

JOÃO GOUVEIA MONTEIRO  
Coordenação

# Aljubarrota Revisitada



*Comment le roy de portingal desconfist le roy de castille a Jubarrota. .i. xb*



Coimbra • Imprensa da Universidade

(Página deixada propositadamente em branco)

JOÃO GOUVEIA MONTEIRO

Coordenação

# Aljubarrota Revisitada

AUTORES

João Gouveia Monteiro

Fernando Pedro Figueiredo

Lídia Catarino

Helena Catarino

Eugénia Cunha

Carina Marques

Vitor Matos



Coimbra • Imprensa da Universidade

COORDENAÇÃO EDITORIAL  
Imprensa da Universidade de Coimbra

CONCEPÇÃO GRÁFICA  
António Barros

INFOGRAFIA  
António Resende  
Estimulus [design] • Coimbra

EXECUÇÃO GRÁFICA  
G.C. - Gráfica de Coimbra, Lda.  
Palheira • Assafarge - Apart. 3068  
3001-453 Coimbra Codex

ILUSTRAÇÃO DA CAPA  
Batalha de Aljubarrota. Iluminura das *Chroniques d'Angleterre*,  
de Jean de Wavrin. Século XV. Londres, British Museum.

ISBN  
972-8704-00-3

DEPÓSITO LEGAL  
167843/01

© JULHO 2001, IMPRENSA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA



OBRA PUBLICADA COM O PATROCÍNIO DE:  
GOVERNO CIVIL DE LEIRIA, CÂMARA MUNICIPAL DE PORTO-DE-MÓS, CÂMARA MUNICIPAL DA BATALHA,  
CIDADE EXPRESSO - SERVIÇOS DE DISTRIBUIÇÃO, S.A. E ASSOCIAÇÃO DOS ARQUEÓLOGOS PORTUGUESES

## I. EM BUSCA DAS ESTRUTURAS

### I.1. Os primeiros contactos

Quando, em Janeiro de 1995, conhecemos o nosso colega João Gouveia Monteiro, que na altura nos contactou para o ajudarmos a encontrar estruturas associadas à Batalha de Aljubarrota com as técnicas de prospecção geofísica, que nós conhecíamos e que vulgarmente aplicamos à Arqueologia, estávamos longe de imaginar que algum dia esses resultados seriam apresentados desta forma.

Os trabalhos de prospecção geofísica desenvolvidos no Campo Militar de S. Jorge foram efectuados com o intuito de aprofundar e esclarecer pormenores sobre as estruturas construídas e escavadas no terreno onde se deu a Batalha de Aljubarrota, no dia 14 de Agosto de 1385, e cuja localização geográfica é apresentada na Fig. INT. 1. Nestes trabalhos de prospecção foram aplicados os métodos electromagnéticos e eléctricos de resistividade.

As dúvidas que se pretendiam esclarecer relacionavam-se com o prolongamento dos fossos identificados em anteriores trabalhos de arqueologia executados por Afonso do Paço, em 1958-60. Além do prolongamento dos fossos, pretendia-se ainda localizar outras estruturas que pudessem estar relacionadas com o campo de batalha.

Queremos agradecer<sup>(1)</sup> a todas as instituições e pessoas que, de uma maneira ou de outra, ajudaram, contribuíram e deram o seu apoio para que este trabalho fosse possível.

---

<sup>(\*)</sup> Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

<sup>(1)</sup>. Além das instituições e pessoas a quem o nosso colega João Gouveia Monteiro agradece no capítulo de Introdução (vd. nota n.º 14) também queremos expressar os nossos

## 1.2. As vantagens da prospecção geofísica

Desde o início dos tempos que os homens aspiram “ver” debaixo de terra, para encontrar água, minérios ou mesmo tesouros escondidos. A utilização de varas ou de forquilhas premonitórias, denominadas na época romana por *virgula divina*<sup>(2)</sup>, foram sempre um dos meios que os vedores, antepassados dos actuais geofísicos, se serviram para atingir os objectivos da prospecção.

Os processos tradicionalmente utilizados na prospecção arqueológica iniciam-se geralmente na cartografia arqueológica da região em estudo, projectando-se em seguida a execução dos trabalhos de escavação, tendo em vista a caracterização e estudo dos locais arqueológicos. Esta metodologia apresenta, no entanto, duas condicionantes de peso: a primeira, no que diz respeito à morosidade das escavações e a segunda à onerosidade do processo. Numa tentativa de abreviar os longos períodos de escavação e de reduzir a dimensão das áreas em estudo, com a respectiva diminuição de custos, foram introduzidas técnicas de prospecção aplicadas noutros domínios da ciência, como a geologia e a prospecção mineira (SENOS MATIAS, 1989, p. 147).

Sabendo nós que os vestígios arqueológicos indiciam geralmente estruturas arqueológicas de maiores dimensões, é possível, pela utilização de métodos de prospecção geofísica, localizar elementos estruturais de origem antrópica que se encontram nas camadas superficiais do subsolo.

O primeiro passo na definição do modelo de subsolo e das possíveis estruturas existentes inicia-se com o enquadramento geológico regional da

---

agradecimentos: à Empresa Nacional de Urânio, S.A., o empréstimo do equipamento Geonics EM31, bem como aos Sr.<sup>es</sup> Prof. Dr. José Manuel Matos Dias e Dr. António Gimás, todos os esclarecimentos prestados sobre o seu funcionamento; ao Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e ao Prof. Doutor Manuel João Senos Matias, o empréstimo do equipamento Geonics EM38; ao Sr. Prof. Doutor Fernando Almeida, a utilização do *software* RES2DINV na interpretação dos dados de campo recolhidos com o dispositivo Dipolo-Dipolo; à Sr.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Leonor Cruz Pontes, Sr. Prof. Doutor João Gouveia Monteiro e Vasco Gouveia Monteiro, a ajuda na primeira fase do trabalho de campo, bem como ao Sr. Rui Coelho, o apoio prestado durante os dias de trabalho de campo.

(2). Cf. AGRICOLA, 1950, p. 38, nota 21.

zona, passando a um reconhecimento geológico local, a trabalhos de prospecção, nos quais podemos incluir a prospecção geofísica, e, por fim, à execução de sondagens mecânicas e abertura de valas e quadrados na intervenção arqueológica.

A aplicação dos métodos de prospecção geofísica à arqueologia apresenta algumas vantagens, das quais destacamos:

- serem métodos não destrutivos, que mantêm intacta a estrutura do solo;
- contribuir para uma localização mais precisa de estruturas arqueológicas;
- contribuir para a delimitação das estruturas arqueológicas, definindo-as sempre que possível;
- permitirem a elaboração de hipóteses de interpretação arqueológica, interligando a informação da prospecção geofísica e arqueológica.

Decidida a necessidade de utilizar a prospecção geofísica, há que escolher o método mais adequado para atingir os objectivos propostos. Uma das condições fundamentais para que o método de prospecção funcione é a necessidade de haver um contraste significativo do parâmetro físico<sup>(3)</sup> que irá ser medido com esse método, entre as estruturas antrópicas e o meio envolvente.

As estruturas arqueológicas apresentam características específicas, tais como dimensões reduzidas, pequena profundidade, baixos contrastes de propriedades físicas e geometria muito variável, características estas diferentes das estruturas geológicas e mineiras para as quais os métodos foram inicialmente desenvolvidos.

---

(3). Os parâmetros físicos que estão associados aos métodos de prospecção geofísica, são os seguintes: Densidade - prospecção gravimétrica e prospecção sísmica; Susceptibilidade/Permeabilidade magnética - prospecção magnética, prospecção electromagnética e radar de penetração no terreno (GPR - Ground Penetrating Radar); Velocidade da propagação de ondas acústicas - prospecção sísmica; Resistividade (ou condutividade) eléctrica - prospecção eléctrica, prospecção electromagnética e GPR; Permittividade eléctrica - GPR (KEARY e BROOKS, 1984, p. 2).

Desde os anos quarenta que a prospecção geofísica tem sido aplicada com sucesso à arqueologia. A utilização dos métodos da prospecção geofísica aplicados à arqueologia foi denominada por Arqueogeofísica (WYNN, 1986, p. 533).

A utilização de métodos de prospecção geofísica começa a ser vulgar no planeamento das escavações. No entanto, a escolha do método, da técnica e do passo de amostragem, deve ter em atenção o tipo de estruturas que se pretende localizar. Dos métodos de prospecção geofísica geralmente mais utilizados salientamos os métodos eléctricos, magnéticos, electromagnéticos, gravimétricos, sísmicos e o radar de penetração no terreno (GPR - Ground Penetrating Radar). Dentro destes métodos, os métodos eléctricos, na sua generalidade, são tidos como as primeiras técnicas de prospecção geofísica aplicadas à arqueologia (ATKINSON, 1952, *passim*).

Num trabalho de prospecção geofísica, a escolha da malha de amostragem é fundamental. Quando se utiliza uma malha de amostragem reduzida estamos a recolher informação em excesso, demorando mais tempo e tornando mais onerosa a campanha de prospecção geofísica. Quando a malha é muito larga podem não se detectar as estruturas, embora a recolha de dados de campo seja mais rápida. É por isso de extrema importância o conhecimento antecipado do tipo e da dimensão aproximada das estruturas de que estamos à procura, sendo fundamental a troca de informações entre os historiadores/arqueólogos e os geofísicos para a definição da malha de amostragem que melhor se adegue ao trabalho em causa. Uma incorrecta malha de amostragem encarece a campanha de prospecção geofísica e torna-a ineficaz.

---

### 1.3. Os fundamentos teóricos dos métodos de prospecção geofísica utilizados

Tentando não sermos maçadores, vamos dar uma pequena introdução dos fundamentos teóricos dos métodos de prospecção geofísica que foram utilizados neste trabalho. Esta introdução parece-nos importante para se perceber com clareza o princípio de funcionamento de cada um dos métodos utilizados, bem como o tratamento dos dados recolhidos no campo e a interpretação que foi feita dos resultados obtidos.



Neste trabalho utilizámos os métodos de prospecção geofísica designados por métodos electromagnéticos e eléctricos<sup>(4)</sup>. O primeiro destes métodos foi utilizado na fase inicial do trabalho. Como os resultados obtidos não foram satisfatórios, optou-se por utilizar os métodos eléctricos de resistividade. Dentro deste último método, foram feitos mapas de valores de iso-resistividade, com o dispositivo Wenner tripotencial, e secções de resistividade, com o dispositivo de medida Dipolo-Dipolo.

### 1.3.1. Os métodos electromagnéticos

A designação de métodos electromagnéticos é aplicada às técnicas geoelectricas que utilizam como base do seu funcionamento um campo electromagnético, que é variável no tempo<sup>(5)</sup>. Estes métodos de prospecção baseiam-se no modo como as ondas electromagnéticas se propagam entre uma fonte emissora dessas ondas e um receptor medindo a condutividade eléctrica, ou o seu inverso, a resistividade. A relação entre os valores da condutividade eléctrica,  $\sigma$  (mS/m), e resistividade eléctrica,  $\rho$  (ohm.m), é dada pela seguinte equação:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}. \quad (1.1)$$

Independentemente dos métodos e técnicas utilizadas nos métodos electromagnéticos de prospecção, o princípio físico teórico em que estes se baseiam é comum. Na presença de um campo electromagnético variável no tempo geram-se correntes induzidas, que são muito intensas nos metais,

---

<sup>(4)</sup>. Diversos autores consideram que ambos os métodos de prospecção podem ser classificados como métodos eléctricos, utilizando o método electromagnético uma corrente alterna e o método eléctrico, propriamente dito, uma corrente contínua (TELFORD *et al.*, 1976, p. 442).

<sup>(5)</sup>. O campo electromagnético é gerado por uma corrente alterna que circula numa bobine. Essa corrente alterna é uma função sinusoidal, que é caracterizada por uma frequência, logo, é função do tempo.

em virtude destes terem uma elevada capacidade de conduzir electrões. Este fenómeno, conhecido por indução electromagnética, não é exclusivo dos metais, mas também ocorre noutros materiais através de correntes iónicas (ALMEIDA, 1999, p. 692).

Os campos electromagnéticos utilizados neste método de prospecção são gerados na superfície do terreno por antenas ou pela circulação de uma corrente eléctrica em cabos ou em bobines. Quando se gera à superfície do terreno um campo electromagnético primário, são induzidas correntes eléctricas em qualquer corpo condutor que se encontre nesse terreno, provocando este um campo electromagnético secundário que se opõe ao campo electromagnético primário. A relação entre os valores dos campos electromagnéticos primário e secundário permite então evidenciar anomalias que podem reflectir as estruturas arqueológicas.

A fig. 1.1 ilustra os campos electromagnéticos primário e secundário gerados pelas bobines do aparelho, Tx e Rx, e pelo corpo condutor, respectivamente.

Sabendo que a magnitude e a distribuição da intensidade de corrente geradora do campo electromagnético secundário são parâmetros dependentes das propriedades eléctricas<sup>(6)</sup> do terreno, é possível obter informações importantes acerca das estruturas geológicas e/ou antrópicas desses terrenos.

Devido aos fenómenos de indução associados às correntes electromagnéticas, o campo secundário vem desfasado do campo primário. A relação entre estes dois campos que atravessam a bobine receptora permite obter um valor de condutividade do terreno que depende da distância entre bobines, da sua orientação, da frequência usada no campo indutor e da resistividade do meio onde circulam as correntes induzidas.

---

<sup>(6)</sup> Grande parte dos solos e rochas são isoladores ou têm uma resistividade muito elevada. Contudo, quando existe a presença de minerais, tais como a magnetite, pirrotite, pirite e grafite, em quantidades elevadas, a condutividade desses solos e rochas aumenta consideravelmente. De um modo geral, a condutividade é electrolítica e faz-se através do electrólito (água e sais dissolvidos) contido nos poros dos solos e das rochas. Os factores que influenciam as propriedades eléctricas do terreno são: a porosidade, a quantidade de electrólito que preenche os poros, a quantidade de sais dissolvidos no electrólito, a composição dos sais dissolvidos e a temperatura (McNEILL, 1980, p. 6).

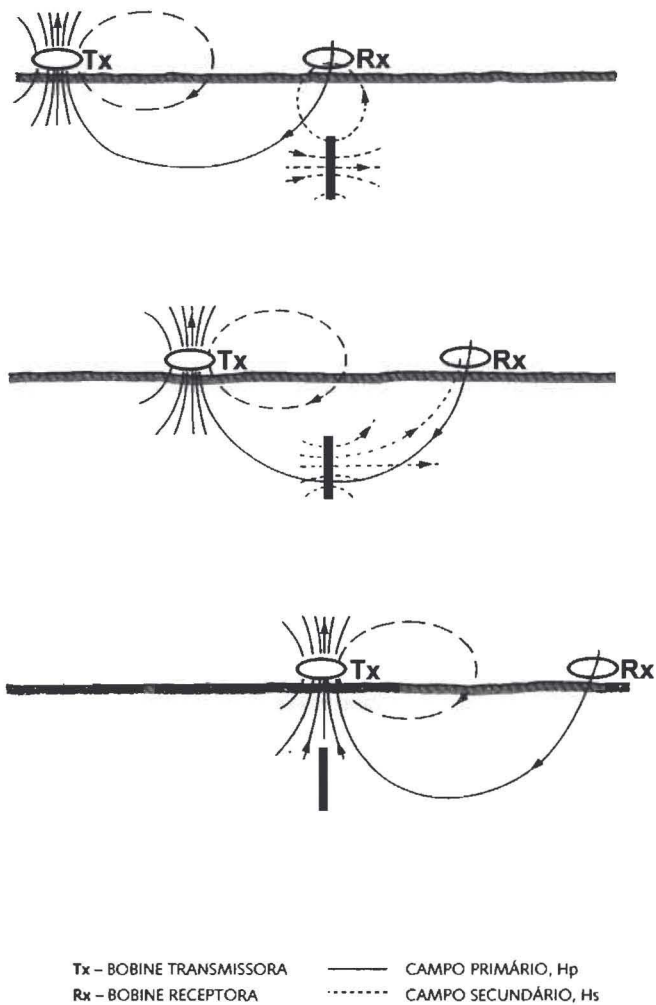


Fig. 1.1 — Posição das bobines transmissora, Tx, e receptora, Rx, na superfície do terreno, com a respectiva representação dos campos electromagnéticos primário,  $H_p$ , e secundário,  $H_s$ .

A distribuição do campo electromagnético num determinado meio geológico depende de vários factores, sendo de realçar, entre outros, as propriedades físicas dos minerais e das rochas que o constituem. Outra das características fundamentais a ter em conta na descrição do comportamento do campo electromagnético é a sua dependência do tempo<sup>(7)</sup>.

O método de prospecção electromagnético apresenta como grande vantagem ter um elevado rendimento ao nível da aquisição de dados. Num ambiente urbano, onde o ruído electromagnético é elevado, ou em locais onde existam metais na proximidade dos pontos de medida, a sua aplicação não é aconselhada. A interpretação dos resultados é geralmente semi-quantitativa<sup>(8)</sup>. Contudo, se forem recolhidos dados para vários parâmetros de aquisição, podemos efectuar a interpretação de modelos da distribuição da condutividade em profundidade. Refira-se, ainda, que dentro do método electromagnético existem várias técnicas, desde a utilização de campos primários indutores fixos, até à utilização de equipamentos com geometria da polarização electromagnética variável, podendo as bobines ser deslocadas livremente no terreno (TELFORD *et al.*, 1976, p. 501).

A profundidade de penetração de um campo electromagnético gerado na superfície do terreno depende da frequência desse campo e da condutividade do meio através do qual o campo se propaga. A amplitude do campo electromagnético vai-se atenuando durante a sua passagem pelo meio atravessado, diminuindo exponencialmente com a profundidade. A profundidade de penetração efectiva de um campo electromagnético está directamente relacionada com a profundidade de investigação e é dada pela equação seguinte (KEARY e BROOKS, 1984, p. 227):

$$h = \frac{100}{\sqrt{\sigma \cdot f}}, \quad (1.2)$$

---

<sup>(7)</sup>. A base teórica dos métodos electromagnéticos é a *Teoria de Campo Electromagnético*, cujos princípios e equações fundamentais foram pela primeira vez propostos por Maxwell. Estas equações permitem relacionar matematicamente as leis que regem os fenómenos físicos associados aos campos electromagnéticos (GRANT e WEST, 1965, p. 466).

<sup>(8)</sup>. Actualmente, começa a surgir no mercado *software* para inversão de dados de prospecção electromagnética, o que torna a interpretação de dados de campo, além de qualitativa, também quantitativa.

onde  $h$  é profundidade de penetração efectiva, em metros,  $\sigma$  é a condutividade do meio, em Siemens por metro (S/m), e  $f$  é a frequência do campo electromagnético, em Hertz (Hz).

O uso dos métodos electromagnéticos é cada vez mais corrente, tendendo estes a substituir, sempre que possível, os métodos eléctricos, devido à rapidez na recolha das medidas de campo<sup>(9)</sup>, bem como à facilidade de operação com os aparelhos de medida, reflectindo-se estas duas vantagens nos aspectos económicos (BEVAN, 1983, p. 53). Estes métodos têm grande aplicação em zonas onde as camadas superficiais sejam muito resistivas, isto é, onde os métodos eléctricos de resistividade são de difícil execução<sup>(10)</sup>.

Depois de termos apresentado os conceitos teóricos que consideramos indispensáveis para o entendimento deste método, vamos explicar as razões que nos levaram a tentar aplicá-lo, bem como o motivo do insucesso na sua aplicação. A principal razão que nos levou a optar inicialmente pelo método electromagnético foi a facilidade e a rapidez com que poderíamos fazer o trabalho de prospecção. Na fase inicial, tínhamos o propósito de cobrir com trabalhos de prospecção toda a zona do jardim inserido no Campo Militar de S. Jorge e as áreas na sua vizinhança onde não houvesse construções e os proprietários permitissem a realização destes trabalhos. Esta situação parecia-nos fácil, visto que os métodos utilizados na prospecção geofísica não são destrutivos, deixando os terrenos tal qual estavam antes dos trabalhos terem sido efectuados.

O equipamento inicialmente utilizado foi o condutímetro EM31<sup>(11)</sup> (Fig. 1.2), que tem uma profundidade média de investigação de 2,2 e 4,6 m (OGILVY *et al.*, 1991, p. 140), consoante as bobines estejam na posição vertical, HD, ou horizontal, VD, respectivamente.

---

<sup>(9)</sup>. Como os métodos de prospecção electromagnética são métodos indutivos, isto é, não precisa de haver contacto das bobines com o solo, a rapidez com que se efectua o trabalho de campo depende apenas da malha de amostragem, das dificuldades encontradas no terreno, tais como a topografia e a vegetação, e da rapidez do operador do equipamento.

<sup>(10)</sup>. Onde existem camadas muito resistivas, há resistências de contacto muito elevadas entre os eléctrodos, utilizados na prospecção eléctrica, e o solo, o que provoca dificuldades na introdução da corrente eléctrica no solo e, conseqüentemente, problemas nas leituras dos dados de campo.

<sup>(11)</sup>. A frequência de funcionamento deste equipamento é de 9,8 MHz e o afastamento entre bobines é de 3,66 m (GEONICS, 1984, *passim*).

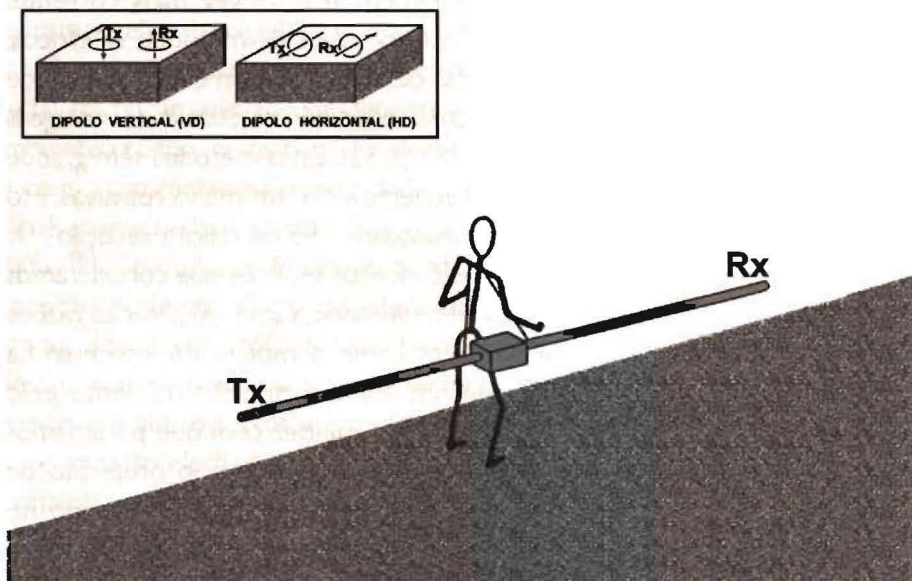


Fig. 1.2 — Esquema do equipamento EM31. Localização das bobinas transmissora, Tx, e receptora, Rx. Exemplo do Dipolo Vertical (VD) e Dipolo Horizontal (HD).

38

Quando optámos pela utilização da prospecção electromagnética com este equipamento, estávamos conscientes de que não iríamos descobrir as covas de lobo, devido às suas reduzidas dimensões. Além disso, o contraste da resistividade/condutividade existente entre a camada onde as covas de lobo foram escavadas e o material que ao longo dos tempos as foi preenchendo e tapando também podia não ser suficiente para serem detectadas com este equipamento. No entanto, estávamos certos de que os fossos poderiam ser detectados por este método, se eles tivessem a

dimensão dos fossos encontrados por Afonso do Paço em 1958-60. Por esse motivo, foi feito um perfil com este equipamento ao longo do caminho designado por “Eixo do Ataque” e do qual apresentamos os resultados obtidos no Cap. 1.5.1. No entanto, os resultados não foram animadores, devido à profundidade de investigação deste equipamento exceder a profundidade admitida para a localização dos fossos e covas de lobo. Optou-se então pelo condutivímetro EM38<sup>(12)</sup>, que tem uma profundidade de investigação média de 0,75 e 1,5 m (GEONICS, 1990, *passim*), consoante as bobines estejam na posição vertical, HD, ou horizontal, VD, respectivamente.

A profundidade de investigação do condutivímetro EM38 era a ideal, mas o valor das leituras obtidas não era constante num mesmo ponto. Tal facto revelava a existência de ruído nessas leituras, possivelmente devido à presença próxima de cabos aéreos de electricidade e telecomunicações que cruzam as áreas em estudo. Devido à sua má qualidade, os valores obtidos com este aparelho não são apresentados, nem foram utilizados na interpretação.

Como o método de prospecção electromagnética não se revelou eficaz, pelos motivos já apresentados, tivemos de reformular a nossa campanha de prospecção geofísica, optando pelo método eléctrico de resistividades, método este mais demorado na recolha de dados de campo, factor esse que foi decisivo na escolha e dimensão das três áreas onde foi ulteriormente efectuada a prospecção.

### 1.3.2. Os métodos eléctricos de resistividade

Sabendo de antemão que as equações matemáticas não são do agrado de alguns leitores, não podemos deixar de vos apresentar algumas equações simples, que são importantes para a compreensão deste método e para melhor se poder entender a metodologia de tratamento de dados utilizada.

---

<sup>(12)</sup>. O equipamento EM38 tem um princípio de funcionamento idêntico ao EM31, estando as bobines, Tx e Rx, separadas de 1 m; a frequência de funcionamento do aparelho é de 14,6 MHz (GEONICS, 1990, *passim*).

A Lei de Ohm diz que quando um corpo é atravessado por uma corrente eléctrica, de um extremo ao outro, esta é proporcional à diferença de potencial entre os dois extremos desse corpo, sendo essa constante de proporcionalidade designada por resistência eléctrica. Esta lei é expressa pela equação seguinte:

$$\Delta V = RI, \quad (1.3)$$

onde  $\Delta V$  é a diferença de potencial,  $R$  é a resistência eléctrica e  $I$  é a intensidade de corrente, cujas unidades são, respectivamente, o volt (V), o ohm ( $\Omega$ ) e o ampere (A).

A resistência eléctrica,  $R$ , pode ser definida de um modo simples, como uma medida da dificuldade da passagem de uma corrente eléctrica num determinado volume de material, com resistividade  $\rho$ , sendo este parâmetro um valor característico de cada material<sup>(13)</sup>.

A resistividade eléctrica dos terrenos depende da composição litológica das suas formações geológicas (Tabela 1.1), da quantidade de água contida na sua estrutura, bem como dos sais minerais dissolvidos nessa água. A resistividade do conjunto vai aumentar ou diminuir consoante a quantidade de sais minerais dissolvidos na água é menor ou maior, respectivamente.

A análise da resistividade eléctrica e da sua distribuição à superfície do terreno permite localizar e identificar estruturas geológicas ou arqueológicas em profundidade. O modo de efectuar esta análise é, regra geral, simples e baseia-se no estudo de um campo eléctrico criado artificialmente pela injeção de uma corrente eléctrica no terreno, como está ilustrado na fig. 1.3. Através da medição dos potenciais eléctricos induzidos, à superfície do terreno, pelo fluxo dessa corrente eléctrica e com base nos princípios estabelecidos pela Lei de Ohm, determina-se a

<sup>(13)</sup>. A resistência  $R$  (ohm) é directamente proporcional ao comprimento  $dL$  (m) de um conductor e inversamente proporcional à sua secção transversal  $s$  (m<sup>2</sup>). Esta relação traduz-se na equação seguinte:

$$R = \rho \cdot \frac{dL}{s},$$

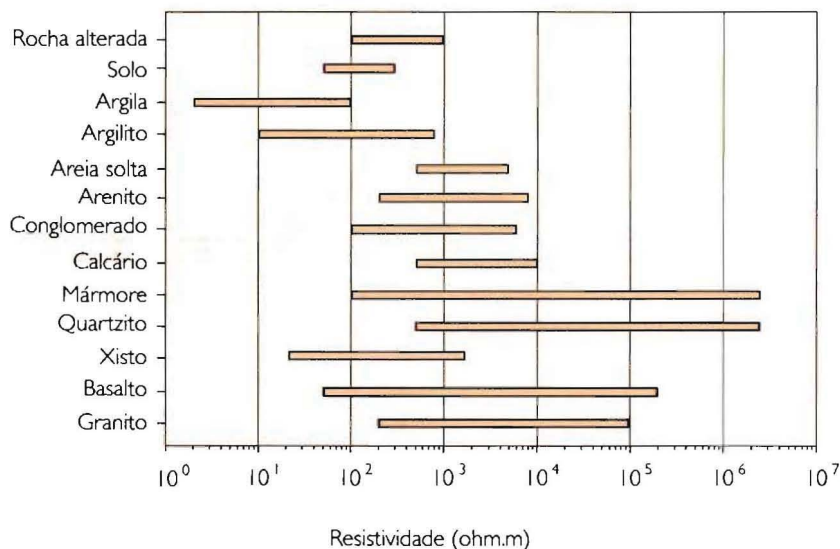
onde a resistividade  $\rho$  (ohm.m) é a constante de proporcionalidade.



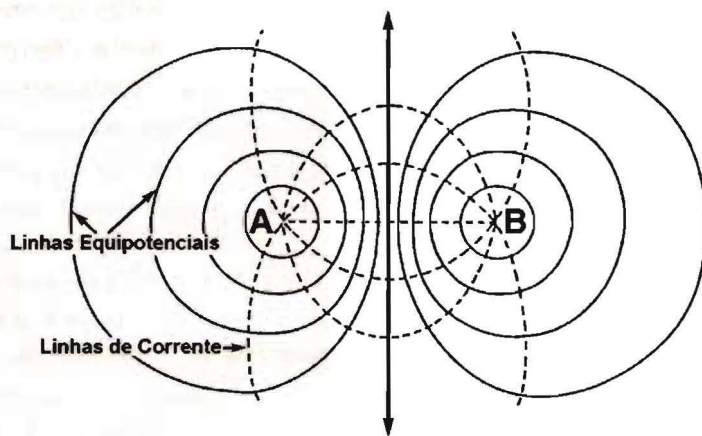
resistividade eléctrica do volume de terreno influenciado pela passagem da corrente eléctrica.

Mesmo quando as linhas de corrente passam por baixo da estrutura, elas sofrem sempre a influência das estruturas presentes no terreno. O resultado ideal será quando as linhas de corrente atravessam as estruturas, obtendo-se assim anomalias de resistividade bem definidas e com uma boa amplitude. Quando as linhas de corrente passam por baixo ou por cima das estruturas, também se obtêm as anomalias, embora estas sejam de menor amplitude.

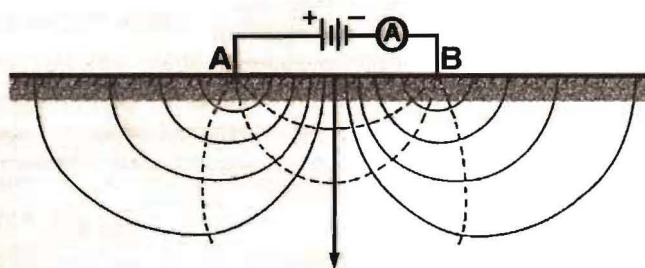
Tabela 1.1 – Valores da resistividade de algumas rochas<sup>(14)</sup> mais comuns.



<sup>(14)</sup>. Os valores de resistividade determinados por nós, com base na interpretação das sondagens eléctricas efectuadas no Campo Militar de S. Jorge, enquadram-se nos grupos de rochas denominadas solo, arenito e argilas, o que está de acordo com a geologia da região, conforme veremos ulteriormente.



(a)



(b)

Fig. 1.3 – Representação do campo eléctrico gerado no terreno pelo fluxo de uma corrente eléctrica introduzida a partir da superfície: a) linhas equipotenciais e de fluxo de corrente representadas em planta; b) a mesma representação num plano vertical.

As principais técnicas utilizadas em prospecção geoelectrica são as sondagens eléctricas, perfis de resistividade, mapeamento e secções de resistividade aparente<sup>(15)</sup>. Estas técnicas têm desde há muitos anos um vasto campo de aplicação, especialmente nas áreas da hidrogeologia, prospecção mineira de recursos metálicos e não metálicos, prospecção geotécnica, mapeamento de anomalias geotérmicas, mapeamento geológico, localização de falhas, detecção e mapeamento de zonas contaminadas, prospecção arqueológica e outras (ORELLANA, 1972, p. 23).

Nas técnicas referidas utilizam-se dispositivos de medida geralmente constituídos por quatro eléctrodos<sup>(16)</sup>,  $A$ ,  $M$ ,  $N$  e  $B$ <sup>(17)</sup>, que são colocados na superfície do terreno, fazendo-se passar uma intensidade de corrente em dois deles, eléctrodos de corrente,  $A$  e  $B$ , e medindo a diferença de potencial nos outros dois eléctrodos de potencial,  $M$  e  $N$ , conforme apresentado na fig. 1.4. Com base nos valores da intensidade de corrente, da diferença de potencial e do espaçamento entre eléctrodos, calcula-se a resistividade aparente em cada ponto de medida.

Os equipamentos usados neste método de prospecção são os resistivímetros, tendo sido utilizado neste trabalho um resistivímetro ABEM, modelo SAS300B (ABEM, 1980, *passim*).

Os procedimentos de interpretação de perfis de resistividade e sondagens eléctricas assumem que os valores obtidos no campo são devidos a um meio formado por camadas paralelas e homogéneas. Contudo, normalmente encontramos variações locais de resistividades no solo devido a fácies sedimentares, corpos intrusivos, variações de pendor das camadas e outras, que tendem a produzir irregularidades na curva da resistividade aparente, dificultando a sua interpretação (FIGUEIREDO, 1990, p. 100-101).

---

(15). Todas estas técnicas foram utilizadas nas duas fases de prospecção geofísica aplicadas no Campo Militar de S. Jorge.

(16). Estes dispositivos são também geralmente designados por tetraelectródicos.

(17). Os eléctrodos de corrente  $A$  e  $B$ , e os de potencial  $M$  e  $N$ , também são vulgarmente designados por  $C_1$  e  $C_2$ , e  $P_1$  e  $P_2$ , respectivamente.

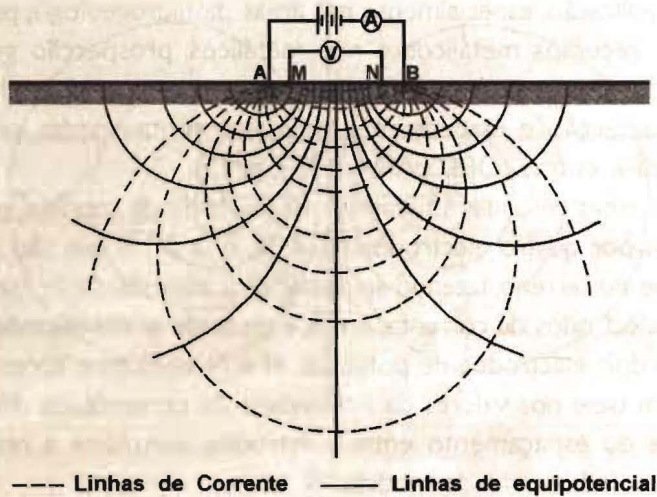
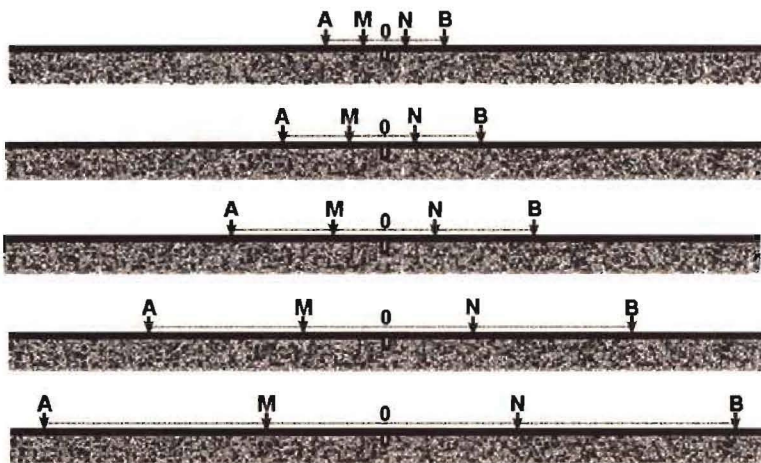


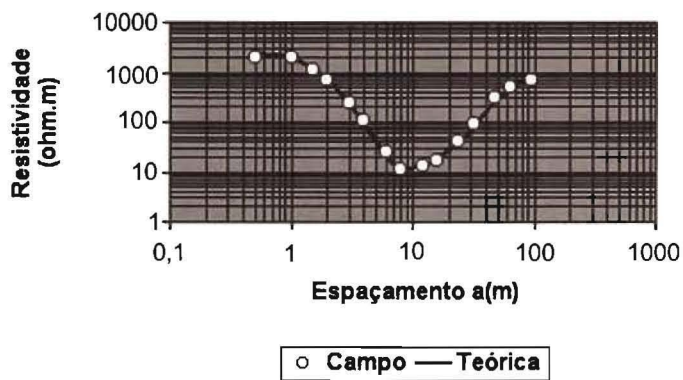
Fig. 1.4 — Esquema exemplificativo da posição dos eléctrodos de corrente, A e B, e de potencial, M e N, num dispositivo de medida utilizado em prospecção geoelectrica.

a) Como se faz uma sondagem eléctrica

A sondagem eléctrica é uma técnica que permite investigar a variação da resistividade eléctrica dos terrenos em profundidade. Para a realização de uma sondagem eléctrica, o centro do dispositivo de medida mantém-se fixo ao longo do ensaio, aumentando-se consecutivamente o espaçamento entre os eléctrodos A e B, o que representa um aumento da profundidade de investigação (Fig. 1.5). A leitura dos valores das resistências obtidas, para os vários espaçamentos utilizados, permite calcular as resistividades aparentes e a partir destas chegar às resistividades do terreno em profundidade (FIGUEIREDO, 1990, p. 90-91).



(a)



(b)

Fig. 1.5 – Esquema de execução de uma sondagem eléctrica (a) e exemplo de uma representação gráfica (b).

Com o conjunto de valores da resistividade aparente<sup>(18)</sup> obtidos anteriormente é criado um modelo teórico, composto por várias camadas de diferentes resistividades eléctricas, onde a curva teórica se deve aproximar o mais possível da curva obtida com os valores de campo<sup>(19)</sup>.

b) Como se fazem os perfis e o mapeamento de resistividade

Os perfis de resistividade são uma técnica dos métodos eléctricos da resistividade que permite investigar a variação lateral da resistividade eléctrica dos terrenos. Nesta técnica, são efectuadas leituras ao longo de uma direcção previamente escolhida, mantendo fixo o espaçamento entre eléctrodos e variando a posição do centro do dispositivo ao longo do perfil, do qual se pretende determinar a resistividade<sup>(20)</sup> (Fig. 1.6). A escolha do espaçamento entre eléctrodos e da dimensão do dispositivo é função da profundidade de investigação pretendida e das características gerais dos terrenos. De um modo geral, esta escolha baseia-se em informações disponíveis, de que destacamos a informação arqueológica já existente e os resultados obtidos através de sondagens eléctricas previamente realizadas.

Quando se pretende fazer um mapeamento de resistividade de uma área, executa-se um conjunto de perfis de resistividade eléctrica, paralelos entre si<sup>(21)</sup>, nas mesmas condições de espaçamento entre eléctrodos, efectuando-se seguidamente a união de pontos de igual valor entre perfis, o que permite obter um conjunto de isolinhas a que vulgarmente chamamos mapeamento de resistividade.

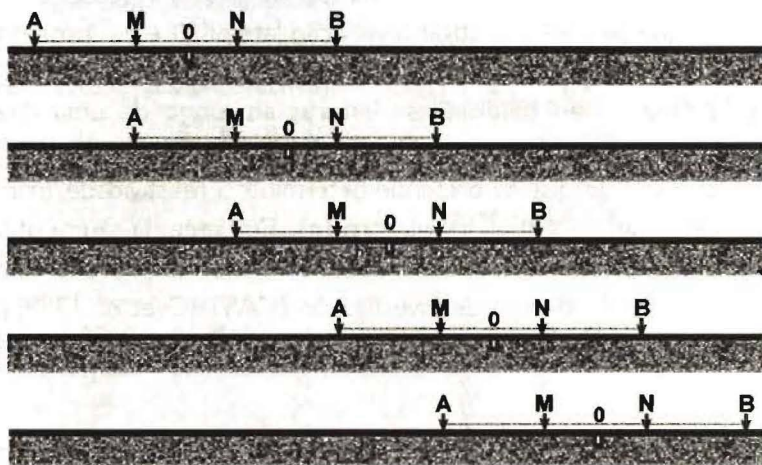
---

(18). Designamos por resistividade aparente o valor da resistividade medido com um dispositivo, que é função do afastamento entre eléctrodos. A resistividade real, que designamos vulgarmente por resistividade, é um valor que expressa a resistividade de uma camada ou estrutura e que aparece associada a uma espessura ou profundidade.

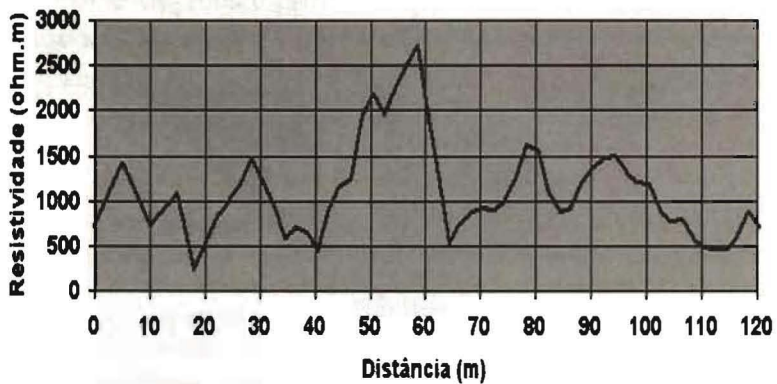
(19). Para a interpretação das sondagens eléctricas foi utilizado um *software* de interpretação automática, desenvolvido pelo autor. A partir de um modelo geoelectrico inicial, fornecido pelo utilizador, este *software* efectua a inversão dos dados da sondagem eléctrica e apresenta um modelo final da interpretação.

(20). Nesta técnica, a profundidade de investigação pode ser considerada constante ao longo do perfil, embora na prática ela seja variável devido à anisotropia do terreno (FIGUEIREDO et al., 1995, p. 190).

(21). De um modo geral, tenta-se sempre que possível fazer os perfis paralelos entre si. No entanto, há situações em que tal não é possível (devido à topografia, construções, vegetação, entre outras) devendo-se nesses casos escolher uma direcção idêntica entre os perfis.



(a)



(b)

Fig. 1.6 – Esquema de execução de um perfil de resistividade eléctrica (a) e exemplo de uma representação gráfica (b).

### c) Como se faz uma secção de resistividade

As secções de resistividade são uma técnica dos métodos eléctricos de resistividade que permite investigar a variação lateral<sup>(22)</sup> e em profundidade da resistividade eléctrica dos terrenos.

Nesta técnica são efectuadas leituras ao longo de uma direcção previamente escolhida, fazendo variar a posição do centro do dispositivo ao longo do perfil do qual se pretende determinar a resistividade, mantendo fixo o espaçamento entre os eléctrodos. De seguida, aumenta-se o espaçamento entre os eléctrodos e repete-se o mesmo perfil, aumentando deste modo a profundidade de investigação (CASTRO *et al.* 1999, p. 42). Esta metodologia está representada, esquematicamente na fig. 1.7.

### 1.3.3. Que dispositivos de medida utilizamos nos métodos eléctricos?

São muitos os arranjos de configurações que podem ser usados no método de prospecção geoeléctrica de resistividades. Whitely (1973) apresentou uma publicação onde foram descritas e comparadas entre si vinte e cinco configurações. Os dispositivos mais usados são: o Schlumberger, o Wenner, o Dipolo-Dipolo e o Quadrado. Todos estes dispositivos de medida são constituídos por quatro eléctrodos<sup>(23)</sup> dispostos linearmente na superfície do terreno, com excepção da configuração Quadrado, onde, como

---

(22). Em terrenos muito anisotrópicos com estruturas complexas, que provocam muitas variações laterais dos valores de resistividade, as sondagens eléctricas e os mapeamentos de resistividade são inadequados, devendo optar-se por fazer secções de resistividade. Os resultados obtidos por esta técnica são projectados na forma de pseudosecções, as quais nos fornecem uma imagem distorcida das estruturas presentes no subsolo. Para essas pseudosecções passarem a ser secções de resistividades e darem a dimensão e profundidade real das estruturas é necessário fazer a sua inversão.

(23). Também existem configurações de três e cinco eléctrodos. Os dispositivos de três eléctrodos, também designados configurações assimétricas, são constituídos na prática por quatro eléctrodos, sendo dois de potencial, *M* e *N*, e dois de corrente, *A* e *B*, estando um destes últimos colocado a uma distância infinita dos outros três eléctrodos. Como exemplos deste tipo de dispositivos temos as configurações Polo-Dipolo e Wenner assimétrico. Um exemplo de um dispositivo de cinco eléctrodos é a configuração de Lee, sendo este composto por dois eléctrodos de corrente e três de potencial. (FIGUEIREDO, 1990, p. 85-86).



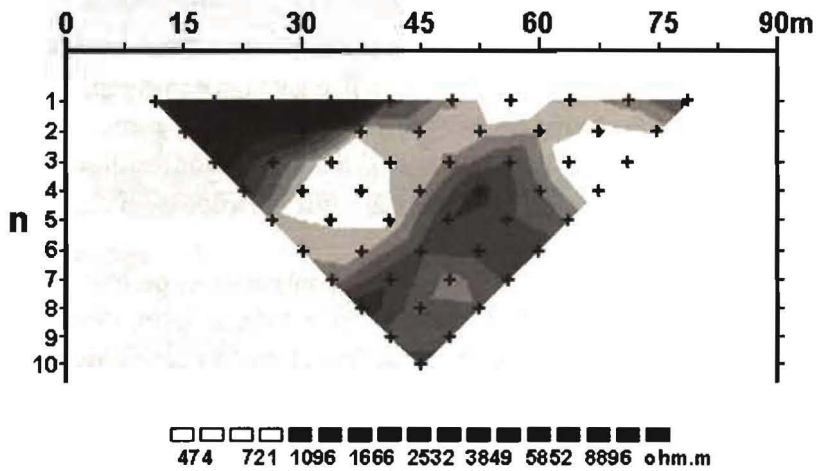
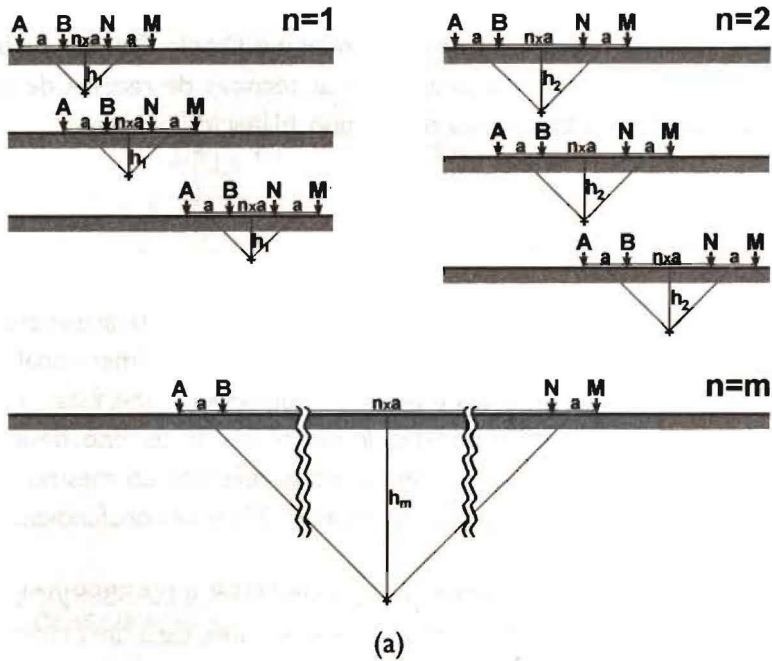


Fig. 1.7 – Esquema de execução de uma secção de resistividade (a) e exemplo da sua representação gráfica (b).

o seu nome indica, os eléctrodos são dispostos na forma de um quadrado. Deste conjunto de dispositivos de medida tetraelectródicos, faremos apenas referência aos dispositivos Wenner tripotencial e o Dipolo-Dipolo, por serem os dispositivos que melhor se adaptavam às técnicas de recolha de dados de campo que foram efectuadas no Campo Militar de S. Jorge.

a) O dispositivo Wenner tripotencial

O estudo de zonas com estruturas geológicas ou arqueológicas complexas, isto é, estruturas de carácter direccional e bidimensional levou ao desenvolvimento das técnicas tripotenciais de resistividade. Estas técnicas baseiam-se na leitura de três medidas de resistência do terreno, designadas por resistências alfa, beta e gama, sendo estas referidas ao mesmo ponto do terreno à superfície, mas tendo, no entanto, diferentes profundidades de investigação<sup>(24)</sup>.

O dispositivo Wenner tripotencial (CARPENTER e HABBERJAM, 1956, *passim*) é um conjunto de três configurações similares, cada uma constituída por quatro eléctrodos colocados linearmente e equiespaçados de uma distância que vamos designar por  $a$ . As configurações de eléctrodos deste dispositivo dependem da disposição dos eléctrodos no solo, sendo estas configurações designadas por alfa,  $\alpha$ , beta,  $\beta$ , e gama,  $\gamma$ , como representadas na fig. 1.8. Estas três configurações permitem obter, para o mesmo ponto de medida, três resistividades aparentes<sup>(25)</sup> designadas por resistividades alfa,  $\rho_{\alpha}$ , beta,  $\rho_{\beta}$ , e gama,  $\rho_{\gamma}$ , que serão idênticas numa situação de homogeneidade do meio.

As resistências correspondentes às três configurações de eléctrodos do dispositivo Wenner tripotencial (CARPENTER e HABBERJAM, 1956, *passim*) respectivamente  $R_{\alpha}$ ,  $R_{\beta}$  e  $R_{\gamma}$ , podem ser calculadas a partir das seguintes equações, 1.4, 1.5 e 1.6 obtendo-se:

(24). Segundo ACWORTH e GRIFFITHS (1985) as profundidades de investigação para as três configurações são dadas pelas seguintes equações:  $z_{\alpha}=0,519 \cdot a$ ,  $z_{\beta}=0,416 \cdot a$  e  $z_{\gamma}=0,594 \cdot a$ .

(25). Com estas três resistividades medidas por cada ponto de amostragem, constroem-se os mapas de isolinhas correspondentes, sendo por isso apresentados três mapas por cada área prospectada com este dispositivo de medida no Campo Militar de S. Jorge.

$$R_{\alpha} = \frac{\rho_{\alpha}}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) - \left( \frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right) \right] = \frac{\rho_{\alpha}}{2\pi a}, \quad (1.4)$$

$$R_{\beta} = \frac{\rho_{\beta}}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{3a} - \frac{1}{2a} \right) - \left( \frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right) \right] = \frac{\rho_{\beta}}{6\pi a}, \quad (1.5)$$

$$R_{\gamma} = \frac{\rho_{\gamma}}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{3a} \right) - \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{a} \right) \right] = \frac{\rho_{\gamma}}{3\pi a}. \quad (1.6)$$

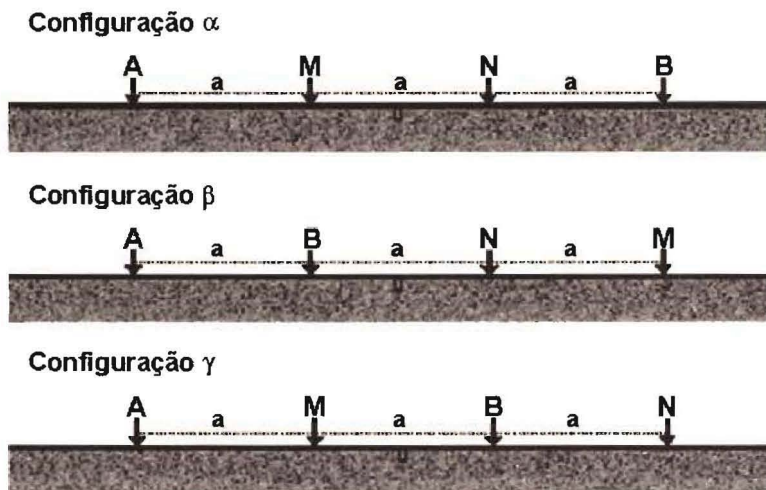


Fig. 1.8 – Localização espacial dos eléctrodos de corrente, A e B, e de potencial, M e N, nas configurações  $\alpha$ ,  $\beta$ , e  $\gamma$  do dispositivo Wenner tripotencial.

Aplicando os princípios da reciprocidade e da sobreposição (KELLOG, 1953, *passim*) para um meio homogêneo e isotrópico, é possível relacionar as equações 1.4, 1.5 e 1.6 entre si do seguinte modo:

$$R_{\alpha} = R_{\beta} + R_{\gamma}. \quad (1.7)$$

As três resistências obtidas com o dispositivo Wenner tripotencial permitem confirmar a validade das leituras de campo, evitando que se cometam, nessas leituras, erros<sup>(26)</sup> superiores aos limites impostos.

Na prática, a igualdade da equação 1.7 não se verifica, havendo uma diferença que permite quantificar os erros das medidas de campo. Essa diferença designa-se por desvio e é dada pela equação seguinte:

$$DESVIO = R_{\alpha} - R_{\beta} - R_{\gamma}. \quad (1.8)$$

Outro parâmetro utilizado para quantificar o erro associado a cada conjunto de leituras de campo, vulgarmente designado por erro tripotencial percentual (HABBERJAM, 1979, p. 20), é a relação calculada através da equação 1.9:

$$E = \frac{R_{\alpha} - R_{\beta} - R_{\gamma}}{|R_{\alpha}| + |R_{\beta}| + |R_{\gamma}|} \cdot 100. \quad (1.9)$$

Estabeleceu-se o valor de  $\pm 3\%$  como limite aceitável do erro tripotencial<sup>(27)</sup>. Quando o erro tripotencial apresenta um valor superior ao

<sup>(26)</sup>. Esses erros poderão ser provocados por deficiências nos aparelhos de medida, implantação incorrecta dos eléctrodos no terreno, polarização dos eléctrodos e resistências de contacto elevadas. Este último problema é o que ocorre com mais frequência, podendo ser facilmente evitado enterrando bem os eléctrodos no solo ou regando a zona onde o eléctrodo vai ser colocado.

<sup>(27)</sup>. Este valor para o erro tripotencial é estabelecido pelo geofísico que faz o trabalho de campo e tem a ver com a qualidade de dados que se exige. Há autores que admitem como erros toleráveis valores até 10%.

estipulado é porque existe um erro de leitura, sendo necessário repeti-la até obter um valor dentro dos limites impostos.

Os erros cometidos na execução das medidas de campo são distribuídos pelas resistências medidas proporcionalmente aos seus valores (HABBERJAM, 1979, p. 25), originando as resistências corrigidas através das equações seguintes:

$$(R_{\alpha})_C = R_{\alpha} - \frac{E}{100} \cdot |R_{\alpha}|, \quad (1.10)$$

$$(R_{\beta})_C = R_{\beta} + \frac{E}{100} \cdot |R_{\beta}|, \quad (1.11)$$

$$(R_{\gamma})_C = R_{\gamma} + \frac{E}{100} \cdot |R_{\gamma}|. \quad (1.12)$$

As resistividades  $\alpha$ ,  $\beta$ , e  $\gamma$  são obtidas a partir da conjugação das equações 1.4, 1.5 e 1.6 com as equações 1.10, 1.11 e 1.12, obtendo-se:

$$\rho_{\alpha} = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot (R_{\alpha})_C. \quad (1.13)$$

$$\rho_{\beta} = 6 \cdot \pi \cdot a \cdot (R_{\beta})_C. \quad (1.14)$$

$$\rho_{\gamma} = 3 \cdot \pi \cdot a \cdot (R_{\gamma})_C. \quad (1.15)$$

onde  $\rho_{\alpha}$ ,  $\rho_{\beta}$  e  $\rho_{\gamma}$  são, respectivamente, as resistividades aparentes para as configurações  $\alpha$ ,  $\beta$ , e  $\gamma$ ,  $(R_{\alpha})_C$ ,  $(R_{\beta})_C$  e  $(R_{\gamma})_C$  são as resistências corrigidas alfa, beta e gama e  $a$  é o espaçamento electródico. A escolha do espaçamento electródico,  $a$ , a utilizar nos trabalhos de campo depende, essencialmente, da profundidade que se pretende alcançar e do contraste de resistividades das camadas que constituem o solo.

Das três resistividades obtidas com o dispositivo Wenner tripotencial, podem ser estabelecidas relações entre as resistividades, que permitem diagnosticar possíveis heterogeneidades<sup>(28)</sup> no terreno. As relações estabelecidas são as seguintes:

- entre as resistividades alfa e beta,  $\rho_\alpha/\rho_\beta$ ;
- entre as resistividades alfa e gama,  $\rho_\alpha/\rho_\gamma$ ;
- entre as resistividades beta e gama,  $\rho_\beta/\rho_\gamma$ .

Para um meio homogéneo e isotrópico, a relação  $\rho_\beta/\rho_\gamma$  será igual à unidade, para um meio heterogéneo e anisotrópico a relação  $\rho_\beta/\rho_\gamma$  será diferente da unidade. A relação entre as resistividades beta e gama,  $\rho_\beta/\rho_\gamma$ <sup>(29)</sup> tem-se revelado, no caso do dispositivo Wenner tripotencial, particularmente eficaz para a localização de heterogeneidades laterais (ACWORTH e GRIFFITHS, 1985, p. 873).

#### b) O Dispositivo Dipolo-Dipolo

O dispositivo Dipolo-Dipolo<sup>(30)</sup>, representado na fig. 1.9, é constituído por quatro eléctrodos colocados linearmente, com a distância entre os eléctrodos de corrente, A e B, igual à distância entre os eléctrodos de potencial, N e M, denominada *a*, e sendo a distância entre os dois conjuntos de eléctrodos múltiplo inteiro desta e designada por *n.a*. Para aumentarmos

<sup>(28)</sup>. As heterogeneidades no terreno podem ser de carácter geológico ou devido a estruturas antrópicas, que no nosso caso seriam as covas de lobo e os fossos usados no sistema defensivo da Batalha de Aljubarrota.

<sup>(29)</sup>. Com esta relação entre resistividades medidas por ponto de amostragem constrói-se o mapa correspondente. Nas três áreas do Campo Militar de S. Jorge, onde foi feita a prospecção geofísica com este dispositivo de medida, são apresentados os respectivos mapas das relações  $\rho_\beta/\rho_\gamma$ .

<sup>(30)</sup>. Este dispositivo de medida é vulgarmente utilizado para fazer as secções de resistividade, podendo, no entanto, ser também utilizado o dispositivo Wenner.

a profundidade de investigação é necessário aumentar a distância  $n.a$ , fazendo  $n=1,2,3, \dots m^{(31)}$ .

A representação gráfica dos valores é feita no ponto  $\pm$ , obtido pela intercepção dos dois segmentos de rectas traçados a  $45^\circ$ , a partir dos pontos definidos pelas semi-distâncias entre  $\overline{AB}$  e  $\overline{NM}$  (fig. 1.9).

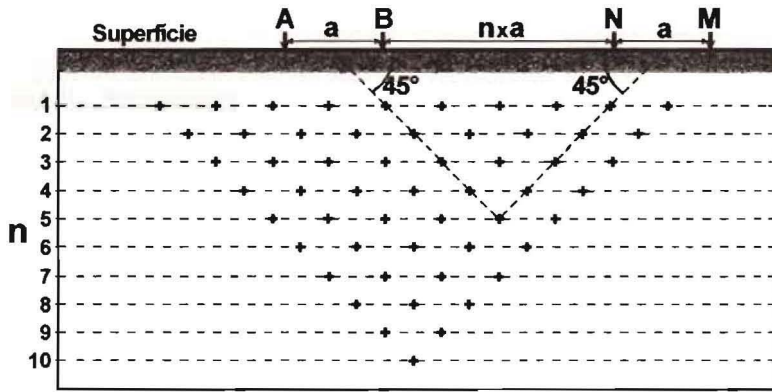


Fig. 1.9 – Localização espacial dos eléctrodos de corrente, A e B, e de potencial, N e M, do dispositivo Dipolo-Dipolo. O ponto  $\pm$  corresponde ao local de medida.

<sup>(31)</sup>. Devido à geometria da recolha dos dados de campo feita com este dispositivo de medida, a representação gráfica dos valores tem uma geometria conforme se ilustra na fig. 1.9.

Neste dispositivo de medida, o valor da resistividade aparente, em cada ponto, é calculado pela equação seguinte:

$$\rho_a = \pi \cdot n \cdot (n+1) \cdot (n+2) \cdot a \cdot R, \quad (1.16)$$

onde  $R$  é a resistência medida,  $a$  é o espaçamento entre os eléctrodos  $\overline{AB}$  e  $\overline{NM}$  e  $n=1, 2, 3, \dots, m$ .

Na fase de processamento de dados foi utilizada uma folha de cálculo para determinação das resistividades e um programa de computador específico<sup>(32)</sup> para inversão e modelação das secções de resistividade.

O algoritmo de inversão utilizado no programa de computador já referido baseia-se no Método dos Mínimos Quadrados. A partir dos dados da resistividade aparente introduzidos, é possível calcular por sequências de iterações um modelo bidimensional. Este método baseia-se na equação seguinte (LOKE e BARKER, 1996, p. 504):

$$\left( J_i^T \cdot J_i + \lambda_i \cdot C^T \cdot C \right) \cdot P_i = J_i^T \cdot g_i, \quad (1.17)$$

onde:

- $i$  – número da iteração;
- $J_i$  – matriz Jacobiana das derivadas parciais;
- $J_i^T$  – matriz transposta de  $J_i$ ;
- $\lambda_i$  – factor de amortecimento;
- $C$  – matriz do filtro de alisamento bidimensional;
- $C^T$  – matriz transposta de  $C$ ;
- $P_i$  – vector perturbação do modelo;
- $g_i$  – vector discrepância.

<sup>(32)</sup>. A inversão dos dados de campo foi feita com o *software* RES2DINV, que permite obter os modelos de resistividade provocados pelas estruturas existentes no subsolo (LOKE, 1999, p. 8).



O modelo a duas dimensões utilizado neste programa divide a subsuperfície em blocos rectangulares. O objectivo do programa é a determinação das resistividades de cada um destes blocos, de modo a produzir a pseudosecção de resistividade aparente que melhor se ajuste às medidas de campo. O método de optimização tenta, basicamente, reduzir a diferença entre os valores de resistividade aparente medidos e os calculados, ajustando a resistividade dos blocos no modelo (CASTRO *et al.*, 1999, p. 43).

#### 1.4. Enquadramento geomorfológico e aspectos geológicos

A área que constitui o Campo Militar de S. Jorge é uma zona aplanada com uma altitude compreendida entre 150 e 160 m, limitada a Este pela ribeira do Vale da Mata (ou do Carqueijal) e a Oeste pela ribeira do Vale de Madeiros, como pode ser observado na Carta Militar n.º 308, escala 1:25 000, Porto de Mós (Fig. INT. 1). O elevado número de poços existentes no local permite também concluir da existência de água abundante nos aquíferos superficiais.

As áreas prospectadas são planas e com pouca vegetação, estando duas delas inseridas no jardim anexo ao Museu Militar de S. Jorge. No entanto, a área onde foi efectuada a maior parte dos trabalhos de prospecção geofísica localiza-se fora do jardim, a Oeste da Ermida, num terreno particular, onde a vegetação era mais abundante, tendo sido necessário cortar parte dela de modo a permitir a execução dos trabalhos.

A geologia da região em estudo encontra-se descrita na Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000 folha 27-A, Vila Nova de Ourém. Segundo esta fonte, o Campo Militar de S. Jorge encontra-se localizado sobre um depósito de idade Pliocénica, constituído essencialmente por areias e grés argilosos com calhaus rolados, geralmente bem arredondados (ZBYSZEWSKI *et al.* 1974, p. 8). Esta camada é sub-horizontal e apresenta uma espessura estimada em cerca de 5 m, dos quais os 0,80 m superiores são considerados solo arável. Por baixo deste depósito encontra-se uma formação constituída por arenitos argilosos mais ou menos consolidados com intercalações de argila, pertencente ao Jurássico Superior. Estas camadas apresentam direcção N18°E inclinando cerca de 10° para Oeste.

### 1.5. Metodologia utilizada na recolha de dados e interpretação de resultados

Os trabalhos de prospecção geofísica distribuíram-se por duas fases distanciadas entre si de cerca de quatro anos<sup>(33)</sup>. Na fig. 1.10 está representada a localização das diversas zonas estudadas.

Numa primeira abordagem dos trabalhos em vista, programou-se utilizar o método electromagnético de prospecção pelas razões já apresentadas no Cap. 1.3.1. Então, na tal 'manhãzinha de 2 de Março de 1995', como o nosso amigo e colega João Gouveia Monteiro já referiu, demos por iniciada a primeira fase dos trabalhos de prospecção geofísica com a realização de um perfil electromagnético, designado PEM, com 100 m de comprimento, tendo sido recolhidos um total de 200 valores.

Como os resultados da prospecção electromagnética com os equipamentos disponíveis não permitiam atingir os objectivos pretendidos, nas restantes áreas de estudo foi utilizado o método eléctrico de resistividades. A prospecção continuou então, em três áreas situadas, quer no jardim anexo ao Campo Militar de Aljubarrota, quer em terrenos agrícolas das proximidades, e foram designadas por ÁREA 1, ÁREA 2 e ÁREA 3, com superfícies de 20x35 m, 25x14 m e 15x4,5 m, respectivamente. A sua localização geográfica pode ser observada na fig. 1.10. O dispositivo de medida utilizado nesta fase foi o Wenner tripotencial, e foram medidos um total de 2004 valores de resistência eléctrica, em 668 pontos de medida.

Na segunda fase, desenvolvida em Maio e Junho de 1999, pretendeu-se completar os trabalhos de prospecção geofísica efectuados na primeira fase (FIGUEIREDO, 1995, *passim*). Os trabalhos de prospecção efectuados nesta fase desenvolveram-se na área designada por ÁREA 1 (Fig. 1.10), por ser esta a área que apresentava anomalias mais evidentes, que poderiam estar relacionadas com as estruturas procuradas. Foram então efectuadas 3 secções de resistividade eléctrica ao longo de perfis dentro da ÁREA 1, designadas por P4, P8 e P15, cada uma com o comprimento de 40 m (FIGUEIREDO, 1999, *passim*). Neste caso, foi utilizado o dispositivo Dipolo-Dipolo, tendo

---

<sup>(33)</sup>. A primeira fase do trabalho de prospecção geofísica teve início em Março e terminou em Junho de 1995. Nesta fase foram despendidos seis dias de trabalho de campo. A segunda fase decorreu em Maio e Junho de 1999 e o trabalho de campo demorou quatro dias a ser completado.

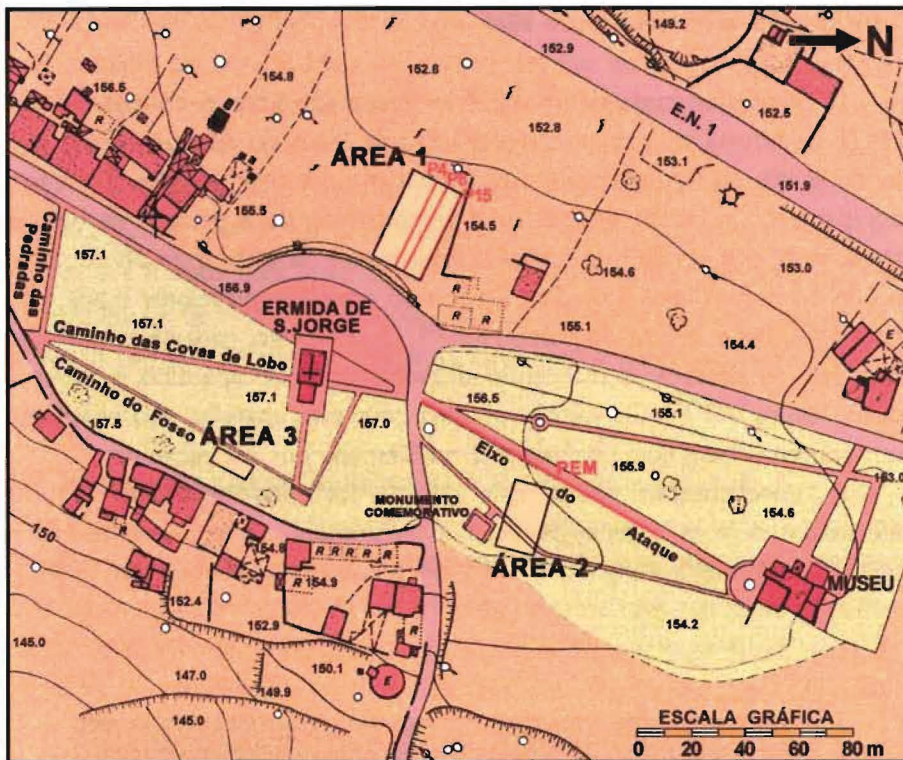


Fig. 1.10 – Planta de localização dos trabalhos de prospecção geofísica efectuada nas duas fases (adaptada da carta topográfica do concelho de Porto de Mós, escala 1:10 000).

Foram recolhidos um total de 1419 valores de resistência eléctrica, o que permitiu localizar e quantificar a presença de estruturas em profundidade.

Para a realização do trabalho de campo, nas duas fases de prospecção, foram utilizados diversos equipamentos, dos quais destacamos os principais:

- condutímetros GEONICS EM31 e GEONICS EM38;
- resistímetro ABEM SAS300B;
- eléctrodos de aço, folheados a cobre;
- caixa de comutação para dispositivos tripotenciais;
- quatro bobines com cabos eléctricos e garras;
- material diverso de apoio.

### 1.5.1. O perfil electromagnético PEM

O perfil electromagnético PEM foi efectuado com o condutímetro EM31 na berma do caminho designado por "Eixo do Ataque" (Fig. 1.10), tendo as leituras sido efectuadas de 1 em 1 m, no sentido SW-NE. Com este equipamento, o ponto de medida é sempre referido à posição da bobine transmissora, Tx, sendo esta colocada inicialmente na vertical do ponto sobre o qual queremos fazer a medida. Depois do operador posicionar o aparelho no ponto, faz a leitura do valor; HD<sup>(34)</sup>. De imediato, roda-se o aparelho 90°, sem se deslocar e mantendo o alinhamento do aparelho, e faz-se a outra leitura, VD<sup>(35)</sup>. Os valores obtidos com este aparelho são expressos em condutividade, cuja unidade é o miliSiemens por metro, mS/m.

A representação gráfica dos valores correspondentes às leituras efectuadas com as bobines verticais e horizontais, respectivamente HD e VD do perfil electromagnético PEM, encontra-se apresentada na fig. 1.11.

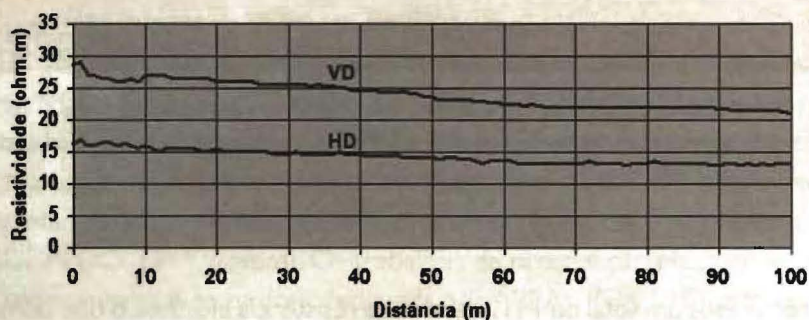


Fig. 1.11 – Representação gráfica do perfil electromagnético PEM.

<sup>(34)</sup>. A designação HD significa "Horizontal Dipole". Considera-se que o dipolo é horizontal quando as bobines estão na posição vertical, em relação ao solo, sendo neste caso a profundidade de investigação mínima, segundo OGILVY *et al.* (1991) cerca de 2,2 m.

<sup>(35)</sup>. A designação VD significa "Vertical Dipole". Considera-se que o dipolo é vertical quando as bobines estão na posição horizontal, em relação ao solo, sendo neste caso a profundidade de investigação máxima, segundo OGILVY *et al.* (1991) cerca de 4,6 m.

Da análise do gráfico verifica-se que as leituras VDs têm maior condutividade do que as HDs, ou seja, o terreno ao longo deste perfil é mais condutivo em profundidade. Esta observação está de acordo com a geologia local, que nos diz que a camada mais profunda apresenta composição argilosa, isto é, de acordo com a tabela 1.1, menos resistiva (mais condutiva) que as camadas mais superficiais. Verifica-se, também, que o terreno é menos condutivo para NE, isto é, à medida que caminhamos na direcção da Ermida para o Museu, o que nos permite dizer que nesse sentido a camada argilosa se encontra cada vez a maior profundidade.

### 1.5.2. Sondagens eléctricas, mapeamentos e secções de resistividade

Não tendo sido possível a utilização do método electromagnético, optou-se por aplicar o método eléctrico de resistividades, tendo-se utilizado o dispositivo Wenner tripotencial na execução das sondagens eléctricas e dos perfis de resistividade da primeira fase e o dispositivo Dipolo-Dipolo nas secções de resistividade da segunda fase.

Com o dispositivo Wenner tripotencial foram efectuadas as configurações  $\alpha$ ,  $\beta$ , e  $\gamma$ , o que representa a obtenção de três leituras por cada ponto de medida. As leituras das resistências  $R_{\alpha}$ ,  $R_{\beta}$  e  $R_{\gamma}$  foram feitas recorrendo à utilização de uma caixa comutadora<sup>(36)</sup>. Após a leitura das três resistências, calculou-se o erro tripotencial percentual. Quando o valor desse erro era superior ao valor estabelecido inicialmente ( $\pm 3\%$ ), repetiu-se a leitura, depois de se ter verificado se o erro era devido a algum problema no resistímetro, cabos, eléctrodos e ligações entre eles. Caso o erro fosse inferior ao valor estabelecido, passava-se ao ponto seguinte, repetindo novamente o procedimento já descrito.

---

<sup>(36)</sup>. A caixa comutadora é um dispositivo que permite trocar a posição dos eléctrodos no terreno, de modo a permitir fazer as configurações  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  para o dispositivo Wenner tripotencial, através da manipulação de um comutador eléctrico, sem se efectuar a troca física dos eléctrodos.

a) ÁREA I

A área designada por ÁREA I foi seleccionada para prospecção por se encontrar no prolongamento do Fosso B, localizado lateralmente à Ermida (PAÇO, 1959, Fig. n.º 2): v. Fig. INT. 2. Com este trabalho de prospecção esperava-se encontrar uma possível continuação daquele fosso, visto que nesta área nunca tinha sido efectuada nenhuma escavação. Esta área tem uma superfície de 700 m<sup>2</sup> (20 m×35 m), tendo os trabalhos de campo da primeira fase sido efectuados em dois dias, devido à sua grande extensão. Na fig. 1.12(a) está representada a localização dos trabalhos de prospecção efectuados nesta área: a sondagem eléctrica SEI, as secções de resistividade P4, P8 e P15, feitos com o dispositivo Dipolo-Dipolo e o mapeamento de resistividade  $\beta$ , obtido a partir do conjunto de perfis.

A sondagem eléctrica SEI foi feita no ponto X=0,0 m, Y=10,0 m, com orientação NE-SW<sup>(37)</sup>, tendo sido utilizado o dispositivo Wenner<sup>(38)</sup>. Esta sondagem teve como objectivo pesquisar a profundidade das camadas nesta zona e escolher o espaçamento entre eléctrodos que devia ser utilizado para a realização dos perfis.

A representação e interpretação da sondagem eléctrica SEI, fig. 1.12(b) permite dizer que o terreno neste local, para a profundidade de investigação alcançada, é constituído por 2 camadas (Tabela 1.2).

Tabela 1.2 - Parâmetros calculados para a sondagem eléctrica SEI.

Camada	Espessura (m)	Profundidade (m)	Resistividade (ohm.m)
1	0,81	0,81	223,2
2	Indeterminada	Indeterminada	51,8

<sup>(37)</sup>. A escolha deste ponto para fazer a sondagem eléctrica foi aleatória, devendo escolher-se, sempre que possível, um local em que a estrutura do terreno esteja virgem, para se obter uma informação que não induza em erros.

<sup>(38)</sup>. Entenda-se por dispositivo Wenner a configuração alfa (AMNB). A interpretação das sondagens eléctricas feitas com este dispositivo referem-se sempre a esta configuração. No entanto, para controlo da qualidade de dados de campo, foram feitas as três configurações.

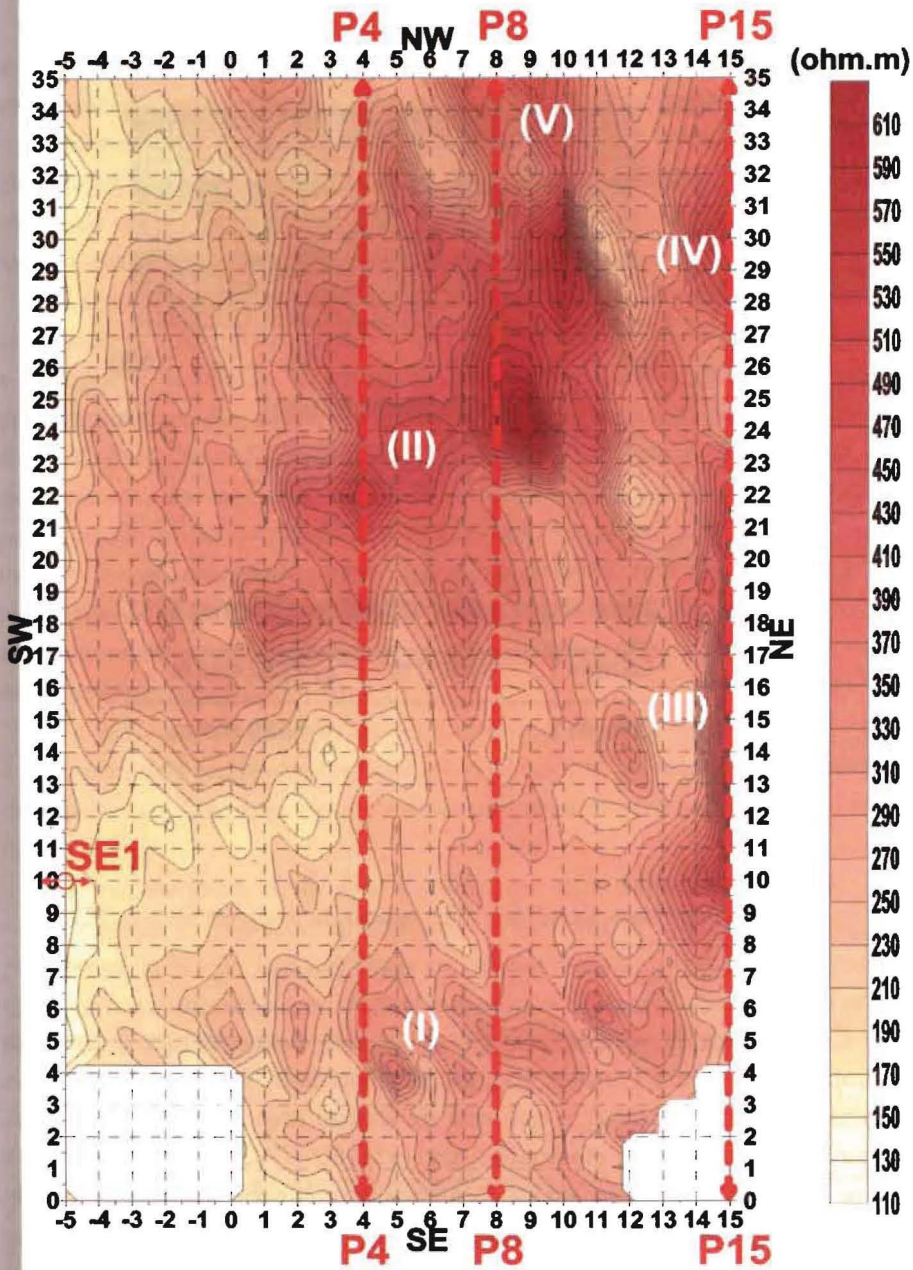


Fig. I.12 (a) – Localização dos trabalhos de prospecção geofísica efectuados na ÁREA I: sondagem eléctrica SE1, secções de resistividade P4, P8 e P15 e mapeamento da resistividade  $\beta$ .



#### Interpretação teórica da Sondagem Eléctrica SE1

<b>Camada 1</b>	<b><math>h_1=0,81</math> m</b>	<b><math>\rho_1=223,2</math> ohm.m</b>
-----------------	--------------------------------	--

<b>Camada 2</b>		<b><math>\rho_2= 51,8</math> ohm.m</b>
-----------------	--	--

Fig.1.12 (b) – Representação gráfica e interpretação da sondagem eléctrica SE1.

Como se pode verificar, a resistividade das duas camadas é bastante distinta, o que leva a concluir que, em profundidade, as camadas são mais argilosas (menos resistivas), o que está de acordo com a geologia da região. Segundo as escavações efectuadas em 1958-60 (PAÇO, 1959, *passim*), a parte superior dos fossos estava localizada a uma profundidade média de 0,80 m e apresentava uma fundura média de 0,80 m, pelo que a sua base encontrar-se-ia a cerca de 1,6 m de profundidade. Assim, seria de prever que, se os fossos e covas de lobo existissem nesta área, estariam localizados abaixo de uma profundidade média de 0,80 m, isto é, estariam na Camada 2, que tem resistividade média de 51,8 ohm.m.



A escolha do espaçamento entre eléctrodos foi então efectuada tendo em consideração esta profundidade, de modo a que a profundidade de investigação pudesse alcançar a zona onde se esperava encontrar os fossos<sup>(39)</sup>.

Os perfis de resistividade foram feitos com um espaçamento entre eléctrodos de 1,5 m, de modo a atingir uma profundidade de investigação média da ordem dos 0,75 a 1 m, ou seja, de modo a interceptar um possível fosso, caso existisse, permitindo a sua localização.

A área inicialmente estabelecida foi de cerca de 10 m x 10 m, pelo que os primeiros três perfis tiveram um comprimento de 12 m (perfil 0, 1 e 2) e o seguinte (perfil 3) de 13 m. Devido a uma possível anomalia que se prolongava para Sul, evidenciada nos perfis anteriores, os restantes foram executados com um comprimento de 19 ou 20 m (entre -5 m e +15 m), dependendo da vegetação existente e da presença do muro que limita a propriedade onde o trabalho foi efectuado. Por outro lado, os sete perfis iniciais foram efectuados com um espaçamento, entre si, de 1 m e os restantes de 2 m. A alteração do afastamento entre perfis foi devido a limitações de tempo e porque a anomalia permanecia visível com o novo espaçamento entre perfis, fig. 1.12(a).

As leituras das resistências ao longo dos perfis foram feitas de 1 em 1 m, tendo sido recolhidas medidas em 418 pontos, no total de 1254 valores de resistências. Os perfis foram orientados com a direcção aproximadamente NE-SW<sup>(40)</sup>.

O mapeamento desta área foi feito em dois dias, com condições de humidade do terreno completamente diferentes, o que originou alguns problemas na ligação dos trabalhos efectuados nesses dois dias. No primeiro dia, o terreno encontrava-se molhado e os valores das resistividades variaram entre 60 e 340 ohm.m. No segundo dia de trabalho de campo, o terreno

---

<sup>(39)</sup>. A escolha do espaçamento entre eléctrodos a utilizar nos perfis de resistividade é função da profundidade de investigação pretendida, isto é, da zona a ser atravessada pelas linhas de corrente, conforme ilustra a fig. 1.4, não devendo ser, nem demasiado grande, nem demasiado pequeno, para não correr o risco de as linhas de corrente não evidenciarem a anomalia.

<sup>(40)</sup>. Os perfis foram marcados com a direcção NE-SW, tendo sido feitos de Sul para Norte. Os pontos cardeais que se encontram nas figuras referentes aos mapas de resistividade são apenas indicadores aproximados da orientação dos mapas.

encontrava-se mais seco, pelo que os valores das resistências medidas foram superiores aos obtidos no primeiro dia de trabalho, entre 50 e 1000 ohm.m, como seria de esperar<sup>(41)</sup>. O perfil 20 foi repetido em ambos os dias, para permitir a correlação entre as duas zonas e a ligação entre elas.

As zonas anómalas são evidentes nos três mapas de resistividade obtidos. No entanto, essas anomalias são mais nítidas no mapa da resistividade  $\beta$ , sendo esse o mapa que vamos usar para as localizar.

Da análise dos mapas das resistividades  $\beta$  (Fig. 1.12(a)),  $\alpha$  e  $\gamma$  (Fig. 1.13 (a) e (b)), podemos observar as anomalias seguintes:

- (I) - Na parte SE dos mapas existe uma zona anómala de resistividade média, com o mesmo alinhamento dos perfis.
- (II)<sup>(42)</sup> - Na zona NW dos mapas pode observar-se uma anomalia de grandes dimensões e muito resistiva.
- (III) - Na parte NE do mapa pode observar-se uma zona anómala resistiva, localizada na zona limite da carta<sup>(43)</sup>.
- (IV) e (V) - São zonas anómalas nos limites da carta, bastante resistivas.

No mapa da relação  $\rho_{\beta}/\rho_{\gamma}$ , fig. 1.13 (c), podemos observar duas situações distintas, apresentando a parte SE do mapa valores da relação  $\rho_{\beta}/\rho_{\gamma}$  inferiores aos observados na parte NW do mapa. Esta diferença é explicada por anisotropias do terreno, que provocam diferenças laterais nos valores da resistividade mais acentuadas. Essas diferenças laterais de resistividade podem ser interpretadas como possíveis estruturas.

---

<sup>(41)</sup>. Como se pode observar no intervalo de resistividades observadas nos dois dias, a variação maior de resistividade verifica-se para os valores superiores (340 e 1000 ohm.m), o que se explica por esta ser a resistividade da camada superior e a que está sujeita a maiores variações do teor em água. A camada seguinte, mais argilosa, está sujeita a menos variações de teor em água, logo apresenta um valor de resistividade mais constante.

<sup>(42)</sup>. Esta anomalia, além de ser muito resistiva, é caracterizada pelo contraste elevado entre os seus valores de resistividade, cerca de 550 ohm.m, e o espaço circundante, que tem uma resistividade média de 250 ohm.m (Fig. 1.12(a)).

<sup>(43)</sup>. Esta anomalia devia ter sido melhor estudada, prolongando o comprimento dos perfis. No entanto, tal não foi possível devido à existência de um muro, que condicionou o prolongamento dos trabalhos.

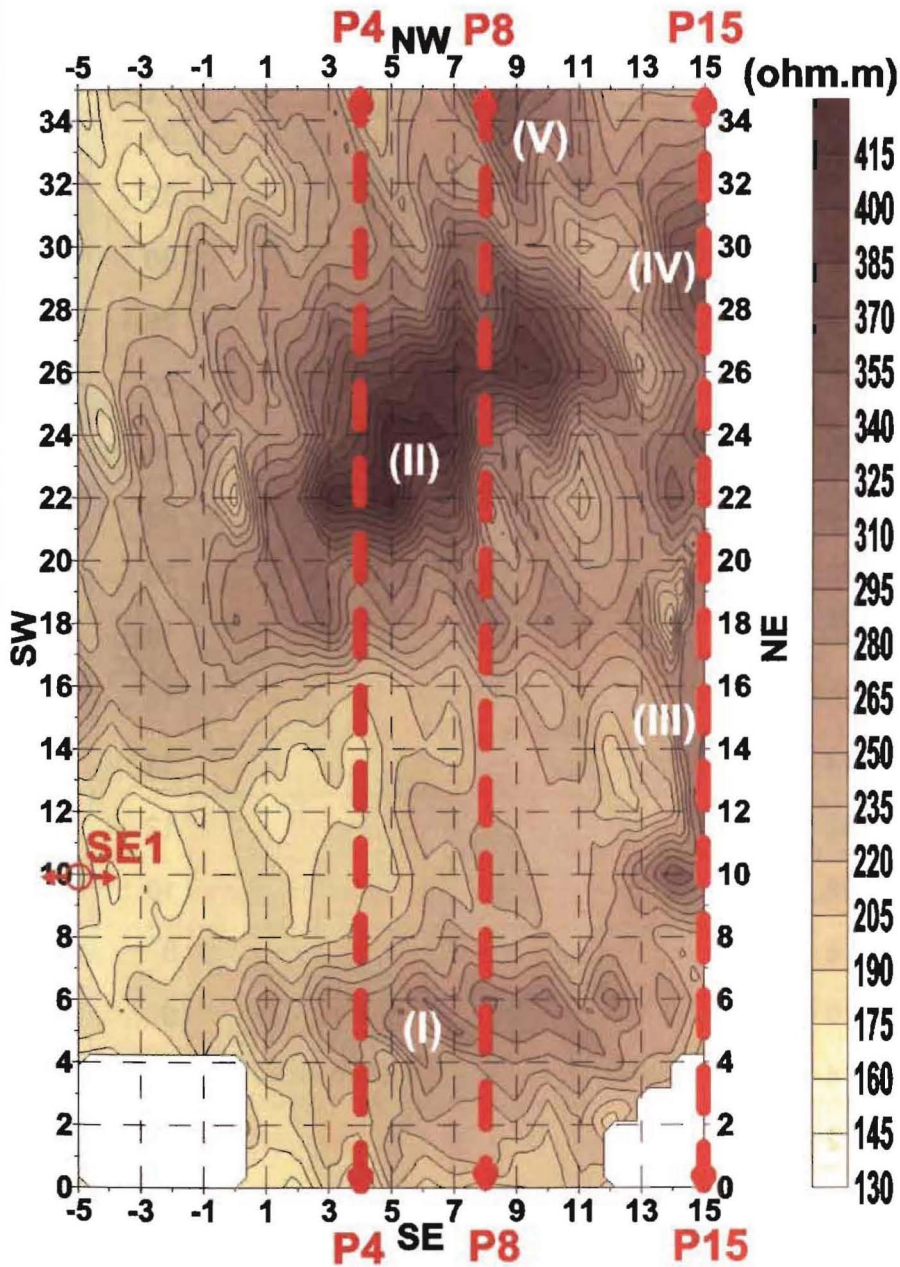


Fig. I.13 (a) – Mapeamento das resistividades  $\alpha$ .

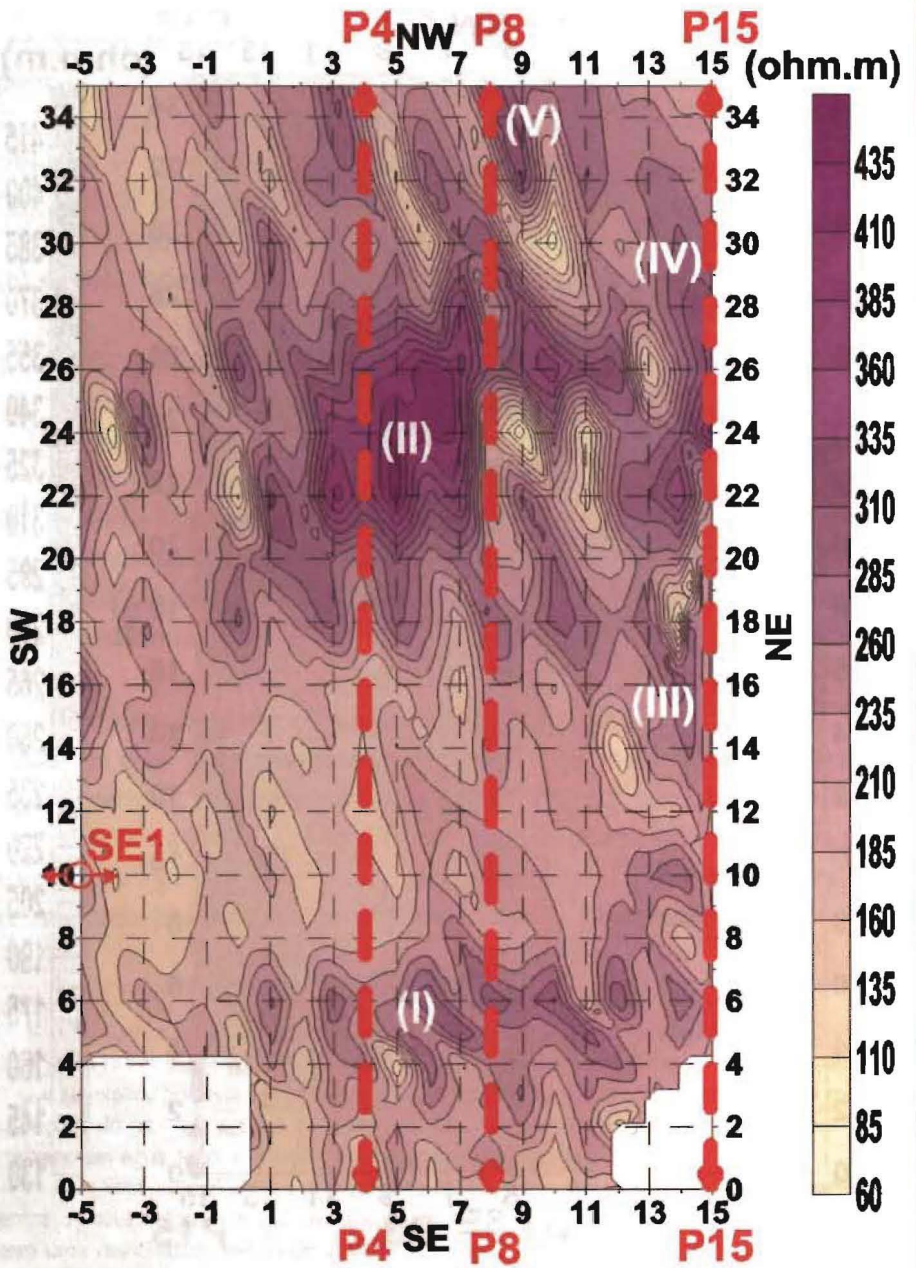


Fig. 1.13 (b) - Mapeamento das resistividades  $\gamma$ .

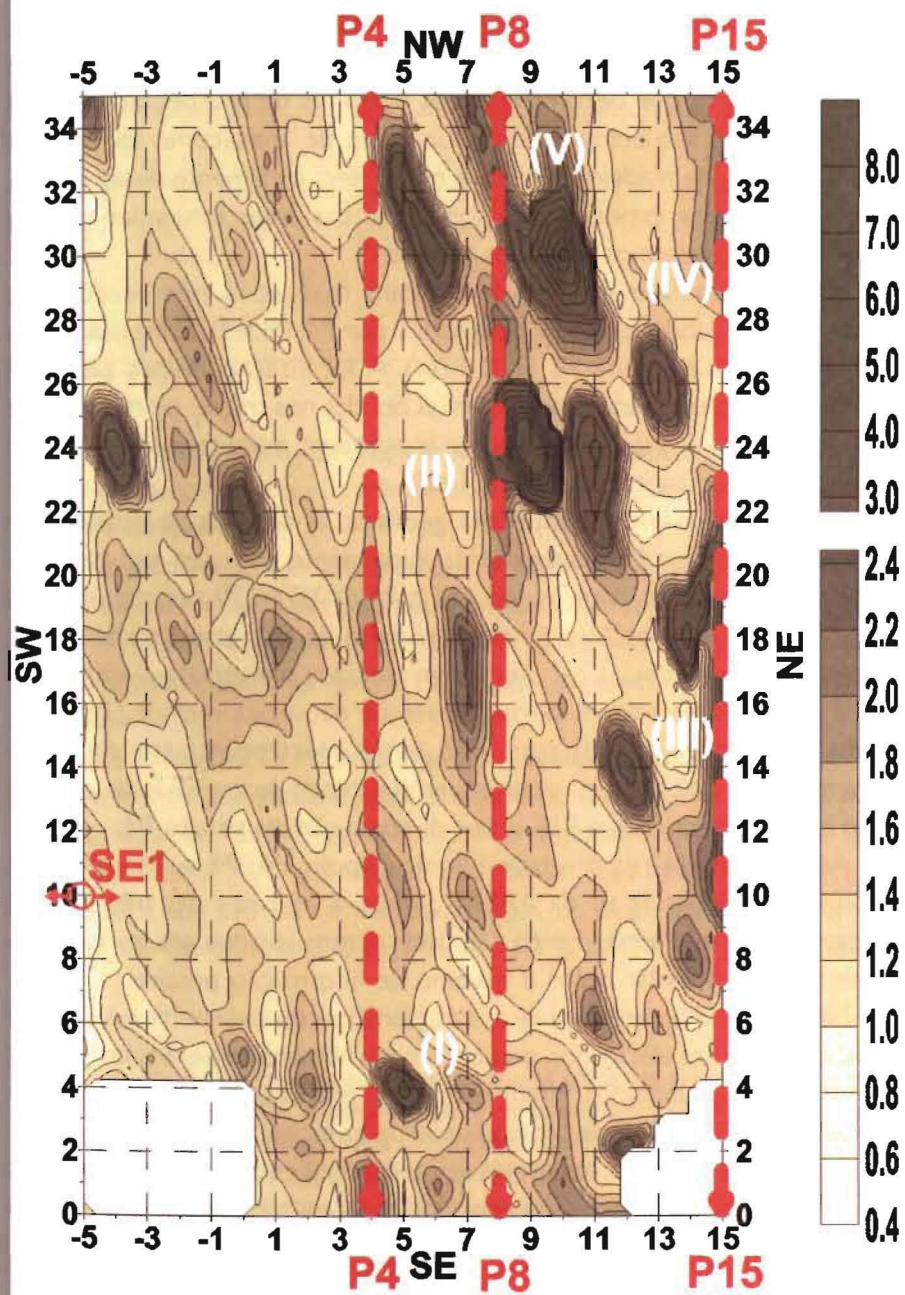


Fig. 1.13 (c) – Mapeamento da relação das resistividades  $\rho_{\beta}/\rho_{\gamma}$ .

Após os trabalhos de prospecção geofísica efectuados na primeira fase, foram feitos os trabalhos de topografia necessários para localização futura das áreas estudadas e para implantar outros trabalhos com rigor. Como o espaço de tempo que decorre entre os trabalhos de prospecção geofísica e as escavações arqueológicas é muitas vezes de anos, como foi o nosso caso, as estacas de madeira que ficam no terreno geralmente desaparecem, sendo de extrema importância a topografia das áreas estudadas, para se poderem desenvolver os trabalhos futuros.

Na segunda fase do trabalho, foram realizadas três secções de resistividade segundo os perfis, designados por P4, P8 e P15, estando a sua localização representada na fig. 1.12(a). A localização destes perfis foi escolhida tendo em atenção as anomalias obtidas nos mapas de resistividade efectuados com o dispositivo Wenner tripotencial, durante a campanha de prospecção geofísica efectuada em 1995.

Na segunda fase de prospecção geofísica, as secções de resistividade Dipolo-Dipolo P8 e P15 foram feitas inicialmente com um espaçamento  $a=2,0$  m. A opção de fazer as secções com  $a=2,0$  m<sup>(44)</sup> resultou de uma maior rapidez de execução, visto que o número de leituras era muito menor. Quando os dados dessas secções foram tratados e invertidos, verificou-se que a resolução na parte superior da secção não era a melhor. Optou-se, então, por diminuir o espaçamento entre eléctrodos para  $a=1,0$  m, aumentando a resolução na zona superficial, tendo-se repetido as secções feitas anteriormente, P8 e P15, antes da execução da secção P4.

As secções de resistividade Dipolo-Dipolo P4, P8 e P15 têm um comprimento superior ao da ÁREA I, embora os zeros das três secções estejam no mesmo alinhamento. Os perfis foram levados até ao extremo do terreno para tentar obter o máximo de informação possível.

Na tabela 1.3 apresentam-se as características de cada perfil, tais como o espaçamento entre eléctrodos, o valor de  $n$  e o número de pontos de medida. Os valores de  $n$  utilizados foram escolhidos em função das limitações do equipamento utilizado e da profundidade de investigação pretendida.

Nas figuras seguintes, referentes às interpretações das secções feitas com o dispositivo Dipolo-Dipolo, são apresentados dois gráficos por secção, para

---

(44). Este espaçamento permite atingir uma maior profundidade de investigação, embora com menor resolução na zona superficial.

Tabela 1.3 – Características das secções Dipolo-Dipolo efectuadas.

PERFIS	Espaçamento electródico $a$	Valor de $n$	Número de pontos de medida
P4	1,00	9	333
P8	1,00	11	385
P8	2,00	10	165
P15	1,00	9	333
P15	2,00	14	203

cada espaçamento electródico, correspondendo a pseudosecção superior aos valores de campo e a secção inferior ao modelo calculado pela inversão dos dados de campo<sup>(45)</sup>.

As pseudosecções obtidas com o dispositivo Dipolo-Dipolo não apresentam a configuração geométrica tradicional, conforme representado na fig. 1.9, devido ao facto de não termos prolongado a recolha de dados em profundidade, uma vez que as estruturas que procurávamos eram muito superficiais.

Todas as secções foram feitas segundo a direcção NW-SE, de SE para NW, sendo as três secções paralelas entre si, e todas com um comprimento de 40 m.

Os dados de campo recolhidos com o dispositivo Dipolo-Dipolo eram de boa qualidade<sup>(46)</sup>, o que se veio a confirmar mais tarde, quando fizemos as inversões das secções e verificámos que os modelos convergiram, no máximo, ao fim de cinco iterações. Os erros *RMS*<sup>(47)</sup> registados, e que

<sup>(45)</sup>. A diferença entre uma pseudosecção e uma secção de resistividades é o modo como elas são representadas. A pseudosecção é representada em função dos valores de  $n$ , enquanto que a secção é representada em função das profundidades reais. Depois de fazer a inversão dos dados de campo da pseudosecção, através da qual se calculam as profundidades reais, constroem-se os modelos das secções de resistividade.

<sup>(46)</sup>. A qualidade dos dados recolhidos com o dispositivo Dipolo-Dipolo foi confirmada em cada ponto de medida com a aplicação do dispositivo Wenner tripotencial, através do qual verificámos as resistências de contacto, calculando os erros tripotenciais.

<sup>(47)</sup>. O erro *RMS* (Root Mean Square) é a raiz quadrada da média dos quadrados das diferenças entre a série de valores medidos e o seu valor médio (SHERIFF, 1976, p. 187).

atestam a fiabilidade do modelo obtido, variaram entre 1,8% a 5,2%, valores estes que consideramos muito bons.

Na secção P4, fig. 1.14, podemos observar que existe uma zona muito resistiva entre os 0,0 m e os 26,0 m, com uma profundidade média de 0,6 m. Dentro desta zona destacamos três anomalias:

- (i) - Esta anomalia corresponde ao ponto mais resistivo do perfil e encontra-se localizada no ponto 6,0 m.
- (ii) - Localizada no ponto 11,0 m, esta anomalia tem uma geometria em forma de 'canal' bem definida.
- (iii) - Esta anomalia corresponde à anomalia (II) do mapa de resistividade, fig. 1.12(a).

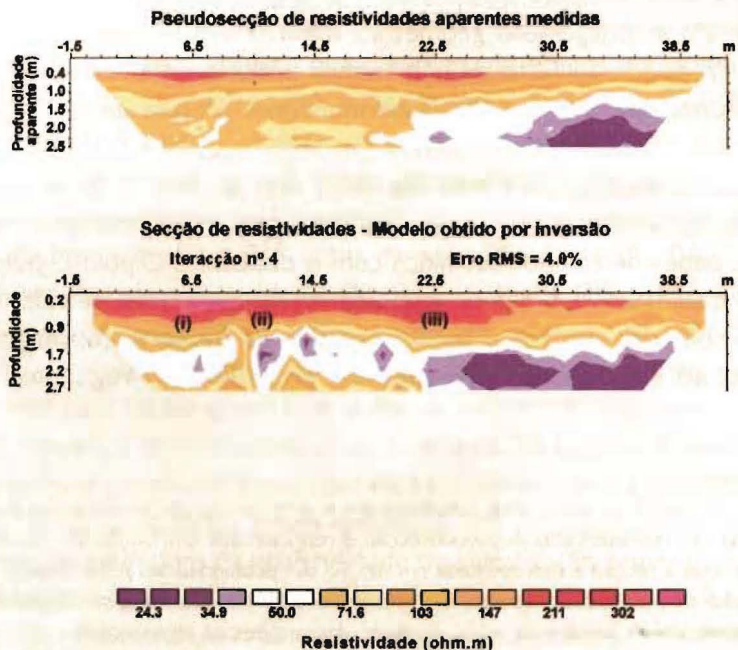


Fig. 1.14 – Secção de resistividade P4. Espaçamento entre eléctrodos  $a=1,0$  m.



Na secção P8, realizada com o espaçamento electródcico de  $a=1,0$  m, fig. 1.15(a), podemos verificar que existem três zonas muito resistivas:

- (i) - Entre os 23,0 m e 30,0 m, observamos uma anomalia com uma geometria idêntica à anomalia (iii) da secção P4, fig. 1.14, podendo existir correlação entre elas e definirem o alinhamento de uma estrutura.
- (ii) - Aos 34,0 m aparece uma anomalia que tem uma geometria bem definida, com uma profundidade média de 1,5 m.
- (iii) - Entre os 3,5 m e os 10,0 m temos uma zona anómala. Esta zona poderá estar relacionada com a anomalia (i) da secção P4, embora seja menos evidente.

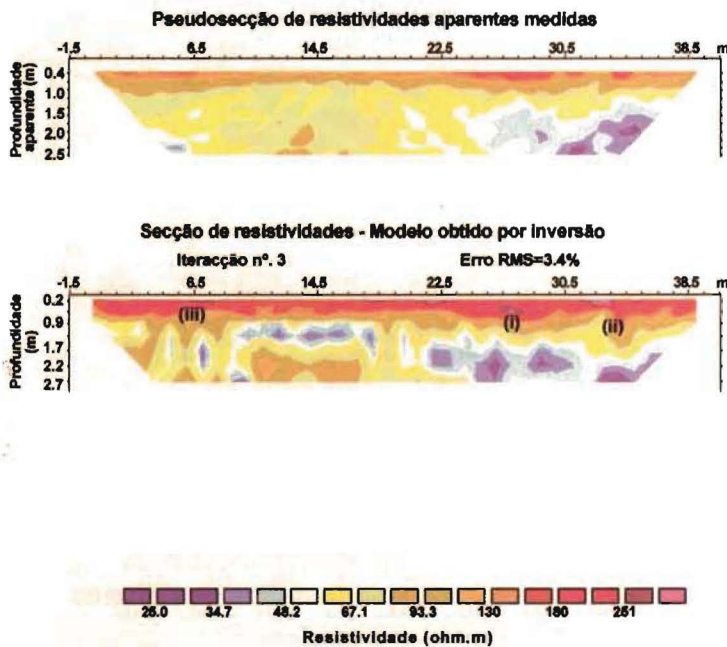


Fig. 1.15 (a) – Secção de resistividades P8. Espaçamento entre eléctrodos  $a=1,0$  m.

Na mesma secção, mas feita com o espaçamento electródico de  $a=2,0$  m, fig. 1.15 (b), podemos observar que as três zonas muito resistivas (iv), (v) e (vi), já identificadas com o anterior espaçamento, continuam presentes, aparecendo uma quarta anomalia (vii) na vertical do ponto 12,0 m, mas que, considerando a profundidade a que se encontra, cerca de 4,5 m, excluímos qualquer hipótese de corresponder a uma estrutura relacionada com os obstáculos preparados no campo de batalha.

A secção P15 foi realizada com o espaçamento electródico de  $a=1,0$  m, fig. 1.16 (a), e permite constatar a existência de três zonas resistivas entre os 18,0 m e os 40,0 m:

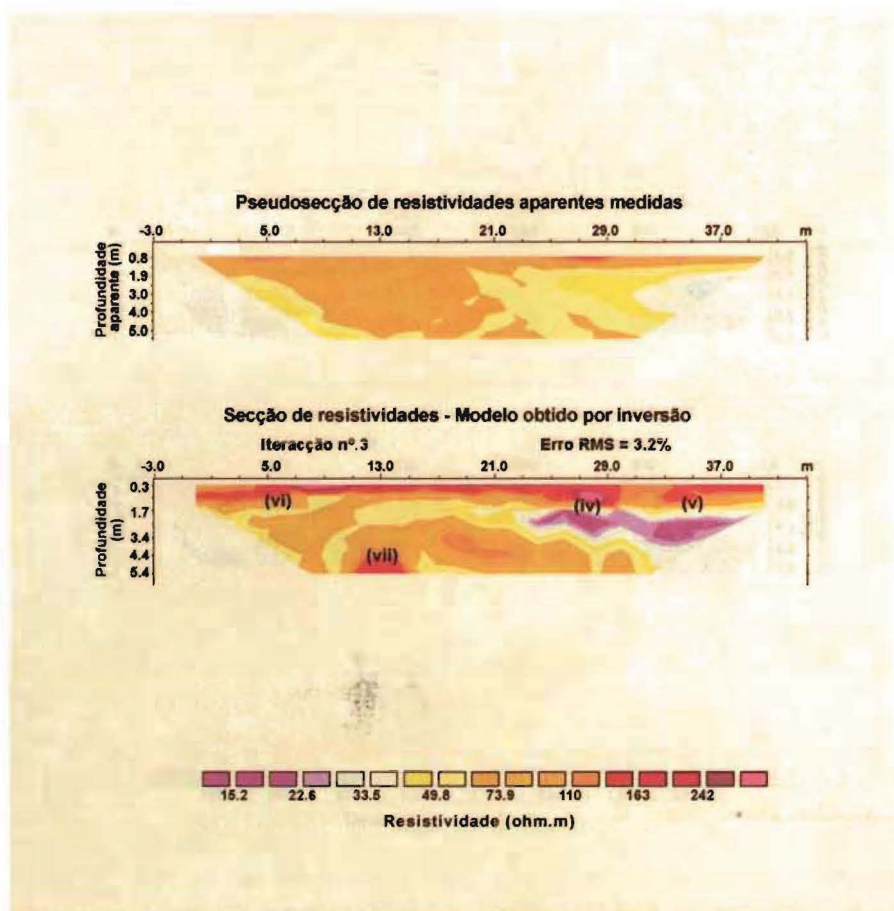


Fig. 1.15 (b) – Secção de resistividades P8. Espaçamento entre eléctrodos  $a=2,0$  m.

- (i) - Esta anomalia encontra-se localizada aos 32,0 m e é contígua à anomalia (iii), estando separadas por uma zona de baixa resistividade bem definida.
- (ii) - Localizada aos 38,0 m, esta anomalia é muito resistiva e poderá ter relação com a anomalia (ii) da secção P8, fig. 1.15(a).
- (iii) - Esta zona corresponde a uma plataforma resistiva localizada entre os 18,0 e os 29,0 m. A profundidade média desta zona é de 0,5 m e poderá ter correlação com a anomalia (i) da secção P8.

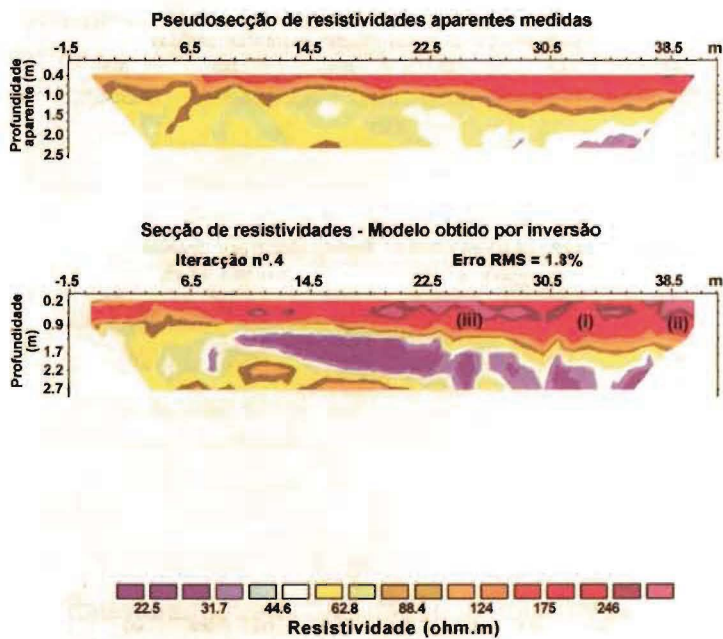


Fig. 1.16 (a) – Secção de resistividades P15. Espaçamento entre eléctrodos  $a=1,0$  m.

Na mesma secção, mas realizada com o espaçamento electródico de  $a=2,0$  m, fig. 1.16(b), podemos ver duas zonas muito resistentes:

- (iv) - Esta anomalia localiza-se aos 36,0 m e está relacionada com a anomalia (ii) da mesma secção.
- (v) - Neste perfil, é ainda possível observar uma zona muito resistente, com o centro localizado aos 17,0 m e a uma profundidade compreendida entre os 4,5 m e os 6,0 m, que poderá corresponder a uma mina de um dos poços existentes na área em estudo. Esta anomalia poderá ter continuidade na secção P8 com a anomalia (vii) identificada na vertical do ponto 12,0 m, fig. 1.15(b).

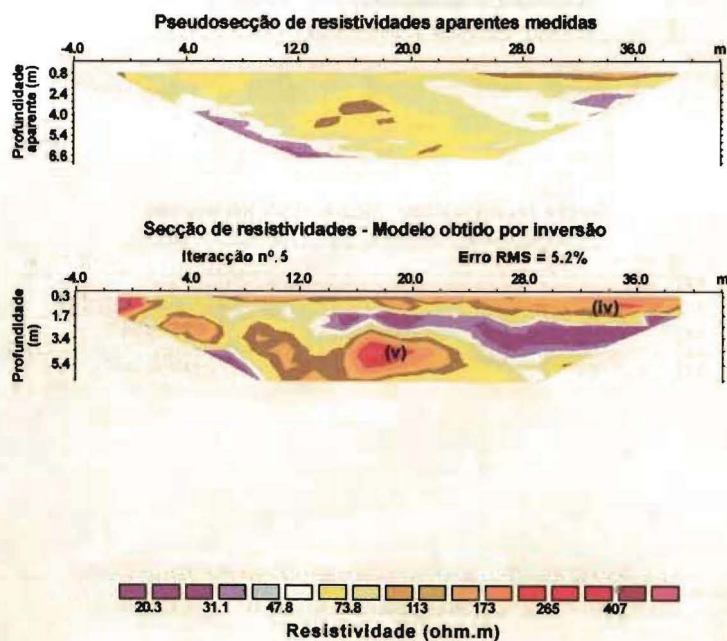


Fig. 1.16 (b) – Secção de resistividades P15. Espaçamento entre eléctrodos  $a=2,0$  m.

## b) ÁREA 2

A ÁREA 2 foi seleccionada para prospecção por se encontrar no prolongamento do Fosso C, localizado nas traseiras da Ermida (PAÇO, 1959, Fig. n.º 2); v. Fig. INT. 2. Com este trabalho de prospecção esperava-se encontrar uma possível continuação do "Grande Fosso". Esta área está inserida no jardim do Campo Militar de S. Jorge, o que leva a crer que sofreu modificações várias, incluindo terraplenagem para o seu alisamento<sup>(48)</sup>. Esta área tem uma superfície de 350 m<sup>2</sup> (14 m x 25 m) e os trabalhos de campo foram realizados num único dia, tendo sido efectuada uma sondagem eléctrica e oito perfis de resistividade.

A sondagem eléctrica SE2 foi feita no ponto X=14,0 m, Y=0,0 m, com orientação NW-SE. Para a execução desta sondagem eléctrica foi utilizado o dispositivo Wenner<sup>(49)</sup>, estando a sua localização apresentada na fig. I.17(a).

A interpretação da sondagem eléctrica SE2 (Fig. I.17(b)) permite constatar que o terreno neste ponto, para a profundidade de investigação alcançada na sondagem eléctrica, é constituído por três camadas (Tabela I.4).

Tabela I.4 – Parâmetros calculados para a sondagem eléctrica SE2.

Camada	Espessura (m)	Profundidade (m)	Resistividade (ohm.m)
1	0,36	0,36	759,3
2	5,37	5,73	294,2
3	Indeterminada	Indeterminada	15,0

Como se pode verificar, a resistividade das camadas decresce em profundidade, o que leva a concluir que as camadas em profundidade são

<sup>(48)</sup>. Os trabalhos de alisamento e terraplenagem do terreno podem viciar os resultados da prospecção geofísica, dificultando a sua interpretação e podendo induzir em erros.

<sup>(49)</sup>. Cf. nota 38.

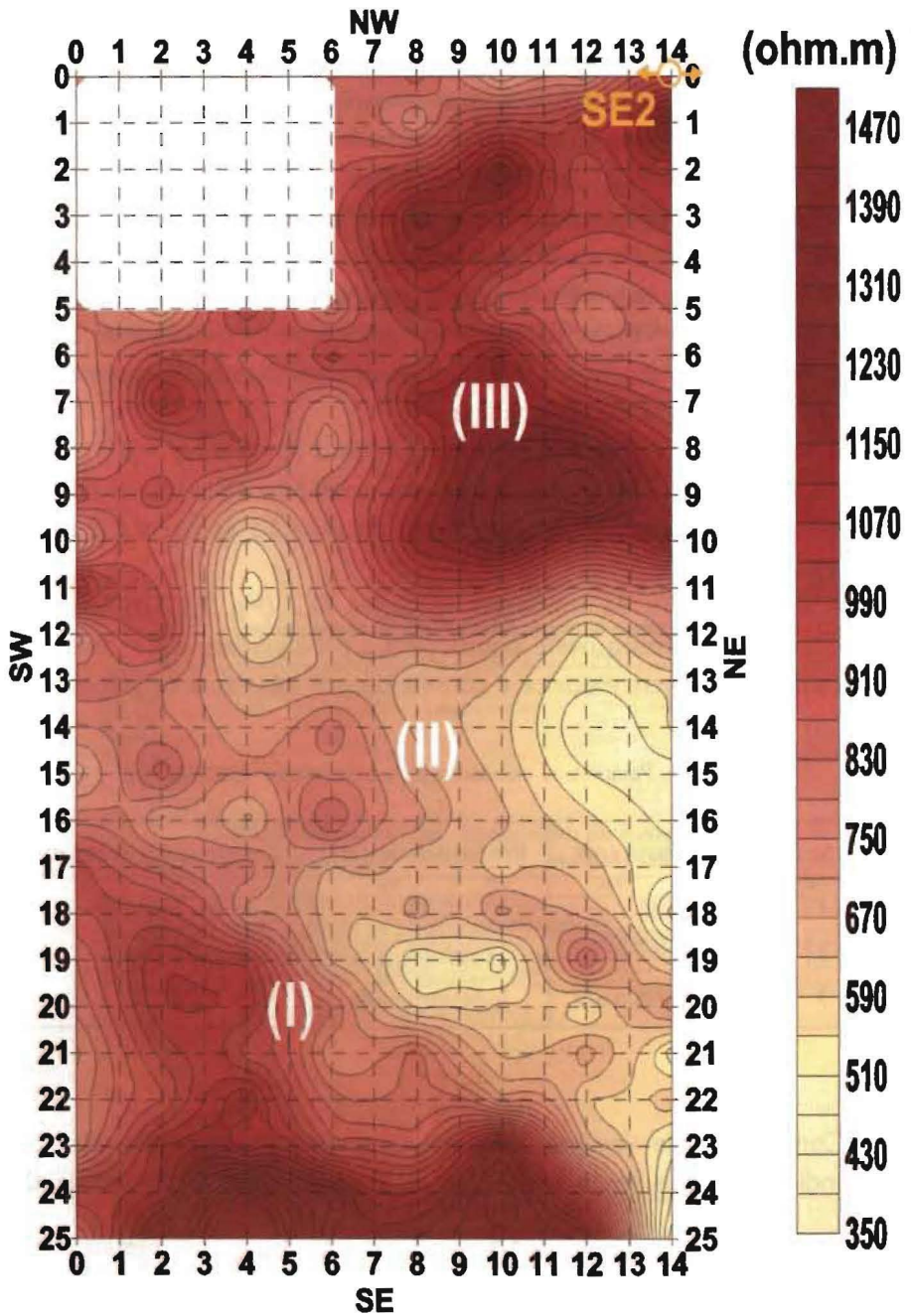
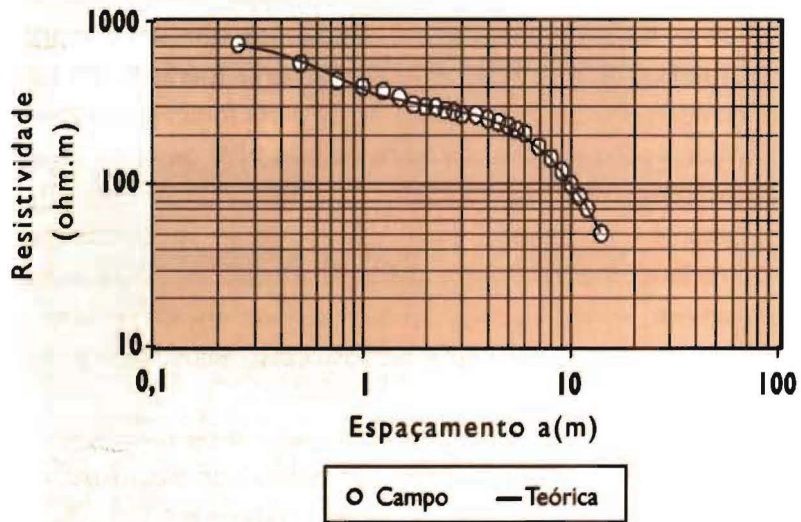


Fig. I.17 (a) – Localização da sondagem eléctrica SE2 e mapeamento das resistividades  $\beta$ .



Interpretação teórica da Sondagem Eléctrica SE2

Camada 1	$h_1 = 0,36$	$\rho_1 = 759,3 \text{ ohm.m}$
Camada 2	$h_2 = 5,73$	$\rho_2 = 294,2 \text{ ohm.m}$
Camada 3		$\rho_3 = 15,0 \text{ ohm.m}$

Fig. 1.17 (b) – Representação gráfica e interpretação da sondagem eléctrica SE2.

mais argilosas, circunstância que, de modo idêntico ao observado na ÁREA I, está de acordo com a geologia da região. Assim, seria de prever que, se o fosso existisse nesta área, estaria localizado abaixo da profundidade média de 0,36 m, isto é, na Camada 2, que tem resistividade média de 294 ohm.m.

A área inicialmente estabelecida para o mapeamento era de 20 m x 10 m, tendo os quatro primeiros perfis sido feitos com um comprimento de 20 m (perfis 0, 2, 4 e 6), e os restantes perfis (perfis 8, 10, 12 e 14) com um comprimento de 25 m. Estes últimos perfis foram prolongados para definir melhor a zona resistiva existente do lado NW desta área. Os perfis foram feitos com a direcção NW-SE.

O espaçamento entre eléctrodos escolhido para o realização dos perfis, com base na interpretação da sondagem eléctrica, foi de 1,5 m, permitindo este espaçamento atingir uma profundidade de investigação média da ordem dos 0,75 a 1,0 m, ou seja, interceptaria o fosso, caso ele existisse, permitindo determinar a sua localização.

O afastamento entre perfis foi de 2 m e as leituras das resistências ao longo dos perfis foram feitas de 1 em 1 m, tendo sido efectuadas medidas em 188 pontos, no total de 564 valores de resistências.

Da análise dos três mapas das resistividades  $\beta$  (Fig. 1.17(a)),  $\alpha$  e  $\gamma$  (Figs. 1.18(a) e (b)), podemos observar as seguintes anomalias:

- (I) - Uma zona resistiva do lado SE do mapa que apresenta uma orientação W-E, coincidente com o caminho que vai do Monumento Comemorativo para o Museu.
- (II) - Uma zona central com uma resistividade baixa, que apresenta uma direcção idêntica à anomalia anterior. Esta zona de baixa resistividade é visível nos três mapas de resistividade e é limitada por duas zonas de resistividade mais elevada, (I) e (III).
- (III) - Uma zona resistiva do lado NW do mapa. Ao contrário das outras duas anomalias, esta não apresenta nenhuma direcção preferencial.

A carta da relação  $\rho\beta/\rho\gamma$ , fig. 1.18(c), permite verificar que o terreno nesta área é muito homogêneo, ou seja, a relação entre estas duas resistividades tem um valor mínimo de 0,5 e um valor máximo de 2,4.



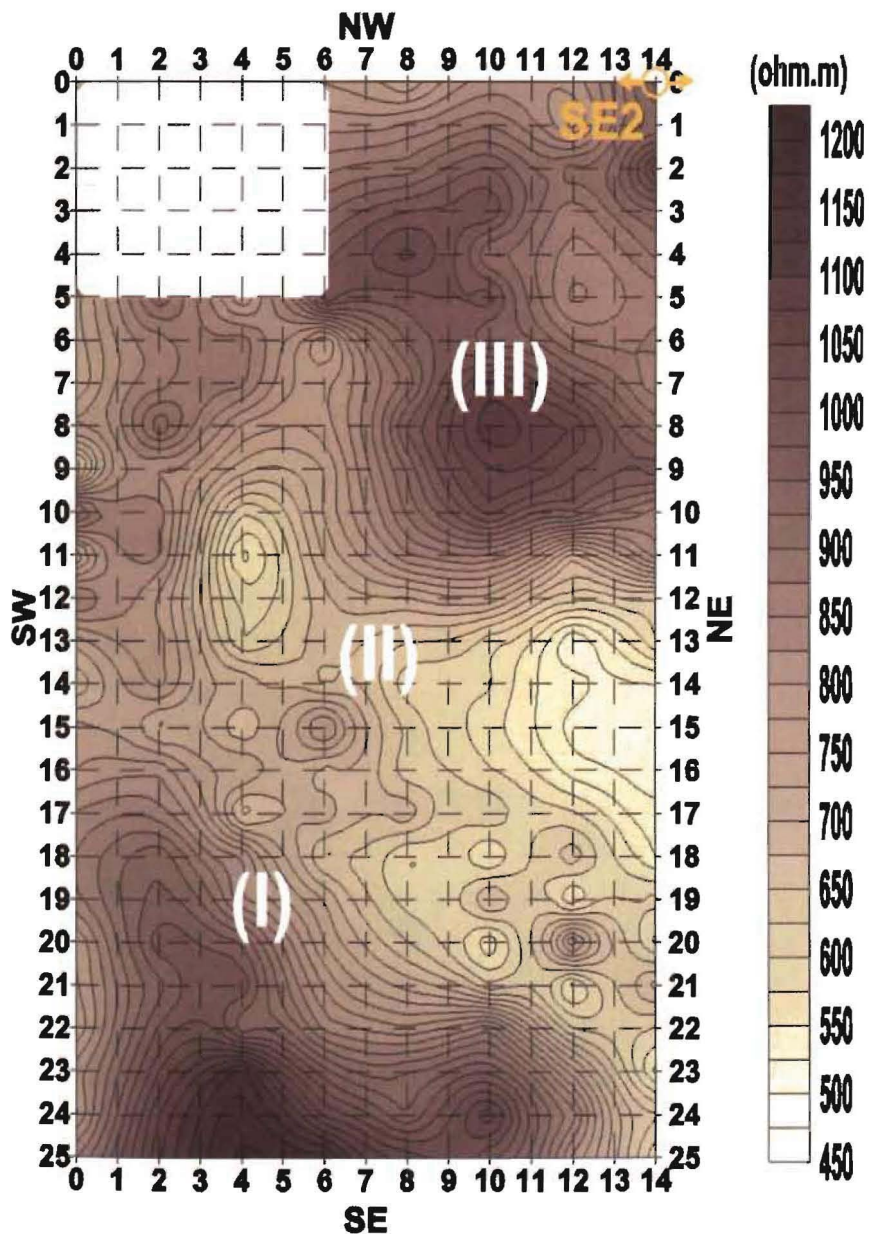


Fig. 1.18 (a) - Mapeamento das resistividades  $\alpha$ .

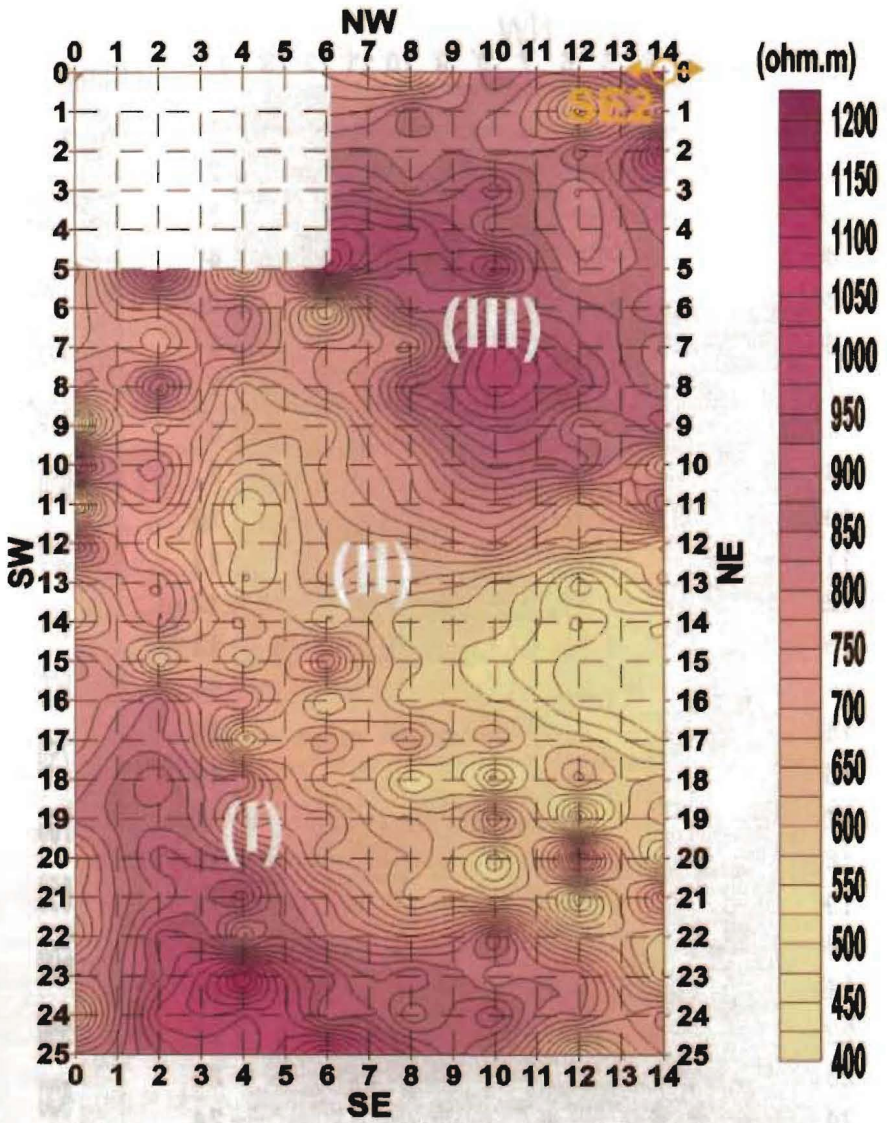


Fig. 1.18 (b) - Mapeamento das resistividades  $\gamma$ .

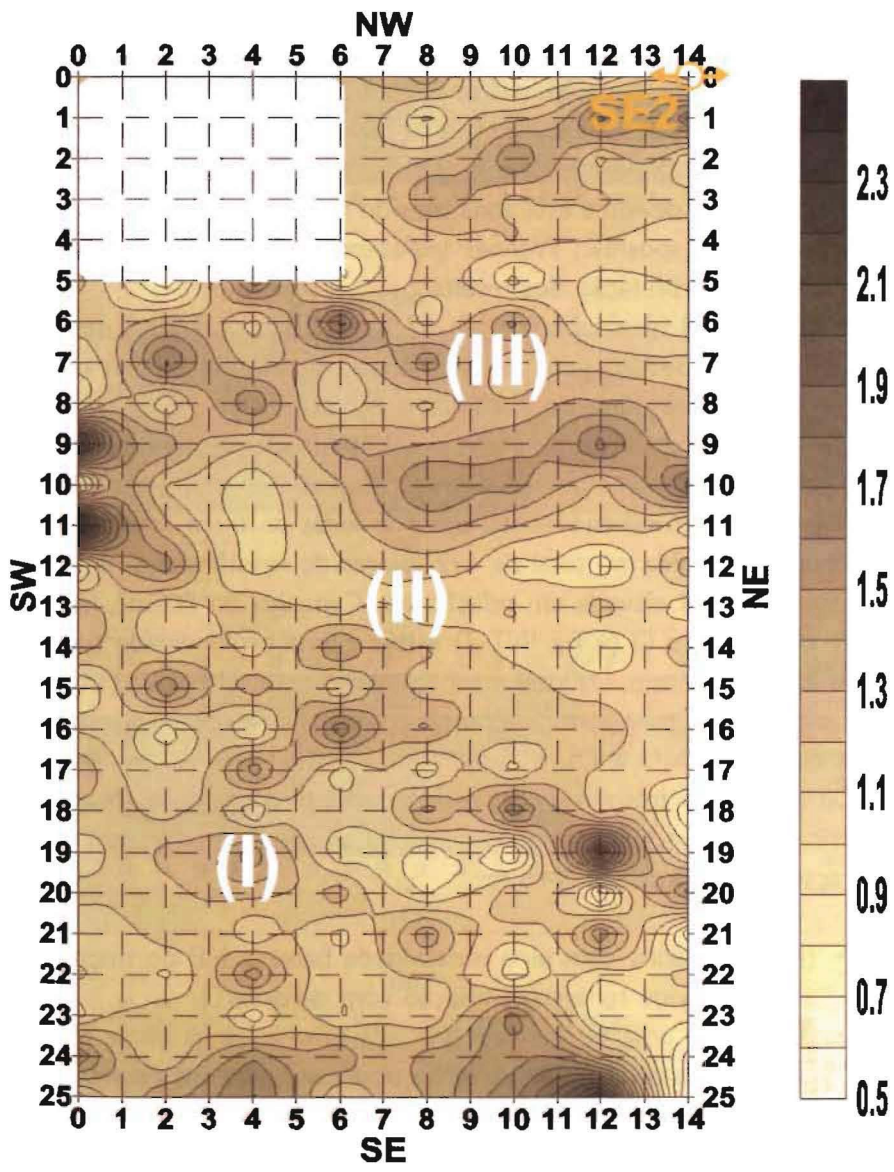


Fig. 1.18 (c) - Mapeamento da relação das resistividades  $\rho_\beta/\rho_\gamma$ .

### c) ÁREA 3

A ÁREA 3 localiza-se nas traseiras da Ermida: v. Fig. INT. 2, e foi seleccionada para prospecção por se encontrar sobre o Fosso D (PAÇO, 1959, Fig. n.º 2). Nesta área esperava-se localizar o fosso anteriormente escavado, de modo a permitir a comparação de dados com as outras duas áreas. No entanto, devido a esta zona ter sido muito remexida<sup>(50)</sup>, os dados obtidos com o dispositivo Wenner tripotencial podem estar falseados, dificultando a interpretação dos resultados.

Esta área tem uma superfície de 67,5 m<sup>2</sup> (15 m x 4,5 m), tendo o trabalho de prospecção geofísica sido feito no mesmo dia em que se completou a primeira fase do trabalho na ÁREA 1.

Foram efectuados quatro perfis de resistividade perpendiculares ao fosso, com um comprimento de 15 m. O afastamento entre perfis foi de 1,5 m, tendo as leituras das resistências sido feitas de 1 em 1m, isto é, em 64 pontos de medida, no total de 192 valores de resistências.

Esta área está elevada em relação ao "Caminho do Fosso", fazendo prever que o Fosso D (v. Fig. INT. 2) esteja a uma profundidade superior ao das áreas anteriores. Daí que o espaçamento entre eléctrodos utilizado tenha sido de 2 m, para permitir alcançar uma profundidade de investigação média da ordem de 1 a 1,5 m.

Da análise dos três mapas das resistividades  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , apresentados na fig. 1.19 (a), (b) e (c), podemos observar duas zonas distintas, em que a separação se dá no ponto  $X=6$  m:

- (I) - Uma zona com uma resistividade baixa, a NE do mapa. Esta anomalia pode ter alguma relação com o Fosso D.
- (II) - Com uma resistividade elevada, uma zona na parte SW da carta. Nesta zona, podemos ainda observar uma zona central, entre os perfis 3,0 e 4,5, com uma resistividade baixa.

<sup>(50)</sup>. Esta zona situa-se ao lado do Fosso C, designado por "Grande Fosso", e sobre o Fosso D (PAÇO, 1959, Fig. n.º 2), o que leva a supor que durante o período das escavações (entre 1958-60) foi muito remexido. A cota superior desta zona em relação ao jardim leva a crer que houve ainda movimentação de terras para arranjo do jardim.

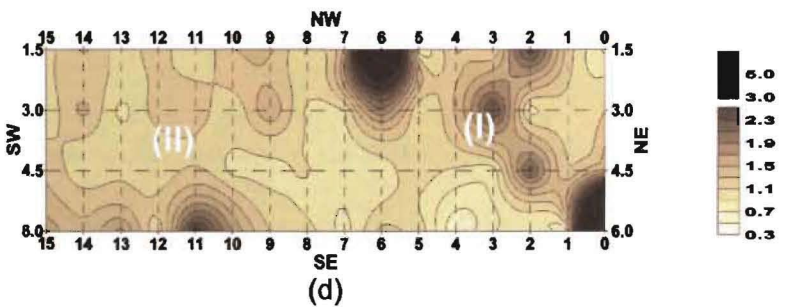
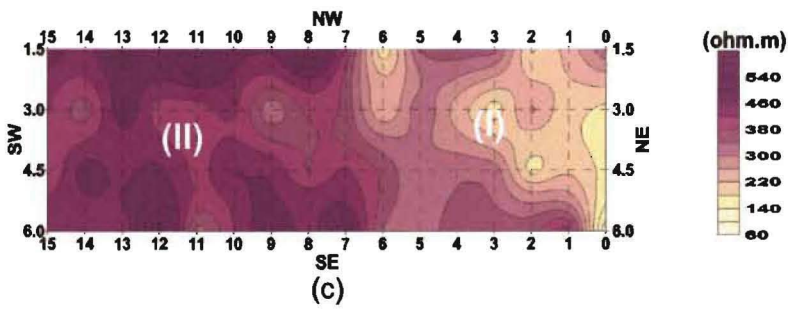
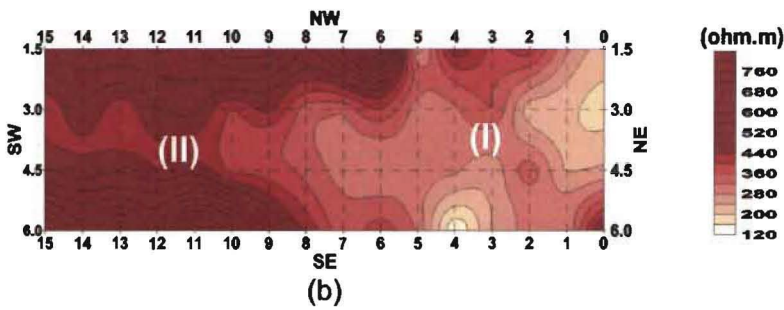
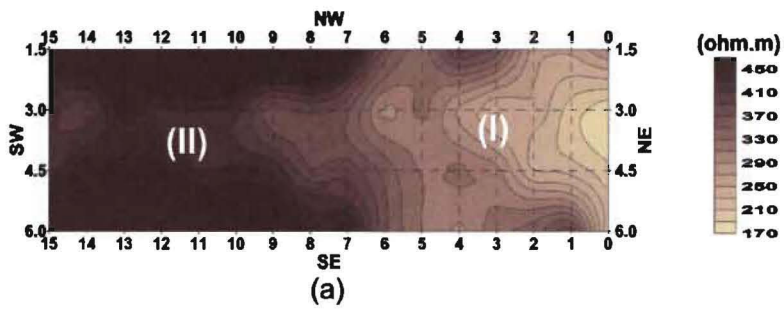


Fig. 1.19 – Mapeamento das resistividades  $\alpha$  (a),  $\beta$  (b) e  $\gamma$  (c).  
 Mapeamento da relação das resistividades  $\rho\beta/\rho\gamma$  (d).

O mapa da relação  $\rho_{\beta}/\rho_{\gamma}$ , fig. 1.19(d), permite verificar que o terreno nesta área não é muito homogéneo, ou seja, a relação entre estas duas resistividades tem valores de muito baixos a muito elevados. No entanto, verifica-se que este mapa, a SW do ponto X=6 m, apresenta valores mais constantes, e no perfil 1,5 o ponto X=6 m apresenta o valor máximo da relação  $\rho_{\beta}/\rho_{\gamma}$ . Esta variação da relação  $\rho_{\beta}/\rho_{\gamma}$  pode ser devida a esta área já ter sido escavada, o que provocou heterogeneidades no terreno.

### 1.6. Considerações finais

Quando iniciámos a primeira fase dos trabalhos de prospecção geofísica no Campo Militar de S. Jorge sabíamos, logo à partida, que os trabalhos de prospecção poderiam, por falta de apoios ou de resultados, não ter continuidade em escavações arqueológicas.

Após a conclusão da primeira fase de trabalho de campo, em Julho de 1995, e tendo em conta as anomalias obtidas na ÁREA I, fomos da opinião de que se devia proceder a escavações arqueológicas, principalmente nesta área. Durante o período que decorreu entre as duas fases dos trabalhos de prospecção geofísica fomos 'lembrando' ao nosso colega João Gouveia Monteiro a necessidade de fazer as ditas escavações, tendo contado sempre com o seu apoio para as fases seguintes dos trabalhos. Finalmente, em Maio de 1999, iniciámos uma segunda fase de trabalhos de prospecção, para poder dar informação mais pormenorizada para os trabalhos de arqueologia que se iam desenvolver na fase seguinte, desta vez já com a certeza de que se iria efectivamente seguir uma fase de escavação.

As conclusões que tirámos destes trabalhos de prospecção geofísica serviram para a nossa colega arqueóloga Helena Catarino poder planear o seu trabalho, no curto espaço de tempo de que dispunha para desenvolver a sua escavação. As três áreas prospectadas apresentaram anomalias significativas, que nós achámos deverem ser investigadas pela nossa colega Helena Catarino, mas como os meios e o tempo eram escassos, tal não se tornou viável.

Pelos motivos já apresentados, concentrámos os trabalhos de prospecção geofísica realizados durante a segunda fase na ÁREA I. Como já era conhecida a distribuição lateral dos valores de resistividade, representada nos mapas de resistividade, optámos por continuar nesta fase a usar o

método de prospecção eléctrica de resistividade, com a utilização das secções de resistividade que nos forneceram a distribuição da variação da resistividade em profundidade.

Por considerarmos a ÁREA 1 a mais promissora, e onde foram desenvolvidos os trabalhos de prospecção arqueológica seguintes, vamos guardar as conclusões relativas a essa área para o final do capítulo, apresentando em primeiro lugar as nossas conclusões sobre o perfil electromagnético e sobre as restantes áreas estudadas.

Da interpretação do perfil PEM conclui-se que as camadas apresentam maior condutividade em profundidade, devendo estas apresentar um carácter mais argiloso, em conformidade com a geologia da região. Além disso, verificou-se que a condutividade diminui de SW para NW, o que pode ser um reflexo da inclinação natural das camadas argilosas.

Na ÁREA 2, foi detectada uma zona central de baixa resistividade, e, nos bordos da área, zonas muito resistivas. É ainda de assinalar o elevado contraste de resistividades da anomalia situada a SE da área, que define um alinhamento com a direcção W-E, coincidente com a direcção do caminho existente no jardim. No entanto, seria conveniente fazer uma vala de sondagem perpendicular a essa direcção, para confirmar a possível existência de alguma estrutura.

Na ÁREA 3, o Fosso D deverá estar localizado próximo do ponto X=6 m, notando-se também uma zona anómala para Sul deste ponto, entre os perfis 3,0 e 4,5. Seria de todo o interesse efectuar uma vala de sondagem perpendicular à anomalia existente na ÁREA 3. Caso estes trabalhos revelem a presença de estruturas arqueológicas, seria conveniente prolongar os trabalhos de prospecção geofísica na direcção N-S, para completar a informação já existente e poder dar apoio posterior à arqueologia.

Finalmente, na ÁREA 1, como já vos mostrámos, foram assinaladas cinco anomalias, fig. 1.12(a), com contrastes de resistividade muito elevados, como pode ser observado no modelo tridimensional do mapa de resistividade  $\beta$ , representado na fig. 1.20.

No caso da anomalia (I), esta apresenta uma orientação bem definida, geralmente sinónimo de actividade antrópica, o que nos levou a propor uma intervenção arqueológica neste local.

A anomalia (II) apresenta uma grande extensão e um contraste de resistividade muito elevado, sendo evidente, quer no mapa de resistividade  $\beta$ ,

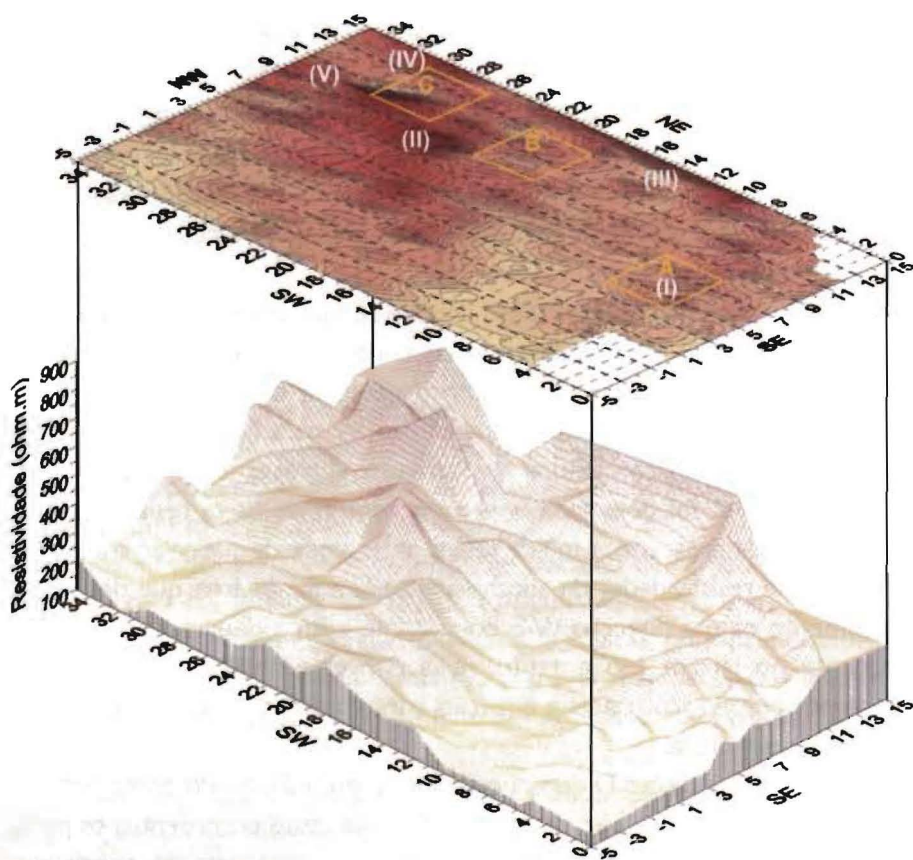


Fig. 1.20 – Modelo tridimensional do mapa de resistividade  $\beta$  e áreas sugeridas para escavação.

fig. 1.20, quer na secção de resistividade P8, figs. 1.15(a) e (b), o que nos levou a recomendar uma prospecção arqueológica nesta zona.

88

Em relação à anomalia (III), não tivemos oportunidade de efectuar um estudo mais pormenorizado, devido à presença de um muro que separava as propriedades<sup>(51)</sup>. Por isso, antes de recomendarmos a prospecção

<sup>(51)</sup>. Aquando da realização da segunda fase dos trabalhos de prospecção geofísica, este muro já tinha sido removido, ligando as duas propriedades e facilitando o desenvolvimento dos trabalhos de prospecção.



arqueológica desta anomalia seria conveniente a realização de mais alguns trabalhos de prospecção geofísica.

As anomalias (IV) e (V) apresentam contrastes de resistividade elevados, devendo ser escavadas em próxima campanha de sondagens arqueológicas.

As anomalias obtidas com a inversão dos dados recolhidos com o dispositivo Dipolo-Dipolo, no conjunto das três secções, fig. 1.21, estão em concordância com as zonas anómalas dos mapas de resistividade, obtidos com o dispositivo Wenner tripotencial.

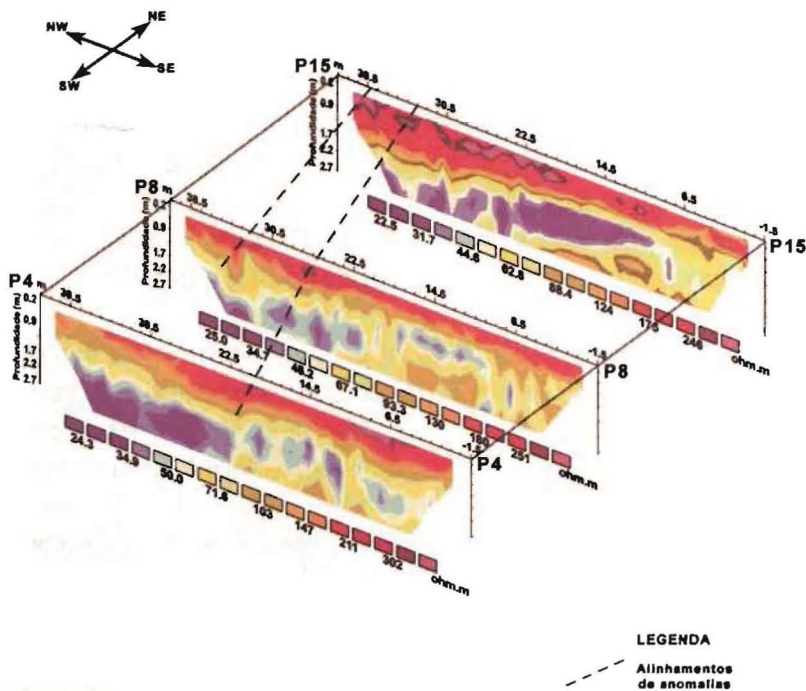


Fig. 1.21 – Modelo tridimensional das secções P4, P8 e P15 e alinhamentos de anomalias.

Nas três secções de resistividade, algumas das anomalias assinaladas apresentam correlação entre si. Estes alinhamentos de anomalias indicam a possibilidade de haver estruturas, com a direcção aproximada NS-N15°W e foram assinalados na fig. 1.21, para facilitar a sua visualização:

- Um dos alinhamentos coincide com as anomalias (II) e (IV), fig. 1.12(a), e tem continuidade nas secções de resistividade P4 (iii), P8 (i) e P15 (i), figs. 1.14, 1.15(a) e 1.16(a), respectivamente.
- O outro alinhamento coincide com a anomalia (V), fig. 1.12(a), e tem continuidade nas secções de resistividade P8 (ii) e P15 (ii), figs. 1.15(a) e 1.16(a), respectivamente.

Embora no final de cada uma das fase dos trabalhos de prospecção geofísica tenham sido elaborados relatórios onde se descreveram os trabalhos realizados e onde se apresentaram as respectivas conclusões, o relatório respeitante à segunda fase (FIGUEIREDO, 1999, *passim*) inclui as conclusões gerais e sugere zonas de escavação em redor de dois pontos, na ÁREA 1: X=6 m, Y=6 m e X=8 m, Y=28 m, correspondendo estes pontos às áreas anómalas (I) e (II), fig. 1.22, confirmadas também com as secções de resistividade P4 e P8.

No dia em que a nossa colega Helena Catarino iniciou os trabalhos, fomos ao campo para indicar a posição das nossas estacas e dos pontos anómalos que julgávamos ser importantes escavar.

Foi assim marcado o quadrado A, fig. 1.22, pelo qual se iniciaram os trabalhos de arqueologia. A escavação desta área, embora abrangesse uma anomalia resistiva, não revelou nenhuma estrutura de interesse, como irão ver na descrição dos trabalhos realizados pela colega Helena Catarino, no capítulo 2 deste livro.

O nosso ânimo, que de início era muito, esmoreceu e pôs-se a hipótese de abandonar as escavações. No entanto, nós continuávamos convictos de que as nossas anomalias teriam de representar algo e que era importante investigar outras zonas.

Sabendo nós que, por um lado, as covas de lobo podiam ser de pequena dimensão, logo sem contraste geofísico que permitisse a sua localização, e, por outro, se desconheciam a resposta geofísica possível de obter a partir de um fosso, tornava-se difícil saber exactamente do que estávamos à procura. Foi este o motivo que nos levou a fazer uma reavaliação da nossa

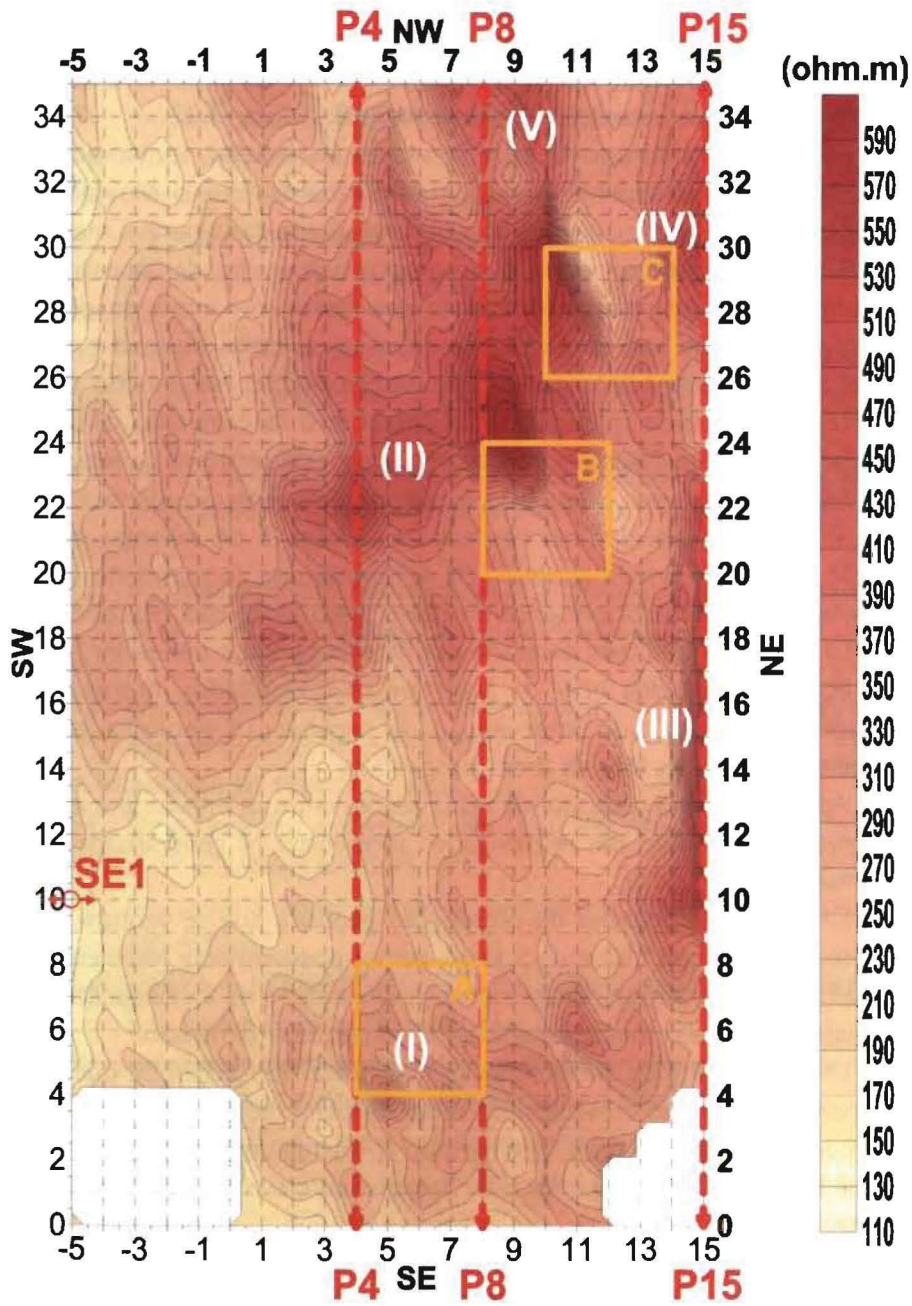


Fig. 1.22 – Zonas sugeridas para os trabalhos de escavação arqueológica.

interpretação e a recomendar como zonas preferenciais a escavar, não as anomalias em si, mas zonas de contraste de resistividade elevado em torno delas, que podiam pôr em evidência o motivo da própria anomalia. Sugerimos então a escavação dos quadrados B e C, fig. 1.22.

Embora o quadrado B, sugerido para escavação, tenha posto a descoberto as estruturas de covas de lobo, sabemos que o espaçamento entre perfis e entre medidas devia ter sido mais apertado para aumentar a resolução. No entanto, este espaçamento e a malha de amostragem confirma-se correcta para a localização dos fossos. Por ironia do destino, as zonas sugeridas para escavação descobriram as covas de lobo e não o fosso, por este estar nos limites da área de prospecção. No entanto, depois de observado o fosso que foi posto a descoberto na campanha de sondagens arqueológicas, é possível constatar que ele está presente na secção P8 aos 38,5 m, e que, por outro lado, apresenta uma direcção idêntica à dos alinhamentos já referidos nas respectivas secções. É de salientar que na secção P4, aos 11,5 m, a anomalia (ii) apresenta uma forma muito similar, podendo esta indiciar a presença de outro fosso ainda não descoberto.

O quadrado C não foi escavado por falta de tempo e por se ter aberto um quadrado na zona NW da área que teve resultados interessantes, embora não tenha tido intervenção da prospecção geofísica, por se encontrar, em parte, fora da área prospectada.

Apesar do baixo contraste de resistividades entre as estruturas e o meio envolvente, o método das resistividades apresentou, na generalidade, bons resultados.

Em futuras campanhas de prospecção geofísica que se venham a desenvolver no Campo Militar de S. Jorge, iremos possivelmente redimensionar a malha de amostragem, diminuindo a profundidade de investigação, visto as estruturas serem muito superficiais e de pequena dimensão.

Um dos métodos de prospecção geofísica que achamos que seria interessante utilizar, é o método do radar de penetração no terreno (GPR - Ground Penetrating Radar). Este método apresenta uma elevada resolução, o que seria ideal para tentar localizar as possíveis covas de lobo e os fossos existentes.

A nossa colega Helena Catarino vai no capítulo seguinte mostrar o resultado da escavação que efectuou e revelar-nos como a prospecção geofísica se comportou neste trabalho difícil, devido às características das estruturas que pretendíamos encontrar.

## Referências Bibliográficas

ABEM,

1980 - *Instruction Manual*. Atlas Copco ABEM AB, Bromma, Suécia.

ACWORTH, R. I. e GRIFFITHS, D. H.,

1985 - *Simple data processing of tripotencial apparent resistivity measurements as an aid to the interpretation of subsurface structure*; in "Geophysical Prospecting", vol. 33, pp. 861-887. Holanda.

AGRICOLA, G.,

1950 - *De Re Metallica*. Tradução da 1ª. Edição em latim 1556, Herbert C. Hoover e Lou H. Hoover, Dover Publications, Nova York, EUA.

ALMEIDA, F.,

1999 - *Geofísica aplicada no desenvolvimento de projectos*; in "Actas da 6ª. Conferência Nacional Sobre a Qualidade do Ambiente", vol. 2, pp. 685-694. Lisboa.

ATKINSON, R. J. C.,

1952 - *Méthodes électriques de prospection en archéologie*; in "La découverte du Passé". (dir. De A. Laming), Paris, Picard, pp. 59-70.

BEVAN, B. W.,

1983 - *Electromagnetics for mapping buried earth features*; in "Journal of Field Archaeology", vol. 10, pp. 47-54.

CÂMARA MUNICIPAL DE PORTO DE MÓS,

1994 - *Carta Topográfica do Concelho*, escala 1:10 000. Porto de Mós.

CARPENTER, E. W. e HABBERJAM, G. M.,

1956 - *A tri-potential method of resistivity prospecting*; in "Geophysics", vol. 21, pp. 455-469.

CASTRO, A. S., SILVA, A. M, SEBASTIAN, L. C., GINGA, M., DIAS, V. S, FIGUEIREDO, F. P. O. O., CATARINO, L. M e ARGENT, J.,

1999 - *Trabalhos de escavação arqueológica realizados no monumento I da "Lameira Travessa" (Pendilhe, Vila Nova de Paiva, Viseu)*; in "Estudos Pré-Históricos", vol. VII, pp. 37-64, Centro de Estudos Pré-Históricos da Beira Alta, Viseu, Portugal.

FIGUEIREDO, F. P. O. O.,

1990 - *Método de resistividade eléctrica aplicado ao estudo de aquíferos costeiros. Caracterização do aquífero superficial da península Barra-Costa Nova do Prado-Vagueira (Aveiro)*. Dissertação de Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, 2 Volumes. Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

- 1995 - *Aplicação de prospecção geofísica à localização de estruturas arqueológicas no Campo Militar de S. Jorge*. Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- 1999 - *Aplicação de prospecção geofísica à localização de estruturas arqueológicas no Campo Militar de S. Jorge – Relatório n.º 2*. Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- FIGUEIREDO, F. P. O. O., CATARINO, L. M., CASTRO, A. S., SILVA, A. M., SILVA, C. R., PAULO, D. C., SEBASTIAN, L. C., SILVA, N. M. e DIAS, V. S.,
- 1995 - *Métodos eléctricos de resistividade aplicados ao estudo de monumentos megalíticos: o Dólmen de "Picoto do Vasco" (Vila Nova de Paiva)*; in "Estudos Pré-Históricos", vol. III, pp. 187-199, Centro de Estudos Pré-Históricos da Beira Alta, Viseu, Portugal.
- GEONICS LIMITED,
- 1984 - *Operating Manual for EM 31 non contacting terrain conductivity meter*. Geonics Limited, Ontário, Canadá.
- 1990 - *Operating Manual for EM 38 ground conductivity meter*. Geonics Limited, Ontário, Canadá.
- GRANT, F. S. e WEST, G. F.,
- 1965 - *Interpretation theory in applied geophysics*. McGraw-Hill Book Company, Nova York, E.U.A.
- HABBERJAM, G. M.,
- 1979 - *Apparent resistivity observations and the use of square array techniques*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Alemanha.
- KEARY, P. e BROOKS, M.,
- 1984 - *An Introduction to geophysical exploration*. Geosciences texts, vol. 4, Blackwell Scientific Publications, Oxford, Inglaterra.
- KELLOG, G.,
- 1953 - *Foundations of potential theory*. Dover, Nova York, E.U.A.
- 94 LOKE, M. H.,
- 1999 - *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys*. (<http://www.abem.se>).
- LOKE, M. H. e BARKER, R. D.,
- 1996 - *Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method*; in "Geophysical Prospecting", vol. 44, n.º1, pp.131-152. European Association of Geoscientists & Engineers. Holanda.

- 1996 - *Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion*; in "Geophysical Prospecting", vol. 44, n.º 3, pp. 499-523. European Association of Geoscientists & Engineers. Holanda.
- MANUPELLA, G., BARBOSA, B., MACHADO, S., CARVALHO, J. e BARTOLOMEU, A.,  
1998 - *Carta Geológica de Portugal n.º 27-A*, escala 1:50 000, Vila Nova de Ourém. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, Portugal.
- McNEILL, J. D.,  
1980 - *Electrical Conductivity of soils and rocks*. Technical Note TN-5. Geonics Limited, Canadá.
- OGILVY, R. D., CUADRA, A., JACKSON, P. D. e CUELLAR, V.,  
1991 - *Delineation of a resistive drainage channel by EM conductivity survey*; in "Geoexploration", vol. 28, pp. 139-152. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdão, Holanda.
- ORELLANA, E.,  
1972 - *Prospección geoelectrica en corriente continua*. Paraninfo, Madrid, Espanha.
- PAÇO, A.,  
1959 - *Escavações de carácter histórico no campo de batalha*; in "Aljubarrota - Trabalhos em execução de arqueologia militar". Lisboa, Comissão de História Militar, pp. 35-51. Lisboa, Portugal.
- SENOS MATIAS, M. J.,  
1989 - *A arqueogeofísica - Contribuição do grupo de geofísica do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro*; in "Geociências", vol. 4, fasc. 2, pp. 147-160. Aveiro, Portugal.
- SERVIÇOS CARTOGRÁFICOS DO EXÉRCITO,  
1968 - *Carta militar n.º 308*, escala 1:25 000, Porto de Mós. 2.ª Edição, Lisboa, Portugal.
- SHERIFF, R. E.,  
1976 - *Encyclopedic dictionary of exploration geophysics*. 3.ª Edição, Society of Exploration Geophysicists, Oklahoma, E.U.A.
- TELFORD, W. M., GELDART, L. P., SHERIFF, R. E. e KEYS, D. A.,  
1976 - *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, Nova York, E.U.A.
- WHITELY, R.,  
1973 - *Electrode arrays in resistivity and induced polarization prospecting, a review*; in "Bulletin of the Australian Society of Exploration Geophysicists", vol. 4, pp. 1-29. Austrália.

WYNN, J. C.,

1986 - *Archaeological prospecting: an introduction to the special issue. Geophysics in Archaeology*; in "Geophysics", vol. 51, n.º 3, 1986, pp. 533-537. Society of Exploration Geophysicists, E.U.A.

ZBYSZEWSKI, G., MANUPPELLA, G., e FERREIRA, O. V.,

1974 - *Notícia explicativa da folha 27-A da Carta Geológica de Portugal*, escala 1:50 000, Vila Nova de Ourém. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, Portugal.



(Página deixada propositadamente em branco)

