

ANÁLISE DE FRATURAS ATRAVÉS DE IMAGENS FOTOGRÁFICAS DE BAIXA RESOLUÇÃO ESPACIAL:  
UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA EVOLUÇÃO TECTÔNICA DA REGIÃO DA CHAPADA DO ARARIPE

Edison Crepani  
Instituto de Pesquisas Espaciais  
Ministério da Ciência e Tecnologia  
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

A partir de dados geológicos preexistentes, da análise das imagens TM, MSS e RBV/LANDSAT e de mosaicos SLAR para aplicação de análise morfoestrutural e tratamento estatístico de fraturas, este trabalho mostra a ativa participação de linhas de fraqueza antigas do embasamento, com direções N45E, N45W e EW na configuração tectônica da Bacia do Araripe. O comportamento de tais linhas de fraqueza durante o Mesozóico caracterizou-se por movimentos essencialmente verticais, numa tectônica gravitacional, que ensejaram a formação da Bacia do Araripe dividida em duas sub-bacias: a Sub-Bacia Oeste estruturada em terraços escalonados de oeste para leste segundo a direção N45W e a Sub-Bacia Leste, que se conforma numa bacia do tipo "rift" com altos e baixos estruturais alternados segundo a direção N45E, em um amplo baixo segundo a direção EW entre os lineamentos de Patos e Cariris Velhos. As linhas de fraqueza N45E, que condicionam altos e baixos estruturais na Sub-Bacia Leste do Araripe, mostram continuidade até a Bacia do Rio do Peixe, a qual aponta para uma ligação entre elas. Sua extensão para nordeste, em direção à Bacia Potiguar, corrobora a hipótese da existência de um ramo abortado de junção triplíce, com centro entre Areia Branca e Macau, que uniria estas três bacias.

ABSTRACT

Based on existing geological data, the analysis of the TM, MSS and RBV images of LANDSAT and the mosaics of SLAR imagery to the application of morphostructural analysis and statistic treatment of the fractures, this work shows the active participation of the ancient lines of weakness of the basement, with the directions of N45E, N45W and EW in the tectonic configuration of the Araripe Basin. During Mesozoic time, the behaviour of such lines of weakness was essentially characterized by vertical movements in a gravitational tectonics which caused the formation of the Araripe Basin, divided into two subbasins: the West Subbasin, which forms a sequence of structural terraces as stairs from west to east according to the direction of N45W, and the East Subbasin, which forms a basin of rift type with alternative structural highs and lows according to the direction of N45E, in a broad low according to the direction EW between the Patos and Cariris Velhos lineaments. The N45E lines of weakness, which control the structural highs and lows in the East Subbasin of Araripe, show the continuity up to the Rio do Peixe Basin and this continuity seems to connect these two basins. These lines of weakness extending to the northeast up to the Potiguar Basin emphasize the hypothesis of the existence of an aborted branch of triple junction with the center between Areia Branca and Macau. This aborted branch may connect the Araripe, Rio do Peixe and Potiguar basins.

1. INTRODUÇÃO

Uma das características mais favoráveis das imagens fotográficas de cobertura sinótica é a capacidade de visualização regional das estruturas geológicas, principalmente as de caráter rúptil. O enfoque tectono-estrutural tem sido uma preocupação dos pesquisadores desde o advento das primeiras imagens orbitais, procurando a princípio adaptar métodos e técnicas de extração de informações estruturais desenvolvidos para fotografias aéreas e, pela evolução destes estudos, chegar à sistematização de procedimentos fotointerpretativos específicos para estas imagens, com o intuito de obter informações estruturais a nível regional.

O estudo dos eventos tectônicos a nível regional constitui-se numa importante ferramenta para um melhor entendimento do quadro evolutivo de uma determinada área, permitindo interpretações, entre outras, a respeito do comportamento das principais linhas de fraqueza da crosta ao longo da história geológica e sua influência no arcabouço tectônico desta área.

O objetivo fundamental deste trabalho foi, portanto, a individualização das principais linhas de fraqueza presentes na área de estudo e a análise de sua participação na evolução tectônica da Bacia do Araripe. De forma complementar foram utilizadas técnicas de Análise Morfoestrutural nesta bacia visando, pela convergência

das informações advindas destes procedimentos, a dar uma contribuição aos estudos que procuram estabelecer suas possíveis conexões com as bacias interiores ou com os "rifts" costeiros do Nordeste Oriental.

## 2. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo encontra-se delimitada pelos paralelos  $6^{\circ}30'$  e  $8^{\circ}15'$  de latitude sul e meridianos  $38^{\circ}00'$  e  $41^{\circ}30'$  de longitude oeste, englobando parte dos estados do Ceará, Pernambuco, Paraíba e Piauí (Figura 1).

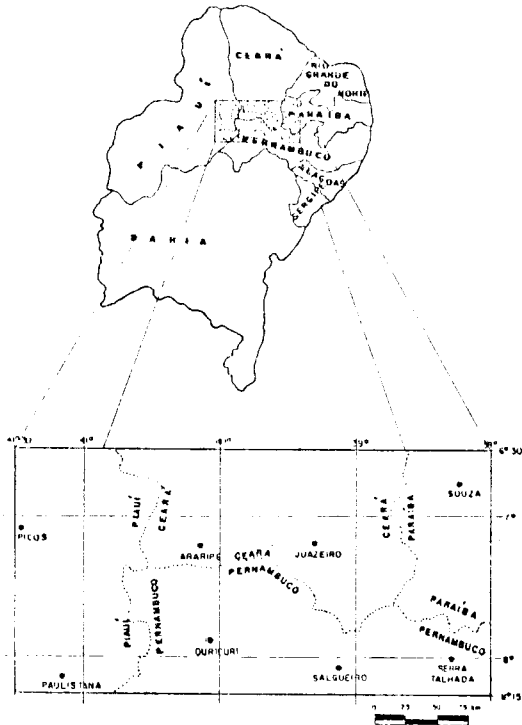


Figura 1. Localização da área de estudo.

## 3. GEOLOGIA DA ÁREA

A área compreendida por este trabalho engloba parte de três grandes Domínios Geológicos da Província Borborema (BRITO NEVES, 1983): Domínio Jaguaribeano (Maciço do Rio Piranhas, Sistema de Dobramentos Jaguaribeano), Domínio Central (Sistemas de Dobramentos Piancó-Alto Brígida e Riacho do Pontal) e Domínio Centro Oriental, além de pequena parte da Província Paraíba; grande parte dos remanescentes sedimentares do interior do Nordeste e a totalidade das bacias do Araripe e Rio do Peixe.

### 3.1- O EMBASAMENTO PRÉ-CAMBRIANO

O embasamento da área de trabalho é composto predominantemente por rochas gnáissico-migmatíticas e secundariamente migmatítico-graníticas, interrompidas por faixas metassedimentares alongadas segundo a direção NE, sendo comum observar-se a extensão destas unidades na infraestrutura dos metassedimentos. Completam este conjunto as rochas graníticas originadas em momentos diferentes, tomando-se como referência o Ciclo Brasileiro.

## 3.2- COBERTURAS FANEROZÓICAS

As coberturas sedimentares contidas na área de estudo deste trabalho, podem ser separadas em cinco conjuntos diferentes, relacionados à sua gênese e idade: "Bacias" Eopaleozóicas, Coberturas Paleozóicas da Bacia do Paraíba, Bacias Mesozóicas Interiores, Remanescentes Paleo-Mesozóicos e Coberturas Cenozóicas (Figura 2).

### 3.2.1- COBERTURAS PALEOZÓICAS DA BACIA DO PARAIÍBA

A sedimentação nessa bacia se deu em área superior a  $70.000 \text{ km}^2$ , durante o Paleozóico, excedendo a área atual da bacia morfológica, já que estes sedimentos ocorrem em áreas mais distantes separadas da bacia atual. As unidades aflorantes na área deste trabalho (Grupo Serra Grande, e formações Pimenteiras e Cabeças) pertencem à fase talassocrática da Bacia do Paraíba.

### 3.2.2- BACIAS MESOZÓICAS INTERIORES

Estas bacias são consideradas frações de uma cobertura mais extensa, aprisionadas em falhas do embasamento provavelmente reativadas em dois períodos: logo após o Devoniano e no Jurássico-Cretáceo. BEURLIN (1971) as considera fragmentos de uma única grande bacia, e acredita que devam ser procuradas suas conexões com as verdadeiras bacias como Recôncavo-Tucano - Jatobá, Paraíba e Potiguar, de onde as seqüências cratônicas nelas contidas são originárias.

Embora o fenômeno da reativação tenha sido mais atuante nas áreas costeiras, refletindo o início da separação América do Sul - África, testemunhos importantes de sua presença em regiões interiores estão presentes na forma de bacias tectônicas ligadas principalmente à reativação vertical de falhas preexistentes.

**BACIA DO ARARIPE:** O complexo sedimentar que constitui a Bacia do Araripe estende-se a través da região limítrofe dos estados do Piauí, Pernambuco e Ceará, tendo sua maior extensão neste último. Este complexo sedimentar corresponde a um planalto com cota oscilante em torno de  $900 \text{ m}$ , que se destaca pela sua altitude em relação ao embasamento cristalino que o circunda.

BEURLIN (1963), baseado no comportamento dos perfis no contato do embasamento com a seqüência sedimentar, sugere que o mesmo tipo de relevo existente nas margens se estenda sob a chapada, representando uma superfície de erosão anterior à deposição da seqüência sedimentar.

Segundo BEURLIN e MABESONE (1969) e BEURLIN (1971) a área do Araripe não seria, a rigor, uma bacia sedimentar, e sim uma estrutura tectônica secundária, correspondendo a uma relíquia preservada de uma área sedimentar mais ampla, porém de curta duração geológica.

O levantamento gravimétrico da Bacia do Araripe realizado por RAND e MANSO (1984) permite estimar (a partir das anomalias Bouguer) profundidades que atingem mais de  $2000 \text{ m}$  em duas áreas extensas da Bacia.

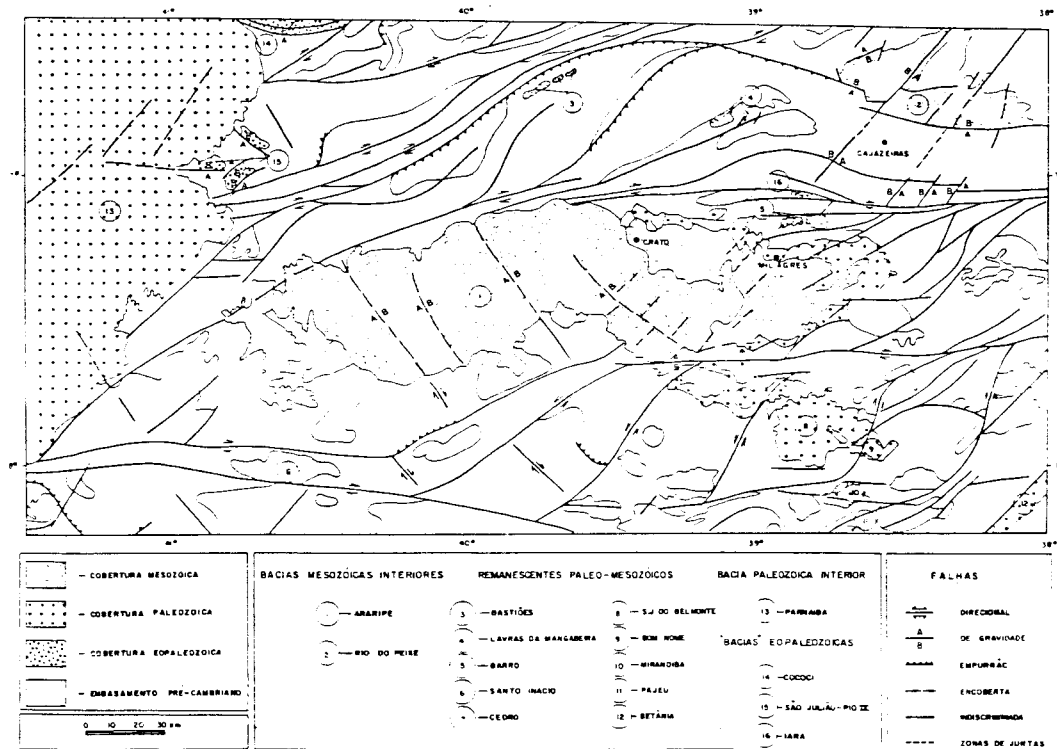


Figura 2. Mapa Geológico-Geotectônico da Área de Trabalho (Cobertura Fanerozoica).  
 FONTE: CREPANI, 1987.

GHIGNONE et alii (1986) consideram a estrutura atual da Bacia do Araripe um rift instalado sobre os escombros de uma bacia paleozóica, e reconhecem a presença de seqüências bioestratigráficas Juro-cretáceas reconhecidas nas bacias do Recôncavo-Tucano e Sergipe-Alagoas. A seqüência estratigráfica proposta por estes autores está representada na Tabela 1.

A configuração atual da bacia, representada geomorfologicamente por uma chapada limitada por escarpas de erosão, em torno da qual o embasamento cristalino apresenta cotas variando de 500 a 700m, é um indício de que a área original de sedimentação foi realmente maior, idéia que é reforçada pela presença de remanescentes depositados diretamente sobre o embasamento, em direção às bacias de Tucano-Jatobá e Potiguar.

**BACIA DO RIO DO PEIXE:** A primeira referência à Bacia do Rio do Peixe foi feita por CRANDALL e WILLIAMS (1910) que a correlacionaram com as formações cretáceas do Ceará, supondo uma ligação com os arenitos da Bacia de Lavras da Mangabeira e com as camadas basais da Bacia do Araripe.

TABELA 1  
 SEQUÊNCIA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO ARARIPE

CENOZÓICO		Q C <sub>2</sub>	ALUVIÃO MODERNO TÁLUS ASSOCIADO AO ANDAR ALAGOAS
CRETÁCEO INFERIOR	ANDAR ALAGOAS (ALBO-APTIANO)	K <sub>A-12</sub> K <sub>A-1</sub>	ARENITOS (Fm. Exu) FORMAÇÃO SANTANA
	ANDARES BURACICA E ARATU	K <sub>A-B</sub>	ARENITOS MACÍCIOS, IN TERCALAÇÕES DE FOLHE LHOS VERDES E VERME LHOS BIOZONAS RI-U05, RI-006
	ANDAR RIO DA SERRA	K <sub>RS</sub>	ARENITOS LENTICULARES, FOLHELOS VERMELHOS E VERDES BIOZONA RI-003
JURÁSSICO SUPERIOR	ANDAR DOM JOÃO	J <sub>D2</sub> J <sub>D1</sub>	QUARTZO - ARENITOS, LENITES DE SILTITOS (Fm. SERGI) ARGILITOS VERMELHOS (TOPO DA Fm. ALIANÇA)
PALEOZÓICO		D	ARENITOS CINZA, CAULÍ NICOS, CONGLOMERÁTICOS
PRÉ-CAMBRIANO			ARDÓSIAS, FILITOS, GRA NITOS.

FONTE: GHIGNONE et alii (1986).

BRAUN (1969) dividiu a bacia nas sub-bacias de Souza e Brejo das Freiras (Triunfo), separadas pela Folha de Portalegre, e caracterizou uma coluna estratigráfica com três tipos litológicos distintos considerando-os sintectônicos devido à presença de conglomerados tectônicos intraformacionais que ocorrem junto às falhas que condicionam a bacia.

O conteúdo fossilífero destas unidades permite colocá-las no intervalo Berrisiano - Barremiano (Cretáceo Inferior), no lapso de tempo entre a sedimentação das formações Sergi e Santa Ana, da Bacia do Araripe.

### 3.2.3- REMANESCENTES PALEO-MESOZÓICOS

Outras áreas-testemunho contendo sedimentos correlacionáveis às unidades sedimentares que ocorrem na Bacia do Araripe estão presentes ao seu redor, separadas por rochas do embasamento, em posição intermediária em relação a outras bacias. Entre estas destacam-se pela importância neste trabalho:

**BACIA DE LAVRAS DA MANGABEIRA:** Localiza-se a nordeste da Chapada, próximo à cidade de Lavras da Mangabeira (CE), na forma de duas ocorrências de rochas sedimentares preservadas por falhas de gravidade com direção N40E.

PRIEM et alii (1978) dataram sills básicos intercalados concordante e sub-concordantemente, nos sedimentos da Bacia de Lavras da Mangabeira, obtendo valores de  $175 \pm 4$  m.a. (Jurássico Inferior a Médio), e correlacionaram este magmatismo com os diques básicos que surgiram por ocasião de separação América do Sul-África, o que indicaria um início de sedimentação anterior ao Berriasiano para estes sedimentos.

**BACIA DE BARRO:** Localiza-se a nordeste da Chapada, junto à cidade de Barro (CE), em direção à Bacia do Rio do Peixe. Apresenta-se na forma de duas ocorrências sedimentares depositadas diretamente sobre o embasamento, condicionadas a um ramo do Lineamento de Patos. Apresenta sedimentos cretáceos do Andar Rio da Serra e Buracica.

## 4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS IMAGENS FOTOGRÁFICAS

As imagens fotográficas utilizadas nesse trabalho representam a distribuição de energia eletromagnética refletida pelas feições da superfície terrestre. As características desses produtos fotográficos estão diretamente relacionadas com a faixa do espectro eletromagnético que eles registram, bem como com o tipo de equipamento utilizado para obter esse registro, portanto um importante fator a ser considerado na análise e interpretação dos produtos de Sensoriamento Remoto, é o comportamento das feições da superfície terrestre em termos de reflexão de energia eletromagnética, em diferentes faixas do espectro eletromagnético.

Para a parte refletida do espectro eletromagnético esse comportamento é definido pela relação entre a quantidade de energia refletida

por um alvo e a quantidade total de energia incidente sobre ele. Essa relação é chamada **Refletância Espectral**.

Embora a Refletância Espectral não seja absoluta e única para cada alvo, ela permite que se identifiquem diferentes feições através de sua tonalidade de cinza nas imagens em preto e branco, ou matizes de cores em imagens em posições coloridas.

A Figura 3 ilustra o comportamento dos principais alvos da natureza (vegetação, solo e água) na parte refletida do espectro eletromagnético, e situa os diferentes canais das imagens fotográficas LANDSAT utilizadas neste trabalho.

As imagens fotográficas, independentemente do comprimento de onda da radiação que impressionou o filme fotográfico, apresentam algumas propriedades fundamentais para o fotointérprete. Estas propriedades são: Brilho, Tonalidade, Contraste e Resolução.

O **Brilho**, nas imagens preto e branco, se refere às variações na intensidade da radiação eletromagnética que atinge o filme fotográfico. Nas imagens fotográficas o brilho dos objetos é proporcional à intensidade de luz refletida por eles. O brilho é uma sensação subjetiva produzida no olho humano pela luz refletida, e raramente é medida em termos quantitativos, sendo geralmente relacionado a uma escala de cinza. O termo **Tonalidade** é usado para cada graduação distinguível, do preto ao branco, dentro desta escala de cinza. Podemos dizer que a tonalidade de um alvo é determinada pela sua capacidade de refletir a luz incidente.

O **Contraste** pode ser definido como a razão entre a intensidade do brilho nas partes mais claras e nas partes mais escuras de uma imagem fotográfica. Pode ser também entendido como a razão entre o brilho de um alvo e o brilho de região adjacente a ele. O contraste é um fator vital na capacidade de distinguir e detectar alvos. Imagens fotográficas de baixo contraste dificultam a interpretação por apresentarem tonalidades uniformes.

A principal desvantagem das imagens de radar é a falta de contraste que não permite a utilização dos critérios de fotointerpretação baseados na tonalidade de cinza, uma vez que não se pode falar em refletância espectral dos alvos para estas imagens, pois o que determina sua tonalidade é a rugosidade dos alvos (LINTZ Jr. e SIMONETTI, 1976).

**Resolução** é a capacidade de distinguir dois alvos pouco distantes um do outro numa imagem fotográfica. Mais especificamente, resolução é a distância mínima entre dois alvos, na qual eles aparecem distintos e separados numa imagem fotográfica. Se os alvos estiverem distanciados menos que o limite de resolução, aparecerão como um único alvo na imagem fotográfica.

Outra propriedade das imagens fotográficas é a **sombra**. A sombra se manifesta na forma de áreas de tonalidade muito escura ou preto, ocasionadas pela falta de resposta refletida de áreas do terreno ocultas por alvos de maior

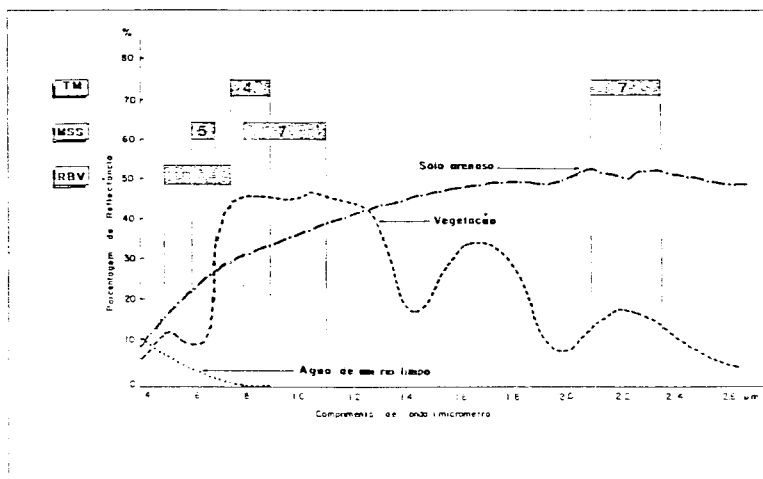


Figura 3. Comportamento dos principais alvos da natureza na parte refletida do espectro eletromagnético, nas imagens LANDSAT utilizadas.

porte. Nos produtos fotográficos de sensores que se utilizam da radiação solar refletida a sombra depende do ângulo de elevação solar. Nas imagens fotográficas que não permitem a prática habitual da estereoscopia, a sombra é que proporciona a sensação de relevo.

##### 5. MAPA DE ANOMALIAS MORFOESTRUTURAIS

O termo **Morfoestrutura**, segundo SOARES et alii (1982), define uma estrutura presumida, identificada a partir da análise e interpretação de informações, basicamente de relevo e drenagem, sendo caracterizada por zonas anômalas dentro de um padrão geral de distribuição dos elementos de relevo e drenagem.

O objetivo da Análise Morfoestrutural é obter informações a respeito de estruturas profundas, uma vez que se espera, para o sucesso da aplicação desta técnica, que a morfologia da superfície de uma bacia reflita, embora atenuadamente, as condições estruturais do embasamento.

As formas anômalas mais importantes, pela sua boa expressão em imagens fotográficas e/ou cartas topográficas, além do seu relacionamento com estruturas geológicas em bacias sedimentares de um modo geral, são mencionadas em inúmeros trabalhos, como SOARES e FIORI (1976), LIU e MENEZES (1982), SOARES et alii (1982) e MIRANDA (1983). Estas formas são: forma anelar, forma radial, forma assimétrica e forma linear de drenagem.

A interpretação das formas anômalas da rede de drenagem e dos arranjos formados por diferentes combinações entre elas, permite que se infira o seu significado geológico, uma vez que a intensidade de estruturação dessas formas representa o grau de controle estrutural a que estão submetidas.

As anomalias morfoestruturais são constituídas pelo arranjo simultâneo de formas anelares, radiais e assimétricas de drenagem, como

produto de condicionamento da rede hidrográfica por estruturas de subsuperfície de bacias sedimentares. Tais estruturas caracterizam-se por flexuras anelares ou elípticas nas camadas, as sociadas a mergulhos divergentes, no caso de domos, ou convergentes, no caso de depressões estruturais.

Para a aplicação das técnicas de Análise Morfoestrutural foi confeccionado um mapa de drenagem da Bacia do Araripe e parte do embasamento adjacente, conforme os passos descritos a seguir.

Inicialmente procedeu-se à extração da rede de drenagem presente nas cartas topográficas na escala de 1:100.000, reunindo-a num "overlay" único. Neste procedimento considerou-se não só a drenagem assinalada nas cartas, como também aquela insinuada pela forma das curvas de nível.

O mapa de drenagem em papel transparente na escala de 1:100.000 assim obtido foi reduzido para a escala de 1:250.000, sendo então o mapa nesta escala enriquecido com as informações de drenagem, principalmente no que se refere aos detalhes que caracterizam as formas de rede de drenagem, presentes nas imagens fotográficas na escala de 1:250.000.

Obteve-se assim um mapa contendo toda a informação de drenagem disponível nos produtos utilizados, sobre o qual foram interpretadas as anomalias morfoestruturais.

Para a análise do mapa de anomalias morfoestruturais devem ser lembrados alguns detalhes levados em consideração na sua confecção:

- as feições assimétricas de relevo e drenagem foram interpretadas como mergulhos de estratos e/ou basculamento de blocos;
- vários fatores ou variáveis naturais podem influenciar nos dados de assimetria, porém quanto mais estruturada for a forma de assimetria, menor será a chance de ser produzida por fatores aleatórios;

- a estruturação é dependente tanto da litologia quanto da estrutura geológica, outros fatores como clima e história morfofenética também têm sua influência.

Admitiu-se neste trabalho que o principal controle das formas de drenagem é exercido por descontinuidades geológicas. Estas descontinuidades foram consideradas como produzidas por deformações tectônicas e/ou descontinuidades estruturais.

A análise das feições assimétricas sobre a rede de drenagem obtida a partir de cartas topográficas e imagens fotográficas é feita no sentido de associar elementos e arranjos estruturados. Esta associação permite construir linhas de forma com um conteúdo geológico decifrável.

Este conteúdo geológico foi interpretado, e dessa interpretação extraiu-se os resultados mais importantes (Figura 4):

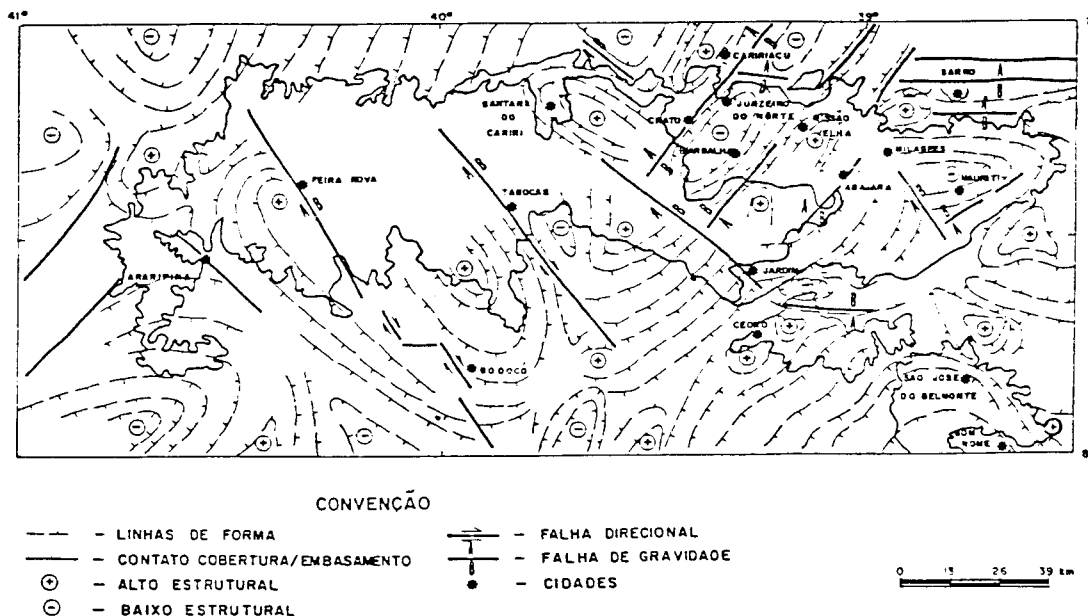


Figura 4. Mapa Estrutural Esquemático da Região da Bacia do Araripe.

FONTE: Mapa de Anomalias Morfoestruturais - CREPANI, 1987.

- A Bacia do Araripe é cortada por um sistema de falhas de orientação NW, das quais as mais importantes são aquelas próximas às cidades de Feira Nova, Tabocas e Jardim.
- Estas falhas apresentam uma relação de equidistância razoável, sugerindo repetição sistemática.
- As falhas de Feira Nova e Tabocas limitam linhas de forma que sugerem um movimento relativo de blocos destral anterior à Reativação.
- Segundo a direção desse sistema de falhas ocorrem altos estruturais escalonados de oeste para leste, como "terraços estruturais" que vão decaindo como degraus de uma escada.
- A nordeste da Falha de Jardim ocorre uma brusca mudança na configuração morfoestrutural da área, que deixa de se manifestar unicamente como terraços escalonados de oeste para leste, para assumir também um regime de altos e baixos alternados, orientados segundo as direções NE, EW, NS e NW.
- Um alto estrutural próximo a Santana do Cariri orientado segundo a direção N50W.
- Um alto estrutural a sul de Caririáçu, orientado do segundo a direção N40W.
- Um baixo estrutural na região de Juazeiro do Norte com orientação N40E.
- Um alto estrutural a sul de Missão Velha com orientação NS.
- Um baixo estrutural próximo a Mauriti com orientação EW.
- O baixo estrutural de Juazeiro do Norte separa-se dos altos estruturais de Santana do Cariri, Caririáçu e Missão Velha por linhas N40E que foram interpretadas como falhas de gravidade.
- A partir de uma linha de direção N40E que passa pelas cidades de Jardim e Abajara, o alto de Missão Velha separa-se de altos e baixos estruturais que assumem a direção EW. Esta linha foi interpretada como falha de gravidade.
- Um feixe estrutural (zona de falha) EW limita o baixo estrutural de Mauriti do alto estrutural a NE de Milagres, ambos de orientação EW, sendo interpretado como falha de gravidade.
- As bacias de Cedro e Bom Nome estão sobre altos estruturais.
- A Bacia de São José do Belmonte ocupa um baixo estrutural suave e de grande amplitude.

A partir desses resultados a configuração morfoestrutural da Bacia do Araripe pode ser dividida em dois segmentos:

1. Da Falha de Jardim para oeste predominam "terraços estruturais" escalonados como uma escada, controlados pela direção geral NW. Esses "terraços" vão baixando suavemente, um a um, de oeste para leste.
2. Da Falha de Jardim para nordeste estes "terraços" são quebrados por uma sucessão de altos e baixos, de orientação N40E, até a linha Jardim-Abajara, quando estes altos e baixos passam a ter orientação EW.

Esta configuração lembra a da Bacia Sergipe-Alagoas onde a direção geral da bacia é condicionada por um sistema de falhas N45E, onde se situa a Falha de Propriá, e outros sistemas diagonais (NS, EW) e mesmo perpendiculares (NW) que conferem à bacia uma complexa trama estrutural, resultando num mosaico de altos (horsts), baixos (grabens e semi-grabens) e degraus (terraços).

É interessante assinalar que as medidas de atitude de paleocorrentes (for sets) obtidas em arenitos sotopostos à Formação Santana, durante perfil realizado no Rio da Batateira, Município de Crato (CE), apresentam na sua totalidade valores em torno de N45E com rumo NE, testemunhando que a sedimentação destes arenitos fluviais pode ter obedecido ao controle imposto pelo baixo estrutural de Juazeiro do Norte, de orientação N40E.

Os efeitos das falhas com orientação NW na morfologia podem ser observados ao longo da estrada que liga Araripina (PE) a Crato (CE). Essa estrada, que percorre toda a Chapada do Araripe longitudinalmente, é retilínea e extremamente plana, e essa monotonia somente é quebrada por uma seqüência de cinco depressões, percorridas por riachos intermitentes, espaçadas por dezenas de quilômetros, a primeira exatamente em Feira Nova (PE) e a última no Riacho Jardim, na divisa PE/CE. Essas depressões correspondem a reflexos na superfície de falhas profundas causados pela meteorização mais intensa ao longo dessas linhas, que acelera a erosão dos arenitos da Formação Exu.

## 6. CURVAS DE ISOFREQUÊNCIA DE FEIÇÕES LINEARES NEGATIVAS

Nas imagens fotográficas em preto e branco, de baixa resolução espacial, as formas topográficas distribuem-se como feições positivas e negativas de relevo, definidas por elementos texturais caracterizados por diferentes tonalidades de cinza.

Segundo GLORIOD (1962) as formas topográficas resultam principalmente da ação de forças tectônicas responsáveis pelas estruturas geológicas e dos agentes intempéricos responsáveis pela erosão, enquanto que em áreas sujeitas a condições climáticas uniformes a maior responsabilidade pela diversificação das formas de relevo cabe à influência das estruturas geológicas e à natureza das rochas aflorantes.

Semelhante ponto de vista é manifestado por MIROSHNICHENKO (1974), que afirma ser a posição de sistemas de juntas aos efeitos exógenos, responsável pelo enorme número de formas de relevo, com graduações em escalas correspondentes às dimensões dos sistemas de juntas expostos. Esse autor também registra o potencial das imagens de satélite e fotografias aéreas de pequena escala, no sentido de medir a orientação e densidade de fraturas em regiões de clima árido, onde essas feições são mais claramente marcadas.

As fraturas (falhas e juntas) comportam-se, de modo geral, como feições negativas aproximadamente retilíneas, devido à ação física e química da água que percorre e infiltra-se nos seus planos favorecendo a maior alteração e de agregação nestas linhas de menor resistência à erosão.

Dessa maneira o termo feições lineares negativas corresponde, nas imagens fotográficas de baixa resolução espacial, a fraturas no terreno expressas na forma de elementos texturais retilíneos.

O significado geológico associado às feições lineares negativas em imagens fotográficas de baixa resolução espacial não é o de fraturas isoladas, mas zonas de concentração de fraturas.

PLICKA (1974) define "zonas de juntas" como zonas de concentração de fraturas mais ou menos paralelas, com pequeno espaçamento e quase verticais (70° a 90°). Estas zonas podem se estender em grandes áreas e por longas distâncias, separadas entre si de poucos a dezenas de metros e ter grande extensão vertical.

Quando estas zonas seguem uma mesma direção e tem uma mesma gênese, são chamadas "conjunto de zonas de juntas". Os conjuntos de zonas de juntas possuem uma série de importantes características:

- podem ser usados para determinar o padrão tectônico de uma determinada área, porque esboçam as feições tectônicas e fornecem uma visão preliminar de linhas tectônicas importantes.
- são importantes na descoberta do curso de falhas e de redes de finas linhas tectônicas que afetam rochas da superfície da crosta.
- as tendências das falhas seguem as tendências dos conjuntos de zonas de juntas e muitas vezes quando estas tendências divergem, é por que as falhas passam a seguir outro conjunto de zonas de juntas oblíquo ao primeiro. A partir desta observação fica evidente que os conjuntos de zonas de juntas se originaram antes das falhas.
- os conjuntos de zonas de juntas emergem de sob rochas mais antigas e se estendem verticalmente através de rochas sobrejacentes mais novas.
- conjuntos de zonas de juntas são indicados diretamente por feições geomórficas.
- a quantidade de zonas de juntas, ou de um conjunto em particular, aumenta próximo a falhas expressivas, o que indica tanto a associação genética quanto geométrica das falhas com o

- respectivo conjunto de zonas de juntas.
- conjuntos de zonas de juntas podem indicar e ventos tectônicos mesmo em cinturões de "nappes".
  - os conjuntos de zonas de juntas não se dispõem regularmente em uma determinada área, alguns conjuntos ou um conjunto, cobrem uma grande área enquanto outros têm pequena extensão ou são confinados a uma unidade tectônica de importância local.

NICKELSEN (1974) assinala outras importantes características das zonas de juntas:

- algumas zonas de juntas, representadas por grandes lineamentos, têm persistido desde o Pré-Cambriano, afetando a sedimentação, tectônica, expressão fisiográfica e mesmo a localização de depósitos minerais.
- padrões de fraturamentos são cumulativos (vários episódios de fraturamento de eventos diferentes podem acontecer na mesma zona de juntas) e persistentes (eventos tectônicos posteriores não apagam as evidências das zonas de juntas pré-existentes).
- padrões de fraturas em qualquer escala, desde microscópica até a nível de imagem de satélite, têm feições em comum.

BADGLEY (1965) associou sistemas de juntas a grandes lineamentos em regiões submetidas a processos de reativação, afirmando que lineamentos antigos podem condicionar as tendências de juntas formadas durante a reativação.

Admitiu-se neste trabalho que as fraturas no terreno, agrupadas em zonas de concentração de fraturas, são identificadas pelas feições lineares negativas nas imagens fotográficas de baixa resolução espacial, e estão relacionadas às concentrações de zonas de juntas.

Cumpra ainda destacar que as zonas de juntas são as feições mais proeminentes e marcantes nas imagens fotográficas de baixa resolução, uma vez que a sua distribuição sistemática e contínua por grandes extensões torna-as representativas mesmo em imagens de pequena escala, e seu alto ângulo de mergulho possibilita maior facilidade de erosão e conseqüentemente realce morfológico mais acentuado.

Nestas imagens, que não permitem estereoscopia de forma sistemática, a noção de relevo é dada pelas sombras, que são resultado do ângulo de inclinação do Sol, no caso dos sensores passivos (imagens LANDSAT), ou da visada lateral, no caso dos sensores ativos (imagens SLAR).

Para as imagens LANDSAT as melhores condições de realce de relevo são obtidas em épocas do ano de menor ângulo de elevação solar, que nem sempre correspondem a dias sem cobertura de nuvens, enquanto que as imagens SLAR apresentam ângulo de visada lateral constante e não são afetadas pela cobertura de nuvens.

Os elementos texturais indicativos de feições topográficas (negativas ou positivas) são caracterizados por diferentes tonalidades de cinza nas imagens fotográficas de baixa resolução espacial. As imagens LANDSAT apresentam tonalidades de cinza relacionadas ao padrão de resposta espectral dos alvos da superfície terrestre (vegetação, solo, água), no intervalo

de comprimento de onda que elas registram, enquanto que nas imagens SLAR a variação de tonalidades de cinza está relacionada exclusivamente à rugosidade (relevo) da superfície terrestre.

Por estas razões a extração de feições lineares negativas foi realizada sobre os mosaicos semicontrolados de SLAR.

A extração das feições lineares negativas foi realizada com tinta "nanquim" em papel "overlay" colocado sobre cada um dos mosaicos. Inicialmente extraiu-se todos os elementos com direção no quadrante NW, inclusive a direção EW. Após a extração destas direções foram traçados, sobre um novo "overlay" os elementos com direção no quadrante NE, inclusive a direção NS. As feições lineares negativas foram traçadas à mão livre, sem o auxílio de régua e no comprimento exato em que aparecem na imagem fotográfica.

O motivo de não se traçar os elementos de todas direções no mesmo "overlay", se justifica pela grande densidade de informações extraídas, que juntas num mesmo "overlay" dificultariam sobremaneira os demais passos do trabalho.

Num segundo passo os "overlays" foram copiados heliograficamente, e montou-se dois conjuntos cobrindo a totalidade da área de trabalho, um deles com a direção NW e outro com a direção NE. Sobre estes conjuntos foram individualizadas, mediante coloração com caneta fluorescente do tipo "LUMICOLOR", cada feição linear disposta segundo um determinado intervalo angular.

No conjunto de direção NE foram identificadas nas cores vermelho, ocre, verde e laranja, respectivamente, feições lineares de direção N25E, N40E, N60E e NS, todas com uma variação de  $\pm 5^\circ$ .

No conjunto de direção NW foram identificadas nas cores vermelho, laranja, verde e amarelo, respectivamente, feições lineares de direção N20W, N35W, N55W e EW, todas com uma variação de  $\pm 5^\circ$ . Esses intervalos foram determinados por amostragem, mediante a medida de várias feições, aleatoriamente, o que mostrou serem estes intervalos os mais representativos da distribuição geral.

As curvas de isofrequência foram construídas a partir da contagem das feições lineares negativas contidas nos dois conjuntos que cobrem toda área, descritos anteriormente, individualizadas segundo intervalos de direção.

Diversas formas de se tratar estatisticamente feições lineares extraídas de imagens fotográficas estão presentes em bibliografia específica. De um modo geral estes métodos lançam mão de técnicas que levam em consideração apenas a densidade de feições lineares presentes num determinado intervalo angular, e representam este resultado em diagramas de tipo rosa ou histogramas. Estes métodos têm contra si a impossibilidade de apresentar uma distribuição espacial das feições lineares, que leve em consideração a densidade de feições em função da posição geográfica.

A preocupação com a distribuição espacial



das feições lineares manifestou-se com o advento das imagens fotográficas de baixa resolução espacial, cujos produtos de pequena escala passaram a dar um enfoque regional às observações.

Sob essa ótica, novas técnicas de tratamento estatístico de feições lineares foram desenvolvidas levando em consideração aspectos da densidade, orientação e tamanho das feições lineares extraídas das imagens fotográficas.

Dentre essas técnicas, a utilizada por ALIYEV (1980) apresenta algumas características que tornam sua utilização bastante interessante neste trabalho:

- a técnica foi desenvolvida originalmente para tratamento de dados extraídos de imagens fotográficas de baixa resolução espacial;
- o tratamento estuda os eventos da tectônica rígida a nível regional, tanto em termos de sua distribuição geográfica quanto de sua distribuição relativa no tempo;
- o método permite analisar separadamente a frequência de feições lineares em cada um dos intervalos angulares pré-estabelecidos.

A contagem das feições lineares negativas foi realizada mediante a justaposição, sobre cada conjunto, de uma malha construída em papel "overlay", dividindo a área em 1352 células (52 x 26), cada uma com 3 por 3 cm.

Para efeito de contagem cada feição linear equivale a um número igual a seu comprimento em milímetros dividido por 3 mm, já que feições menores que 3 mm foram desconsideradas devido a sua difícil caracterização como elemento textural retilíneo.

O resultado da contagem das feições lineares dentro de cada célula, para cada um dos 8 intervalos angulares determinados, foi considerado como um valor no centro da célula, portanto equidistante 3 cm dos demais valores, de modo que se tivesse uma matriz com 26 linhas e 52 colunas, para cada intervalo angular.

Finalmente, procedeu-se a interpolação dos valores das 8 matrizes, com intervalo de 5 unidades, através de programa específico do computador BURROUGHS B/6800, obtendo-se o resultado na forma de curvas de isofrequência impressas por "plotter".

As curvas de isofrequência representam a distribuição da densidade de feições lineares negativas para cada intervalo angular pré-estabelecido. As feições lineares negativas são interpretadas como representantes, nas imagens fotográficas, de conjuntos de zonas de juntas do terreno.

Na análise das curvas de isofrequência partiu-se dos seguintes princípios:

- A quantidade de zonas de juntas, ou de um conjunto em particular, aumenta próximo a falhas expressivas, o que indica tanto a associação genética quanto geométrica das falhas com os conjuntos de zonas de juntas.
- Lineamentos antigos condicionam a tendência de juntas formadas em regiões submetidas a processos de reativação.

Dentro desse raciocínio, o eixo maior das figuras elípticas presentes nas curvas de isofrequência, que representam densidades máximas ou "máximos" de zonas de juntas, constituem-se em evidências da presença de linhas de fraqueza da crosta neste local, cuja orientação é a mesma deste eixo.

O resultado da análise das curvas de isofrequência é apresentado a seguir:

- Curvas de Isofrequência para o intervalo angular  $N40E \pm 5^{\circ}$

A distribuição das zonas de juntas de direção  $N40E \pm 5^{\circ}$ , expressa pelas curvas de isofrequência, é controlada por linhas de fraqueza de terminadas por eixos de máximos cuja posição geográfica e orientação podem ser observadas na Figura 5.

As seguintes informações podem ser extraídas da análise desta figura:

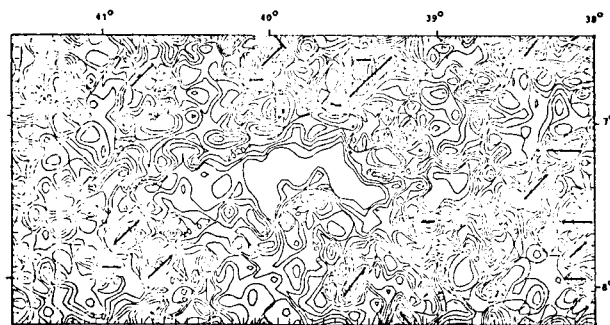


Figura 5. Curvas de isofrequência e eixos de máximos para o intervalo angular  $N40E \pm 5^{\circ}$ .

Linha de menor valor = 5  
 Linha de maior valor = 125  
 Equidistância entre linhas = 5 unidades.

- Os eixos de máximos, bem como o padrão geral de distribuição das zonas de juntas  $N40E \pm 5^{\circ}$ , apresentam direções próximas a NS, EW,  $N45E$ ,  $N45W$ .
- As maiores densidades (linhas de valor  $\geq 80$  unidades) estão localizadas a norte da Bacia do Araripe, em rochas gnáissico-migmatíticas.
- As menores densidades (linhas de valor  $\geq 10$  unidades) estão localizadas preferencialmente em áreas de ocorrência de rochas sedimentares.
- No quadrante sudeste (coordenadas  $8^{\circ}S$ ,  $39^{\circ}W$ ) as zonas de juntas apresentam controle  $N45W$  que condiciona os remanescentes paleozóicos de Cedro, São José do Belmonte, Bom Nome e Mirandiba.
- Há eixos de máximos com orientação EW ao longo da Bacia do Araripe onde passam os lineamentos de Patos e Cariris Velhos sugerindo, inclusive, uma continuidade deste último para oeste.
- Há um máximo com linhas até 100 unidades, alongado segundo a direção  $N40W$ , onde passa a falha de Portalegre.

- . Na continuidade da falha de Portalegre alinham-se máximos, com linhas de valor  $\geq 60$  unidades.
  - . O máximo que apresenta linhas de maior valor, localizado a norte da Bacia do Araripe e a oeste do meridiano  $39^{\circ}W$ , apresenta eixo maior com direção N40E.
  - . Há máximos alinhados segundo a direção EW onde passam os alinhamentos de falhas a sul de Serra Talhada, Salgueiro e Parnamirim (paralelo  $8^{\circ}S$ ).
- Curvas de isofrequência para o intervalo angular  $N20W \pm 5^{\circ}$

A distribuição das zonas de juntas com esta orientação, bem como a posição geográfica e orientação dos eixos de máximos podem ser observados na Figura 6.

As seguintes informações podem ser extraídas da análise dessa figura:

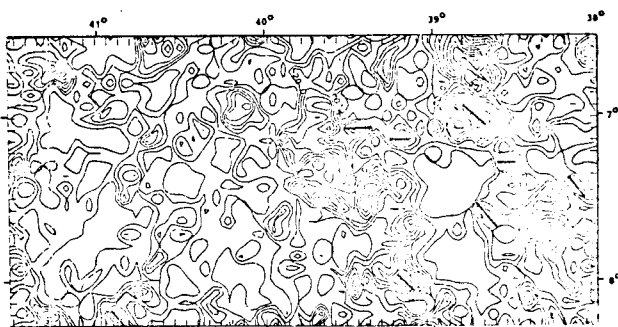


Figura 6. Curvas de isofrequência e eixos de máximos para o intervalo angular  $N20W \pm 5^{\circ}$ .

Linha de menor valor = 5  
 Linha de maior valor = 115  
 Equidistância entre linhas = 5 unidades.

- . O padrão geral de distribuição e os eixos de máximos obedecem direções próximas a NS, EW, N45E, N45W.
- . As maiores densidades (linhas  $\geq 80$  unidades) estão localizadas no quadrante nordeste da área em rochas gnáissico-migmatíticas.
- . O máximo com linhas de maior valor ( $\geq 100$  unidades) está localizado a nordeste da Bacia do Araripe.
- . As menores densidades estão localizadas preferencialmente em rochas sedimentares.
- . As maiores densidades estão agrupadas num grande máximo alongado segundo a direção EW a nordeste da Bacia do Araripe, no paralelo  $7^{\circ}S$  onde passa o Lineamento de Patos, e apresenta evidências de controle N40E.
- . A sudeste da Bacia do Araripe (coordenadas  $7^{\circ}30'S$ ,  $38^{\circ}45'W$ ) há acentuado controle N40E, que passa a EW na área de influência do Lineamento Cariris Velhos.
- . Há máximos na Bacia do Parnaíba no prolongamento do Lineamento de Patos (paralelo  $7^{\circ}S$ ).

- Curvas de isofrequência para o intervalo angular  $N60E \pm 5^{\circ}$

A Figura 7 apresenta as curvas de isofrequência e os eixos de máximos para as zonas de juntas desse intervalo angular.

As seguintes informações podem ser extraídas da análise destas curvas:

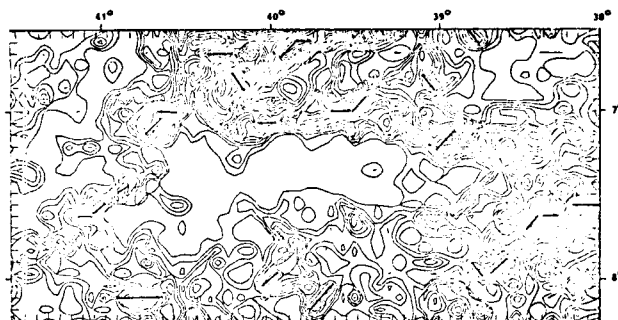


Figura 7. Curvas de isofrequência e eixos de máximos para o intervalo angular  $N60E \pm 5^{\circ}$ .

Linha de menor valor = 5  
 Linha de maior valor = 135  
 Equidistância entre linhas = 5 unidades.

- . Os eixos de máximos, bem como o padrão geral de distribuição das zonas de juntas, obedecem a direções próximas a NS, EW, N45W e N45E.
- . As maiores densidades (linhas  $\geq 80$  unidades) ocorrem a norte da Bacia do Araripe, em rochas gnáissico-migmatíticas.
- . As linhas de valor 100 unidades alongam-se segundo a direção N45W, com controle N45W (coordenadas  $6^{\circ}45'$ ,  $40^{\circ}W$ ) e viram para EW junto ao Lineamento de Patos (coordenadas  $7^{\circ}S$ ,  $39^{\circ}30'W$ ).
- . As menores densidades (linhas  $\leq 10$  unidades) ocorrem preferencialmente em rochas sedimentares.
- . A sudeste da Bacia do Araripe há controle N40E que inflêta para EW onde passe o Lineamento Cariris Velho (coordenadas  $7^{\circ}30'$ ,  $38^{\circ}45'$ ).

- Curvas de isofrequência para o intervalo angular  $N35W \pm 5^{\circ}$

A Figura 8 apresenta as curvas de isofrequências e os eixos de máximos para as zonas de juntas com direção no intervalo angular  $N35W \pm 5^{\circ}$ .

As seguintes informações podem ser obtidas da análise dessas curvas:

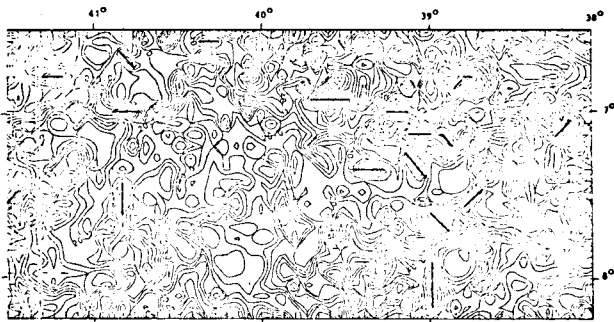


Figura 8. Curvas de isofreqüência e eixos de máximos para o intervalo angular  $N35W \pm 5^\circ$ .

Linha de menor valor = 5  
 Linha de maior valor = 100  
 Equidistância entre linhas = 5 unidades

- . O padrão geral de distribuição, bem como os eixos de máximos, obedece direções próximas a NS, EW, N45E, N45W.
- . As maiores densidades (linhas de valor  $\geq 80$  unidades) ocorrem a nordeste da Bacia do Araripe, em rochas gnáissico-migmáticas.
- . Os máximos com linhas de até 90 unidades têm eixos EW e localizam-se no paralelo  $7^\circ S$ , junto ao Lineamento de Patos.
- . No prolongamento da Falha de Portalegre, entre as bacias do Araripe e Rio do Peixe, há máximo com linha de 70 unidades exibindo controle N40E.
- . A sudeste da Bacia do Araripe (coordenadas  $7^\circ 30' S$ ,  $38^\circ 45' W$ ) há controle N40E que inflete para EW junto ao Lineamento Cariris Velhos.
- . Há máximos com linhas de valor até 40 unidades dentro da Bacia do Araripe, comprovando que a direção NW é bem representada na bacia.

- Curvas de isofreqüência para o intervalo angular  $N55W \pm 5^\circ$

A Figura 9 apresenta as curvas de isofreqüência e os eixos de máximos para as zonas de juntas do intervalo angular  $N55W \pm 5^\circ$ .

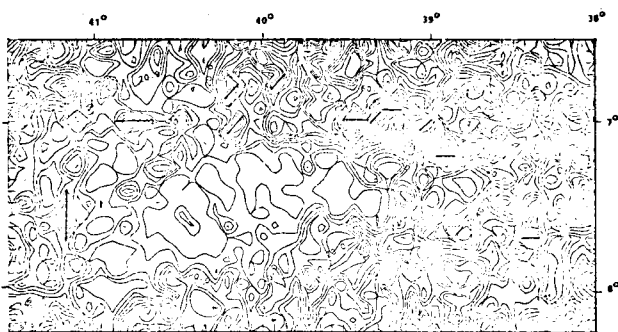


Figura 9. Curvas de isofreqüência e eixos de máximo para o intervalo angular  $N55W \pm 5^\circ$ .

Linha de menor valor = 5  
 Linha de maior valor = 110  
 Equidistância entre linhas = 5 unidades.

As seguintes informações podem ser extraídas da análise da Figura 9:

- . O padrão geral de distribuição, bem como os eixos de máximos para as zonas de juntas  $N55W \pm 5^\circ$ , obedece direções próximas de NS, EW, N45E, N45W.
- . A maior densidade (único máximo com linhas de 60 até 100 unidades) localiza-se no quadrante nordeste da área, entre as bacias do Araripe e Rio do Peixe.
- . Há curvas de valor até 40 unidades, na área da Bacia do Araripe, mostrando a presença da direção NW na bacia.

- Curvas de isofreqüência para o intervalo angular  $N250E \pm 5^\circ$

A Figura 10 apresenta as curvas de isofreqüência e os eixos de máximos para as zonas de juntas com direção no intervalo angular  $N55W \pm 5^\circ$ .

As seguintes informações podem ser extraídas da análise dessa figura:

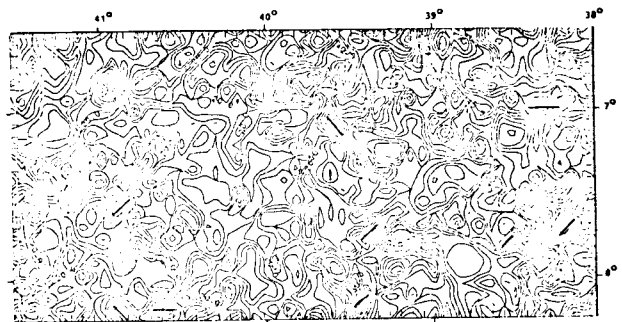


Figura 10. Curvas de isofreqüência e eixos de máximos para o intervalo angular  $N25E \pm 5^\circ$ .

Linha de menor valor = 5  
 Linha de maior valor = 75  
 Equidistância entre linhas = 5 unidades

- . O padrão geral de distribuição, bem como os eixos de máximos obedece direções próximas a NS, EW, N45E, N45W.
- . Há somente dois máximos com linhas  $\geq 70$  unidades, um deles a nordeste da Bacia do Araripe, com orientação EW junto ao Lineamento de Patos (paralelo  $7^\circ S$ ) e outro a sudeste da bacia com orientação N40E (coordenadas  $7^\circ 45' S$ ,  $38^\circ 15' W$ ).

- Curvas de isofreqüência para o intervalo angular  $EW \pm 5^\circ$

A Figura 11 apresenta as curvas de isofreqüência e os eixos de máximos para as zonas de juntas com direção  $EW \pm 5^\circ$ . A baixa densidade de zonas de juntas com essa orientação pode estar relacionada à maior dificuldade de se extrair feições lineares negativas devido a visada lateral EW das imagens SLAR.

As seguintes informações podem ser extraídas dessa figura:

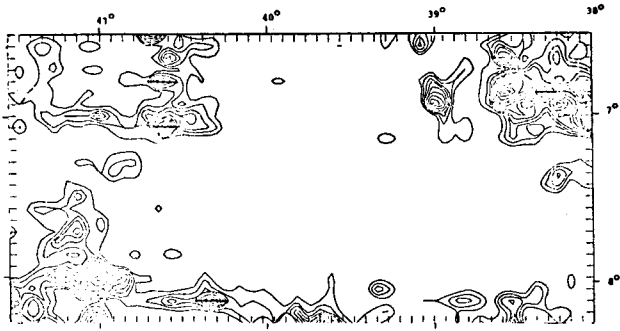


Figura 11. Curvas de isofreqüência e eixos de máximos para o intervalo angular  $EW \pm 50$ .  
Linha de menor valor = 5  
Linha de maior valor = 90  
Equidistância entre linhas=5unidades

- O padrão geral de distribuição da densidade obedece claramente à direção EW com tendência em alguns pontos para N45E, notadamente entre as bacias do Araripe e Rio do Peixe.
- As maiores densidades (linhas  $\geq 60$  unidades) estão localizadas no quadrante nordeste da área, entre as bacias do Araripe e Rio de Peixe, com eixos de máximos de direção EW.
- A maior densidade (linhas de até 85 unidades) está localizada sobre o Lineamento de Patos (paralelo 7°S).
- Praticamente todos os máximos têm eixo EW e estão sobre os lineamentos de Patos e Pernambuco.
- As curvas e máximos localizados a oeste da área, sobre o paralelo 7°S, sugerem uma continuidade do Lineamento de Patos.

- Curvas de isofreqüência para o intervalo angular  $NS \pm 50$

As curvas de isofreqüência para as zonas de juntas no intervalo angular  $NS \pm 50$  estão representadas na Figura 12 e fornecem as seguintes informações:

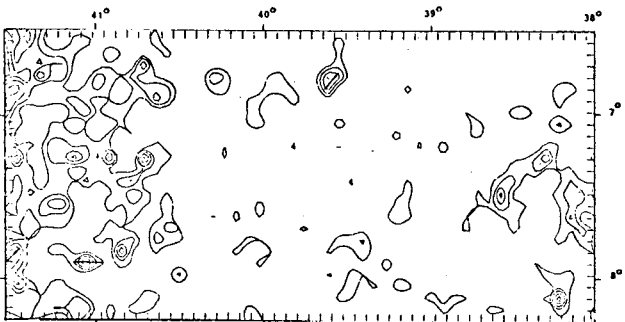


Figura 12. Curvas de isofreqüência e eixos de máximos para o intervalo angular  $NS \pm 50$ .  
Linha de menor valor = 5  
Linha de maior valor = 30  
Equidistância entre linhas=5unidades

- As curvas mostram densidade muito baixa de zonas de juntas com essa orientação (linha de maior valor = 25 unidades).
- As maiores densidades (linhas  $\geq 20$  unidades) aparecem próximo ao paralelo 8°S, num máximo a leste da área, sem orientação preferencial, e outros três máximos a oeste, dois com orientação N45E e um com orientação EW.
- Estes máximos se colocam sobre o Lineamento Pernambuco e alinhamento de falhas a sul da Serra Talhada.
- O padrão geral de distribuição de densidade obedece às direções EW, N45E, N45W e fracamente NS.

As informações extraídas da análise das curvas de isofreqüência podem ser resumidas nos aspectos mais importantes para este trabalho:

- Quatro direções de linhas de fraqueza controlam a distribuição de zonas de juntas na área de trabalho: EW, N45E, N45W e NS. A direção NS deve ser encarada com ressalvas por ser a direção de linha de voo nos mosaicos SLAR, produto de onde foram extraídas as feições lineares negativas, onde algumas faixas mostram um nível de informação mais detalhado do que outras, o que poderia gerar um falso controle NS nas curvas de isofreqüência.
- A disposição dos eixos de máximos para zonas de juntas de todos intervalos angulares, reunidos na Figura 13, mostra a reativação de linhas de fraqueza antigas de direção EW, como os lineamentos de Patos, Cariris Velhos e Pernambuco, de importante atuação em eventos tectônicos do Proterozóico (Zona Transversal Nordestina) e mostram também a existência de linhas de fraquezas reativadas, com direção N45E e N45W, que atravessam toda área e transcendem aos limites da Zona Transversal Nordestina, não parecendo guardar relação direta com as falhas sintéticas e antitéticas à esta zona de falhas direcionais.

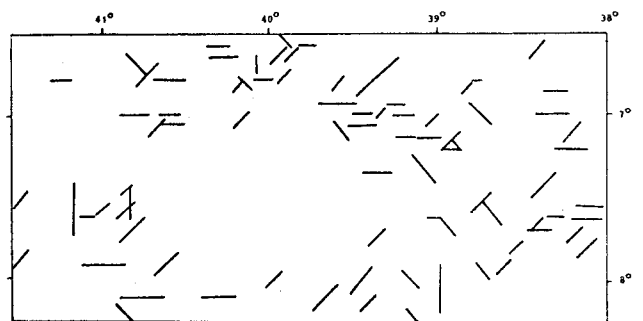


Figura 13. Eixos de máximos para zonas de juntas de todos intervalos angulares.

- A região a norte da Bacia do Araripe, em particular aquela a nordeste, entre as bacias do Araripe e Rio do Peixe, mostram densidades máximas para praticamente todos intervalos angulares, o que evidencia a intensa reativação de linhas de fraqueza gerando zonas de juntas neste local.

- A área entre as bacias do Araripe e Rio do Peixe apresenta acentuado controle da direção N45E para os máximos de diversos intervalos angulares, o que mostra a influência de linhas de fraqueza com essa direção na geração de zonas de juntas durante a reativação.

A presença de falhamentos, altos e baixos estruturais, alinhamentos de feições lineares negativas, e altas densidades de concentração de zonas de juntas, todos com direção entre N40-45E, mostrada pelos diversos produtos deste trabalho, atravessando rochas gnáissico-migmatíticas do Maciço do Rio Piranhas entre as bacias do Araripe e Rio do Peixe, muitos deles mostrando conexão com a Falha de Portalegre, apontam para a possibilidade de uma ligação entre estas bacias.

Esta possibilidade é suportada inclusive estratigraficamente, e reforçada pela presença de remanescentes sedimentares do Cretáceo Inferior e Jurássico nas bacias de Barro e Lavras da Mangabeira, em posição intermediária entre aquelas bacias, que podem representar vestígios de uma ligação pregressa entre elas.

A ruptura da crosta ao longo de linhas de fraqueza N45E no Maciço do Rio Piranhas, em região do Estado do Rio Grande do Norte imediatamente a nordeste da área abrangida por este trabalho, representa um importante papel no arcabouço estrutural da Bacia Potiguar.

As falhas de Portalegre e Encanto, com orientação N40-45E, chegam até a borda da bacia e apresentam encaixe com o graben central (Qui-xaba-Carnaubais) desta bacia. As zonas graníticas de Pombal-Patu e São Miguel, respectivamente a leste e oeste da zona compreendida entre estas falhas, correspondem a blocos altos do embasamento alcados por reativação.

A zona entre as falhas seria, portanto, um baixo estrutural onde a presença de sedimentos cretáceos na Sub-Bacia de Triunfo (Bacia do Rio do Peixe) e na Bacia do Rio Nazare sugere para alguns autores (BRITO NEVES, 1983; CORDANI et alii, 1984) uma continuidade para sudoeste do Graben Central da Bacia Potiguar.

É interessante mencionar que o baixo estrutural de Juazeiro do Norte, proposto neste trabalho (Figura 4), é condicionado por falhas de gravidade N40E e situa-se exatamente na continuidade da zona entre as falhas de Portalegre e Encanto, o que permitiria estender o raciocínio dos autores supracitados até a Bacia do Araripe, situação em que teríamos uma ligação entre as bacias Potiguar, Rio de Peixe e Araripe.

A continuidade do graben central da Bacia Potiguar para sudoeste é sugestiva, segundo estes autores, de um esquema de junção triplíce com centro entre Areia Branca (RN) e Macau (RN), onde os outros dois ramos seriam os sistemas de falhas da Plataforma Continental com direções praticamente paralelas à atual linha de costa dos estados do Ceará (N45W) e Rio Grande do Norte (EW).

Neste esquema a continuidade do graben central da Bacia Potiguar, de direção N45W, constituir-se-ia no ramo abortado dessa junção triplíce, e os outros dois ramos propiciariam a evolução da margem continental atual. Coincidentemente as direções envolvidas neste esquema de junção triplíce são as mesmas encontradas para os eixos de máximos nas curvas de isofreqüência de feições lineares negativas.

Os registros sedimentares deste virtual ramo abortado de junção triplíce compõem uma seqüência completa de desenvolvimento de uma bacia tipo rift (Tabela 2).

TABELA 2  
COLUNA ESTRATIGRÁFICA DO RAMO ABORTADO DA  
"JUNÇÃO TRÍPLICE DE AREIA BRANCA-MACAU"

TEMPO GEOLÓGICO	BACIA DO RIO DO PEIXE	BACIA DO RIO DO PEIXE	BACIA DE LAVRAS DA MANGABEIRA	BACIA DO ARARIPE	SEQUÊNCIAS CRIATÓNICAS		
					1	2	3
Cretáceo Superior	Em. Jandaíra					Seqüência da Est. K III	
Albiano-Aptiano	Em. Ags Em. Alagaster			Em. Exu Em. Santana	Fase Final do Rift	Seqüência do Golfo K II	
Cretáceo Inferior Pré-Aptiano	Em. Emendina	Em. Figueiras Em. Souza Em. Antenor Naxos EQ		K A-B K RS	Fase Rift	Seqüência do Lagos K I	
Jurássico Superior			Angita Basaltos	Em. Sergi Em. Aliança	Estágio Pré-Rift	Depressão Intradomus	

- \* - PETROBRÁS, 1983
- \*\* - CAMPOS et alii, 1979
- \*\*\* - PRIEM et alii, 1978
- \*\*\*\* - GHIGNONE et alii, 1986

- 1- ESTRELA, 1972
- 2- ASMUS e GUAZELLI, 1981
- 3- BRITO NEVES, 1983

## 7. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho algumas conclusões podem ser estabelecidas:

- A estrutura da Bacia do Araripe caracteriza-se pelo movimento relativo de blocos, principalmente por gravidade, ao longo de linhas de fraqueza com três direções gerais: EW, N45E e N45W.
- As linhas de fraqueza EW mais importantes na estrutura da bacia são aquelas representadas pelos lineamentos de Patos e Cariris Velhos que limitam entre si um bloco rebaixado.
- As linhas de fraqueza N45W limitam terraços estruturais escalonados de oeste para leste e a Falha de Jardim, instalada sobre uma linha de fraqueza com essa direção, limita as sub-bacias Leste e Oeste da Bacia do Araripe.
- As linhas de fraqueza N45E condicionam altos e baixos estruturais na Sub-Bacia Leste, onde se destacam o baixo estrutural do Juazeiro do Norte e o alto estrutural de Missão Velha, limitados por falhas de gravidade com direção N40E.
- A Bacia do Araripe apresenta condições estruturais e estratigráficas que apontam para sua ligação com a Bacia do Rio do Peixe ao longo de linha de fraqueza N45E.
- A ligação entre as bacias do Araripe e Rio do Peixe, apontada neste trabalho, encaixa-se na proposta de um ramo abortado de junção triplíce com centro entre Areia Branca e Macau, ao longo de linhas de fraqueza N45E.
- O ramo abortado de junção triplíce proposto apresenta seqüência estratigráfica completa de desenvolvimento de um "rift".

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIYEV, A. *Regional Fracturing of the Pamirs and its Mettalogenic Significance*. Doklady Akad., Nauk. SSSR., Vol.250, pp.90-93, Moscow, 1980.
- ASMUS, H.E. e GUAZELLI, W. *Descrição sumária das estruturas da Margem Continental Brasileira e de áreas oceânicas e continentais adjacentes. Hipótese sobre o tectonismo causador e implicações para os prognósticos do potencial de recursos minerais*. Rio de Janeiro, CENPES/PETROBRÁS, Série Projeto REMAC,9, pp.187-269, 1981.
- BADGLEY, P.C. *Structural and Tectonic principles*. Harper & Rox, Publishers, Inc., 52T pp, 1965.
- BEURLIN, K. *Geologia e estratigrafia da Chapa da do Araripe*. XVII Cong.Bras.Geol. Publ. SUDENE: 1-47, 1963.
- BEURLIN, K. e MABESONE, J.M. *Bacias Cretáceas intracontinentais do Nordeste do Brasil*. Not. Geomorfol. 9(19): 19-34, 1969.
- BEURLIN, K. *Bacias Sedimentares no Bloco Brasileiro*. Estud.Sedim. 1(2): 7-31, Recife, 1971.
- BRAUN, O.P.G. *Geologia da Bacia do Rio do Peixe - Nordeste do Brasil*. Rio de Janeiro, PROSPEC/DNPM, 23 pp. (Relatório inédito), 1969.
- BRITO NEVES, B.B. de *O Mapa Geológico do Nordeste Oriental do Brasil, Escala 1:1.000.000* Tese de Livre Docência apresentada ao IGUSP, 177 pp.
- CAMPOS, M.de; BRAGA, A.P.G.; MELLO, A.A. de; SOUZA, E.M.de; SILVA, F.A.F.da; FRANÇA, J.B. de *Projeto Rio Jaguaribe*. Relatório Final de Geologia - DNPM/CPRM - Brasília, DNPM, Série Geologia, 4, Seção Geologia Básica, 1, 149 pp., 1979.
- CORDANI, U.G.; BRITO NEVES, B.B.de; FUCK, R.A.; PORTO, R.; THOMAS FILHO, A.; CUNHA, F.M.B.da *Estudo Preliminar de Integração do Pré-Cambriano com os Eventos Tectônicos das Bacias Sedimentares Brasileiras*. Ciência Técnica Petróleo, Seção: Exploração de Petróleo nº 15, CENPES, DIVEX, Rio de Janeiro, 70 pp, 1984.
- CRANDALL, R. e WILLIAMS, H. *Mapa geológico dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba*. Rio de Janeiro, Inspectoria de Obras Contra as Secas, Série I.G., publ. nº 7, escala 1:3.000.000, 1910.
- CREPANI, E. *Análise de fraturas através de imagens fotográficas de baixa resolução espacial: uma contribuição ao estudo da evolução tectônica da região da Chapada do Araripe - NE do Brasil*. Tese de Doutorado, USP, 139 pp., 1987.
- ESTRELLA, G.O. *O estágio "rift" nas bacias marginais do leste brasileiro*. XXVI Cong.Bras. Geol., Belém, PA, 1972. Anais, vol.3, pp.29-34, 1972.
- GHIGNONE, J.I.; COUTO, E.A. do e ASSINE, M.L. *Estratigrafia e Estrutura das Bacias do Araripe, Iguatu e Rio do Peixe*. Anais do XXXIV Cong.Bras.de Geol., Goiânia, 1986, V.1, pp. 271-285, 1986.
- GLORIOD, M. *Elements de Geomorphologie: topologie*. Paris, Institute Geographique National, École National des Sciences Geographiques, 112 p., 1962.
- LINTZ JR., J. e SIMONETTI, D.S. *Remote Sensing of Environment*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Advanced Book Program Reading, Massachusetts, 639 p., 1976.
- LIU, C.C. e MENEZES, P.R. *A utilização de dados de vários sensores na análise de feições morfoestruturais de interesse à pesquisa de petróleo*. Anais do II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Brasília, 1982, pp. 1-10.
- MIRANDA, F.P. de *Sensoriamento Remoto na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Amazonas*. Boletim Técnico da Petrobrás, Rio de Janeiro, 26(4): 268-291, out/dez., 1983.
- MIROSHNICHENKO, V.P. *Planetary Fracturing: its manifestations in the section of the sedimentary cover and its role in the formation of tectonic structure and relief - with refer*

- ence to south Turkmenia*. In Proceedings of the First International Conference on the New Basement Tectonics. Salt Lake City, Utah, June 3-7, 1974, pp. 345-348.
- NICKELSEN, R.P. *Early Jointing and Cumulative Fracture Patterns*. Proceedings of the First International Conference on the New Basement Tectonics - Salt Lake City, Utah, June 3-7, 1974, pp. 193-199.
- PETROBRÁS. *Litoestratigrafia da Bacia Potiguar*. Petróleo Brasileiro S.A. Distrito da Bacia Potiguar. DEBAR/DINTER. Natal, 1983.
- PLICKA, M. *Observation on joint zones in Moravia*. Czechoslovakia. Proceedings of the First International Conference on the New Basement Tectonics. Salt Lake City, Utah, June 3-7, 1974, pp. 279-289.
- PRIEM, H.N.A. et alii. *K-Ar Dating of a Basaltic Layer in the Sedimentary Lavras Basin, Northeast Brazil*. Rev.Bras.Geoc. 8(4): 262-269, São Paulo, 1978.
- RAND, H.M.G.; MANSO, V.de A.V. *Levantamento Gravimétrico e Magnetométrico da Bacia do Araripe*. Anais do XXXIII Cong.Bras.Geol., Rio de Janeiro, pp. 2011-2016, 1984.
- SOARES, P.C. e FIORI, A.P. *Lógica e Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografia aérea em Geologia*. Not.G geomorfol., Campinas 16(32): 71-104, dez., 1976.
- SOARES, P.C. et alii. *Análise Morfoestrutural com uso de imagens MSS/LANDSAT e Radar para pesquisa de hidrocarbonetos no Estado de São Paulo*. INPE-2445 RTR/015. São José dos Campos, 170p.