

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

AVALIAÇÃO DOS AQÜIFEROS COSTEIROS DA ÁREA RIO JOANES-JAUÁ

LUIZ AUGUSTO RIBEIRO DOS SANTOS FILHO

SALVADOR – BAHIA

OUTUBRO - 2000

AVALIAÇÃO DOS AQÜIFEROS COSTEIROS DA ÁREA RIO JOANES - JAUÁ

 por

Luiz Augusto Ribeiro dos Santos Filho

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Departamento de Geologia e Geofísica Aplicada

DO

Instituto de Geociências

$\mathbf{D}\mathbf{A}$

Universidade Federal da Bahia

Comissão Examinadora

- Dr. Olivar Antônio Lima de Lima Orientador
- Dr. Joaquim Xavier Cerqueira Neto
- Dr. Geraldo Girão Nery

Data da aprovação: 10 de outubro de 2000

O ser que é ser que jamais vacila Nas guerras imortais entra sem susto, Leva consigo este brasão augusto Do grande amor, da grande fé tranqüila

Cruz e Souza

RESUMO

A área de estudo corresponde à região costeira de Salvador entre o Rio Joanes e a Vila de Jauá. É caracterizada geologicamente por depósitos costeiros do Quaternário sobrepostos ao embasamento cristalino. Esses depósitos quaternários incluem: depósitos continentais (leques aluviais coalescentes, depósitos fluvio-lagunares e dunas costeiras) e depósitos marinhos (terraços holocênicos, terraços pleistocênicos, pântanos e mangues atuais).

Trata-se de uma região submetida a acelerado desenvolvimento urbano não previsto pelos órgãos municipais. A indisponibilidade de um conhecimento técnico-científico dos recursos hídricos subterrâneos dessa região, leva à necessidade de investigações geológicas e geofísicas desse meio, de modo a subsidiar o planejamento e a ocupação racional dessa importante área.

Foram utilizadas duas técnicas geofísicas de grande eficiência na avaliação dos recursos hídricos da região. Primeiramente, o uso da *Magnetometria*, para definição do relevo do embasamento cristalino e a *Eletrorresistividade* para definir um modelo geoestrutural de subsuperfície, através de perfis feitos ao longo de determinadas orientações. Realizaram-se 16 *linhas magnetométricas* de grande extensão e 24 *SEV's (Sondagens Elétricas Verticais)* com espaçamentos variando entre 80 e 500 metros. Os resultados possibilitaram estimar a espessura do aqüífero na área, delinear um expressivo paleovale no cristalino e inferir sobre o controle do embasamento na qualidade de água do aqüífero.

ABSTRACT

The study area corresponds to the Salvador's costal region between Joanes river and the Jaua Village. It is geologically characterized by quaternary costal deposits overlaying the cristalline basement. The quaternary deposits include: continental deposits(coalescent alluvial) and marine, deposits (holocenic and pleistocenic terranes, wetlands and mangroves).

The area is having a development urban not predicted by governament agencies. Furthermore, no basic water knowledge of its hydrological resources(underground water) is available. Thus geophysical and geological evaluations are required for a optimized occupation of at area.

Two geophysical methods were employed to evaluate the water resources in the area: magnetometry to define the basement relief and electroresistivity to draw a geoestructural model of the subsurface along some selected directions. Sixteen magnetometric lines and twenty four vertical eletric sounding, with AB/2 spacing varying from 80 to 500 m were made. The main results allow to estimate the aquifer thickness to delineate a large ancient valley within the crystalline rocks and to infer the control the basement has on the water quality of the aquifer.

ÍNDICE

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 Geologia e Hidrogeologia	3
1.1Geologia <td>$\frac{3}{5}$</td>	$\frac{3}{5}$
CAPÍTULO 2 Técnicas Geofísicas Empregadas	12
2.1 Magnetometria	12
2.1.1 Campo Geomagnético	13
2.1.2 Potencial do Campo Magnético	15
2.1.3 Aquisição e Tratamento dos Dados	16
2.2 Eletrorresistividade	18
2.2.1 Aquisição e Tratamento dos Dados	21
CAPÍTULO 3 Interpretação dos Dados	28
3.1 A Magnetometria	28
3.2 Eletrorresistividade	29
CAPÍTULO 4 Conclusões e Recomendações	38
AGRADECIMENTOS	40
Referências	41
ANEXO I Algumas SEV's utilizadas nos Perfis	43

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Esquema de Formação de Falésias
1.2	Formação dos Depósitos Arenosos
1.3	Morfologia dos Leques Aluviais
1.4	Terraços Marinhos Pleistocênicos
1.5	Erosão dos Terraços e Formação de Lagunas
1.6	Terraços Marinhos Holocênicos
1.7	Mapa geológico da Região Rio Joanes - Jauá
1.8	Mapa Hidrogeológico da Região
2.1	Campo Geomagnético terrestre
2.2	Momento de dipolo magnético
2.3	Equipotenciais e Linhas de Corrente
2.4	Arranjos Elétricos para Sondagens
2.5	Mapa de localização das linhas de Magnetometria
2.6	Mapa representando a localização das linhas onde foram realizadas as SEV's,
	destacando as regiões onde foram feitos os perfis geológicos
3.1	Representação do comportamento da componente total do campo magnético
	(H_o) na passagem por um alto do embasamento cristalino
3.2	Linha de Magnetometria 10 - Localizada na estrada do Côco
3.3	Linha de Magnetometria 18 - localizada na região de Vila de Abrantes 32
3.4	Mapa Magnético da região Rio Joanes-Jauá
А	Estrutura geológica em subsuperfície na região entre o Rio Joanes e Jau á $$. $$ 34
В	Estrutura geológica em subsuperfície na região de Vila de Abrantes - Praia de
C	$Jaua \dots Jaua u Jaua \dots $
0 2 F	Mana da tan armafa da ambagamenta aristalina
3.0	Mapa da topograna do embasamento cristanno
I.1	(a) Sev 08 - situada na região de Busca Vida (b) coluna estratigráfica da
	sondagem $\ldots \ldots 43$
I.2	(a) Sev 23 - situada na região de Busca Vida (b) coluna estratigráfica da
	sondagem
I.3	(a) Sev 24 - situada na região de Busca Vida (b) coluna estratigráfica da
	sondagem $\ldots \ldots 44$

(a) Sev 17 - situada na região de Vila de Abrantes (b) coluna estratigráfica	
da sondagem	44
(a) Sev 13 - situada na região de Jauá (b) coluna estratigrafica da sondagem	45
(a) Sev 05 - situada na região de Jauá (b) coluna estratigráfica da sondagem	45
(a) Sev 15 - situada na estrada do côco região de Jauá (b) coluna estratigráfica	
da sondagem	45
(a) Sev 22 - situada na região de Jauá (b) coluna estratigráfica da sondagem	46
(a) Sev 06 - situada na Praia de Jauá (b) coluna estratigráfica da sondagem	46
(a) Sev 02 - situada em Jauá (b) coluna estratigráfica da sondagem $\ldots\ldots\ldots$	46
(a) Sev 11 - situada na Praia de Busca Vida (b) coluna estratigráfica da	
sondagem	47
(a) Sev 14 - situada na Praia de Busca Vida (b) coluna estratigráfica da	
sondagem	47
	 (a) Sev 17 - situada na região de Vila de Abrantes (b) coluna estratigráfica da sondagem

INTRODUÇÃO

A Área de estudo situa-se na região costeira da Região Metropolitana de Salvador entre o Rio Joanes e a praia de Jauá. É delimitada pelas coordenadas UTM 577000, 583000 W e 8576000, 8583000 N. É caracterizada superficialmente por depósitos costeiros de idade Quaternária (Fig 1.7). Esta área, inclui na zona de expansão urbana de Salvador e não se conhece, de modo preciso, suas condições hidrológicas e geotécnicas sub-superficiais. É imprescidível, portanto, um melhor conhecimento geológico-geofísico do meio para bom uso e crescimento ordenado desta área.

A área inclui um trecho da *bacia hidrográfica do Rio Joanes* (Fig.1.8). Seu potencial turístico está centrado principalmente na extensão e beleza cênica de suas praias e na peculiaridade de seus ecossistemas litorâneos que começaram a ser explorados desde os anos 70, dada a facilidade de acesso com a construção da Estrada do Coco.

A industrialização da área e o crescimento da população urbana dos municípios da bacia hidrográfica do Rio Joanes ao longo dos anos, condicionou a busca de soluções que viabilizassem uma maior disponibilidade de água, face ao crescimento da demanda. A solução encontrada foi o abastecimento de água através de captação subterrânea principalmente para as indústrias, cidades e vilarejos da bacia. Entretanto, para Salvador foi adotada a captação superficial, sendo os rios Joanes e Ipitanga, dois dos seus principais mananciais de abastecimento de água. O descarte de poluentes orgânicos e inorgânicos em canais fluviais, seja através de processos diretos como o lançamento de efluentes domésticos, ou de processos indiretos como a percolação e escoamento superficial de águas contaminadas por defensivos agrícolas e poluentes industriais, altera também, de forma substancial, a qualidade das águas estuarinas/costeiras (Quitéria,1999).

A ocupação nesta região tem-se dado sem maiores controles, e as conseqüências desta ocupação desordenada já se fazem sentir em quase todos os rios desta região, que têm a qualidade de suas águas e disponibilidade hídrica comprometidas, a exemplo dos rios Joanes e Jacuípe. Outro fenômeno observado é o desenvolvimento de processos erosivos ao longo da linha de costa, assim como o crescimento de pontais arenosos no sentido preferencial da deriva litorânea, que obstruindo parcialmente as desembocaduras dos rios. A ocorrência de erosão costeira, ao longo de praias arenosas tem como principais causas (Pitombeiras, 1996): (i) variações do nível do mar, da energia das ondas, das marés e das correntes, (ii) diminuição do suprimento de sedimentos e (iii) a ação antrópica com a substituição da vegetação nativa por outras de coberturas diversas, bem como a urbanização.

A urbanização é responsável pela impermeabilização de grandes áreas, o que aumenta a parcela de escoamento superficial direto devido à diminuição da infiltração. Isto provoca uma mudança de regime do escoamento local, mais drástica do que aquela provocada pelo desmatamento. A expansão de áreas urbanas implica na transformação de áreas verdes em loteamentos, que durante a fase de construção exigem obras de terraplanagem. A área desnudada sofre diretamente a ação de intempéries, o que provoca a erosão do solo (Nakae e Brighetti,1983).

Esses fatores naturais culturais estabelecem um quadro de impactos e danos ambientais que reclama o conhecimento geológico-estrutural e hidrogeológico da região, de modo a orientar ações do poder público visando a minimizar os efeitos onerosos no futuro. Portanto, este projeto foi desenvolvido objetivando caracterizar os diversos compartimentos geológicos presentes em subsuperfície de uma maneira não invasiva e contribuir para um melhor entendimento das potencialidades e fragilidades do sistema hidrogeológico costeiro. Com isso, foi utilizado o ferramental geofísico disponível no Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia.

Metodologia Adotada

Consistiu do emprego de dois métodos geofísicos na caracterização geológica-estrutural da subsuperfície, ou seja, a *Magnetometria* no intuito de definir a topografia do embasamento, e a *Eletrorresistividade* com a finalidade de determinar as espessuras de camadas e a morfologia do topo do embasamento; integração, processamento de computadores e interpretação dos dados.

Esta monografia está estruturada da seguinte forma:

(i) No capítulo 1 é feita, de maneira objetiva, a caracterização geológica da região Rio Joanes-Jauá, abordando feições regionais e locais, da hidrogeologia da área e dando um histórico de sua evolução durante o Quaternário,

(ii) No capítulo 2 destacam-se as bases teóricas dos métodos geofísicos utilizados, assim como, os procedimentos experimentais e de interpretação dos referentes métodos. São descritos, os procedimentos de aquisição e tratamento dos dados, geofísico feito mediante recursos tecnológicos disponíveis.

(iv) No capítulo 3 discute-se a interpretação dos dados e as conclusões obtidas.

CAPÍTULO 1

Geologia e Hidrogeologia

1.1 Geologia

A área de pesquisa, de maneira geral, tem a sua geologia descrita a partir de informações contidas na Proposta de Enquadramento da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes (Seplantec, 1995a) e no Projeto RADAMBRASIL (MME,1981). Nesta bacia ocorrem basicamente três domínios geológicos:

- Rochas Cristalinas Pré-Cambrianas: este domínio constitui o embasamento cristalino e compreende rochas do tipo piroxênio-granulitos e hornblenda-piroxênio granulitos, cortadas por zonas de cisalhamento, representadas por falhas com direção geral SW-SE, coincidentes com a foliação metamórfica. Estas direções influenciam geotecnicamente na estabilidade de muitas encostas existentes, constituindo locais susceptíveis a ocorrência de deslizamentos e escorregamentos.
- *Rochas Sedimentares Mesozóicas e Terciárias:* compreende as rochas sedimentares, assim caracterizadas:
 - Formação Barreiras: constituída por sedimentos arenosos de granulometria grossa a média, de coloração branca, amarela e vermelha, intercalados com lentes de argila caulinítica de pequena espessura e de coloração vermelha. São friáveis e bastante susceptíveis à erosão pluvial. Em locais onde a cobertura vegetal foi removida, é comum a ocorrência de ravinamentos e voçorocas.
 - Formação Marizal : é constituída em geral por arenitos variados mal selecionados, cauliníticos, pouco micáceos, com intercalações argilosas e siltosas, dispostas em camadas horizontais, exceto em trechos localizados onde apresentam mergulhos acentuados. Apresentam espessuras inferior a 30 metros, são bastante susceptíveis a erosão, sendo freqüente a presença de ravinamentos e voçorocas.
 - Sedimentos Quaternários : constituem os sistemas deposicionais recentes existentes dentro dos limites da bacia hidrográfica do Rio Joanes, sendo representados por sedimentos inconsolidados de origem fluvial, eólica e marinha.

Quanto aos *aspectos geomorfológicos* a área pode ser caracterizada: como uma *planície litorânea* onde as formas de relevo mais destacadas são dunas, terraços marinhos, mangues, pântanos de água doce e planícies de inundação no trecho situado próximo à desembocadura.

A região estudada, superficialmente, é dominada pelos depósitos quaternários que foi um período marcado por grandes mudanças climáticas e do nível médio dos oceanos. Isto resultou na formação de depósitos sedimentares que foram agrupados em depósitos marinhos, relacionados a eventos transgressivos; e depósitos continentais, relacionados a eventos regressivos. A cartografia básica dos Depósitos Quaternários costeiros do Estado da Bahia bem como seu Modelo de Evolução Paleogeográfica, são apresentados por Bittencourt et al. (1978,1979) e Martin et al. (1979a,1980). Basicamente, são caracterizados como:

Terraços Marinhos Pleistocênicos: têm sua origem ligada ao final de uma transgressão pleistocênica e da regressão subseqüente. Possuem areias de coloração branca na superfície passando para marrom a preta, secundária, em média dois metros abaixo. A origem litorânea é atestada pela presença de tubos fósseis de *Ophiomorpha*, um artrópode marinho que vive na parte inferior da zona intermarés, associados com estratificações planar e cruzada acanalada na base dos terraços.

Terraços Marinhos Holocênicos: ocorrem na parte externa dos terraços marinhos pleistocênicos, em cotas topográficas mais baixas. Eles se destacam dos primeiros por serem de granulometria mais finas e possuírem estruturas sedimentares perfeitamente preservadas. Contém restos de conchas e também tubos fósseis de *Ophiomorpha*. O retrabalhamento desses terraços pelo vento conferiu a área estudada um pequeno campo de dunas litorâneas (Guimarães 1978).

Leques aluviais coalescentes: são encontrados em diferentes locais da costa, normalmente encostados no sopé de elevações, e com topos situados de 15 a 20 metros acima do nível atual do mar. Constituem depósitos de areias brancas, mal selecionadas, contendo seixos arredondados a angulosos. Localmente segundo a região de ocorrência, essas areias podem ter sido originadas das formações cretácicas ou de rochas precambrianas, com suas características texturais e mineralógicas variando em função dessas diversas fontes.

Dunas Continentais: ao longo da costa atlântica da Bahia estão restritas ao trecho que vai de Salvador até o extremo norte do estado. Foram identificadas 3 gerações de dunas, baseando-se principalmente nas características morfoscópicas de suas areias (Martin et al.,1979), bem como, nas relações de contato com os outros depósitos quaternários que ocorrem na região. As dunas mais antigas, ocupam grande parte da área estudada e possuem areias que apresentam uma predominância de grãos angulosos. Por isso, elas possuem características bem diferentes daquelas dos terraços arenosos holocênicos e pleistocênicos e das praias atuais. O limite superior de idade dessas dunas, é, seguramente, anterior à formação dos terraços relacionados com a Penúltima Transgressão (Martin et al., 1979) e acredita-se que essas areias sejam de origem continental.

A Evolução Paleogeográfica da Costa do Estado da Bahia durante o Quaternário é condicionada, fundamentalmente, por dois grandes episódios transgressivos. O primeiro, denominado por Martin et al.(1978, 1979) de Penúltima Transgressão, alcançou um nível de 8 ± 2 metros acima do nível do mar. Um outro episódio transgressivo, holocênico, foi denominado por Martin et al.(1978, 1979), de Última Transgressão tendo alcançado um máximo de 5 metros acima do nível médio atual do mar. Pode-se esquematizar então seis grandes eventos importantes, a partir do máximo da Transgressão mais antiga (Martin et al.(1979)) como pode ser visto nas figs. de 1.1 à 1.6.

1.2 Hidrologia Local

A Bacia do Rio Joanes possui uma área de aproximadamente 755,4 km², com um comprimento de talvegue de 73,2 km. Sua principal nascente está localizada na Fazenda Campinas à 2,5 km da cidade de São Francisco do Conde. Seus principais afluentes são os rios Jacarecanga e Ipitanga. Além desses formadores principais existem diversos arroios afluentes, de menor porte, muitos dos quais drenam vilas, povoados, cidades, indústriais e lixões, os quais também têm importância tanto no regime hidráulico, quanto na qualidade da água superficial(Quitéria,1999).

O Sistema aquífero da região estudada compreendida entre o Rio Joanes e Jauá é composto pelo acoplamento hidráulico das areias de dunas, dos terraços marinhos e do embasamento cristalino fraturado. O embasamento cristalino são ou com fraturas fechadas constitui a base impermeável do sistema aquífero. A infiltração de água da chuva nas dunas segue uma trajetória aproximadamente vertical e rapidamente atinge o nível estático.

A zona de recarga deste aquífero está localizada na região das dunas que são predominantes na área. Estas dunas avançam em direção ao continente, afogando algumas lagoas e terrenos alagados como pode ser visto na fig 1.8. Na região existe pântanos de água doce de um lado ao outro do campo de dunas, evidenciando o nível estático aflorante. O fluxo geral das águas subterrâneas é dirigido para o mar.

Segundo Moraes (1997) o sistema aqüifero da região costeira é composto pelo acoplamento hidráulico dos terraços marinhos, leques aluviais coalescentes, dunas e embasamento cristalino fraturado. Os sedimentos areno-argilosos fluviais e flúviolagunares são tidos como aqüitardes e aqüicludes (em função do teor de argilo-minerais) localizados, formando de certo desviadores do fluxo subterrâneo. As rochas cristalinas sem fraturas ("fechadas") são tidas como os aqüifugos de toda a região, compondo sua base totalmente impermeável. Essas barreiras de permeabilidade podem ter também um comportamento errático com respeito à sua disposição espacial. A rede de drenagem superficial da área é escassa. Supõe-se que a principal recarga ocorra diretamente pela precipitação pluviométrica sobre os corpos de dunas.

O crescimento da população urbana e a industrialização nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes ao longo dos anos, favoreceu uma busca de viabilizar uma disponibilidade de água face ao crescimento das demandas. Logo, foi construído um total de 5 barragens ao longo da bacia. A primeira em 1936 - barragem de Ipitanga I no rio Ipitanga, seguindo temos; em 1955 a barragem de Joanes I no rio Joanes à cerca de 10 km da foz, em 1971 a barragem de Joanes II e a barragem Ipitanga II. E finalmente, em 1972, foi construído o último barramento devido ao desmembramento do antigo lago da represa Ipitanga II Quitéria(1999).

Em algumas residências localizadas em Busca Vida , em Vila de Abrantes e em Jauá o sistema de captação de água para uso é feita através de poços tubulares rasos. A qualidade das águas do sistema aqüífero ao longo da região parece ser, em geral, adequada para uso.

A) MÁXIMO TRANSGRESSÃO MAIS ANTIGA



Figura 1.1: Esquema de Formação de Falésias

O mar erodiu os sedimentos do Grupo Barreiras formando falésias. (fonte: Bittencourt et al. 1979)

B) LEQUES ALUVIAIS PLEISTOCÊNICOS

Figura 1.2: Formação dos Depósitos Arenosos

O clima semi-árido, propicia a formação desses depósitos do tipo leques aluviais. Os ventos retrabalham a superfície desses depósitos construindo campo de dunas (op. cit. p.5).

C) MÁXIMO PENÚLTIMA TRANSGRESSÃO



Figura 1.3: Morfologia dos Leques Aluviais

O mar erode os leques aluviais coalescentes, permanecendo somente alguns testemunhos isolados (op. cit. pg.5).



D) PLANÍCIE COSTEIRA PLEISTOCÊNICA

Figura 1.4: Terraços Marinhos Pleistocênicos

Construção de terraços marinhos pleistocênicos, a partir de falésias no Grupo Barreiras instalando-se uma rede de drenagem na superfície desses terraços (op. cit. pg.5).

E) MÁXIMO ÚLTIMA TRANSGRESSÃO



Figura 1.5: Erosão dos Terraços e Formação de Lagunas Os terraços marinhos pleistocênicos são parcialmente erodidos. Os rios são afogados e formam-se uma série de corpos lagunares na região (op. cit. pg.5).



Figura 1.6: Terraços Marinhos Holocênicos

Construção de terraços marinhos holocênicos, dispostos externamente aos terraços pleistocênicos. As lagunas perde comunicação com o mar e evoluem para pântanos (op. cit. pg.5).



Figura 1.7: Mapa geológico da Região Rio Joanes - Jauá



Figura 1.8: Mapa Hidrogeológico da Região

CAPÍTULO 2

Técnicas Geofísicas Empregadas

Vários métodos geofísicos podem ser usados na pesquisa de água subterrânea procurando estruturas favoráveis para o acúmulo e/ou percolação da mesma. Classicamente, os métodos mais utilizados em regiões sedimentares são o da sísmica de refração e o da eletrorresistividade, enquanto que em terrenos cristalinos os métodos indutivos são os mais utilizados.

Como a finalidade do trabalho de pesquisa é de investigar e mapear a estrutura do aqüífero freático e as zonas fraturadas no embasamento cristalino foi decidido empregar duas técnicas geofísicas: a magnetometria com a finalidade do reconhecimento da topografia do embasamento e a eletrorresistividade no intuito de melhor detalhar a estrutura geológica em subsuperfície.

2.1 Magnetometria

O comportamento magnético dos materiais terrestres parece ter sido primeiro observado pelos chineses vários séculos A.C. A noção de que a própria Terra comporta-se como um ímã, entretanto, só foi apresentada, segundo uma base científica, em 1600, por *William Gilbert*.

O uso de medidas magnéticas na prospecção geofísica baseia-se no fato de pequenas concentrações de minerais magnéticos nas rochas da crosta produzirem distorções locais (anomalias), nos elementos do campo magnético da Terra. Esses elementos são *a intensidade, a declinação e a inclinação magnética*.

O método magnético foi um dos primeiros métodos geofísicos a ser empregado em prospecção geológica. As primeiras medições sistemáticas datam de 1640 e foram realizadas na Suíça, com o propósito de detectar depósitos de ferro; esses trabalhos consistiam na observação da variação da declinação magnética com bússolas náuticas. Mais tarde, em 1870, o método de observação magnética foi aperfeiçoado com a construção de instrumentos capazes de medir variações das componentes horizontal e vertical do campo magnético e da sua inclinação(Luiz e Costa e Silva, 1990). Atualmente, medidas muito precisas da intensidade do campo e das suas componentes são realizadas com instrumentos conhecidos como magnetômetros. A maioria das medidas magnéticas são realizadas com o instrumento na superfície do terreno ou em aeronaves (aviões e helicópteros). As medidas podem, entretanto, ser realizadas em áreas cobertas por água, com o auxílio de embarcações, ou ainda, em poços perfurados. Aproximadamente 80 por cento dos levantamentos são aéreos e marinhos.

Os minerais responsáveis por anomalias magnéticas nos trabalhos de prospecção, são a magnetita, a pirrotita e a ilmenita. Esses minerais podem fornecer informações sobre a distribuição de minerais não magnéticos que são economicamente importantes, tais como: calcopirita, galena, asbesto e calcocita.

Além de permitir a localização de minerais economicamente importantes, as medidas magnéticas podem ainda ser usadas na identificação de contatos geológicos e de estruturas geológicas (falhas, dobras), que possam inclusive, ter servido para o acúmulo de petróleo e gás.

Devido ao baixo custo e à rapidez dos levantamentos, o método magnético é um dos mais utilizados na prospecção. É raro o levantamento geofísico que não inclui medidas magnéticas.

Existem duas grandes aplicações nos levantamentos magnéticos para o estudo de água subterrânea. O primeiro, trata do estudo de aqüíferos de rochas magnéticas, principalmente basaltos. O segundo, na determinação da configuração do embasamento cristalino que é subjacente às rochas sedimentares, consolidadas ou não.

Os aqüíferos estão localizados em rochas sedimentares, sendo que, a maioria delas, são essencialmente não magnéticas. As rochas ígneas e metamórficas, geralmente, possuem uma grande quantidade de minerais magnéticos (magnetita e pirrotita, por exemplo) gerando, portanto, anomalias magnéticas locais.

De um modo geral, as regiões metamórficas têm um padrão geomagnético considerávelmente mais complexo do que áreas de bacias sedimentares. As intrusões básicas e formações ferríferas são fortemente evidenciadas. Nas áreas sedimentares o mapa magnético refletirá, basicamente, as irregularidades do embasamento, colocando em evidência eventuais intrusões de rochas básicas, como também os locais onde o embasamento é menos profundo. Os alinhamentos podem estar associados a falhamentos ou estruturas geológicas magnetizadas. As áreas sedimentares são mais monótonas do ponto de vista magnético e seu contato com áreas metamórficas ou ígneas é facilmente delimitado.

2.1.1 Campo Geomagnético

O campo geomagnético é caracterizado em qualquer ponto da superfície terrestre pelas componentes horizontal (\vec{H}_h) e vertical (\vec{H}_z) pelo ângulo de inclinação com o plano horizontal I e pelo ângulo de declinação (D) formado entre \vec{H}_h e a direção do norte geográfico. A componente horizontal pode ser decomposta em duas outras: a componente \vec{H}_x (componente norte), na direção do norte geográfico, e a componente \vec{H}_y na direção perpendicular. O campo magnético \vec{H}_o , as componentes \vec{H}_h e \vec{H}_z , bem como a inclinação *i* estão todos num mesmo plano vertical.

A fig 2.1 mostra as relações espaciais entre as componentes do campo geomagnético e seus elementos. As relações analíticas observadas são:

$$H_o^2 = H_h^2 + H_z^2 \,, \tag{2.1}$$

$$H_h^2 = H_x^2 + H_y^2 \,, \tag{2.2}$$

$$H_o^2 = H_x^2 + H_y^2 + H_z^2 , (2.3)$$

$$H_h = H_o \cos i \,, \tag{2.4}$$

$$H_x = H_h \cos D = H_o \cos i \cos D , \qquad (2.5)$$

$$H_y = H_h \sin D = H_o \cos i \sin D , \qquad (2.6)$$

$$H_z = H_o \sin i , \qquad (2.7)$$

$$i = \arctan\left(\frac{H_z}{H_h}\right),$$
 (2.8)

$$D = \arctan\left(\frac{H_y}{H_x}\right) \tag{2.9}$$

Os resultados de experimentos eletromagnéticos demonstram que campos magnéticos podem ser observados sempre que correntes elétricas fluem através de condutores (um cabo elétrico anelar, por exemplo). Esta parece ser a única fontes dos campos magnéticos. Nesse caso, a unidade magnética fundamental é denominada de *momento de dipolo magnético* \vec{m} e definida por:

$$\vec{m} = \frac{Ia}{c}\vec{n} , \qquad (2.10)$$

onde $c = \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$,

I a corrente que flui na espira que limita a área a, c a velocidade da luz e \vec{n} o vetor unitário (indica a direção do dipolo em relação ao circuito elétrico) normal à área limitada pela espira mostrada na fig 2.2.

Quando um material qualquer é submetido ao efeito de um campo magnético H, ele adquire uma intensidade de magnetização ou imantação M, proporcional ao campo, dada por:

$$\vec{M} = \kappa \vec{H} , \qquad (2.11)$$

onde κ é a susceptibilidade magnética do material.

Para um mesmo valor do campo, os materiais com maior susceptibilidade estão aptos a se magnetizarem mais fortemente. A susceptibilidade magnética é, portanto, um dos parâmetros fundamentais no método magnético.

Os valores de susceptibilidade magnética podem ser constantes para determinados tipos de materiais, mas podem depender da intensidade do campo para outro. Em alguns materiais, a susceptibilidade é positiva e em outros, negativa; o sinal positivo ou negativo reflete o sentido da intensidade de magnetização em relação ao campo aplicado.

Se o valor da susceptibilidade κ for positivo, o material se chama paramagnético e a indução magnética será reforçada pela presença de material. Se κ for negativo, o material é diamagnético e a indução magnética será enfraquecida pela presença do material. Embora κ seja uma função da temperatura e, algumas vezes, varie drasticamente com esta, é geralmente correto dizer que, κ para materiais paramagnéticos e diamagnéticos é bastante pequeno, isto é, $|\kappa| \ll 1$.

No diamagnetismo as substâncias adquirem uma magnetização fraca no sentido oposto ao campo indutor. Minerais como a grafita, anidrita, feldspatos e quartzo são exemplos de minerais diamagnéticos. No paramagnetismo a magnetização é fraca novamente devido ao pequeno valor de susceptibilidade magnética, porém, no mesmo sentido do campo indutor. Gnaisses e sienitos são exemplos de rochas paramagnéticas e a pirita, piroxênio e biotita também exemplos de minerais paramagnéticos. No ferromagnetismo a magnetização é muito forte e no mesmo sentido do campo indutor, como exemplos podemos citar a magnetita e a pirrotita.

2.1.2 Potencial do Campo Magnético

Sendo o campo magnetostático conservativo, podemos adotar uma função potencial magnética U tal que:

$$\vec{H} = \nabla U , \qquad (2.12)$$

$$U(\vec{r}) = \int_{v} \frac{\vec{M}(\vec{r}_{0})}{|\vec{r} - \vec{r}_{0}|} dv , \qquad (2.13)$$

onde: $\vec{M}(\vec{r_0})$ é a magnetização

No caso de um meio material, pode-se definir a magnetização como:

$$\vec{M} = \vec{M}_i + \vec{M}_r \,, \tag{2.14}$$

onde : $\vec{M_i}$ é a magnetização induzida e $\vec{M_r}$ é a magnetização remanente .

A magnetização induzida é provocada pelo campo atual da Terra é proporcional à intensidade desse campo. A magnetização remanente é adquirida ao longo da história geológica, e, de acordo com os processos de formação da rocha. Pode ser: química, isotérmica, deposicional, viscosa, piezorremanente e termorremanente.

A magnetização de um material por um campo externo se faz através do alinhamento de seus momentos de dipolos internos. Esse alinhamento provoca o aparecimento de um campo adicional que, somado ao campo externo H, produz um campo conhecido por indução magnética que é caracterizado pela expressão:

$$B = \mu H \,, \tag{2.15}$$

sendo μ a permeabilidade magnética do material. Ela se relaciona à susceptibilidade do material por:

$$\mu = 1 + 4\pi\kappa \,, \tag{2.16}$$

substituindo o valor de μ na equação 2.15 obtemos a relação entre o campo de indução magnética (B) e o campo externo (H) destacado abaixo:

$$B = H + 4\pi M \tag{2.17}$$

As unidades de H e B no sistema CGS são, respectivamente, Oersted e Gauss. A permeabilidade magnética no vácuo μ_0 tem, por definição, o valor 1 Gauss/Oersted, e no sistema internacional $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Henry/m.

2.1.3 Aquisição e Tratamento dos Dados

As rochas do embasamento apresentam um conteúdo de minerais magnéticos muito superior ao dos sedimentos quaternários que as recobre. Isso confere a elas àquele uma maior susceptibilidade magnética quando comparado aos valores encontrados nos sedimentos. Com base nessa característica, o método magnético foi utilizado para avaliar qualitativamente o relevo do embasamento cristalino na área estudada.

O levantamento magnético foi realizado medindo-se a componente total do campo magnético terrestre local com o equipamento modelo **Magvision**, **da Bison Instruments**. Trata-se de em um equipamento portátil, digital e de operação muito fácil, sendo apenas uma pessoa requerida para o processo de aquisição dos dados. A transferência do dados é feita para um computador de forma simples, bastando, seu acoplamento via cabo e um programa para gerenciar esse processo.

O *Magvision* de Precessão nuclear ou de prótons e consiste basicamente de um sensor, contendo uma fonte de prótons (água, metanol, álcool etílico, querozene, etc...) e um contador eletrônico. O sensor é submetido a um campo artificial muito mais forte de que o campo magnético terrestre (50 a 100 Oersted) e perpendicular a este. Os prótons são polarizados segundo a resultante dos dois campos, que é virtualmente paralela ao campo artificial. A remoção repentina do campo artificial faz com que os prótons voltem a se orientar com o campo magnético terrestre, girando em torno deste campo com uma frequência angular dada por:

$$\omega = \gamma_p F_o \,, \tag{2.18}$$

em que $\gamma_p = 26.751,3$ radiano/(segundo.oersted) é a razão giromagnética do próton e F_o , a intensidade do campo magnético terrestre total, que pode ser determinada medindose a freqüência de precessão dos prótons com um contador eletrônico. A precisão desses magnetômetros é de 1 nT (nanotesla), dentro de uma faixa de medida de 20.000 a 10.000 nT. As medidas do campo magnético total foram realizadas ao longo de 16 linhas, muitas delas de grande extensão. Como exemplo, temos a *linha 10* que possue 8,2 km de extensão. As medidas totalizaram 1444 estações, espaçadas de 20 em 20 metros (ver fig 2.5).

No processo de aquisição utilizou-se uma estação base, que era reocupada em intervalos de no máximo 2 horas ou sempre que era realizada uma nova. Um outro fator a ser considerado foi o de medir valores anômalos nas medidas ocasionados pela proximidade nas linhas de transmissão, cercas de fazendas e loteamentos, antenas de transmissão, e ainda, de empresas que trabalham com material ferrífero estando uma situada no km 10,3 da estrada do Côco. Tomou-se o cuidado de realizar as medidas em pontos afastados a estes fatores. Um cuidado adicional foi a suspensão dos trabalhos em tempo chuvosos e em períodos de tempestades magnéticas solares.

2.2 Eletrorresistividade

Existe uma grande variedade nas medidas geofísicas elétricas. Um critério usado para classificá-las é segundo a natureza artificial ou natural do campo eletromagnético utilizado no método. Outro critério é se a investigação é pontual sobre o terreno (conhecidos como *Sondagem Elétrica ou Eletromagnética*) ou é horizontal (neste caso caminhamentos elétricos ou eletromagnético). Uma outra possibilidade de classificação desses métodos diz respeito às freqüências utilizadas.

A propriedade física que influencia diretamente nas observações é a resistividade. O potencial elétrico num ponto qualquer do terreno depende diretamente da resistividade. Esta, por sua vez, depende de um número grande de fatores de modo que não é possível atribuir-se a cada tipo de rocha um único de valor de resistividade, nem sequer uma margem pequena de variação. Ainda que a natureza da rocha seja a mesma, influem as condições locais de conteúdo de água, porosidade, metamorfismo, efeitos tectônicos etc...

Rochas saturadas com água possuem resistividades menores quando comparadas com rochas não saturadas. Quanto maior for a porosidade da rocha saturada menor a sua resistividade. Nota-se que um aumento na salinidade da água na rocha diminui a resistência da mesma, bem como a presença de argilas na matriz porosa.

Levantamentos por resistividade em estudos de água subterrânea podem fornecer informações hidrológicas importantes tais como: mapeamento da superfície piezométrica, a presença de zonas argilosas, o mapeamento da interface água doce/água salgada, o delineamento da poluição nos aqüíferos, paleocanais soterrados e investigações do relevo do embasamento. Ainda, podem ser utilizados em estudos geológicos de terrenos sedimentares e na prospecção de alguns minérios condutivos.

Existem duas modalidades de utilização no estudo da distribuição da resistividade elétrica em subsuperfície que são as seguintes:

- Caminhamento Elétrico ou Perfilagem Elétrica: destinada a exploração horizontal a uma profundidade aproximadamente constante. É bastante adequada para detectar contatos geológicos, paleocanais, zonas fraturadas, variações faciológicas, diques e outros corpos ou estruturas que apresentam heterogeneidades laterais de resistividade.
- Sondagem Elétrica Vertical (SEV): consiste numa série de determinações de resistividade aparente ρ_a, efetuadas com o mesmo tipo de dispositivo e separação crescente entre os eletrodos de emissão e recepção. O conjunto de valores de resistividade aparente compõe as medidas de uma SEV.

O Método da Eletrorresistividade consiste basicamente na: (i) medida da diferença de potencial elétrico (ddp) entre dois eletrodos $M \ e \ N$, criada pela emissão de corrente elétrica

contínua ou de baixa freqüência, no terreno, (ii) tradução dessas medidas em termos de uma resistividade aparente para os materiais do subsolo e, (iii) tradução desses resultados em termos de geologia de subsuperfície. A corrente elétrica é enviada ao terreno por meio de dois eletrodos de corrente $A \ e \ B$. A diferença de potencial ΔV criada por essa corrente entre dois pontos no terreno é registrada por dois eletrodos de potencial $M \ e \ N$. O dispositivo de medida consiste do quadripolo AMNB representado na fig 2.4.

O valor expresso pela razão entre a diferença de potencial ΔV observada e a intensidade de corrente elétrica *I* injetada no terreno é conhecido como resistência mútua ou de acoplamento entre os eletrodos de potencial e os eletrodos de corrente, na presença de um meio condutor. Desse modo, pode-se definir a função resistividade aparente ρ_a como sendo a resistência mútua multiplicada por um fator *K*, que depende unicamente do arranjo geométrico dos eletrodos. A expressão matemática é escrita como:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \tag{2.19}$$

A variação da resistividade aparente como função da posição e do afastamento entre os eletrodos permite a interpretação de feições geológicas em subsuperfície. Ela é dita aparente, porque na realidade, as rochas em subsuperfície não constituem um meio homogêneo e isotrópico.

O método baseia-se na aplicação da Lei de Ohm (V = R.I), onde o condutor, que será submetido à ddp, é todo o semi-espaço compreendido entre os dois eletrodos de corrente $A \ e$ B (ver fig. 2.3). A lei de OHM na sua forma vetorial, relaciona o vetor densidade de corrente elétrica \tilde{J} em qualquer ponto de um meio condutor com o vetor campo elétrico \tilde{E} , naquele ponto, isto é :

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} , \qquad (2.20)$$

onde a constante de proporcionalidade σ é chamada de condutividade elétrica. Em termos de resistividade elétrica ρ , pode-se re-escrever a Lei de Ohm como:

$$\vec{J} = \frac{1}{\rho}\vec{E} \tag{2.21}$$

Para um meio homogêneo e isotrópico a condutividade σ é representada como uma grandeza escalar. Para meios anisotrópicos essa propriedade é de natureza tensorial.

Para um condutor homogêneo de forma cilíndrica, de comprimento l e área da seção transversal s e resistividade ρ , a resistência oferecida à passagem de corrente elétrica é dada pela expressão :

$$R = \rho \frac{l}{s} \tag{2.22}$$

No caso de um semi-espaço homogêneo e isotrópico, a resistência do terreno é dada por:

$$R = \frac{\rho r}{2\pi r^2} \tag{2.23}$$

De forma que pode-se escrever o potencial em um ponto do terreno, criado por uma fonte pontual de corrente I situada a uma distância r como:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \,, \tag{2.24}$$

onde ρ é a resistividade do semi-espaço, I é a corrente elétrica, e r é a distância entre a fonte e o ponto considerado.

Então, a expressão 2.24 permite calcular o potencial elétrico num ponto qualquer da superfície, devido uma fonte pontual de corrente. Pode-se obter a d.d.p entre o eletrodos M e N devido aos eletrodos A e B de (corrente), superpondo as soluções:

$$V_{MN}^{A} = +\frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN}\right) , \qquad (2.25)$$

$$V_{MN}^B = -\frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{BM} - \frac{1}{BN} \right) , \qquad (2.26)$$

Em que V_{MN}^A e V_{MN}^B são a d.d.p's criadas em MN pelas fontes pontuais de corrente $A \ e \ B$, respectivamente. Somando as duas contribuições resulta:

$$\Delta V_{MN} = V_{MN}^A - V_{MN}^B = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right) , \qquad (2.27)$$

de modo que, o fator geométrico para um arranjo de quatro eletrodos é dado por:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}\right)^{-1}$$
(2.28)

Existe uma grande variedade de arranjos geométricos que têm sido usada, sendo os arranjos colineares *Schlumberger, Wenner e dipolo-dipolo* os mais freqüentes, seja em perfilagens, seja em sondagens elétricas (ver Fig 2.4)

No presente trabalho foi utilizado o arranjo Schlumberger de eletrodos, com fator geométrico deste arranjo é dado por:

$$K = \pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4}\right) , \qquad (2.29)$$

onde, a é a separação entre os eletrodos de corrente e b separação dos eletrodos de potencial.

Na SEV Schlumberger, os eletrodos são alinhados e dispostos simétricamente em relação ao centro do dispositivo. Os eletrodos de corrente A e B são regular e simetricamente expandidos em relação ao ponto investigado. Os eletrodos de potencial M e N são mantidos fixos por ocasião de um certo número de medidas. A medida que a distância AB é aumentada a voltagem ΔV entre os eletrodos de potencial pode tornar-se tão pequena que não é mais medida com precisão. Nesse caso, é necessário que se aumente a distância MN para se obter uma diferença de potencial maior. Além disso, é de grande importância a realização de medidas replicadas para os mesmos valores de $\frac{AB}{2}$ que correspondem a pontos finais ou iniciais dos segmentos da curva de resistividade aparente.

Os dados das SEV's são representados por meio de curvas de resistividades aparentes em função da distância entre os eletrodos. As resistividades aparentes ρ_a correspondem às ordenadas e às distâncias $\frac{AB}{2}$, as abcissas. As escalas em ambos os eixos são logarítmicas. No campo este gráfico já é plotado no intuito de orientar a aquisição. Por exemplo, a presença de pontos anômalos isolados nas medidas são imediatamente descartados e repetidas com controle do arranjo.

As sondagens elétricas verticais, quando isoladas, são em geral interpretadas com base em um modelo de camadas plano-paralelas e "infinitamente" extensas na horizontal. A adoção deste modelo facilita sobremaneira a inversão das resistividades, sendo que o procedimento mais usual utiliza o método do ponto auxiliar. Neste método, um conjunto de curvas auxiliares pré-calculadas é utilizado para obtenção das espessuras e resistividades do meio.

2.2.1 Aquisição e Tratamento dos Dados

O método da eletrorresitividade tem a capacidade de avaliar quantitativamente a geologia de subsuperfície fornecendo os valores de resistividade e espessura das camadas em profundidade. Além disso, é um método rápido e barato, bem como, possui um poder de penetração muito satisfatório. No presente trabalho foi possível com este método determinar a espessura da zona aqüífera da região e, também, a profundidade do embasamento cristalino.

Uma SEV é caracterizada como uma série de determinações de resistividades aparente, efetuadas como mesmo tipo de dispositivo e separação crescente entre os eletrodos de emissão. O conjunto de valores de resistividades aparente compõe as medidas de uma SEV.

O método é aplicável quando: (i) o alvo tem posição mais ou menos horizontal e cuja a extensão é grande relativamente a abertura dos eletrodos AB, (ii) a topografia do terreno é relativamente suave, principalmente para alvos pouco profundos, e (iii) quando as formações geológicas apresentam-se com razoável homogeneidade lateral.

Foram realizadas durante o trabalho 24 SEV's com o equipamento SYSCAL-R2, fabricado pela IRIS INSTRUMENTS. Trata-se de um equipamento digital que possui uma unidade transmissora e uma receptora. A transmissão é alimentada por uma bateria de 12 volts e permite o ajuste da voltagem de saída entre 100 e 800 volts. A recepção possui um microcomputador interno que armazena até 1022 registros. Esse equipamento realiza, também, medidas de polarização induzida no domínio do tempo e de potencial espontâneo.

Um mapa contendo todos os pontos onde foram realizadas as SEV'S está destacado na fig

As separações máximas entre os eletrodos de corrente variaram entre 80 e 500 m, dependendo do local escolhido e da qualidade das medidas. Os eletrodos utilizados foram hastes de cobre. Os eletrodos eram enterrados mais profundamente nos grandes espaçamentos AB, resguardando-se, assim, as aproximações para fontes pontuais de corrente.

Ocorreram alguns problemas durante a aquisição dos dados que foram solucionados completa ou parcialmente:

- Fugas de corrente: um fio descapado em contato com o solo funciona como um outro eletrodo extra no arranjo. Os ambientes favoráveis a este acontecimentos são os terrenos alagadiços e/ou dias de chuva. A verificação dos cabos e o isolamento dos pontos desprotegidos eliminavam este problema;
- Resistência de contato elevada: o ambiente favorável a isto é a região das dunas, onde as areias secas e limpas, dificultam o contato dos eletrodos com o terreno, e conseqüentemente, a passagem da corrente. Para minimizar tal fato, molhava-se com água salgada o local onde iam ser fixados os eletrodos, diminuindo a resistência de contato para valores entre 1000 e 2000 ohm.m.

O processo de inversão dos dados de eletrorresistividade foi constituido de duas etapas: a determinação de um modelo inicial e o refinamento automático(numérico) desse modelo inicial.

Na primeira etapa, utilizei o método do ponto auxiliar para determinar o modelo de subsuperfície sob cada centro de expansão dos eletrodos. Trata-se de uma técnica gráfica que envolve a superposição parcial da curva teórica obtida em campo com curvas padrões e gráficos auxiliares (Zodhy, 1965).

Na segunda etapa, tem-se o procedimento automático, onde partindo-se do modelo inicial com um certo número de camadas, o programa reformula esse modelo automaticamente até que o ajuste se dê dentro de algum critério previamente definido pelo intérprete. É necessário, um bom modelo inicial para reduzir o número de interações e mesmo porque, caso o modelo inicial não seja próximo do verdadeiro, o método poderá divergir.



Figura 2.1: Campo Geomagnético terrestre



Figura 2.2: Momento de dipolo magnético



Figura 2.3: Equipotenciais e Linhas de Corrente



Figura 2.4: Arranjos Elétricos para Sondagens

Esquema dos arranjos elétricos mais usuais para sondagens e perfilagens: i) Schlumberger, ii) Wenner e iii) Dipolo-Dipolo.



Figura 2.5: Mapa de localização das linhas de Magnetometria



Figura 2.6: Mapa representando a localização das linhas onde foram realizadas as SEV's, destacando as regiões onde foram feitos os perfis geológicos

CAPÍTULO 3

Interpretação dos Dados

Destaca-se neste capítulo as interpretações dos dados referentes aos diferentes métodos empregados no trabalho. A magnetometria com a finalidade de determinar as regiões onde o embasamento cristalino está mais raso ou profundo em relação à superfície topográfica, bem como, a eletrorresistividade para determinar um modelo estrutural da subsuperfície.

3.1 A Magnetometria

Os perfis magnéticos, em sua maioria, se mostram bem comportados com os valores oscilando em torno de valor do campo magnético terrestre da região de Salvador que é de cerca de 24800 nT(IGRF-1995). Valores anômalos associados com tempestades magnéticas, linhas de transmissão elétrica, tubulações metálicas e proximidade de veículos foram descartados. As figuras 3.2 e 3.3 são exemplos de perfis magnéticos obtidos na área, nos quais se pode perceber a presença de ruídos espúrios que foram excluídos dos dados. Anomalias magnéticas produzidas por altos estruturais do embasamento têm as características conforme representado esquematicamente na figura 3.1.

O mapa geomagnético construído para a área vem mostrado na fig.3.4. Verifica-se, que as regiões onde o embasamento cristalino está mais raso em relação a subsuperfície (Área de Busca-Vida) correspondem as zonas de menor valor do campo magnético total no mapa. Por outro lado, zonas onde o campo magnético total é mais alto(Área de Vila de Abrantes, Buris, Jauá) representam áreas onde o embasamento cristalino está mais profundo. A anomalia local (isolada) indicada pela letra A no mapa fig.3.4 localizada na região de Vila de Abrantes, deve-se a presença de uma rede de tubulação metálica enterrada. Na linha de costa, as zonas mais avermelhadas coincidem com áreas onde o embasamento está praticamente aflorante. Feições lineares transversais à costa parecem corresponder a zonas fraturadas e alteradas do embasamento ou a paleovales soterrados por areias de dunas. No extremo sul do mapa destaca-se a anomalia relacionada ao encaixamento do Vale do Rio Joanes.

3.2 Eletrorresistividade

Basicamente, as SEV's foram realizadas sobre terrenos arenosos, constituídos de dunas ou terraços holocênicos retrabalhados pelo vento e zonas aterradas. A maioria das SEV's apresentam curvas de resistividade aparente bem comportadas o que facilitou as interpretações. Em algumas, entretanto, ocorrem variações anômalas nas grandes aberturas de eletrodos de corrente causados por variações laterais de resistividade no subsolo da área.

Das 24 SEV's, 20 SEV's foram devidamente interpretadas conforme indicado nas figuras em anexo. Em geral, pode-se distinguir, no subsolo da área:

(i) zona de areias secas, limpas, sub-saturadas com resistividades entre 900 e 12.500 Ω .m;

(ii) areias saturadas com resistividades entre 1,1 e 900 Ω .m (os valores mais baixos representam areias saturadas com água salgada);

(iii) embasamento cristalino alterado e/ou fraturado com resistividades entre 12 e 3.800 $\Omega.{\rm m}$ e,

(iv) embasamento cristalino maciço com resistividades acima de 4000 Ω .m

Na região de praia, foram efetuadas seis sondagens elétricas. Nelas as as areias possuem uma resistividade muito baixa, entre 1,1 e 44,6 Ω .m, pois estão saturadas de água salgada. Nas SEV'S 11,12 e 14 o embasamento cristalino é sub-aflorante com uma resistividade compreendida entre 4.500 e 4.973 Ω .m, indicando baixa densidade de fraturamento.

Alguns perfis geológicos foram construídos usando as informações de SEV's alinhadas e não muito distantes (centro de expansão separados de 1km, em média). Pode-se notar desses perfis que o nível estático da água subterrânea acompanha a topografia da região, que alcança uma cota de até 20 metros acima do nível do mar.

O *Perfil 1* (ver fig.A) está orientado de sudoeste para nordeste entre Busca Vida e Buris de Abrantes. As SEV's utilizadas foram as numeradas de 8,23,24 e 2. Nota-se que nas sondagens 8 e 2 o embasamento está extremamente fraturado e/ou alterado até profundidades em relação ao nível do mar de 86,7 metros e 119,3 metros, respectivamente. Nas SEV's 23 e 24 o embasamento cristalino está maciço e quase aflorando na região. Acima deste, existem areias saturadas com água doce, e logo acima, uma zona de aterro (estradas).

O *Perfil 2* (ver fig.B) está orientado perpendicularmente a praia de Jauá. Nota-se a presença de uma cobertura arenosa, que pode incluir a alteração do embasamento, disposta mais ou menos na forma de uma camada uniforme. Um paleovale profundo, paralelo a linha de costa, é revelado pela interpretação da sondagem SEV-5. Observa-se que a disposição do lençol freático acompanha o relevo topográfico do perfil. O aqüífero parece estar saturado com água de baixa salinidade, dados os valores de sua resistividade elétrica.

Entre as SEV's 13, 5, 3 e 7 e 11 já próximas a praia existe uma lagoa de água doce sobrepondo-se ao paleovale mencionado que teve sua origem de vários eventos geológicos que ocorreram a milhares de anos. Nota-se que a linha de praia possui o embasamento cristalino mais raso constituindo-se uma barreira hidráulica na região. Isto pode ser observado no mapa magnético e mapa estrutural do embasamento (ver fig 3.4 e 3.5). A profundidade do embasamento fraturado em relação ao nível do mar na SEV 05 chega a 46,3 metros.

O *Perfil 3* (ver fig.C) está orientado perpendicularmente à praia de Jauá na altura da Vila dos Artistas. Nota-se que o embasamento cristalino são está se aprofundando em direção ao continente. Acima deste substrato tem-se areias saturadas com água doce e logo acima areias secas e zona aterrada (estradas). Existem na região áreas alagadas com água doce. A linha de praia nesta região é caracterizada também como uma barreira hidráulica.

O mapa estrutural do embasamento(ver fig.3.5) não alterado mostra a presença de um paleovale na área entre os bairros de Buris de Abrantes e de Jauá. O embasamento parece estar extremamente fraturado nessa zona com uma profundidade da rocha sã de 199 metros. Todas as areias da região *Joanes-Jauá* com resistividades entre 90 - 215 Ω .m, estão saturadas com água doce. Observa-se em Busca Vida, indo em direção ao Rio Joanes, que o embasamento tende a ser mais profundo. Isto pode ser justificado pela presença do Vale do rio Joanes.



Embasamento Cristalino

Figura 3.1: Representação do comportamento da componente total do campo magnético (H_o) na passagem por um alto do embasamento cristalino



Figura 3.2: Linha de Magnetometria 10 - Localizada na estrada do Côco



Figura 3.3: Linha de Magnetometria 18 - localizada na região de Vila de Abrantes



Figura 3.4: Mapa Magnético da região Rio Joanes-Jauá

Perfil 1



Figura A: Estrutura geológica em subsuperfície na região entre o Rio Joanes e Jauá

Perfil 02



Figura B: Estrutura geológica da subsuperfície na região de Vila de Abrantes - Praia de Jauá



Perfil 3

Figura C: Estrutura geológica da subsuperfície na região de Jauá



sondagens elétricas

Figura 3.5: Mapa da topografia do embasamento cristalino

CAPÍTULO 4

Conclusões e Recomendações

- O uso combinado dos métodos geofísicos de *Magnetometria e Eletrorresistividade* foi de grande versatilidade, valia e êxito no mapeamento das principais feições geológicas do local.
- A geologia de subsuperfície examinada através de perfis geo-elétricos na área está em conformidade com a geologia do Quaternário do Estado da Bahia, e mostra que o ferramental geofísico é de extrema importância na caracterização geo-estrutural da subsuperfície.
- A magnetometria foi capaz de identificar as zonas onde o embasamento cristalino está mais raso(Busca Vida, Vila de Abrantes, linha da praia) e em maiores profundidades(campo de dunas, Buris de Abrantes, Jauá) na região estudada.
- com o método da eletrorresistividade foi possível definir o relevo do embasamento cristalino da região, bem como, destacar uma depressão próxima a Busca Vida associada ao Vale do Rio Joanes. Além disso, o método permitiu caracterizar os zoneamentos geoelétricos da linha de praia para o interior do continente. Percebeu-se que os sedimentos de praia atual e o cordão litorâneo possuem baixas resistividades, os terraços marinhos retrabalhados pelo vento apresentam resistividades intermediárias e o campo de dunas continentais apresentam maiores resistividades, indicando que as águas melhoram de qualidade progressivamente para o interior do continente.
- Da comparação do mapa magnético com o relevo do embasamento cristalino se infere a provável existência de um paleocanal na região entre Buris de Abrantes e Vila de Abrantes. Além disso, nesta análise foi possível delimitar zonas na linha de praia onde o embasamento cristalino está bem raso (entre 5 à 10 metros de profundidade) caracterizando-se como uma barreira hidráulica, que gera entre a região das dunas e a linha de praia, lagoas e pântanos de grande extensão com água doce.
- É necessário a realização de mais sondagens na área para um melhor detalhamento do relevo do embasamento cristalino na região.
- Deve-se utilizar o método do potencial espontâneo na região para definir direções de fluxo das águas subterrâneas.

• recomenda-se a utilização do método de IP para avaliar zonas argilosas onde é um indicativo da presença do embasamento cristalino alterado ou a presença de depósitos fluvio-lagunares.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, em especial a meus pais *Luiz Augusto e Lícia Maria(em memória)*, pelo amor, paciência e dedicação que me deram em minha trajetória de vida.

A todos os professores do CPGG, em especial ao prof. Olivar meu orientador que me propiciou uma orientação clara e objetiva na pesquisa realizada.

Aos funcionários do CPGG, Mota, Luis Medeiros e Zé Medeiros pelo apoio técnico na realização dos levantamentos geofísicos.

Ao CNPQ, pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica em um período de 2 anos de pesquisa.

A todos os meus colegas de curso durante estes 5 anos de estudo pelo companheirismo que puderam me proporcionar.

Referências

CARVALHO, M.O., Hidrossedimentologia, Rio de Janeiro: CPRM. 372p.

- CEI, 1994. Centro de Estatística e Informações. Perfil da Região Econômica Litoral Norte. Salvador. 88p.
- CRA,1983. Centro de Recursos Ambientais. Controle da Qualidade dos Ecossistemas Costeiros. Salvador 41p.
- GUIMARÃES, M.M.M., 1978. Evolução Quaternária da Costa Atlântica de Salvador. Monografia de Mestrado. UFBA. Salvador, BA.
- LUIZ, J. G. e COSTA e SILVA, L. M. da., 1990. Geofísica de Prospecção. EDUFPA. Belém, PA.
- MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; VILAS BOAS, G.S.; FLEXOR, J.M., 1978. Excursão sobre as formações quaternárias do litoral do Estado da Bahia. Simpósio Internacional sobre a Evolução Costeira no Quaternário - Livro-guia. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geofísica- Universidade Federal da Bahia. São Paulo, SP.
- MARTIN, L; BITTENCOURT, A.C.S.P.; VILAS BOAS, G.S.; FLEXOR, J.M., 1979a. Geologia do Depósitos Quaternários no litoral do Estado da Bahia. Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia - Textos Básicos, vol.11, SME/CPM, Salvador, Ba. 1-21.
- MARTIN, L; BITTENCOURT, A.C.S.P.; VILAS BOAS, G.S.; FLEXOR, J.M., 1980c. Mapa Geológico do Quaternário Costeiro do Estado da Bahia - 1:250.000 - texto explicativo. SME/CPM. Salvador, Ba.
- MORAES, J. W.O. des, 1997. Avaliação Geofísica do Sistema Aqüífero na Área do Parque das Lagoas e Dunas do Abaeté. Trabalho de Graduação. UFBA. Salvador, BA.
- MME, 1981. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil. Folha SD 24. Salvador 620p.
- NAKAE,T., BRIGHETTI, G., 1983, Influência da Urbanização no Transporte de Sólidos . In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 5, Blumenau, SC, 1983, Anais .. Blumenau, ABRH, v.4, p.49-60.
- PARASNIS, D.S., 1962, Princípios de Geofísica Aplicada, Madrid.
- PITOMBEIRAS, E.S., 1996, Erosão Costeira provocada por Migração de Embocadura na Praia do Pecém Ceará. A Água em Revista, 4(7):p.28-35.

- QUITÉRIA, M.C.O, 1999, Impacto de Mudanças no uso do Solo nas Características Hidrossedimentológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes e sua Repercussão na Zona Costeira: Pós. Graduação em Geologia, Dissert. de Mestrado, UFBA, Univ. Federal da Bahia
- SEPLANTEC, 1995a. Secretaria do Planejamento, Ciência e Tecnologia. Proposta de Enquadramento da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes. Salvador. 53p.
- ZOHDY, A. A. R., 1965. The auxiliary point method of electrical sounding interpretation and its relationship to the Dar Zarrouk parameters: Geophysics , v.30, p.644-660.

ANEXO I

Algumas SEV's utilizadas nos Perfis



Figure I.1: (a) Sev 08 - situada na região de Busca Vida (b) coluna estratigráfica da sondagem



Figure I.2: (a) Sev 23 - situada na região de Busca Vida (b) coluna estratigráfica da sondagem



Figure I.3: (a) Sev 24 - situada na região de Busca Vida (b) coluna estratigráfica da sondagem



Figure I.4: (a) Sev 17 - situada na região de Vila de Abrantes (b) coluna estratigráfica da sondagem



Figure I.5: (a) Sev 13 - situada na região de Jauá (b) coluna estratigrafica da sondagem



Figure I.6: (a) Sev 05 - situada na região de Jauá (b) coluna estratigráfica da sondagem



Figure I.7: (a) Sev 15 - situada na estrada do côco região de Jauá (b) coluna estratigráfica da sondagem



Figure I.8: (a) Sev 22 - situada na região de Jauá (b) coluna estratigráfica da sondagem



Figure I.9: (a) Sev 06 - situada na Praia de Jauá (b) coluna estratigráfica da sondagem



Figure I.10: (a) Sev 02 - situada em Jauá (b) coluna estratigráfica da sondagem



Figure I.11: (a) Sev 11 - situada na Praia de Busca Vida (b) coluna estratigráfica da sondagem



Figure I.12: (a) Sev 14 - situada na Praia de Busca Vida (b) coluna estratigráfica da sondagem