

Metodologia para a geração de imagens de geofísica: uma contribuição à integração de dados na pesquisa geológica

SILVIA BEATRIZ ALVES ROLIM¹
WALDIR RENATO PARADELLA²
RICARDO M. DE VASCONCELOS³
MARIA LAURA VEREZA DE AZEVEDO³

¹UNIVAP-Universidade do Vale do Paraíba
Praça Cândido Castejon, 116
12243 São José dos Campos, SP, Brasil
fve@fppsp.fapesp.ansp.br

²INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201 São José dos Campos, SP, Brasil

³CPRM-Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais
Avenida Pasteur, 404
22292 Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Abstract. The Amazon region has very few geological surveys, in spite of having several mineral districts. The relationship between geology, relief, soils and vegetation cover is poorly investigated. This lack of knowledge is caused by many factors, such as the non-accessibility to the area, its environmental complexity, the absence of systematic and integrated multidisciplinary studies, etc. These problems can be partially solved by the use of Digital Processing Image (DPI) and Geographical Information System (GIS). In order to perform this research, digital magnetic images (derived from aerial profiles) were created. This geophysical data (N-S profiles) were converted to a regular grid of 30m and subsequently, to a black and white digital image with a Cubic Spline interpolation algorithm. These images were generated in order to improve a better correlation between geological and geophysical knowledge of the Pojuca Test Area.

1. Introdução

A Amazônia, apesar de cobrir quase metade do território brasileiro e possuir importantes depósitos minerais em seus terrenos, é uma região pouco pesquisada, principalmente no que diz respeito às relações entre a geologia, os solos, o relevo e a distribuição da cobertura vegetal.

As dificuldades que surgem quando se propõe estudos geológicos nestas áreas relacionam-se, em grande parte, ao clima tropical úmido, onde a alta taxa de intemperismo e a densa cobertura vegetal não favorecem a obtenção de informações diretas do substrato.

Neste sentido, cabe mencionar que a região amazônica dispõe de um acervo de dados de satélites desde 1972 (Landsat MSS e TM e SPOT), de cobertura por Radar e, parcialmente, de geofísica e topográficos, que permitem novas abordagens de manipulação, possibilitando um novo enfoque para a exploração do potencial das informações presentes.

As restrições existentes e a disponibilidade destes dados conduzem a um estado da arte direcionado, cada vez mais, ao uso de técnicas de processamento digital de imagens (PDI) e de sistemas de informações geográficas (SIG), como opções para a manipulação de dados deste ambiente.

2. Objetivo

O objetivo do presente trabalho é discutir os procedimentos para a geração de imagens digitais de magnetometria, a partir do processamento digital dos dados de perfis aerogeofísicos, avaliando a sua contribuição à integração de dados na pesquisa geológica.

3. Localização

A área de estudo possui, aproximadamente, 236 Km² e situa-se no flanco norte da Serra dos Carajás, a sudeste do Estado do Pará, no Município de Parauapebas (Figura 1).

4. Geologia

A área selecionada localiza-se na Serra dos Carajás, dentro da porção norte da Província Mineral dos Carajás. Conforme DOCEGEO (1988), as unidades mais antigas da área são representadas pelo Complexo Xingu, caracterizadas por rochas gnáissicas migmatizadas ou não, provenientes do retrabalhamento metamórfico sobre terrenos arqueanos. Distinto deste pacote apresenta-se o Grupo Igarapé Pojuca, de idade arqueana e produto de uma evolução em ambiente vulcanossedimentar com graus metamórficos variados. Intrusões graníticas anorogênicas cortam esta unidade. Uma cobertura sedimentar transgressiva de baixo grau metamórfico capeia as seqüências anteriores e está relacionada ao Grupo Rio Fresco. Observam-se coberturas lateríticas terciárias nas áreas de platôs das unidades do Grupo Igarapé Pojuca e do Grupo Rio Fresco. Aluviões, depósitos de areia e arenitos impuros, relativos ao Quaternário, cobrem as áreas dissecadas da área do Pojuca.

5. Características dos dados magnetométricos

Os dados magnetométricos que cobrem a área de estudo são referentes à perfis de vôo, de direção N-S, posicionados em coordenadas UTM, provenientes do levantamento aeromagnético das Folhas Serra dos Carajás e Rio Cinzento e pertencentes ao Projeto Brasil-Canadá (PGBC) de 1978. A altura de vôo sobre o terreno foi da ordem de 150 metros, com um intervalo de amostragem ao longo dos perfis de um (01) segundo (distância média equivalente no terreno de 61 metros).

As linhas de vôo tiveram um espaçamento de 1000 metros. Estes dados foram fornecidos pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e transformados na Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM), Rio de Janeiro, para o formato de grades regulares, com resolução espacial de 125 metros e gravados no formato ASCII, compatível com o Sistema Geográfico de Informações (SGI) e com o Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM), utilizados pelo INPE.

É importante mencionar que o IGRF (International Geomagnetic Reference Field) não foi removido dos dados finais. Em função da dimensão da área de estudo (em torno de 15 X 15 Km) a superfície representativa do IGRF praticamente se transforma em um plano, com contribuição mínima nos dados magnéticos. Além disso, foi prevista apenas uma interpretação qualitativa dos resultados, onde a contribuição do IGRF pode ser considerada irrelevante. Maiores detalhes sobre este procedimento encontram-se em Rolim (1992).

6. Tratamento digital dos dados magnetométricos

6.1. Introdução

A denominação "tratamento digital dos dados de geofísica", adotada neste trabalho refere-se a todos os processamentos para converter os perfis originais de magnetometria em imagens compatíveis com o SGI e SITIM.

Normalmente, o produto final utilizado para a interpretação de levantamentos aerogeofísicos são mapas de contorno gerados a partir de interpolações realizadas ao longo e entre os perfis de vôo posicionados. Estas interpolações transformam as perfilagens em grades regularmente espaçadas. Em função da interpolação, tais mapas perdem a riqueza de detalhes contida nos perfis. Contudo, eles são mais utilizados, pela facilidade de interpretação dos dados presentes, uma vez que estes fornecem uma visualização bidimensional, essencial para a compreensão da situação geológica geral da área (Reeves, 1985).

Por outro lado, a partir do momento em que dados de levantamentos geofísicos, na forma de grades regulares, podem ter seus valores (anomalias que podem variar de valores negativos a positivos) reescalados para 8 bits (256 níveis de cinza), estes podem ser apresentados por meio de imagens "raster", em preto e branco ou coloridas.

Desta forma, estas imagens permitem uma série de processamentos para realces de informações e também a integração com outros dados (de sensoriamento remoto, geoquímica, topográficos, geológicos, etc.). O resultado é o aprimoramento da qualidade das informações extraídas, uma vez que o olho humano percebe melhor variações de níveis de cinza (luminância) do que linhas de contorno de mapas (Drury e Walker, 1987).

6.2 . Geração de grades regulares

A seguir serão discutidos os procedimentos adotados pela CPRM para a geração das grades regulares (Vasconcelos et al., 1990).

O primeiro estágio consta da análise dos dados referentes ao voo executado, (altura, posicionamento e espaçamento das linhas de voo, e métodos de compilação e pré-processamento dos dados digitais) e a análise dos mapas e relatórios disponíveis.

No segundo estágio, define-se os parâmetros para o processamento dos dados, ou seja, a dimensão da célula da grade e a frequência de corte do filtro anti-interferência (função da dimensão da célula).

Conforme Vasconcelos (1990), normalmente, a célula da grade é definida com um tamanho equivalente a um valor entre 1/4 e 1/8 do espaçamento médio entre as linhas de voo. Esta dimensão implica na perda de algumas informações obtidas paralelamente às linhas, ou seja, todos os comprimentos de onda menores que o dobro da dimensão da célula não serão adequadamente representados. Por outro lado, na direção normal às linhas haverá uma subamostragem. Em função dos parâmetros do voo que cobrem a área teste, foi definida uma célula com dimensão de 125 metros. Neste caso, a amostragem dos dados ao longo do perfil, em função da dimensão da célula, provoca a contribuição de anomalias de comprimentos de onda menores que 250 m sobre anomalias de comprimentos de onda maiores que 250 m, fenômeno conhecido como aliasamento. O filtro anti-aliasamento aplicado elimina tal contribuição. O filtro é do tipo passa-baixa e possui uma frequência de corte equivalente ao dobro da dimensão da célula, chamada frequência de Nyquist.

Considerando a célula dimensionada para os dados aeromagnéticos da área teste, foi definida a frequência de corte para o filtro anti-aliasamento da seguinte maneira:

$$\text{Freq.Nq.} = 1/(2 * \text{dimensão da célula})$$
$$\text{Freq.Nq.} = 1/(2 * 125) = 0,004 \text{ ciclos/metro}$$

O quarto estágio envolve a geração da grade regularmente espaçada, a partir dos dados amostrados nos perfis de voo, por meio de funções de interpolação adequadas. Alguns interpoladores tem sido testados, entre eles o Spline Cúbico, o Spline Bicúbico, o Akima, funções lineares, etc. (Akima, 1974; Eliason et al., 1983; Reeves, 1985; Wu, no prelo).

Reeves (1985) menciona que os algoritmos de interpoladores mais utilizados são o Akima e o Spline Cúbico. O autor sugere que estes algoritmos são selecionados, provavelmente, mais por economia de tempo de processamento, do que por apresentarem melhores resultados. Wu (no prelo) também menciona os mesmos interpoladores como os mais utilizados, pelo fato de simularem com eficiência a natureza do campo potencial.

O "software" utilizado pela CPRM possui um algoritmo para a geração da grade ou malha regular com dois interpoladores: o primeiro, com uma função linear para os pontos ao longo das linhas de voo N-S e o segundo, com uma função Spline Cúbica para os pontos definidos pelo cruzamento dos meridianos UTM com os paralelos, definindo cada nó da grade.

Para o presente trabalho, foi gerada uma grade regular com resolução espacial de 125 metros e com uma inclinação de -20° para realçar as feições $S70^\circ E$ apresentadas na área (filtro para realce de "trends"). Este filtro evita o aparecimento de feições lineares compostas de várias anomalias mono ou bipolares.

6.3. Aplicação do programa MAGMAP

A CPRM possui um conjunto de algoritmos, agrupados no Programa MAGMAP versão 3.0 para a aplicação de filtros específicos (de alta e baixa frequência e geofísicos) em dados no formato de grade regular. O objetivo é atenuar, eliminar e até mesmo transformar determinadas feições lineares e/ou planares presentes nos dados originais (Vasconcelos, 1990).

Neste trabalho foi aplicado o filtro de redução ao equador (REDE) nos dados magnetométricos finais. O objetivo deste filtro é simplificar as feições das anomalias, uma vez que os valores das amplitudes de um corpo apresentam valores invertidos no equador (um mínimo) e no pólo magnético (um máximo). A aplicação da REDE limita-se a valores superiores à inclinação de 20° , em função da inclinação zero para as amplitudes no equador magnético (anomalias com amplitudes infinitas).

6.4 . Geração de imagens de magnetometria

A etapa posterior à construção das grades regularmente espaçadas compreende a geração de suas respectivas imagens digitais, a partir da conversão de seus valores pontuais, que representam a amplitude do campo magnético total, em 256 níveis de cinza (8 bits).

Para cumprir este objetivo, foi utilizado o SGI, onde as grades regulares podem ser inseridas na forma de modelos numéricos de terreno (MNT/formato grade) e transformadas em imagens (formato raster). A Figura 2 apresenta o MNT/formato grade da imagem transformada de redução ao equador magnético.

Durante a conversão dos dados foi realizado um refinamento da grade, transformando a sua resolução espacial de 125 metros para 30 metros. Maiores detalhes sobre este refinamento encontra-se em Rolim (no prelo). É importante mencionar que o refinamento das grades realizado no SGI seguiu os mesmos parâmetros da função de interpolação, adotada no programa MAGMAP versão 3.0 da CPRM (Spline Cúbica).

7. Resultados e discussão

A interpretação dos dados magnetométricos ficou limitada em função da escolha da dimensão da área. Foi selecionada a imagem transformada de REDE para caracterizar os domínios magnéticos da Faixa Pojuca.

É importante salientar que a transformação de dados de magnetometria para apenas 256 valores discretos de níveis de cinza causa uma grande concentração de valores de pixels para algumas classes. Isto acontece em função da alta densidade e da distribuição irregular dos dados das anomalias magnéticas.

7.1. Interpretação qualitativa

A Figura 3 apresenta a imagem transformada de redução ao equador magnético realçada por equalização não linear de frequência (Mather, 1987), junto com sua respectiva interpretação. Esta área possui um relevo magnético suave ondulado, com um caimento geral na direção NE.

Na porção central da área ocorrem inflexões negativas, segundo a direção NW-SE, relacionadas a contatos entre áreas com diferentes contrastes magnéticos.

Este alinhamento e adensamento das anomalias, com mudanças bruscas de intensidade indica um desnivelamento entre blocos rochosos provocado pelo evento cisalhante ocorrido na área (Araújo et al., 1988).

O domínio D1 ocorre na porção NNE da área, caracteriza-se por uma feição planar de relevo magnético baixo e monótono e está associado às rochas metamorfizadas do Complexo Xingu.

O domínio D2 caracteriza-se por corpos magnéticos com padrões geométricos elípticos e alongados, com uma direção geral N70°W. Estas feições são típicas de rochas com alta susceptibilidade magnética e estão relacionadas, segundo a geologia da área, ao Grupo Igarapé Pojuca. A forte orientação dos eixos magnéticos destas feições (N70°W), aliadas à interrupção do padrão geral do relevo magnético, evidenciam a presença de falhamentos. Estes relacionam-se ao evento de cisalhamento dúctil do Sistema Transcorrente Carajás, no sentido de Araújo et al. (1988).

Na porção SE do domínio D2 observa-se feições planares de baixo relevo magnético, tendendo a um padrão circular de maior amplitude e com alta densidade espacial. Este padrão de anomalia pode fazer parte de um ou mais dipolos. No entanto, não há dados suficientes para uma interpretação mais adequada dos pares máximos e mínimos além da área de estudo. Apenas pode-se sugerir que esta feição está relacionada à formação ferrífera do Grupo Grão Pará, fora dos limites desta imagem.

Na porção central da área observa-se uma interrupção do alinhamento N70°W com deslocamento dos eixos das anomalias, caracterizando um falhamento posterior de direção geral N40°E. Faltam dados para sugerir se a falha possui preenchimento de material básico ou ultrabásico (dipolos alinhados). No entanto, esta feição está associada aos falhamentos transcorrentes do Proterozóico, no sentido de Araújo et al. (1988), que modificaram a geometria dos elementos estruturais anteriores.

O domínio D3 caracteriza-se por feições de baixo relevo magnético, característicos de rochas fracamente magnéticas, ocorre na porção SW da área e está relacionado aos sedimentos de baixo grau metamórfico do Grupo Rio Fresco.

8. Considerações finais

A proposta de descrever e avaliar o tratamento digital dos dados de magnetometria atingiu o resultado almejado no que se refere à contribuição para viabilizar a manipulação destes dados como subsídio e alternativa aos trabalhos geológicos.

A utilização de imagens de geofísica, mesmo em área restrita, sinalizou um grande potencial no auxílio do mapeamento geológico básico. A visualização destes dados, em níveis de cinza e/ou integrados a dados de sensoriamento remoto, subsidia a extração das informações presentes, uma vez que o olho humano percebe melhor as variações de níveis de cinza ou de matizes, do que mapas de isolinhas.

É importante registrar que qualquer técnica, seja a fotointerpretação, o processamento digital de imagens, etc, fica limitada quando utilizada isoladamente. Cabe ao geólogo manipular, de forma adequada, todas as informações disponíveis. Neste sentido, o tratamento e a integração de dados multidisciplinares, por meio do SGI e do SITIM, mostraram-se dinâmicos e eficientes. Recomenda-se o uso frequente destes sistemas, a fim de criar uma cultura em geoprocessamento na comunidade geocientífica brasileira.

9. Bibliografia

- Akima, H. A method of bivariate interpolation and smooth surface fitting based on local procedures. Communications of the ACM, 17(1):18-20, Jan. 1974.
- Araújo, O.B.; Maia, R.G.N.; Silva, J.J.X. da; Costa, J.B.S. A megaestruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. In: Congresso Latinoamericano de Geologia, 7., Belém, 1988. Anais. Belém, Pará, SBG, 1988, v.1. p. 324-337.
- Vasconcelos, R.M.; Metelo, M.J.; Motta, A.C.; Gomes, R.D. Geofísica para levantamentos geológicos. Rio de Janeiro, 1990 (no prelo).
- DOCEGEO (Rio Doce Geologia e Mineração S.A.). Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35., Belém, 1988. Anexo aos anais. Belém, SBG, 1988. p. 11-54.
- Eliason, P.T.; Donovan, T.J.; Chavez Jr, P.S. Integration of geologic, geochemical, and geophysical data of the Cement oil field, Oklahoma, using spatial array processing. Geophysics, 48(10):1305-1317, Oct., 1983.
- Mather, P.M. Computer processing of remotely sensed images. Chichester, John Willey and Sons, 1987. 352 p. 11-54.
- Reeves, C.V. Airborne geophysics for geological mapping and regional exploration. ITC Journal, 3:147-161. 1985.
- Rolim, S.B.A. Avaliação do uso da transformação IHS na integração de dados de geofísica (aeromagnetometria) e de sensoriamento remoto (TM-Landsat) para a investigação geológica na área do Pojuca (Serra dos Carajás, Pará). Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1992. No prelo.
- Wu, C. Adequate sampling in magnetic survey, the resolution of closely-spaced sources and their importance to data processing, image enhancement techniques and interpretation. Unpub MSc thesis. ITC, Delft. 1991.

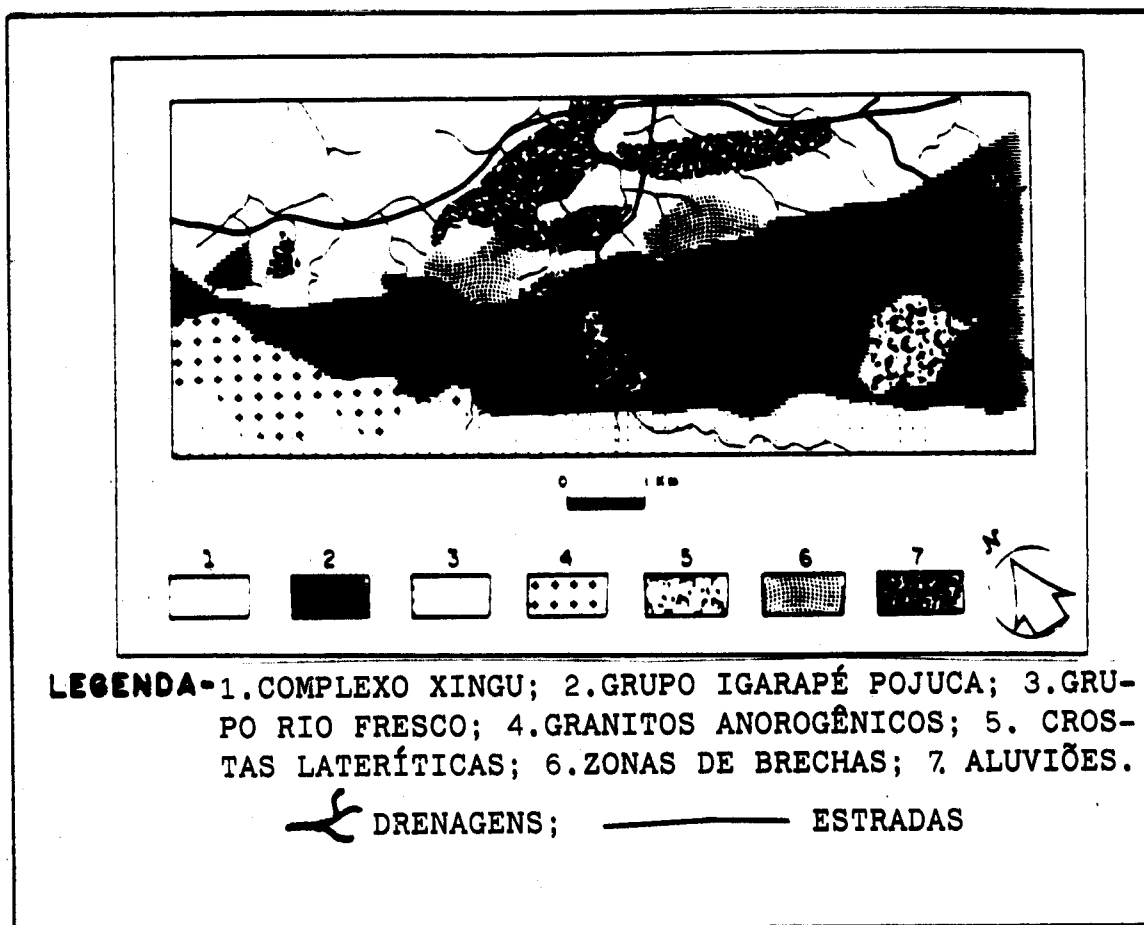


Fig. 1 - Mapa Geológico da área de estudo
 FONTE: DOCEGEO (1988)

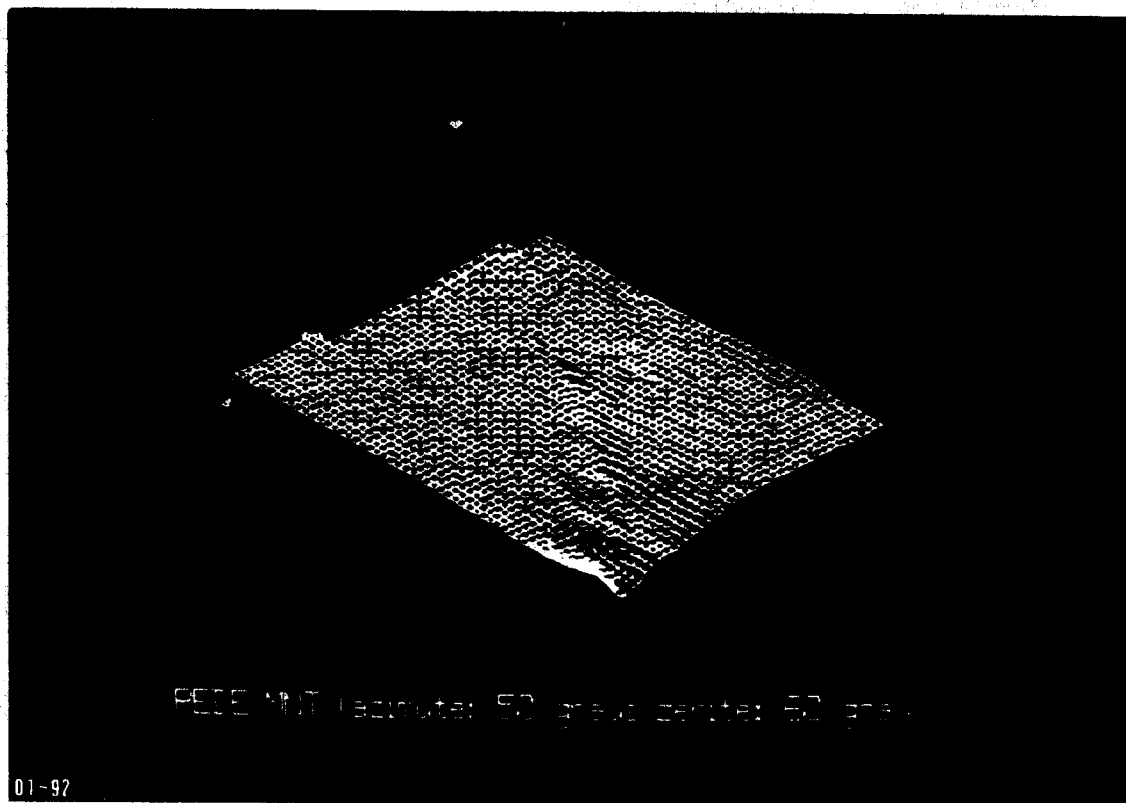


Fig. 2 - MNT/formato grade da imagem transformada da redução ao equador magnético

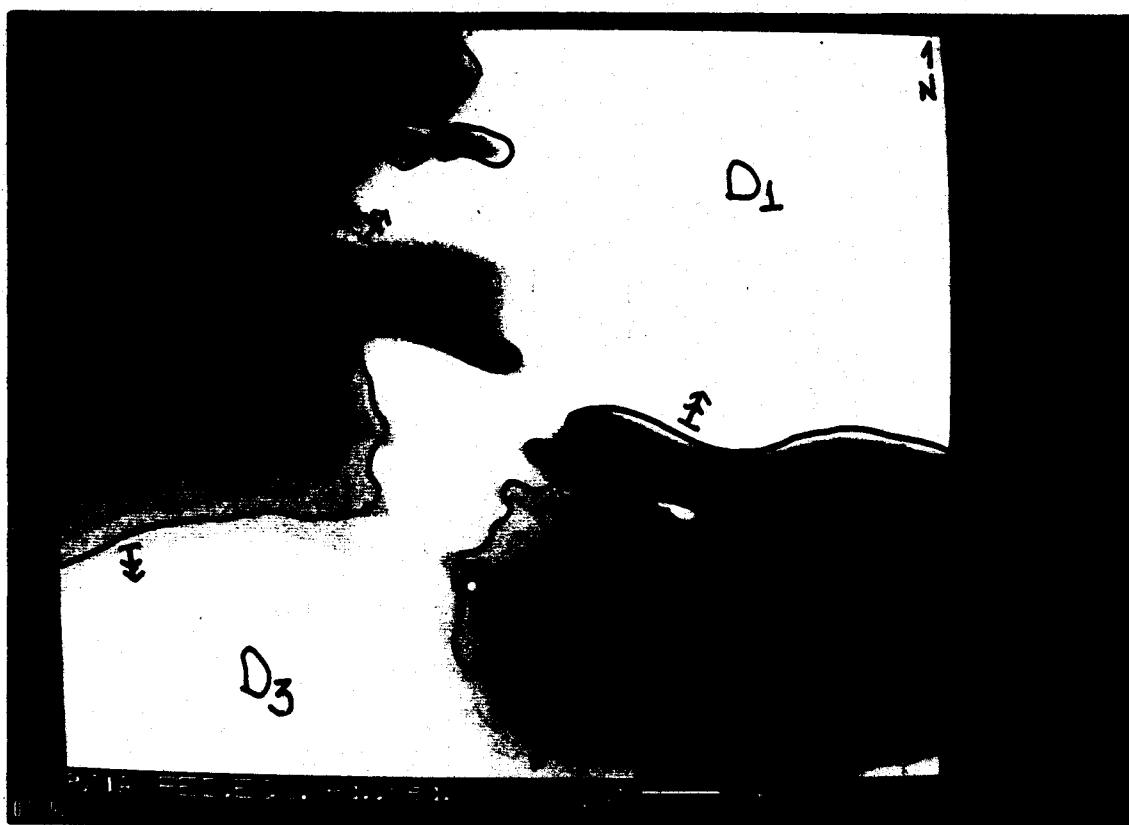


Fig. 3 - Imagem transformada de REDE