

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Perfil e Classificação Isogônica de Dobras Por Computador

André Luís Barreto Gerhardt, Breno Correa Da Silva Filho
Pesquisas em Geociências, 19 (1): 59-65, Set./Dez., 1992.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21323>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - Set./Dez., 1992.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Perfil e Classificação Isogônica de Dobras Por Computador

ANDRÉ LUÍS BARRETO GERHARDT¹ E BRENO CORREA DA SILVA FILHO²

¹ Petrobrás S.A., Rua Gen. Canabarro 500, CEP 20271-201, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Instituto de Geociências, UFRGS, Caixa Postal 15001, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil

(Recebido em 07/08/91. Aceito para publicação em 18/09/92)

Abstract — The isogonic classification of folds based on the construction of cross sections on the basis of Descriptive Geometry techniques is a time consuming task greatly influenced by the degree of accuracy of the drawing. A computer program named PERFIL, written in Pascal programming language has been developed with the aim of transforming the isogonic classification of folds into an objective and automatic task. The methods encompassed by the program and its implementation on microcomputers with limited graphical capabilities are characteristics that make PERFIL a valuable tool for the structural geologist.

Resumo — A análise e classificação de dobras, a partir de seções processadas por técnicas de Geometria Descritiva que permitem obter as características de estilo exibidas pelos planos de perfil, constitui-se em tarefa sempre trabalhosa e, na maior parte das vezes, aproximativa. Com a finalidade de automatizar tal procedimento e retirar seu caráter subjetivo desenvolveu-se o programa PERFIL, em linguagem Pascal. Os métodos utilizados e as facilidades introduzidas pelo programa, bem como sua implementação em microcomputadores de capacidade gráfica limitada o tornam ferramenta bastante útil para o geólogo estrutural.

INTRODUÇÃO

A variação do aspecto geométrico (estilo) é uma das características mais marcantes apresentadas pelas dobras, e está intimamente associada com diferenças nas propriedades mecânicas e no comportamento reológico dos materiais durante o processo deformacional. Disso advém a importância e a necessidade de uma correta interpretação da variação do estilo de uma estrutura quando se trata de relacionar aspectos geométricos com eventos deformacionais.

Ramsay e Huber (1987) enfatizam o fato de que uma correta descrição do estilo visando a classificação de uma dobra não se constitui numa tarefa de interesse apenas acadêmico sendo, ao contrário, de vital importância para o sucesso de empreendimentos industriais ligados à exploração de bens minerais.

Os aspectos geométricos de uma dobra quando vistos em afloramento variam de acordo com a seção da mesma que está sendo observada. Em outras palavras, pode-se dizer que da intersecção de uma dobra por um plano qualquer resulta um padrão geométrico que depende da real geometria envolvida e das relações angulares entre o plano intersectante e os "elementos principais de caracterização" da dobra: o plano axial e o eixo.

A real geometria, ou o verdadeiro estilo, de uma dobra somente é observado em uma seção especial, normal ao eixo, que é chamada de "perfil da estrutura". O perfil é, pois, uma característica geométrica invariante das dobras porque independe da posição espacial das mesmas, guardando uma relação absoluta com o eixo.

Um outro fato a considerar, é que uma das classificações de dobra mais úteis para trabalhos de campo é aquela baseada na posição espacial dos elementos principais de caracterização, quando referenciados a um plano horizontal (Turner & Weiss, 1963). A atitude do plano axial é, em muitos casos, obtida a partir de

redes de projeção com base nas atitudes do eixo e de um traço do mesmo, numa seção qualquer. Cabe ressaltar, no entanto, que para dobras inclinadas com caimento a linha que une os pontos de menor raio de curvatura de duas superfícies-de-forma adjacentes, e que se pretende seja a representação do "traço axial" (Ramsay, 1967) numa determinada seção, nunca será coincidente com o "traço axial real". No caso de dobras similares esses traços serão sempre paralelos mas para dobras paralelas eles poderão ser totalmente discrepantes (Schuyver, 1966). Devido a isso, chamamos de "*traço axial aparente*" aquele obtido em uma seção que não corresponda àquela que representa o perfil da estrutura.

Embora perfis naturais possam ser encontrados num trabalho de mapeamento geológico devido, normalmente, ao seccionamento das estruturas por juntas transversais, em muitos casos o estilo e a posição do traço axial real de uma dobra são determinados em perfis elaborados por meio de técnicas de Geometria Descritiva que envolvem um laborioso traçado de linhas auxiliares. A base para esse trabalho são afloramentos que representam seções, planas ou não, da dobra em estudo e a atitude do eixo da mesma. Basicamente, esse trabalho consiste em transferir para um plano perpendicular ao eixo um conjunto de pontos, selecionados ao longo dos traços das superfícies-de-forma que modelam a dobra na seção representada pelo afloramento, e uni-los por meio de curvas contínuas da maneira mais regular possível. Essa técnica foi originalmente apresentada por Stockwell (1950) e divulgada, posteriormente, por um número de autores (Badgley, 1959; Turner & Weiss, 1963; Ragan, 1973; Ramsay & Huber, 1987).

Pelo exposto, é fácil de concluir que a exatidão do traçado das curvas de ajustamento aos pontos transferidos para o plano de perfil é função direta do número de pontos selecionados na seção de campo. Como as condições de traçado impõem um limite a esse número

de pontos conclui-se, também, que a tendência natural é a de sempre haver discrepâncias entre as curvas de ajustamento e as curvas ideais. Desse fato decorrem dois problemas práticos, quais sejam:

- 1 - A determinação dos pontos de menor raio de curvatura para locação do traço axial real fica sujeita a erros consideráveis.
- 2 - A localização dos pontos de tangência das retas traçadas para determinação da variação da espessura de uma certa camada, ou da variação da curvatura dos traços das superfícies-de-forma que modelam a dobra (Ramsay, 1967), pode ser bastante incorreta.

Com a finalidade de agilizar a elaboração do perfil e, principalmente, reduzir o grau de incorreção no traçado das curvas que representam o perfil de uma dobra foi desenvolvido um processo por via computacional representado pelo Programa PERFIL. Entre as inovações introduzidas por esse programa, em comparação com outros também voltados para o problema de classificação de dobras (e.g. Programa Rafold, Ramón-Lluch *et al.*, 1989), salientam-se:

- Não há necessidade de se conhecer previamente o traço axial real da dobra, uma vez que este é um elemento que será facilmente determinado interativamente. Desta forma, há maior flexibilidade na amostragem e introdução dos dados para execução do perfil, sem a necessidade de controlar a qual limbo pertence cada ponto. É possível, igualmente, amostrar altas frequências nas superfícies-de-forma as quais poderão, mais tarde, ser excluídas ou atenuadas. A opção de entrada de pontos amostrados fora do plano de perfil (qualquer seção da estrutura) é prova conclusiva da independência do programa frente a limitações de posicionamento do plano axial. A possibilidade de processar-se seqüências de camadas dobradas é, também, um importante avanço introduzido.
- Um tratamento matemático mais preciso é conseguido através do uso de funções "spline" paramétricas. Embora de amplo uso no processamento de formas geológicas (e.g. Ramón-Lluch *et al.*, 1989; Evans *et al.*, 1985) tais curvas receberam no programa PERFIL um tratamento mais controlado, permitindo ao usuário garantir diversos graus de "honouring" dos dados originais, desta forma permitindo atenuar altas frequências (como no caso de dobras ptigmáticas) ou interpolar em zonas de fraca densidade de amostragem.
- A seleção de áreas a serem efetivamente utilizadas na classificação, através da introdução da "janela de isógonas", é um passo adiante implementado no programa no sentido de aproximar uma classificação puramente matemática das reais formas geológicas irregulares.
- A utilização de diversos periféricos gráficos, alguns destes de baixo custo, tais como as impressoras matriciais e placas de vídeo de baixa resolução, mantendo as características originais de preservação da escala de trabalho e de facilidades na interação com o usuário, tornam o Programa PERFIL uma ferramenta muito versátil e bastante útil, diferentemente

de outros programas dependentes do equipamento utilizado ou que rodam em regime remoto ("batch").

Sendo um programa voltado para aplicações geológicas, PERFIL harmoniza a interação entre equipamento e métodos no procedimento de classificação de dobras sem, contudo, esquecer do terceiro componente fundamental no processamento de dados de Geologia Estrutural: a participação ativa do geólogo no processo de interpretação.

O "hardware" básico para o qual o programa PERFIL foi designado inclui um microcomputador da linha IBM-PC com placa gráfica e impressora com capacidade gráfica compatível. Opcionalmente está previsto o uso de periféricos mais específicos para aplicações gráficas, tais como mesa digitalizadora, "mouse" e traçador gráfico ("plotter"). Sua seqüência de processamento visa proceder a classificação isogônica de Ramsay e determinar a posição espacial do traço real do plano axial. Para tal utiliza-se tanto de procedimentos de uso geral em aplicações gráficas em escala, com destaque para o "Sistema Global de Coordenadas" e a correção de aspecto, como implementações específicas, caso do algoritmo "ISOGONS" e da interface com o intérprete.

A CLASSIFICAÇÃO ISOGÔNICA DE RAMSAY

A forma de uma camada dobrada depende das relações entre as superfícies que a limitam e, de modo particular, de como se dá a variação da inclinação das mesmas no espaço. A variação da espessura em função da inclinação da camada dobrada pode ser expressa como uma razão entre a distância normal, ou paralela ao plano axial, entre tangentes de igual coeficiente angular não nulo, e a distância entre tangentes de coeficiente angular nulo, num sistema de eixos coordenados em que o traço axial real representa o eixo das ordenadas. Por outro lado, a variação na curvatura das superfícies dobradas é revelada pelo posicionamento ao longo da dobra de linhas que unem pontos de tangência de igual coeficiente angular (isógonas de mergulho, Elliott, 1965). Com base nesse último critério, Ramsay (1967) classificou as dobras em três classes fundamentais, como se segue:

Classe 1: A curvatura do arco interno é sempre maior do que a do arco externo.

Classe 2: A curvatura do arco interno é igual a do arco externo.

Classe 3: A curvatura do arco interno é menor do que a do arco externo.

De base puramente matemática, tal classificação deve, entretanto, ser utilizada com cautela em superfícies geológicas, uma vez que:

- As superfícies geológicas, na maior parte das vezes, não podem ser representadas por funções matemáticas simples. A extrema irregularidade que são capazes de apresentar pode tornar o método inviável. O cálculo de uma curva de baixo grau que melhor se ajuste aos dados, recomendável em tais casos, pode ser tarefa extremamente complexa dada a quantida-

de e tipos de curvas a analisar, tornando o trabalho extremamente árduo para ser executado manualmente;

- A determinação visual dos pontos por onde passam as retas de igual mergulho é diretamente afetada pela correção do traçado do perfil, pela escala de trabalho e pelo valor do mergulho. Baixos mergulhos e escalas pequenas podem levar a avaliações errôneas. Pequenas modificações nas posições de tangência podem acarretar importantes alterações do resultado, conforme verifica-se na prática, uma vez que se opera sobre uma superfície irregular, que pode apresentar diferenças em relação a curva de ajustamento sobre os pontos, levando a uma acumulação de erros.

As superfícies dos dobramentos, entretanto, podem ser representadas por curvas aproximativas, como as funções “spline” paramétricas. Em tal técnica muda-se o sistema de coordenadas, tornando a superfície-de-forma uma função do parâmetro t , ou distância cordal acumulativa, tanto ao longo das abscissas como ordenadas, aplicando-se então a interpolação por “splines” cúbicos em cada dimensão (Schaeben, 1988). Tal método garante baixo erro, proporcionando uma suavização sobre pontos de controle amostrados criteriosamente ao longo das superfícies-de-forma (Evans *et al.*, 1985).

Desenvolveu-se um algoritmo de modelamento das curvas “spline” paramétricas, denominado ISOGONS, que gera um arranjo linear de declividades referidas ao eixo das abscissas, calculadas ao longo da curva, de densidade compatível com a resolução gráfica do equipamento e com a densidade de amostragem. Por meio de uma comparação direcionada, o algoritmo ISOGONS determina as declividades semelhantes nas superfícies-de-forma externa e interna de uma certa camada, com um grau de aceitação de 0.01 radianos (aproximadamente 30'') para superfícies genéricas e 0.0001 radianos (aproximadamente 2'') para superfícies de modelos teóricos exatos, traçando as isógonas e computando valores para a posterior construção do gráfico variação de espessura ortogonal versus mergulho (Ramsay, 1967). Desta maneira, tal gráfico, que permite uma avaliação complementar de cada limbo e a verificação da existência de dobramentos complexos, torna-se bastante confiável, uma vez que, se a amostragem foi feita com critério, atenuou-se uma das maiores fontes de erro no procedimento manual, ou seja, a determinação das tangentes aos pontos amostrados.

Salienta-se que o algoritmo ISOGONS foi implementado de maneira a ser independente do limbo que está sendo analisado, o que provavelmente gerará uma isógona que se aproxime bastante ou mesmo represente o traço do plano axial, facilitando em muito o posterior posicionamento interativo deste. Como parâmetro adicional, o algoritmo possibilita a chamada recursiva à interpolação “spline”, tornando exatos os pontos de controle amostrados — possibilidade importante quando se quer representar detalhes ou tratar modelos exatos.

Ramsay e Huber (1987) baseados em Hudleston

(1973) adotaram para a classificação isogônica o critério de considerar apenas 1/4 do comprimento de onda em cada limbo da dobra em estudo, ou seja, para cada uma das duas superfícies que delimitam uma camada leva-se em conta o trecho da curva que vai do ponto de inflexão do limbo até o ponto de interseção da linha de charneira com o plano de perfil. A partir do ponto de inflexão poderia-se gerar isógonas indesejáveis que interfeririam com o padrão geral, deteriorando a qualidade da figura do traçado das isógonas. Contudo, a prática mostra que tal procedimento é somente um artifício matemático, pois o ponto a partir do qual podem ocorrer isógonas errôneas nem sempre coincide com o ponto de inflexão — ora aquele situa-se muito próximo do traço do plano axial, ora sequer é representado — dependendo principalmente da irregularidade das superfícies geológicas e da amostragem efetuada. Tal variação levou à criação da “Janela de Isógonas”, um polígono posicionado interativamente na tela pelo intérprete que permite selecionar regiões do dobramento que são de interesse, limitando as porções da dobra onde serão calculadas as isógonas e eliminando, assim, zonas de interferência.

DETERMINAÇÃO DO TRAÇO AXIAL REAL

O posicionamento do traço real do plano axial constitui-se em tarefa bastante facilitada no programa PERFIL, uma vez que, quando requerido, as isógonas já estão traçadas fornecendo, na maioria das vezes, uma idéia nítida de sua posição. Quando realizada manualmente, sem o auxílio das isógonas, tal tarefa torna-se bastante aproximativa, pois requer a avaliação visual dos pontos de maior curvatura no intrado e extrado, o que pode acarretar uma significativa imprecisão no valor da obliquidade desse traço no plano do perfil.

Pelo sistema agora apresentado, após posicionado o traço pelo intérprete, baseado no comportamento das isógonas próximo à zona da charneira, sua obliquidade (Silva Filho, 1986) é automaticamente calculada. Os pontos de interseção do traço axial com as superfícies “spline” externa e interna são encontrados e utilizados para o cálculo da razão da curvatura do extrado para a curvatura do intrado. Tal valor pode ser utilizado como uma avaliação rápida do tipo de dobra (Ramsay, 1967) que se está interpretando, como se segue:

razão < 1 - dobra da classe 1.

razão = 1 - dobra da classe 2.

razão > 1 - dobra da classe 3.

Em situações envolvendo mais de uma camada, onde a determinação do traço deve ser efetuada para cada par de superfícies-de-forma, o procedimento é facilitado pois os pontos de interseção do traço do plano axial com as superfícies “spline” processadas são conhecidos e utilizados para o posicionamento da intersecção superior dos sucessivos segmentos de reta que representam o traço, bastando ao intérprete posicionar o extremo inferior.

PROCEDIMENTOS AUXILIARES

Conceitos Básicos

Antes de serem discutidos os procedimentos que devem anteceder o processamento dos dados propriamente ditos, alguns termos precisam ser definidos, como se segue:

- *Imagem natural*: é a imagem da dobra como aparece no campo, resultante do seccionamento da estrutura por uma superfície ou plano qualquer.
- *Imagem retificada*: é a imagem obtida após eliminação das distorções apresentadas pelos traços das superfícies-de-forma que modelam a dobra, causadas por efeito do relevo topográfico.
- *Perfil natural*: é a imagem natural que é vista num plano de perfil da dobra.
- *Seção natural*: é a imagem natural que é vista num plano oblíquo ao eixo da dobra.
- *Imagem de trabalho*: é a representação da imagem natural em mapa ou fotografia ortogonal.
- *Perfil construído*: é o perfil da dobra obtido a partir de pontos selecionados sobre uma imagem de trabalho.
- *Seção de trabalho*: é o plano horizontal materializado pela imagem de trabalho sobre o qual é feita a seleção de pontos para a construção do perfil e/ou classificação da dobra, dependendo do fato da imagem natural representar uma seção qualquer ou o perfil da dobra. Deve ser notado que, exceção feita ao caso em que a imagem natural aparece num plano horizontal, a seção de trabalho implica numa rotação de todos os elementos estruturais envolvidos no problema, em torno de um eixo paralelo à linha direcional (Silva Filho, 1986) da seção ou perfil natural.
- *Atitude relativa*: é a atitude que um elemento qualquer da dobra assume quando a imagem natural é considerada na seção de trabalho.

Entrada de Dados

Para utilizar-se o programa PERFIL deve-se, inicialmente, criar um arquivo de dados representados pelas coordenadas de um conjunto de pontos selecionados sobre o traço de cada uma das superfícies-de-forma que delimitam uma camada na imagem de trabalho. A entrada de dados pode ser feita pelo teclado, após um cálculo manual prévio das coordenadas, ou diretamente utilizando-se uma mesa digitalizadora. A seleção de pontos deve ser fiel à imagem, preferencialmente em intervalos aproximadamente regulares e representando locais de inflexão importantes, ou suavizando oscilações de frequência muito alta. Devem ser especificados o número de superfícies-de-forma a serem tratadas e o número de pontos selecionados em cada uma delas.

O arquivo de trabalho gerado em disco pode apresentar dois formatos: (1) um mais genérico, referido a um sistema de 3 eixos (longitude, latitude e cota dos pontos amostrados) no qual, após a leitura, é necessário transformar a imagem natural em imagem retifica-

da, e calcular uma nova sequência de coordenadas para obter-se o perfil construído, e (2) um outro que é utilizado em situações nas quais a imagem natural já é plana não havendo, portanto, necessidade de se efetuar a retificação da mesma, e a sequência de coordenadas está referida a um sistema de dois eixos. Em ambos os formatos as coordenadas devem ser introduzidas sequencialmente da esquerda para a direita e da superfície mais externa para a mais interna.

A posição dos eixos coordenados sobre a imagem de trabalho depende do processo resolutivo utilizado. Na resolução manual do problema em questão o eixo coordenado X é sempre posicionado paralelamente à linha de interseção da seção natural (cuja atitude deve ser determinada) com o plano de perfil. Na resolução computacional, entretanto, a posição dos eixos coordenados sobre a imagem de trabalho depende das atitudes dos elementos de caracterização principais da dobra. Mais precisamente, a posição desses eixos depende da obliquidade do traço axial no perfil construído, pois o programa exige que esse parâmetro seja superior a 45° . Dessa maneira, o eixo coordenado X poderá ou não ser paralelo ao traço do plano de perfil na seção de trabalho. Quando a imagem de trabalho já representa o perfil da estrutura em estudo não há maior problema para se estimar se a obliquidade do traço axial real é maior ou menor do que o valor angular estabelecido. Caso haja necessidade, pode-se efetuar a medida direta desse valor sobre a imagem. No caso, entretanto, da imagem de trabalho retratar uma seção natural, o problema se torna um pouco mais complicado, e um outro procedimento precisa ser seguido. Isso poderia ser feito utilizando-se a técnica de visualização da dobra observando-se a imagem com uma inclinação igual ao caimento do eixo e no sentido em que este se inclina. Esse procedimento teria a vantagem de permitir posicionar visualmente o traço axial independentemente do tipo de dobra. Uma outra possibilidade, levando em conta os critérios que limitam a validade de utilização do traço axial aparente, seria mediante a utilização do ábaco apresentado na Figura 1. Esse ábaco destina-se à classificação de dobras com base no caimento e obliquidade cartográfica do eixo (em relação ao traço do plano axial), e na obliquidade do traço axial no plano de perfil (Silva Filho, em preparação), e pode ser utilizado para resolver o problema em questão de maneira bastante rápida. Como um dos elementos necessários para a utilização desse ábaco é a obliquidade cartográfica do eixo da dobra, fica implícito que toda a análise deve ser procedida sobre a seção de trabalho.

Deve ser enfatizado que para utilização do ábaco o que importa é a relação angular entre o eixo da dobra e a seção de trabalho. Desse modo, mesmo uma dobra horizontal será analisada como tendo caimento se a imagem de trabalho foi obtida a partir de uma seção natural. Em outras palavras, uma dobra normal-horizontal interceptada por um plano oblíquo ao seu eixo será tratada, durante o processamento dos dados, (1) como uma dobra normal-com-caimento, se a linha de interseção da seção natural com o plano de perfil for

horizontal, (2) como uma dobra reclinada se a referida linha de interseção for vertical, ou ainda (3) como uma dobra inclinada-com-caimento para uma situação mais geral em que a linha de interseção não é nem horizontal nem vertical. Para exemplificar essa idéia considere-se a Figura 2, na qual está representada uma dobra normal-horizontal (PA_1 , E_1) cuja imagem natural aparece na seção natural SN. O plano de perfil dessa dobra está representado por PF_1 e a sua linha de interseção com a seção natural por L_1 . Para transformar a seção natural em seção de trabalho procedeu-se uma rotação dos elementos estruturais em torno de um eixo paralelo à linha direcional da mesma. Percebe-se, nessa figura, que em relação a seção de trabalho a dobra é do tipo inclinada-com-caimento e seu eixo apresenta atitude relativa de 26/008 e uma obliquidade cartográfica de 15°. Esse valor levado ao ábaco da Figura 1, juntamente com o valor do caimento (26°) indica que a obliquidade do traço axial no plano do perfil construído será de cerca de 60° conforme o seguinte procedimento:

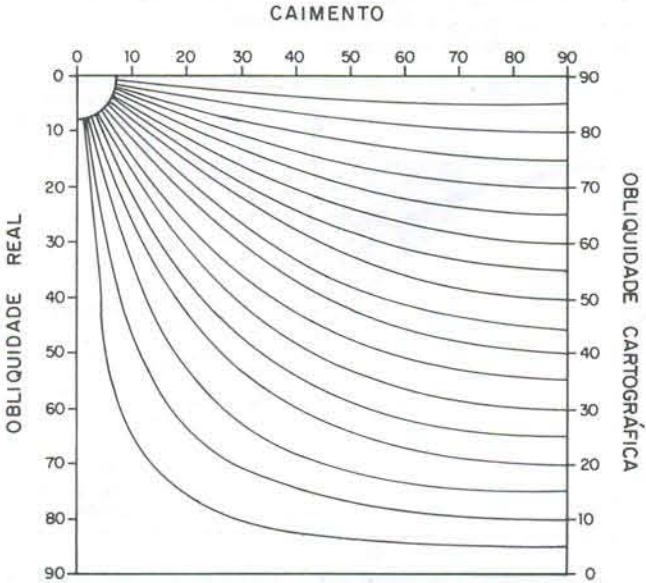


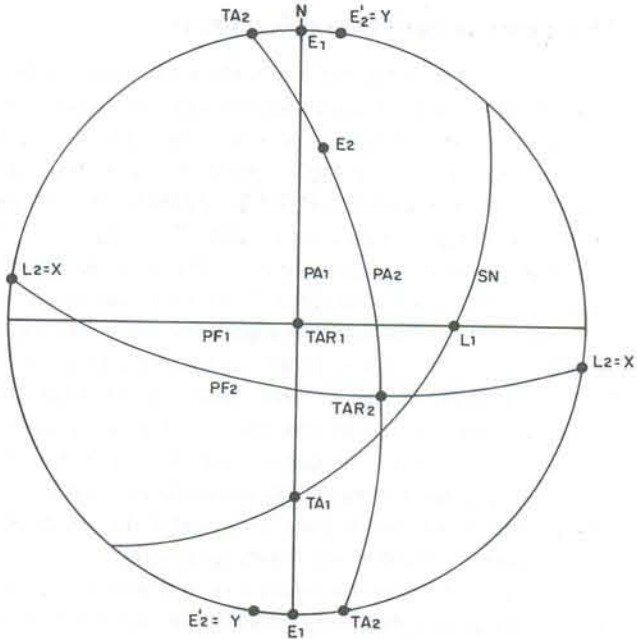
Figura 1 — Abaco para determinação da obliquidade real do traço axial no perfil de uma dobra, em função do caimento e da obliquidade cartográfica do eixo (Silva Filho, em preparação).

- a - Marca-se na imagem o traço axial aparente da dobra.
- b - Determina-se a obliquidade cartográfica do eixo, cujo caimento é conhecido por definição.
- c - A interseção de uma curva de obliquidade cartográfica com uma reta correspondente a um determinado caimento fornece um ponto que é, então, referido à linha limite de 45°. Se o ponto estiver sobre ou abaixo dessa linha o eixo coordenado X deve ser posicionado paralelamente à direção do eixo da dobra. Em caso contrário, é o eixo Y que deve assumir tal orientação.

O valor de 60° indica que o eixo coordenado X deve ser, neste caso, colocado sobre a imagem de trabalho com a orientação da linha L_2 (Fig. 2).

O valor obtido para a obliquidade do traço axial no perfil construído pode ser comprovado por meio da Figura 2 observando-se o plano que representa a atitude

de relativa do perfil natural (PF_2). Com base nisso dois fatos precisam ser salientados, como se segue:



LEGENDA

- E_1, E_2 = Eixo da dobra
- E'_2 = Projeção horizontal do eixo rotacionado
- PA_1, PA_2 = Plano axial da dobra
- PF_1, PF_2 = Plano de perfil natural
- SN = Seção natural da dobra
- TAR1, TAR2 = Traço axial real
- L_1, L_2 = Linha de interseção
- X, Y = Eixos coordenados

Figura 2 — Transformação de uma imagem natural em imagem de trabalho (vide texto) através de rotação da primeira para o plano horizontal. O sub-índice 1 refere-se à posição original dos elementos estruturais enquanto que o sub-índice 2 refere-se à posição dos mesmos após terem sofrido rotação.

- a - O limite de 45° para determinação da orientação do eixo coordenado X sobre a imagem de trabalho refere-se a posição do traço axial no perfil construído, ou seja, no perfil natural rotacionado.
- b - O traço axial no perfil construído é um traço real, a exemplo daquele que aparece no perfil natural, mas ambos possuem obliquidades diferentes porque esse parâmetro varia quando o plano que contém o elemento linear sofre rotação em torno de um eixo que não seja paralelo a sua linha direcional.

Uma análise da distribuição das diferentes curvas na Figura 1 mostra que quando a obliquidade cartográfica do eixo da dobra for superior a 45°, o eixo coordenado X será sempre paralelo à direção do mesmo. Essa rotação de 90°, em relação à posição normal dos eixos coordenados, é automaticamente corrigida no momento de exibir o perfil construído na tela (ou impressora)

sendo, também, recalculada a obliquidade do traço axial real.

Trabalhando em Proporções Reais

Com vistas a manter a igualdade das escalas vertical e horizontal da imagem amostrada, freqüentemente deformada nos monitores comuns de vídeo, e desta forma mantendo as relações geométricas e angulares da imagem, o programa PERFIL utiliza-se de um programa auxiliar, denominado ASPECTO, que tem por objetivo fornecer interativamente um fator de correção de assimetria para o monitor de vídeo e, opcionalmente, para a placa gráfica instalada (no caso das placas gráficas que não apresentam o elemento gráfico "pixel" equidimensionado). Para tanto é determinado um fator de correção de assimetria, a partir do qual também são calculados os parâmetros que a impressora utilizará quando for solicitada uma cópia ("hardcopy") em proporções reais da área de trabalho da tela gráfica, que contém a imagem da dobra analisada.

Tais procedimentos, efetuados unicamente quando da instalação do programa PERFIL em um determinado equipamento, fornecem subsídios para a utilização do "Sistema de Coordenadas Globais" (Rankin, 1989), no qual trabalha-se em referência às coordenadas cartesianas amostradas da imagem do dobramento, independentemente da resolução e tamanho de imagem da placa gráfica em uso, garantindo assim alta portabilidade. Desta maneira, simula-se o processamento como se fosse realizado diretamente sobre a imagem digitalizada, com ângulos e proporções preservados, permitindo uma interpretação confiável diretamente no monitor de vídeo.

Interação com o Intérprete

O programa PERFIL visa tornar a classificação isogônica de Ramsay (1967) uma tarefa objetiva, garantindo uma manipulação mínima da forma do dobramento. Contudo, procedimentos fundamentais devem ser feitos por um intérprete com conhecimento das limitações do método frente a superfícies geológicas irregulares. Tais procedimentos formam a parte interativa do programa que é representada pela determinação da "Janela de Isógonas" e do traço do plano axial no plano de perfil da dobra, descritos anteriormente. Ambos utilizam-se de um cursor que pode ser movimentado sobre a área de trabalho da tela gráfica através do teclado ou, opcionalmente, de um "mouse", fornecendo simultaneamente suas coordenadas reais (ou coordenadas "globais") referidas ao plano de perfil.

Ao término da seção interativa, o perfil construído está totalmente representado (Fig. 3) com as isógonas e traço real do plano axial desenhados. O programa ainda possibilita ao intérprete obter uma cópia gráfica da imagem em proporções reais, na impressora ou em traçador gráfico.

A sequência na execução da classificação, que consiste na construção do gráfico variação de espessura ortogonal versus mergulho (Ramsay, 1967) para cada

um dos limbos (Fig. 4), também apresenta a opção de um "hardcopy".

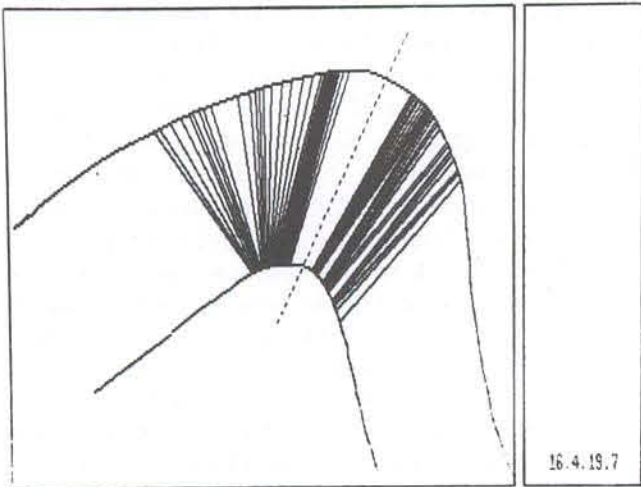


Figura 3 — Perfil de dobra obtido através do Programa Perfil. A linha tracejada mostra a posição do traço axial real, cuja obliquidade é indicada na parte lateral da figura conforme a notação de Silva Filho (1986). É indicada, também, a razão entre as curvaturas máximas das superfícies-de-forma que modelam a dobra e que é utilizada para classificação da mesma.

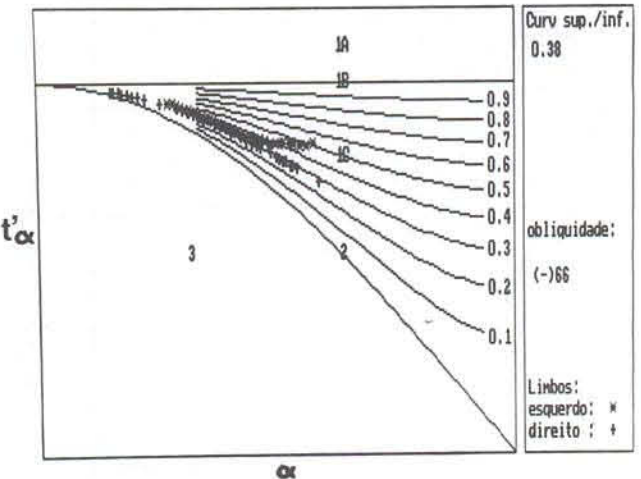


Figura 4 — Gráfico t'_{α} versus α para a dobra mostrada na Figura 3 (Ramsay, 1967).

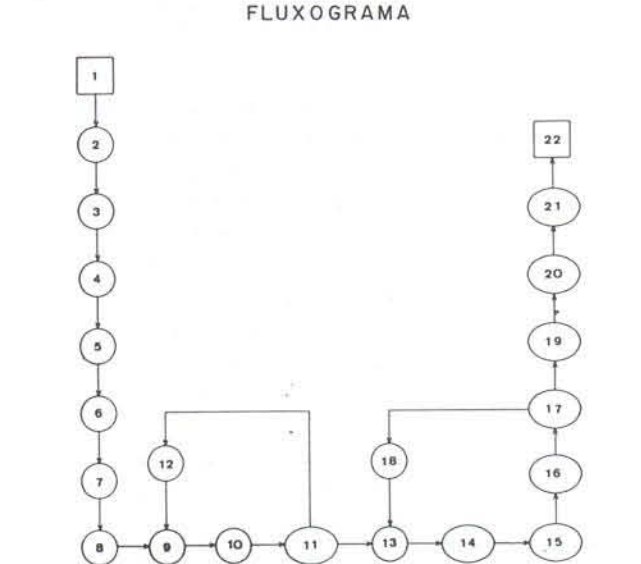


Figura 5 — Representação esquemática dos diferentes passos envolvidos na execução do Programa Perfil.

CONCLUSÕES

O programa PERFIL, valendo-se de técnicas de computação gráfica para o tratamento de imagens de dobramentos, tornou a classificação geométrica de tais estruturas uma tarefa confiável, simples e rotineira, uma vez que garante uma manipulação mínima das superfícies-de-forma e minimiza tendências subjetivas.

Características alcançadas pelo programa, tais como a rapidez de processamento e a modularidade obtida pela programação estruturada, o tornam altamente compatível com outros programas de processamento de dados de Geologia Estrutural, tanto para fins profissionais como didáticos.

FLUXOGRAMA DO PROGRAMA PERFIL

Os passos principais do Programa Perfil estão representados no fluxograma mostrado na Figura 5 e podem ser sumariados como se segue:

- 1 - Abre arquivo de dados.
- 2 - Lê coordenadas de pontos localizados sobre as superfícies-de-forma superior e inferior, no formato (x,y).
- 3 - Determina os limites máximo e mínimo dos dados.
- 4 - Inicializa o sistema gráfico.
- 5 - Inicializa as funções "spline".
- 6 - Lê arquivo de correção de aspecto.
- 7 - Calcula os coeficientes de transformação para o sistema de coordenadas globais.
- 8 - Reduz os dados (x,y) para o sistema de coordenadas globais.
- 9 - Calcula os novos pontos interpolados pelas funções "spline".
- 10 - Calcula as declividades das funções "spline".
- 11 - Traça a superfície interpolada superior.
- 12 - Repete os passos de 9 até 11 para a superfície inferior.
- 13 - Determina a Janela de Isógonas para a camada.
- 14 - Calcula as isógonas e os valores de t'_{α} .
- 15 - Posiciona o traço do plano axial.
- 16 - Calcula obliquidade real do traço axial e pontos de intersecção com os "splines".
- 17 - Calcula as curvaturas das superfícies superior e inferior e a razão entre as mesmas.
- 18 - Repete os passos de 13 até 17 para as superfícies inferiores (caso da análise de mais de uma camada).
- 19 - Executa o "hardcopy" (opcional).
- 20 - Traça o gráfico t'_{α} versus α .
- 21 - Executa o "hardcopy" (opcional).
- 22 - Encerra programa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badgley, P.C. 1959. *Structural Methods For The Exploration Geologist*. Harper & Brothers Publishers, New York. 280 p.
- Elliott, D. 1965. The quantitative mapping of directional minor structures, *Journal of Geology*, 73: 865-880.
- Evans, D.G.; Schweitzer, P.N. & Hanna, M.S. 1985. Parametric cubic splines and geologic shape descriptions. *Mathematical Geology* 17 (6): 611-624.
- Hudleston, P.J. 1973. Fold morphology and some geometrical implications of theories of fold development. *Tectonophysics*, 16 (1/2): 1-46.
- Ragan, D.M. 1973. *Structural Geology — An Introduction To Geometrical Techniques*. John Wiley & Sons Inc., New York. 208 p.
- Ramsay, J.G. 1967. *Folding And Fracturing Of Rocks*, McGraw Hill, New York. 568 p.
- & Huber, M.I. 1987. *The Techniques of Modern Structural Geology. Volume 2: Folds and Fractures*. Academic Press London. 700 p.
- Rankin, J.R. 1989. *Computer Graphics Software Construction*. Prentice Hall, Sydney. 282 p.
- Schaeben, H. 1988. Improving the geological significance of computed surfaces by CAGD methods, *Geologisches Jahrbuch. A* 104: 263-280.
- Schryver, K. 1966. On the measurement of the orientation of axial plane of minor folds. *Journal of Geology*, 74: 83-84.
- Silva Filho, B.C. da. 1986. Geologia de Campo: Execução e notação de medidas de atitude de estruturas planares e lineares. *Acta Geologica Leopoldensia*, 10 (22): 7-34.
- . *Geologia Estrutural: Teoria e Prática de Análise Geométrica* (em preparação).
- Stockwell, C.H. 1959. The use of plunge in the construction of cross-sections of folds, *Proceedings of the Geological Association of Canada*, 3: 97-121.
- Turner, F.J. & Weiss, L.E. 1963. *Structural Analysis of Metamorphic Tectonites*. McGraw-Hill Book Company, New York. 545 p.