

LINEAMENTOS EM IMAGENS DE LANDSAT E RADAR
E SUAS IMPLICAÇÕES NO CONHECIMENTO TECTÔNICO DA BACIA DO PARANÁ

P.C. Soares (consultor), P.E. Barcellos, S.M. Csordas
PAULIPETRO - Consórcio CESP/IPT
Av. Engº Luiz Carlos Berrini, 1461, São Paulo, SP.

J.T. Mattos, M.G. Ballieiro e P.R. Meneses
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO - CNPq
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos - SP - Brasil

RESUMO

O presente trabalho sumariza os estudos realizados em imagens Landsat e Radar, na escala 1:250.000, com uma área aproximada de 210.000 Km² na Bacia do Paraná.

O principal objetivo de estudo foi a caracterização de feições estruturais lineares e suas associações com áreas anômalas indicativas de possíveis estruturas trapecadoras de hidrocarbonetos. A utilização de dados de sensoriamento remoto é de suma importância na prospecção em grandes áreas, quando usado com outros métodos exploratórios.

As imagens dos elementos de relevo e drenagem foram analisadas, envolvendo seu reconhecimento, classificação e interpretação do seu significado geológico de acordo com as diferentes formas detectadas. Dos lineamentos interpretados, seis direções preferenciais foram caracterizadas mostrando uma nítida compartimentação regional, constituindo-se em direções e faixas estruturais, que assumiram características particulares. Na interpretação das faixas estruturais foi possível verificar e comparar estilos estruturais esperados em bacias intracratônicas e já caracterizados em outras áreas da bacia do Paraná possibilitando a definição do arcabouço estrutural regional, importante no reconhecimento de estruturas favoráveis ao armazenamento de hidrocarbonetos.

ABSTRACT

This work consisted in the study of Landsat and Radar imagery, at the 1:250.000 scale, of an area 210.000 Km² in the Parana Basin. The main objective of this study was the detection of structural lineaments and its association with anomalous areas for hydrocarbon prospecting. The remote sensing approach was of fundamental importance in this type of study when used along with other methods of exploration, due to its efficiency and time saving. Elements of relief and drainage, were used to deduce geologic information contained there in. This method involved the identification of the objects and their extraction, classification of the forms and interpretation of the geological informations of the different forms analysed. Through the interpreted structural pattern, several structural belts of five main directions could be detected, showing a clear division of the basin in blocks. In the course of the interpretation of these structural trends, characteristics structural styles were observed and compared to styles normally occurring in intracratonic basins and already detected in other regions of the Parana Basin. In this way it was possible to define a regional structural framework, of great importance in the detection of favorable structures and facies changes for hydrocarbon entrapment.

1. INTRODUÇÃO

Imagens Landsat e Radar na escala 1:250.000, correspondentes a porções das regiões basálticas e dos arenitos Bauru da Bacia do Paraná, forneceram substancial volume de dados estruturais de significativa importância à eleição de áreas caracterizadas por maior movimentação estrutural. Assim, o PAULIPETRO - Consórcio CESP/IPT, em convênio com o CNPq/INPE, desenvolveu um projeto de análise e interpretação morfoestrutural, em parte da Bacia do Paraná, a partir de imagens que levou à obtenção de informações definidas preliminarmente como prováveis estruturas geológicas responsáveis pela evolução tecto-sedimentar da Bacia. Para o entendimento da distribuição destas estruturas, morfoestruturas dômicas ou depressivas, orientação de seus eixos e sua configuração, devem ser pesquisadas as relações com os elementos estruturais responsáveis pelo estabelecimento da estruturação regional de áreas da Bacia. Os lineamentos constatados nas imagens indicaram um comportamento regional de estruturação. Esta regionalização dos lineamentos é atestada pela individualização de significativas feições estruturais, definidas por seis distintas direções: direção Médio Ivaí, Médio Piquiri, Goioxim, Médio Paraná, Pitanga e Tapiracuí.

Inúmeras anomalias morfoestruturais caracterizadas também por formas anelares ou alinhamentos curvos combinados com formas radiais e assimétricas foram também mapeadas; sua interpretação como resultado de deformações por movimentos tectônicos locais conduziu à concentração da atividade exploratória nestas áreas. Neste artigo os autores estão mais interessados em mostrar o significado das feições mapeáveis em imagens de Landsat e Radar.

AGRADECIMENTOS:

A elaboração e preparação deste trabalho somente foi possível graças à compreensão da Gerência de Exploração do PAULIPETRO para a importância do tema e à colaboração do CNPq/INPE, a quem os autores agradecem. Agradecem, ainda, à colaboração de muitos colegas, especialmente F.J.F. Ferreira, prestada através de discussões e críticas, também pela dedicação de Laurentina M. Andrade pela datilografia do texto e a José Carlos O. Clime ni pelos desenhos das ilustrações. Esta publicação é feita com autorização do Consórcio PAULIPETRO e da PETROBRÁS.

2. LINEAMENTOS: Conceitos Adotados

Conceituação

Não há como dissociar o crescente interesse em estudos geológicos dedicados à interpretação das feições lineares denominadas lineamentos, com o amplo desenvolvimento e difusão das técnicas de sensoriamento ocorridas na última década. Embora, em 1904, Hobbs já tivesse introduzido na geologia o termo lineamento, somente com o aparecimento das imagens de satélite ou imagens e fotos obtidas por aviões em altitudes elevadas, é que momentaneamente se passou a ter um uso universal deste termo. Compreensivelmente surgiu uma terminologia conflitante, devido à falta de definições conceituais inequívocas entre termos aparentemente de significado tão próximo, como assim são lineamentos, feições lineares, lineações e alinhamentos. As particularidades inerentes aos sistemas de "imageamento" e suas escalas de tomada, tornam tais feições naturais as mais contrastantes e frequentes que aparecem e, portanto, as mais prontamente reconhecidas. Por esta razão é necessário que o termo empregado para expressá-las tenha pelo menos consistência entre as descrições baseadas em imagens de diferentes tipos e escalas com as referências de campo.

Por isto, utilizamos as seguintes conceituações para estes termos, para uso na imagem:

- feição linear: arranjo linear de elementos texturais de imagem
- lineação: feição linear retilínea ou arqueada, individual, traçável na imagem
- alinhamento: arranjo alinhado retilíneo ou arqueado de formas na imagem.

Quanto ao termo lineamento, foi empregado com um significado equivalente ao dado originalmente por Hobbs (1904), com as modificações introduzidas por O'Leary et al (1976): "Uma feição linear mapeável, simples ou composta, contínua ou descontínua, da superfície terrestre, cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo e que difere distintamente dos padrões de feições que lhes são adjacentes e, presumivelmente, reflete um fenômeno da subsuperfície".

Neste trabalho restringiu-se a aplicação do termo a elementos com conotação estrutural ou seja, a uma família de feições naturais na superfície terrestre em forma alinhada, refletindo uma descontinuidade estrutural em subsuperfície. A família de feições natu-

rais na superfície terrestre em forma alinhada, chamamos simplesmente alinhamento. Assim, termo alinhamento é apenas descritivo e genérico. Pode ser, por exemplo, arranjo alinhado de corpos de areias litorâneas, do recente ou expostos pela erosão. Não chamamos esta feição de lineamento, pois acreditamos que é mais útil a restrição deste termo para os alinhamentos aos quais é atribuído um conteúdo deformacional, ou estrutural, de descontinuidade. Assim, às cristas de camadas inclinadas em uma faixa de dobras holomórficas não chamamos lineamentos. Porém, às cristas ou vales alinhados esculpidos em camadas inclinadas associadas a uma flexura monoclinal, em zona homoclinal o termo é aplicável. Desta forma, a aplicação do termo respeita o conceito e o objetivo do termo, ressaltando sua utilidade como expressão morfoestrutural de feição anômala. O conceito de lineamento aplicado na imagem envolveu um modelo interpretativo de alinhamento. Como as camadas na Bacia do Paraná são sub-horizontais, todos os alinhamentos de feições lineares naturais corresponderiam a descontinuidades estruturais nestas camadas, logo a lineamentos.

Lineamentos nas Imagens

Algumas considerações gerais descritivas, relacionando lineamentos à escala, tipos de imagens, aspectos geológicos e geomorfológicos, são importantes para a composição de bons mapas de lineamentos e interpretações estruturais. O entendimento destas relações torna-se indispensável, quando os trabalhos são realizados em equipe, para que uma uniformidade na extração dos dados e de interpretação sejam obtidos.

No estudo de lineamentos realizado nesta parte da Bacia do Paraná (Fig.1), utilizou-se dois tipos de imagens, obtidos por sistemas de imageamento bastante diferentes: imagens MSS do Landsat e Mosaicos SLAR, ambas preto e branco, ampliadas para a mesma escala 1:250.000. A relação de expressão dos lineamentos à escala das imagens foi também considerada em função da escala original de imageamento, (1:3.704.000 1ª geração de cópias filmes do Landsat e 1:450.000 Radar), devido à sua implicação na resolução de seus produtos: 79 m para as imagens MSS e 25 m para as de Radar. Com as imagens de maior resolução procurou-se, no traçado dos lineamentos, observar essencialmente alguns detalhes que nelas poderiam ser melhor analisados, tais como: rejeitos ou desloca-

mentos relativos, aspectos morfológicos do lineamento, relação de outras feições lineares com o traço do lineamento, além da continuidade ou descontinuidade e feição composta ou simples do lineamento.

Por outro lado, considerando-se o processo de imageamento das imagens de Radar, são realçados excelentemente, em especial, os lineamentos que se manifestam por alinhamentos de feições topográficas (efeito de sombreamento), de ocorrência muito comum nos terrenos basálticos. Esta é uma das mais vantajosas qualidades das imagens de Radar, embora leve a um detrimento da escala de tonalidade. As imagens MSS de pior resolução, mas de ilimitados recursos para análises tonais, possibilitaram o reconhecimento de outros alinhamentos, não expressos apenas por formas de relevo, tendo sido valiosas nas áreas com relevo arrasado ou coberto por solos e, principalmente, nas coberturas areníticas horizontalizadas do Bauru.

As características de um lineamento, também com relação à escala, implica em não poder conferir-lhe uma dimensão arbitrária, como a exemplo do trabalho de El Etr (1974), que considera lineamentos somente as feições lineares de 10 a 100 Km de extensão, pois que um lineamento numa escala pode não constituir o mesmo, em outra.

Fisiograficamente, os lineamentos que têm expressão geomórfica são os mais frequentes na área. Em geral são alinhamentos de feições topograficamente negativas (incluindo cursos de rios), constituindo quebras em um terreno uniforme (basaltos e arenitos) e consistindo em feições de formas de relevo normalmente contínuas, fortemente impressas na morfologia. No geral, são feições compostas, isto é, variadas feições contíguas ou separadas. Os lineamentos expressos por tonalidade nas imagens caracterizam-se por contraste mais claro ou mais escuro de níveis de cinza em relação às tonalidades de feições adjacentes. São lineamentos simples, descontínuos, necessitando-se certa familiaridade com as imagens para não confundir-los com outros de natureza artificial, como limites de plantações, estradas, ruidos eletrônicos impressos, comumente presentes nas imagens. Eles refletem quase sempre uma propriedade dos materiais em subsuperfície, daí à sua importância, sobretudo quando suas direções concordam com as direções dos alinhamentos de expressão geomórfica.

Independente de terem expressões geomórficas ou tonais, os lineamentos

desta parte da Bacia são expressos por famílias de feições retilíneas e, secundariamente, suavemente curvas, alinhadas numa sucessão de feições e formas geneticamente relacionadas. Suas dimensões limitam-se entre 10 a 50 Km, alguns até próximos aos 100 Km, mas em média com tamanhos de 25 Km. É consenso comum que lineamentos com estas dimensões retratam um caráter estrutural regional e quando inferiores a 10 Km têm conotações mais locais. Suas direções são muito bem definidas, estabelecendo faixas regionais bastante distintas e consistentes com a tectônica da Bacia.

Apesar de se ter obtido uma interpretação estrutural satisfatória, facilitada por uma evidente regionalização dos lineamentos, compondo faixas, algumas observações são necessárias, em vista de algumas restrições referentes ao material utilizado. Nos sistemas de imageamento de Radar, direções normais às linhas de vôo não são realçadas, o que para a área significa que qualquer feição linear de direção E-W, não será evidenciada. Também, como consequência do processo de montagem dos "strips" de Radar para compor os mosaicos de imagens e talvez da própria textura do papel de impressão (cronaflex transparente), lineamentos N-S ou bem próximos a esta direção não foram bem caracterizados. Nas imagens MSS estas mesmas direções ficaram dissimuladas, por que as linhas de imageamento estão próximas a E-W. Até que ponto estas restrições tenham influenciado na interpretação estrutural ainda não se pôde avaliar. Esta circunstância deve ser levada em conta em qualquer avaliação detalhada que se pretenda fazer entre comparações dos lineamentos extraídos das imagens MSS e Radar, com dados de campo ou interpretações de semidetalle com fotos aéreas.

Significado Geológico dos Lineamentos

Decerto, interpretar o significado dos lineamentos depende de que tipos de indicações ou argumentos pode-se extrair diretamente das imagens ou das relações com dados de campo, geofísicos, etc. Os primeiros exigem áreas de condições geológicas bastante favoráveis onde através de aspectos morfológicos possa-se observar deslocamentos relativos de camadas, descontinuidades lineares entre limites, interrupções de feições lineares (alinhamentos ou lineações) exibindo deslocamento ou encurvamento junto ao lineamento, etc. Estas condições favoráveis não são contudo comuns às áreas

trabalhadas.

Mesmo sem as evidências diretas que eventualmente poder-se-ia obter nas imagens, inúmeros são os trabalhos publicados que demonstram que os lineamentos observados em imagens refletem um fundamental controle por fenômenos geológicos. Também em muitos dos lineamentos observados em campo não foram constatados movimentos de deslocamentos horizontais ou verticais. É evidente que a determinação do significado de um lineamento em imagem, não pode ser confiado somente ao exame de condições geológicas, por trabalhos de campo. Estudos de dados geofísicos e da evolução tectônica da área são necessários para afirmar a validade e significância de muitos dos lineamentos.

Levando-se em consideração as condições geológicas e estruturais da Bacia do Paraná, aceita como uma unidade tectônica sem evidências de grandes perturbações estruturais e, conseqüentemente, sem geração de estruturas muito variadas, é possível acreditar-se que seus lineamentos representem reflexos em superfície de descontinuidades profundas, tipo falhas. A própria extensão em superfície destas feições, as muitas vezes que influem nas variações do mergulho regional do acamamento e a concordância de algumas faixas com direções de falhas de áreas pré-cambrianas da borda da Bacia, sugerem esta interpretação. Por sua vez, a forte propriedade de retilinidade destes lineamentos às vezes seccionando unidades de relevos distintos, fazem presumir que eles estendem-se essencialmente vertical com a profundidade. Porém, deve-se sempre esperar, que um grande número dos lineamentos mapeados na Bacia não sejam falhas, pelo menos em superfície, e sim faixas concentradas de fraturas. As camadas superiores podem por alguma forma, por ex.: movimentos de marés, rotação da terra, terem sido perturbadas ou afetadas de uma determinada maneira que promovesse o aparecimento destas feições em zonas de concentração de fraturas.

A consideração final a ser feita, é que sendo os lineamentos da Bacia, feições lineares sem grandes desvios de sua direção principal, devem ser analisados e interpretados em termos regionais, pois que lineamentos com azimutes muito variados, teriam, provavelmente, sido gerados por estruturas geológicas em profundidade que produziriam o controle no relevo, e na superfície, através do fraturamento das rochas. Este fraturamento concentra movimentação de águas meteóricas, forne-

ce maior umidade às coberturas superficiais, promove o intemperismo e erosão diferencial e aparecimento de nascentes etc. Mesmo sendo muitas as dificuldades e incertezas que comumente se defrontam em precisar o significado de um lineamento, não se deve deixar de considerá-los, como representantes de uma feição geológica real. Ignorá-los, até que fossem comprovados em campo ou por outros recursos, seria desprezar uma soma valiosa de informações potenciais, que rapidamente podem ser extraídas das imagens de sensores remotos, como as do Landsat e Radar. Na ausência de informações convergentes derivadas de outras fontes, o tratamento analítico dos próprios lineamentos, a sua coerência do sistema pode permitir uma interpretação estrutural. Esta análise, e a definição da coerência do sistema de lineamentos em sensores remotos, é o principal objetivo deste trabalho.

3. ANÁLISE DOS LINEAMENTOS DA BACIA DO PARANÁ

Para uma melhor visualização e interpretação dos lineamentos foi feita uma integração dos elementos morfoestruturais da parte central da Bacia do Paraná, utilizando-se mapas de lineamentos na escala 1:1.000.000, obtidos a partir de reduções de mapas na escala 1:250.000 (Fig.2). Resultados referentes a morfoestruturas na parte sul da Bacia do Paraná já foram apresentados previamente (Soares et. al., 1981).

Os lineamentos mapeados concentram-se preferencialmente em faixas, cuja distribuição e forma de ocorrência mostra claramente a existência de regionalização das direções, permitindo uma compartimentação estrutural regional, embora com limites difusos. Podem ser consideradas significativas seis direções estruturais, as quais foram individualizadas segundo sua frequência de ocorrência, atribuindo-se um nome informal para fins de referência, desde que, tais direções nunca foram reportadas na literatura.

Numa amostragem de frequência de lineamentos verificou-se que (Fig.3,4):

1) - nas áreas basálticas os lineamentos N45+5W, direção Médio Ivaí, são os mais frequentes (30%). Seguem em frequência os lineamentos com as direções: N65+5W, direção Médio Piquiri (22%); N25+5W, direção Goioxim (19%); N35+5E, direção Médio Paraná (19%); N5+5W, direção Tapiracuí (8%) e N60+5E, direção Pitanga (6%).

2) - Nas coberturas sedimentares os

lineamentos N65+5W, direção Médio Piquiri são os mais frequentes (19.1%). Seguem em frequência os lineamentos com direções: N20+5W, direção Goioxim (16.2%); N20+5E, direção Médio Paraná (13.6%); N45+5W, direção Médio Ivaí (11.9%); N55+5E, direção Pitanga (9.4%).

3) - Dentre as seis direções caracterizadas, cinco mostraram claramente sua persistência e distribuição regional, embora a frequência e as associações passassem a assumir valores e características particulares, cabendo as seguintes observações:

a) - A direção Médio Ivaí (N45+5W) é característica da região de influência do Arco de Ponta Grossa. A esta direção pertencem os enxames de diques de diabásio e os falhamentos dos flancos e das charneiras do Arco. Sua frequência aumenta no sentido das camadas mais antigas (pré-vulcânicas). São zonas de fraqueza que antecederam o vulcanismo Juro-Cretácico. Foram pouco reativadas no final e após o vulcanismo basáltico. Raramente esta direção está presente na faixa de cobertura sedimentar pós-vulcânica.

b) - A direção Médio Paraná (N35+5E) é característica da faixa entre a terminação do Arco de Ponta Grossa e o eixo da Bacia do Paraná, mostrando ao norte variações na sua direção para N20+5E nas áreas de cobertura arenítica do Bauru. É paralela à direção do eixo da Bacia e às direções estruturais do embasamento. Aparentemente restringe a ocorrência dos enxames de diques e do denso fraturamento N45W. Está presente também na região do Arco de Ponta Grossa e sistematicamente nos sedimentos do Grupo Bauru. Tais relações são indicativas de que a direção Médio Paraná é uma direção de descontinuidades antigas, regeneradas com a subsidência da bacia e com grandes atividades durante o Cretáceo.

c) - A direção Médio Piquiri (N65+5W) ocorre em toda a área. Apresenta indicações de estar interrompida pelas descontinuidades da direção Médio Ivaí. Está intensamente associada à direção Goioxim, o que sugere terem o mesmo controle genético.

d) - A direção Goioxim (N25+5W) constitui-se em faixas bem definidas, localmente com pequenas variações na direção. Apresenta-se bem distribuída na região sul do Arco de Ponta Grossa, e é frequente na faixa de afloramento da Formação Caiuá, refletindo, pelo menos, sua reativação no Cretáceo Médio.

e) - A direção Pitanga (N60+5E) caracteriza-se sobretudo pela sua maior con

centração em faixas restritas, a sudeste e parte central da área estudada. É mais frequente nas camadas sedimentares inferiores da bacia, o que representa uma direção de descontinuidade bem antiga.

f) - A direção Tapiracuí (N5+5W) tem ocorrência bastante restrita, sendo mais comum na parte mais central da bacia, de afloramentos da Formação Caiuá. Provavelmente tal direção reflete um evento deformacional pós-Caiuá, pouco intenso e parcialmente atenuado nas rochas mais antigas.

4. FAIXAS ESTRUTURAIS DEFINIDAS POR FEIXES DE LINEAMENTOS

Para a caracterização das faixas estruturais mapeadas com base no mapa de lineamentos, foram utilizados outros elementos obtidos a partir de outras fontes, especialmente falhas mapeadas em levantamentos geológicos (Fig.1), mapas aeromagnéticos e lineamentos obtidos em imagens Landsat ao milionésimo. Estes elementos utilizados foram parcialmente plotados no mapa da Fig. 2. Neste mapa são mostradas faixas estruturais constituídas por maior densidade de lineamentos conservando para a faixa a direção destes. Observa-se que estas principais faixas estruturais correlacionam-se com as principais direções dos lineamentos mapeados nas diferentes escalas e com estruturas geológicas mapeadas em superfície. Também fortes alinhamentos magnéticos e faixas de máximos magnéticos apresentam-se em direções e posições geográficas coerentes com as faixas estruturais mapeadas, que são sumariamente caracterizadas aqui.

Faixas Estruturais de Direção Médio Ivaí (N45W)

MI-1 (Antonio Prado, RS, Águas de Chapecó, SC.): ocorre no sul da área trabalhada como faixa larga e pouco estruturada. Poucos elementos estruturais são mapeados nesta faixa com direção equivalente, destacando-se um dique e falha na estrutura de Paulo Bento próximo a Getúlio Vargas. Lineamentos aeromagnéticos evidenciam esta faixa estrutural de forma sutil.

MI-2 (Ivaí, PR, Manoel Ribas, PR): estende-se desde Imbituva, passando por Ivaí, Manoel Ribas, até próximo a Cianorte. Entre Imbituva e Manoel Ribas foram mapeadas nesta faixa, com a mesma direção, falhas verticais, alinhadas, com intrusões básicas, mantendo o lado alto para nordeste (Andrade e Soares, 1970). No mapa de aeromagneto-

metria não ocorrem alinhamentos evidentes.

MI-3 (Ponta Grossa, S. Jorge do Ivaí, PR): constitui uma faixa de lineamentos das mais expressivas na bacia do Paraná, correspondendo à parte sul das charneira do Arco de Ponta Grossa e do enxame de diques que se associam. O limite sudoeste desta faixa, corresponde em parte ao falhamento do Rio Alonzo (Vieira 1973). Inúmeras falhas menores apresentaram-se alinhadas nesta faixa (Vieira, 1973; Andrade Soares, 1970; Promon, 1981). São falhas verticais intrudidas por diabásio. Apresentam-se com bloco alto para nordeste no limite sul e para sudeste no limite norte da faixa, caracterizando um extenso "horst" com múltiplas falhas laterais. Constitui ainda uma conspícua feição no mapa aeromagnético, caracterizada por forte anisotropia na forma das curvas e com maior intensidade magnética, chamado Alinhamento Magnético do Rio Alonzo (Ferreira, et al, 1981).

MI-4 : constitui uma extensão da faixa MI-3, não sendo tão bem caracterizada como esta. Mapeamentos realizados na área de Cianorte, sobre a faixa, detectaram completa associação de falhas de direção Médio Ivaí, com a direção Goioxim, e com estruturas dômicas. As feições magnéticas nesta faixa são caracterizadas por anisotropia desta direção.

MI-5 (Piraí do Sul, Curiúva, PR): é uma faixa estrutural bem definida na faixa de afloramentos de rochas paleozóicas e mal definida no vale do Rio Tibagi. Contém o falhamento São Jerônimo - Curiúva (Vieira, 1973), no limite sul. Diversas outras falhas estão alinhadas nesta faixa, apresentando-se associadas a diques, e tendo o bloco alto predominantemente no lado sul. Os diques desta faixa estendem-se até o litoral paranaense. O mapa de aeromagnetometria apresenta apenas uma zona de máximos na faixa próximo a norte de Curiúva - São Jerônimo, sem mostrar extensões para o interior da bacia.

MI-6 (Guapiara-Fartura, SP): é uma das faixas mais bem caracterizadas por lineamentos detectáveis por diferentes métodos. Corresponde em parte ao falhamento de Fartura (Vieira, 1973). Apresenta uma faixa de falhas alinhadas na direção N45W com bloco alto para sul associadas a diques. No mapa de aeromagnetometria esta faixa é caracterizada por forte alinhamento de feições magnéticas, predominando a norte a zona de máximos e a sul de mínimos magnéticos. Corresponde ao extenso alinhamento de Guapiara (Ferreira et al.1981),

interpretado como estrutura profunda existente desde o Devoniano. Esta faixa estrutural prolonga-se para sudeste até o litoral, indicada por enxames de diques.

Faixas Estruturais da direção Médio Piquiri (N60W)

PQ-1 (Rio Iguaçu): constitui uma zona bem definida em imagem, por alta densidade de traços de fratura e lineamentos. Não há na área dados de campo. Os dados de aeromagnetometria mostram uma faixa correspondente constituída por máximos magnéticos, bem delimitada a norte. Na imagem ao milionésimo este limite é caracterizado por um lineamento de grande extensão.

PQ-2 (Campo do Tenente-Ubiratã, PR) : é uma faixa estrutural muito bem definida em sensores remotos e no campo. Na parte sudeste engloba o alinhamento de falhas de mesma direção entre Campo do Tenente e Inácio Martins (Tommasi, 1973), com bloco alto para norte e apresentando diques associados. No mapa de aeromagnetometria esta faixa está muito bem definida, sendo caracterizada por forte alinhamento a norte com polaridade normal correspondente ao alinhamento Rio Piquiri (Ferreira et al., 1981), e um campo de mínimos magnéticos em seu interior.

PQ-3 (Piratininga, SP, Três Lagoas, MT) : é uma faixa mal definida, com moderada densidade de lineamentos, controlando os cursos dos rios do Peixe e Aguapeí, na parte central do Estado de São Paulo. Em aeromagnetometria não há indicações desta faixa. Na imagem ao milionésimo é bem evidente extenso lineamento no interior da faixa, chamado lineamento do Rio Feio (Paulipetro - Beicup, SP, 1981).

Faixas Estruturais da direção Pitanga (N60E)

PT-1 (Jaguariaiva, PR, Itapetininga, SP) : constitui uma faixa estrutural com limites mal definidos, estendendo-se apenas a norte da charneira do Arco de Ponta Grossa. Uma pequena área desta faixa foi trabalhada em imagem e para a qual se dispõe de dados magnéticos. Dados de campo evidenciam um alinhamento de falhas, incluindo o graben de Ponta Grossa (Andrade e Soares, 1970), Itapeva e Itapetininga.

PT-2 (São Jorge do Oeste, PR, Itaberá, Porangaba, SP): como feixes de lineamentos esta faixa estrutural está bem caracterizada. Poucas falhas foram mapeadas nesta faixa, tais como em Angatuba, Guareí, no limite norte,

e Jaguariaiva no limite sul, na faixa de afloramentos do paleozóico. O bloco alto aparenta ser para o interior da faixa. No interior da bacia não existem mapeamentos disponíveis em escala regional, sendo referida uma falha aproximadamente nesta direção a sul da Serra de Cantagalo (CPRM, 1981c).

PT-3 (Sarutaiá, SP, Pitanga, PR): Esta faixa estrutural é bem caracterizada por feixes de lineamentos no planalto basáltico (Rio Piquiri) estendendo-se a Pitanga e Cândido de Abreu. Nesta parte, foram mapeadas importantes falhas especialmente a do Rio Pinhalzinho, cujo bloco alto é para o interior da bacia (CPRM, 1981; PROMON, 1981a). Também a estrutura de Cândido de Abreu (horst dômico) situa-se nesta faixa. Na charneira do Arco a faixa está obliterada pelos enxames de diques N45W. A norte do falhamento São Jerônimo-Curiúva, volta a ser evidente a expressão desta faixa, através dos falhamentos de Figueira, Ibatí (horst e graben NE), Quatiguá (horst dômico), Sarutaiá (horst dômico), todos com falhas N60+5E, podendo estender-se até os domos de Anhembi e Artemis. Nos mapas de aeromagnetometria esta faixa é representada por campos de maior intensidade magnética entre São Manoel (SP) e Sapopema (PR) onde é interrompido pelos alinhamentos NW. A sul da charneira torna-se indefinida como faixa de mínimos.

Outras faixas paralelas à PT-3, porém mal definidas foram traçadas no mapa. Merecem referência aquelas próximas ao Rio Paranã, controlando trechos deste, como a jusante do pontal do Paranapanema e do Ivaí, com suporte na aeromagnetometria como largas faixas alternadas de máximos e mínimos magnéticos na direção N60E.

Faixas Estruturais da direção Goioxim (N25W)

Constituem duas faixas estruturais, que se caracterizam por feixes de lineamento. Na faixa localizada no sul da área, GO-1, não se dispõe de dados estruturais de campo e nem alinhamentos magnéticos correspondentes à sua direção. Por outro lado, a segunda faixa, GO-2, Antonio Olinto-Reserva (PR), apresenta várias falhas escalonadas com indicações de bloco alto geralmente para nordeste (Andrade e Soares, 1970); as feições magnéticas nesta faixa também estão ausentes.

Faixas Estruturais da direção Médio Paranã (N25-35E)

PR-1 (São Mateus do Sul, PR, Duartina, SP): ocorre na porção nordeste

da área estudada e apresenta-se como uma faixa de lineamentos moderadamente estruturada e com limites mal definidos. Nas imagens ao milionésimo, esta faixa parece bem definida denominada "trend" Londrina. Os dados estruturais de campo indicam para esta faixa diversas falhas alinhadas segundo a direção N30E com bloco alto para noroeste. O mapa aeromagnético não mostra feições nesta direção.

PR-2 (Rio Cantu, PR, Pereira Barreto, SP): é a faixa mais extensa, com densidade moderada de lineamentos em imagens, e controla parte do curso do Rio Paraná na área estudada. No mapa aeromagnético esta faixa parece caracterizada somente na sua parte norte por uma fraca anisotropia.

5. IMPORTÂNCIA DAS FAIXAS DE LINEAMENTOS NA PROSPECÇÃO

A partir da interpretação dos sistemas de lineamentos verificou-se a possibilidade de se estabelecer uma correlação entre alguns destes sistemas e as estruturas locais conhecidas. Tal correlação parece ser possível no que se refere à densidade dos feixes de lineamentos e à distribuição de estruturas, como por exemplo: a direção Médio Ivaí caracterizada através da alta densidade de lineamentos bem definidos e correlacionável com estruturas correspondentes a falhas normais, enxames de diques, indicações de cisalhamento. Como este sistema mostra prováveis evidências de idade pré-basalto, pode-se supor que as falhas a ele correlacionadas indiquem zonas de fraqueza do embasamento, sendo movimentadas nas sucessivas fases de evolução da bacia e que se manifestam em superfície através dos feixes de lineamentos. A importância dos sistemas de lineamentos e suas relações com dados de estratigrafia e estruturas locais para a definição de padrões de deformação tectônica, tem sido demonstrada por vários autores. Saunders et al. (1973) notou que o controle de lineamentos na localização de campos de óleo e gás é particularmente significativo na bacia San Juan onde conhecidas acumulações de gás aparentemente estão confinadas ou concentradas ao longo dos maiores lineamentos. O autor conclui que nesta região os estudos de lineamentos em imagens Landsat podem ser usados para orientar pesquisas mais detalhadas em áreas virgens e certamente conduziriam a uma revisão na exploração e na interpretação de dados geofísicos. Thomas (1974) demonstrou que zonas de lineamentos controlam a extensão e configuração depo-

sicional de sub-bacias o que é mostrado claramente por comparações com mapas de isópacas. As influências dos lineamentos são evidenciadas nas alterações dos "trends" das isópacas através de mudanças abruptas de suas direções; deslocamentos (off set) e espessamentos e ou adelgaçamentos junto a zonas de lineamentos. Presume-se que estes controles estratigráficos são resultados de paleo-estruturas do embasamento, presentes sob as zonas de lineamentos, com sucessivas reativações tectônicas.

Também o autor observou que, com maior frequência, as grandes estruturas (anticlinais, sinclinais, domos, bacias) acham-se confinadas aos blocos estruturais definidos por lineamentos, e apresentando consistentes ângulos de terminação junto a estes. Já para a bacia do Paraná, Fulfaro (1974) chamou a atenção para as implicações na evolução da bacia, do Alinhamento Estrutural do Paranapanema.

Peterson (1979) utilizou os elementos lineares, extraídos de imagens com o objetivo de detectar altos estruturais associados a falhas de rejeitos direcionais, através de um modelo interpretativo constituído da associação de lineamentos curvos com retilíneos.

É conhecido também que os lineamentos, especialmente os correspondentes a estruturas antigas e reativadas, constituem sítios preferenciais para concentração anômala de minerais, para subsidência diferencial e variação de fácies e agrupamento de estruturas locais.

6. CONCLUSÕES

É preciso salientar que as técnicas de análise e interpretação desenvolvida por estes autores nem sempre podem ser aplicadas na bacia do Paraná, pelo fato desta não possuir as mesmas características geológicas daquelas bacias por eles estudadas. Isto não invalida, entretanto, a necessidade em se adequar tais estudos à natureza de nossas áreas de pesquisa, bem como à disponibilidade de recursos para tanto. Assim, este estudo de lineamentos na Bacia do Paraná terá continuidade, visando sobretudo correlacioná-los com estudos de fácies sedimentares, anomalias geoquímicas, dados de aeromagnetometria e defini-los quanto ao tipo de estruturas que possam estar refletindo.

A principal utilidade das faixas estruturais delimitadas, provavelmente seja chamar a atenção para a sua existência, de tal forma que se possa, no

futuro, esclarecer adequadamente seu significado tectônico.

No momento pode-se concluir pouco a respeito do seu significado, porém algumas conotações estruturais pa-
recem evidentes:

1º - as faixas estruturais mapeadas, com base em lineamentos de imagem, re-
presentam em mapa zonas com maior mo-
bilidade tectônica. Isto é evidente, considerando que as falhas mapeadas agrupam-se em zonas dentro destas faixas;

2º - as faixas estruturais constituem elementos paleotectônicos presentes durante a evolução da bacia. Algumas das faixas são conhecidos elementos condicionadores da geometria da Bacia do Paraná, como as faixas estruturais MI-6 (Guapiara-Fartura), MI-5 e MI-6 (Charneira do Arco de Ponta Grossa), todas afetadas por enxames de diques. Também a faixa estrutural PQ-2 (Rio Piquiri), parece constituir um elemento controlador da preservação do Devoniano, a PT-1, 2 e 3 no rápido aumento de espessura do Super-Grupo Tubarão. Mais importante ainda, parece ser a PT-3, que influenciou na espessura e fácies da Formação Rio Bonito;

3º - algumas faixas estruturais parecem ser superpostas a grandes estruturas do embasamento. Como exemplo as da direção Pitanga coincidem com a extensão de grandes zonas de falhas transcorrentes do embasamento: PT-1 com o falhamento de Taxaquara, PT-3 com o falhamento de Inconfidente-Jacutinga, etc. Da mesma forma na direção Médio Paraná, a faixa estrutural PR-1, mostra notável paralelismo com as direções de dobramento e de empurrão no embasamento vizinho, o cinturão dobrado da Ribeira;

4º - algumas faixas estruturais são caracterizadas por movimentos positivos sistematicamente de um lado, caracterizando flexuras falhadas, como o lado leste na faixa PR-1, o lado norte na PQ-2, o lado nordeste nas faixas MI-6 e MI-5. Outras são caracterizadas por apresentarem altos sistêmicos no interior da faixa a semelhança de anticlinais alongados; como exemplo, na direção Pitanga, temos a faixa PT-3 e na direção Médio Ivaí a faixa MI-3.

5º - Algumas faixas são caracterizadas por estarem intensamente intrudidas por diques de diabásio, especialmente as das direções Médio Ivaí e Médio Piquiri, desde o Rio Grande do Sul até São Paulo. Enquanto outras, como as das direções nordeste Pitanga e

Goioxim, geralmente não tem diques associados, conforme verificado na faixa de afloramento do paleozóico no Paraná por Andrade e Soares (1970).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. 1980. Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil. São Paulo, Paulipetro. 187 p.il. Bibliografia (Relatório IPT nº 14.091).
- ANDRADE, S.M. & SOARES, P.C. 1970. Geologia de semidetalle do Centro-Leste do Paraná. Ponta Grossa, Petrobrás. 32 p.il. Bibliografia. (Relatório DESUL nº 400).
- ANDRADE, S.M. & SOARES, P.C. 1971. Geologia do centro-leste do Estado de São Paulo. Ponta Grossa, Petrobrás. 32 p.il. Bibliografia. (Relatório DESUL nº 407).
- BAUMAN, J. 1981. Petroleum evaluation of the Parana Basin. São Paulo, Paulipetro/BEICIP. 3 v. il. Bibliografia. (Relatório RT-033/81).
- BRASIL - MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. 1974a. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Folha de Curitiba. (SG.22). Brasília.
- BRASIL - MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. 1974b. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Folha de Porto Alegre. (SH.22). Brasília.
- BRASIL - MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. 1978. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Folha Paranapanema (SF.22). Brasília.
- CPRM. 1980. Geologia do Bloco SF-22-W (ACS-48). São Paulo. 85 p. il. Bibliografia. (Relatório Final - sistêmico).
- CPRM. 1981a. Geologia do Bloco SG-22-H (ACS-77). São Paulo. 69 p. il. Bibliografia. (Relatório Final - sistêmico).
- CPRM. 1981b. Geologia do Bloco SG-22-C (ACS-76): área de Cândido de Abreu-PR. São Paulo. 75 p.il. Bibliografia. (Relatório Final - Detalhe).
- CPRM. 1981c. Geologia do Bloco SG-22-C (ACS-76): área de Faxinal-PR. São Paulo. 51 p.il. Bibliografia. (Relatório Final - Detalhe).
- CPRM. 1981d. Geologia do Bloco SH-22-C (ACS-80): área de Esmeralda. Goiânia. 91 p.il. Bibliografia. (Relatório Final - Detalhe).

- CPRM. 1982a. Mapeamento Estrutural de Detalhe das áreas de Arroio dos Carneiros Fazenda Carazinho, Invernadinha/Penteados (Bloco 77). São Paulo. 47 p.il. Bibliografia. (Relatório Final - RT-124/82).
- CPRM. 1982b. Mapeamento Estrutural de Detalhe da área de Rio Segredo (Bloco 77). São Paulo. 44 p.il. Bibliografia. (Relatório RT-123/82).
- EL-ETR, H.A. 1974. Proposed terminology for natural linear features. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE NEW BASEMENT TECTONICS, 1, Utah. Proceedings. Utah, Geol. Assoc. Pub. V. 5, p. 480-489.
- FERREIRA, F.J.F. et. al. 1981. Contribuição ao estudo do alinhamento estrutural de Guapiara. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, Curitiba. Anais. São Paulo, SBG.
- FERREIRA, F.J.F. Contribuição da aeromagnetometria a cartografia geológica e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa. São Paulo. Dissertação (mestrado). A ser apresentada.
- FULFARO, V.J.; GAMA JUNIOR, E.G. & SOARES, P.C. 1980. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. São Paulo, Paulipetro. 155 p.il. Bibliografia. (Relatório BP-008/80).
- FULFARO, V.J. 1974. Tectônica do Alinhamento Estrutural do Paranapanema - Inst. de Geoc. USP, Bol.5 (5): 129-138. São Paulo.
- FUSSEL, J. 1980. Lineaments lead to oil in Wyoming. Geotimes, Virginia, 25 (5): 19-20, May.
- GELNETT, R. 1974. Lineament patterns from radar imagery in Alaska, Arizona, Califórnia and Montana. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE NEW BASEMENT TECTONICS, 1 UTAH. Proceedings. Utah, Geol. Assoc. Pub. v.5, p. 440-498.
- HIDROSERVICE - ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA. 1981a. Mapeamento Geológico de Detalhe do Bloco SG-22-N (ACS-78): área de Clevelândia 43 p. il. Bibliografia. (Relatório Final).
- HIDROSERVICE - ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA. 1981b. Mapeamento Geológico de Detalhe do Bloco SG-22-N (ACS-78): área de Mariópolis. 52 p.il. Bibliografia. (Relatório Final).
- HIDROSERVICE - ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA. 1981c. Mapeamento Geológico de Detalhe do Bloco SG-22-N (ACS-78): área de Pato Branco. 55 p.il. Bibliografia (Relatório Final).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A - IPT. 1981. Mapeamento Geológico do Bloco SF-22-U (ACS 74): São Paulo. 60 p. il. Bibliografia. (Relatório IPT N° 15.377).
- JOHNSON, A.C. 1974. Lineament analysis: an exploration method for the delineation of structural and stratigraphic anomalies. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN THE NEW BASEMENT TECTONICS, 1, Utah. Proceedings. UTAH, Geol. Assoc. Pub. v.5, p: 445-52.
- O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D. & POHN, H.A. 1976. Lineament linear lineation: some proposed new standars for old terms. Geol. Soc. Am. Bull., New York, 87 (10): 1463-69, October.
- PAULIPETRO - CONSÓRCIO CESP/IPT. 1981. Mapa de assinaturas aeromagnéticas simplificadas. São Paulo, Agrupamento de Geofísica. Escala 1:1.000.000.
- PETERSON, R. 1979. Oil and gas exploration by pattern recognition of lineament assimplayer associated with bends in wrench faults. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENWERONNEIL, 13, Michigan. Proceedings. Michigan.
- PROMON ENGENHARIA S/A. 1980a. Mapeamento Geológico da Bacia do Paraná - Bloco SG-22-C (ACS 76): área de Faxinal e Cândido de Abreu. São Paulo. 2v. il. Bibliografia. (Relatório Final - sistêmico).
- PROMON ENGENHARIA S/A. 1980b. Mapeamento Geológico de Detalhe da área de Paraíso do Sul/Jurema (ACS 75). São Paulo. 2 v. il. Bibliografia. (Relatório Final).
- PROMON ENGENHARIA S/A. 1981a. Mapeamento Geológico de Detalhe da área de Chapéu do Sol (ACS 76). São Paulo. 51 p. il. Bibliografia (Relatório Final).
- PROMON ENGENHARIA S/A. 1981b. Mapeamento Geológico de Detalhe da área de Ivaipora (ACS 76). São Paulo. 2 v. il. Bibliografia. (Relatório Final).
- SAUNDERS, D.F. et al. 1973. ERTS-1 imagery use in reconnaissance prospecting - evaluation of the commercial utility of ERTS-1 imagery in and petroleum. Type III Final Report to NASA: US. Dept. Commerce, Natl. Tech. Inf. Service, E 74-10345.
- SOARES, P.C. 1971. Elementos Estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: classificação e gênese. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre. Anais. São Paulo, SBG, 1974. V.4, p. 107-21 il.

- SOARES, P.C. et al. 1981. Análise Morfoestrutural integrada em imagens de Radar e Landsat da Bacia do Paraná. São Paulo, Paulipetro. 2 v. il. Bibliografia. (Relatório RT-041/81).
- SOARES, P.C. et al. 1981. Análise Morfoestrutural Regional com imagens de Radar e Landsat na Bacia do Paraná. 3º Simpósio Regional de Geologia. Atas. v.1: 201-216. Curitiba.
- SOARES, P.C. et al. 1982. Análise Morfoestrutural Integrada em imagens de Radar e Landsat na Bacia do Paraná. São Paulo. Paulipetro. 2 v. il. Bibliografia. (Relatório Interno).
- STEVAUX, J.C. et al. 1980. Geologia do Bloco 49: balizado pelas cidades de Avaré, Itapeva e Itapetininga. São Paulo, Paulipetro. 2 v. il. Bibliografia. (Relatório EP-016/80).
- THEMAG ENGENHARIA S/A. 1981. Geologia da região limitada pelos paralelos 25º E e 25º S e meridianos 52º E e 53º W Bloco SG-22-B (ACS 75). São Paulo. 77 p. il. Bibliografia. (Relatório Final).
- THEMAG ENGENHARIA S/A. 1981. Mapeamento Geológico de Detalhe: área de Roncador-PR. (ACS-75). São Paulo. 51 p. il. Bibliografia. (Relatório Final).
- THOMAS, E.G. 1974. Lineament Block tectonics: Williston - Blood creek Basin. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., Tulsa, 58 (7): 1305-22, July.
- TOMMASI, E. 1973. Geologia do flanco sudeste da Bacia do Paraná - Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, Aracaju. Anais. São Paulo, SBG. V.3, p.179-88 il. Bibliografia.
- ZAINE, J.E. 1979. Geologia do Alto Estrutural do Jacu. São Paulo, IPT. 17 p. il. Bibliografia. (Relatório BP).
- ZAINE, J.E. et al. 1980. Geologia da Região de Sarutaiã/Tejupa-SP. São Paulo, Paulipetro. 32 p. il. Bibliografia. (Relatório RT-022/80).

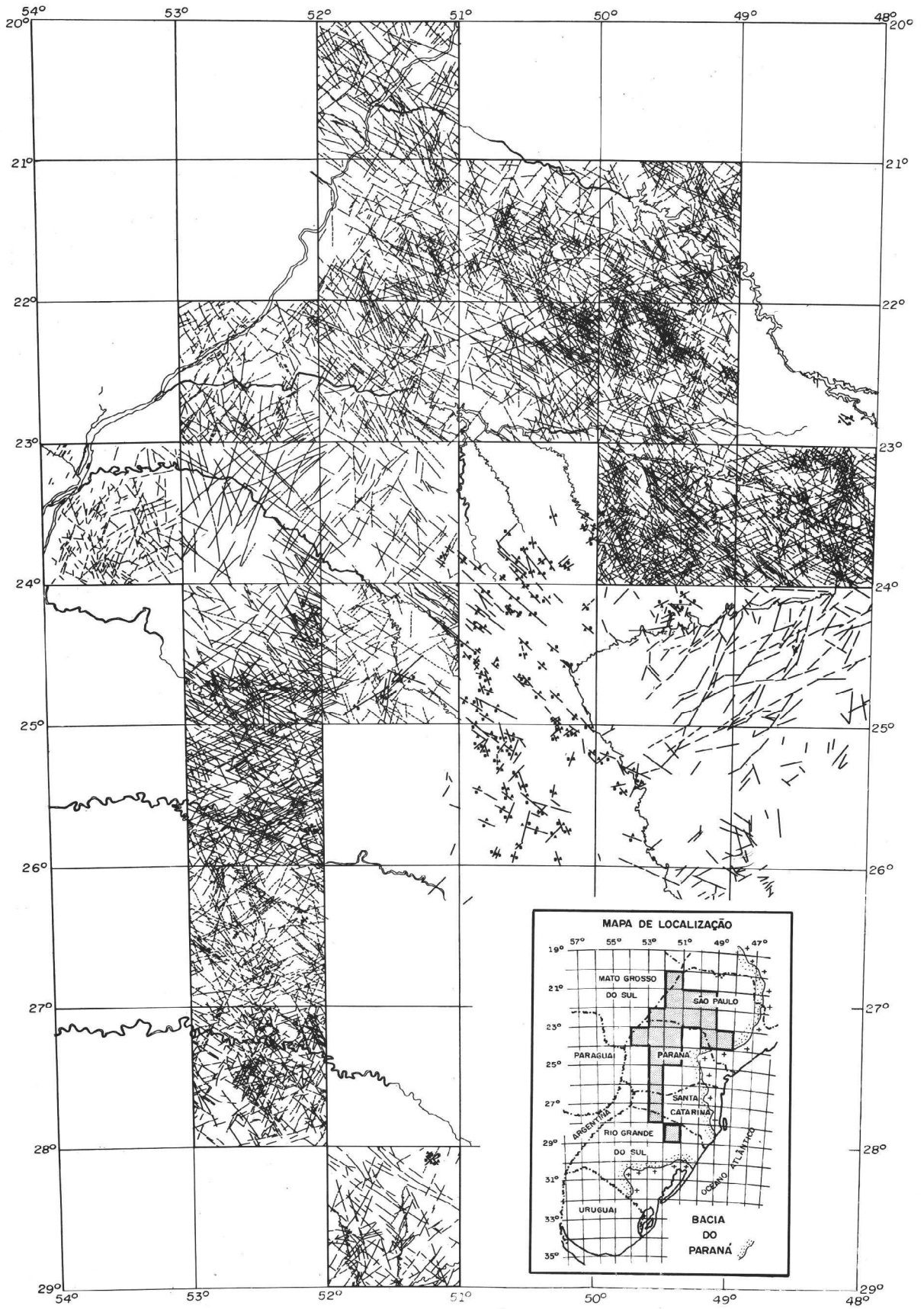


FIG.01 - MAPA DE LINEAMENTOS E FALHAS

LINEAMENTOS DE RADAR / LANDSAT
FALHAS
DRENAGEM

0 25 50 75 100 KM



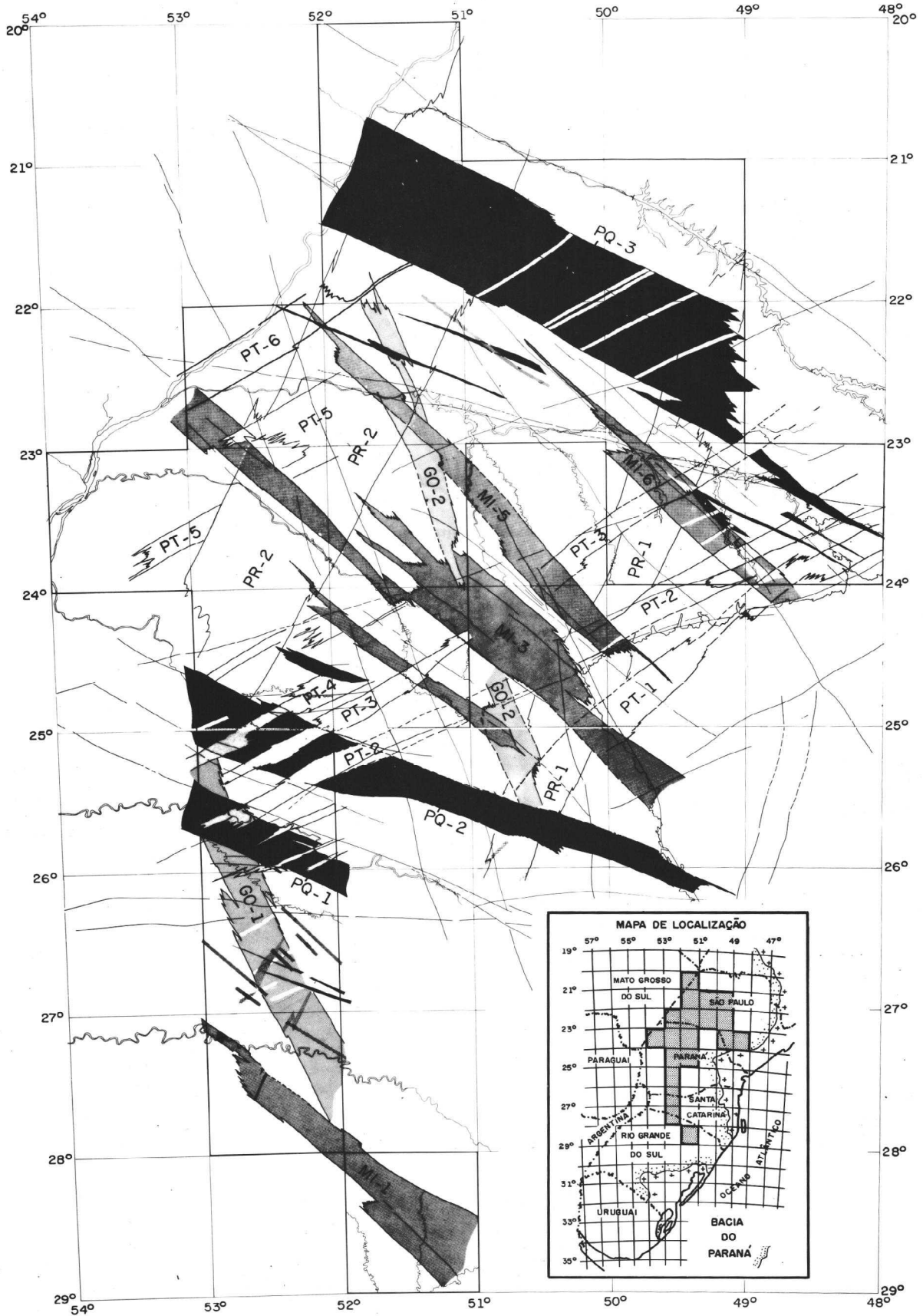


FIG.02 - MAPA DE FAIXAS ESTRUTURAIS

DIREÇÕES:

- | | | | |
|------------------|--|------------------------|--|
| MÉDIO IVAÍ-MI | | MÉDIO PARANÁ-PR | |
| MÉDIO PIQUIRI-PQ | | GOIOXIM-GO | |
| PITANGA-PT | | LINEAMENTOS DE LANDSAT | |
| DRENAGEM | | AO MILIONÉSIMO | |

0 25 50 75 100 KM.



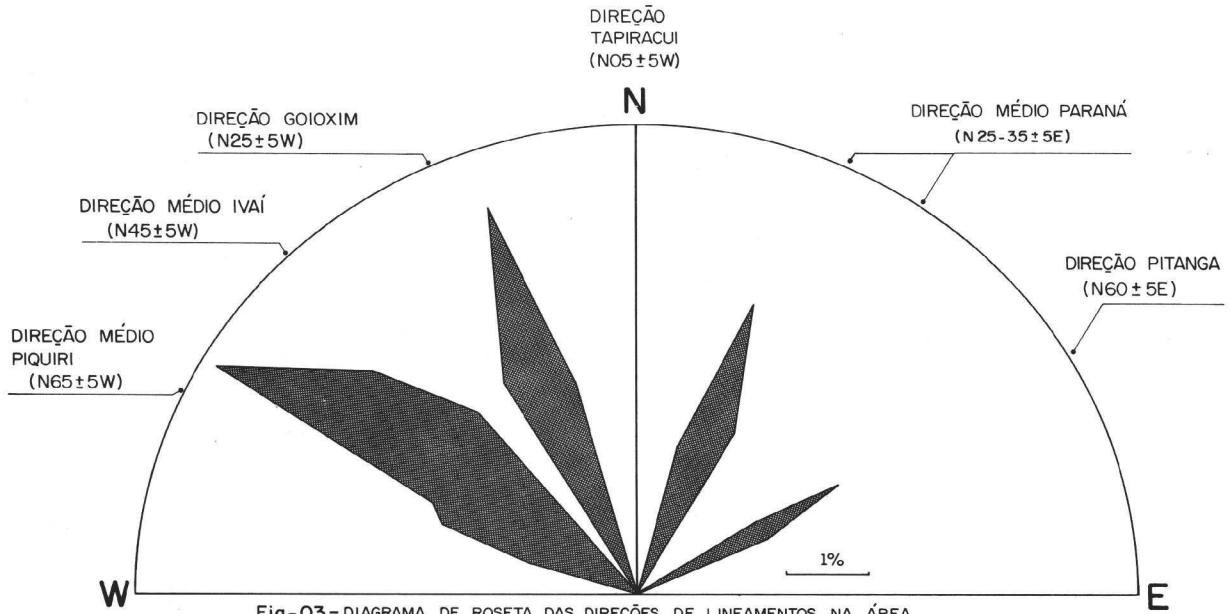


Fig-03 - DIAGRAMA DE ROSETA DAS DIREÇÕES DE LINEAMENTOS NA ÁREA DE COBERTURA PÓS-BASALTO, PARTE CENTRO-NORTE DA BACIA DO PARANÁ (Nº DE MEDIDAS = 2 191)

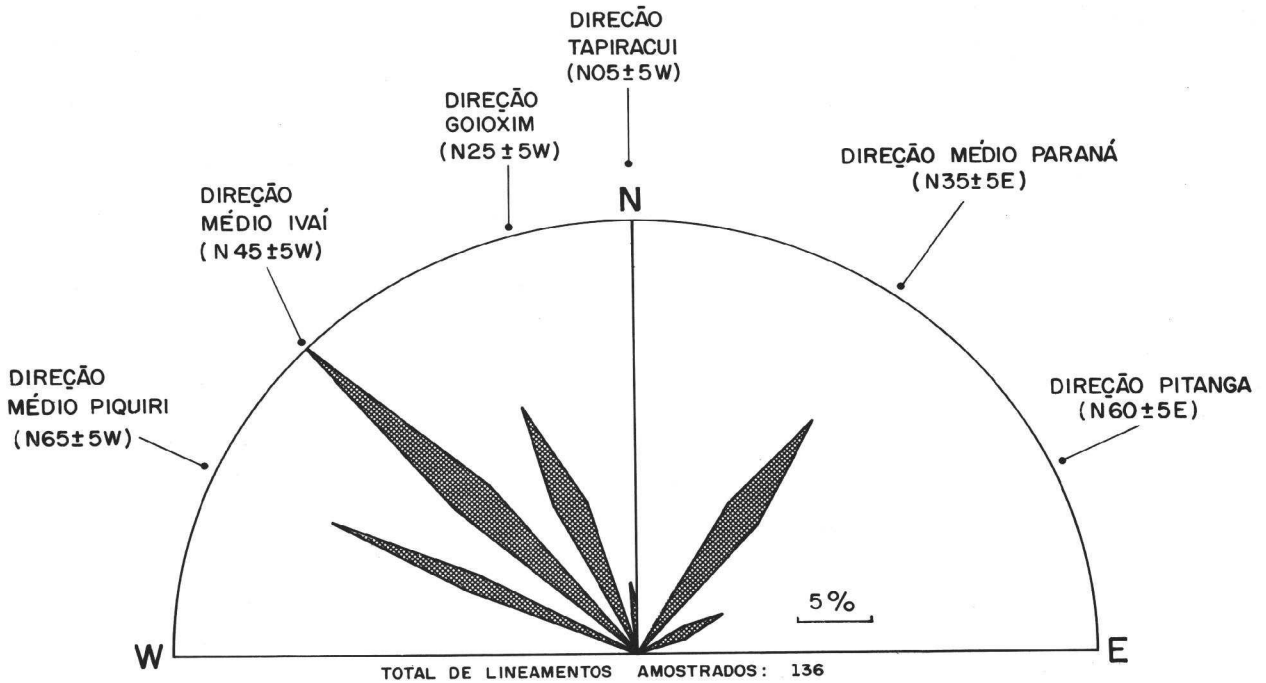


Fig.04 - Diagrama de roseta das direções de lineamentos com percentagem superior a 5%, na área de basaltos. Parte centro-sul da Bacia do Paraná.