

COMPUTAÇÃO GRÁFICA INTERATIVA DE DADOS GEOLÓGICOS VETORIAIS

C. Dinis da Gama
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
Caixa Postal 7141, 50508-São Paulo, SP, Brazil

RESUMO

Apresenta-se o tratamento gráfico interativo de dados vetoriais provenientes de estudos geológicos realizados sobre mapas, fotos aéreas ou de satélites.

Estruturas geológicas lineares, tais como falhas, fraturas, xistosidades, lineamentos etc., são objeto de digitalização, seguida de análise estatística e de representações gráficas variadas, visando a interpretação estrutural de áreas ou subáreas numa dada região.

Descreve-se o programa GEOVET especialmente desenvolvido para este fim, o qual utiliza linguagem BASIC e acesso interativo, sendo ilustrada a sua aplicação por meio de um exemplo concreto.

ABSTRACT

Interactive graphics processing of vectorial data obtained from geological studies on maps, aerial photos or satellite pictures, is presented in this paper.

Linear geological structures such as faults, fractures, schistositities and other types of lineaments are processed by means of digitalization, followed by statistical analysis and various graphic representations, in order to support structural interpretations of areas or sub-areas within a certain region.

For that purpose, program GEOVET was developed, using BASIC language and interactive access, and its utilization is presented by means of an example.

1. INTRODUÇÃO

Existem em Geologia numerosos tipos de estruturas que são caracterizadas por desenvolvimentos lineares. Estas são nesse caso falhas, fraturas, estratificações, xistosidades, orientações de seixos, direções paleomagnéticas, etc.

Tais estruturas podem ser tratadas matematicamente como vetores e quando um número suficientemente grande delas existe sobre uma área, poderá caracterizar-se esta por meio de parâmetros estatísticos e através de representações gráficas que auxiliam consideravelmente a interpretação geológica.

No estudo de fotografias aéreas e de satélites é muito comum detectarem-se diversos tipos de lineamentos estruturais que, devidamente analisados, poderão sugerir a presença de certas estruturas subterrâneas, tais como altos ou baixos estruturais, heterogeneidades da coluna sedimentar, etc., e relacionando-as até com a ocorrência de recursos minerais. Noutros casos a interpretação de dados vetoriais torna-se necessária à caracterização de maciços rochosos onde serão implantadas grandes

obras de engenharia civil, ou trabalhos de mineração. Em estudos regionais de tectônica, ou de migração de águas subterrâneas, a observação de lineamentos em diversas escalas constitui também uma ferramenta de grande potencialidade.

Para que tais interpretações sejam eficientes é conveniente que os técnicos delas encarregados não desperdicem grande parte do seu tempo em cálculos, ou em tarefas de aquisição de dados, ou no desenho dos resultados. Estas tarefas são presentemente efetuadas com vantagem pelos computadores, particularmente os de tipo gráfico interativo, permitindo aos técnicos obter rapidamente várias soluções alternativas, melhorando assim o seu trabalho interpretativo, ao mesmo tempo que fica garantida uma maior confiabilidade nos resultados alcançados.

Neste trabalho é descrita uma metodologia de tratamento que atende os requisitos básicos deste problema e que contribui para uma maior eficiência no processamento de dados geológicos vetoriais.

2. ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS VETORIAIS

Qualquer dado geológico vetorial

pode ser considerado um segmento de reta dotado de comprimento, azimuth e direção (dependendo do tipo de dado, a sua distribuição poderá ser circular, de 0 a 360°, ou semi-circular, de 0 a 180°).

Se os dois pontos extremos forem caracterizados pelas suas coordenadas no plano (x,y) - ver Fig. 1, é imediata e obtenção de três parâmetros:

- Tamanho: $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$

- Azimute: $a = \text{arc tg } \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}$

- Coordenadas do ponto médio: $\frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{y_1 + y_2}{2}$

ficando assim definidas a magnitude, a direção e a localização do vetor.

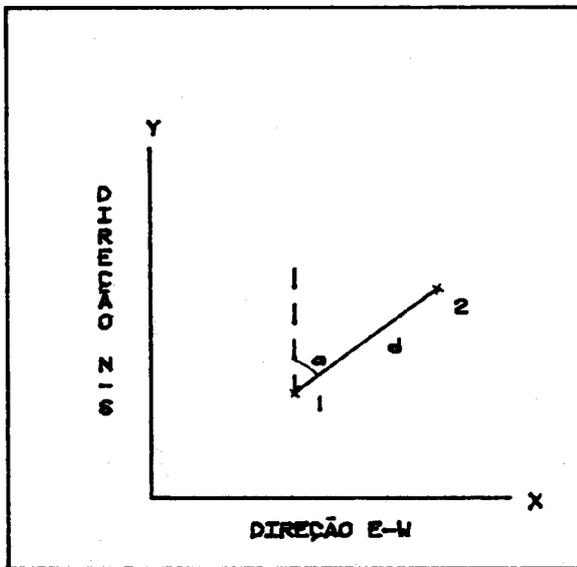


Fig. 1

Quando no mesmo plano (x,y) existirem n vetores, dentro de uma região finita, é interessante averiguar a respectiva tendência central e dispersão, quer dos tamanhos quer dos azimutes.

No que diz respeito aos tamanhos tem-se simplesmente:

- Média: $\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$

- Desvio padrão: $\Delta_d = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}$

Para os valores direcionais é usual definirem-se parâmetros trigonométricos que caracterizam a direção dominante e sua dispersão angular.

Tais parâmetros são calculados a partir da correspondente soma vetorial,

e definem-se com base nas expressões seguintes:

- Média trigonométrica: $a = \frac{1}{n} \text{arc tg } \frac{\sum \sin 2a_i}{\sum \cos 2a_i}$

- Razão de consistência:

$$r_c = \frac{1}{n} \sqrt{(\sum \sin a_i)^2 + (\sum \cos a_i)^2}$$

- Desvio padrão angular: $\Delta_a = \sqrt{-2 \ln r_c}$

Enquanto a razão de consistência traduz a medida do ajuste da média trigonométrica em relação aos dados iniciais (variando entre 0 e 1), o desvio padrão angular é equivalente ao desvio padrão estatístico, sendo calculado a partir da razão de consistência.

Além da determinação de parâmetros estatísticos, os dados vetoriais podem ser objeto de representação em histogramas (de barras no caso de tamanhos, e circulares no caso de azimutes) que permitem uma síntese de respectiva distribuição de grandezas na área de interesse.

Assim, o tratamento estatístico de dados vetoriais constitui a primeira via para a interpretação geológica estrutural.

3. REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS

Os parâmetros estatísticos calculados sobre dados geológicos vetoriais podem ser apresentados sob a forma de tabelas numéricas ou, preferencialmente, através de mapas.

Tais representações aplicam-se a toda a área de interesse ou apenas a porções homogêneas da mesma, porções essas que são definidas a partir do exame dos resultados estatísticos previamente obtidos.

Quando a área é regular, admite a subdivisão em células, dentro das quais podem-se desenvolver diversos tipos de representações gráficas; quando ela é irregular estas representações aplicam-se a sua totalidade.

Embora o tipo de mapas seja estabelecido em função dos objetivos de cada estudo, existem certos tipos mais comuns que são os seguintes:

a) Mapa de histograma circular (ou rosácea) da área de interesse.

b) Mapa de histogramas circulares das várias células constituintes da área de interesse.

c) Mapas de densidade de fraturamento (km de fraturas/km²) e de frequência de fraturamento (número de fraturas/km²).

d) Mapas de tamanhos médios e de azimutes médios das células.

e) Mapas de direções dos azimutes médios, desvios padrão do azimute e razão de consistência nas células.

f) Mapas de curvas de iso-valores dos parâmetros estatísticos e/ou dos seus resíduos.

g) Mapas de análise grupal baseados em classificações com diversos números de grupos.

h) Outros tipos de mapas resultantes das características específicas de cada problema.

4. O PROGRAMA GEOVET

Com o propósito de desenvolver um processamento rápido e eficiente de dados geológicos vetoriais, o Grupo de Geomatemática da DMGA-IPT decidiu criar um programa que atendesse aos usuários e fosse adaptado ao "hardware" disponível na Divisão.

O equipamento existente é um computador gráfico interativo marca Tektronix modelo 4052, com 64 k bytes de memória central e 300 k bytes em fita magnética incorporada, conectado a um plotter-digitalizador da mesma marca, modelo 4662 (ver Fig. 2).

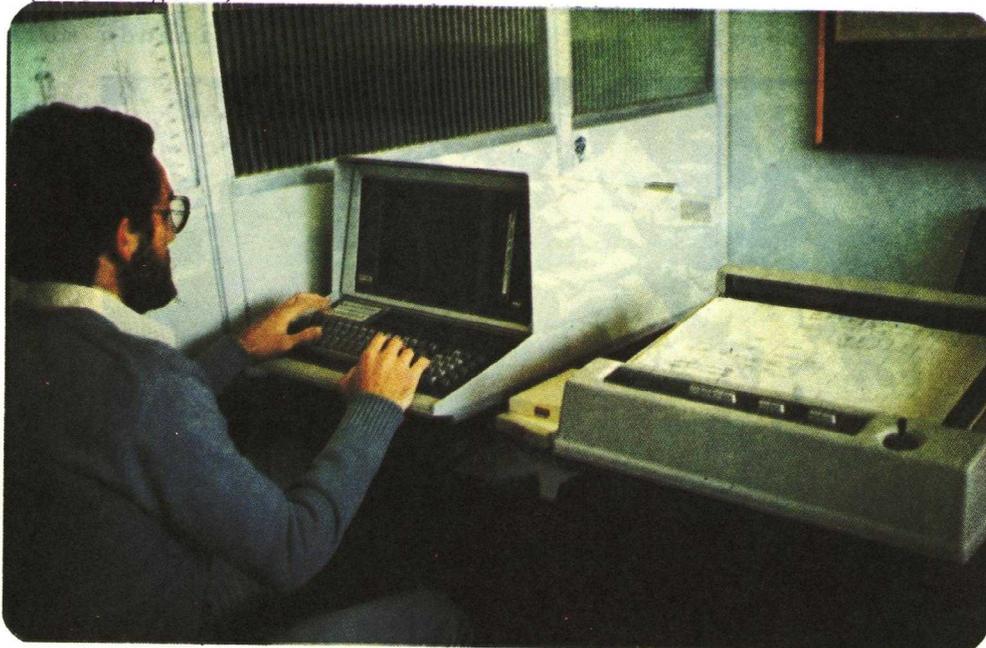


Fig. 2

Durante um mesmo programa o 4662 pode atuar em ambos os modos.

Foi às custas deste recurso que foi desenvolvido o programa GEOVET, escrito em linguagem Basic.

Depois de colocada uma fotografia aérea na mesa digitalizadora (ou uma transparência onde são assinaladas as fraturas existentes na fotografia aérea) procede-se à digitalização dos vetores e à sua gravação na fita magnética do sistema. Em seguida o programa requer a leitura, através do teclado, de dados adicionais (escala do mapa, coordenadas da respectiva origem e outras características de interesse), fazendo depois uma consistência gráfica, desenhando (na tela ou no plotter, conforme decisão do usuário) o mapa de fraturas a partir da gravação, permitindo a correção de eventuais erros na digitalização.

O usuário indica a área de interesse onde será feita a análise estatística, escolhendo uma de duas opções: a) Área regular, divisível em células de dimensão escolhida pelo interessado. b) Área irregular, não divisível em células.

Em qualquer dos casos a área pode ser fornecida através das coordenadas

dos seus vértices (via teclado) ou por digitalização do respectivo contorno.

Inicia-se em seguida o tratamento estatístico dos dados, onde são calculados os parâmetros mencionados em II, os quais podem ser listados ou não, de acordo com o desejo do usuário.

A listagem poderá ser feita na tela para simples conferência, ou no

As funções do 4662 são as de um traçador de gráficos automático e interativo quando provido de pena para desenhar; substituindo esta por uma lupa com retículos, o parêlo atua como digitalizador, transmitindo coordenadas de pontos da mesa para a memória da unidade central, ou para a fita magnética, onde as coordenadas são armazenadas.

papel através do plotter, para referência futura.

Seguem-se uma sucessão de produtos gráficos que estão disponíveis na memória do sistema, podendo ou não ser desenhados no plotter, conforme for decidido.

Têm especial interesse as representações gráficas em papel transparente com escala idêntica à da fotografia aérea, as quais depois de sobrepostas a esta permitem uma interpretação rápida e direta.

Após a apresentação dos diversos mapas disponíveis, o usuário é perguntado se deseja escolher nova área de interesse dentro da mesma foto e, em caso afirmativo, o programa regressa ao início do cálculo estatístico e das representações gráficas, podendo-se indicar um número qualquer de áreas de interesse.

A lógica do programa é simples e poderá ser descrita resumidamente através do respectivo fluxograma, que consta da Fig. 3.

5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para ilustrar a utilização e potencialidades do programa GEOVET recorreu-se ao estudo de uma fotografia aérea da região da Serra do Japi (estado de São Paulo) - ver Fig. 4.

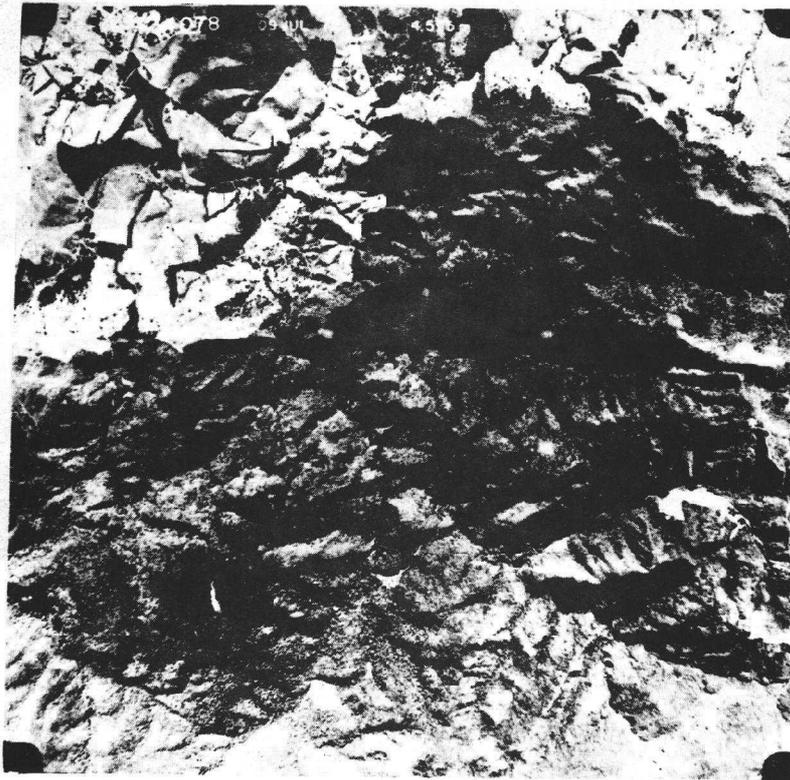


Fig. 4

A interpretação geológica estrutural da foto(*) permitiu a identificação de feições lineares de três tipos: falhas, juntas e xistosidades ,

num total de 334 vetores que foram submetidos à digitalização.

A respectiva verificação, na mesma escala da foto foi efetuada após a digitalização e consta da Fig. 5.

O processamento do programa originou longa listagem de resultados numéricos, conforme descrito no fluxograma da Fig. 3.

Os produtos gráficos mais interessantes constam das Figuras 6, 7 e 8 seguintes. Na Fig. 6 representa-se o histograma circular, ou rosácea, de toda a área da foto, o qual possui intervalo angular de 20° (ângulo este escolhido pelo usuário).

A Fig. 7 apresenta o mapa de frequência de fraturamento (expressa em número de fraturas por km^2) depois de dividida a região em 16 células com dimensões idênticas. No centro de cada célula está indicada a respectiva frequência, e as curvas de isovalores representam a distribuição espacial da densidade de fraturamento.

A Fig. 8 apresenta histogramas circulares correspondentes a cada célula e traduz assim a variação dos principais azimutes e tamanhos das fraturas ao longo da região de interesse.

Esta representação possui grande importância para a caracterização estrutural, originando muitas vezes a ne

* O autor agradece a colaboração do Prof. Dr. Yociteru Hasui, na interpretação estrutural da área estudada.

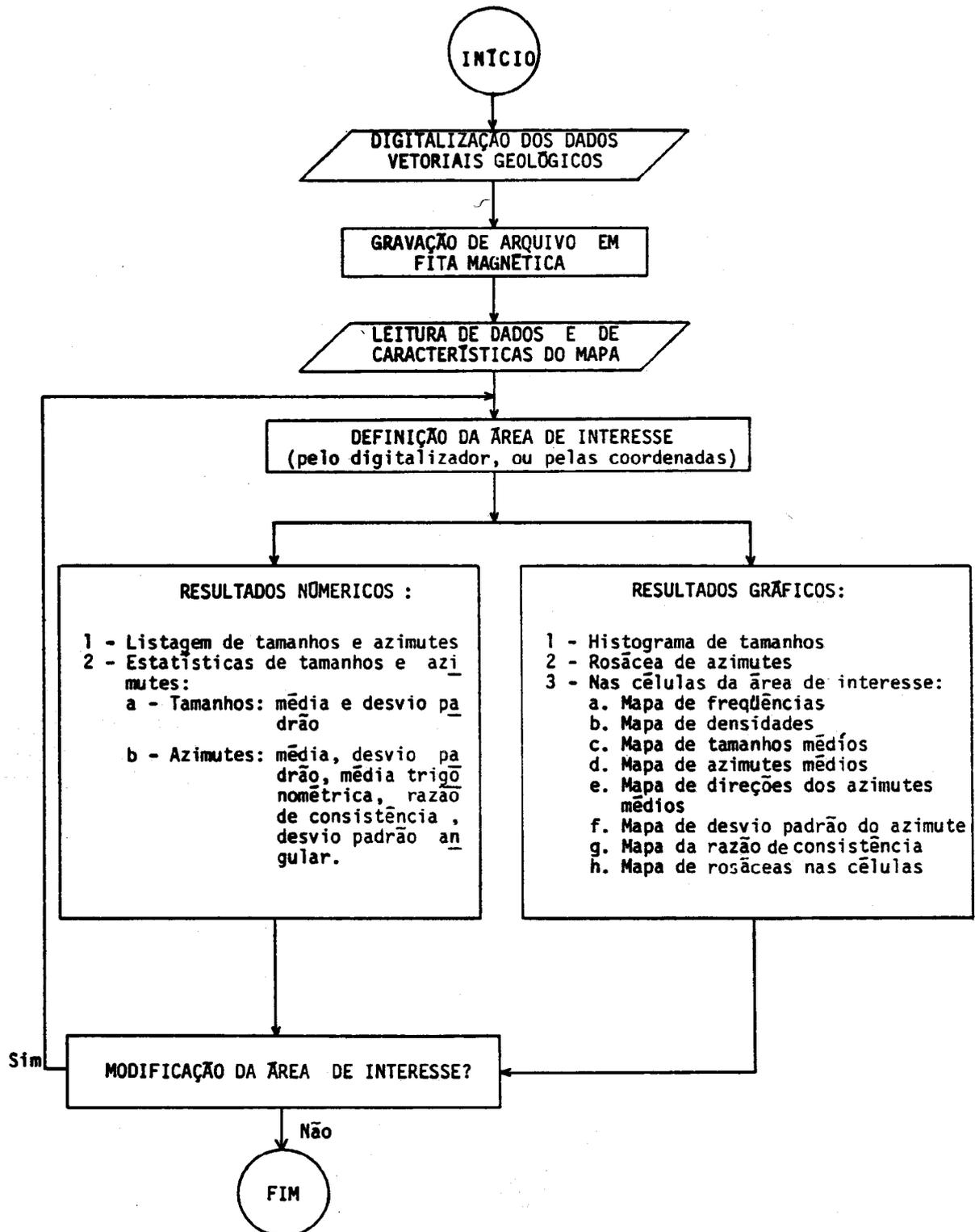


Fig. 3

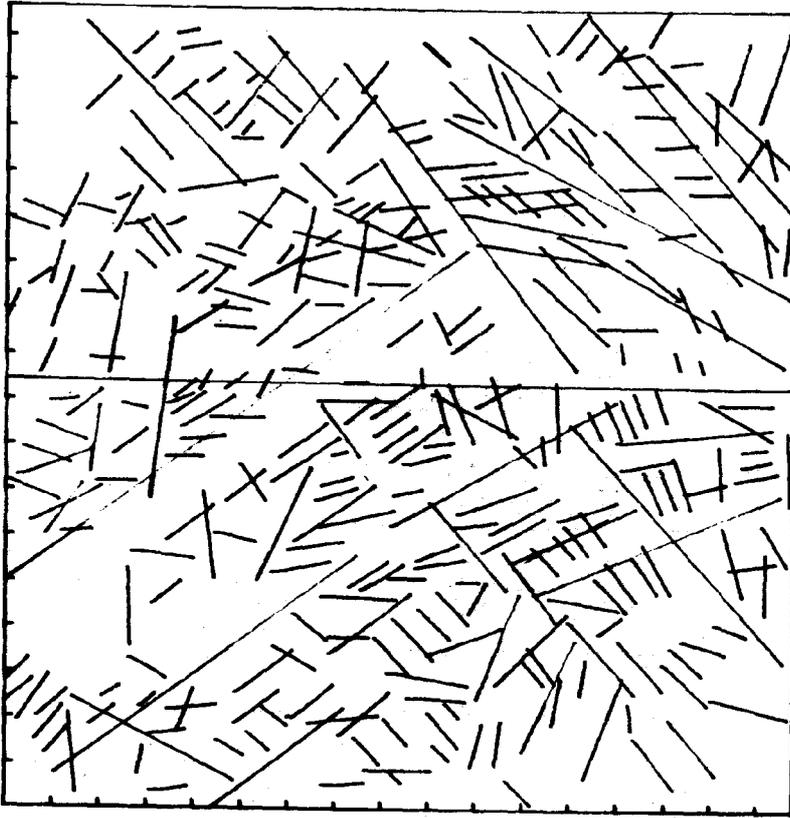


Fig. 5

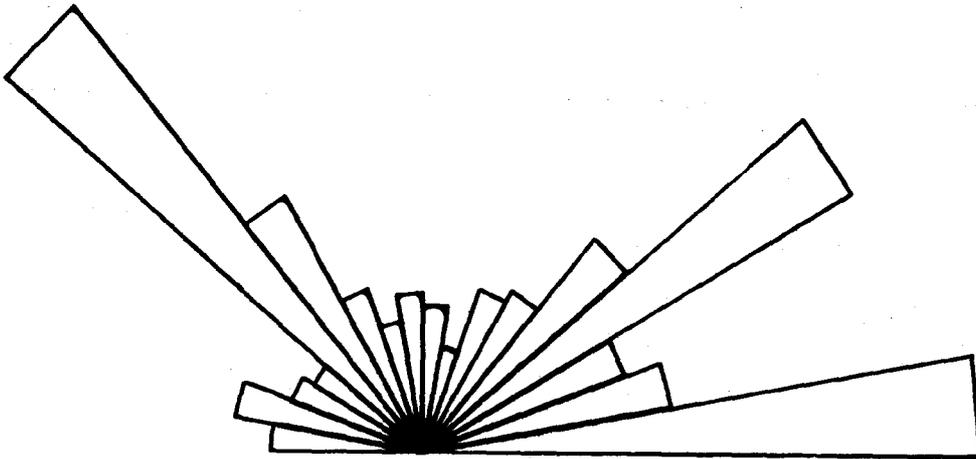


Fig. 6

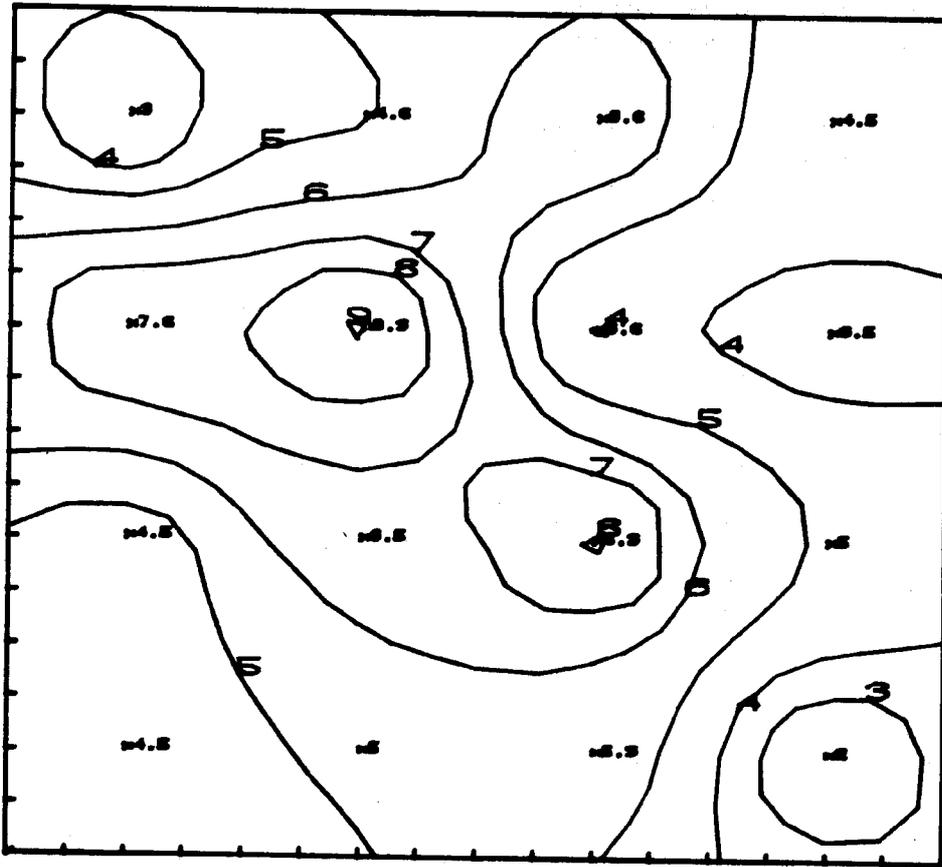


Fig. 7

MAPA DE ROSETAS NAS CELULAS
LADO DA CELULA(Km)=2 INTERVALO ANGULAR(graus)=20

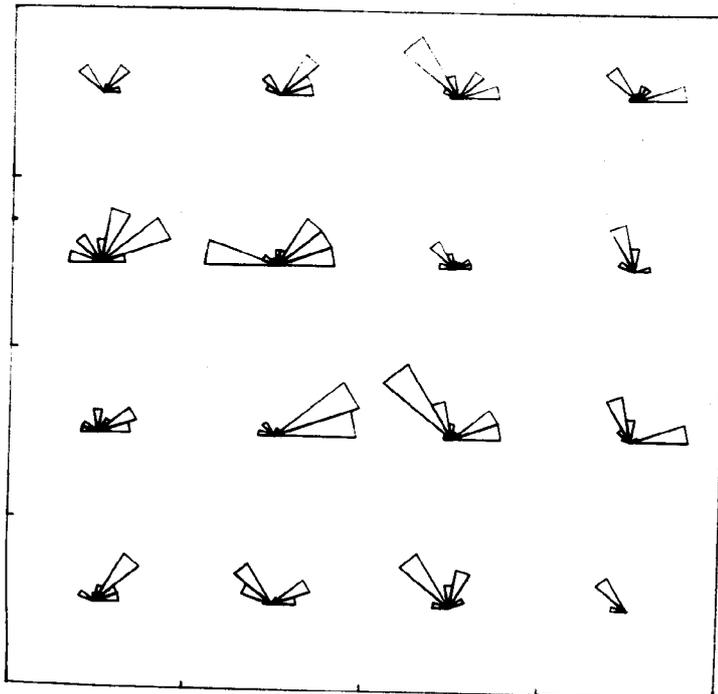


Fig. 8

cessidade de detalhamento de determinada célula, ou subárea, que o programa GEOVET está habilitado a processar.

6. CONCLUSÕES

As análises de lineamentos geológicos envolvem o manuseio de grandes quantidades de dados, tornando necessário o recurso a métodos rápidos e eficazes de tratamento da informação.

Neste trabalho descreveu-se um destes métodos, através do programa GEOVET, preparado para acesso interativo e com flexibilidade de escolha dos resultados disponíveis.

Automatizando o processamento, possibilita-se a obtenção de múltiplas soluções em curto espaço de tempo e a um custo baixo, dessa forma melhorando a qualidade dos resultados esperados, e contribuindo para o desenvolvimento de interpretações geológicas cada vez mais perfeitas.

7. REFERÊNCIAS

AGTERBERG, F.P. (1974) - Geomathematics. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.

NORTHFLEET, A.A.; BETTINI, C.; CHAVES, H.A.F. (1971) - Aplicação da Geomatemática à Prospecção de Petróleo: Análise de Fraturas por Polinômios Ortogonais. Anais do XXV Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo.

PODWYSOCKI, M.H. (1977) - Some Computer Based Methods for the analysis of Geologic Fracture Information. Proceedings of the 14th APCOM. Penn State University. Published by AIME, New York.

YAMAMOTO, J.K. (1981) - Comunicação pessoal.