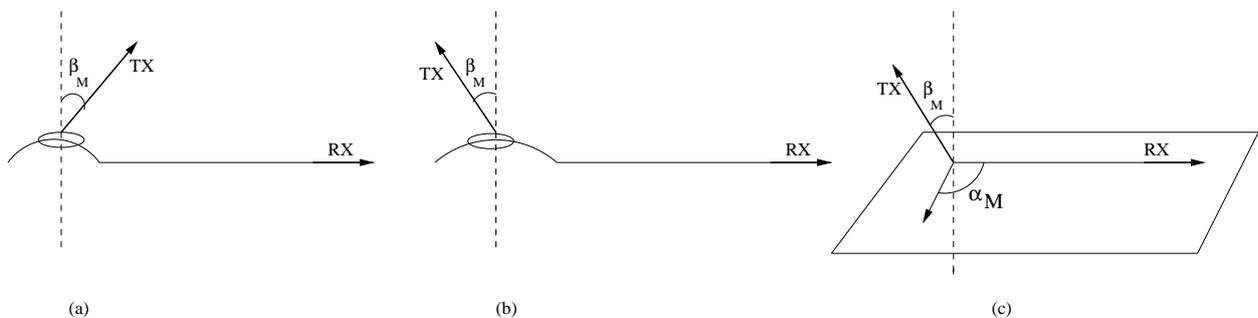


Figura 2.2: Dipolo transmissor inclinado

Para a parte real de (Z/Z_0) , observa-se que, para o caso de azimute $\alpha_M = 0^\circ$, o valor diminui com a variação da inclinação β_M . Pequenas variações de inclinação da ordem de 5° afetam muito pouco os resultados. Para o caso de azimute $\alpha_M = 180^\circ$, aumenta com a variação de β_M . No caso de azimute $\alpha_M = 90^\circ$, pequenas variações da ordem de 5° não afetam os resultados e variações da ordem de 90° dão um resultado nulo, pois, nesse caso, o componente magnético do campo primário será perpendicular ao receptor, e então não será medido. Para qualquer azimute α_M , observa-se a troca de sinal quando $\beta_M = 180^\circ$.

Para a parte imaginária de (Z/Z_0) , ela aumenta quando se aumenta β_M , ao contrário do ocorrido na parte real. As pequenas variações da ordem de 5° de β_M produzem erros ainda menores. Quando α_M é igual a 180° , ocorre o contrário do caso anterior, ou seja, caso de $\alpha_M = 0^\circ$. Para $\alpha_M = 90^\circ$ repete-se a situação observada na parte real de (Z/Z_0) , pois, como o campo primário não é medido, ambas as partes real e imaginária são nulas.

Caso 2

Esse caso contempla a situação descrita na Fig. 2.4, em que o transmissor se encontra em um plano horizontal e o receptor em uma altitude diferente. Pelo princípio da reciprocidade, os esquemas (a) e (b) produzem a mesma resposta. As figuras Fig. 2.5 e Fig. 2.6 mostram as partes real e imaginária de (Z/Z_0) .

Observa-se na Fig. 2.5, que, para os azimutes $< 90^\circ$, a parte real da impedância aumenta com o aumento do ângulo de mergulho. Porém, essa variação entre ângulos de mergulho se faz menor à medida em que os valores do azimute aproximam-se de 90° . Acima do azimute 90° , a impedância diminui com o aumento do ângulo de mergulho, e essa variação entre ângulos de mergulho se faz maior à medida em que os valores do azimute afastam-se de 90° . As maiores variações são observadas nos números de induções elevados ($\theta > 3$). Observa-se também que todas as curvas convergem para o azimute 90° . Isso se explica pelo fato de que o eixo do dipolo transmissor se encontra ortogonal ao eixo da bobina receptora, e assim o campo primário gerado no transmissor não é captado pelo receptor.

A Fig. 2.6 mostra que, para os azimutes $< 90^\circ$, na parte imaginária, há convergência para todas as curvas de mergulho nos baixos números de indução ($\theta \leq 2$) como nos altos

números de induções ($\theta \geq 6$). Acima de 90° do valor do azimute, ocorre a convergência só em baixos números de indução ($\theta \leq 2$). Para azimute igual a 90° observa-se o mesmo fenômeno explicado nos casos anteriores. Na faixa de número de indução $1 \leq \theta \leq 6$ as variações se comportam como no caso da parte real, mas com menos magnitude de erro.

Caso 3

Mostrado na Fig. 2.7, a bobina transmissora é disposta sobre um plano uniformemente inclinado, tal que o eixo do dipolo seja normal ao plano. Assim, forma um ângulo β igual ao ângulo de inclinação ou mergulho do terreno. Embora essa situação não seja a mais frequente no campo, será analisada a magnitude de erro ocorrido nas partes real e imaginária da impedância mútua. Na parte real de (Z/Z_0) mostrada na Fig. 2.8, observa-se que as variações das curvas de mergulho, com respeito à curva do caso homogêneo, são bem menores, comparando aos casos analisados anteriormente. Porém, para azimute $\alpha < 90^\circ$, ocorrem variações decrescentes com o mergulho na faixa de números de induções $\theta < 4$, e uma convergência na faixa de altos números de indução. Para azimute $\alpha > 90^\circ$, as variações são crescentes com o mergulho, e para azimute igual 90° essas variações são nulas.

Na parte imaginária de (Z/Z_0) mostrada na Fig. 2.9, observa-se poucas variações das curvas em relação ao caso homogêneo, para todos os valores de azimute, e uma convergência perfeita para azimute 90° .

Conclui-se, então, a partir desses 3 casos analisados que:

1. Pequenas mudanças, da ordem de até $5-10^\circ$ na inclinação do eixo do dipolo, produzem erros de pouca magnitude e portanto não afetam os resultados adquiridos. Entretanto, as posições da bobina devem ser escolhidas para se evitar grandes perturbações no eixo do dipolo.
2. A diferença de altitude, entre o transmissor formado por uma bobina horizontal e o receptor, causa maiores erros na parte real da impedância mútua, e a interpretação dos dados nessa condição deveria ser, então, muito cuidadosa. Considerando que, no campo, cuidados sejam tomados no planejamento e na construção da bobina transmissora evitando-se topografias que podem deslocar o dipolo da vertical, essa situação

tem sido, a mais comum e, portanto, deve-se pesquisar uma solução para amenizar os desvios devidos ao efeito topográfico.

3. Quando a bobina é instalada sobre um plano uniformemente inclinado, se produz poucos desvios nos valores dos campos medidos.

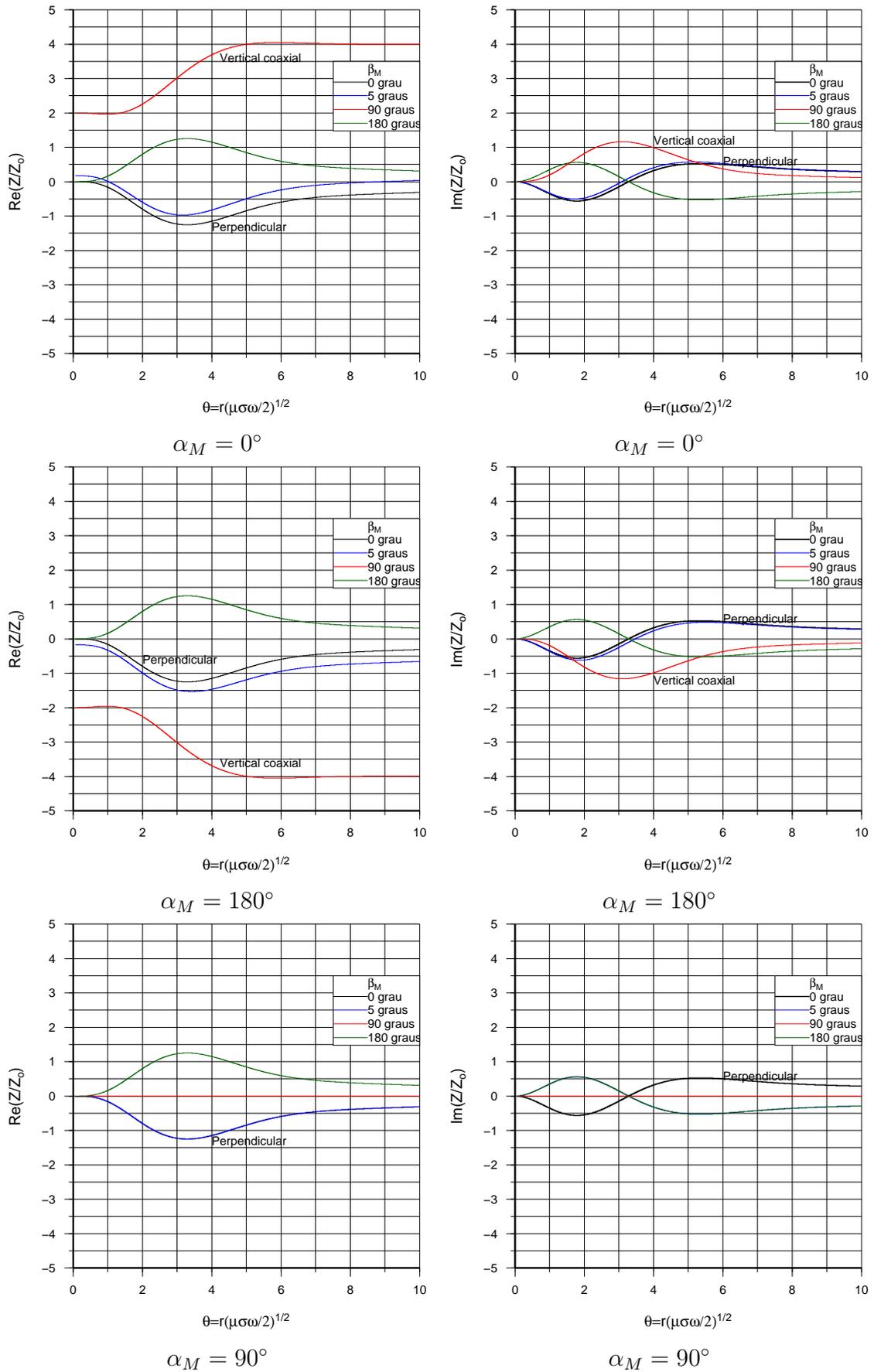


Figura 2.3: Efeito do dipolo transmissor inclinado

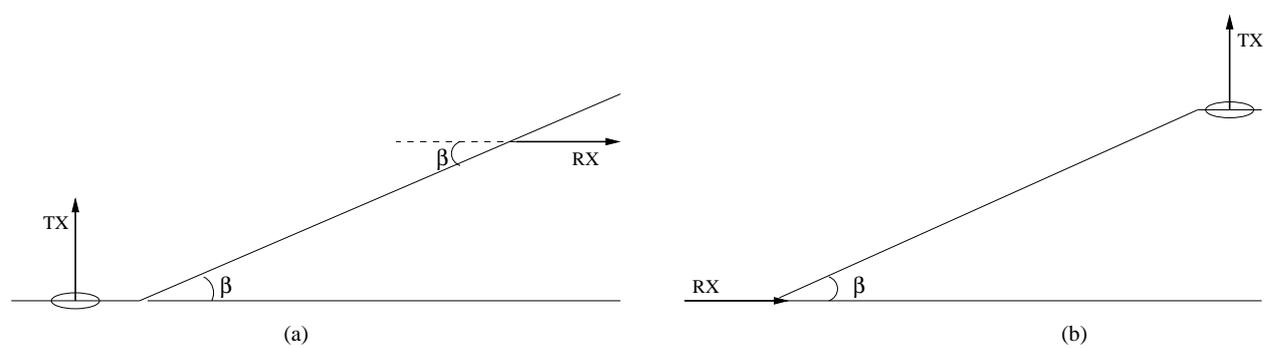


Figura 2.4: Diferença de altitude

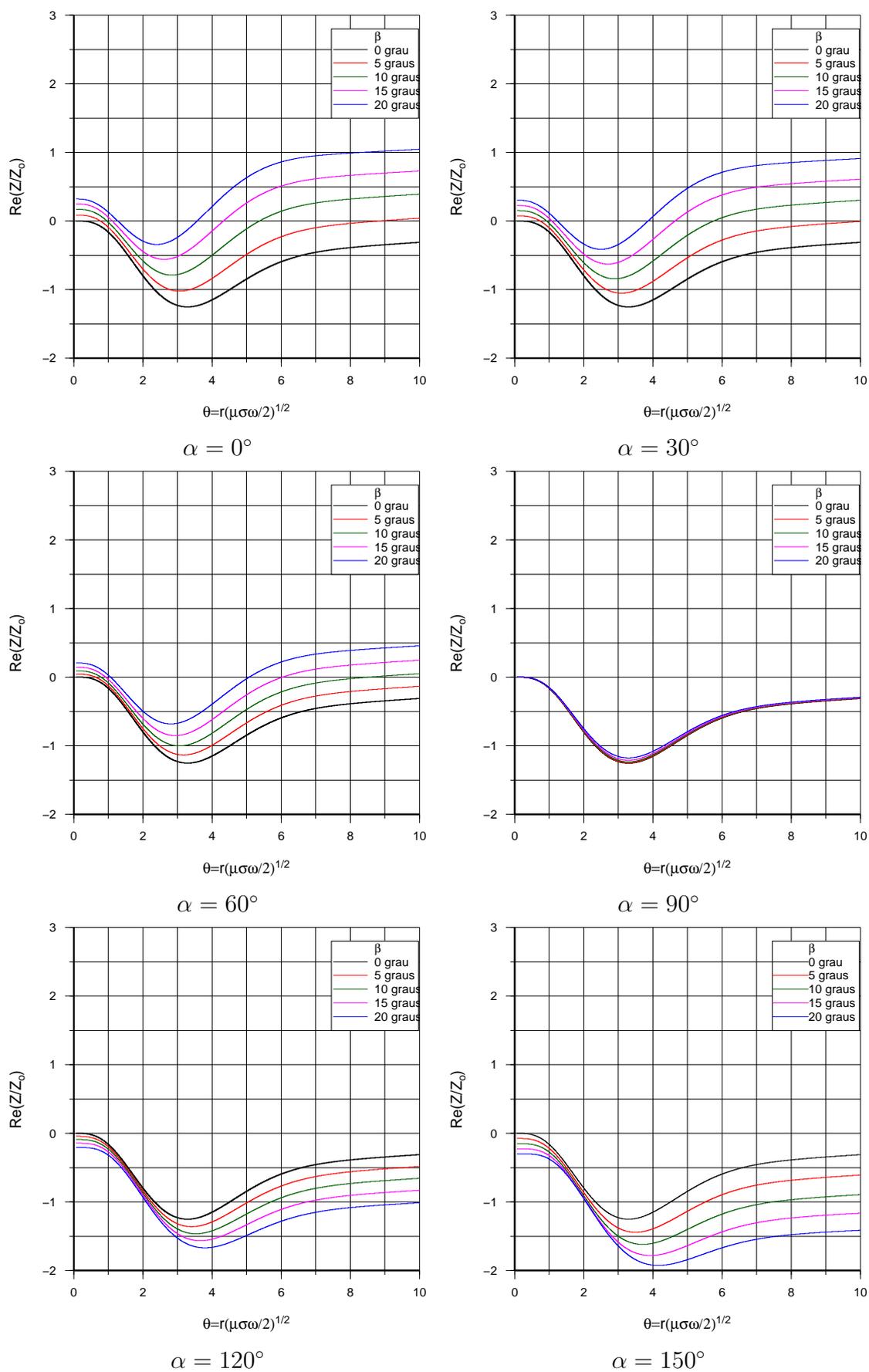


Figura 2.5: Efeito da diferença de altitude (parte real)

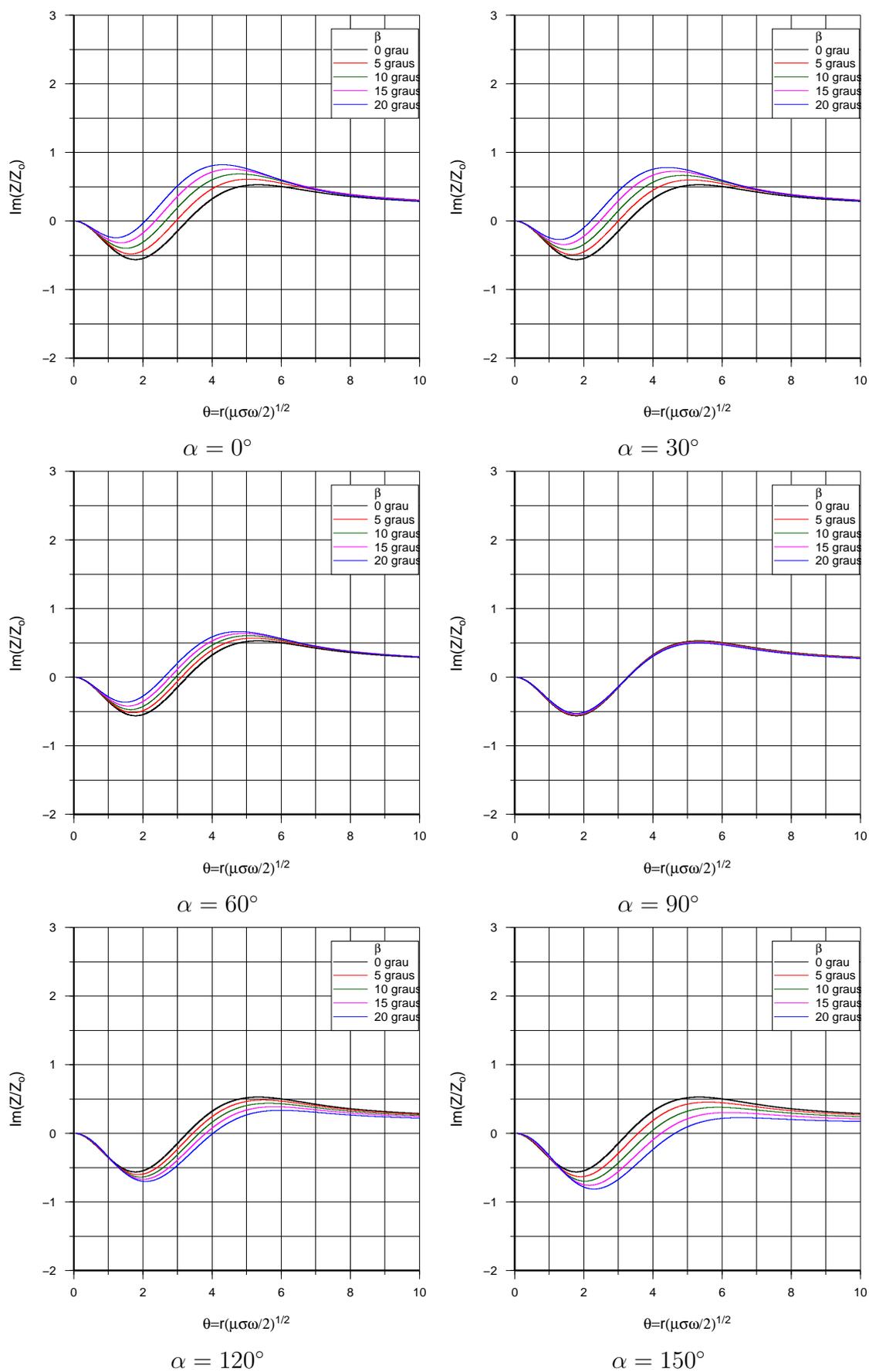


Figura 2.6: Efeito da diferença de altitude (parte imaginária)

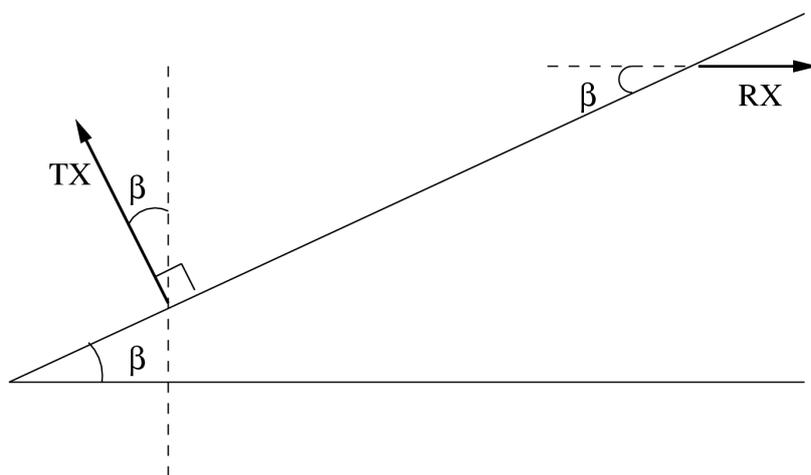


Figura 2.7: Dipolo transmissor normal ao plano inclinado

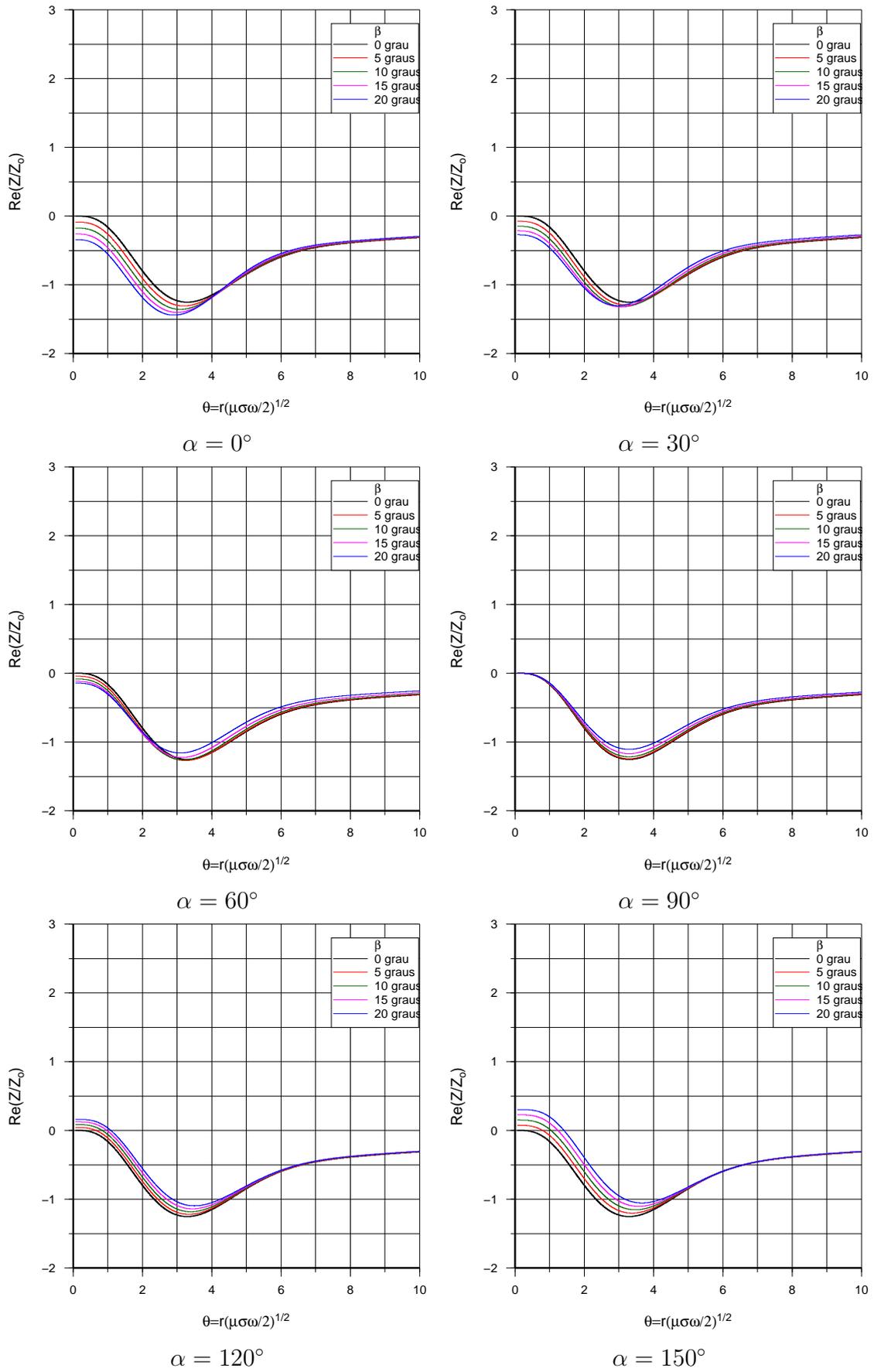


Figura 2.8: Efeito do dipolo normal ao plano inclinado (parte real)

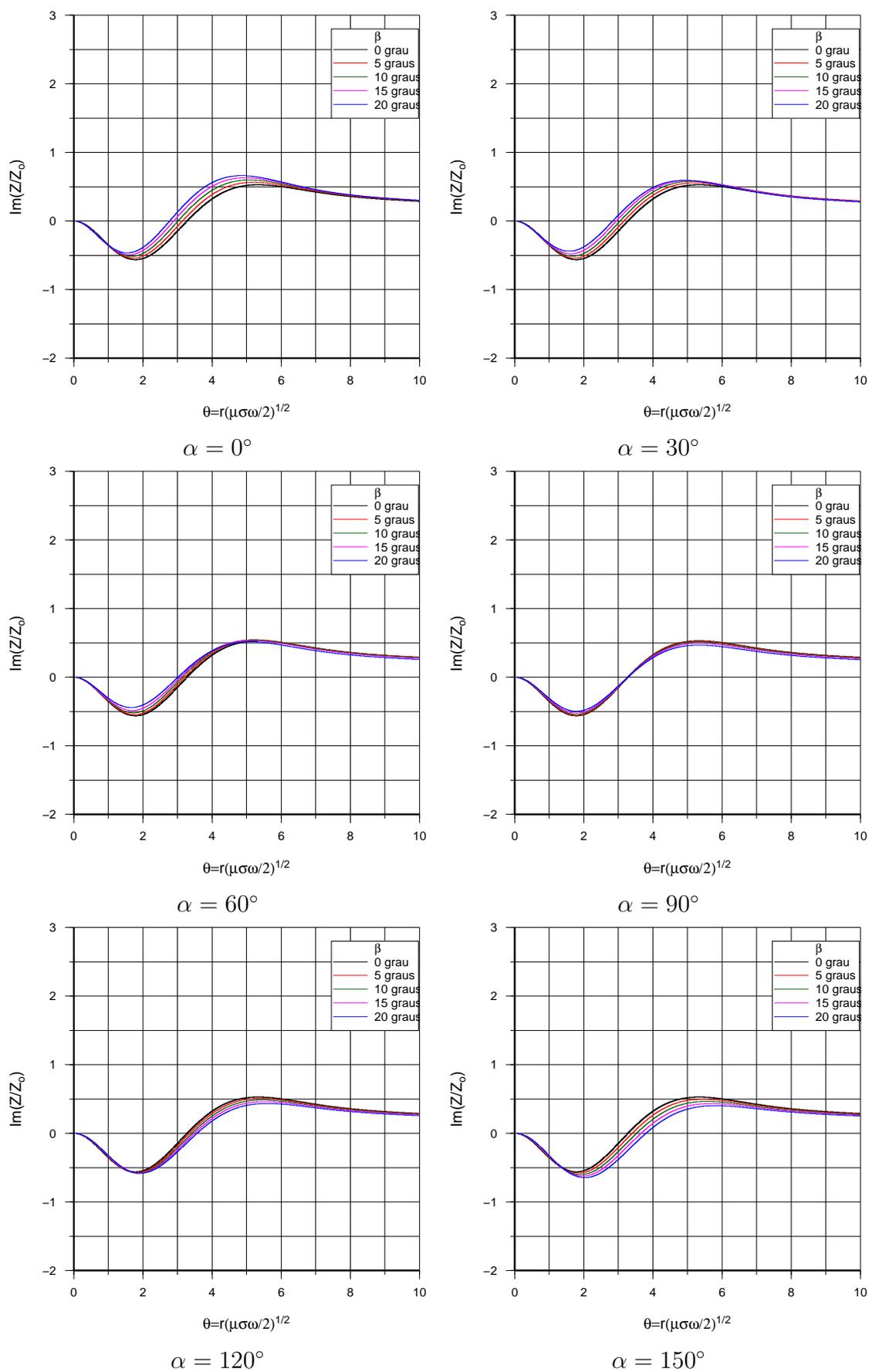


Figura 2.9: Efeito do dipolo normal ao plano inclinado (parte imaginária)

3

Aplicação no caso do estudo no campo de Araçás

3.1 Aspectos geológicos, geofísicos e econômicos

Esta seção objetiva contextualizar a área de estudo, com base em resultados e conclusões encontradas na literatura.

3.1.1 Localização e economia

O município de Araçás localiza-se na porção leste do estado da Bahia, entre os municípios de Pojuca, Catu, Alagoinhas, Itanagra e Entre Rios, a cerca de 102 km de Salvador. Seu principal acesso, partindo da capital, é através da BR-324, seguindo pela BA-093.

Com uma área de aproximadamente 491,9 km² e uma população de 12.108 habitantes, possui uma densidade demográfica de 29,8 hab/km (IBGE, 2008). Cerca de 51% da população habita a zona rural, e a agricultura predomina a atividade econômica, com destaque para o plantio de abacate. A indústria petrolífera tem participação significativa na economia local, gerando empregos diretos e indiretos e contribuindo com 6,52% da receita municipal através do pagamento de “royalties” (Reis et al., 2005).

Localizada numa região de clima sub-úmido a megatérmico, Araçás apresenta tempera-

turas variando entre 21 e 26°C e vegetação predominante de floresta estacional semidecidual, típica do bioma mata atlântica, e floresta ombrófila densa (Brandão, 2008). A zona urbana é atravessada pelo rio Quiricó.

3.1.2 Aspectos Geológicos

A Bacia do Recôncavo encontra-se no estado da Bahia, nordeste do Brasil. Com uma área aproximada de 11.500 km², é limitada a norte e noroeste pelo Alto de Aporá, a sul pelo sistema de falhas da Barra, a oeste pela falha de Maragogipe e a leste pelo sistema de falhas de Salvador, conforme a Fig. 3.1



Figura 3.1: Limites da Bacia de Recôncavo

O campo de Araçás é um antiformal de cotas altimétricas abaixo de 200 m e situa-se nessa bacia, compreendida como parte de um segmento tipo aulacógeno, cuja origem está associada ao processo de estiramento crustal que resultou na fragmentação do supercontinente Gondwana e na abertura do oceano Atlântico.

A seção geológica da Fig. 3.2 ilustra a arquitetura básica da bacia: um meio-gráben com

orientação NE-SW, falha de borda a leste e eventual rejeito superior a 6000 m (Aragão, 2004). Seu arcabouço estrutural é formado principalmente por falhamentos normais planares, com direção preferencial N30E e mergulho regional das camadas para SE, em direção as áreas mais subsidentes. Zonas de transferência com orientação N40W foram formadas em resposta as taxas de extensão diferenciadas ao longo da bacia, a exemplo da falha de Mata-Catu (Milhomen et al., 2003). A bacia possui uma espessura de seção sedimentar de cerca de

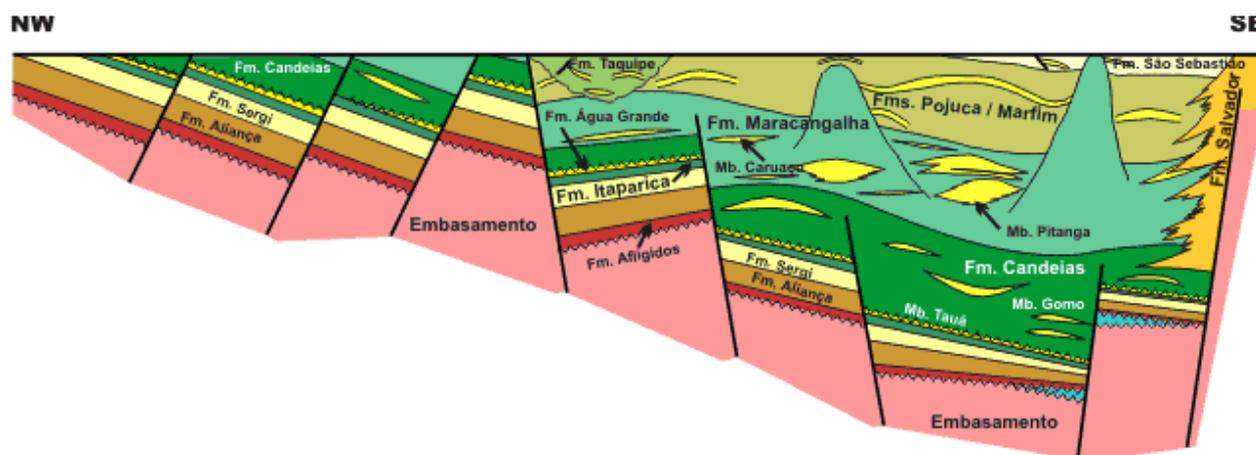


Figura 3.2: Seção geológica da Bacia de Recôncavo

6.900 m, principalmente relacionada a depósitos acumulados durante as fases rifte, sin-rifte e pós-rifte de sua abertura.

Na fase de bacia intracratônica, sob atuação de um clima árido, houve a deposição em ambiente marinho, de clásticos, evaporitos e lamitos e, em sistema lacustre, de folhelhos vermelhos, sedimentos estes representados, respectivamente pelos membros Pedrão e Cambuza da Formação Afogados (Caixeta et al., 1994).

A fase pré-rifte é caracterizada por intercalações de ciclos flúvio-eólicos, representados pelo Membro Boipeba da Formação Aliança e Formações Sergi e Água Grande, com sistemas lacustres transgressivos, representados pelo Membro Capianga da Formação Aliança e Formação Itaparica (Milhomen et al., 2003).

Na fase rifte, sob clima mais úmido, ocorreu a deposição de folhelhos, calcilitos e arenitos turbidíticos do Membro Gomo da Formação Candeias. A ressedimentação de fácies deltáicas da Formação Marfim relaciona-se aos depósitos vinculados a fluxos gravitacionais

que caracterizam os membros Caruaçu e Pitanga da Formação Maracangalha. O Membro Pitanga é representado por espessos pacotes de arenitos maciços, com feições de clastos de folhelhos e expressiva variação lateral (Raja, 1991).

Na fase pós-rifte, depositaram-se os arenitos, folhelhos e calcáreos da Formação Marizal (Aragão, 2004). Sedimentos terciários ocorrem de forma subordinada na bacia, sendo representados pelas fácies de leques aluviais que caracterizam o Grupo Barreiras e por folhelhos e calcáreos da Formação Sabiá (Milhomen et al., 2003).

3.1.3 Sistemas Aquíferos

Graças a composição predominantemente arenosa e espessura de até 3000 m, a Formação São Sebastião constitui um excelente sistema aquífero na Bacia do Recôncavo. A espessura de água doce presente nas areias dessa formação chega até 1000 m (Cetrel, 2000; Lima, 1999). Poços profundos, perfurados pela PETROBRAS, indicam que a salinidade desse aquífero, em geral, varia segundo a profundidade e localização do poço, sendo encontrados indícios de águas salobras a partir de 400 m (Nascimento et al., 2008).

Seu sistema hidrológico é complexo, contendo várias camadas permeáveis separadas por camadas ou lentes de material mais fino como folhelhos, gerando efeitos de confinamento localizados. As principais fontes de recarga são as precipitações pluviais diretas sobre as zonas de afloramento desta formação e as exudações das unidades aquíferas sobrepostas, principalmente da unidade aquífera Marizal (Nascimento et al., 2008).

A Formação Marizal também apresenta possibilidades aquíferas significativas, principalmente devido a sua sequência conglomerática basal. Sua espessura inferior a 50 m, indica potencialidade como reservatório inferior a Formação São Sebastião (Lima, 1999). A alimentação desta unidade se faz diretamente por precipitação pluvial e por exudações provenientes da Formação Barreiras. Juntas essas formações formam o sistema aquífero Barreiras-Marizal-São Sebastião, sendo este dividido em dois componentes: um componente livre ou freático - formado pela cobertura da Formação Marizal, eventualmente com sedimentos Barreiras sobrepostos e pela parte superior da Formação São Sebastião - e um componente semi-confinado ou artesianos, representado pelos pacotes de arenitos contidos totalmente na Formação São

Sebastião (Lima, 1999).

3.1.4 Sistemas Petrolíferos

A Bacia do Recôncavo reúne formações geológicas com características de rocha geradora, rocha reservatório e rocha selante, e um conjunto de trapas estruturais e estratigráficas, formando sistemas petrolíferos que vêm sendo explorados desde 1937. Seus principais reservatórios são de natureza siliciclástica e envolvem fácies fluvio-eólicas, deltáicas ou vinculadas a fluxos gravitacionais. As maiores acumulações desta bacia encontram-se nas formações Sergi e Agua Grande. As rochas geradoras, em geral, concentram-se nos membros Gomo e Tauá da Formação Candeias. O óleo migra através de planos de falha ou por contato direto gerador-reservatório, em sua maioria, estabelecido por falhas de natureza normal ou lítrica. Folhelhos sobrepostos/intercalados funcionam como rocha selante (Milhomen et al., 2003)

Além dos principais reservatórios, na bacia do Recôncavo são encontradas rochas reservatórios também nas formações Aliança (Membro Boipeba), Afligidos (Membro Pedrão) e Itaparica. Numa visão geral, são encontrados nessa bacia 86 campos de óleo e gás.

A partir de um estudo estratigráfico-estrutural elaborado por geólogos e geofísicos da PETROBRAS, usando dados de perfis geofísicos de todos os poços do campo, foi construído o mapa de contornos estruturais dos marcos elétricos apresentado na Fig. 3.3. Esse mapa define claramente duas estruturas antiformais e/ou de domos, separadas e controladas pelo falhamentos gravitacionais não mostrados no mapa, suas zonas apicais situam-se aproximadamente entre 250 m e 500 m de profundidade. As duas principais estruturas, são denominadas de antiforme de Floresta e antiforme de Araçás. Nos intervalos arenosos acima, abaixo e entre os dois marcos referidos, é possível o acúmulo de hidrocarbonetos migrados através de falhas, dos reservatórios e eventuais geradoras da seqüência inferior do preenchimento da bacia. Essa é a principal motivação para a escolha do campo de Araçás como área experimental. Diante dessa possibilidade, então, buscou-se estudar a sensibilidade dos métodos eletromagnéticos e elétricos a presença de arenitos contendo óleo em meio arenitos saturados em água doce. Esses estudos basearam-se em dados eletromagnéticos e geoeletricos obtidos, de perfilagem de poços de exploração de água e de petróleo na região.

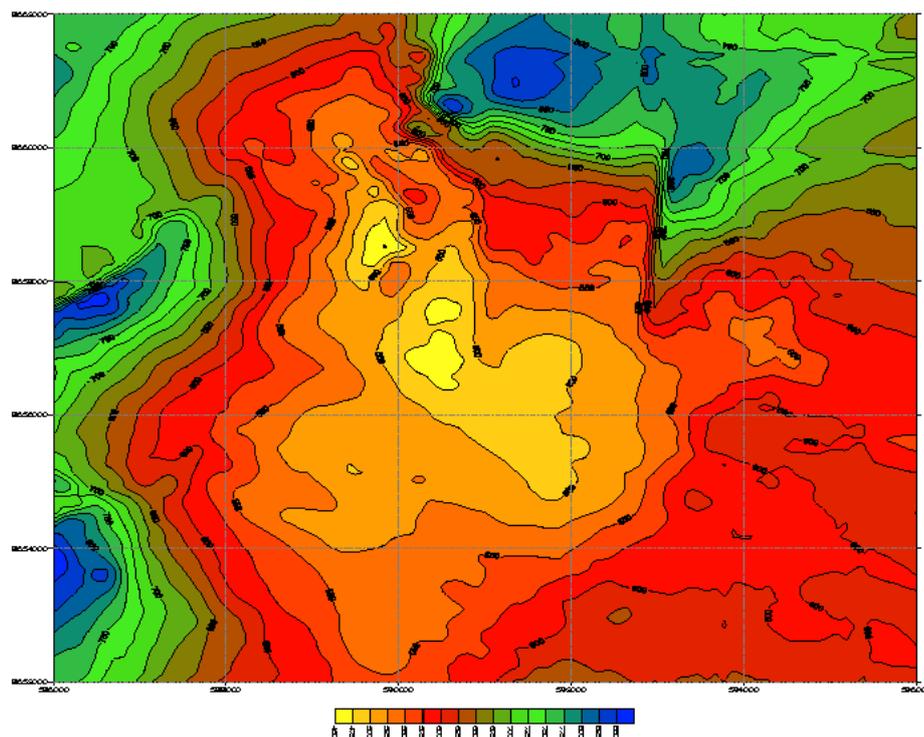


Figura 3.3: Mapa de contornos elétricos no campo de Araçás.

3.2 Equipamentos e procedimentos de campo

3.2.1 Equipamentos

A investigação de campo foi realizada utilizando dois métodos geofísicos:

1. Método de eletroresistividade com sondagem elétrica vertical (SEV).
2. Método eletromagnético no domínio da frequência.

Os equipamentos utilizados nas aquisições dos dados geoeletricos no campo de Araçás foram os sistemas SYSCAL R-2 e SYSCAL-PRO, fabricados pela Iris Instruments, de propriedade do CPGG/UFBA. Esses sistemas são alimentados por baterias comuns de 12 V, acopladas a conversores de voltagem DC-DC. Operam com correntes de baixa frequência, medindo simultaneamente a resistividade e a polarizabilidade aparentes do subsolo. As tensões máximas de saída desses sistemas podem atingir respectivamente 800 V e 1.000 V, sob potência de 250 W. Como eletrodos de corrente, até o espaçamento de 150 m, foram usadas

hastes metálicas de aço inoxidável e ligadas ao equipamento por cabos condutores isolados de baixa resistência. A partir do espaçamento de 200 m, foram usados eletrodos formados por placas retangulares de alumínio de 0,5 m x 1 m, em arranjos de 1, 2 e 4 placas por fonte, para reduzir efetivamente a resistência de contato com o terreno. Além disso, para reduzir ainda mais essas resistências de contatos, os buracos de cravamento das hastes ou das placas foram sempre molhados com uma lama de argila e água bastante salgada. Para se obter estabilidade das medidas do parâmetro de polarização induzida foram utilizados, como eletrodos de potencial, potes porosos enterrados contendo soluções saturadas de sulfato de cobre em contato com eletrodos de cobre

Na campanha eletromagnética, foi utilizado um sistema composto por um transmissor T-3, e um receptor V-6, fabricados pela Phoenix. O T-3 é auxiliado por duas caixas de resistores e um receptor de antena de GPS (Global Positioning System). Um gerador de 5 kVA foi utilizado para alimentar o T-3, e uma bateria de 12 V para o receptor de GPS. O T-3 funciona no domínio da frequência (FD) emitindo sinais monocromático cuja frequência varia em passos pre-definidos ao longo de 54 frequências. O sinal na forma de uma corrente elétrica energiza uma bobina quadrada de 400 m de lado. A unidade V-6, é conectada a um computador e às bobinas receptoras. Ela é também auxiliada por um receptor de sinal de GPS e alimentado com uma bateria de 12 V. As antenas de GPS cadenciam o funcionamento do transmissor e do receptor, tendo por base o tempo universal (UTC). Em ciclos sucessivos de 4 minutos, ocorre a transmissão sequenciada dos sinais nas 54 frequências, começando pela mais alta até a mais baixa frequência. O operador determina o número de repetições desse ciclo de 4 minutos afim do empilhamento. É fácil verificar *in loco*, acompanhando-se o piscar dos sinalizadores do transmissor, que as frequências mais baixas, obviamente demandam um tempo maior para serem transmitidas. A Fig. 3.4 mostra os arranjos do transmissor e receptor.

3.2.2 Procedimento do campo:

Para o levantamento elétrico, foi utilizado o arranjo Schlumberge com $AB/2$ variando de 10 a 2000 m.

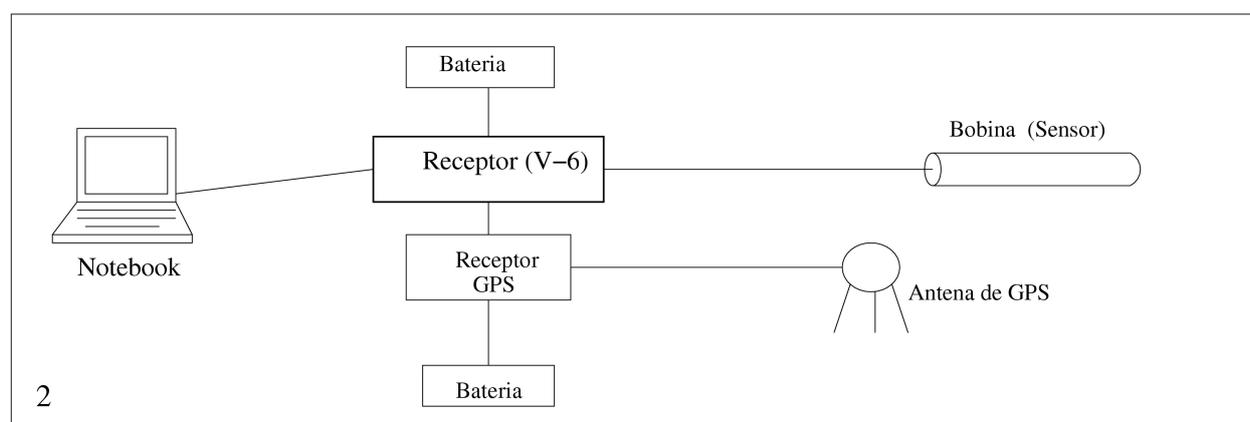
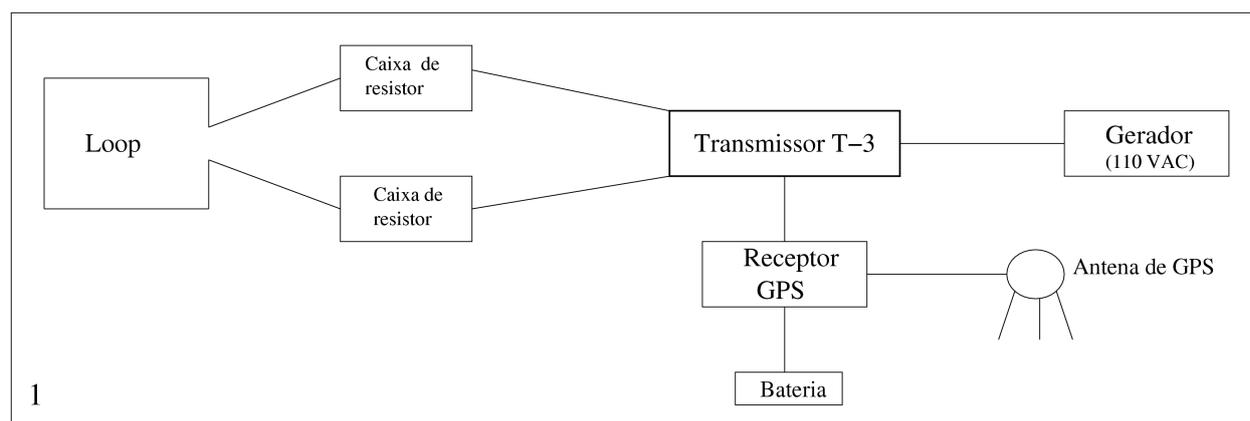


Figura 3.4: 1-arranjo do transmissor e 2-arranjo do receptor

Para aquisição dos dados eletromagnético, identificou-se três posições do transmissor denominadas T_1 , T_2 , T_3 , com o intuito de se e cobrir a área de interesse. Com a posição do transmissor referida como T_1 , localizada no extremo SE da área, foram executadas cinco linhas radiais centradas na espira e separadas entre si por ângulos de 15° . As primeiras e últimas estações receptoras de cada linha distam, respectivamente, 500 m e 3.000 m do centro da espira, cobrindo uma extensão útil de perfil de 2,5 km. O intervalo de profundidade de exploração nessas seções se estende de cerca de 200 m, na zona mais próxima do transmissor, até 1200 m no final das linhas. Para a posição T_2 , localizada na parte centro-leste da estrutura, se fez medições EM em seis linhas de mesma extensão e separações angulares de 15° , definidas para estudar o comportamento elétrico ao longo dos flancos nordeste e norte da estrutura antiformal. Com a posição T_3 , localizada no topo de um tabuleiro da Formação Marizal, foram realizadas quatro seções ortogonais com o objetivo de recobrir e realçar a

estrutura geolétrica e adensar a aquisição de dados para uma representação em mapa das funções resistividade. No campo, cuidados foram tomados para evitar os ruídos culturais: linha de transmissão de alta tensão, indústrias, pistas de automóvel, áreas de concentração humana. Durante as temporadas o trabalho foi interrompido para se evitar a dispersão dos resultados (Wambo, 2007).

Três bobinas receptoras foram conectadas simultaneamente ao V-6, todas instaladas horizontalmente na superfície do terreno e apontadas para o centro do transmissor mediante uma bússola. Na Fig. 3.5 mostra-se o fluxograma do levantamento.

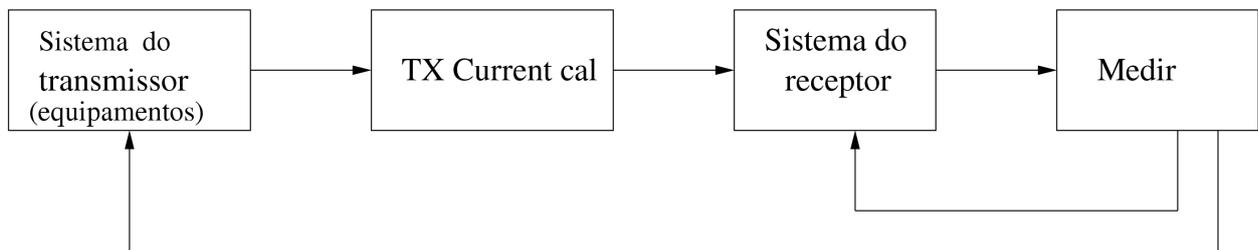


Figura 3.5: Fluxograma do levantamento.

3.2.3 Análisis do efeito topográfico nos dados experimentais eletromagnéticos

As tabelas 3.1, 3.2, e 3.3 mostram as coordenadas e cotas dos vértices das bobinas transmissoras de 400 m de lado, e os ângulos de mergulho e do azimute.

Vertice	Latitude (m)	Longitude(m)	Cota (m)	Ângulo do mergulho medio	Azimute
A	590770	8656450	160	2,57°	N77°E
B	590770	8656050	159		
C	591170	8656 450	158		
D	591170	8656050	158		
Datum: WGS84					

Tabela 3.1: Referências da bobina T_1

Observa-se que os ângulos de mergulho das bobinas transmissoras nessa investigação são baixos e os azimutes respectivos menores do que 90° , assim considerando os resultados obtidos no capítulo anterior (Fig. 2.3, os erros são desprezíveis. Esses baixos erros explicam-se

Vertice	Latitude (m)	Longitude (m)	Cota (m)	Ângulo do mergulho medio	Azimute
A	592449	8657271	97,5	4°	N82°E
B	592625	8657629	100		
C	592270	8657718	91,6		
D	592091	8657450	118,8		
Datum: WGS84					

Tabela 3.2: Referências da bobina T_2

Vertice	Latitude	Longitude	Cota	Ângulo do mergulho medio (°C)	Azimute (°C)
A	593523	8654693	99	mergulho nulo	não se aplica
B	593423	8654306	99		
C	593136	8654793	99		
D	593036	865440	97,8		
Datum: WGS84					

Tabela 3.3: Referências da bobina T_3

pelo fato do campo de Araçás ter um relevo moderado com menos de 200m de diferença entre cotas altimétricas. Pode-se considerar então, que o planejamento das bobinas transmissoras nessa investigação foi bastante satisfatório.

As Fig. 3.6 e Fig. 3.7 mostram a representação dos componentes em fase e em quadratura da impedância mútua, referente a estações receptoras selecionadas dos dados adquiridos com os transmissores $T1$ e $T3$ no campo de Araçás. A diferença de altitude entre transmissor $T1$ e as estações do receptor varia em média de apenas 10 m, correspondendo a uma inclinação de 2% para as distâncias menores ($r= 600$ m), e 0,4% para distâncias maiores ($r= 3000$ m). A diferença de altitude entre o transmissor $T3$ e o receptor para uma distância $r=900$ m é 83 m ou seja 9% de inclinação. Pode-se evidenciar nos gráficos da Fig. 3.6, valores incoerentes da impedância mútua, nas frequências de 60, 120, 240 e 480 Hz. Trata-se da frequência de rede de distribuição de energia e seus harmônicos, devido a rede elétrica de alta tensão. Os gráficos (e) e (f) mostram outros ruídos, além do causado pelo 60 Hz de rede de energia elétrica, apesar de se estar a uma distância em relação a bobina transmissor, em que a razão sinal/ruído é elevada. Esses ruídos adicionais se devem a uma diferença de altitude muito grande (83 m), ou seja, manifesta-se nesse caso, o efeito da topografia. Nas distâncias entre 1700 e 2000 m do transmissor, é possível ainda se observar uma tendência nas curvas (Fig. 3.7). Acima dessa distância o sinal é menos distinguível (Fig. 3.7); e o efeito

topográfico tende a desaparecer quando se aumenta a separação transmissor-receptor, mas a razão sinal/ruído diminui, afetando os dados, sobretudo, nas baixas frequências. Então, conclui-se que:

1. Os dados adquiridos no campo de Araçás são sujeitos a vários ruídos, entre outros, ruídos culturais (60 Hz), pois os levantamentos foram realizados em um área com apreciável densidade de atividade humana, moradias, fazendas, instalações da Petrobras, e rede elétrica de alta tensão.
2. O efeito topográfico se manifesta nos dados eletromagnéticos para distâncias menores, com grandes diferenças de altitude. Porém, quando essa distância aumenta (maior que 2000 m), o efeito topográfico desaparece mas o sinal/ruído diminui bastante, afetando os dados adquiridos.
3. Acima de 2000 m de separação transmissor-receptor não é possível distinguir o sinal, então a distância máxima com o equipamento T3 nas condições do relevo de Araçás , não deveria passar de 2 km.

Os ruídos causados pela rede de energia elétrica (60 Hz e harmônicos) são eliminadas, interpolando-se os valores da impedância relativos a essas frequências. Para corrigir os desvios devido ao efeito topográfico no campo de Araçás, é preciso se basear em um modelo geológico inicial de multicamadas, como referência para a modelagem. Para se encontrar tal modelo, os dados geofísicos de poço e de sondagem elétricos são analisados e interpretados.

3.2.4 Processamento e interpretação de dados elétricos e da perfilagem

Interpretação do perfil do poço

Os perfis AR-84 e AR-85 na Fig. 3.8 são perfis de poços de exploração da água cedidos pela PETROBRAS. Mostra-se o perfil SP à esquerda e o perfil elétrico à direita, para uma profundidade variando de 25 a 400 m dentro da Formação São Sebastião. O perfil SP mede a diferença de potencial entre a lama e a formação geológica, e tem como parâmetros a

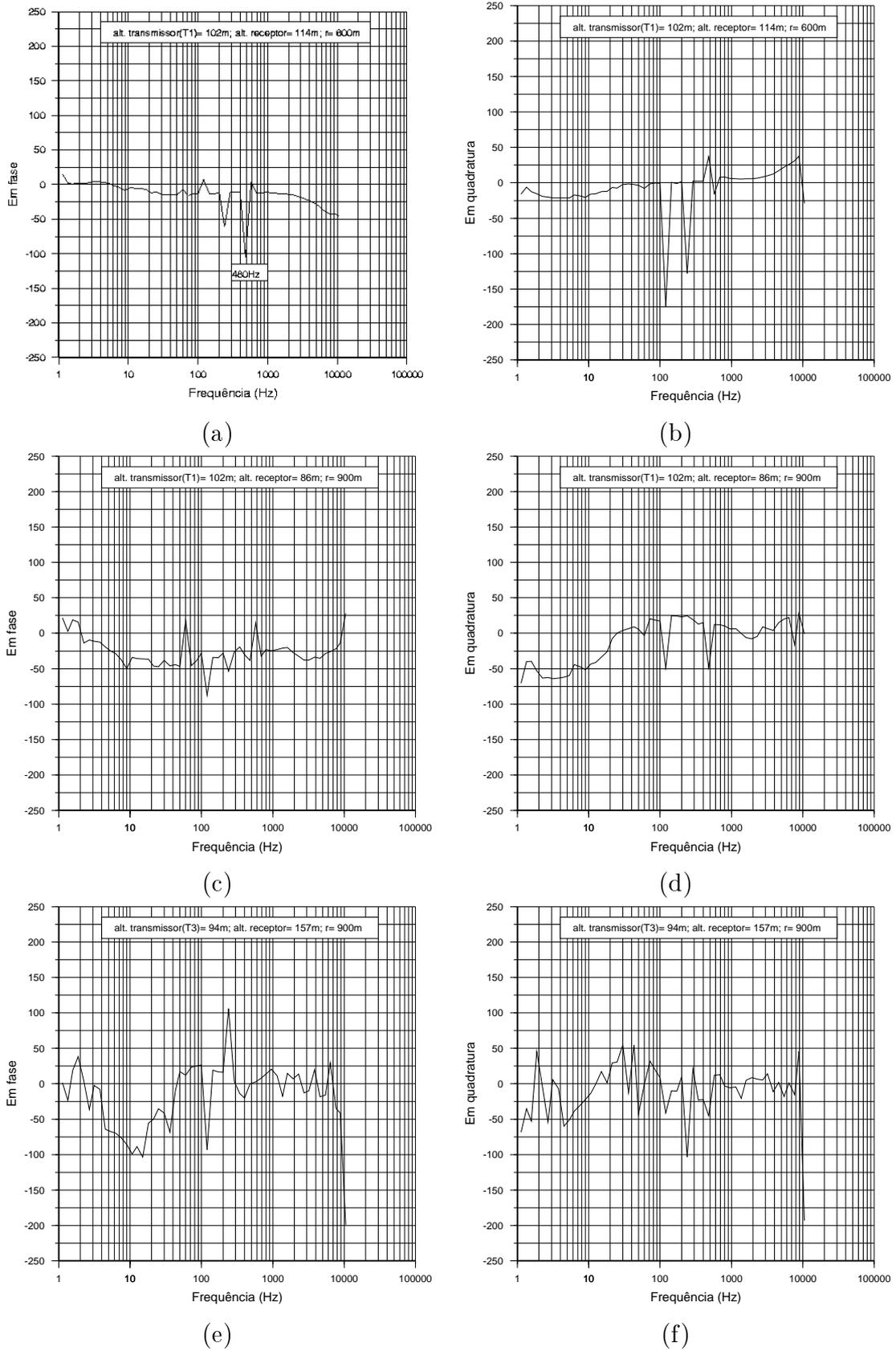


Figura 3.6: Análise do efeito topográfico para distâncias menores.

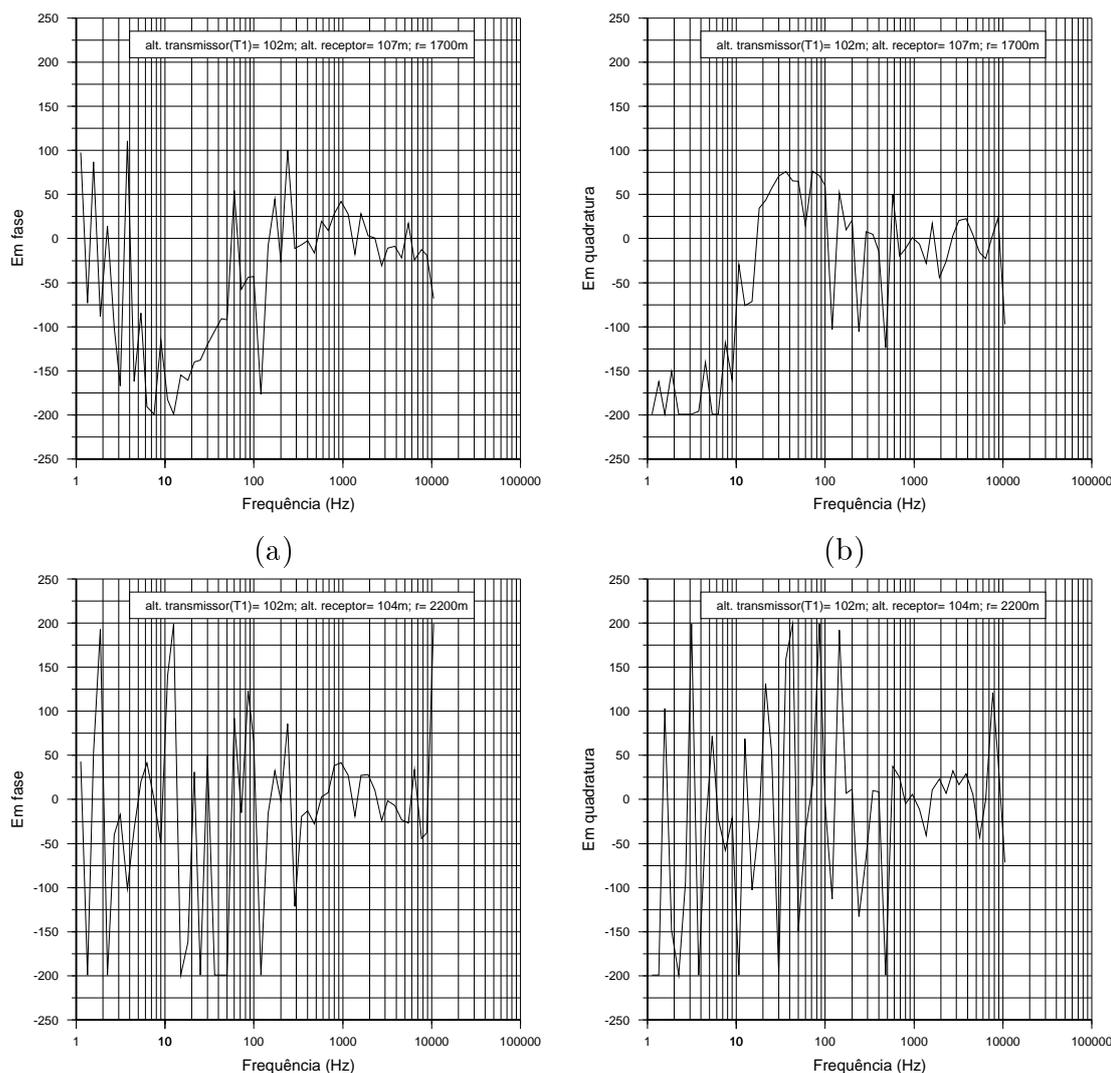


Figura 3.7: Análise do efeito topográfico para distâncias maiores.

presença de sais e a permeabilidade. Assim, os folhelhos apresentam baixo potencial SP e os arenitos, alto potencial SP. O perfil elétrico mapeia a resistividade das camadas. Assim, observa-se através do perfil SP, uma sucessão de pacotes de arenitos e folhelhos o que se traduz no perfil elétrico por resistividades variando de 2 a 200 ohm.m. (Lima, 2009), na interpretação litológico-estrutural desses pacotes do campo de Araçás, identificou cinco principais eletrofácies chamados de marcos elétricos: (i) a superior, de constituição predominantemente arenosa, possui resistividades ILD variando de 30 ohm.m a mais de 100 ohm.m; (ii) a segunda é definida por uma sequência predominantemente mais condutora e contém, em sua base o marco elétrico N e no topo o marco P. Compõe-se de duas espessas camadas de folhelhos intercaladas com siltitos e arenitos de granulação mais fina, característicos de

deposições lacustres contendo transições para areias de frentes deltáicas; (iii) a terceira tem constituição predominantemente arenosa e resistiva, com arenitos mostrando granodecrescência e aumento de argilosidade ascendentes, típicas de barras longitudinais e de pontais; (iv) a quarta é uma repetição menos expressiva da segunda eletrofácies, também de característica elétrica mais condutora. Ela constitui o marco elétrico M; (v) finalmente, a quinta eletrofácies é representada por uma sucessão de espessas camadas arenosas resultantes da superposição vertical de sucessivos canais e barras longitudinais ou de pontais separadas por depósitos de planície deltáica ou de inundação, na qual se inclui o marco F.

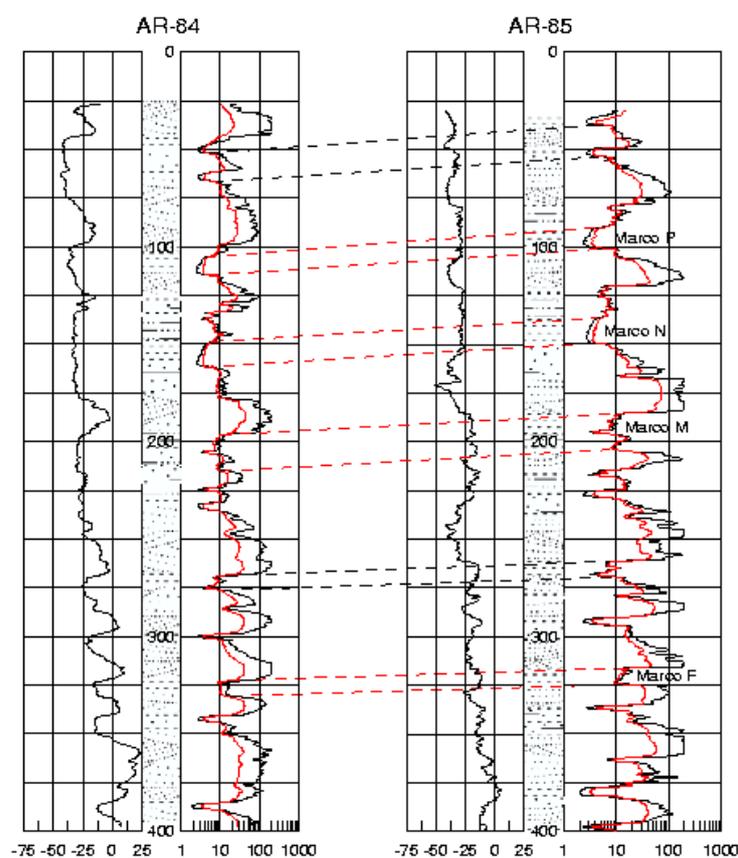


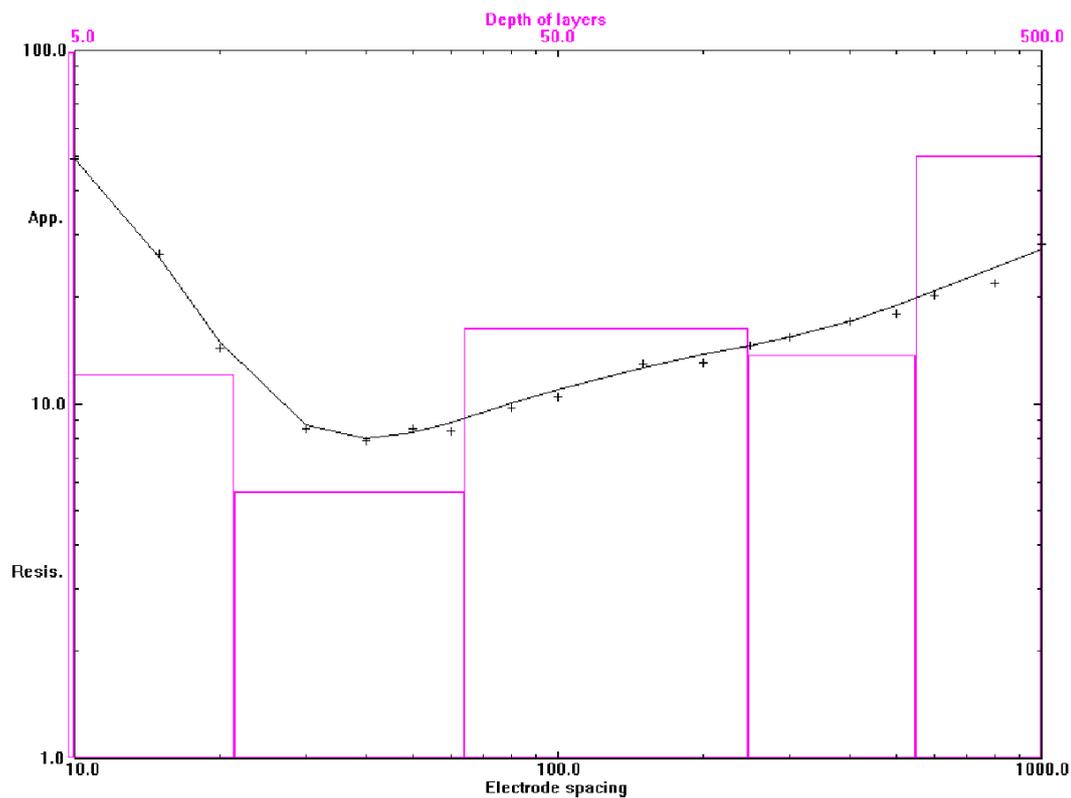
Figura 3.8: Perfis dos poços AR-84, AR-85, (Lima, 2009)

Interpretação dos dados de sondagem elétrica vertical

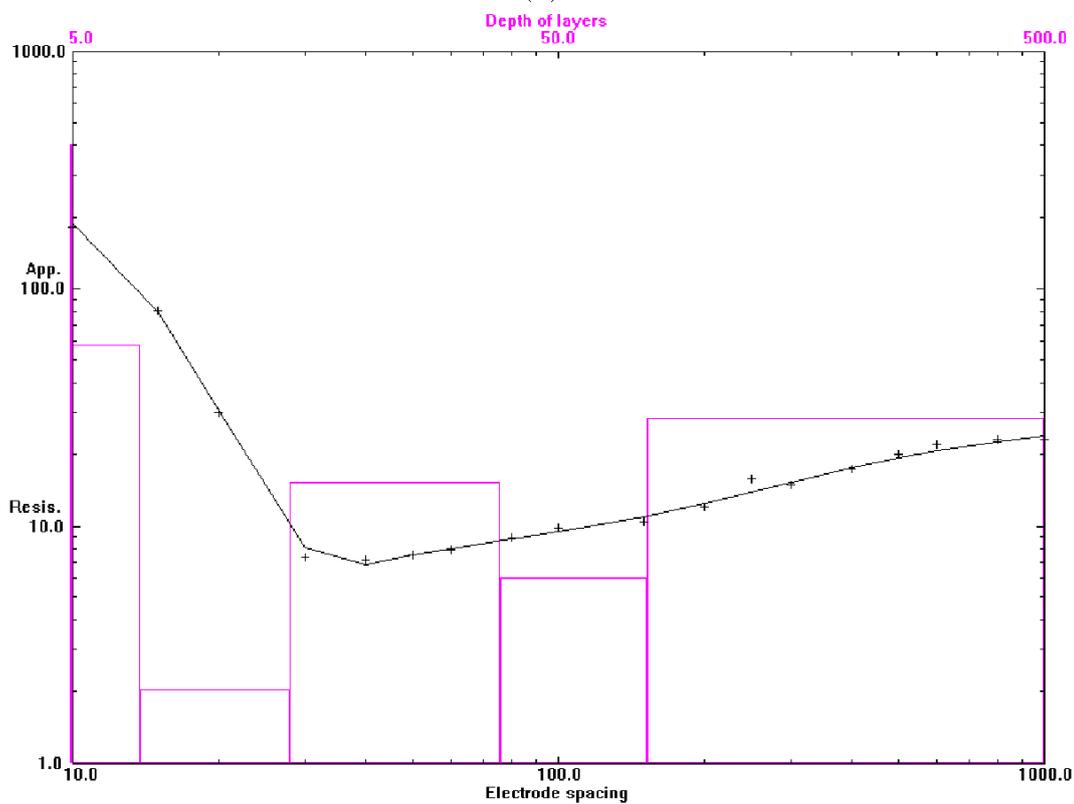
Uma primeira inversão automática unidimensional foi feita, usando o software RES1D da Geotomo Softwares, visando compor modelos estruturais iniciais a serem submetidos à inversão definitiva. Os perfis das sondagens elétricas verticais são apresentados nas Fig. 3.9

e Fig. 3.10. Eles representam os perfis das SEVs Se-33, Se-31, Se-18, e Se-9, obtidos ao longo de uma mesma linha de levantamento, com centros equidistantes em média de 300 m. Observa-se um mesmo comportamento em todos os perfis, de forma que é possível identificar um modelo de 5 principais camadas. Uma primeira camada resistiva, de espessura variando de 2 m na sua parte fina a 25 m na parte mais ancha com uma resistividade média de 10 ohm.m., essa camada corresponde os arenitos da formação Marizal parcialmente saturada com água de baixa salinidade (Lima, 2009), logo segue uma camada de baixa resistividade (5 ohm.m) e 25 m de espessura, correspondendo a um pacote argiloso contendo o marco P identificado no perfil de poço. A camada seguinte, de resistividade média de 20 ohm.m, indica a existência de um pacote de arenito cuja espessura varia de 25 m (Se-33) a 70 m (Se-31). A quarta camada é constituído da repetição da camada argilosa com uma média de 8 ohm.m de resistividade e espessuras variando de 35 m (Se-33) a 130 m (Se-31). A última camada apresenta um pacote de arenito de resistividade média de 40 ohm.m.

Concluindo, sugere-se o modelo geológico da Fig. 3.11 como modelo inicial para a modelagem teórica eletromagnética de multicamadas.

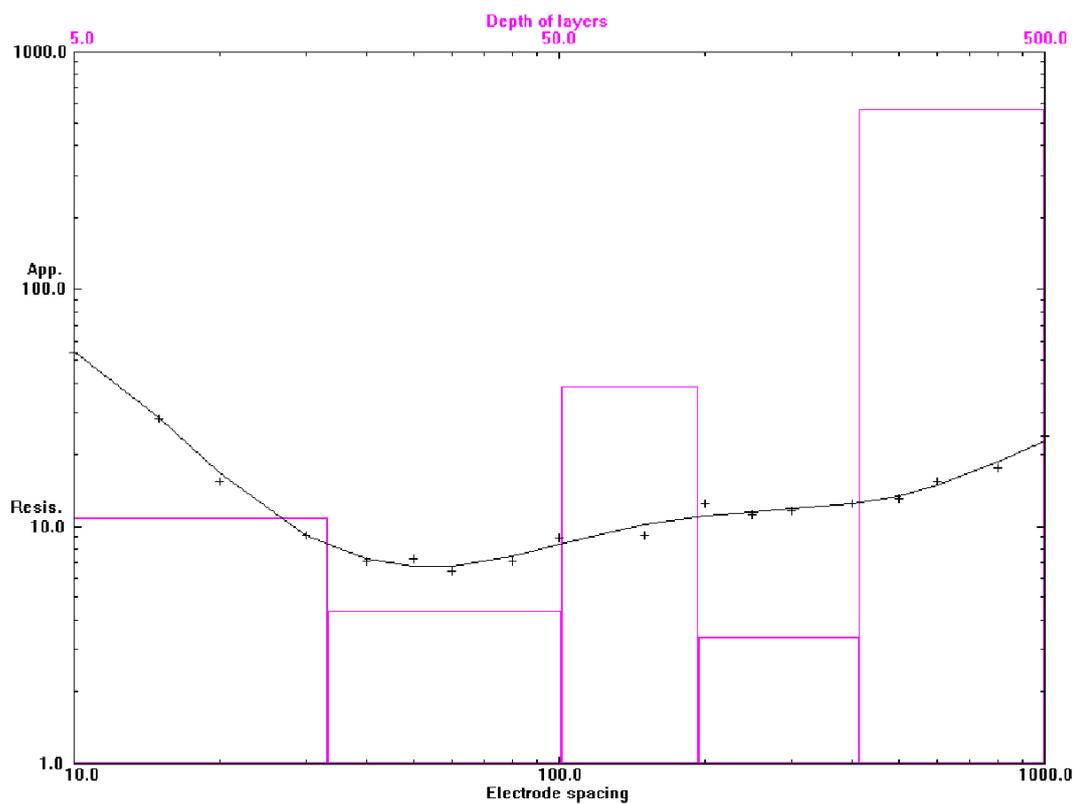


(a)

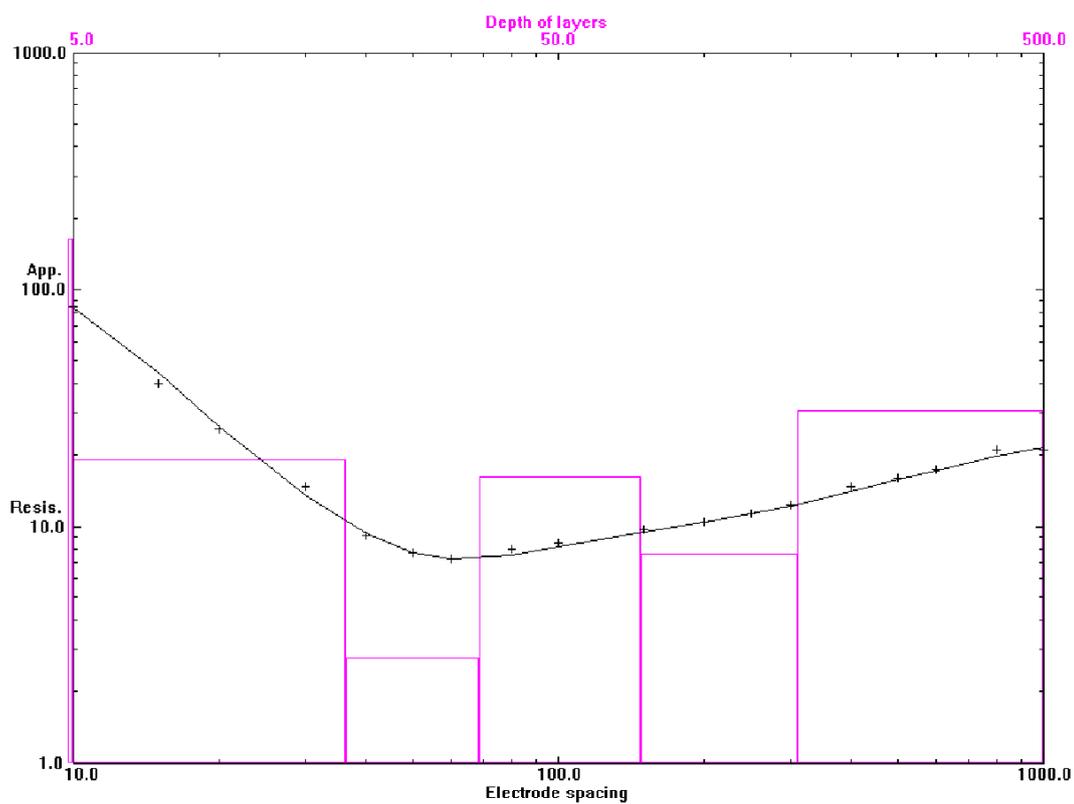


(b)

Figura 3.9: Perfis da sondagem elétrica vertical, (a): Se-31, (b): Se-33



(c)



(d)

Figura 3.10: Perfis da sondagem elétrica vertical, (d): Se-18, (d): Se-9

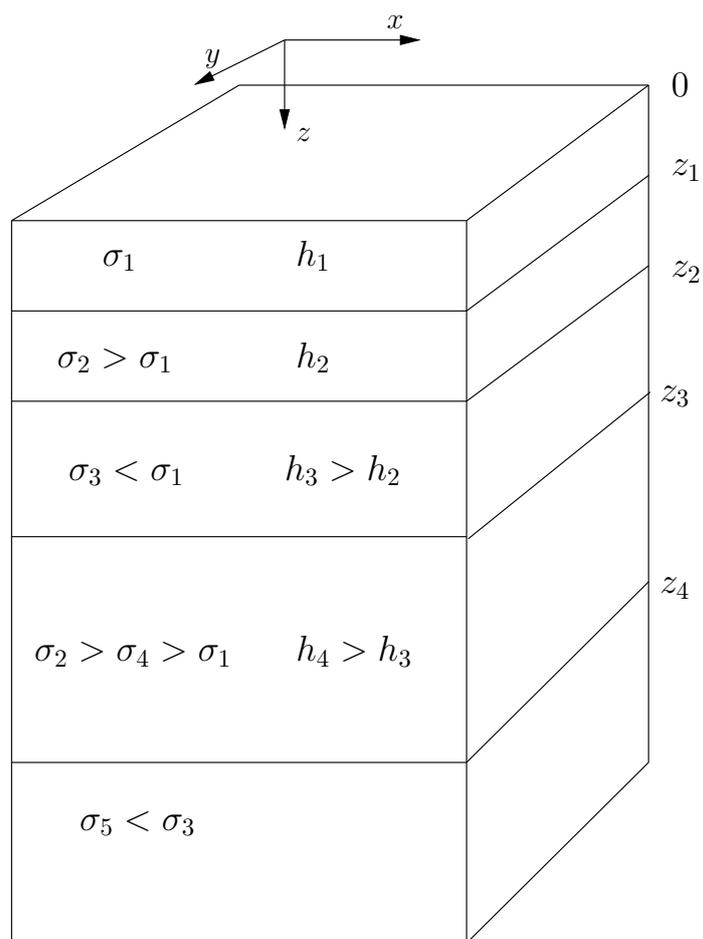


Figura 3.11: Modelo inicial sugerido para modelagem direta, multicamadas.

4

Conclusões

Essa dissertação aborda o problema da topografia nos dados EM de multifrequência, de forma ampla, estabelecendo uma expressão geral do campo magnético em um plano inclinado. As matrizes de transformação \tilde{T} e inversa \tilde{T}^{-1} garantem a relação entre o plano inclinado e uma base horizontal, considerando a geometria do terreno. A modelagem direta do caso de semi-espaço homogêneo com um dipolo vertical, demonstrou que:

- Pequenas inclinações do dipolo da ordem de até $5-10^\circ$ não afetam os dados adquiridos. Porém será preciso escolher locais para a instalação da bobina transmissora de forma a se evitar grandes perturbações no eixo do dipolo.
- A maior influência da topografia sobre os dados EM de multifrequência se deve à diferença de altitude do transmissor e receptor. Essa influência diminui à medida em que o afastamento transmissor-receptor aumenta, pois diminui a inclinação. Esse caso é o mais comum no campo, o que gera necessidade de se pesquisar métodos adequados para minimizar os desvios causados pela diferença de altitude.
- Quanto mais o azimute se acerca a 90° , menor é o erro. Este é um aspecto a ser levado em consideração no planejamento das linhas de levantamento.

Os dados adquiridos no campo de Araçás são influenciados tanto pelo efeito topográfico como também pelos ruídos culturais, devidos à rede elétrica de alta tensão, e de diversas

atividades humana.

Acima de 2000 m, nas condições de Araçás, o ruído é maior do que o sinal, o que faz com que a exploração com o T-3 nessas condições não deva passar de 2 km ao invés de 3 km como usado na investigação.

As sondagens elétricas realizadas na área mostram uma alternância entre pacotes de arenitos e argilas, ambiente propício a deposição de hidrocarbonetos. A interpretação desses sondagens juntamente com os perfis do poço, permitiu propor um modelo inicial para a modelagem EM de multicamadas.

Recomenda-se investigar métodos de inversão e modelagem que tomem nas suas soluções o efeito da topografia.

Agradecimentos

Meus agradecimentos a Allah, pela misericórdia e clemência, aos meus pais por existirem e que a paz esteja com o Profeta Mohamed (SAW).

Agradeço ao Curso da Pós-graduação em Geofísica da UFBA, ao Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da UFBA (CPGG/UFBA) e os órgãos financiadores da bolsa de mestrado (CAPES e FAPESB), pela oportunidade brindada.

A todos meus professores pelo valioso conhecimento dado durante minha formação.

Meus profundos e sinceros agradecimentos aos meus orientadores Prof. Hédison K. Sato e Prof. Olivar A. L. de Lima, pelos ensinamentos, as orientações, e apoio recebido como orientado e como aluno do CPGG.

A todos os colegas do CPGG e do Instituto da Geociências, pela receptividade e amizade, em particular aos colegas Luis S. Lima, Rogerio Porciúncula, Ricardo Barreto, Alan Souza e especial agradecimento a Joaquim B. Lago pelo apoio e as dicas.

Agradeço ao Prof. Antonio Puentes, responsável pela minha vinda ao Brasil, por sua irmandade e apoio constante. À minha mãe Brasileira Iray Galvão, pela incondicional assistência.

A toda a comunidade islâmica de Salvador, em particular ao Sheikh Ahmad Abdul Hamid, as irmãs Monique N. Gomez, Ninevah C. Barreiro e Dona Karimat.

A todos os que contribuíram ao sucesso de minha estadia em Salvador, em particular as colegas e grandes amigas da casa (Rejhane Cunha, Ana-Luisa Días, Sandra Brazil, Dalila Santos), aos meus amigos João Batista, Jemisson Mattos e George Antonio Dacunha e sua família.

Referências Bibliográficas

- Aragão, M. A. N. F. (2004) Arquitetura, estilos tectônicos e evolução da Bacia do Recôncavo, Simpósio sobre Cretáceo do Brasil, 3 Boletim de Resumos, pp. 165–167, Brasil, UNESP/IGGE.
- Baba, K. e Chave, D. (2005) Correction of seafloor magnetotelluric data for topographic effects during inversion, *Journal International*, **150**:392–402.
- Baker, H. A. (1979) VLF-EM model studies and some simple quantitative application to field results, *Geoexploration*, **17**:55–63.
- Brandão, A. T. (2008) Análise estratigráfica e hidrológica da formação São Sebastião no campo de Araçás, Bacia do Recôncavo, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Butkov, E. (1968) *Mathematical physics*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., St. John's University, New York.
- Caixeta, J. M.; Bueno, G. V.; Magnavita, L. P. e Feijó, F. J. (1994) Bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá, Rel. Téc., PETROBRAS.
- Cardador, M. H.; Cuevas, A. L.; Watanabe, H.; Saito, A.; Wada, K.; Ishikawa, H. e Okuzumi, K. (2003) Experiment evaluation of hydrocarbon detection with the long-offset time domain electromagnetic method in the cretaceous carbonates of the Tampico-Misantla basin, Mexico, *Applied Geophysics*, **52**:103–122.
- Cetrel (2000) Zoneamento de recursos hídricos subterrâneos na região do pólo petroquímico de Camaçari/Ba, Rel. Téc..
- Dias, C. A. (1968) A non-grounded method for measuring induced electrical polarization and conductivity, Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley.

- Eidesmo, T.; Ellingsrud, S.; Johansen, S.; Sinha, M. C.; Macgregor, L.; Kong, F. N.; Westerdahl, H. e Constable, S. (2002) Sea Bed Logging (SBL), a new method for remote and direct identification of hydrocarbon filled layers by deepwater areas, First Break, The Leading Edge, **20**:144–152.
- Ellingsrud, S.; T., E.; Johansen, S.; Sinha, M. C.; Macgregor, L. e Banerjee, B. S. (2002) Remote sensing of hydrocarbon layers by Sea Bed Logging (SBL): Results from a cruise offshore Angola, The Leading Edge, **21**:972–982.
- Frischknecht, F. (1967) Fields about an oscillating magnetic dipole over a two-layer earth, and application to ground and airborne electromagnetic surveys, Geoplotation, **62**:1–326.
- George, R. e Jiracek (2005) Near-surface and topographic distortions in electromagnetic induction, Surveys in Geophysics, **11**:163–203.
- Grant, F. S. e West, G. F. (1965) Interpretation theory in applied geophysics, International Series in The Earth Sciences, McGraw-Hill Book Company, USA.
- IBGE (2008) Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística, Estimativa da população para 1 de julho de 2008, Rel. Téc..
- Karous, M. R. (1979) Effect of relief in EM methods with very distant source, Geoplotation, **17**:33–42.
- Keller, G. V. e Frischknecht, F. C. (1966) Electrical methods in geophysical prospecting, Pergamon Press, England.
- Koefoed, O. e Biewinga, D. T. (1976) The application of eletromagnetic frequency sounding to groundwater problems, Geoplotation, **14**:229–241.
- Ku, G. G.; Hsieh, M. S. e Lim, S. H. (1973) The topographic effect in electromagnetic fields, Can. J. Earth Sci., **10**:645–656.
- Lima, O. A. L. (1999) Caracterização hidráulica e padrões de poluição no aquífero Recôncavo na região de Camaçari-Dias D’Avila, Rel. Téc., CPGG/UFBA.
- Lima, O. A. L. (2009) Exploração direta de petróleo com levantamentos elétricos e eletromagnéticos a multifrequência na Bacia de Recôncavo, Rel. Téc., CPGG/UFBA.

- Milhomen, P. S.; Maman, E. J.; Oliveira, F. M.; Carvalho, M. S. S. C. e Lima, W. S. (2003) Bacias sedimentares brasileiras, Bacia do Recôncavo, Revista Phoenix, **51**.
- Nascimento, M.; Moraes, L. R. S.; Castro, M. G. R. e Santana, A. V. A. (2008) Estudos qualitativos de águas subterrâneas como componente do plano municipal de saneamento ambiental de Alagoinhas, Rel. Téc., IBGE/DPE/COPIIS, Brasil.
- Parasnis, D. (1970) Principles of applied geophysics, Harmattan, USA.
- Patras, H. P. (1969) Central frequency sounding in shallow engineering and hydro-geological problems, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Patras, H. P. e Mallick, K. (1980) Geosounding principles, time-varying geoelectric soundings, Elsevier Scientific Publishing Company, **2**:47–112.
- Raja, G. P. (1991) Paleosismicidade e sedimentação evidências no compartimento sul da Bacia do Recôncavo, Bahia, Rel. Téc., PETROBRAS.
- Reis, A. C.; Roch, P. S.; Ferreira, L. E.; Correia, J. S.; Alves, R. L. e Viana, M. (2005) Avaliação dos impactos dos “royalties” no desenvolvimento dos municípios arredores da Bacia do Recôncavo, III Congresso Brasileiro de Petróleo e Gas, Salvador, Bahia, Brasil.
- Russel, J. (1994) Química geral, Makron Books do Brasil, São Paulo.
- Ryu, H. J.; Morrison, F. e Ward., S. H. (1970) Electromagnetic field about a loop source of current, Geophysics, **35**:862–896.
- Sasaki, Y. e Nakazato, H. (2003) Topographic effects in frequency-domain helicopter-borne electromagnetics, Exploration Geophysics, **34**(2):24–28.
- Sato, H. K. (1979) Método eletromagnético para interpretação de polarização induzida e resistividade, usando o protótipo de um sistema a multifrequência, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Sinha, A. (1980) A study of topographic and misorientation effects in multifrequency electromagnetic soundings, Geoexploration, **18**:111–133.
- Spies, B. R. e Frischknecht (1991) Electromagnetic sounding, In: M. N. Nabighian, ed., *Electromagnetic methods in applied geophysics*, vol. 2, pp. 285–422, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma.

- Tarso, P. D. e Morais, E. R. (2003) Shallow eletromagnetic exploration for hidrocarbons at Sergipe-Alagoas Basin, Brazil, *The Leading Edge*, **11**:1127–1129.
- Wait, J. (1955) Mutual electromagnetic coupling of loops over a homogeneous ground, *Geophysics*, **20**:630–637.
- Wambo, T. O. (2007) Prospection par la méthode hélio magnétotellurique le long d´un profil dans le bassin sédimentaire de Manfe, Ph.D.Thesis, Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Yaoudé-Cameroun.
- Ward, S. H. e Hohmann, G. W. (1988) Electromagnetic theory for geophysical applications, In: M. N. Nabighian, ed., *Electromagnetic methods in applied geophysics*, vol. 1, Theory, pp. 131–311, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma.
- Ward, S. H.; Ryu, J.; Glenn, W. E.; Hohmann, G.; Dey, A. e Smith, B. D. (1974) Electromagnetic methods in conductive terranes, *Geoexploration*, **12**:12–183.
- Wright, D. e Ziolkwski, A. amd Hobbs, B. (2002) Hydrocarbon detection and monitoring with a multi-component transient electromagnetic mtem survey, *The Leading Edge*, **21**:852–864.
- Zonge, K. L. e Hughes, L. J. (1991) Controlled source audio-frequency magnetotellurics, In: M. N. Nabighian, ed., *Electromagnetic methods in applied geophysics*, vol. 2, pp. 713–807, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma.

Anexo



Programa de Computador Número Um

```
! program principal impedancia(alfa,beta,alfaM,betaM,ikro)
!=====
!Esse programa calcula a impedância mútua para a modelagem direta no caso de
! um semi-espaço homogêneo.
!Dados de entrada:
!alfa= é o azimute do terreno
!beta= é a inclinação ou mergulho do terreno
!alfaM= é o azimute do transmissor
!betaM=é a inclinação do transmissor
!rho=é a distancia tranmissor-receptor
!
!Autor= Zoukaneri Ibrahim (03/2010)
!=====

        implicit none
        real ::alfa,beta,alfaM,betaM,rho,freq,f_step,omega,sigma,m
        real ::tt
        complex ::campoh_alfa,ikrho,nonda,n_onda,impedancia,campo,impedancia
        complex, parameter::i =(0.0,1.0)
        real ,parameter ::pi =acos(-1.0)

        m=1.0
        rho=1000.0
        sigma= 0.010
        freq=0.1
        f_step=1/10.

        write(0,*)'valores dos ângulos de entrada?'
        read(5,*) alfa,beta,alfaM,betaM

        do while(freq.le.10000*1.0000)

                omega=2*pi*freq
                tt=rho*sqrt(omega*sigma*2e-7)

                nonda=n_onda(omega,sigma,4e-7*pi)
                if (aimag(nonda).gt.0) nonda=-nonda
                ikrho=i*nonda*rho
                impedancia= campoH(alfa,beta,alfaM,betaM,ikrho)
```

```

        write(10,*)tt, real(impedancia(alfa,beta,alfaM,betaM,ikrho))
        write(13,*)tt, aimag(impedancia(alfa,beta,alfaM,betaM,ikrho))
        freq=freq+f_step
    enddo
end
!=====
function campoH(alfa,beta,alfaM, betaM,ikrho)
!=====
    implicit none
    real, intent(in):: alfa,beta,alfaM, betaM
    complex, intent(in):: ikrho

    complex:: gx_mx, gz_mz,gx_mz,gz_mx, gy_my ! funcoes
    complex:: wxx,wzz,wxz,wzx,wyx,wxy,wyy,wzy,wyz !funções de Ward-Hohmann

    complex::A, B, C, D, E, F, h_zero, campoh_alfa, desvio
    real:: cosalfa,sinalfa,sinbeta,tanbeta,cosbeta !inclinações do terreno
    real::cosalfaM, cosbetaM,sinalfaM,sinbetaM !angulos no transmissor
    real::lx, ly, lz,mx,my,mz,nx,ny,nz !coeficientes da matriz de tansf.
    real, parameter:: pi=acos(-1.), pi180 =pi/180

    !funções W de Ward e Hohmann
    wxx=gx_mx(ikrho)
    wzz=gz_mz(ikrho)
    wxz=gx_mz(ikrho)
    wzx=gz_mx(ikrho)
    wyx= 0.
    wxy= 0.
    wyy= gy_my(ikrho)
    wzy=0.
    wyz=0.

    !angulos no transmissor
    cosalfaM=cos(alfaM*pi180)
    sinalfaM=sin(alfaM*pi180)
    cosbetaM=cos(betaM*pi180)
    sinbetaM=sin(betaM*pi180)

    !angulos relativos ao azimute e mergulho do terreno.
    cosalfa=cos(alfa*pi180)
    sinalfa=sin(alfa*pi180)
    sinbeta=sin(beta*pi180)
    tanbeta=tan(beta*pi180)
    cosbeta=cos(beta*pi180)

    !coeficientes da matriz de transformação.
    lx=1/sqrt(1+tanbeta**2 *cosalfa**2)
    ly=(tanbeta*cosalfa*sinalfa*sinbeta)/sqrt(1+tanbeta**2 *cosalfa**2)
    lz=-sinbeta*cosalfa
    mx= 0.
    my=(cosbeta/sqrt(1+tanbeta**2*cosalfa**2)) -sinbeta*sinalfa
    mz=sinbeta*cosalfa
    nx=tanbeta*cosalfa/sqrt(1+tanbeta**2 *cosalfa**2)
    ny=sinbeta*sinalfa/sqrt(1+tanbeta**2 *cosalfa**2)
    nz=cosbeta

    !campo horizontal H=SWTM calculado em duas fases SW * TM
    !primeiro, os elementos da operação SW(A B C)

    A=lx*wxx + ly*wxy +lz*wxz
    B=lx*wyx +ly*wyy + lz*wyz

```

```
C=lx*wzx +ly*wzy +lz*wzz
```

```
!segundo, os elementos da operação TM{D, E, F} (matriz coluna)
```

```
D=lx*sinbetaM*cosalfaM +mx*sinbetaM*sinalfaM +nx*cosbetaM
E=ly*sinbetaM*cosalfaM +my*sinbetaM*sinalfaM +ny*cosbetaM
F=lz*sinbetaM*cosalfaM +mz*sinbetaM*sinalfaM +nz*cosbetaM
```

```
!campo horizontal
campoH= A*D + B*E + C*F
```

```
end
```

```
=====
complex function gx_mx(ikrho)
```

```
!=====
!ese programa calcula o campo magnético radial do momento mx
!baseado na expressao 4.126,p.227 de Ward e Hohmann(1987)
! Electromagnetic Theory for Geophysical Applications. In:
! Nabighian, M. N., Electromagnetic Methods in Applied
! Geophysics, Society of Exploration Geophysicists. Tulsa.
!
! considera-se nesse programa o observador tal que x=rho, y=0.0
! e normaliza-se por 1/4/pi/rho**3
!
! Autor: Zoukaneri Ibrahim M.
!=====
```

```
implicit none
complex,intent(in) ::ikrho
if (abs(ikrho).le.2e-1)then
  gx_mx=-2/ikrho**2*(-ikrho**2 - ikrho**5/15 + ikrho**6/24 )
  + ikrho**7/70 - ikrho**8/288)
else
  gx_mx=-2/ikrho**2*(-2*ikrho**2 +12-(((ikrho +5)*ikrho + 12)*ikrho
  +12)*exp(-ikrho))
endif
end
```

```
!=====
complex function gx_mz(ikrho)
```

```
!=====
!ese programa calcula o campo magnético radial do momento mz
!baseado na expressao 4.59,p.212 de Ward e Hohmann(1987)
! Electromagnetic Theory for Geophysical Applications. In:
! Nabighian, M. N., Electromagnetic Methods in Applied
! Geophysics, Society of Exploration Geophysicists. Tulsa.
!
! O resultado vem dividido por (m/4 pi rho**3)
!=====
```

```
implicit none
integer, parameter:: kode=1.0
real, parameter:: fnu=1.

complex:: ci(2), ck(2)
complex, intent(in):: ikrho

call cbesibesk(ikrho/2,ci,ck,fnu,kode)
```

```

    gx_mz=-ikrho**2*(ci(1)*ck(1)-ci(2)*ck(2))
    return
end

!=====
      complex function gz_mz (ikrho)
!=====
!ese programa calcula o campo magnetico vertical do momento mz
!baseado na expressao 4.56,p.211 de Ward e Hohmann(1987)
! Electromagnetic Theory for Geophysical Applications. In:
! Nabighian, M. N., Electromagnetic Methods in Applied
! Geophysics, Society of Exploration Geophysicists. Tulsa.
!=====
Meus          implicit none
      complex,intent(in) ::ikrho
      if (abs(ikrho).lt.2e-1)then
        gz_mz =-2/ikrho**2*(-ikrho**2/2.-ikrho**4/8.+(2*ikrho**5)/15.-ikrho**6/16)
      else
        gz_mz=-2/ikrho**2*(-9+ (((ikrho+4)*ikrho+9)*ikrho+9)*exp(-ikrho))
      end if
    end

!=====
      complex function gz_mx(ikrho)
!=====
!ese programa calcula o campo magnetico radial do momento mz
!baseado na expressao 4.129,p.228 de Ward e Hohmann(1987)
! Electromagnetic Theory for Geophysical Applications. In:
! Nabighian, M. N., Electromagnetic Methods in Applied
! Geophysics, Society of Exploration Geophysicists. Tulsa.
!
! 0 resultado vem dividido por (1/4 pi rho**3) e considerando x=rho
!=====
      implicit none
      integer, parameter:: kode=1.
      real, parameter:: fnu=1.
      complex:: ci(2), ck(2)
      complex, intent(in):: ikrho
      call cbesibes(ikrho/2,ci,ck,fnu,kode)
      gz_mx=-ikrho**2*(ci(1)*ck(1)-ci(2)*ck(2))
      return
    end

!=====
      complex function gy_my(ikrho)
!=====
!ese programa calcula o campo magnetico radial do momento mx
!baseado na expressao 4.126,p.227 de Ward e Hohmann(1987)
! Electromagnetic Theory for Geophysical Applications. In:
! Nabighian, M. N., Electromagnetic Methods in Applied
! Geophysics, Society of Exploration Geophysicists. Tulsa.
! ! considera-se nesse programa o observador tal que x=rho, y=0.0
! e normaliza-se por 1/4/pi/rho**3
!
! Autor: Zoukaneri Ibrahim M.
!=====
      implicit none
      complex,intent(in) ::ikrho
      if (abs(ikrho).le.2e-1)then
        gy_my=-2/ikrho**2*(-ikrho**2/2 -ikrho**4/8 + ikrho**5/15 - ikrho**6/48)
      else
        gy_my=-2/ikrho**2*(3 -ikrho**2 -((ikrho + 3)*ikrho +3)*exp(-ikrho))
      endif
    end

```

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)