

3.º ENCONTRO NACIONAL DE GEOTECNIA

Volume 1



Porto, 20, 21 e 22 de Março de 1989

Promovido pela:

Sociedade Portuguesa de Geotecnia

Patrocinado por:

Universidade do Porto

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

3º ENCONTRO NACIONAL DE GEOTECNIA

O lapso de tempo decorrido desde o anterior Encontro, precisamente dois anos, abarcou o projecto e a construção de numerosas e complexas obras de engenharia com importante componente geotécnica. A sensibilização para a importância desta componente conheceu, em simultâneo, sensíveis progressos. O número de profissionais, sobretudo jovens, e de gabinetes e empresas trabalhando preferencialmente em Geotecnia tem aumentado de forma muito significativa. Nas escolas superiores, nos laboratórios e outros centros de investigação são crescentes o interesse e os trabalhos dedicados aos temas relacionados com a Mecânica dos Solos, a Mecânica das Rochas e a Geologia de Engenharia.

O número de participantes inscritos neste Encontro, bem como a quantidade e qualidade das comunicações apresentadas, provam que esta altura é altamente oportuna para a troca de experiências e para o convívio entre os geotécnicos.

A Sociedade Portuguesa de Geotecnia e a Comissão Organizadora deste 3º Encontro Nacional de Geotecnia desejam expressar o seu reconhecimento às entidades patrocinadoras, aos conferencistas convidados, aos autores das cerca de 80 comunicações e a todos os participantes em geral pelas respectivas contribuições para o enriquecimento do Encontro. A Sociedade Portuguesa de Geotecnia apela a todos os participantes não associados para formalizarem a sua adesão, de modo a fortalecer a implantação da S.P.G. no meio técnico nacional e, portanto, o desenvolvimento, a divulgação e a aplicação dos conhecimentos geotécnicos na prática da Engenharia.

A Direcção da S.P.G.

A Comissão Organizadora do 3º ENG.

VOLUME 1

TEMA A - RECONHECIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE MACIÇOS

- Resistência ao corte em obras de terra.....A-1**
Luis Lemos
- Contribuição para uma teoria da resistência e deformabilidade dos solos.....A-1**
Ulpio Nascimento
- Contribuição para o conhecimento da fracturação nas ardósias de Valongo.....A-4**
Bernardo Barbosa e Santarém Andrade
- Parametrização geoelectrica de terrenos unidimensionais.....A-49**
Carlos Espain Oliveira
- Reconhecimento geofísico dos terrenos de polo II da U.P.....A-61**
J. Rocha e Silva e A. Machado Leite
- Deformabilidade de um maciço rochoso formado por uma rocha anisotrópica e compartimentada por um sistema de diaclases de simetria ortótropa-Aplicação da teoria a um caso concreto.....A-75**
F. Peres Rodrigues
- Estudos geotécnicos sobre areias da zona de Aveiro.....A-85**
F. L. Ladeira e L. M. Ferreira Gomes
- Da granulometria das areias ao seu ângulo de atrito.....A-95**
L. M. Ferreira Gomes e F. L. Ladeira
- Algumas particularidades das características de deformabilidade e resistência ao corte de um solo residual do Granito do Porto.....A-10**
A. Viana da Fonseca

Reconhecimento geofísico dos terrenos do Polo II da U. P.
Geophysical exploration of the site construction at Polo II-U. P.

por

José A. Rocha e Silva(*) e Alexandre Machado Leite(*)

RESUMO:

O Departamento de Minas da FEUP executou a caracterização geológica e geofísica dos terrenos onde se localizarão as novas instalações da Faculdade de Engenharia da U.P. (no Polo II, à Asprela), utilizando sondagens eléctricas verticais e perfis eléctricos, com confirmação por sondagens mecânicas.

Para poder levar a cabo esta tarefa em tempo útil, com reduzidos meios logísticos e humanos, foi necessário utilizar intensivamente métodos computacionais, isto é:

- a interpretação dos dados de campo foi feita através de um conjunto de algoritmos (correndo em IBM PC compatível) desenvolvidos no Dep. Minas;
- os dados obtidos foram lançados em duas bases de dados intercomunicantes e trabalhados a partir delas.

Esta estratégia permitiu: otimizar o trabalho de interpretação e de gabinete, planear o trabalho de campo, delimitar áreas de características diferentes e analisar estatisticamente os resultados.

ABSTRACT:

The Mine Engineering Department of FEUP has been assigned the task of the geological and geophysical characterization of the future site construction of the new Engineering Faculty of Oporto University. This work was done using electrical drilling and electrical trenching and the data confirmation was made using auger drilling.

For the practical prosecution of the contract with reduced human and logistic resources it was necessary to make an intensive utilization of computational methods, that is:

- the interpretation has been made with a set of Pascal algorithms produced in the Mine Eng. Dept.;
- the storage and manipulation of the data has been made by two interconnected databases.

This approach made possible the optimization of the interpretation, the effective planning of fieldwork, an easy separation of field areas with different characteristics and the statistical analysis of all the data.

(*) Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da U. P.

Os algoritmos de interpretação

A presente comunicação tem por fito a descrição do modo como foi conduzido, com escassos meios materiais e humanos, um trabalho de reconhecimento geológico e geofísico encomendado pela Reitoria da Universidade do Porto. A zona que foi investigada estende-se por cerca de 28 ha, envolvendo a Faculdade de Economia da U. P. pelos seus lados norte e nascente e nela localizar-se-ão, num futuro que esperamos seja próximo, as novas instalações da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Foram utilizadas, como método base de toda a investigação, as sondagens eléctricas verticais e os perfis eléctricos, complementados por sondagens mecânicas a trado e correspondentes ensaios de Mecânica dos Solos.

Durante o trabalho de geofísica utilizou-se um dispositivo de Schlumberger com oito pontos por década, abcissa inicial igual a 1.33 metros e semi-distância máxima entre eléctrodos de injeção de corrente de 31.60 metros, o que corresponde a uma profundidade máxima investigada da ordem dos 18 metros. Utilizou-se um resistivímetro de corrente alterna ABEM Terrameter, cuja fonte de potencial gera uma onda quadrada de 4 Hz. Ficam assim eliminados os problemas de polarização dos eléctrodos, ao mesmo tempo que se minimizam os "efeitos de pele".

Recordemos muito sucintamente que as sondagens eléctricas se executam (Fig. 1) pela injeção no terreno de uma corrente eléctrica de características conhecidas, medindo-se em seguida o campo eléctrico que é criado. À medida que se pretende atingir zonas mais profundas, vai-se aumentando em progressão geométrica o espaçamento dos eléctrodos injectores de corrente. Para cada uma das sucessivas posições do dispositivo regista-se a respectiva leitura da ponte de medida.

Tradicionalmente, a interpretação das sondagens eléctricas é feita lançando as curvas de resistividade aparente (que decorrem dos dados de campo) em papel bilogarítmico transparente e comparando-as, por sobreposição, com colecções de curvas-padrão. Como é fácil depreender, trata-se de um método moroso, cuja eficiência depende, em larga medida, da experiência e sensibilidade do interpretador. Por isso, o primeiro passo que se deu foi o da construção do "software" de interpretação das sondagens eléctricas.

Para esse fim procedeu-se, em primeiro lugar (*), à transcrição para Pascal, com ligeiras modificações, de um programa que calcula, através do bem conhecido filtro linear de Gosh (ver Koefoed, O (1979)), a curva das resistivi-

(*) Esta parte do trabalho foi executada por Abílio A. T. Cavalheiro.

dades aparentes para uma dada estrutura ideal de um terreno estratificado (*). Contudo, para que a interpretação se automatizasse, libertando-se, tanto quanto possível, das idiossincrasias do operador, era fundamental que se acoplasse ao programa anterior um procedimento que minimizasse o desvio entre as curvas de campo e as que são produzidas pelo algoritmo de Gosh. Assim se fez, utilizando-se uma rotina de minimização do somatório dos quadrados desses desvios, que implementa a estratégia proposta por Marquardt (1963) utilizando a factorização matricial de Choleski (veja-se Acton, F. (1970)), bem como um processo simples de diferenciação numérica(**).

Estas duas rotinas foram englobadas num único programa de ajuste, escrito em Pascal, a que se deu o nome de SEVMARQ. Ele constitui a parte central de um conjunto de programas intercomunicantes, de que também fazem parte SEVGRAF, VISTA1, WRITEPILHA, PILHA.BAT (**).

O processo de interpretação de uma sondagem isolada tem o seguinte encadementamento:

1. Criação do ficheiro de dados experimentais (SEV.DAT) a partir de uma base de dados;
2. Visualização do gráfico log-log que os dados proporcionam, através de VISTA1, o que permite fazer uma avaliação prévia do ponto de partida do algoritmo de ajuste;
3. Criação do ficheiro que contém a hipótese inicial para os parâmetros (SEV.GSS);
4. Com SEV.DAT e SEV.GSS como ficheiros de entrada, lança-se uma corrida de SEVMARQ, que terminará quando se cumprir o critério de paragem imposto e que, como resultado, gerará um ficheiro de resultados de interpretação (SEV.RES);
5. Visualização da qualidade do ajuste através do programa gráfico SEVGRAF, que recebe os dados de SEV.RES;
6. Se se puder considerar o ajuste como satisfatório (em particular, se o erro percentual médio, por medida, não exceder 5%, valor que se revelou aceitável, haja em vista os erros de medida), introduzem-se os parâmetros

(*) Numa comunicação com a concisão a que esta é obrigada torna-se impossível apresentar qualquer pormenor dos fundamentos matemáticos destes algoritmos. Por isso, sugerimos ao leitor mais interessado a consulta das referências bibliográficas que se indicam.

(**) Estas duas últimas pequenas peças de "software" devem-se a João Manuel Valente da Fonseca.

estruturais (nº de camadas, resistividades, possanças) na base de dados CAMPO. Caso não nos possamos considerar satisfeitos com a qualidade do ajuste, recomeça-se o processo, partindo de uma nova hipótese inicial para os parâmetros.

Regra geral, as sondagens não são interpretadas isoladamente, mas sim em conjuntos de 15 a 25, o que permite que as corridas sejam feitas a horas mortas, recolhendo-se os frutos do trabalho do computador na manhã seguinte, com a conseqüente economia de tempo do operador. Deste modo, a intervenção inteligente (presume-se que a do operador) fica circunscrita à análise prévia dos gráficos das sondagens e conseqüente escolha dos pontos de partida das corridas de ajuste e, ainda, à tarefa de decidir se o ajuste tem ou não qualidade suficiente.

Não se pense contudo que não foram encontradas dificuldades. Foi várias vezes detectada a presença de mínimos locais para onde os ajustes são atraídos, problema só resolúvel com nova corrida, iniciada num ponto de partida diferente (Fig^s 2 e 3). Acontece ainda que muito embora um ajuste possa ser de boa qualidade sob o ponto de vista numérico não o é, necessariamente, sob o ponto de vista geológico e geofísico. Desse facto é exemplo a ocorrência de ajustes com baixo erro numérico que propõem a presença de camadas com espessuras centimétricas a profundidades onde elas são consabidamente indetectáveis (Fig. 4). Escolho adicional é a ocorrência de sondagens com heterogeneidades laterais muito marcadas o que só é resolúvel (quando o é) recomeçando a sondagem com o dispositivo alinhado noutra direcção.

Note-se ainda que o filtro linear de Gosh tem uma certa relutância em "pegar" em curvas de SEV, do tipo KH (a quatro camadas) problema que ainda não foi investigado e para o qual chamamos a atenção do interpretador de geofísica menos prevenido.

As dificuldades que acabámos de relatar não são atribuíveis ao algoritmo de interpretação, nem são exclusivo único das sondagens eléctricas verticais. Elas devem-se, acima de tudo, ao facto, nem sempre presente na mente de quem se dedica a este género de trabalhos, de os métodos geofísicos não darem obrigatoriamente uma interpretação unívoca da estrutura do terreno.

Significa isto que é conveniente evitar a utilização dos métodos geofísicos sob a forma de simples receitas empíricas. No nosso entender, só é possível executar trabalho de boa qualidade caldeando a aplicação de potentes e sofisticadas rotinas matemáticas de interpretação com o sólido bom senso que só a interpretação geológica pode dar.

A manipulação das bases de dados

Como se sabe, à medida que, com as sondagens eléctricas se pretende atingir maiores profundidades, vai-se aumentando (em geral em progressão geométrica) o espaçamento dos eléctrodos injectores de corrente.

Por exemplo, para uma profundidade investigada da ordem dos 17 metros, são necessárias 12 leituras de campo em cada ponto sondado. Se acrescentarmos os dados da localização das sondagens e os resultados da interpretação, vemos que, para um total de 500 sondagens eléctricas, o número de dados singulares se elevará a 12 500.

Estes números justificariam, só por si, a criação de meios automatizados de tratamento, tanto mais que, como se exemplifica esquemáticamente na Fig. 5, os métodos tradicionais de tratamento, análise e arquivo de dados, são morosos e complexos.

Para esse fim lançou-se mão de um utilitário integrado que combina, numa só peça de software, uma folha de cálculo, uma base de dados, um gerador de gráficos e um editor de texto bastante simples (*).

Nele se criaram duas bases de dados intercomunicantes a que se deu os nomes de CAMPO e RESULTADOS (Fig. 6). Ao fim de cada dia de trabalho os dados de campo eram lançados na primeira e, através da macro(**) M1, eram calculados os respectivos valores das resistividades aparentes que ficavam armazenados em RESULTADOS (Fig. 7).

Em seguida, através da macro M2 eram criados, sem a intervenção directa do operador, os ficheiros em formato ASCII, SEV.DAT que continham as resistividades aparentes e a sinalética de identificação respeitante a cada uma das sondagens eléctricas. Estes ficheiros eram utilizados pelo programa SEVMARQ.-PAS, que fazia a interpretação das sondagens eléctricas.

As espessuras e resistividades das camadas indicadas pela interpretação, foram importadas para a base de dados RESULTADOS através da macro M3, completando-se assim a ficha relativa ao ponto sondado.

Mal o conjunto de dados relativo a uma dada zona se encontrava armazenado, passava-se então à fase de utilização e interrogação da base de dados com o fito de produzir resultados sintéticos e gerar gráficos de resultados (Fig. 8).

(*) Não referiremos aqui o nome do "software" utilizado para não cairmos no peccadilho da publicidade gratuita.

(**) Trata-se de um encadeamento de instruções simples, escrito na linguagem do utilitário, que quando invocado através de dois simples batimentos de tecla executa, de um modo automático, tarefas repetitivas.

Em primeiro lugar, através da macro M4, utilizada em conjunção com o gerador de gráficos, pôde-se executar, sem a intervenção de qualquer desenhador, um "log" para cada sondagem (Fig. 9). Nesta fase, através das rotinas de impressão, produziram-se mapas de dados relativos a cada uma das zonas investigadas.

Como uma base de dados que se preza tem a obrigação de responder a interrogações lançadas pelo operador, foi muito simples o agrupamento das sondagens eléctricas de modo a definir perfis transversos e longitudinais no terreno (Fig. 10). Mas as questões com que se interroga a base de dados permitiram também agrupar os dados mediante afinidades de outros tipos e assim, fazendo de novo apelo ao gerador de gráficos, produziram-se diagramas de frequência (Fig. 11).

Os dados de campo e os valores que resultaram da interpretação, seleccionados por várias perguntas cruzadas, foram exportados para ficheiros de dados que, lidos por "software" estatístico e de produção de gráficos, nos permitiu obter:

- tratamentos estatísticos mais elaborados, nomeadamente a produção de "clusters" de valores, com vista à detecção de zonas com resistividades anómalas (ou muito altas ou muito baixas);

- cartas de resistividades aparentes a duas e a três dimensões (Fig^s. 12 e 13).

Finalmente, o texto do relatório final foi escrito no editor do "software" integrado, o que permitiu incorporar-lhe directamente várias das tabelas que tinham sido produzidas previamente.

Saliente-se que a rotina de gabinete ficou suficientemente automatizada para que, após a fase de construção e afinação dos programas, a intervenção directa do operador quase se limitasse à simples gestão e ordenamento dos ficheiros de dados e de resultados.

Todo o "software" produzido e/ou utilizado (algoritmos de interpretação, base de dados, rotinas estatísticas, geradores de gráficos), será integrado num "package" único, que deverá estar à disposição dos interessados no decurso do próximo ano.

Bibliografia

Acton, Forman S. (1970). Numerical methods that work, Harper & Row, New York.

Cavalheiro, A. T. & Silva, José A. C. Rocha (1988). Interpretação numérica de sondagens eléctricas verticais, in Comunicações ao VII Encontro de Engenheiros de Minas, Ordem dos Engenheiros, Lisboa.

Espain, Carlos (1984). Parâmetros aparentes em prospecção geoelectrica: uma nova técnica de interpretação, PhD Thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

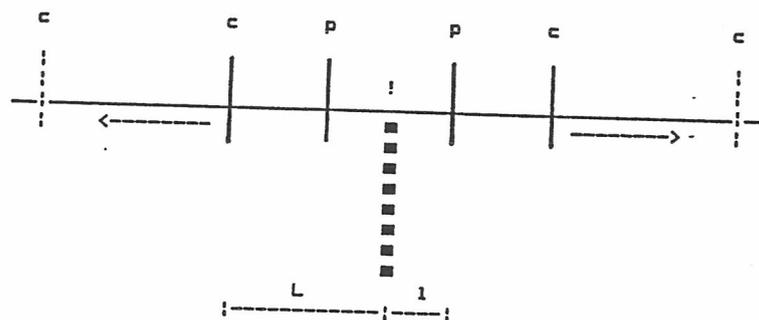
Gill, Murray & Wright (1981). Practical optimization, Academic Press, London.

Koeffoed, Otto (1979). Geosounding principles I: resistivity sounding measurements, Elsevier Co, Amsterdam.

Marquardt, D. W. (1963). An algorithm for least-squares estimation of non-linear parameters, J. Soc. Ind. Appl. Math., Vol 11, nº 2, pp. 431-441.

Orellana, Ernesto (1972). Prospección geoelectrica en corriente contínua, Paraninfo, Madrid.

Silva, José A. C. Rocha et al (1988). Utilização de bases de dados em reconhecimento geotécnico, in Comunicações ao VII Encontro de Engenheiros de Minas, Ordem dos Engenheiros, Lisboa.

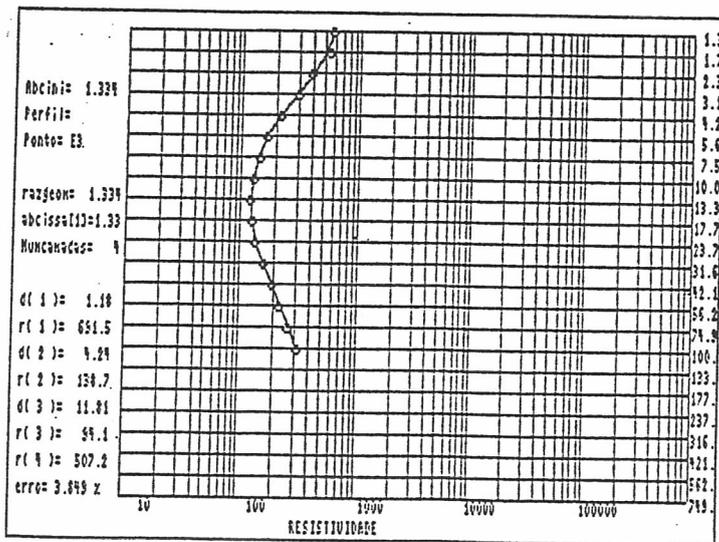
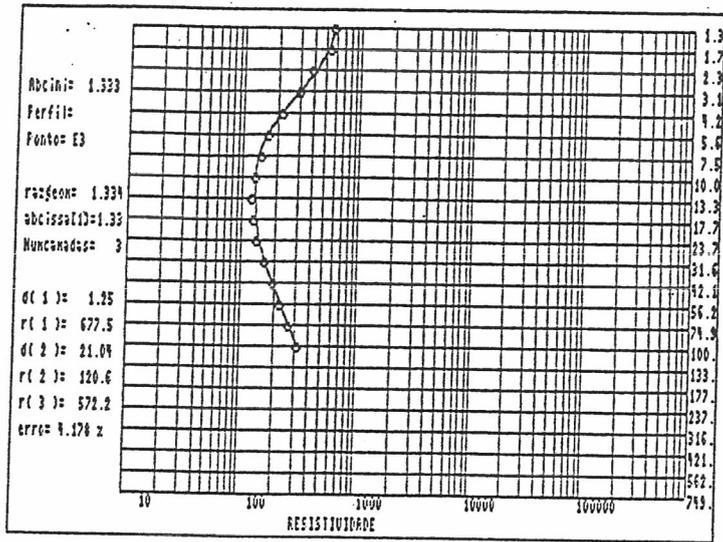


p → Eléctrodos de potencial (fixos)

c → Eléctrodos de corrente (móveis)

$$\rho_a = \frac{\pi}{2s^1} * L^2 * \frac{\Delta V}{I}$$

Fig. 1: Esquema de realização de uma sondagem eléctrica vertical com o dispositivo de Schlumberger



Fig^s. 2 e 3: Um caso típico de ocorrência de um mínimo local.

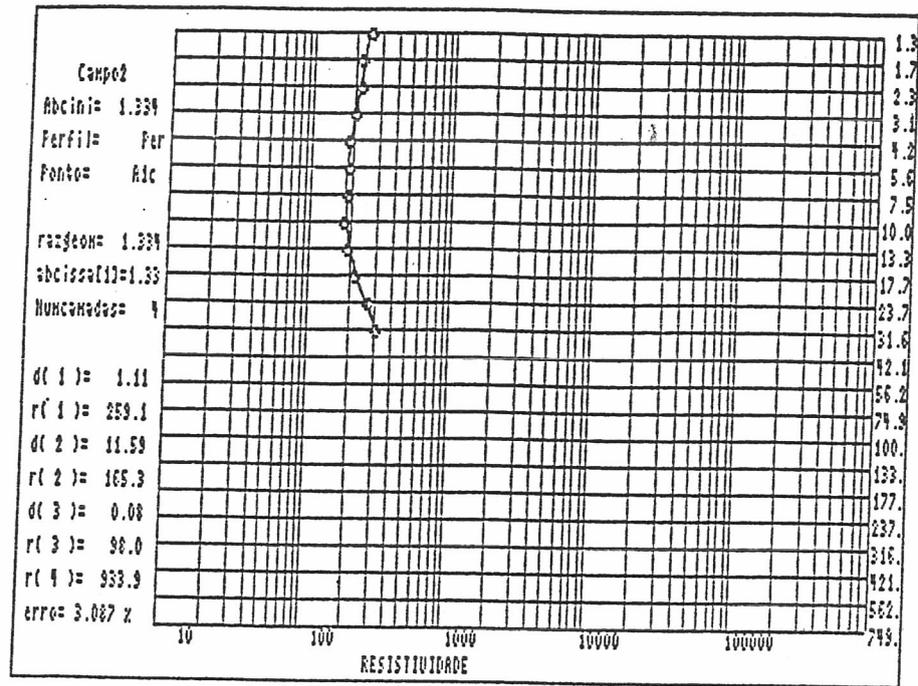


Fig. 4: Uma interpretação geologicamente impossível.

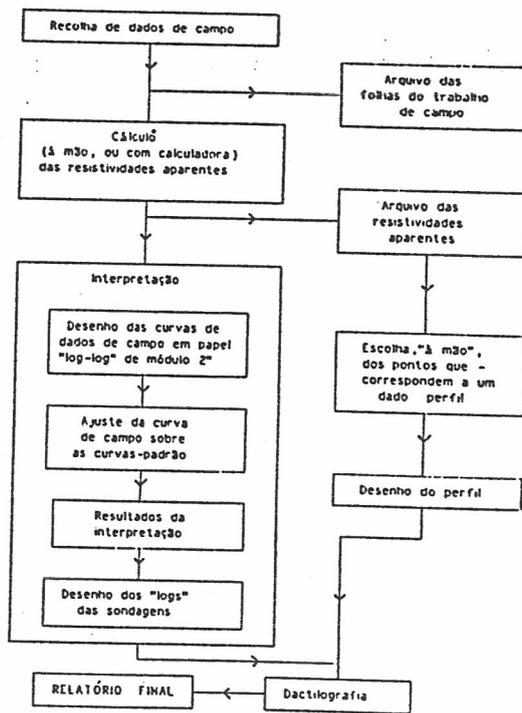


Fig. 5: Sequência de operações tradicionalmente utilizada durante a interpretação de SEVs.

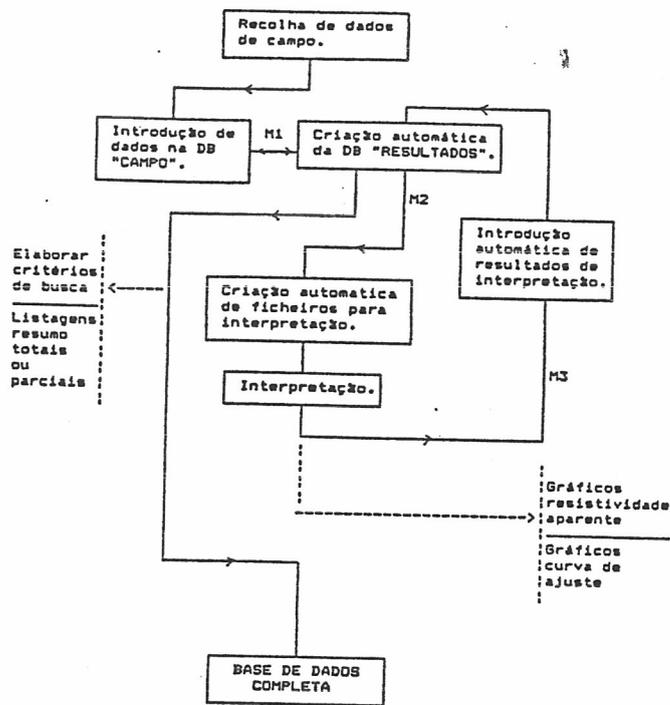


Fig. 6: Descrição do processo de arquivo em base de dados.

DATA	27-Ago-87	LOCAL	Campo
1º ABCIS.	1.3335214	ESPAÇAM.	1
PONTO G8B _____	OBS	O ponto foi sondado 2m p	
PERFIL PG _____	Nº MED.	12	
L1 376 _____	L2 114 _____		
L3 48.1 _____	L4 23.2 _____		
L5 12 _____	L6 5.76 _____		
L7 3 _____	L8 1.59 _____		
L9 0.774 _____	L10 0.381 _____		
L11 0.218 _____	L12 0.142 _____		
L13 _____	L14 _____		

DATA	27-Ago-87	LOCAL	Campo
1º ABCIS.	1.3335214	ESPAÇAM.	1
PONTO G8B _____	OBS	O ponto foi sondado 2m p	
PERFIL PG _____	Nº MED.	12	
R1 459.66693 _____	R2 387.20074 _____		
R3 349.32339 _____	R4 327.98227 _____		
R5 316.34821 _____	R6 277.06835 _____		
R7 260.28471 _____	R8 247.25904 _____		
R9 214.98676 _____	R10 188.65543 _____		
R11 192.22213 _____	R12 222.83002 _____		
R13 0 _____	R14 0 _____		
..... dados das interpretações			
Nº CAMADAS _____	P(1) _____		
RI(1) _____	P(2) _____		
RI(2) _____	P(3) _____		
RI(3) _____	P(4) _____		

Fig. 7: "Fichas" das bases de dados CAMPO e RESULTADOS.

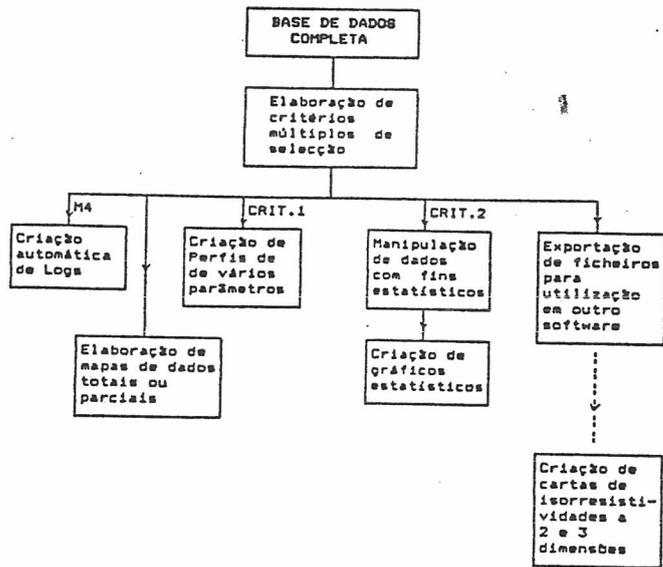


Fig. 8: Descrição da manipulação das bases de dados.

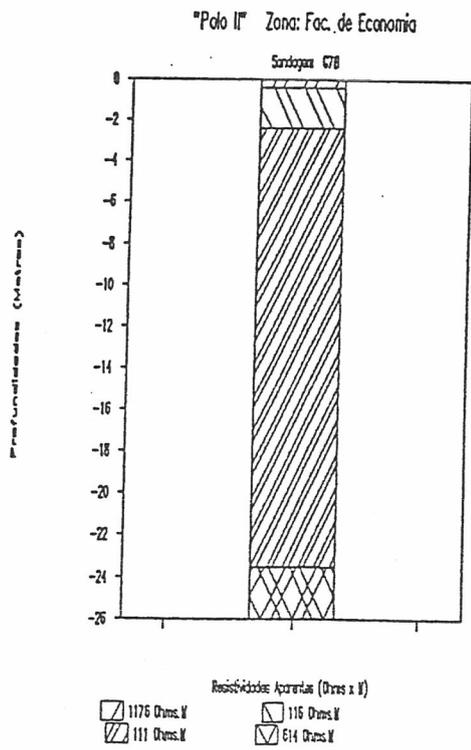


Fig. 9: Um "log" de uma sondagem eléctrica.

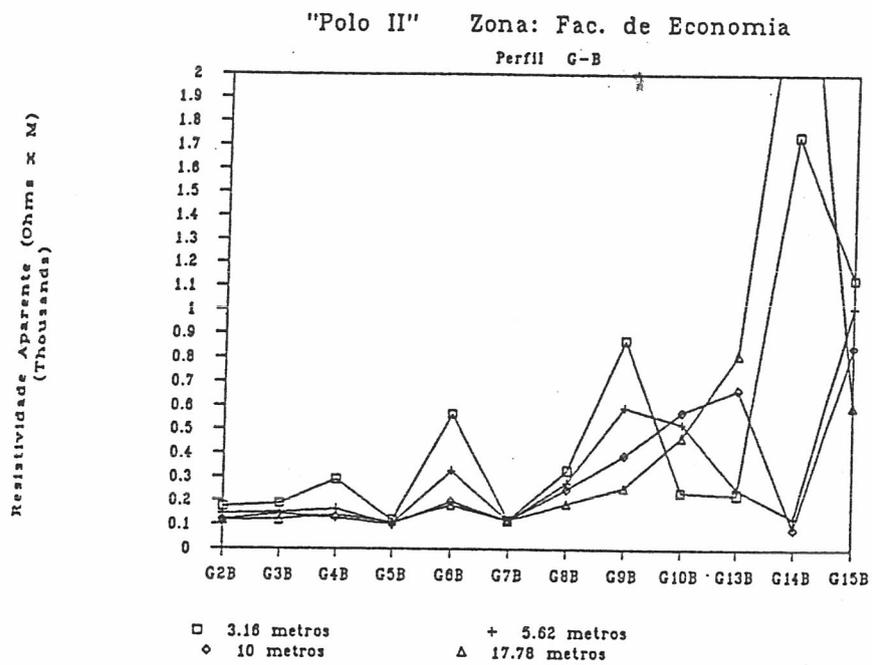


Fig. 10: Um perfil de resistividades aparentes.

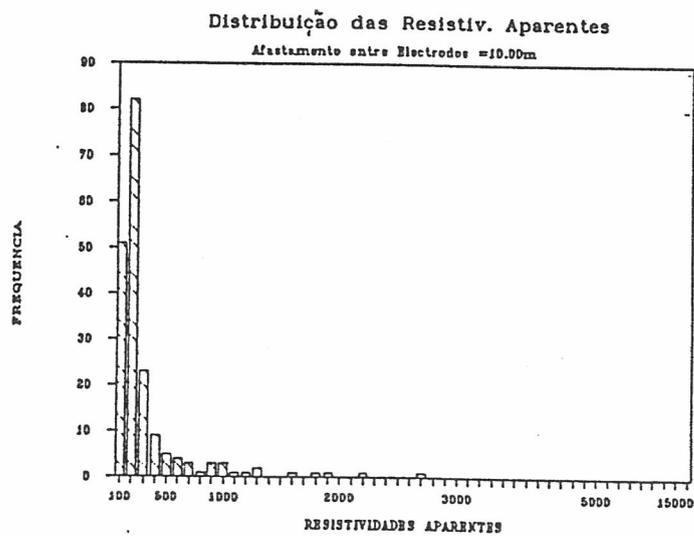


Fig. 11: Um diagrama de frequências de valores das resistividades aparentes.

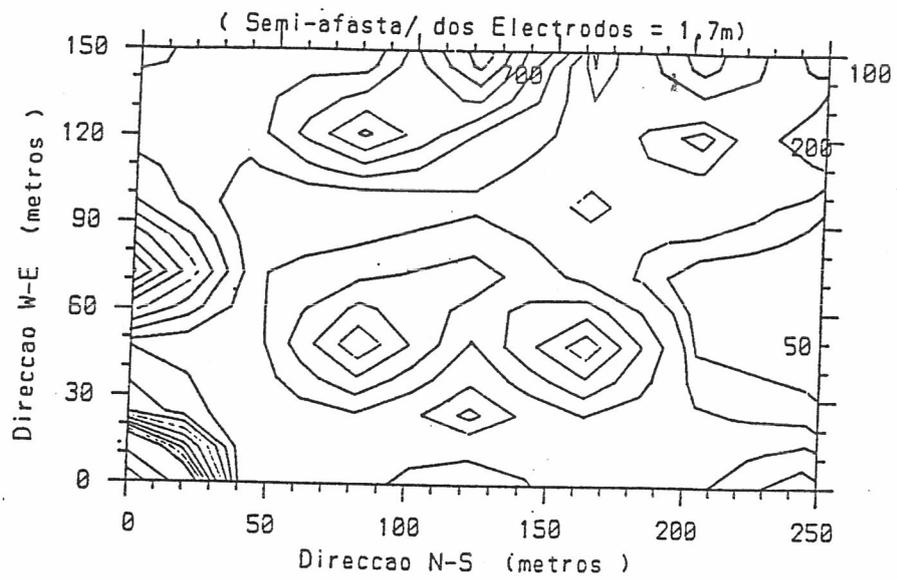


Fig. 12: Uma planta de iso-resistividades.

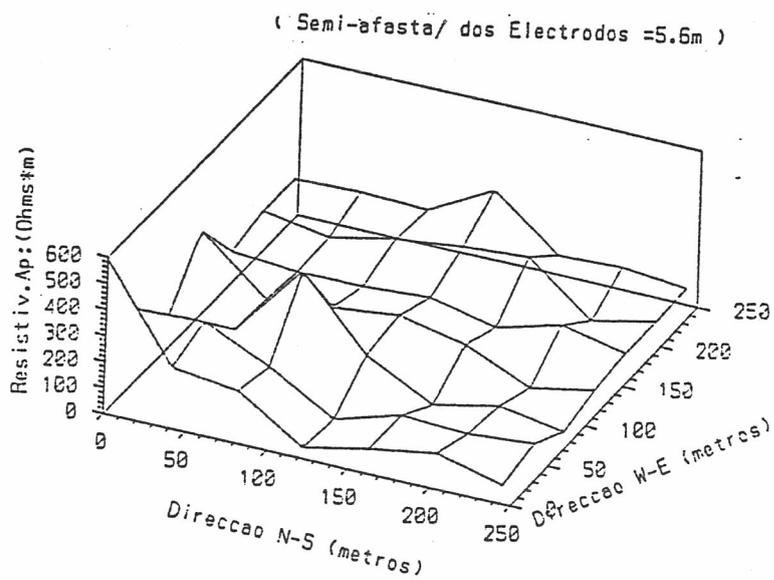


Fig. 13: Um diagrama tridimensional de resistividades aparentes.