

"O SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL APLICADO AO ESTUDO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS, EM MUNICÍPIOS DO CARIRI OCIDENTAL (PB) E SERTÃO DO PAJEÚ (PE) – BR"

**Augusto Francisco da Silva Neto<sup>1</sup> & Marx Prestes Barbosa<sup>2</sup>**

**Resumo** - O levantamento fotointerpretativo dos produtos sensores TM/LANDSAT-5, em parte dos municípios da microrregião do Cariri Ocidental (PB); e do Alto Pajeú (PE), identifica elementos texturais de relevo e drenagem, de forma a determinar a conformação estrutural das rochas, com o objetivo de mapear áreas prioritárias à pesquisa de águas subterrâneas. Aplicou-se o método sistemático para análise dos produtos de sensoriamento remoto, nas bandas 3 e 4, referentes à órbita 215, ponto 65 e quadrante C, datadas de 10/12/1984, com elevação solar de  $54^{\circ}$  e escala 1:100.000. No processo de análise do fraturamento das rochas, foram definidas as 08 principais direções de foliação da região ( $NS \pm 5^{\circ}$ ,  $EW \pm 5^{\circ}$ ,  $N20^{\circ}E \pm 5^{\circ}$ ,  $N40^{\circ}E \pm 5^{\circ}$ ,  $N65^{\circ}E \pm 5^{\circ}$ ,  $N25^{\circ}W \pm 5^{\circ}$ ,  $N35^{\circ}W \pm 5^{\circ}$  e  $N60^{\circ}W \pm 5^{\circ}$ ). A análise quantitativa dos fotolineamentos produziu o Mapa de Eixos de Máximos de Freqüência de Fraturas e a análise qualitativa dos fotolineamentos foi processada a partir do tratamento estatístico proposta por ALIYEV (1980), que permitiu o estudo regional dos eventos da tectônica rúptil, obtidos nas imagens TM/LANDSAT-5 e medidas em campo. Utilizando o modelo de RIEDEL (1920), com as modificações de SADOWSKI(1983) foram definidas duas (02) zonas de cisalhamento para a áreas de estudo: uma dextral de direção EW e outra de direção próxima a  $N60^{\circ}W \pm 5^{\circ}$  de caráter sinistral. As principais direções que devem ser analisadas na pesquisa de águas subterrâneas são  $N65^{\circ}E \pm 50$  e  $N35^{\circ}W \pm 5^{\circ}$  (direções resultantes de esforços distensivos) e a direção  $N40^{\circ}E \pm 5^{\circ}$  (direção de falhas de rejeito direcional, conjugadas com falhas de gravidade. O mapa integrado compila todos os dados obtidos nas etapas desenvolvidas durante a execução do trabalho, delimitando as áreas propícias à pesquisa de águas subterrâneas, num total de 33 no Estados de Paraíba e 19 em Pernambuco.

<sup>1</sup> Augusto F. da Silva Neto. CEFETPB.Av. João Cancio, 1891/ 501.Manaíra.J.Pessoa-PB. [Afsneto@openline.com.br](mailto:Afsneto@openline.com.br) Tel.0xx83.2465869

<sup>2</sup> Marx Prestes Barbosa. UFPB/DEAg. Av. Aprígio Veloso,sn. Bodocongo. C.Grande-PB. [Marx@lmrs.gov.br](mailto:Marx@lmrs.gov.br) Tel.0xx83.3332355

**Palavras-chave** - Sensoriamento remoto, água subterrânea.

## **1.0. INTRODUÇÃO.**

O ocorrência de aquíferos pode ser de dois tipos: Aquíferos Granulares, que são os mais pesquisados quanto aos seus aspectos hidrogeológicos; e os Aquíferos Fraturados que são pouco conhecidos com relação aos seus aspectos hidrogeológicos, principalmente do ponto de vista de quantificação e localização, possuindo muitos dos seus estudos importados da metodologia para os granulares.

Segundo FRANGIPANI (1985) o território brasileiro é constituído em 35% por rochas cristalinas,

representando esta percentagem uma área estimada em 3.000.000 Km<sup>2</sup>. Dentro deste contexto, o semi-árido nordestino tem cerca de 720.000 Km<sup>2</sup>. Em termos regionais corresponde a 76,8% do total do Nordeste, e em termos de território nacional cerca de 24%. Este fato levou ao interesse por esta pesquisa para captação de águas subterrâneas em rochas no embasamento cristalino, como forma de minimizar os efeitos da freqüente falta de água que periodicamente assola a região nordestina.

As águas possíveis de serem captadas em poços nas rochas cristalinas, ficam condicionadas a uma pseudoporosidade, originária das fraturas existentes ou presença de mantos de intemperismos, fato este que caracteriza estas rochas como más fornecedoras de água, o que tem provocado um desinteresse dos pesquisadores no que diz respeito ao desenvolvimento de pesquisas nesta área.

Moody & Hill in MELLO (1984) propõem que as falhas transcorrentes podem constituir um tipo de falhamento dominante na crosta terrestre. Grandes áreas, provavelmente em dimensões continentais, parecem ter sido submetidas a um "stress" quase uniforme, durante longos períodos. Os resultados dessa atuação podem ser expressos através do desenvolvimento de um padrão de falhamentos, segundo 8 (oito) direções predominantes, constituindo as feições principais do padrão de cisalhamento regmático ou global.

MELLO et all afirmam que um dos fatos significativos da estruturação do Nordeste Oriental é a presença de grandes lineamentos que recortam toda área do Pré-Cambriano, e que imprimem uma feição especialmente caracterizada por fortes planos de falhas. Estando a área de estudo fazendo parte da Província Estrutural Caririana e da Província Estrutural Transversal, localizada nesta 1ª Província entre o lineamento de Patos, este

lineamento de direção leste-oeste de movimento lateral dextral correspondente a um cisalhamento de 1ª ordem; do lineamento Pernambuco, de direção leste-oeste de movimento dextral correspondente a um cisalhamento de 2ª ordem; e na 2ª Província representada pelo lineamento Congo (NE) de movimento sinistral, correspondente a um cisalhamento de 1ª ordem.

Trabalhos conduzidos por REBOUÇAS (1975) sobre as condições hidrogeológicas do embasamento cristalino, consideram que o escoamento sobre particular influência das condições superficiais, enquanto que as características intrínsecas das rochas é que permitem a acumulação, sendo que estas possibilidades de acumulação de água em rochas cristalinas está ligada a características locais e excepcionais de zonas fraturadas ou fortemente intemperizadas.

Em regiões onde predominam rochas Pré-Cambrianas, a acumulação de água subterrânea no cristalino esta ligada essencialmente à existência de redes aquíferas. Tais redes originam-se a partir da trama formada por séries ou sistemas de fraturamentos (juntas e falhas). Sendo obvio que quanto maior a densidade de fraturamento e a abertura ou separação entre os planos que subdividem os blocos rochosos fraturados, maior é a capacidade de infiltração. Aliando-se a estes fatos sobre o fluxo provável da água subterrânea, inferidos a partir da tropia e assimetria da rede de drenagem, é possível demarcar áreas mais favoráveis à sua concentração (VENEZIANI & ROCIO, 1991).

Basicamente os quatro métodos mais utilizados de pesquisas de água subterrânea são fotointerpretação, geologia estrutural, geofísica e litologia, seguindo-se a outros métodos tais como a própria hidrogeologia, geomorfologia, drenagem, análise estatística, topografia, etc.

VENEZIANI & ROCIO et all afirmam que o tratamento e a interpretação de dados de produtos sensores a nível orbital, permitem que se construa um modelo evolutivo tectono-estrutural, a partir do qual se pode reconhecer as principais feições dúcteis, rúpteis-dúcteis e rúpteis, resultantes das deformações que ocorreram em uma região de estudo. Sendo portanto possível definir quais feições estruturais de origem distensiva, têm maiores possibilidades de criarem as redes aquíferas, que somadas às informações sobre a tendência de fluxo das águas subterrâneas, tornam possível a demarcação de áreas favoráveis a pesquisa de água subterrânea.

Partindo das informações acima apresentadas, determinou-se o principal objetivo deste trabalho que é de estudar o uso de imagens TM/LANDSAT-5, em programas de perfuração de poços profundos na região de estudo. Estes estudos possibilitarão um aumento nas possibilidades de sucesso na perfuração de poços profundos no

Embasamento Cristalino, minimizando assim os grandes prejuízos econômicos provocados com a ocorrência freqüente de poços perfurados secos na área de estudo.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. MATERIAIS**

#### **2.1.1. PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Foram utilizadas as imagens TM (Thematic Mapper) Multiespectrais, obtidas pelo sistema LANDSAT-5 nos canais 3 (visível) e 4 (infravermelho próximo), escala 1:100.000, referentes à órbita 215 e ao ponto 65, quadrante C, datadas de 10 de dezembro de 1984, com elevação solar de 54°.

**Tabela 2.1.** PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO TM/LANDSAT-5

CANAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL	RESOLUÇÃO ESPECTRAL	SISTEMA SENSOR	TIPO
3	30 m	0,63-0,69 um	Imageador multiespectral	Papel
4	30 m	0,76-0,90 um	Imageador multiespectral	Papel

#### **2.1.2. FOLHAS TOPOGRÁFICAS.**

Forão utilizadas as seguintes folhas topográficas da SUDENE, editadas no ano de 1972, na escala 1:100.000.

- Folha Sumé (SB.24.Z.D.V);
- Folha Prata (SB.24.Z.D IV).

### **2.2. MÉTODOS.**

Foi utilizado o método sistemático proposto por VENEZIANO & ANJOS (1982), que adapta os critérios de SOARES & FIORI (1976) para imagens de pequena escala, baixa resolução espacial e ausência de estereoscopia.

### **2.3. TRABALHOS DE CAMPO.**

Os percursos feitos durante os trabalhos de reconhecimento de campo, foram realizados com o objetivo de ordem geológica, em determinar macroscopicamente os tipos de rochas e proporcionar o estudo do seu fraturamento e da foliação através da descrição dos 197 afloramentos visitados.

#### **2.3.1. ASPECTOS GEOLÓGICOS.**

O levantamento de campo foi dirigido em busca de evidências que proporcionaram um melhor entendimento da história evolutiva da área de estudo através do processo da tectônica rúptil.

## 2.4. ANÁLISE DE FRATURAMENTO.

Na extração dos dados estruturais (juntas e falhas) foram analisados os elementos texturais (lineações e alinhamentos de relevo e drenagem), adotando-se os seguintes critérios:

- **Fraturas**- qualquer plano de quebra passível de representação nos produtos sensores de pequena escala;
- **Fotolineação** – são caracterizadas por feições lineares, retilíneas e/ou curvas, associadas às formas de relevo e drenagem, observadas nos produtos utilizados;
- **Fotoalinhamento** – forma ampla de caracterizar feições alinhadas (simples ou compostas), contínuas ou descontínua, que podem refletir um fenômeno de subsuperfície;
- **Juntas** – São consideradas juntas, as lineações de relevo e drenagem com extensão máxima de 3,5 Km ( NORTHFLEET et all, 1971) e ocorrendo de transversais a subparalelas ao acamamento;
- **Falhas** – Foram consideradas como falhas, alinhamentos de relevo, de drenagem e tonais com extensão superior a 3,5 km, que segundo VENEZIANI et all ( 1986 ), podem condicionar a assimetria de relevo e drenagem ou constituir os limites entre extratos rochosos com componentes diferentes.

Os dados de fraturamento foram estudados através da delimitação dos feixes de fraturas e das análises qualitativa e quantitativa destas fraturas.

### 2.4.1. ANÁLISE DOS FEIXES DE FRATURAS.

Na análise dos **feixes de fraturas** foram determinadas direções preferenciais levando-se em conta que os 8 (oito) principais alinhamentos e zonas fortemente estruturadas, que podem indicar tectonismos profundos, mesmo em cinturões de "nappes" (PLICKA, 1974).

### 2.4.2. ANÁLISE QUALITATIVA DOS FOTOLINEAMENTOS.

A análise qualitativa dos fotolineamentos foi feita a partir da interpretação da distribuição, intensidade e relação das interseções dos fotolineamentos, de onde obtiveram-se informações hierárquicas quanto ao tempo de ocorrência dos esforços, que atuaram nesta região, e conseqüentemente, informações sobre a relação entre os diversos eventos (inclusive sobre suas idades relativas) que resultaram nos atuais sistemas de fraturas (BARBOSA, 1988).

### **2.4.3. ANÁLISE QUANTITATIVA DOS FOTOLINEAMENTOS.**

A análise quantitativa dos fotolineamentos foi processada a partir do tratamento estatístico para produtos de pequena escala, proposto por ALIYEV (1980), que permitiu o estudo regional dos eventos da tectônica rúptil e rúptil-dúctil.

Na aplicação deste método foi feita a contagem dos fotolineamentos para cada um dos conjuntos de sistemas juntas definidas (08), onde foi utilizada uma malha de 3cm x 3cm. A interpolação de dados foi feita de forma manual, na escala 1:100.000.

### **2.5. ANÁLISE DA TENDÊNCIA DE FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.**

Segundo VENEZIANI & ANJOS (1982), a assimetria de drenagem é definida em função da extensão e da forma dos elementos texturais da drenagem que se constituem nos afluentes do canal e a assimetria de relevo é definida em função do ângulo de declividade entre as zonas de relevo com diferentes propriedades texturais, cujo vértice é uma quebra positiva. Partindo das propriedades texturais e assimetria de relevo e drenagem, foi elaborado o Mapa da Rede de Drenagem, Açudes e Tendência de Fluxo das Águas Subterrâneas.

### **2.6. INTEGRAÇÃO DOS DADOS.**

O **Mapa Integrado (Anexo)** compila em um mesmo produto, todos os dados obtidos nas etapas anteriormente desenvolvidas e delimita as áreas propícias à pesquisa de água subterrânea, a partir da convergência de evidências tais como: permeabilidade, tendências de fluxo de águas subterrâneas e cruzamentos de estruturas (juntas e falhas).

### **2.7. ANÁLISE DOS DADOS DE POÇOS PROFUNDOS PERFURADOS.**

Tomando-se como referência o cadastro de poços profundos fornecido pela CDRM, estes foram plotados sobre o Mapa Integrado.

Foram analisados os seguintes dados fornecidos pelo cadastro: qualidade química da água, níveis estático e dinâmico do poço, vazão e profundidade, que serviram para a aferição das áreas selecionadas como prioritárias à pesquisa de águas subterrâneas.

## **2.8. ÁREAS FAVORÁVEIS À PESQUISA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.**

Os feixes de fraturas e os lineamentos estruturais associados a regime de esforços distensivos, constituídos por elementos abertos, são provavelmente as estruturas mais favoráveis à ocorrência de água subterrâneas.

As falhas estão associadas a diferentes tipos de movimentos relativos entre blocos, estando as falhas normais relacionadas aos regimes distensivos. Hidrogeologicamente as falhas normais são favoráveis à infiltração e ao fluxo de água de subsuperfície.

Relacionadas aos regimes de esforços compressivos, tem-se falhas com movimentos direcionais (transcorrentes) e as falhas com movimento inverso (empurrão), que ao terem aliviados estes esforços compressivos, podem tornar-se potencialmente capazes de promover a circulação de água entre blocos.

Através da análise das linhas de tendência de fluxo das águas de subsuperfície, podem-se definir áreas com maior potencial de infiltração e percolação de água, sendo possível se determinar desta forma, que as falhas são os elementos responsáveis pela confluência de água em sua extensão e que quanto maior a extensão destas falhas, maior é o fluxo d'água ao longo delas.

A definição do regime dos esforços associados aos elementos "juntas e falhas" é de fundamental importância na definição de zonas favoráveis à infiltração e à percolação de água. Caso estes elementos estejam associados a regimes distensivos, dispõe-se de melhores condições à infiltração e percolação da água, do que quando associados a regimes compressivos.

Os cruzamentos entre os elementos (juntas e falhas) podem ser considerados como setores onde as condições de infiltração e percolação de água são diferentes, devendo serem analisados segundo prioridades, partindo-se do cruzamento de estruturas distensivas (abertas) até o cruzamento de estruturas compressivas (fechadas).

Segundo SAMPAIO (1987) in GUEDES(1993), as feições estruturais (juntas e falhas) podem ocorrer em 28 diferentes situações, agrupadas em três grandes grupos (Tabela 2.8.), conforme as situações possíveis de formas de ocorrências de estruturas e suas combinações, bem como a ordem de prioridade de áreas mais favoráveis à pesquisa de água subterrânea.

### 3. GEOLOGIA.

#### 3.1. PRÉ-CAMBRIANO INDIVISO.

As rochas do Pré-Cambriano Indiviso da região de estudo, foram agrupadas em uma única unidade litoestratigráfica denominada de Embasamento Cristalino, apresentando-se intensamente tectonizadas, fraturadas e dobradas. Verifica-se que a foliação associada, está relacionada com falhas e fraturas que representam as 8 (oito) principais direções de fraturamento definidos para a região de estudo (Tabela 3.1).

#### 3.2. CARACTERIZAÇÃO FOTOGEOLÓGICA DO EMBASAMENTO CRISTALINO.

##### 3.2.1. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA.

Sendo o Embasamento Cristalino considerado como uma única unidade litoestratigráfica, verificase no campo um relacionamento entre o tipo litológico e as acentuadas variações morfológicas presentes na área de estudo. Sabendo que nas imagens TM/LANDSAT-5, áreas que apresentam com relevo montanhoso e

**Tabela 2.8.** ESTRUTURAS E COMBINAÇÕES, SEGUNDO ORDEM DE PRIORIDADE.

Elementos Estruturais		Cruzamentos				III	Estruturas Individuais		
		I	Sistemas Conjugados	II	Sistemas				
A	Abertos (A)	1	FeixexFeixe	1	Feixe x Feixe	1	Feixes		
				2	Feixe x Lineamento(S)				
		2	FeixexLineamento(S)	3	Lineamento x Lineamento(S)			2	Lineamentos
				4	Feixe x Descontinuidade				
				5	Lineamentosx Descontinuidade				
B	Híbridos (H)	1	Feixe(A) x Lineamento(S)(F)	1	Feixe(A) x Lineamentos(F)				
		2	Feixe(F) x Lineamento(S)(A)	2	Feixe(A) x Feixe (F)				
		3	Feixe(A) x Feixe(F)	3	Lineamento(A)xLineamento (F)				
		4	Lineamento(A) x Lineamento (F)	4	Feixe (F) x Lineamento (A)				
C	Fechados (F)	1	Lineamento(S) x Lineamento(S)	1	Lineamentos X Lineamentos	1	Feixes		
				2	Feixe x Lineamentos				
		2	Feixes x Lineamento(S)	3	Feixe x Feixe			2	Lineamentos
				4	Feixe x Descontinuidade				
				5	Lineamentosx Descontinuidade				
3	Feixe x Feixe								

Obs.:

1.Considerar como descontinuidade as discordâncias litológico-estruturais, excluindo falhas;



2. Observar a permeabilidade quanto à porosidade ou densidade de elementos estruturais;
3. Verificar a tendência de fluxo de água, se concordante ou discordante às estruturas.

Fonte: Modificada de **SAMPAIO (1987)**.

**Tabela 3.1.** RELAÇÃO ENTRE AS DIREÇÕES DE FOLIAÇÃO DAS ROCHAS DO EMBASAMENTO CRISTALINO E AS DIREÇÕES DE FRATURAMENTOS DEFINIDOS NA REGIÃO DE ESTUDO.

FOLIAÇÃO	DIREÇÃO DE FRATURAMENTO
NS±5°	NS±5°
EW±5°	EW±5°
N20°E ±5°	N20°E ±5°
N40°E ±5°	N40°E ±5°
N65°E ±5°	N65°E ±5°
N25°W ±5°	N25°W ±5°
N35°W ±5°	N35°W ±5°
N60W° ±5°	N60W° ±5°

fortemente dissecado, correspondem no campo à ocorrências de rochas granitóides. As áreas que nas imagens apresentam-se com relevo ondulado menos dissecado, correspondem no campo à ocorrências de gnaíesses e migmatitos.

A relação direta entre a foliação das rochas do Embasamento Cristalino com as direções de fraturamento, possivelmente indicam o desenvolvimento de dobras de arrasto associadas aos falhamentos.

### 3.2.2. DIFERENCIAÇÃO DAS TONALIDADES DOS NÍVEIS DE CINZA.

As tonalidades de cinza das imagens multiespectrais do satélite TM/LANDSAT-5 são resultantes da interação da energia eletromagnética com a cobertura vegetal, com as áreas de solos ou rochas expostas, com o teor de umidade da superfície (solos e vegetação) etc. Tanto nas imagens do visível como do infravermelho refletido as rochas do Embasamento Cristalino apresentam-se em tonalidades que variam de cinza médio ao cinza médio-escuro, sendo que em áreas de ocorrência dos granitóides apresentam-se em tonalidade cinza mais clara que as áreas dos gnaíesses e migmatitos.

### 3.3. QUATERNÁRIO.

As aluviões do Quaternário distribuídas ao longo dos rios, caracterizam-se morfologicamente pelo aspecto tonal cinza claro e textura variando de fina a média, em contraste com as tonalidades mais escuras do Embasamento Cristalino.

### 3.4. ANÁLISE DE FRATURAMENTO.

A análise dos Feixes de Fraturas possibilitou a definição dos alinhamentos da área de estudo, que foram interpretados, tomando como suporte dados bibliográficos e de campo. A partir deste estudo foram definidos importantes elementos estruturais, como fraturas e falhamentos diversos para as 8 (oito) principais direções de fraturamento condicionantes do processo evolutivo da região, descritas a seguir:

- **NS±5°** - Caracteriza a direção de falhas de empurrão (?) de alto ângulo de mergulho (vertical a subvertical), a foliação gnaíssica e cataclástica e fraturamentos e eixos de dobras associadas.
- **EW±5°** - Direção que caracteriza as falhas de rejeito direcional, conjugadas com falhas de gravidade e as foliações gnaíssicas e cataclásticas e fraturamentos e eixos de dobras associadas.
- **N20°E±5°** - Caracteriza a direção de falhas de empurrão (?) de alto ângulo e eixos de dobras e a foliação gnáissica e cataclástica e fraturamentos e eixos de dobras associadas.
- **N40°E±5° e N35°W±5°** - Direções que caracterizam as falhas de rejeito direcional conjuntas com falhas de gravidade e a foliação gnáissica e cataclástica e fraturamentos e eixos de dobra associadas.
- **N65°E±5° e N60°W±5°** - Direções que caracterizam as falhas de rejeito direcional conjugadas com falhas de gravidade e a foliação gnáissica e cataclástica e fraturamento e eixos e dobras associadas.
- **N25°W±5°** - Caracteriza direção de falhas de rejeito direcional conjugadas com falhas de gravidade e a foliação gnáissica e cataclástica e fraturamentos e eixos de dobras associadas.

No processo da análise de fraturamento foram definidos os Feixes de Fraturas, segundo as direções acima descritas, verificando-se que o maior número de feixes de fraturas está relacionado com as direções N65°E±5° e N40°E±5° e o menor número de feixes de fraturas com as direções N35°W±5° e EW±5°.

A relação das interseções dos feixes de fraturas após analisados, não indicou deslocamentos relativos de maiores proporções, nem impedimentos ou mesmo mudanças importantes nas direções.

### 3.5. ANÁLISE QUANTITATIVA DOS FOTOLINEAMENTOS.

A partir da análise do Mapa dos Eixos de Máximos de Freqüência de Fraturas, foram obtidas as seguintes informações:

- **NS±5°** - Os eixos de máximos de freqüência de fraturas orientam-se em sua maioria segundo as direções N60°W±5°, N20°E±5° e N65°E±5°. Em alguns locais os eixos de máximos de freqüência também orientam-se segundo as direções EW±5°, NS±5° e N35°W±5°.
- **EW±5°** - Os eixos de máximos de freqüência de fraturas orientam-se preferencialmente segundo as direções EW±5° e NS±5°. Em alguns pontos os eixos de máximos de freqüência de fraturas orientam-se pelas direções N35°W±5°, N20°E±5° e N65°E±5°.
- **N20°E±5°** - Os eixos de máximos de freqüência de fraturas orientam-se preferencialmente pelas direções N65°E±5° e NS±5°. Em alguns locais os eixos de máximos de freqüência também são orientados segundo as direções preferenciais EW±5° e N35°W±5°.
- **N40°E±5°** - Os máximos de freqüência de fraturas orientam-se preferencialmente no sentido EW±5° e N40°E±5°. Em alguns pontos dos eixos de máximos de freqüência de fraturas estão orientados segundo as direções NS±5°, N25°W±5° e N60°W±5°.
- **N65°E±5°** - Os eixos de máximos de freqüência de fraturas orientam-se preferencialmente pela direção EW±5°. Em alguns locais os eixos de máximo de freqüência são orientados segundo as direções NS±5°, N35°W±5° e N20°E±5°.
- **N25°W±5°** - Os eixos de máximos de freqüência de fraturas orientam-se preferencialmente pelas direções N40°E±5° e N65°E±5°. Em alguns pontos os eixos de máximos de freqüência de fraturas estão orientados segundo as direções NS±5°, EW±5° e N35°W±5°.
- **N35°W±5°** - Os máximos de freqüência de fraturas orientam-se preferencialmente no sentido EW±5°, NS±5° e N35°W±5°. Em alguns pontos dos eixos de máximos de freqüência de fraturas estão orientados segundo as direções N40°E±5°, N65°E±5° e N60°W±5°.

- **N60°W±5°** - Os eixos de máximos de frequência de fraturas orientam-se preferencialmente pelas direções N40°E±5° e NS±5°. Em alguns pontos os eixos de máximos de frequência de fraturas estão orientados segundo as direções EW±5°, N40°E±5° e N35°W±5°.

### 3.6. ANÁLISE QUALITATIVA DOS FOTOLINEAMENTOS.

Foi realizada a Análise Qualitativa dos Fotolineamentos tomando por base as informações sobre quantidade e frequência de ocorrência de fraturas, obtidas em imagens TM/LANDSAT-5 e medidas de campo ( Tabela 3.6.), para as 8 (oito) direções preferenciais de fraturamento. A análise foi feita para a área total e cada uma das 4 (quatro) sub-áreas, sendo estas denominadas de nordeste(NE), noroeste(NW), sudeste(SE) e sudoeste(SW), com o objetivo de definir possíveis sub-regiões de maior concentração de fraturas, segundo as direções predominantes dos esforços.

As diferenças entre as intensidades de ocorrência de fraturas no campo e nas imagens TM/LANDSAT-5, segundo as direções de esforços definidas, possivelmente estão relacionadas com o número de afloramentos visitados, com o forte controle estrutural que a direção pode exercer sobre a(s) outra(s) e

com a presença de um grande número de propriedades agrícolas, o que dificultou a extração na imagem de dados de interesse para a pesquisa.

A Análise Quantitativa dos Fotolineamentos mostrou que, tanto nas imagens TM/LANDSAT-5 como no campo, as 08(oito) direções de fraturamento possuem uma ocorrência praticamente homogênea, registrando-se apenas uma maior variação dos dados obtidos em relação às direções N25°W±5°, N35°W±5° e N20°E±5°. No campo constatou-se que as ocorrências dos fotolineamentos no campo das direções NS±5°,

EW±5°, N20°E±5°, N40°E±5° e N60°W±5° são mais altas que nas imagens. Verifica-se também uma diminuição destas ocorrências em relação às imagens nas direções N25°W±5° e N35°W±5°; e um equilíbrio na quantidade de informações na direção N65°E±5°.

Analisando os diagramas de rosáceas, elaborados com dados de imagens (**Mapa de Integrado - Anexo** ) para toda área de estudo e suas sub-áreas, verifica-se que as ocorrências de fraturas predominam nas direções N40°E±5°, N65°E±5° e EW±5°. O mesmo também verificando-se, com os dados obtidos em campo.

A integração dos dados da fotoanálise possibilitou a definição de falhamentos associados às 8 (oito) direções de esforços, que atuaram na região de estudo. Para análise destes falhamentos, considerando que estes se desenvolveram na região de

influência das zonas de cisalhamento nos lineamentos de Patos e de Pernambuco, utilizou-se o modelo de RIEDEL (1929) apresentado por VIALON et al (1976) e modificado por SADOWSKI (1983) .

SADOWSKI op. cit. definiu para o modelo de RIEDEL as famílias de fraturas X e Y, onde X são fraturas simétricas a R' em relação a zona de cisalhamento e Y são fraturas paralelas a zona de cisalhamento.

A análise das relações dos fotoalinhamentos, mostrou em determinadas áreas da região de estudo indícios de transcorrências, definidas pelos elementos texturais de relevo e drenagem identificados nas imagens TM/LANDSAT-5.

Utilizando o modelo de RIEDEL (1920) com as modificações de SADOWSKI (1983) , verifica-se na região de

estudo que os fotoalinhamentos que apresentam evidências de movimentação horizontal, guardam entre si

uma relação angular, semelhante àquela apresentada nos modelos citados. Esta análise teve como resultado a definição de duas zonas de cisalhamento para a zona de estudo.

**Uma zona dextral de direção EW** em que foram definidos os falhamentos:

- Y1 – falhas de rejeito direcional dextral, conjugadas com falhas de gravidade de direção  $EW \pm 5^\circ$  paralela a sub-paralela à direção dos lineamentos de Pernambuco e de Patos de direção EW. Esta direção exerce um acentuado controle na drenagem da região de estudo;
- X1 – falhas de rejeito direcional de alto ângulo com direção próxima a  $N20^\circ E \pm 5^\circ$ ;

**TABELA 3.6. QUANTIDADE E FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIAS DAS FRATURAS (IMAGEM/CAMPO).**

DIREÇÕES		ÁREA TOTAL		SUB-ÁREA NORDESTE (NE)		SUB-ÁREA SUDOESTE (SW)		SUB-ÁREA NOROESTE (NW)		SUB-ÁREA SUDESTE (SE)	
		IMAGEM	CAMPO	IMAGEM	CAMPO	IMAGEM	CAMPO	IMAGEM	CAMPO	IMAGEM	CAMPO
NS $\pm 5^\circ$	Q.F.	2178	789	780	400	404	103	521	159	473	127
	F.F.%	11,95	13,08	11,51	14,64	11,69	10,49	10,61	14,59	15,27	10,35
EW $\pm 5^\circ$	Q.F.	2358	968	701	407	480	78	695	220	482	263
	F.F%	12,93	16,35	10,34	14,89	13,89	7,94	14,16	20,18	15,56	21,43
N20°E $\pm 5^\circ$	Q.F.	1656	696	679	237	305	160	394	211	278	88
	F.F%	9,08	11,54	10,02	8,67	8,83	16,29	8,03	19,35	8,97	7,17
N40°E $\pm 5^\circ$	Q.F.	2991	1027	1082	497	709	217	759	129	441	184

	F.F%	16,40	17,03	15,97	18,19	20,52	22,10	15,47	13,83	14,24	14,99
<b>N65°E±5°</b>	Q.F.	3035	1021	1626	450	507	157	688	178	214	236
	F.F%	16,65	16,93	24,00	16,43	14,67	15,99	14,02	16,33	6,91	19,23
<b>N25°W±5°</b>	Q.F.	2193	476	792	264	318	65	652	95	431	52
	F.F%	12,03	7,89	11,69	9,66	9,20	6,62	13,29	8,71	13,91	4,23
<b>N35°W±5°</b>	Q.F.	2013	368	639	164	321	98	660	34	393	72
	F.F%	11,04	6,10	9,43	6,00	9,29	9,97	13,45	3,11	12,69	5,86
<b>N60°W±5°</b>	Q.F.	1809	686	476	313	411	104	537	64	385	205
	F.F%	9,92	11,37	7,02	11,45	11,89	10,59	10,94	5,87	12,43	16,70

Q.F. – quantidade de fraturas;

F.F.% – frequência percentual de fraturas.

- R'1 – falhas de rejeito direcional sinistrais conjugadas com falhas de gravidade de direção aproximada a N25°W±5°;
- P1 – falhas de rejeito direcional destrais conjugadas com falhas de gravidade, de direção N65°E±5°, paralelas a subparalelas à falha do Congo, a SE da área de estudo;
- R1 – falhas de rejeito direcional destrais conjugadas com falhas de gravidade de direção N60°W±5°;
- T1 – falha de tração aproximada N35°W±5°, formando um ângulo de ± 30° com R1 e ocupa posição paralela a P2. Também paralela a esta direção, encontra-se disposto o enxame de diques de composição diversa, desde dacitos até granitos finos (RADAMBRASIL, 1983) à leste de Sumé. Para este sistema Y1 de cisalhamento, a direção principal de esforços  $\sigma_1$  foi de N60°W±5° para SE;

**A Segunda zona de cisalhamento de direção próxima a N60°W±5° tem caráter sinistral**, oposto ao caráter dextral dos sistema EW. Os seguintes falhamentos estão associados a este sistema de cisalhamento:

- Y2 – falhas de rejeito direcional sinistral, conjugadas com falha gravitacional, paralela a N60°W±5°;
- R2 – falhas de rejeito direcional sinistrais conjugadas com falhas gravitacionais de direção EW±5° (subparalelas ao lineamento de Patos) e sintéticas a Y2;
- R'2 – falhas de rejeito direcional destrais, conjugadas com falhas de gravidade de direção aproximada a N40°E ±5°;

- T2 – falha de tração com direção próxima a  $N65^{\circ}E\pm5^{\circ}$  formando um ângulo de  $30^{\circ}$  com R'2 e ocupa posição paralela a P1;
- P2 – falhas de rejeito direcional sinistrais, conjugadas com falhas de gravidade, de direção aproximada a  $N35^{\circ}W\pm5^{\circ}$ , é paralela a T1 e simétrica a R2;
- X2 – falha inversa de alto ângulo de direção próxima a  $NS\pm5^{\circ}$ ;

Para a zona Y2 de cisalhamento a direção principal de esforços  $\sigma_1$  foi de E para W.

Todas as direções relacionadas com os falhamentos (de ambas as zonas de cisalhamento identificadas), foram estudadas no campo. Além de indícios de movimentos horizontais, tanto destrais como sinistrais, foram observados também indícios de movimentos verticais, relacionados a falhamentos normais. Quanto às falhas inversas de alto ângulo (falhas X1 e X2), praticamente não foi possível identificá-las no campo, devido ao tempo a por apresentarem-se praticamente verticalizadas. De uma maneira geral, as direções  $NS\pm5^{\circ}$  e  $N25^{\circ}E\pm5^{\circ}$  são definidas como direções de falhas e fraturas fechadas resultantes de esforços compressivos e as direções  $N35^{\circ}W\pm5^{\circ}$  (T1) e  $N65^{\circ}E\pm5^{\circ}$  (T2) representam as principais direções de desenvolvimento de fraturas e falhas abertas como resultantes dos esforços distensivos. Às falhas Y, P, R e R' também associam-se falhas de gravidade (elementos abertos) e zonas cataclásticas (milonitizadas).

### **3.7. ANÁLISE DA ASSIMETRIA DE RELEVO E DA REDE DE DRENAGEM .**

A análise da assimetria do relevo e rede de drenagem forneceu elementos determinantes para o traçado das linhas de tendência de fluxo da água subterrânea.

### **3.8 ÁREAS FAVORÁVEIS À PESQUISA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.**

De acordo com a Tabela 2.2. foram delimitadas no **Mapa Integrado (Anexo )** as áreas favoráveis à pesquisa de água subterrânea, utilizando os princípios de SAMPAIO (1987), segundo os elementos estruturais abertos , híbridos ou fechados.

#### **3.8.1. ELEMENTOS ESTRUTURAIS ABERTOS E HÍBRIDOS.**

- **ÁREA 1** – do tipo AI3, está localizada na comunidade de Barra, município de Prata (PB). Caracteriza-se pelo cruzamento lineamentos x lineamentos de direções próximos a P2 e R'2, também associado ao lineamento R'2 existe a presença de um feixe de fraturas de mesma direção;

- **ÁREA 2** – do tipo BI1, está localizada na região entre Matarina e a comunidade de José Antônio (Prata –PB). Caracteriza-se pelo cruzamento dos feixes R'2 x X1, observando-se também a presença de lineamentos R'2, R'1 e X2;
- **ÁREA 3 e 4** – do tipo AI3 , encontra-se na comunidade Gregório (Sumé-PB). Ambas caracterizam-se pelo cruzamento lineamento x lineamento do tipo Y1 e R'2;
- **ÁREA 5** – do tipo BI2 está localizada na localidade Cacimba do Meio (Sumé-PB), caracterizando-se pelo cruzamento feixe(s) x lineamento(s), sendo a feixe do tipo X2 e os lineamentos dos tipos R'2 e Y1;
- **ÁREA 6** – do tipo BI2 está localizado no município de Amparo, mais precisamente na comunidade de Lagoa do Meio. Caracteriza-se pelo cruzamento feixe(s) x lineamento(s), sendo os tipos de feixes X1 e R1 e os lineamentos do tipo R1;
- **ÁREA 7** – do tipo AI3 localizada a norte da Fazenda São Paulo (Ouro Velho - PB). Caracteriza-se pelo cruzamento lineamento(s) x lineamento(s) dos tipos R1, R'1 e X1. Nesta área existe um poço com uma profundidade de 24,8m, vazão de 4000 l/h e água de ótima qualidade, locado sobre o lineamento N25°W±5°;
- **ÁREA 8** - do tipo BI3 está localizada na propriedade Pedro da Costa (Sumé-PB), caracterizando-se pelo cruzamento feixe(s) x feixe(s) dos tipos X2 e T2, estando associado ao feixe X2 lineamentos do tipo T2;
- **ÁREA 9** – do tipo AI2 localizada nas imediações da comunidade Carnaúba ( Sumé -PB), caracteriza-se pelo cruzamento feixe(s) x lineamento(s), sendo o feixe de fraturas do tipo R'2 e os lineamentos dos tipos T1 e T2;
- **ÁREA 10** – do tipo BI4, está localizada na comunidade Riachão Novo (Sumé-PB). Caracteriza-se pelo cruzamento lineamento(s) x lineamento(s) dos tipos X1, T2 e P2. Existe nesta área um poço Dom profundidade de 49m e vazão de 14400 l/h;
- **ÁREA 11** – do tipo BI1, localizada na comunidade Riachão Velho (Sumé-PB). Caracteriza-se pelo cruzamento feixe(s) x lineamento(s), sendo o feixe do tipo T1 e os lineamentos dos tipos Y1 e X1;
- **ÁREA 12** – do tipo AI1 estando localizada a sul da cidade de Amparo (PB). Caracteriza-se pelo cruzamento feixe(s) x lineamento(s), sendo o feixe do tipo T2 e o lineamento T1;



- **ÁREA 13** - do tipo AI1, está localizada na propriedade Serrote Agudo (Amparo- PB). Caracteriza-se pelo cruzamento feixe(s) x feixe(s), onde dois feixes paralelos apresentam-se do tipo T2 e o outro R'1;
- **ÁREA 14** – do tipo AI2 com cruzamento de feixe (T2) x lineamento (R'2), localizada a sudoeste da comunidade Xinxo a sul da cidade de Sumé;
- **ÁREA 15** – do tipo BI1 com cruzamento de feixe (T2) x 03 lineamentos (R'2), 02 fechados (X2), 01 aberto(T1), localizado a noroeste da propriedade Riacho Fundo a sudeste da cidade de Sumé;
- **ÁREA 16** – do tipo AI2 com cruzamento de feixe aberto (T2) x lineamento aberto (T2) x 01 lineamento (R'2), localizada a sudoeste da comunidade Alexandria, como também da cidade de Sumé;
- **ÁREA 17** – do tipo AI2 com cruzamento de feixe (T2) x 01 lineamento (T1), 02 lineamentos R'2 e 01 lineamento R'1, localizado na comunidade Olho d'água a sudoeste da cidade de Sumé;
- **ÁREA 18** – do tipo AI2 com cruzamento de feixe (T1) x 01 lineamento aberto (T2), localizada a leste da comunidade Carnaúba no município de Sumé;
- **ÁREA 19** – do tipo BI1 com cruzamento de feixe (T2) x 02 lineamentos (T2), 01 (P2) e 01 (X1), localizado no distrito de Pio X, município de Sumé;
- **ÁREA 20** – do tipo AI2 com cruzamento de feixe aberto (P1) x 01 lineamento (P1) e outro R'1, localizado a noroeste da propriedade Pocinhos, município de Amparo;
- **ÁREA 21** – do tipo BI1 com cruzamento de feixes (Y2) e (X2) x lineamentos 01(T1) e 01 (Y2), localizado na propriedade Pedro II, município de Amparo;
- **ÁREA 22** – do tipo AI1 com cruzamento de feixes (T1 x Y1) com lineamentos (P1 x R1), na Lagoa do Luiz no município de Ouro Velho;
- **ÁREA 23** - do tipo AI1 com cruzamento dos feixes (Y1) x lineamentos (P1), nas imediações da comunidade Boa Vista dos Barões, no município de Prata;
- **ÁREA 24** – do tipo AI3 com cruzamento dos lineamentos (Y1 X P1 X Y2), na localidade Limão, município de Monteiro;
- **ÁREA 25** – do tipo AI3 com cruzamento dos lineamentos ( T1 X R1 X R2 ), na localidade Pocinhos, município de Monteiro;
- **ÁREA 26** – do tipo AI3 com cruzamento dos lineamentos (T2 X T1 R'1 X R2), nas imediações da localidade Varzinha, município de Monteiro;

- **ÁREA 27** – do tipo AI2 com cruzamento de feixe (R2) x lineamentos P2 e R'2, na localidade Baixa do Sílvio em Monteiro;
- **ÁREA 28** – do tipo AI2 com cruzamento feixe (Y2) x lineamentos (T2 + Y2 + R2), na localidade de Santana à Nordeste da cidade de Monteiro;
- **ÁREA 29** – dos tipos AI1, tendo o cruzamento dos feixes (R1' , P1 e R2) x lineamentos (P1, R1' e R2), na região denominada Curupatí, a Noroeste de Camalaú;
- **ÁREA 30** – do tipo AI2 com cruzamento de feixe P1 x lineamentos R1'e P1, também na região de Curupatí;
- **ÁREA 31** – do tipo AI2 com cruzamento de feixe P1 x lineamento R1, na propriedade rural do São Gonçalo, a noroeste de Camalaú;
- **ÁREA 32** – do tipo BI1 com cruzamento de feixe R2 x com os lineamentos R2, R1', P2 e X'1, na localidade de Alastrado à Oeste de Camalaú;
- **ÁREA 33** – do tipo BI4 cruzamento dos lineamentos R2', P2 e X1, na localidade Pinheiro, a oeste de Camalaú;
- **ÁREA 34** – do tipo BI3 com cruzamentos dos feixes X1 e R'2 x lineamentos X1 e 4R'2, localizada a noroeste da cidade de Prata;
- **ÁREA 35** – do tipo AI2 com o cruzamento de feixe R'2 x feixes R'2, localizada na comunidade de Água Branca ao sul do Açude da Bonita (Monteiro (PB));
- **ÁREA 36** – do tipo BI1 com cruzamento do feixe P2 x feixe R2 x lineamentos 2R2 e 2 X2, na localidade Juazeiro Queimado, a noroeste de Amparo;
- **ÁREA 37** – do tipo AI2, com ocorrência de cruzamento do feixe T1 x feixe Y1 x lineamentos 3 Y1 e R'1, na localidade Humaitá a noroeste de Mundo Novo;
- **ÁREA 38** – do tipo AI2, com o cruzamento do feixe T1 x feixe P1 x lineamentos Y1, T1 e P1, na região de Várzea Torta, a leste de Riacho do Meio (PE);
- **ÁREA 39** – do tipo AI2, com o cruzamento de feixes T1 x P1, como também dos lineamentos Y1, T1 e P1, localizado a norte da Lagoa do Cupim a leste de Riacho do Meio (PE);
- **ÁREA 40** – do tipo AI2 com o cruzamento do feixe P1 x lineamentos R1' e Y1, na comunidade denominada Nova à leste de Riacho do Meio (PE);

- **ÁREA 41** – do tipo AI1 associado com AI2, com o cruzamento dos feixes R2' e P2, como também dos lineamentos 2 (R'2), T2 e 2 (P2), localizado na comunidade Buraco à noroeste de Tuparetama (PE) ;
- **ÁREA 42** – do tipo AI2 com cruzamento do feixe R2 x lineamentos R2, 2 (R1') e P1, localizado nas imediações norte da cidade de Tuparetama (PE);
- **ÁREA 43** – do tipo AI2, com o cruzamento dos feixes 2 (T2) x P2, como também com os lineamentos 2(T2) x 2(P2), localizado na comunidade Riacho dos Bois, estando esta a sudoeste de Tuparetama (PE);
- **ÁREA 44** – do tipo AI2, com o cruzamento dos feixes R1' x Y1, como também dos lineamentos P1 x 2 ( R1' ) , estando este localizado na comunidade Xique-xique a sudoeste de Bonfim (PE);
- **ÁREA 45** – do tipo AI2 com o cruzamento do feixe R1' x lineamentos 2 (Y1), na localidade Catingueira situada a nordeste de Jabitacá;
- **ÁREA 46** - do tipo AI1 com o cruzamento dos feixes P1 x 2(P2), na comunidade Sabino a oeste de Santa Rita (PE);
- **ÁREA 47** – do tipo AI2 com o cruzamento do feixe R1' x lineamentos 2(T2) e R1' na comunidade Várzea do Sítio a noroeste de Jabitacá (PB);
- **ÁREA 48** – do tipo AI2 com o cruzamento do feixe T2 x lineamentos R1'e T2, localizado a oeste da comunidade Tabuada, estando esta a noroeste de Jabitacá;
- **ÁREA 49** – do tipo AI3 com o cruzamento dos lineamentos P1 x R1 , na Lagoa das Bestas a sudeste de Bonfim (PE);
- **ÁREA 50** – do tipo AI2 com o cruzamento do feixe R2'x lineamentos 2(T2) e Y2, no açude novo a sudoeste de Santa Rita (PE);
- **ÁREA 51** – do tipo AI2 com o cruzamento do feixe R2' x lineamento Y2, em Carnaúba a sudeste de Jabitacá (PB);
- **ÁREA 52** – do tipo AI2 com o cruzamento do feixe R2' x lineamentos 2 (R2') e P2, na comunidade Caroá a oeste de Olho d'água do Silva (PB);
- **ÁREA 53** – do tipo AI2 com o cruzamento de feixe T1 x lineamento R2'a sudeste de Jabitacá (PB);
- **ÁREA 54** – do tipo AI2 com o cruzamento de feixe Y2 x 2 lineamentos T2, na comunidade Mulungú, esta a sul de Jabitacá (PB);
- **ÁREA 55** – do tipo AI3 com o cruzamento dos lineamentos T2 x Y2 x R2, na localidade Baixa do Riacho Verde a sul de Jabitacá (PB).

- **ÁREA 56** – do tipo AI2 com o cruzamento de feixe (R2) x lineamentos R2 e R1, localizada a norte do Distrito de Mundo Novo (PE).

Em uma análise dos elementos acima apresentados, verifica-se o seguinte: dentre as estruturas abertas, a mais encontrada foi o cruzamento do tipo AI2 (feixe(s) x lineamento(s)), representando 47,3% com 26 ocorrências sobre o total de 55 cruzamentos; os cruzamentos feixes x feixes(AI1) assim como os lineamentos x lineamentos (AI3), ocorreram 8 vezes cada representando 14,5% com relação ao total dos cruzamentos. Entre as estruturas híbridas, a com maior índice de ocorrência foi a do tipo BI1(feixe(A) x lineamento(F)) atingindo 12,7% , seguida de uma distribuição uniforme de 3,6% para as restantes, ou seja, BI2, BI3 e BI4.

As principais direções com maiores possibilidades de ocorrência na área de estudo, quanto a concordância com a tendência de fluxo da águas subterrâneas, são:

- $N40^{\circ}E\pm 5^{\circ}$  e  $N65^{\circ}E\pm 5^{\circ}$  representam respectivamente 16,9% das direções presentes nos cruzamentos;
- $EW\pm 5^{\circ}$  representa 12,74% das direções presentes nos cruzamentos;
- $NS\pm 5^{\circ}$  e  $N25^{\circ}W\pm 5^{\circ}$  representam respectivamente 11,75% das direções presentes nos cruzamentos;
- $N35^{\circ}W\pm 5^{\circ}$  representa 11% das direções presentes nos cruzamentos;
- $N60^{\circ}W\pm 5^{\circ}$  representa 9,9% das direções presentes nos cruzamentos;
- $N20^{\circ}E\pm 5^{\circ}$  representa 9% das direções presentes nos cruzamentos.

Partindo-se das informações obtidas no decorrer deste trabalho, verifica-se que as melhores áreas para a pesquisa de água subterrânea na região de estudo, estão relacionadas principalmente com estruturas distensivas e/ou compressivas com alívio, nas seguintes direções:  $N40^{\circ}E\pm 5^{\circ}$ ,  $N65^{\circ}E\pm 5^{\circ}$  e  $N35^{\circ}W\pm 5^{\circ}$ .

#### **4. CONCLUSÕES**

1. A utilização das imagens TM/LANDSAT-5, aliadas às informações bibliográficos preexistentes e dados obtidos em campo, são de grande importância no estudo de águas subterrâneas em regiões assentadas em Embasamento Cristalino;
2. A análise dos fotolineamentos e fotoalinhamentos definiu duas zonas de cisalhamento: uma de caráter dextral, de direção geral EW, paralela à subparalela aos lineamentos de Patos e de Pernambuco; e outra de caráter sinistral de direção próxima à

N60°W . A importância destes dados está no fato de que a partir dessa análise, utilizando-se o modelo de RIEDEL para zonas de cisalhamento, foi possível identificar as direções N20°E±5° e NS±5°, como de estruturas compressivas ( falhas inversas de alto ângulo);

3. A análise qualitativa e quantitativa dos fotolineamentos e a análise de feixes de fraturas mostraram que as 08 (oito) direções analisadas são muito antigas, contemporâneas, poliativas e que podem ser consideradas como parte de um mesmo evento tectônico. Elas exerceram um papel importante na história evolutiva da região de estudo desde os tempos Pré-Cambrianos até o Fenerozóico Superior, fato evidenciado pela coincidência das direções das fraturas (juntas) e da foliação das rochas, avaliadas em campo;

4. As imagens TM/LANDSAT-5 no estudo hidrogeológico regional podem ser consideradas como uma excelente ferramenta que permite, em prazo relativamente reduzido, a obtenção de informações sobre áreas mais favoráveis à pesquisa de águas subterrâneas;

5. Para as áreas selecionadas neste trabalho é recomendado que se faça um trabalho detalhado em escalas maiores, que envolva a análise de todos os elementos que definem as áreas favoráveis à pesquisa de águas subterrâneas, inclusive as linhas de tendência de fluxo;

6. A coincidência de vazões em algumas áreas definidas para a pesquisa de águas subterrâneas neste trabalho, serem verificadas acima da média nos poços profundos da região, mostra a validade dos critérios utilizados para definição das mesmas;

7. A análise de fraturamento mostrou que as principais direções que devem ser levadas em consideração na pesquisa de águas subterrâneas são N65°E±5° e N35°W±5° (direções distensivas), e as falhas N40°E±5° e N25°W±5° (direção de falhas de rejeito direcional, conjugadas com falhas de gravidade em processo de alívio) .

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

**ALIYEV**, A .; 1980. Regional Fracturing of the Pamirs an it's Metallogenic Significance. In: DOHLADY AKADEMIY NAUK , SSSR. V. 250:90-93, Moscow.

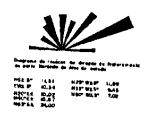
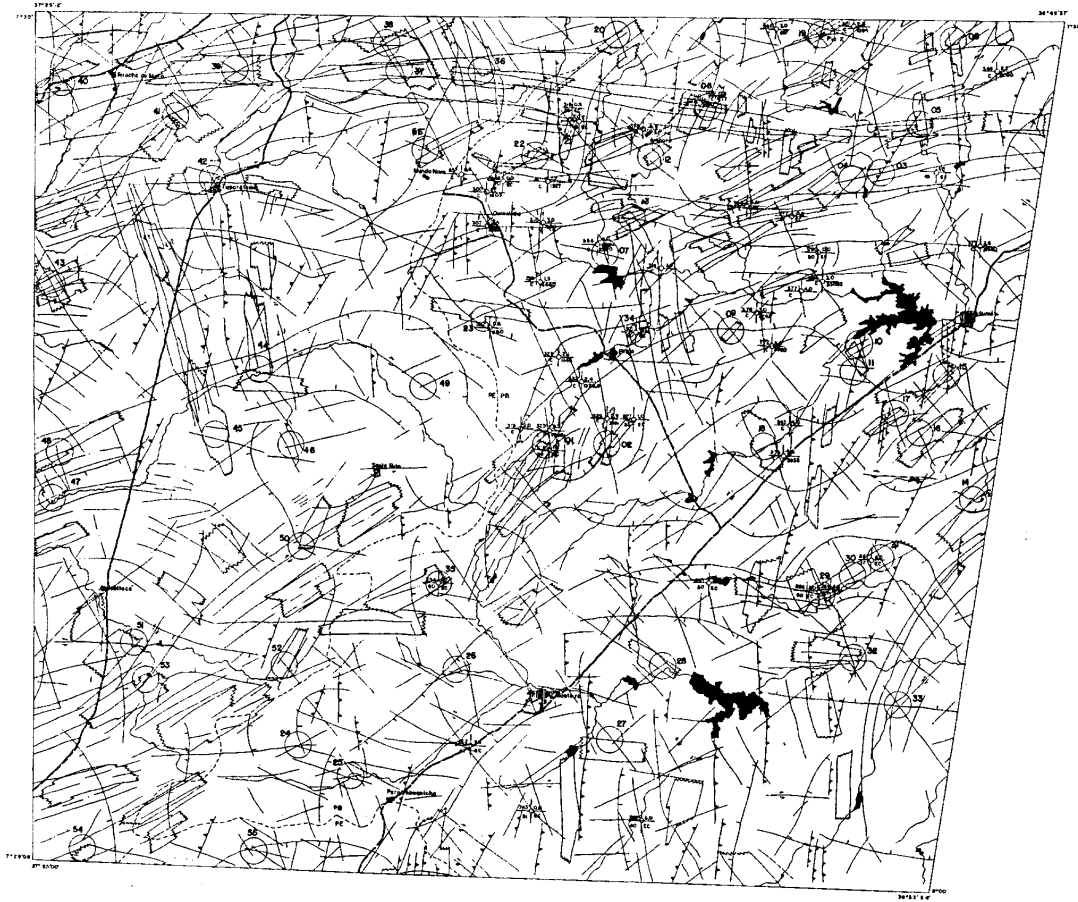
**BARBOSA**,M. P.; **SANTOS**, A . R. ; **ANJOS**, C. E. ; **MOREIRA**, J. C. ; **VENEZIANI**, P. 1982. LANDSAT and Radar Mapping Intrusive Rocks- Brasil. XVI International Symposium on Remote Sensing of Environment. Buenos Aires. Jun. 2-9.

**BARBOSA**,M. P.; 1988. Estudo do Relacionamento Genético de Feições Geológicas na Região do Espinhaço Meridional e adjacências (MG). USP. São Paulo. (Tese de Mestrado).

- BRASIL** M. A . / E.P.E-SUDENE/DRM. 1972. Levantamento Exploratório: Reconhecimento do Solos do Estado da Paraíba. M.A . / CONTAP/ USAID / BRASIL. Rio de Janeiro.
- CDRM**; 1985. Cadastro de Poços da Paraíba. Divisão de Hidrogeologia e Sondagem. C. Grande- PB.
- FRANGIPANI**, A . ; Revisão da Literatura Internacional sobre Água Subterrânea em Rochas Fraturadas. I Simpósio Nacional de Águas Subterrâneas em Rochas Fraturadas. Agosto, Belo Horizonte – MG.
- GUEDES**, F. X. ;1993. Aplicação de Dados Sensores Remotos de Baixa Resolução Espacial, na Pesquisa de Água Subterrânea. Tese de Mestrado. Campina Grande. UFPB.
- MELLO**, A . A . de; 1984. O Padrão de Falhamento do Nordeste Oriental e Algumas Tentativas de Interpretação. Anais XXXIII Cong. Bras. de Geolog. Rio de Janeiro. p.1743.
- NORTHFLEET**, A . A . ; **BETTINI**, C. **CHAVES**, H. A . F.; 1971. Aplicação geomatemática à prospecção de petróleo. Análise de fraturas por polinômios ortogonais. Cong. Bras. Geol. 25. Anais. São Paulo.
- PLICKA**, M.; 1984. Observations on joint zones in Maravia Czechoslovaquia. IN: Proceedings of the first international conference on the new basement tectonics. Uthah Public. 5:279-289. USA.
- REBOUÇAS**, A . C.; 1975. Algumas Considerações sobre a Hidrogeologia nos Terrenos Cristalinos do Nordeste Brasileiro. SUDENE/b. Rec. Nat. Recife – v. 3, p. 1-184.
- REIDEL**, W.; 1929. Zur Mechanik Geologischer Brucherscheinunger Central bl. F. Min. Geol. Und Pal. V. 8:354-368.
- RICCI**, M.; **PETRI**, S.; 1965. Principios de aerofotogrametria e interpretação geológica. Co. Edit. Nacional. São Paulo. 226 p.
- RIVERAU**, J. C.; 1972. Notas de aula do curso de fotointerpretação. Sociedade de Intercambio Cultural e Estudos Geológicos. XI Semana de Estudos . Ouro Preto – MG.
- SADOWSKI**, G. R.; 1983. Estudo sobre a Geologia de Cinturões de Cisalhamento Continentais. USP. São Paulo. 108 p. (Tese de Doutorado).
- SADOWSKI**, G. R.; 1984. Estudo da Arte do tema: Geologia Estrutural de Grandes Falhamentos. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 33. Anais. Rio de Janeiro. SGB, p. 1767-1793.

- SAMPAIO, O . S. ;** 1987. Estudo de Tratamento como Subsídio à Pesquisa de Água Subterrânea no Estado de Sergipe: uma abordagem através de dados de Sensoriamento Remoto. INPE. São José dos Campos. (Tese de Mestrado).
- SILVA NETO, A . F. da;** 1993. Avaliação dos Recursos Hídricos e Uso da Terra na Bacia do Alto Rio Sucuru, com base em Imagens TM/LANDST-5. UFPB / DEAg. Campina Grande. 155 p. ( Tese de Mestrado).
- SOARES, P. C.; FIORI, A . P. ;** 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Nat. Geomorf. N- 16(32). 71-104. Campinas.
- SUDENE.** 1972 . Folha Sumé. (SB.24.Z.D.V) . Recife. Folha topográfica. Escala 1:100.000.
- SUDENE.** 1972 . Folha Prata. (SB.24.Z.D.IV). Recife. Folha topográfica. Escala 1:100.000.
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C . E. dos;** 1982. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento e aplicações em geologia. INPE. São José dos Campos , 61 p.
- VENEZIANI, P.; ROCIO, M. A . R. de;** 1991. Critérios de prospecção de água subterrânea com o emprego de dados de sensores remotos na região de Paraibuna-Taubaté-Jambeiro, no Estado de São Paulo. Anais do V Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos. ABRH, Rio de Janeiro.
- VIALON, P.; RUHLAND, H.;BROLIER, J.;** 1976. Elements des tectonique. Masson. Paris. 115 p.

MAPA INTEGRADO



**LEGENDA**

- CIDADES E DISTRITOS
- ESTRADA PAVIMENTADA
- DRENAGEM
- AQUED
- DIVISA INTERESTADUAL

**CONVENÇÕES GEOLÓGICAS E CARTOGRÁFICAS**

- Fozes de rios
- Linhas de borda de fozes de água subterrânea
- Faltas normais de alto ângulo
- Faltas de rejato direcional, compatíveis com falhas de grandeza
- Falhas e fendas não classificadas

— Fozes e bacias artificiais

— Áreas favoráveis à presença de água subterrânea

— Picos submersos

- c. - cimento
- s. - solo
- o. - infraestrutura
- o. - infraestrutura
- o. - infraestrutura
- o. - infraestrutura
- o. - infraestrutura

ESCALA 1:100.000

**DECLINAÇÃO MAGNÉTICA**

— 1980

— 1985

— 1990

— 1995

— 2000

— 2005

— 2010

— 2015

— 2020