

**UMA METODOLOGIA OPERATIVA PARA INDAGAÇÃO
ARQUEOLÓGICA DO TERRENO PELA RESISTIVIDADE
ELÉTRICA (Método de Wenner)***

Mário Mendonça de Oliveira **
Emanuel Goes de Araujo ***
Edson Peixoto ***

1 - INTRODUÇÃO

Cerca de uma centena de anos está sepultando a era da arqueologia dos "diletantes", de inegável significado no processo histórico da cultura arqueológica, mas distante no tempo dos meios científicos que hoje dispomos. Não faltaram, então, os lances de afortunados acasos, de espetaculares descobertas, de decifração de grandes enigmas, de trabalho paciente e apaixonado e, porque não dizer também, de vandalismo arqueológico inconsequente. Se temos a possibilidade de estabelecer um juízo crítico do que aconteceu, e a Revolução Industrial nos trouxe um arsenal de instrumentos úteis ao trabalho da arqueologia, não se pode mais tolerar a postura dos que consideram, ainda, que fazer prospecção arqueológica é "abrir uns buracos" para ver se existe alguma coisa enterrada!

A arqueologia que foi sempre teoricamente reconhecida como uma ciência, só passou a ser operada

* Comunicação apresentada no I Seminário de Arqueologia Histórica, realizado no Rio de Janeiro em outubro de 1985.

** Professor do Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da FAUFBa.

*** Professores da Escola Politécnica da UFBa.

amplamente como tal a partir do nosso século, aproveitando-se dos recursos provenientes da "Era das Máquinas". Isto não quer significar, entretanto, que o trabalho artesanal, metodologicamente executado, tivesse sido relegado a segundo plano ou abdicado de sua condição de insubstituível.

Se ela é uma ciência, deve ser tratada como tal, sem menosprezo, entretanto, do seu valor cultural. Nesta condição de ciência, uma das suas facetas básicas é a interdisciplinaridade, como acontece em toda a atividade de defesa dos bens culturais. O trabalho interdisciplinar é, por sua vez, um alargador de visão e de conhecimento para todos os seus participantes, na medida em que coloca profissionais e especialistas das mais diversas áreas do saber humano em contato, com enriquecimento para todos através da troca de idéias e trabalhos partilhados. Podemos afiançar, como já temos afirmado inúmeras vezes, inclusive em outros documentos, que a Universidade é o local adequado para fomentar ou apoiar esta atividade e tem, a rigor, necessidade dela. Cremos que esta afirmativa é válida, ao menos para os países em estágio de desenvolvimento semelhante ao nosso. Muito ao contrário do que se pensa e se diz, em muitos casos é fácil encontrar entre os docentes das organizações de ensino superior uma disponibilidade em experimentar processos, ajudar pesquisas e conhecer novos campos da sua atividade, o que nos faz vislumbrar, em futuro próximo, a busca de colaboração mais efetiva nas Universidades, para o mutirão da defesa do nosso patrimônio cultural e uma integração maior entre intelectuais e cientistas, para estes propósitos,

encontrando a solução dos problemas da conservação da nossa memória.

2 - DAS PROSPECÇÕES ARQUEOLÓGICAS NÃO DESTRUTIVAS

Os processos de prospecção indireta do terreno são muito antigos, a rigor, talvez, o mais antigo de les seja o do estudo da condutibilidade elétrica do terreno, que já vem sendo empregado desde 1916 (Método de Wenner) como auxiliar das prospecções geofísicas.

Outros procedimentos alternativos ou complementares desta técnica existem, dentre os quais referiríamos:

- a) Medição da propagação de ondas vibratórias artificiais, através de geofones e osciloscópios.
- b) Medição das alterações eletro-magnéticas dos terrenos nas suas componentes de intensidade, declinação, inclinação e direção, através de magnetômetros. Estes instrumentos, segundo o seu princípio de funcionamento, são conhecidos como magnetômetros de prótons, diferenciais ou de rubídio.
- c) Resistividade elétrica dos terrenos, cuja eficácia e aplicabilidade estamos discutindo.
- d) Outros, tais como detetores de minas (para metais), emissões de rádio frequência (etc) e até mesmo processos pouco ortodoxos como a radioestesia.

Escolhemos as observações sobre a resistividade do

solo por ser um processo relativamente simples, cujo equipamento básico é muito comum, fabricado inclusive no Brasil. É geralmente encontrado nos Departamentos de Eletricidade das universidades ou em qualquer setor técnico de companhias distribuidoras de eletricidade, pois toda "sub-estação" para ser "aterrada" eficientemente deve levar em conta a resistividade do solo. Este esclarecimento se faz necessário porque amiúde se ouvem afirmativas de que os processos científicos são inacessíveis, são sofisticados ou que estão fora da nossa realidade. A maioria dos equipamentos para trabalhos especializados e técnicos qualificados, quase sempre estão disponíveis, basta sabermos o que queremos realmente deles e dos seus equipamentos.

Os dois métodos mais comuns de medição da resistividade estão baseados no emprego de aparelhos de dois e de quatro eletrodos. O mais simplificado e menos exato é o de dois eletrodos:

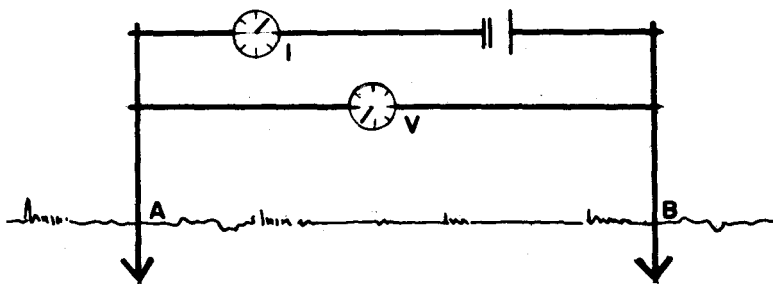


FIG. 01

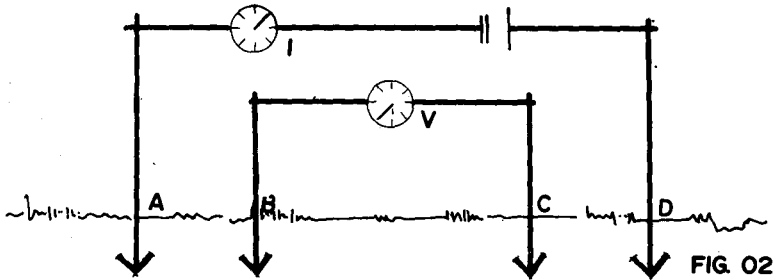
A tensão e a intensidade da corrente injetada no terreno são medidas no intervalo dos eletrodos, elementos que nos permitem ter a resistência e a

resistividade:

$$R = \frac{V}{I} \quad \Omega \quad (\text{Ohms}) \quad \text{e} \quad \rho = R \cdot k \Omega \cdot \text{m}$$

(k corresponde ao fator geométrico)

A medição feita com equipamento para quatro eletrodos, conhecida também como "arranjo de Wenner", é a forma mais comum e mais exata de medição da resistividade, permitindo uma margem de erro 5%, a depender do cuidado da medição e da qualidade do equipamento utilizado.



Para satisfazer as condições do método de Wenner o espaçamento entre os eletrodos deverá ser igual, isto é, $AB = BC = CD$, onde por meio de deduções razoavelmente complexas se chega à conclusão de que, neste caso, a resistividade " ρ " se obtém multiplicando o valor da resistência " R " por um fator " α ", que corresponde ao valor de $2\pi a$, sendo " a " a distância entre eletrodos:

$$\rho = \alpha \cdot \frac{V}{I}, \quad \rho = \alpha \cdot R \text{ e, finalmente,}$$

$$\rho = 2\pi a \cdot R$$

Para medições mais profundas o espaçamento entre os eletrodos deve ser maior e, caso se aplique o

arranjo de Schlumberger-Palmer, onde não há distanciamento regular entre os eletrodos, embora seja conservada a simetria do sistema, o fator " α " da fórmula anterior deve ser modificado. Neste caso $\alpha = \pi(a^2/b-b/4)$, onde "a" corresponde à metade da distância entre os eletrodos extremos, conhecidos também como "eletrodos de corrente" e "b" representa a distância entre os eletrodos internos ou "eletrodos de potencial".

3 - A ESCOLHA DO LOCAL

Embora a Casa da Torre não seja mais que uma ruína "onde o vento desbocado remoinha", como lamenta o mestre Godofredo, é um soberbo monumento. Nenhum exemplar da arquitetura civil brasileira poderia encerrar maior densidade de história quanto a "Casa da Torre de Garcia d'Avila", a "minha torre de Tatuapara" como ele mesmo denominou no seu testamento de 1609.

A importância deste exemplar do nosso patrimônio, a necessidade de resgatá-lo do abandono e a urgência de serem desencadeadas medidas urgentes para a sua preservação, nos conduziram a colocá-lo como local da nossa experiência, lembrando que ele ainda existe. Entendemos que as medidas efetivas para a sua conservação deverão passar por uma indagação arqueológica sistemática do seu entorno e do seu espaço interno porque uma série de questões ainda permanecem em aberto, como a existência ou não de uma torre de menagem à maneira medieval ou se o termo abastardou-se ou foi usado simbolicamente pelos antigos. A tranquilidade do local para desen-

volvermos o nosso trabalho influiu, de alguma sorte, na nossa escolha.

A amplitude da área escolhida foi condicionada às limitações da nossa empresa e conseqüentemente restrita. Além disso, deveria recair sobre uma zona onde a priori sabíamos que existiam restos de fundação enterrados, para verificarmos a eficácia da metodologia, já que não se dispunha de recursos para fazer escavações a posteriori.

Sendo um trabalho de "diletantes" à antiga, mas em busca de uma metodologia científica moderna com motivação na curiosidade intelectual, não pretendemos ter executado um trabalho de arqueologia, que caberá certamente a uma equipe interdisciplinar coordenada por um especialista em arqueologia, atuando de maneira sistemática.

Não nos foi nem possível a limpeza da vegetação do terreno o que de certo representa um estorvo para os trabalhos, mas, nem a chuva insistente, nem as causticantes urtigas, nem as vorazes formigas e "borrachudos" conseguiram demover os colegas, que alegremente se incorporaram ao nosso trabalho, aos quais devemos a possibilidade de concluir o levantamento dos quais destacamos: o prof. Adhemar Fontes, os arquitetos Antonio Carlos Barbosa, Carlos Alberto Vieira, Jorge Ricardo Fonseca e Jory Hopkins.

4 - OS EQUIPAMENTOS

Os testes iniciais para comparação dos processos geofísicos de detecção através do estudo da resistividade do terreno, foram feitos com um instrumen

to tipo universal de fabricação inglesa, cuja fonte de energia é um pequeno gerador manual. Inicialmente foram ensaiadas as medições com os eletrodos de terminal hemisférico com haste isolada (A) que serviram de base para a criação do sistema de Wenner. Foram abertos orifícios no terreno até a profundidade de 0.20m com um trado de 4" para alojar os eletrodos e feita uma comparação dos resultados de leituras obtidas para os eletrodos de haste com ponta a serem cravados no solo por percusão (B).

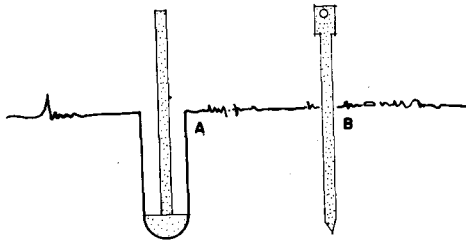


FIG. 03

Para os ensaios à profundidade de 0.20m, que dão uma leitura aproximada até à profundidade de um metro, para um espaçamento de eletrodos de 1 m (regra aproximativa de Gish & Rooney), não se evidenciou diferença fundamental nas leituras. O espaçamento de 1 m foi escolhido em função da malha clássica da prospecção arqueológica e uma futura coincidência do reticulado. Para sondagens mais profundas será exigido um maior espaçamento, como já vimos.

Chegamos à conclusão que, para os trabalhos de arqueologia, o melhor eletrodo é o de haste com ponta (B), já que a furação de orifícios com trado é muito penosa, por vezes impossível, quando se deseja fazer um grande número de medições, como é o nosso caso. Eletrodos existem para serem aparafu-

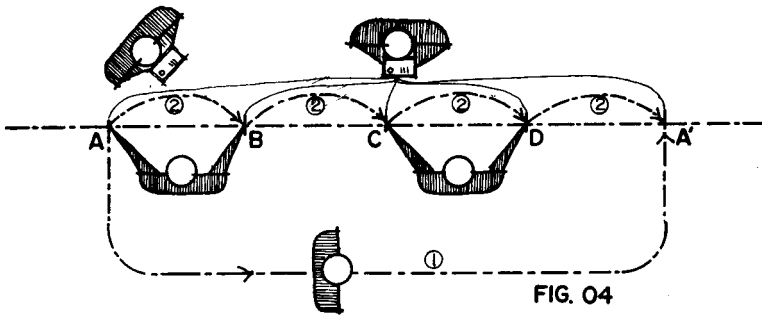
sados no terreno, os quais foram também testados e mostraram certa dificuldade de operação em terreno pedregoso.

Não fosse a oxidação das hastes dificultando o contato das garras, os ferros comuns de construção poderiam servir como eletrodos, multiplicando a eficiência do tempo nas medições. A deficiência de contato representa um entrave a ser evitado com o uso da haste galvanizada de superfície lisa.

A operação testada com o medidor operado manualmente não oferecia a agilidade requerida pela nossa pouca disponibilidade de tempo. Existem também medidores transistorizados e, um deles nos foi cedido pela COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia): um "GEOHOM 2". De pequenas dimensões, rápida leitura e fonte de energia gerada por uma simples pilha de 9 V, tivemos o tempo de leitura reduzido de 1/3. Com o treinamento progressivo da equipe as leituras podem ser rapidíssimas.

A nossa experiência demonstrou que uma equipe composta de cinco (5) membros consegue a maior eficiência na operação: dois operadores não qualificados para mudança das quatro garras de contato (duas de corrente e duas de potencial), um qualificado para leitura do aparelho, um semi-qualificado para as anotações e um não qualificado para a mudança sucessiva dos eletrodos.

Deverá ser feito um revezamento dos operadores que trocam as garras com o que faz a mudança dos eletrodos, uma vez que este último processo é o mais penoso e a manutenção de ritmo exige esse sistema de troca para que se evite a fadiga.



OPERAÇÕES A CADA MEDIÇÃO: 1) Mudança de eletrodo de A para A'

2) Mudança de garras:

- de A para B
- de B para C
- de C para D
- de D para A'

5 - LOCAÇÃO DO RETICULADO E OPERAÇÃO DE MEDIÇÃO

A locação cuidadosa do reticulado de 1.00m X 1.00m é fundamental. Após a limpeza do terreno (que não nos foi possível) os quatro pontos extremos do quadrilátero a ser prospectado devem ser definidos por piquetes, bem como a divisão de metro em metro no eixo dos "y" deste sistema cartesiano. No nosso caso designamos cada linha paralela à direção "x" por $L_0, L_1, L_2, L_3, L_4, \dots$. Não será necessário marcar as referências das linhas paralelas ao eixo dos "y" porque basta que seja estendida uma trena com a sua argola fixa ao solo por uma haste metálica e os eletrodos podem ser fixados nas devidas referências de medidas da trena. Recomenda-se, todavia,

que a trena não seja metálica para que se evitem medições defeituosas da condutibilidade.

Todo o trabalho de medição deverá ser feito em períodos em que não haja sensíveis alterações da umidade do terreno, porque o que nos interessa são as alterações relativas dentro de uma mesma situação. As medições que procedemos correspondem a um estado de umidade de 78.6% do solo, cifra obtida por pesagem em laboratório, de amostras retiradas de uma profundidade de 0.20m.

6 - TABELAS E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS VALORES EN CONTRADOS

Os números encontrados nas leituras foram organizados em tabela (Anexo). Eles representam o valor da resistência (R). Para se chegar ao valor da resistividade (ρ) foram calculados novos valores utilizando-se da expressão já referida: $\rho = 2\pi a.R \quad \Omega.m$ onde: a = distância em metros entre eletrodos, que deve ser igual ao método de Wenner

R = valor da resistência encontrado na leitura do aparelho.

Os valores da resistividade passaram a constituir outra tabela (Anexo) com os quais elaboramos a parte gráfica do estudo.

A escala do terreno para a representação dos perfís e plantas não deve ser menor do que 1:50 sob pena de se ter dificuldades na marcação das curvas de "iso-resistividade". A escala vertical dos valores da resistividade nos perfís deve estar aproximada de $1mm : 2 \Omega.m$ e deve ser registrada somente nos limites entre a maior cifra e a menor cifra en

contrada, porque o que nos deve interessar é a discrepância entre elas.

Em seguida à representação gráfica dos perfis, que são indicações no plano vertical, devem ser projetadas sobre o plano horizontal da planta do terreno, pontos de cada intersecção de planos horizontais, paralelos ao plano do terreno, nas diferentes cotas de valores da resistividade:

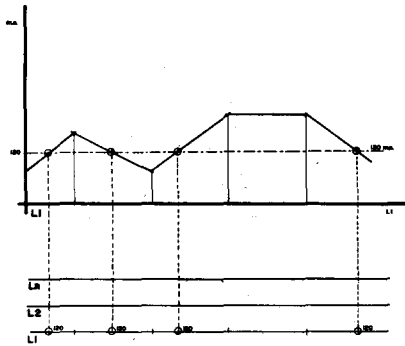


FIG 05

Para a carta com indicação das curvas de "iso-resistividade", se nos é lícito assim chamar, bastariãmos ligar os pontos de igual valor. A "iluminação" da carta final com cores pode ser um auxílio na leitura das zonas de perturbações, onde convém notar tanto os pontos de maior resistividade quanto os de resistividade inferior à média.

7 - CONCLUSÃO

O processo geofísico da medição da resistividade elétrica do terreno é muito útil e de fácil aplicação. Os instrumentos que se fazem necessários para a sua aplicação são de fácil acesso e a sua ope

ELETRODOS	L-0	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-6	L-7	L-8	L-9	L-10	L-11	L-12	L-13	L-14
0 - 3	24.2	18.9	16.8	19.4	18.8	18.5	25.0	22.3	18.0	18.0	18.2	17.2	15.0	15.7	15.8
1 - 4	27.6	18.9	19.2	19.2	18.2	18.5	20.3	18.0	17.1	21.1	19.8	15.4	15.0	18.1	18.8
2 - 5	26.8	18.9	21.0	20.2	20.1	22.5	17.5	21.2	21.2	19.5	18.5	15.7	17.6	18.8	25.0
3 - 6	27.7	21.4	17.6	19.2	18.6	19.6	17.5	23.6	21.0	23.0	20.9	17.6	15.4	18.6	24.5
4 - 7	27.7	19.6	22.0	19.2	21.4	22.8	18.6	22.9	23.0	22.6	20.8	15.4	17.0	17.5	27.7
5 - 8	30.0	20.4	19.7	20.1	20.4	23.4	17.8	23.0	23.6	23.4	24.4	19.0	16.7	17.5	29.3
6 - 9	34.1	22.4	19.7	22.0	21.1	21.2	21.5	25.0	21.0	24.4	20.2	17.3	16.3	17.0	29.0
7 - 10	34.4	21.4	19.7	21.4	24.0	21.5	25.8	21.4	26.4	22.2	24.6	22.0	18.6	19.4	29.2
8 - 11	34.1	22.4	21.0	24.0	21.4	24.3	25.8	25.0	21.9	24.4	20.6	21.0	17.4	20.8	25.4
9 - 12	34.4	23.8	21.4	25.4	24.7	23.2	21.8	22.6	23.7	20.5	22.0	30.8	25.9	21.0	31.4
10 - 13	34.0	29.4	24.3	21.0	21.6	24.5	23.0	24.0	23.4	19.8	20.4	22.0	20.6	21.5	22.0
11 - 14	31.7	21.4	25.4	26.5	21.6	27.8	21.4	22.2	21.8	21.6	20.4	29.3	23.0	17.2	29.0
12 - 15	31.7	35.1	29.8	25.0	23.3	24.4	22.0	27.2	24.2	21.8	22.7	19.6	24.0	22.0	27.9
13 - 16	28.9	25.0	34.9	23.8	19.3	28.2	28.4	26.0	21.2	24.9	21.2	22.5	18.6	20.0	28.2
14 - 17	23.0	27.5	31.2	28.8	24.0	26.0	29.2	28.8	26.4	24.3	21.6	18.6	21.8	20.0	25.4
15 - 18	20.7	27.5	39.2	27.3	24.0	26.0	29.3	30.3	20.5	25.6	20.8	23.0	21.4	25.4	26.5
16 - 19	20.2	25.9	32.3	28.6	25.1	31.8	29.3	31.8	24.8	23.8	19.0	14.0	17.8	16.7	23.1
17 - 20	20.8	25.6	37.3	29.6	25.1	28.4	28.5	30.8	24.8	21.8	17.7	17.8	17.0	21.2	19.6
18 - 21	16.8	24.8	24.2	24.7	25.1	26.3	26.6	31.8	19.9	21.1	16.2	16.2	17.2	19.0	22.0
19 - 22	27.0	22.9	30.5	29.4	23.0	31.8	37.0	39.6	24.2	17.0	15.6	16.1	19.2	18.5	18.5
20 - 23	17.0	19.0	19.6	22.0	24.0	21.0	24.8	29.4	22.6	20.0	17.7	18.4	19.2	19.8	22.5
21 - 24	23.0	19.0	23.2	26.8	26.0	27.8	25.1	24.2	20.2	18.8	17.3	20.2	23.0	20.9	23.0
22 - 25	21.0	19.0	21.1	23.4	25.1	26.3	29.3	26.5	22.3	19.7	18.6	19.7	23.0	21.7	22.0

TABELA DE LEITURA DA RESISTÊNCIA

PLANILHA DAS RESISTIVIDADES

	L-0	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-6	L-7	L-8	L-9	L-10	L-11	L-12	L-13	L-14
00-03	152.0	118.7	105.5	121.8	118.2	116.2	157.0	140.1	113.0	113.0	114.6	108.0	94.2	98.6	99.2
01-04	173.4	118.7	120.6	120.6	114.3	116.2	127.5	113.0	107.4	132.5	124.4	96.7	94.2	113.7	118.1
02-05	168.3	118.7	131.9	126.9	126.2	141.3	109.9	132.2	132.2	122.5	116.2	98.6	110.5	118.1	157.0
03-06	174.0	134.4	110.5	120.6	116.8	123.1	109.0	148.2	131.9	144.5	131.3	110.5	94.7	116.8	153.9
04-07	174.0	123.1	138.2	120.6	134.4	143.3	116.8	143.8	144.5	141.9	130.6	96.7	106.8	109.5	174.0
05-08	188.4	128.1	123.7	126.2	128.1	147.0	111.8	144.5	148.2	147.0	153.3	119.3	104.9	109.9	184.0
06-09	216.1	140.7	123.7	138.2	132.5	133.2	135.0	157.0	131.1	153.3	126.9	108.6	102.4	106.8	182.2
07-10	216.1	134.4	123.7	134.4	150.7	135.0	162.1	134.4	165.8	139.4	154.5	138.2	116.8	121.8	183.4
08-11	214.2	140.7	131.9	150.7	134.4	152.6	162.1	157.0	137.6	153.3	129.4	131.9	109.3	130.6	159.9
09-12	215.5	149.5	134.4	159.5	155.1	145.7	136.9	141.9	148.9	128.8	138.8	193.5	162.7	131.9	197.2
10-13	213.6	184.7	152.6	131.9	135.7	153.9	144.5	150.7	147.0	124.4	128.1	138.2	129.4	135.0	138.2
11-14	199.1	134.4	159.5	166.5	137.7	174.6	134.4	139.4	136.9	135.7	128.1	184.0	144.5	108.0	182.2
12-15	199.1	220.5	187.2	157.0	146.3	153.3	138.2	170.9	152.0	136.9	142.6	123.1	150.7	138.2	175.3
13-16	181.5	157.0	219.2	149.5	121.2	177.1	178.4	163.3	133.2	156.6	133.2	141.3	116.8	125.6	177.1
14-17	144.5	172.7	196.0	180.9	150.7	163.3	183.4	180.9	165.8	152.6	135.7	116.8	136.9	125.6	159.5
15-18	130.0	172.7	246.3	171.5	150.7	163.3	184.0	190.3	128.8	160.8	130.6	144.5	134.4	159.5	166.5
16-19	126.9	162.7	202.9	179.6	157.7	199.8	184.0	199.8	155.8	149.5	119.3	87.9	111.8	104.9	145.1
17-20	130.6	130.6	234.3	185.9	157.7	178.4	179.0	193.5	155.8	136.9	111.2	111.4	106.8	133.2	123.1
18-21	105.5	155.8	152.0	155.1	157.7	165.2	167.1	199.8	125.0	132.5	101.7	101.7	108.0	119.3	138.2
19-22	169.6	143.8	191.6	184.7	144.5	199.8	232.4	242.8	152.0	106.8	98.0	101.1	120.6	116.2	116.2
20-23	106.8	119.3	123.1	138.2	150.7	131.9	155.8	184.7	141.9	125.6	111.2	115.6	120.6	124.4	141.3
21-24	144.5	119.3	145.7	168.3	163.3	174.6	157.7	152.0	126.9	118.1	108.6	126.9	144.5	131.3	144.5
22-25	131.9	119.3	132.5	147.0	157.7	165.2	184.0	166.5	140.1	123.7	116.8	123.7	144.5	136.3	138.2

ração não tem grande complexidade. Conviria que a sua aplicação fosse experimentada mais amiúde pelas equipes de arqueologia, aumentando a habilidade na interpretação das cartas que se podem obter com o método em questão.

RESUMO

Entre os métodos de prospecção não destrutiva dos terrenos destacam-se os baseados na condutibilidade elétrica e, dentre estes, o de maior propriedade e eficiência é o que emprega o "arranjo de Wenner" utilizando quatro eletrodos.

Através de experimentação em um tema concreto na área arqueológica da Casa da Torre de Garcia d'Ávila, procuramos o procedimento mais adequado e consequente para medições e anotações de dados sobre a condutibilidade do terreno, operando com medidores de resistividade que são comumente encontrados nas companhias distribuidoras de energia elétrica. Tal equipamento demonstrou a sua eficácia na individualização de alterações na continuidade da estrutura do terreno e, conseqüentemente, localização de possíveis testemunhos arqueológicos.