



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



Centro de Ciências
e Tecnologia

DISSERTAÇÃO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

**USO DO GEOPROCESSAMENTO NA AVALIAÇÃO DE
POTENCIALIDADES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS – BOA VISTA
(PB): UM ESTUDO DE CASO**

ERMANO CAVALCANTE FALCÃO

Campina Grande - Paraíba
MAIO - 2001



**“USO DO GEOPROCESSAMENTO NA AVALIAÇÃO DE
POTENCIALIDADES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS - BOA
VISTA (PB): UM ESTUDO DE CASO”.**

ERMANO CAVALCANTE FALCÃO

**“USO DO GEOPROCESSAMENTO NA AVALIAÇÃO DE
POTENCIALIDADES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS - BOA
VISTA (PB): UM ESTUDO DE CASO”.**

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado em Engenharia Agrícola da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para
obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem

Marx Prestes Barbosa, Dr.

Orientador

CAMPINA GRANDE

2001



F178u Falcão, Ermano Cavalcante
Uso do geoprocessamento na Avaliação de Potencialidades
Hídricas Subterrâneas – Boa Vista (PB): Um Estudo de
Caso/Ermano Cavalcante Falcão. – Campina Grande: UFPB,
2001.

150p. : il.

Dissertação (Mestrado). UFPB/CCT
Inclui Bibliografia

1. Sensoriamento Remoto
2. Água Subterrânea
3. Hidrogeologia
4. Geoprocessamento

CDU: 528.8.88



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

ERMANO CAVALCANTE FALCÃO

Título: Uso do Geoprocessamento na Avaliação de Potencialidades Hídricas
Subterrâneas - Boa Vista (PB): Um Estudo de Caso.

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Marx Prestes Barbosa

Dr. Marx Prestes Barbosa-Orientador

APROVADO C/ DISTINÇÃO

Carlos Galvão

Dr. Carlos de Oliveira Galvão-Examinador

APROVADO COM DISTINÇÃO

Vera Lúcia Antunes Lima

Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima-Examinadora

APROVADO C/ DISTINÇÃO

Campina Grande, 31 de maio de 2001

AGRADECIMENTOS

Durante o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, instituições e pessoas deram-me importantes contribuições de caráter técnico e/ou afetivo, propiciando a minha modesta contribuição para a ciência, o que me faz, a todos, carinhosamente grato.

CAPES, através do programa PICDT, pela concessão de bolsa de estudo.

Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET/PB, pela política de capacitação de docentes.

Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba - LMRS/PB, pela infra-estrutura disponível durante a fase de elaboração da pesquisa.

Prefeitura Municipal de Boa Vista, pelas informações disponibilizadas.

Universidade Federal da Paraíba - UFPB, através da Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - COPEAg, pelas estruturas técnica e pedagógica para o desenvolvimento deste trabalho.

Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba - CDRM/PB, pelas informações de poços perfurados na área de estudo.

Colegas docentes da Área de Construção Civil do CEFET/PB, pela aquiescência do meu afastamento.

Professor e Diretor do CEFET/PB, Antônio Carlos Gomes Varela, pelo apoio dispensado.

Professora e Diretora de Ensino do CEFET/PB, Leila Laureano, pela amizade e atenção nas informações requeridas.

Professores do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, pelos conhecimentos técnico-científicos transmitidos.

Professores Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima - Departamento de Engenharia Agrícola, e Dr. Carlos de Oliveira Galvão - Departamento de Engenharia Civil, pela participação na Banca Examinadora.

Professores do Departamento de Mineração e Geologia, Dr. Tunkur Rajarao Gopinath, Dr. Aarão Andrade de Lima e Dr. Hans Dieter Max Shuster, pela colaboração.

Colegas de Mestrado: Antônio Carlos Varela, Aristóteles Teixeira, Armindo Leão, Carlos Alberto Brasiliano, Carlos Henrique Azevedo, Celso Luiz Borges, Frederico Loureiro, Flávio Pinto, Lovânia Werlang, Marcos Silva, Maria Bethânia, Miguel Neto, Nildo Dias, Paulo César Moura, Roberto Sílvio Frota, Severino Duarte, pelo efêmero e proveitoso convívio.

Maria de Fátima Fernandes, Msc, pela colaboração e amizade.

Desenhista Davi de Oliveira Santos e Engenheiro Civil Carlos Lamarque, pelo apoio e amizade.

À contribuição do doutorando José Eustáquio Rangel de Queiroz

Ao Engenheiro Agrícola Manoel Batista e ao Prof. Sérgio Góis, pelo valioso auxílio.

A todos os colegas funcionários do Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba - LMRS/PB.

Ao apoio dos doutorandos Prof. Augusto Francisco, Prof. Hamílcar Almeida e Mônica Agra.

À Professora Nirelda Ponce de Leon – Departamento de Línguas Estrangeiras, pelos ensinamentos e cordial auxílio.

Rivanilda Diniz, Secretária da Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, e Alrezinha Dantas, responsável pela Biblioteca Setorial de Recursos Hídricos e Hidráulica, pela prestimosidade dispensada.

Ao tio e Professor Antônio Cavalcanti Filho, Msc, pelo incentivo.

Aos tios, primos, sobrinhos, cunhados, sogro, sogra, e outras pessoas que de algum modo contribuíram para este intento.

Agradecimentos Especiais

Ao Professor Dr. Marx Prestes Barbosa, pela ética profissional e indissociável senso de humanidade na orientação, nos ensinamentos e no convívio.

Ao Engenheiro Cartógrafo Miguel José da Silva, pela constante solidariedade.

Ao Professor Carlos Alberto Brasiliano Campos - Escola Agrotécnica Federal de Belo Jardim-PE, pela fraterna convivência.

Em memória

Dos meus avós, Antônio Cavalcante de Albuquerque e Severina Leite Cavalcante.

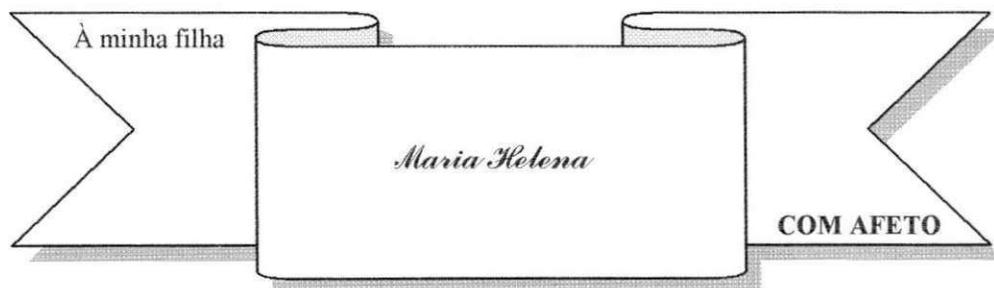
DEDICO

Aos meus pais, José Marinho Falcão e Geni Cavalcante Falcão.

Aos Meus irmãos, José Marinho, Maria Gerusa, Ricardo, Lourdinha, Magna, Maria José, Reinaldo, Valério, Rosana, Afrânio, Ana Maria, Ana Lúcia e Rildo.

À minha tia Ana Leite Cavalcante

À minha esposa, Maria do Socorro Ramalho Teixeira.



Em seu livro 'Tempo Geológico', Don L. Eicher relata que as rochas expostas à superfície da Terra, ou alcançadas no interior por sondagens, constituem nosso único registro da história da Terra, com cada rocha possuindo sua própria história, sua própria história para contar, e que é importante para nossa compreensão que aprendamos a lê-las, pois no passado geológico não havia ninguém para observar os eventos e documentar o que via. Visando tornar o tempo geológico mais compreensível, dada a sua magnitude, este autor esquematiza a localização proporcional de alguns eventos geológicos chaves numa unidade referencial de tempo atual:

“Comprimam-se, por exemplo, todos os 4,5 bilhões de anos de tempo geológico em um só ano. Nesta escala, as rochas mais antigas reconhecidas datam de março. Os seres vivos apareceram inicialmente nos mares, em maio. As plantas e animais terrestres surgiram no final de novembro..... Os dinossauros dominaram nos meados de dezembro, mas desapareceram no dia 26, mais ou menos na época que as montanhas rochosas se elevaram inicialmente. Criaturas humanóides apareceram em algum momento na noite de 31 de dezembro, e as mais recentes capas de gelo continentais começaram a regredir da área dos Grandes Lagos e do norte da Europa a cerca de 1 minuto e 15 segundos antes da meia noite do dia 31. Roma governou o mundo ocidental por 5 segundos, das 11h:59min:45s até 11h:59min:50s. Colombo descobriu a América 3 segundos antes da meia noite, e a ciência da geologia nasceu com os escritos de James Hutton exatamente há pouco mais que 1 segundo antes do final do nosso movimentado ano dos anos”.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE QUADROS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO	17
1.1 INTRODUÇÃO	18
1.2 OBJETIVO PRINCIPAL	20
1.3 ETAPAS DO TRABALHO	20
1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	23
2.1 GEOMORFOLOGIA	24
2.2 CLIMA	24
2.3 VEGETAÇÃO	26
2.4 SOLOS	26
2.5 GEOLOGIA	27
2.6 LITO-ESTRATIGRAFIA	28
2.6.1 Pré-Cambriano Indiviso	28
2.6.1.1 Complexo Gnáissico-Migmatítico	28
2.6.1.2 Rochas Granitóides	29
2.6.2 Rochas Efusivas Meso-cenozóicas	29
2.6.2.1 Rochas basálticas/diabásicas	29

2.6.3	Cenozóico	29
2.6.3.1	Formação Campos Novos	29
2.7	RECURSOS HÍDRICOS	32
2.7.1	Águas de superfície	32
2.7.2	Águas Subterrâneas	32
2.7.2.1	Sistema Aquífero Cristalino	32
2.7.2.2	Utilização das águas subterrâneas do cristalino	35
2.8	AGRICULTURA	38
2.9	PECUÁRIA	39
2.10	PRODUÇÃO MINERAL	39
2.11	INFRA-ESTRUTURA	40

CAPÍTULO 3

TECNOLOGIAS DE GEOPROCESSAMENTO	42	
3.1	Geoprocessamento	43
3.2	Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	44
3.3	Sistema Geográfico de Informação – SGI-340	46
3.4	Sistema SPRING	48
3.5	Sensoriamento Remoto	54
3.5.1	Sistema Landsat	59
3.5.2	Sensor TM	60
3.5.3	O Sensoriamento Remoto e a Geologia	62
3.5.4	Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto em Geologia	63
3.6	GPS	64

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS	68	
4.1	MATERIAIS	69
4.1.1	Material Bibliográfico	69
4.1.2	Produtos de Sensoriamento Remoto	69
4.1.3	Folha Topográfica	71
4.1.4	Mapa Geológico do Estado da Paraíba	71
4.1.5	Recursos Computacionais	71
4.1.5.1	Equipamentos	71

4.1.5.2	Aplicativos	71
4.1.5.2.1	Surfer	71
4.1.5.2.2	SIG-340	72
4.1.5.2.3	Sistema SPRING	72
4.1.5.2.4	StereoNet	72
4.1.6	GPS	72
4.1.7	Representação dos Dados	72
4.2	MÉTODOS	74
4.2.1	Métodos de Fotointerpretação	74
4.2.1.1	Método das Chaves Interpretativas	74
4.2.1.2	Método Sistemático	74
4.2.2	Trabalhos de Campo	77
4.2.3	Análise de Fraturamento	79
4.2.3.1	Feixes de Fraturas	80
4.2.3.2	Análise Qualitativa dos Fotolineamentos	81
4.2.3.3	Análise Quantitativa dos Fotolineamentos	82
4.2.3.4	Análise de Falhamentos	83
4.2.3.5	Análise da Assimetria da Rede de Drenagem e de Relevo	85
4.2.4	Áreas Favoráveis à Pesquisa de Água Subterrânea	87
4.2.5	Poços Perfurados	92
4.2.6	Integração dos Dados	92

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES	93
5.1 Aspectos Geológicos	94
5.2 Aspectos Fotogeológicos	97
5.3 Análise de Fraturamento	97
5.3.1 Análise Quantitativa dos Fotolineamentos	102
5.3.2 Análise Qualitativa dos Fotolineamentos	105
5.3.3 Análise de Falhamentos	112
5.3.4 Análise da Assimetria da Rede de Drenagem	125
5.4 Áreas Favoráveis à Pesquisa de Água Subterrânea	128
5.5 Dados de Poços Perfurados na área	135
5.6 Sistema de Informação Geográfica	138

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
6.1 Conclusões	143
6.2 Recomendações	144
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145

ANEXOS

ANEXO 1	Mapa Integrado
ANEXO 2	Dados de Poços Perfurados na Área
ANEXO 3	Localização dos afloramentos visitados

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Neste capítulo, apresenta-se a pesquisa desenvolvida, com a seguinte seqüência de tópicos:

Introdução
Objetivo Geral
Etapas do Trabalho
Localização da área de estudo



1.1 INTRODUÇÃO

A área objeto da presente pesquisa engloba a totalidade do território do município de Boa Vista, Estado da Paraíba, encravado na região do semi-árido nordestino. Apresenta um escasso potencial de recursos hídricos superficiais, evidenciado pela temporalidade de seus cursos d'água e pela disponibilidade insuficiente de água em reservatórios de pequeno e médio porte, condicionados por fatores como o baixo índice pluviométrico, de distribuição espaço-temporal bastante irregular, e a elevada taxa de evaporação.

A partir dessa condição natural limitante, evidencia-se de modo crescente, a exploração dos recursos hídricos subterrâneos, formados pelo sistema aquífero cristalino, que representa toda a área de estudo.

A hidrogeologia de meios fissurados, como o cristalino do Nordeste brasileiro, não se desenvolveu tanto quanto os estudos realizados sobre a hidrogeologia de meios porosos. Feitosa (1997) credita esse desinteresse ao caráter aleatório do fraturamento e à conseqüente imprevisibilidade, que dificultam de certo modo a abordagem matemática do problema. Nos dias atuais, como observa este mesmo autor, com o crescimento da importância da água subterrânea como reserva estratégica, e como as rochas cristalinas ocupam grandes extensões regionais, tem crescido o interesse para o desenvolvimento de estudos sobre as questões inerentes à hidrogeologia de meios fraturados.

Apesar da adversidade climática da região influenciar diretamente na qualidade da água, elevando os seus níveis de salinidade, na região de estudo há poços que oferecem quantidade e qualidade de água satisfatórias, respondendo, como alternativa única, nos períodos mais críticos de alguns anos, pelo atendimento às necessidades hídricas básicas da população inserida na área e à dessedentação dos rebanhos.

Dada a carência de informações sobre os recursos hídricos subterrâneos no âmbito da área de estudo e reconhecendo a sua importância econômica, justifica-se o desenvolvimento de pesquisas que ofereçam suporte informativo para melhor disponibilizá-los para as suas diversas formas de uso.

Sem o propósito de uso de tecnologias com finalidade de aprimoramento das técnicas de locação de poços, mas na perspectiva de oferecer informações visando a redução de insucessos na definição de áreas com maior possibilidades de ocorrência de água subterrânea, este trabalho oferece a sua contribuição para este objetivo, a partir da utilização de uma sistemática de interpretação de produtos de sensoriamento remoto auxiliada por informações geológicas coletadas no campo e por material bibliográfico próprio, apoiada em técnicas de geoprocessamento para a manipulação dos dados, geração dos resultados e posterior consulta aos produtos gerados.

A metodologia de interpretação de produtos orbitais, com finalidades de cunho hidrogeológico, foi empregada em alguns trabalhos desenvolvidos em áreas de rochas do Embasamento Cristalino. Sampaio (1987) identificou áreas favoráveis à pesquisa de água subterrânea na porção centro-oeste do Estado de Sergipe; Guedes (1993) definiu áreas com potencialidades hídricas subterrâneas na Bacia do Rio do Peixe e adjacências (PE, CE e RN), assim como Silva Neto (1993), na Microrregião dos Cariris Velhos (MRH96), mais precisamente na Bacia do Alto Rio Sucuru; Dantas Filho (1996) utilizou essa mesma metodologia e identificou áreas propícias à pesquisa de água subterrânea nas Microrregiões Homogêneas Curimataú (MRH91) e Seridó Paraibano (MRH90); e, no norte do Estado de Sergipe, Wanderley (1995) apontou a existência de áreas com potencialidades semelhantes.

Este trabalho de pesquisa soma-se aos acima citados em termos de metodologia adotada e objetivos propostos, e acrescenta o georreferenciamento dos dados processados em um sistema de informações geográficas que possibilita uma permanente atualização dos bancos de dados elaborados e uma eficiente ferramenta de consulta espacial e não espacial, contribuindo com informações científicas sobre os recursos hídricos subterrâneos no embasamento cristalino, oferecendo subsídios técnicos a tomadores de decisão responsáveis pela gestão dos recursos hídricos subterrâneos na área do município de Boa Vista/PB.

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL

Identificar áreas com maior potencialidade à pesquisa de água subterrânea no domínio territorial do município de Boa Vista/PB e elaborar um sistema de informações geográficas para prover subsídios técnicos em processos de tomada de decisão no âmbito da área pesquisada.

1.3 ETAPAS DO TRABALHO

- Pesquisa bibliográfica referente ao contexto proposto;
- Interpretação visual de produtos orbitais;
- Produção de ‘overlays’;
- Realização de trabalho de campo visando uma confrontação, complementação e correção da fotointerpretação dos dados orbitais;
- Determinação da relação entre os principais sistemas de fraturamento da área de estudos;
- Digitalização de ‘overlays’;
- Processamento dos dados georreferenciados;
- Geração de mapas no formato digital;
- Definição das áreas mais favoráveis à pesquisa de água subterrânea;
- Levantamento dos dados de poços profundos existentes na área de estudo;

- Aferição das avaliações das áreas selecionadas como prioritárias à pesquisa de água subterrânea;
- Utilização do sistema SPRING na elaboração de bancos de dados georreferenciados e nas operações de consulta de interesse do usuário sobre os dados disponíveis da área pesquisada.

1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na Microrregião Homogênea Cariri Oriental Paraibano, entre os meridianos $36^{\circ} 05' 00''$ e $36^{\circ} 22' 30''$ de longitude oeste e os paralelos $7^{\circ} 07' 50''$ e $7^{\circ} 23' 25''$ de latitude sul, abrangendo uma área de aproximadamente 850 km^2 , englobando totalmente a área do município de Boa Vista, Estado da Paraíba, (Figura 1.1), e partes dos municípios limítrofes: Campina Grande, Pocinhos, Soledade, Gurjão e Cabaceiras. A definição de uma área de formato regular para o desenvolvimento dos trabalhos teve como objetivos facilitar a sua delimitação na carta topográfica e nas imagens de satélite, ampliar a área de influência para observações, principalmente de natureza geológica, e, finalmente, compensar a indefinição de parte do limite territorial do município de Boa Vista, emancipado politicamente há apenas cinco anos. Na Figura 1.2, são visualizadas as principais vias de acesso à área pesquisada, destacando-se as rodovias federais BR-230 e BR-412.

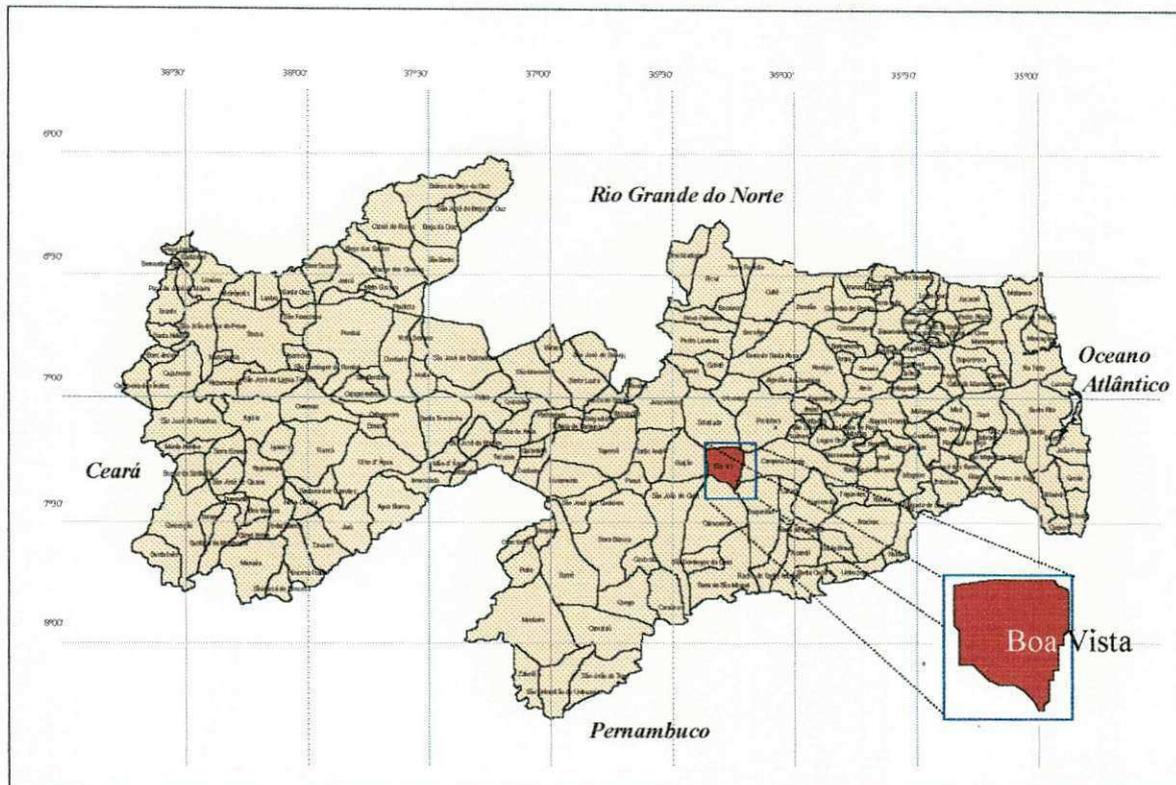


Figura 1.1 – Localização da Área de Estudo no Mapa do Estado da Paraíba
Fonte: LMRS/PB

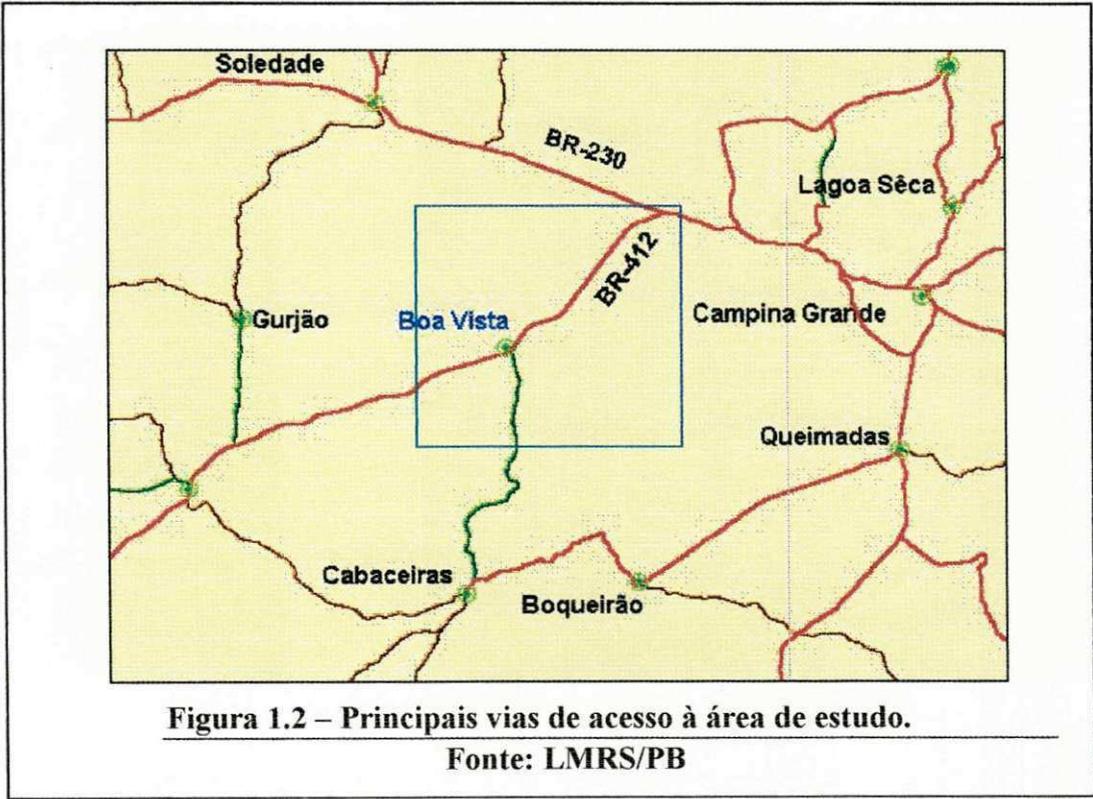


Figura 1.2 – Principais vias de acesso à área de estudo.
Fonte: LMRS/PB

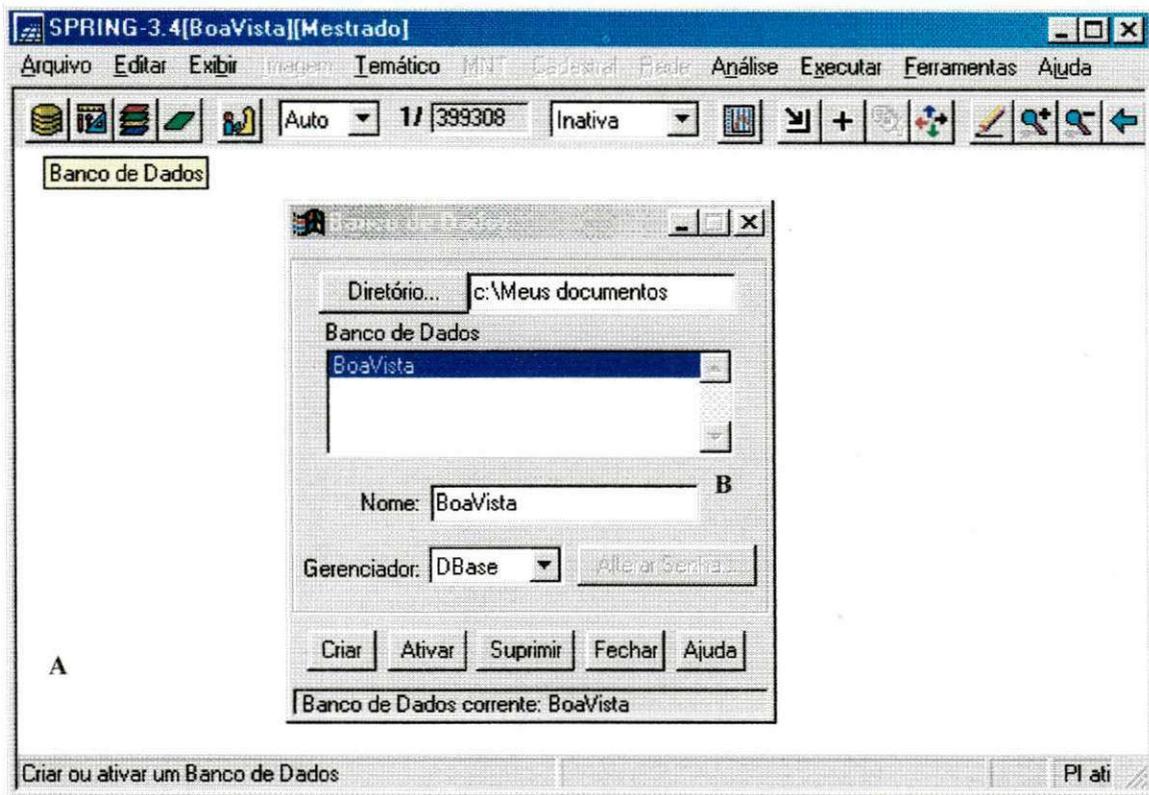


Fig. 3.1 – Tela inicial do SPRING (A), com a janela do Banco de Dados ativa (B).

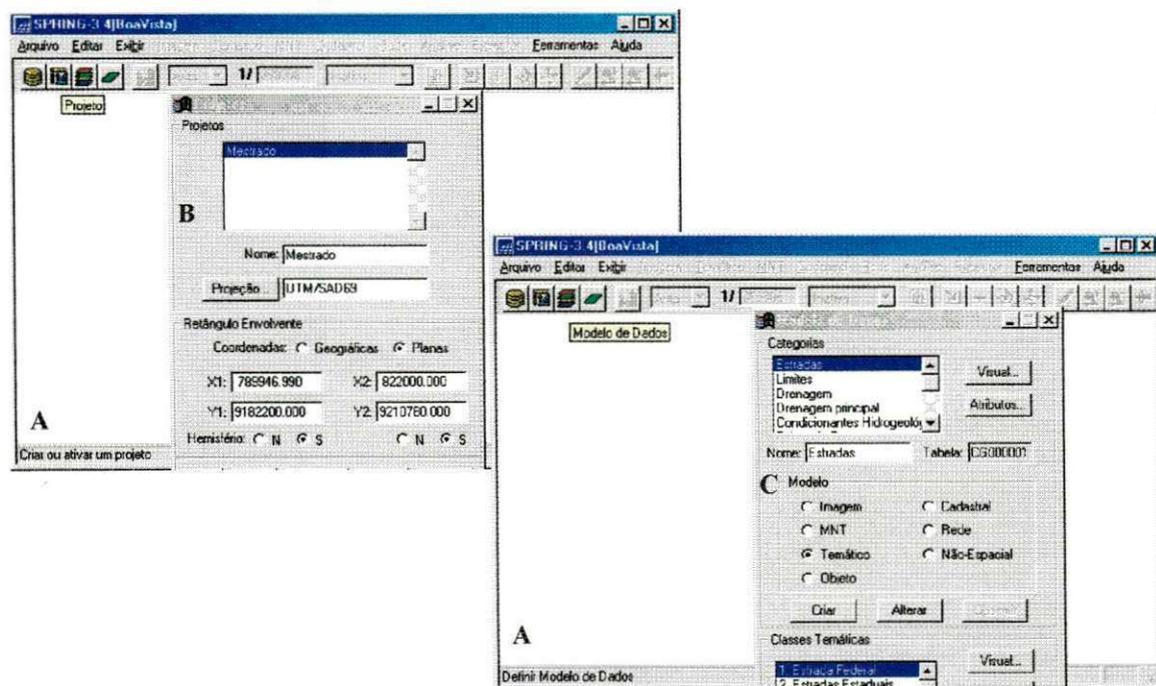


Fig. 3.2 – Tela inicial do SPRING (A), com ativação das janelas Projeto (B) e Modelo de Dados (C).

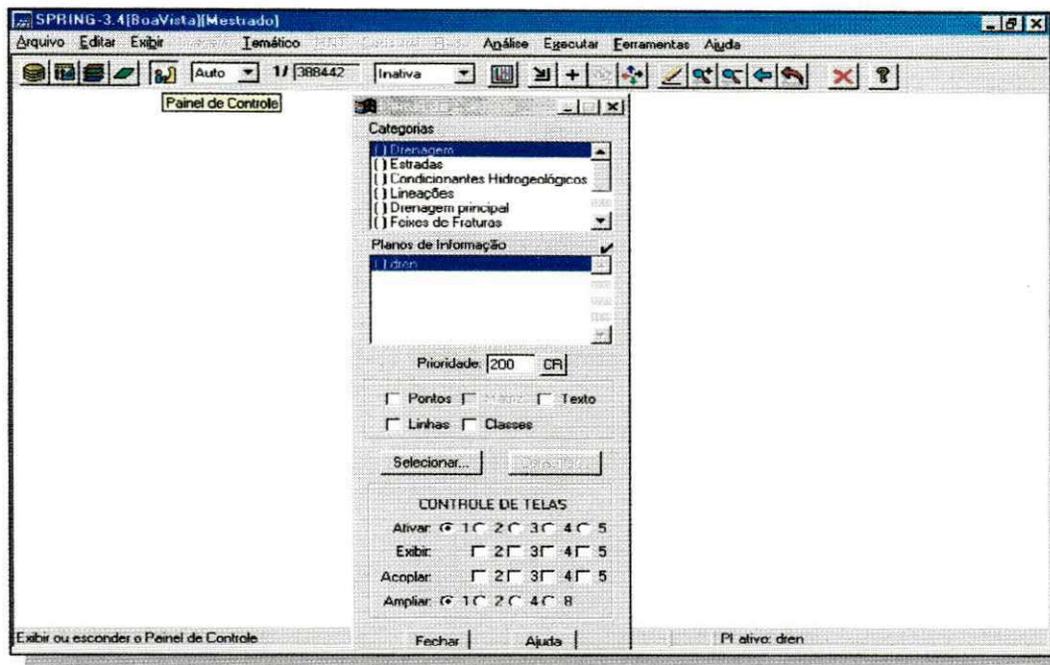


Fig. 3.3 - Tela inicial do SPRING (A) e janela “Painel de Controle” ativa (B)

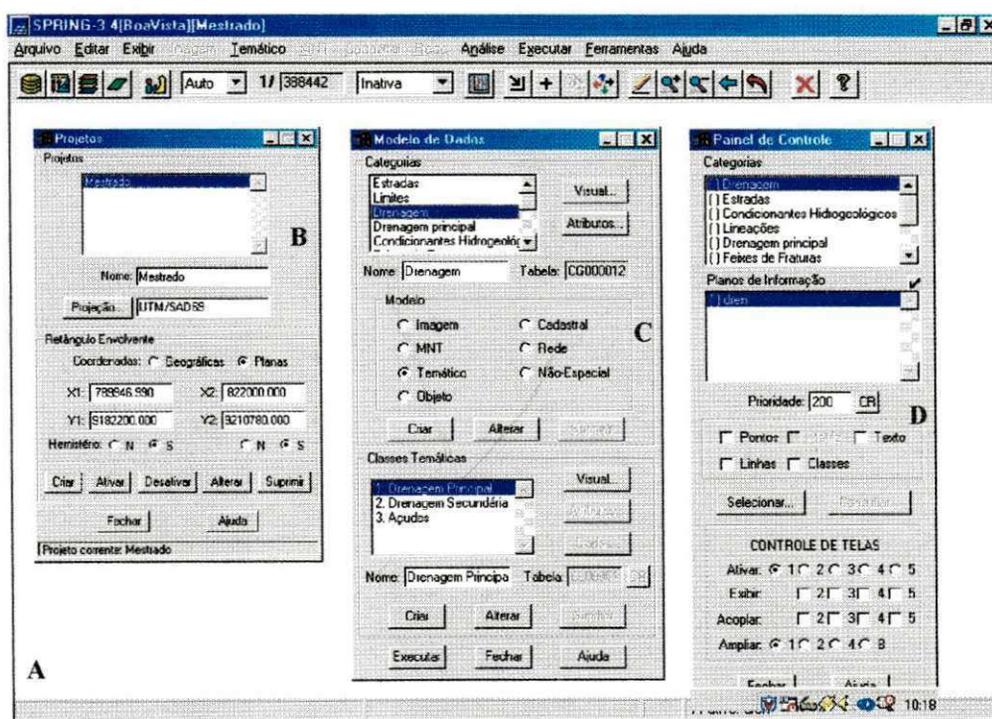


Fig. 3.4 – Tela inicial do SPRING (A) com visualização das janelas “Projeto” (B), “Modelo de Dados” (C) e “Painel de Controle” (D)

3.5 SENSORIAMENTO REMOTO

O termo Sensoriamento Remoto é definido por Lillesand & Kieffer (1994), como “a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um instrumento que não entra em contato direto com o objeto, área ou fenômeno em investigação”.

Os trabalhos temáticos e de levantamentos são facilitados por ocasião do uso do sensoriamento remoto como ferramenta de complemento nas avaliações, ampliando a capacidade do técnico em obter informações sobre os recursos naturais e o meio ambiente.

A escolha de produtos fotográficos de sensoriamento remoto deve estar associada à finalidade a que se dispõe o desenvolvimento de um determinado trabalho e às características desses produtos que, por sua vez, têm uma relação direta com as faixas do espectro eletromagnético registradas pelos sensores.

Um dos fatores que exercem influência significativa sobre as características dos produtos fotográficos de sensoriamento remoto é a resolução, que pode ser espacial, espectral, temporal e radiométrica.

Resolução Espacial

A resolução espacial é resultante da divisão da cena imageada em um grande número de elementos discretos de informação. Novo (1992).

Embora esta característica seja definida para cada sensor, alvos que tenham dimensões menores que o ERT (Elemento de Resolução no Terreno) podem ser distinguíveis, pelo alto contraste em relação às feições vizinhas que se lhes apresentam, como é o caso de estradas, aluviões, matas, etc. Por outro lado, o inverso pode ocorrer. Unidades litológicas com características físico-químicas semelhantes e com cobertura vegetal homogênea não serão distinguíveis, mesmo que a espessura de seus estratos ultrapasse as dimensões mínimas exigidas pela resolução espacial do sistema, Veneziani (1986).

Segundo Barbosa (1998), a resolução espacial pode ser definida como sendo a densidade de pontos discerníveis em uma imagem.

Resolução Espectral

A resolução espectral define a região do espectro eletromagnético em que o sensor atua, indicando o tipo de interação da energia eletromagnética com os alvos imageados, tornando-se uma especificação de muita importância nas atividades de sensoriamento remoto. A banda 4 do sensor TM do satélite Landsat-5, da região do infravermelho próximo, possui um poder de realce muito bom em estudos geológico-estruturais, principalmente em regiões do embasamento cristalino, devido ao caráter recortado da topografia e ao papel preponderante das estruturas rígidas (Barbosa, 1998).

Resolução Temporal

Uma determinada região da superfície terrestre tem seu imageamento repetido numa escala de tempo. A resolução temporal especifica esta repetitividade de cobertura. No caso das imagens de satélite, há possibilidade de se analisar imagens de diferentes épocas do ano, ou com diferenças de vários anos, portanto, sob diferentes condições climáticas e de elevação solar. O satélite Landsat-5 a cada 16 dias imageia uma mesma região (Barbosa, 1998).

Resolução Radiométrica

A resolução radiométrica é determinada pelo número de níveis discretos nos quais um sinal pode ser dividido (Barbosa, 1988).

Radiação Eletromagnética

A radiação é o modo de transferência que mais interessa ao Sensoriamento Remoto, sendo efetuado através de ondas eletromagnéticas. A radiação eletromagnética (REM), se propaga independente de existir ou não um meio material. O sol é a fonte de energia eletromagnética mais utilizada pelo sensoriamento remoto.

Espectro Eletromagnético

Por razões históricas e tecnológicas, as ondas eletromagnéticas passaram a ser agrupadas pelos comprimentos de onda e subdivididas em faixas que compõem o Espectro Eletromagnético, embora não existam limites rígidos entre as diversas formas, já que há uma passagem transicional entre elas (Figura 3.5).

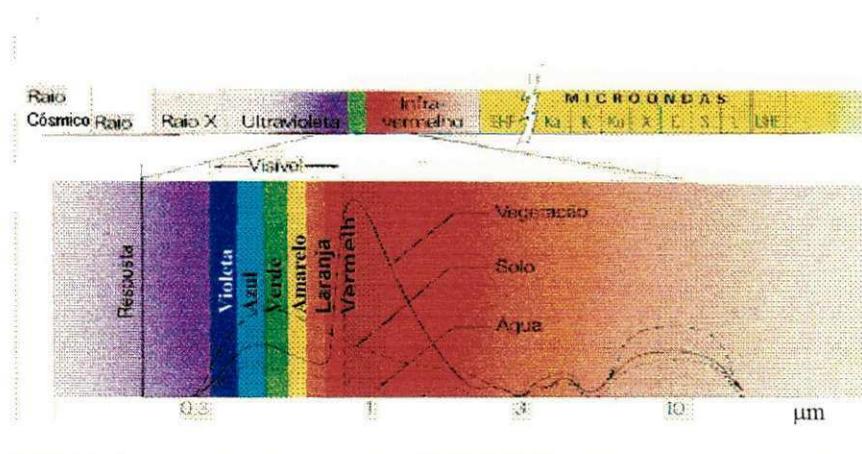


Fig. 3.5 – Espectro Eletromagnético e curvas da resposta espectral da interação da vegetação, solo e água com a REM

Fonte: Barbosa (1988)

O sensoriamento remoto utiliza os comprimentos de onda situados na faixa espectral de 0,3 a 14 μm , região esta denominada de espectro ótico. O alcance desta faixa inclui as regiões de comprimento de onda do Ultravioleta, do Visível e dos Infravermelhos próximo, médio e termal. Lillesand & Kieffer (1994) afirmam que esta faixa é conhecida por espectro ótico porque lentes e espelhos podem ser usados para refratar e refletir a energia.

Reflectância Espectral dos Alvos

O padrão de resposta espectral dos alvos da superfície terrestre, ou seja, a interação destes alvos com a radiação eletromagnética (REM), é de forma extremamente diversa. A seguir, serão comentados alguns padrões destes alvos com relação a reflectância da REM.

Os corpos d'água têm seu padrão de resposta espectral resultante da energia solar incidente sobre as moléculas de água e materiais em suspensão. A reflectância da água limpa diminui com o aumento dos comprimentos de onda, ou seja, na faixa mais utilizada em sensoriamento remoto, verificam-se as maiores reflectâncias na região do visível, mais especificamente nos comprimentos de onda do azul e verde, decrescendo gradualmente na região do vermelho. A água com mais matéria em suspensão, apresenta uma reflectância maior que a água limpa. Na região do visível, a água limpa apresenta alta transmitância, e cerca de 5% da energia incidente é refletida. Na região do infravermelho próximo e médio, a absorção da REM pela água é praticamente total.

Com referência ao solo, a energia eletromagnética refletida e/ou emitida por ele, tem influência direta de suas propriedades espectrais, que é de grande utilidade para a sua identificação através dos sensores remotos a bordo dos satélites. A porcentagem de matéria orgânica, granulometria, composição mineralógica, umidade, capacidade de troca catiônica, etc, influenciam direta e decisivamente no comportamento espectral dos solos. O aumento do conteúdo de matéria orgânica diminui o padrão da resposta espectral. Com a presença em maior quantidade de minerais félsicos, a redução do tamanho das partículas aumenta os valores de reflectância e a atenuação das bandas de absorção, contrariamente ocorrendo quando do aumento da concentração de minerais máficos. Os solos úmidos possuem reflectâncias mais baixas que os solos secos.

A interação da energia eletromagnética com a vegetação tem um grande interesse no campo de estudo dos recursos naturais terrestres, utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto. Na região do visível (comprimentos de onda de 0,45 até 0,7 μ m), a reflectância de uma vegetação verde é relativamente baixa, em virtude da grande absorção de radiação pelos pigmentos. As radiações mais eficientes são aquelas que a vegetação consegue absorver melhor. Quando a atividade da clorofila diminui ou cessa, a reflectância do vermelho aumenta e a vegetação se torna amarelada. O máximo de reflectância da vegetação verde e saudável ocorre entre 0,7 μ m e 1,2 μ m na faixa do infravermelho próximo.

A Figura 3.7 mostra a interação desses alvos terrestres comentados com a energia eletromagnética.

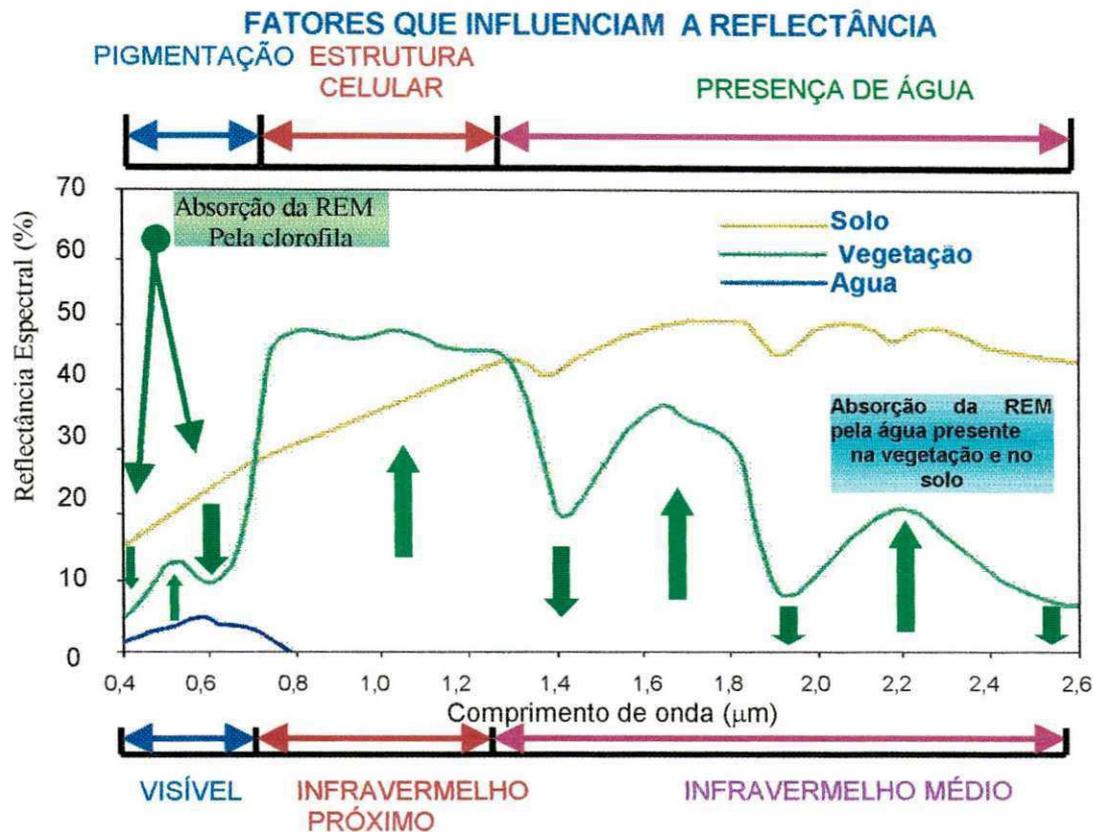


Fig. 3.6 – Comportamento espectral da vegetação verde, solo nu seco e água limpa

Fonte: Lillesand & Kieffer, 1995 in Barbosa, 1988

Rosa (1992) cita que, no que se refere às rochas, a reflectância aumenta com o comprimento de onda. As rochas com maior presença de minerais félsicos (quartzo e feldspato), rochas ácidas, apresentam reflectância alta e baixa absorção da energia incidente. As rochas intermediárias, pela presença em maior teor de minerais máficos (piroxênios, anfibólio, olivina e biotita), refletem menos a energia eletromagnética do que as rochas ácidas. As rochas básicas e ultrabásicas, com menores percentuais de sílica em suas constituições, refletem menos do que as demais rochas já referidas.

3.5.1 Sistema Landsat

No ano de 1972, a NASA (National Aeronautics and Space Administration), órgão nacional dos Estados Unidos da América, efetuou o lançamento do primeiro satélite da série ERTS (Earth Resources Technology Satellite), objetivando iniciar estudos e monitoramento dos recursos naturais terrestres. Esse sistema, a partir do lançamento do segundo satélite, passou a denominar-se LANDSAT, para melhor sugerir o enfoque do seu esforço sobre Sensoriamento Remoto de Recursos Naturais Terrestres. O programa LANDSAT é atualmente gerido pela NASA, pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e pelo United States Geological Survey (USGS), Engesat (2000).

As órbitas dos satélites Landsat caracterizam-se como:

- Repetitivas;
- Circulares;
- Heliossíncronas, passando na mesma hora solar em qualquer ponto observado;
- Quase polar, o que permite uma cobertura completa da terra entre 81°N e 81°S;
- Altitude de 705 km;
- Velocidade equivalente a 7,7 km/seg no solo;
- Ciclo orbital de 16 dias para os satélites 4, 5 e 7;
- Área imageada pelo sensor MSS ou pelo sensor TM é uma faixa de 185 km, recortada em cenas de 185 km x 170 km (Figura 3.8).

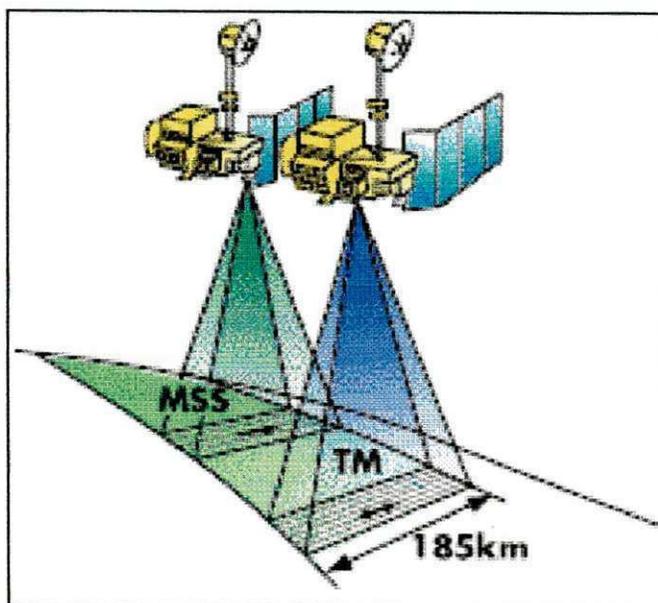


Fig. 3.7 – Imageamento dos sensores MSS e TM dos satélites Landsat

Fonte: Engesat, 2000

Segundo Engesat (2000), o satélite Landsat 7 é o mais recente do Programa Landsat, com um novo sensor a bordo, o ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Uma imagem adquirida por este sensor é composta por oito bandas espectrais que podem ser combinadas em inúmeras possibilidades de composições coloridas e opções de processamento. Duas das grandes vantagens técnicas que este sensor apresenta em relação ao Landsat 5, é a banda espectral pancromática com resolução de 15 metros e a resolução espacial da banda termal aumentada para 60 metros.

Neste trabalho, foram utilizadas imagens do sensor TM (bandas 3 e 4), a bordo do satélite Landsat 5.

3.5.2 Sensor TM

O Mapeador Temático – TM (Thematic Mapper) é um avançado imageador multiespectral de segunda geração, derivado do MSS e destinado ao levantamento de recursos terrestres.

Este sensor opera simultaneamente em 7 (sete) bandas espectrais com resolução espectral equivalente a um quadrado no terreno de 30m x 30m nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 (visível e infravermelho refletido), e de 120m x 12m na banda 6 (termal).

O mecanismo de coleta de imagem é baseado no princípio do imageamento de scanners multiespectrais lineares. A radiância dos alvos é coletada por um espelho móvel com face plana, sendo a superfície do terreno varrida em linhas perpendiculares à direção de deslocamento do satélite, permitindo que as linhas da superfície do terreno sejam imageadas seqüencialmente (Rosa, 1992).

A radiação eletromagnética, após a reflexão no espelho de varredura, é focalizada pelo sistema óptico sobre uma matriz de 100 detectores, cada um recebendo o fluxo de energia proveniente de uma área de 30m x 30m na superfície do terreno (ERT – Elemento de Resolução do Terreno). Assim, são imageadas 16 (dezesesseis) linhas por banda no terreno, ou seja, um segmento de área com uma largura de imageamento de 480m por 185 Km de extensão.

CARACTERÍSTICAS

- Número de detectores para cada banda do visível e do infravermelho próximo e médio: **16;**
- Número de detectores para a região do infravermelho termal: **04;**
- Número de bandas espectrais: **07;**
- Resolução Espacial

Visível e infravermelho refletido (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7): **30m;**

Infravermelho Termal (parte emitida – banda 6): **120m;**

Características Espectrais das bandas 3 e 4 do sensor TM/LANDSAT-5, utilizadas neste trabalho de pesquisa:

A banda 3, com intervalo espectral de 0,63 μ m a 0,69 μ m, apresenta, entre outras, as seguintes características e aplicações:

- A vegetação verde, mais densa e uniforme, tem grande absorção nesta banda, apresentando-se escura, o que permite um bom contraste entre áreas ocupadas com vegetação e outras sem vegetação, como solo exposto, estradas, áreas urbanas, etc.;

- A análise da variação litológica em regiões com pouca vegetação é permitida com mais clareza nesta banda;
- Em regiões com pouca cobertura vegetal, a banda 3 permite um melhor mapeamento da rede de drenagem.

A banda 4 apresenta intervalo espectral que varia de 0,76 μ m a 0,90 μ m e sobre sua caracterização pode-se fazer as seguintes observações:

- Permite o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água, pois esses corpos absorvem muita energia neste intervalo espectral e ficam escuros;
- A vegetação verde, densa e uniforme aparece mais clara nas imagens por refletir muita energia nesta banda;
- A morfologia do terreno é destacada nesta banda, facilitando a extração de dados informativos a respeito da Geomorfologia, dos Solos e da Geologia;
- Apresenta características que permitem uma melhor análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais;
- Permite a identificação de áreas agrícolas, etc.

3.5.3 O Sensoriamento Remoto e a Geologia

A geologia é uma das ciências que mais utilizam produtos de sensoriamento remoto. Os programas de mapeamento geológico regional, visando a busca de recursos minerais, como água subterrânea, absorvem uma quantidade razoável de dados obtidos por sensoriamento. A identificação e delimitação de corpos rochosos, como também a análise de seu relacionamento espacial, são conseguidas a partir da interpretação das imagens. Uma grande utilidade do aproveitamento de dados obtidos por sensoriamento remoto em Geologia, é a redução nos custos e otimização dos resultados em trabalhos desenvolvidos em regiões longínquas. Algumas aplicações desses dados por esta ciência têm contribuído no desenvolvimento de novas metodologias e até interferido na seleção de sensores a serem colocados em satélites (Amaral, 1990).

O Sensoriamento Remoto é a ferramenta mais importante para a redução ou otimização dos trabalhos de campo. A possibilidade de visão sinóptica regional, aliada a um maior realce das feições de interesse, permite o reconhecimento de grandes áreas em curto prazo ou obter informação adicional em áreas já exploradas.

As técnicas de Sensoriamento Remoto têm permitido, entre outras ações:

- a elaboração de mapas geológicos que mostram os principais tipos de rochas (litologia) e seu arranjo espacial;
- a seleção de áreas favoráveis à existência de recursos minerais de interesse econômico, como a água.

3.5.4 Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto em Geologia

Veneziani (1980) afirma que a interpretação de dados de sensoriamento remoto pela ciência geológica dá-se através da observação dos lineamentos estruturais de relevo, conseguindo-se distinguir, primeiramente, os grandes falhamentos, em função da continuidade dos mesmos por dezenas de quilômetros, por interromperem, bruscamente, zonas homólogas de relevo, ou constituírem limites entre zonas heterogêneas de relevo. Traços descontínuos podem ser a expressão de zonas de falhamento, ou ainda, de zonas ou faixas de rochas foliadas (xistosas, bandadas), mostrando, por vezes, o desenho de dobras. Ainda, podem ser observadas feições circulares, indicativas, na maioria dos casos, de corpos intrusivos.

Através da análise dos padrões da rede de drenagem, considerando-se o mapeamento de unidades possuidoras de uma expressão topográfica abrangente, é possível conseguir uma compartimentação que contribui na resolução de problemas geológicos, como cita Veneziani (op. cit.).

Este mesmo autor afirma ainda que a discriminação de grandes unidades geológicas é facilitada pelas observações das tonalidades de cinza e/ou cores presentes nas imagens, pois estão diretamente relacionadas à reflectância dos alvos imageados, exceção feita aos mosaicos de radar.

3.6 GPS

O termo GPS origina-se de NAVSTAR – GPS, *Navigation System with Time and Ranging - Global Positioning System*, sistema de rádio navegação por satélites, que fornece ao usuário, com equipamentos apropriados, coordenadas precisas de posicionamento tridimensional e informações de navegação e tempo. O acesso a este sistema se dá de forma ininterrupta, mundialmente, independente das condições meteorológicas.

O GPS foi desenvolvido basicamente como um sistema voltado para navegação. O princípio fundamental da navegação está baseado na medição das chamadas pseudodistâncias (*pseudorange*) entre o usuário e quatro satélites. Conhecendo as coordenadas do satélite num sistema de referência adequado, pode-se determinar as coordenadas da antena do usuário. Pelo ponto de vista puramente geométrico, bastariam três satélites (três distâncias). A quarta observação é necessária para sincronizar o relógio do receptor com os relógios dos satélites. Esta falta de sincronização é a razão pela qual se usa o termo “pseudodistância”.

Hurn (1989) afirma que, basicamente, o sistema GPS trabalha determinando o tempo que um sinal de rádio leva para alcançar um receptor na Terra, a partir de um satélite, para possibilitar o cálculo da distância com base nesse tempo medido. Para uma localização sem ambigüidades, o sistema utiliza pelo menos três satélites como pontos de referência para triangular uma posição em algum lugar da Terra.

Estrutura do sistema NAVSTAR-GPS

O projeto NAVSTAR-GPS foi concebido para ter a seguinte configuração espacial (Beraldo & Soares (1995), Figura 3.11:

- 24 satélites;
- seis planos orbitais com quatro satélites, cada;
- altitude de 20.000Km;
- inclinação dos planos orbitais de 55°, em relação ao plano do equador;
- período orbital de 12 horas siderais;
- órbitas circulares;

- relógios atômicos a bordo dos satélites com estabilidade de 10^{-13} ;
- transmissores de rádio-frequência incluso nos satélites em duas frequências portadoras da banda L, obtidas de uma frequência fundamental f_0 de 10,23Mhz:

$$L1 = f_0 \times 154 = 1575,42\text{Mhz} \Rightarrow \lambda = 19\text{cm}$$

$$L2 = f_0 \times 120 = 1227,60\text{Mhz} \Rightarrow \lambda = 24\text{cm};$$

- potência de 480 watts (máx.);
- peso de cada satélite: 845 Kg.

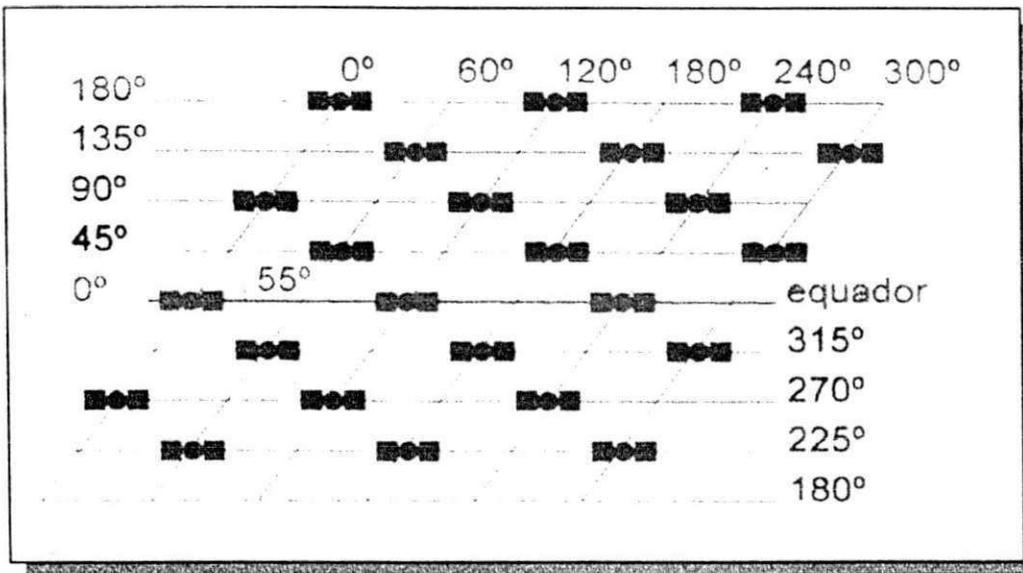


Fig. 3.8 – Plano orbital da constelação GPS

Fonte: Trimbase

Segmentos do Sistema GPS

Segmento Espacial

Fazem parte deste segmento, os satélites e os sinais transmitidos, que formam a constelação GPS.

Segmento de Controle

O monitoramento, a geração, as correções e a avaliação do sistema formam a base deste segmento, cujo controle fica a cargo do *Department of Defense (DoD)* – U.S.A.

Segmento de Usuários

O segmento de usuários engloba as aplicações, os métodos de posicionamento, as formas de recepção, o processamento dos sinais e os tipos de receptores.

Vantagens com a eliminação da S/A

Após a suspensão da S/A, no mês de maio de 2000, a comunidade de usuários e estudiosos se apressou em realizar alguns testes de maneira a avaliar o efeito da suspensão desta. Os resultados obtidos apontam para uma precisão 10 vezes superior àquela obtida anteriormente, fato este que certamente irá gerar uma maior aplicabilidade e diversidade de uso do sistema de posicionamento por satélite, seja ele na navegação marítima, aérea ou terrestre.

GPS – INTERNET

Roza (2000) cita um exemplo de como a *Internet* vem agindo como agente facilitador do trabalho diário: a economia e a facilidade que ela está proporcionando para a correção diferencial de dados GPS. Correção diferencial é um método que faz melhorar a precisão de uma posição medida com um receptor GPS. Com o final da degradação do sinal, um só aparelho tem uma precisão em torno de 10 metros, o que é insuficiente para muitas finalidades, necessitando, pois, de uma comparação entre a medição do receptor de coleta de dados e a de outro que fique fixo em uma posição conhecida. As distorções percebidas nas medidas do GPS fixo são então “descontadas” das medidas feitas pelo móvel por um software de pós-processamento.

Pode-se utilizar um só GPS e obter os dados de correção, através da *Internet*, de estações de monitoramento contínuo instaladas pelo país. Os dados recebidos 24 horas por dia nas estações, são disponibilizados na *Internet*, por dia e por estação (base). O setor público brasileiro mantém duas redes de estações:

- uma do IBGE (Rede de Monitoramento Contínuo do IBGE), com 13 unidades operadas pelo próprio IBGE e 01 unidade operada pelo INPE;
- uma do INCRA (Rede Incra de Bases Comunitárias (RIBaC)), com 27 estações instaladas em suas sedes.

Equipamentos

Os receptores GPS são classificados em receptores geodésicos e de navegação. Os receptores de navegação trabalham apenas com o código C, ou seja, usam apenas as pseudodistâncias, enquanto os receptores geodésicos observam pseudodistâncias e também a fase das portadoras.

Algumas aplicações do GPS

- Roteirista de viagens
- Monitoramento de Abalos Sísmicos
- Aplicação na Meteorologia
- Agricultura de precisão
- Localização para resgate
- Aplicações industriais
- Uso militar
- Uso na Aviação
- Topografia Oceânica
- Base cartográfica para SIG.

CAPÍTULO 4

Este capítulo trata da discriminação dos Materiais e Métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho, com os seguintes tópicos constituintes.

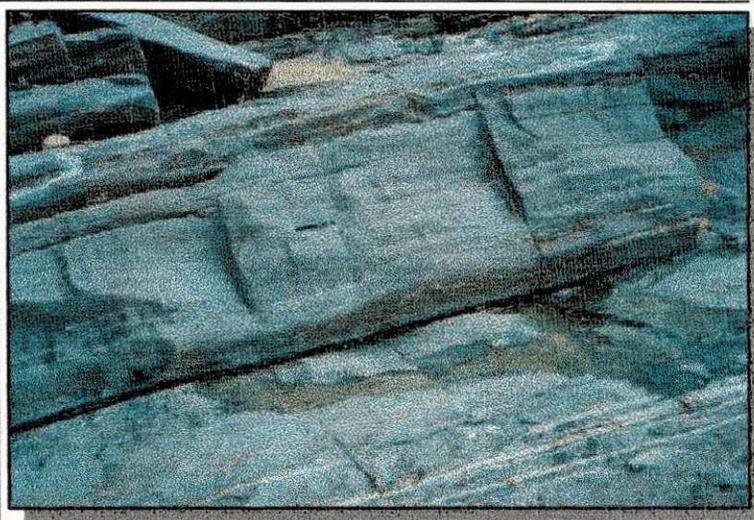
MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Material Bibliográfico
Produtos de Sensoriamento Remoto
Folha Topográfica
Mapa Geológico do Estado da Paraíba
Suporte Computacional
GPS

MÉTODOS

Métodos de fotointerpretação
Trabalhos de Campo
Análise de Fraturamento
Dados de Poços Profundos
Mapa Integrado



MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Material Bibliográfico

Foi realizado um amplo levantamento dos dados e publicações disponíveis a respeito das estruturas geológicas do embasamento cristalino, com ênfase em suas condições de favorecimento à infiltração e armazenamento de água, como também de pesquisa de dados hidrogeológicos da área de estudo, relativos a poços perfurados. Uma extensa pesquisa bibliográfica foi desenvolvida, englobando consultas a livros, a publicações especializadas, a material afim divulgado na *Internet* e a mapas informativos sobre aspectos ligados à área de estudo.

4.1.2 Produtos de Sensoriamento Remoto

Foram utilizados produtos orbitais do satélite LANDSAT-5, sensor TM, bandas 3 e 4, na forma fotográfica em branco e preto. O Quadro 4.1 mostra a identificação e as principais características dos produtos fotográficos utilizados.

QUADRO 4.1

IDENTIFICAÇÃO E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS FOTOGRÁFICOS UTILIZADOS

CARACTERÍSTICAS										
CANAL	FAIXA DO ESPECTRO	ÓRBITA	PONTO	QUAD.	DATA	ELSOL	AZ	ESCALA	RESOL. ESP.	RESOL. ESPECTRAL
3	Visível / Vermelho	215	065	B	14/03/90	50	85	1:100.000	30m	0,63-0,69 μ m
3	Visível / Vermelho	215	065	D	14/10/98	61	94	1:100.000	30m	0,63-0,69 μ m
4	Infravermelho próximo	215	065	B	14/03/90	50	85	1:100.000	30m	0,76-0,90 μ m
4	Infravermelho próximo	215	065	D	14/10/98	61	94	1:100.000	30m	0,76-0,90 μ m

Quad. – Quadrante

Data – Data de passagem

ELSOL – Ângulo de elevação solar, em graus

Az – Azimute, em graus

Resol. Esp. – Resolução Espacial

m - metro

 μ m - micrômetro

4.1.3 Folha Topográfica

Para a extração da base planimétrica da área de estudo e complementação da rede de drenagem extraída das imagens TM/LANDSAT-5, foi utilizada a folha topográfica da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, identificada como **Folha SB.24-Z-D-III / Soledade**, na escala 1:100.000, impressa em segunda edição no ano de 1972.

4.1.4 Mapa Geológico do Estado da Paraíba

O Mapa Geológico do Estado da Paraíba, executado pela CDRM (1982b), foi um suporte utilizado na etapa de definição de lineamentos estruturais da área de estudo, bem como no processo de identificação de complexos rochosos. (Figura 2.3.)

4.1.5 Recursos Computacionais

Na etapa de conversão dos dados convencionais para o formato digital, foi utilizada uma infraestrutura computacional, disponível no Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba (LMRS/PB), formada por equipamentos (apoio físico) e programas computacionais específicos (apoio lógico), utilizados no processo de entrada processamento e apresentação dos dados, listados a seguir:

4.1.5.1 Equipamentos

- Microcomputador
- Mesa digitalizadora Summagraphics SUMAGRID IV
- Monitor de visualização de imagem SONY-2038 20" n/i SIGA.

4.1.5.2 Aplicativos

4.1.5.2.1 Programa SURFER (Win32), v. 6.03, 1996, Golden Software, Inc.

Utilizado para definição dos eixos de máximos de frequência de fraturas, a partir da interpolação dos elementos de relevo e drenagem.

4.1.5.2.2 Programa SGI -340 (Sistema Geográfico de Informações)

Desenvolvido pelo INPE/Engespaço Ind. Com. S/A, este programa foi utilizado na etapa de digitalização dos “overlays” gerados, convertendo em formato digital as informações neles contidas.

4.1.5.2.3 Sistema SPRING v. 3.4

O módulo SPRING foi utilizado em todo o processamento dos dados digitalizados no SGI-340, e permitiu a edição de todos os planos de informação definidos no projeto, enquanto no ambiente do módulo SCARTA, foram criadas e editadas as cartas temáticas, com o conteúdo de um plano de informação ou com a integração de mais de um plano de informação. As cartas temáticas editadas foram convertidas para um formato de plotagem no ambiente IPLOT do sistema SPRING.

4.1.5.2.4 Programa StereoNet

O programa StereoNet, versão 3.06, Geological Software, foi empregado para definição dos diagramas de rosetas, para dados de direção de fraturas obtidos nas imagens TM/Landsat-5 e nas medidas efetuadas nos afloramentos, para a análise qualitativa dos lineamentos.

4.1.6 GPS

A tecnologia do Sistema de Posicionamento Global – GPS foi utilizada neste trabalho de pesquisa para determinar as coordenadas geográficas dos afloramentos visitados e de alguns poços profundos perfurados na área de estudo, empregando-se equipamentos de navegação, modelos GPS Garmin - 45 e GPS Trimble Navigation: Ensign-XL.

4.1.7 Representação dos Dados

Todo o material utilizado, associado aos trabalhos desenvolvidos nas visitas de campo, para efeito de levantamento e reconhecimento de elementos geológicos, permitiu a execução das etapas de fotoanálise e de fotointerpretação,

gerando produtos individualizados em forma de “overlays”, que, após digitalização, possibilitaram a confecção dos seguintes mapas:

- Mapa da Rede de Drenagem;
- Mapa da Rede de Drenagem e de Linhas de Tendência de Fluxo;
- Mapa de Feixes de Fraturas;
- Mapa dos Eixos de Máximos de Frequência de Fraturas;
- Mapa Geológico;
- Mapa de Lineamentos;
- Mapa de Caminhamento;
- Mapa de Localização de Poços Perfurados e
- Mapa Integrado.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Métodos de Fotointerpretação

4.2.1.1 MÉTODO DAS CHAVES INTERPRETATIVAS

Este método tem como base o conhecimento prévio de padrões e feições similares a serem confrontados com aqueles existentes na área de estudo, caracterizando-se pelo seu caráter empírico e comparativo, Barbosa (1988).

Esses padrões podem ser:

- Visuais - comparação entre imagens;
- Descritivo - uma determinada feição do terreno é descrita em termos de características fotográficas que se pressupõe serem as mesmas para situações semelhantes em outras áreas.

Neste método, é possível que idéias pré-concebidas por parte do fotointérprete ocasionem erros no processo de análise. Para que tal fato não ocorra, espera-se do responsável pela fotoanálise uma isenção plena e a tomada dos cuidados exigidos pelo método.

4.2.1.2 MÉTODO SISTEMÁTICO

A base dos critérios de fotointerpretação utilizada neste método é o trabalho desenvolvido por Soares & Fiori (1976) que, a partir das idéias de Guy (1966) e Riverau (1972), apresentaram uma codificação lógica para a interpretação de imagens fotográficas, com as quais é possível recorrer à visualização tridimensional da área de interesse.

Os critérios de fotointerpretação utilizam o processo de adaptação realizado por Veneziani & Anjos (1982), para imagens de pequena escala, baixa resolução espacial e ausência de estereoscopia, em função das características dos produtos de sensoriamento remoto do satélite Landsat, que se baseia em uma seqüência de etapas lógicas e sistemáticas que independem do conhecimento prévio da área.

Este processo, segundo Veneziani & Anjos (op.cit.), apresenta como regras:

- A análise dos elementos de textura e da estrutura fotográfica e das tonalidades de cinza, a fim de definir as propriedades que caracterizam a forma e individualização de zonas imageadas que possuam características semelhantes (zonas homólogas);
- O procedimento dedutivo e indutivo para estabelecer o significado geológico das zonas homólogas.

Neste processo, são desenvolvidas as seguintes etapas:

- Fotoleitura - identificação dos elementos texturais de relevo e drenagem, onde o elemento textural é a menor superfície contínua, homogênea, passível de repetição, distinguível em uma imagem fotográfica;
- Fotoanálise - análise das propriedades dos elementos de relevo e drenagem e caracterização das formas segundo estas propriedades (Figura 4.1);

Nesta etapa, é realizada a análise das tonalidades de cinza, devido às características espectrais dos produtos TM/Landsat. Mesmo havendo uma relação entre tipo litológico-estrutura geológica e vegetação, geralmente as variações dos tons de cinza refletem as alterações ocorridas no tipo de vegetação. A partir desta possibilidade, exige-se certos cuidados quando da análise das tonalidades de cinza.

- Fotointerpretação - associação dos dados analisados a um significado geológico, tendo por base os conhecimentos mais atuais sobre a área de estudo do fotointérprete.

Neste trabalho de pesquisa, utilizou-se o método sistemático para a fotointerpretação dos dados, por oferecer mais condições de isenção de possível influência de caráter subjetivo por parte do fotointérprete. Informações mais consistentes sobre esses dois métodos podem ser encontradas em Soares & Fiori (1976), Lueder (1979), Veneziani & Anjos (1982), Veneziani (1986), Santos (1986) e Barbosa (1988).

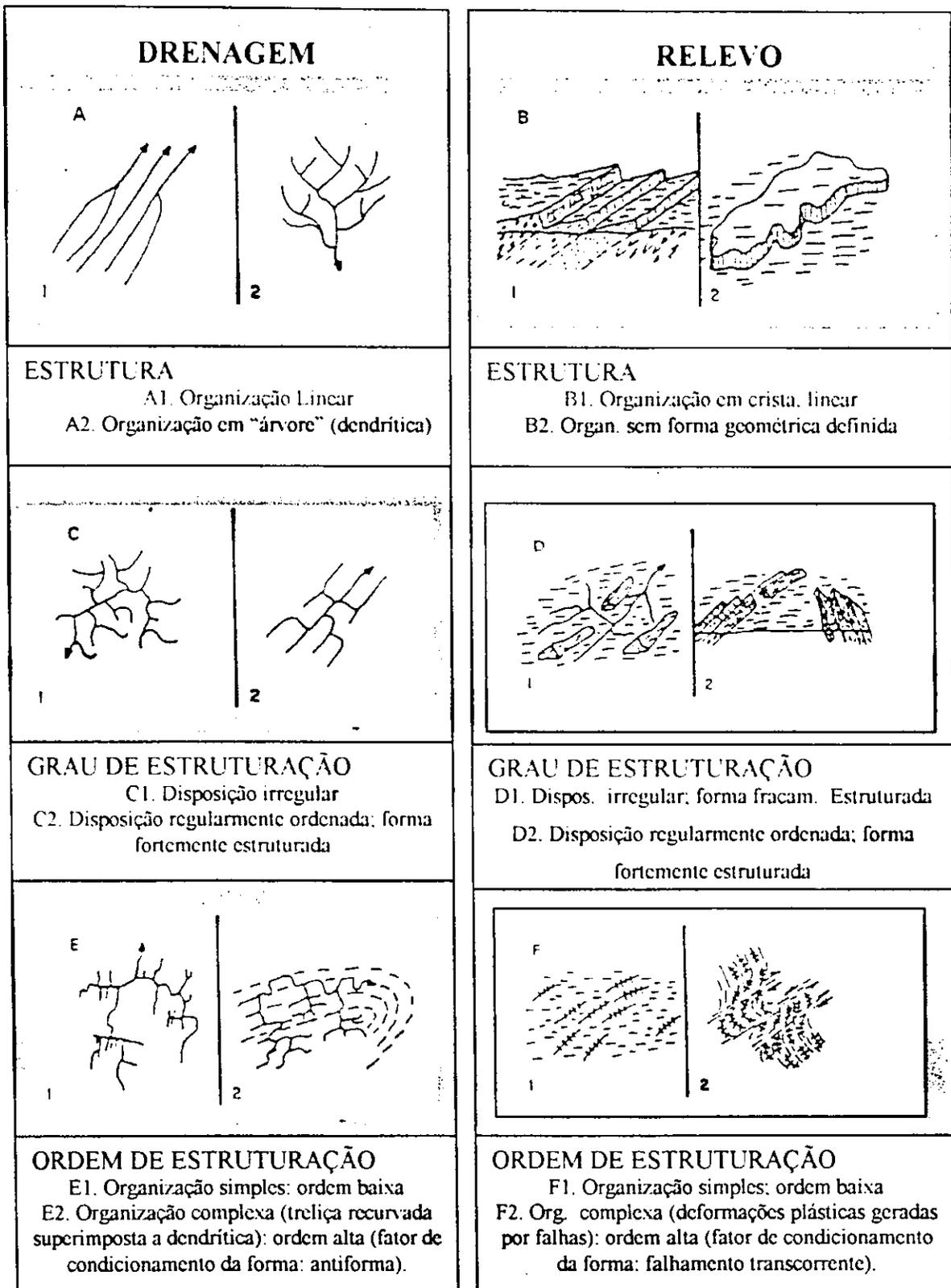


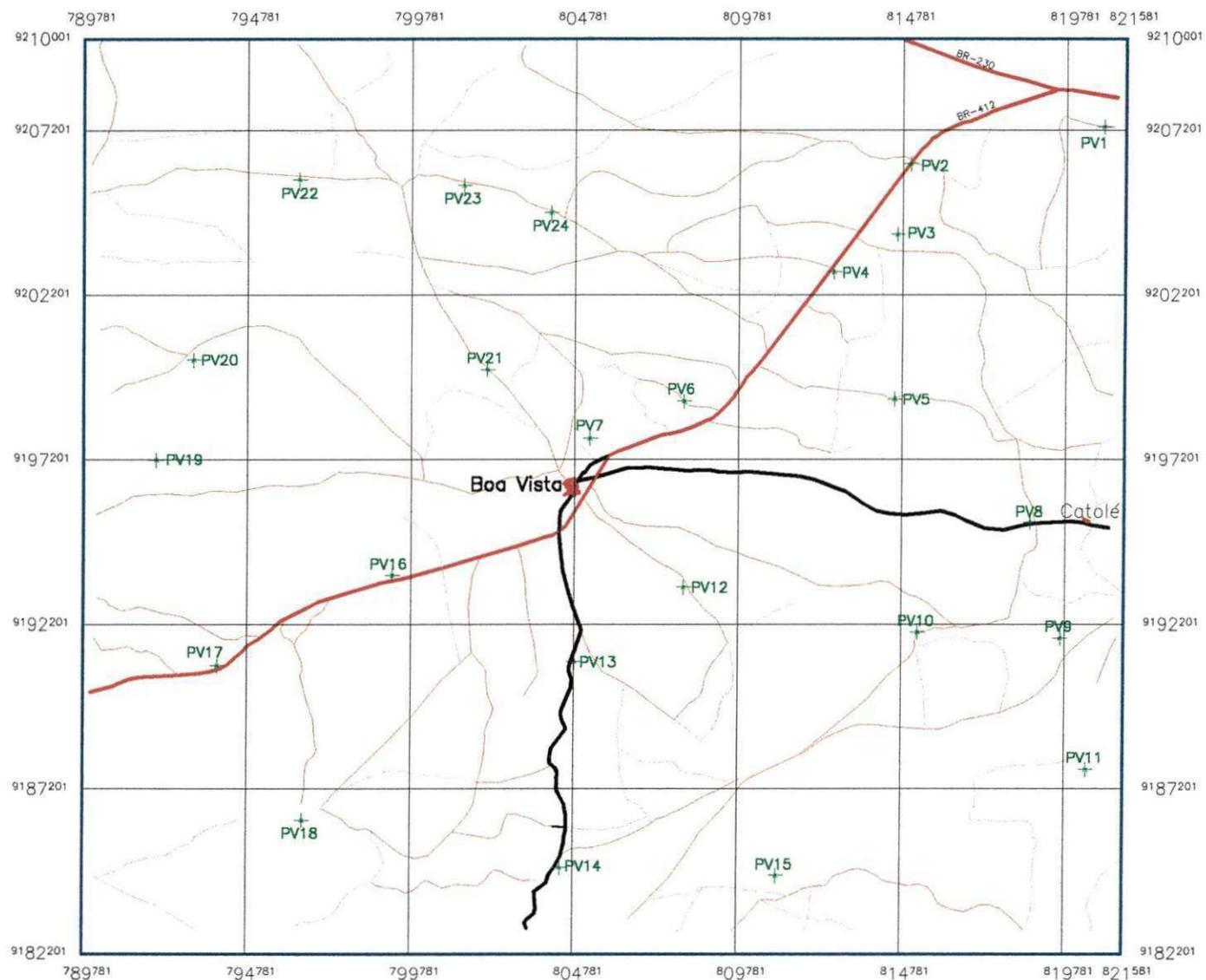
Fig. 4.1 – Propriedades das formas de drenagem e de relevo

Fonte: Modificada de Veneziani & Anjos (1982)

4.2.2 Trabalhos de campo

Os aspectos geológicos da área foram observados no trabalho de campo, que foi voltado ao estudo de evidências que possibilitassem um melhor entendimento da história evolutiva da área pesquisada, a partir dos processos de tectônica rúptil e rúptil-dúctil. Sem se ater ao detalhamento estratigráfico, que se mostra muito complexo para a região de estudo, em campo buscou-se efetuar observação e verificação de caráter regional. O roteiro para os trabalhos de campo foi definido com base nos feixes de fraturas definidos a partir das imagens, e os afloramentos visitados, quando as condições de acesso foram favoráveis, corresponderam às áreas de maior concentração de fraturas. Também se buscou a definição de afloramentos visitados com uma certa regularidade nas distâncias entre si, em decorrência do tempo e condições logísticas limitadas para observações em um número maior de pontos.

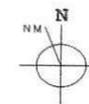
O Mapa de Caminhamento (Figura 4.2) informa a distribuição espacial de 24 (vinte e quatro) afloramentos visitados em campo. De cada um destes afloramentos, uma descrição geológica macroscópica foi efetuada, constando de informação da litologia das rochas, estudo de feições indicativas de movimentação e/ou esforços na formação de falhas ou fraturas, como marcas de arrancaduras, espelho de falha, estrias, etc., observação de diques, definição de intensidade de fraturamento em direções preferenciais de rupturas de esforços, medições de direção de fraturas verticais a subverticais e de foliação. Os dados de coordenadas geográficas e o nome da localidade de cada um dos afloramentos visitados encontram-se listados no Anexo 3.



LEGENDA

- Estrada Federal
- Estradas Estaduais
- Estradas Municipais
- - - Caminhos
- Cidade e Distrito

PV_n Pontos Visitados



Declinação Magnética - 1969
21° 34'

2.0 0 2.0 4.0 6.0 8.0 km

Escala 1/200000

UFPB/CCT/DEAg
Mestrado em Engenharia Agrícola

Autor: Ermano Cavalcante Falcão
Abril/2001

Figura 4.2 - MAPA DE CAMINHAMENTO

4.2.3 Análise de Fraturamento

Na extração dos dados estruturais (juntas e falhas) das imagens TM/Landsat-5, foram analisados os elementos texturais de relevo e drenagem (lineações e alinhamento de relevo e drenagem).

No desenvolvimento dessa análise, alguns elementos foram estudados, com a seguinte designação para os seus termos:

- Lineação de relevo e drenagem – termo empregado segundo as definições de Soares et al. (1982a) e Soares et al. (1982b), como caráter descritivo de feições observadas nas imagens fotográficas e sua correlação com os elementos do terreno;
- Fotolineamento – termo utilizado de forma ampla para caracterizar feições lineares, retíneas e/ou levemente curvas, associadas às formas de relevo e drenagem observadas nos produtos fotográficos utilizados;
- Fotoalinhamento – termo empregado de forma ampla para caracterizar feições alinhadas simples ou compostas, que podem refletir um fenômeno de subsuperfície;
- Fratura – termo usado de forma ampla, incluindo qualquer plano de quebra passível de representação nos produtos utilizados de pequena escala, abrangendo foliações cataclásticas, a partir das quais pode se desenvolver um intenso fraturamento.
- Juntas – lineações de relevo e de drenagem com extensão máxima de 3,5 km, (Northfleet et alii, 1971), e transversais a subparalelos ao acamamento;
- Falhas – alinhamentos de relevo e drenagem com extensão superior a 3,5 km que podem condicionar a assimetria destes elementos ou constituir os limites entre extratos rochosos com competência diferente, Veneziani (1986).

O estudo dos dados de fraturamento foi realizado através da delimitação dos feixes de fraturas e das análises qualitativa e quantitativa destas fraturas.

4.2.3.1 FEIXES DE FRATURAS

A partir da afirmação de Plicka (1974), segundo a qual os principais alinhamentos e zonas fortemente estruturados podem indicar tectonismo profundo, foram definidas direções preferenciais na análise dos feixes de fraturas.

As zonas de juntas são constituídas de uma concentração de juntas, com alto ângulo de mergulho (verticais a subverticais), espaçadas regularmente e mais ou menos paralelas, estendendo-se ao longo de grandes áreas e grandes distâncias e podendo ainda ter grande extensão vertical, que, segundo Nickelsen (1974, in Santos, 1986), favorece uma maior infiltração de água e, em consequência, um intemperismo mais profundo, com possibilidades de formar conjuntos em uma determinada direção, delineando feições tectônicas, sendo as feições mais marcantes e proeminentes nos produtos fotográficos utilizados.

As zonas de juntas podem ser utilizadas para determinar o padrão tectônico de uma região, o que possibilita a análise das relações genéticas e geométricas entre essas zonas, que, por sua vez, se caracterizam por tectônica de falha. As falhas associadas são mais jovens do que as zonas de juntas, visto que as falhas normalmente se desenvolvem seguindo mais de um sistema de juntas, mudando de forma brusca o seu curso, Plicka (1974).

Uma esquematização simplificada de análise de feixes de fraturas, evidenciando a dinâmica de falhamentos, é mostrada na Figura 4.3.

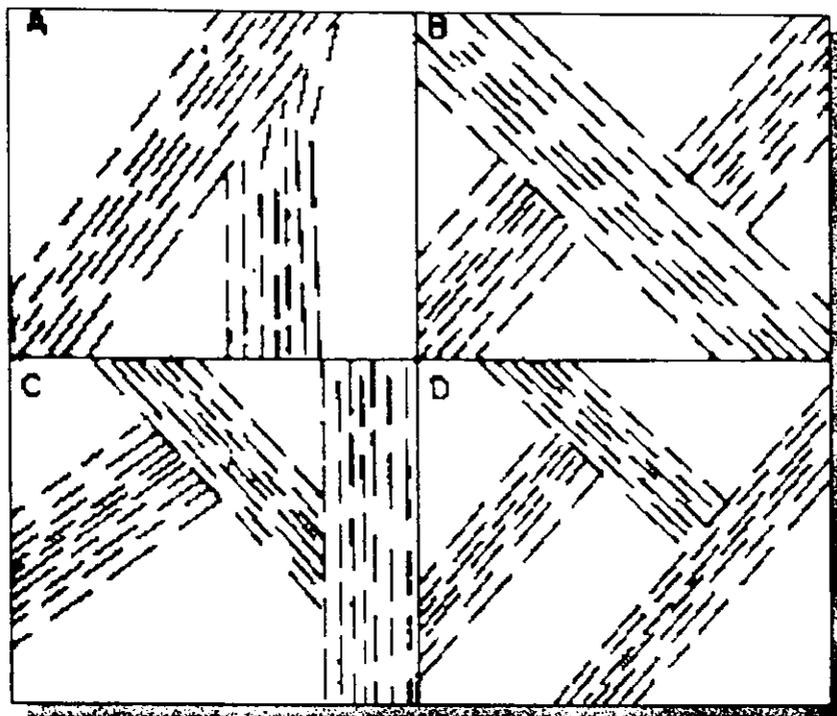


Figura 4.3 – Análise de feixes de fraturas: em (A), arrasto das fraturas N-S pelo movimento das fraturas NE-SO; em (B), interrupção e deslocamento das fraturas NE-SO pelas fraturas NO-SE; em (C), o sistema NE-SO é interrompido por um evento posterior NO-SE e este por um mais jovem, N-S; em (D), sistemas NE-SO e NO-SE se interrompem mutuamente, indicando um par de fraturas conjugadas.

Fonte: Santos (1986).

4.2.3.2 ANÁLISE QUALITATIVA DAS LINEAÇÕES DE RELEVO E DRENAGEM.

Segundo Barbosa (1988), a análise qualitativa das lineações de relevo e drenagem tem como base o estudo da distribuição, intensidade e relação das interseções das lineações de relevo e drenagem, o que permite a obtenção de informações sobre a hierarquia dos esforços que atuaram na região e, conseqüentemente, obter indicação sobre a relação entre os diversos eventos (inclusive sobre suas idades relativas) que resultam nos atuais sistemas de fraturas.

A partir da análise individual dos sistemas de fraturas, inferências podem ser feitas com respeito a um dado evento tectônico rúptil ou rúptil-dúctil, e que, segundo

Plicka (1974), pode permitir também a identificação de falhamentos, pela concentração de fotolineamentos.

De acordo com Santos (1986), a análise das relações de interferência entre os sistemas de fraturamento juntamente com os dados geológicos permite definir as direções segundo as quais existiram esforços de compressão, distensão, poliatividade, etc., informações essas que possibilitam a análise da distribuição de esforços em toda a área estudada.

4.2.3.3 ANÁLISE QUANTITATIVA DAS LINEAÇÕES DE RELEVO E DRENAGEM

O tratamento estatístico de fotolineamentos para produtos em pequena escala, proposto por Aliyev (1980), permite o estudo regional dos eventos da tectônica rúptil e rúptil-dúctil. A partir deste tratamento, é processada a análise quantitativa das lineações de relevo e drenagem.

O tratamento estatístico, segundo Santos (1986), tem como base o princípio de que uma fratura é uma zona de fraqueza, o que implica ser uma zona potencial no condicionamento da distribuição dos eventos rupturais posteriores que atingiram uma dada área. O tratamento é dado sobre os sistemas de fotolineamentos, por intermédio da contagem ponderada das fraturas fotointerpretadas, e, com o processo de interpolação, são obtidos os mapas de frequência de fraturas.

A partir da análise da distribuição dos máximos de concentração de fraturas de um dado sistema, é possível, segundo o mesmo autor, verificar o controle exercido quando da instalação de um evento por descontinuidades pré-existentes, Figura (4.4).

O estudo dos sistemas de fraturas como um todo ou separadamente para uma determinada unidade lito-estratigráfica, como também a definição dos efeitos do controle exercido por falhamentos na distribuição das zonas de juntas, foi permitido pelo mesmo método.

Para a efetivação do tratamento, a área objeto de estudo foi dividida utilizando-se uma malha quadrada de três centímetros de lado, o que possibilitou a contagem dos fotolineamentos para cada um dos conjuntos de sistemas de juntas definidos.

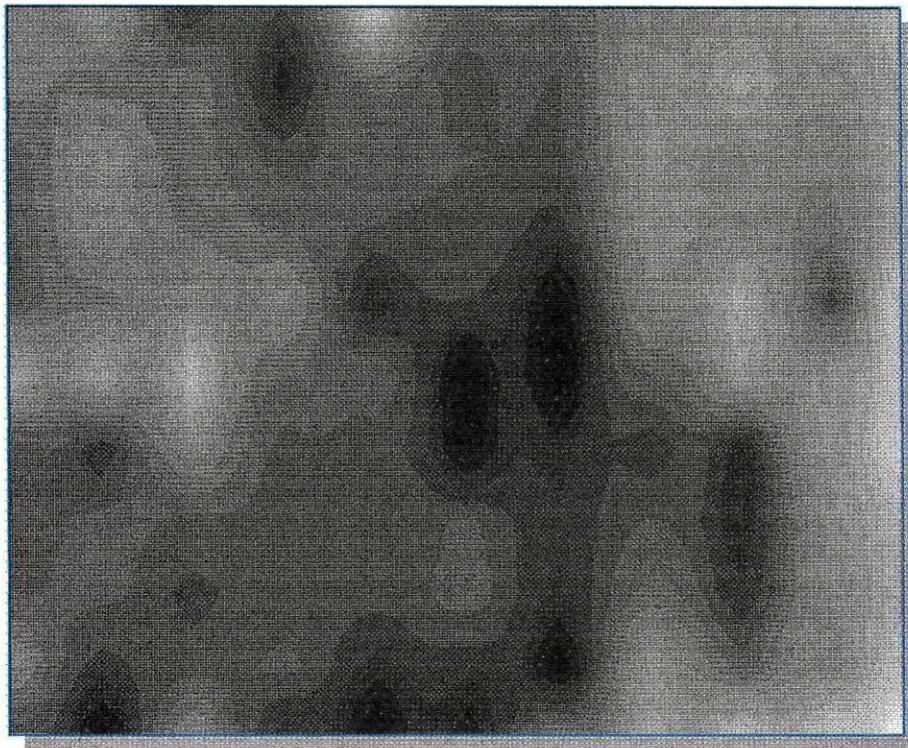


Figura 4.4 – Esquema de análise estatística de fotolineamentos: mapa de frequência de fraturas de direção N(35-40)°O, com a disposição de seus máximos de frequência sob controle da direção (N-S).

4.2.3.4 ANÁLISE DE FALHAMENTOS

A definição de falhamentos associados às direções foi conseguida a partir da integração dos dados da fotointerpretação das análises dos fotolineamentos e dos fotoalinhamentos.

Considerando que estes falhamentos se desenvolveram na região de influência das zonas de cisalhamento dos lineamentos de Patos e de Pernambuco, para sua análise foram aplicados os modelos de Riedel (1929), apresentados por Vialon et alii (1976) e modificados por Sadowski (1983).

Este modelo define para uma zona de cisalhamento, quatro famílias de fraturas secundárias com desenvolvimento relacionado a um binário de esforços de tração e compressão.

A Figura 4.5 mostra de forma esquemática uma zona de cisalhamento com as direções relativas desses esforços, com a seguinte designação para as fraturas secundárias:

T – Fratura de Tração;

R e R^1 – Fraturas de cisalhamento sintético e antitético, respectivamente formando um conjugado de aproximadamente 60° e simétrico em relação a T. Sob condições de cisalhamento simples, originam-se dois conjuntos de planos cisalhantes orientados a aproximadamente 15° (R – Riedel) e 75° (R^1 – anti-Riedel) do binário de cisalhamento principal.

P – Fratura simétrica a R, em relação à direção de cisalhamento maior e também sintética, e orienta-se a um ângulo baixo em relação ao binário de cisalhamento.

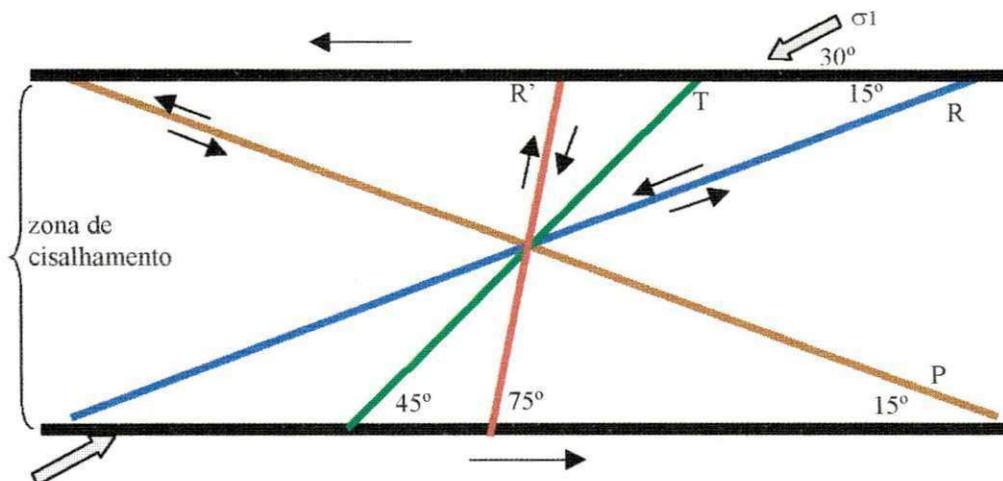


Fig. 4.5 – Representação do Modelo de Riedel

Fonte: Viallon et. al. (1976) – Modificado por Sadowski (1983)

Para o modelo de Riedel, duas outras famílias de fraturas (X e Y) foram definidas por Sadowski (1983), onde X representa fraturas simétricas a R^1 , em relação à zona de cisalhamento, e Y, fraturas paralelas à zona da falha, (Figura 4.6).

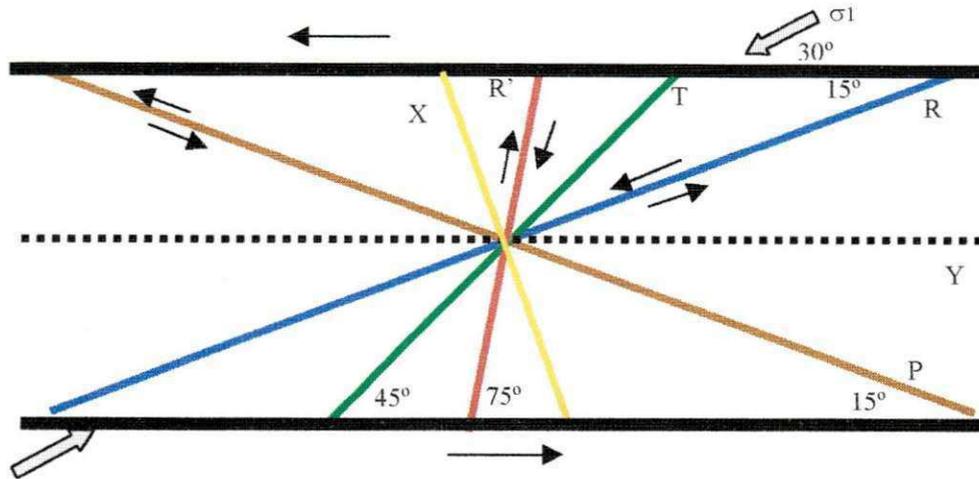


Fig. 4.6 – Sistema de fraturas na zona de cisalhamento
Fonte: Sadowski (1983)

4.2.3.5 ANÁLISE DA ASSIMETRIA DOS ELEMENTOS DE DRENAGEM E RELEVO

Na análise da assimetria da drenagem e do relevo, compara-se a forma e extensão dos afluentes nos dois lados relativos ao eixo de simetria.

Segundo Veneziani & Anjos (1982), a assimetria de drenagem é definida em função da extensão e da forma dos elementos texturais de drenagem que se constituem em afluentes do canal principal (Figura 4.7). Com relação à assimetria de relevo, estes autores a definem em função do ângulo de declividade entre zonas de relevo, com diferentes propriedades texturais, cujo vértice é uma quebra positiva (Figuras 4.8 e 4.9).

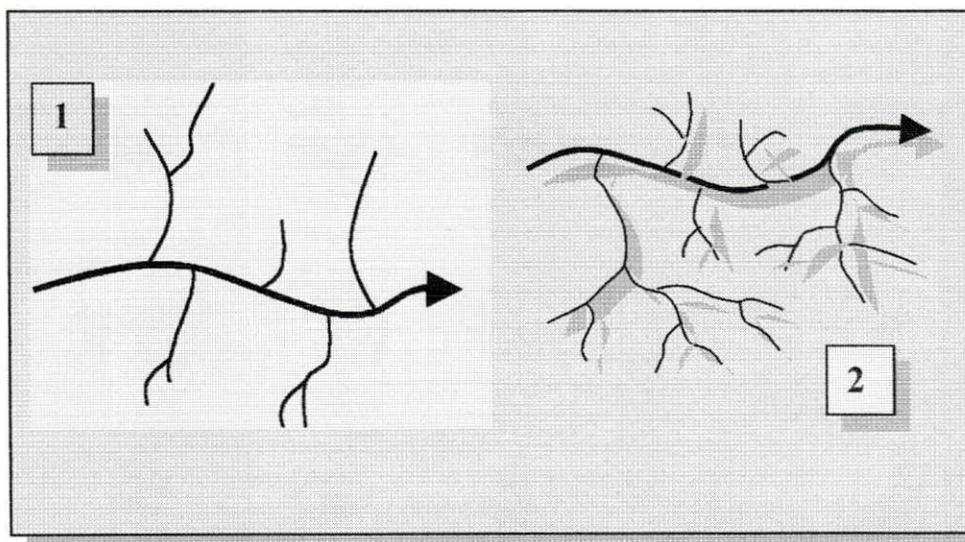


Figura 4.7 - Assimetria de Drenagem: (1) fracamente assimétrica; (2) fortemente assimétrica

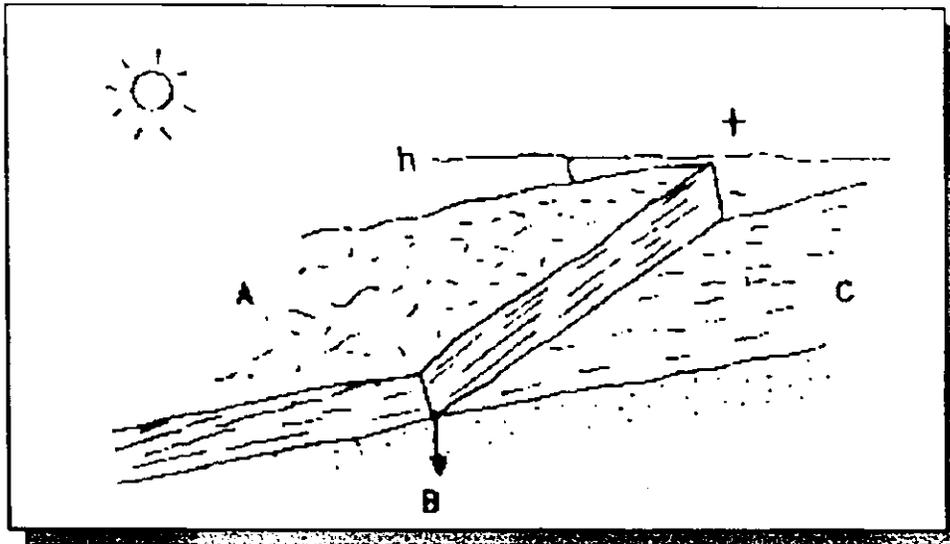


Figura 4.8 – Assimetria de relevo: o plano de declividade estrutural (zona homóloga A) forma um ângulo baixo com a linha do horizonte (h), pois o relevo é fortemente assimétrico (quanto maior esse ângulo, menor é a assimetria e, portanto, mais acentuado o mergulho estrutural).

Fonte: Veneziani & Anjos (1982)

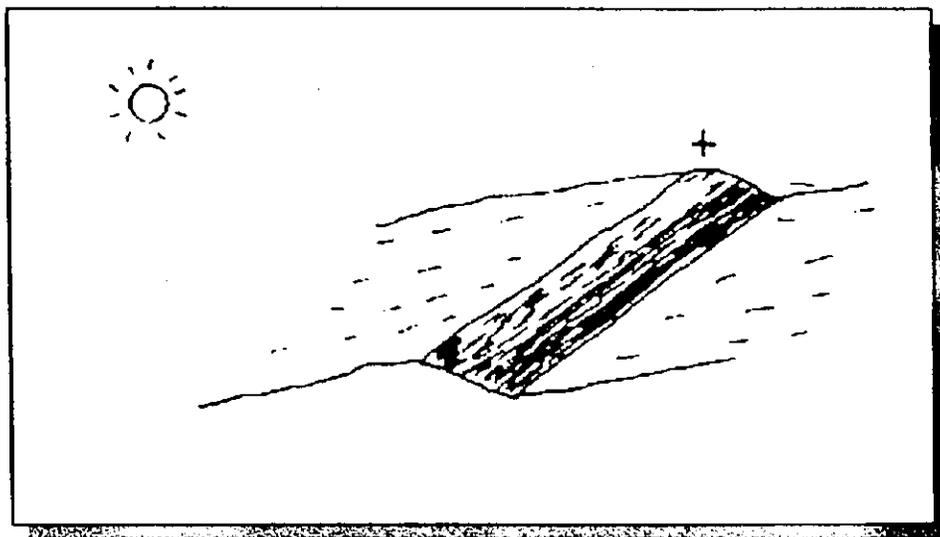


Figura 4.9 – Assimetria de relevo: a largura da região iluminada na imagem fotográfica do Landsat é bem maior que a da sombreada, indicando a forte assimetria do relevo.

Fonte: Veneziani & Anjos (1982).

As linhas de fluxos regionais e locais, com seus traçados definidos a partir da rede de drenagem da área de estudo, possibilitam fazer deduções a respeito de mergulho de feições planares ou sentido de mergulho de estruturas geológicas que possam indicar a

inclinação de estratos ou basculamento de blocos estruturais onde podem ocorrer condições favoráveis à percolação das águas subterrâneas.

O processo de análise da assimetria de drenagem e de relevo em rochas cristalinas deve ser feito com precaução, pois a movimentação de água em subsuperfície ocorre praticamente apenas através das fraturas, sendo mais confiável a sua aplicação em áreas de domínio de rochas estratificadas, como as bacias sedimentares, ressalta Guedes (1993).

4.2.4 Áreas Favoráveis à Pesquisa de Água Subterrânea

Veneziani & Rocio (1991, in Silva Neto & Barbosa, 2000) afirmam que a acumulação de água subterrânea no cristalino, em regiões de predominância de rochas Pré-cambrianas, tem relação direta com a existência de redes aquíferas originadas da trama formada por juntas e falhas. Evidentemente, a capacidade de infiltração de água é diretamente proporcional à densidade de fraturamento e à abertura ou separação entre os planos que subdividem os blocos rochosos fraturados. Considerando o vínculo a estes fatos do fluxo de água subterrânea, inferido a partir da tropia e assimetria da rede de drenagem, os mesmos autores afirmam ser possível demarcar áreas mais propícias ao seu armazenamento.

Na tentativa de se eleger áreas com maior potencialidade hidrica subterrânea na região do cristalino, deve-se, portanto, nortear pela delimitação de áreas com maior concentração de fraturas (principalmente abertas), com intensa foliação. Com base na análise das linhas de tendência de fluxo, pode-se considerar que ao longo das falhas, como elementos responsáveis pela confluência de água em sua extensão, a percolação seja máxima, contribuindo diretamente com a capacidade de armazenamento, já que o fluxo aumenta na razão direta da extensão dessas feições estruturais.

Outros tipos de estruturas devem ser considerados com potencial para acumulação de água subterrânea no cristalino, pela possibilidade de proverem espaços abertos, como diques, filões e contatos entre litologias distintas, mecanicamente contrastantes, e, ainda, planos de foliação e zonas miloníticas. Apesar de originalmente fechadas, essas estruturas podem ser “abertas” quando sujeitas a processos de reativação, intemperismo e descompressão, próximo à superfície da terra, Jardim de Sá (2000).

Sampaio (1987) afirma que estruturas como feixes, fraturas e lineamentos estruturais, quando associados a esforços distensivos, são as que mais favorecem a ocorrência de água subterrânea, contrariamente ao armazenamento muito limitado oferecido pelas estruturas associadas a regimes compressivos.

Observando alguns aspectos relativos ao significado dos feixes de fraturas, Sampaio (op. cit.) afirma que a visualização dessas feições nas imagens fotográficas, em nível regional e de semidetalhe, é mais freqüente quando estas estruturas estão relacionadas a fraturas abertas verticais a subverticais, originárias de reflexos de falhamentos profundos, sendo menos comum a detecção de feixes associados a fraturas fechadas. E como essas feições são mais observáveis se relacionadas a elementos abertos, a detecção de feixes nas imagens fotográficas caracteriza indícios de áreas com potencial à infiltração e possível armazenamento de água subterrânea.

No que diz respeito às falhas, deve-se levar em conta que aos regimes de tensão que as originou são associados tipos de movimentos relativos entre blocos. As falhas normais estão relacionadas aos regimes de esforços distensivos, e são propícias, hidrogeologicamente, à infiltração de água. Aos regimes de esforços compressivos, estão relacionadas falhas transcorrentes com movimentos direcionais, e falhas de empurrão com movimentos inversos, que promovem a circulação da água no caso de terem aliviado os esforços compressivos.

As estruturas como feixes e lineamentos não são encontradas apenas de forma isolada, mas também se interferindo mutuamente. A interferência que existe entre estruturas é entendida como cruzamento entre feixes, cruzamento entre lineamentos, cruzamento entre feixes e lineamentos ou, ainda, cruzamento entre feixes ou lineamentos e descontinuidades estratigráficas, significando estas últimas, discordâncias litológicas não relacionadas às falhas. Os cruzamentos destas estruturas, como também regiões a eles adjacentes, podem ser considerados como áreas anômalas, e que, por serem mais fraturadas, oferecem maiores condições de infiltração para a água.

As áreas que devem ser consideradas como de maior potencialidade à ocorrência de água subterrânea seguem a seguinte ordem de prioridade:

- cruzamentos entre estruturas distensivas (abertas);
- cruzamentos híbridos (estruturas abertas e fechadas);

- cruzamentos entre estruturas compressivas (fechadas).

Utiliza-se também para a definição de áreas de maior potencialidade hídrica subterrânea, o posicionamento das feições estruturais em relação às linhas de tendência de fluxo, podendo ser de natureza concordante ou discordante. A Figura 4.10 esquematiza as possibilidades desse posicionamento. Nela, o setor delimitado pelo círculo "A", apesar de sua inserção numa zona de cruzamento de um feixe de fraturas com um lineamento, não caracteriza uma área com boas condições de se pesquisar água subterrânea, em virtude do seu caráter discordante em relação à tendência geral do fluxo. Contrariamente, o setor delimitado pelo círculo "B", é mais favorável à pesquisa de água subterrânea, pois existe um feixe disposto longitudinalmente ao fluxo, na porção mais baixa do bloco basculado, cortado por um lineamento.

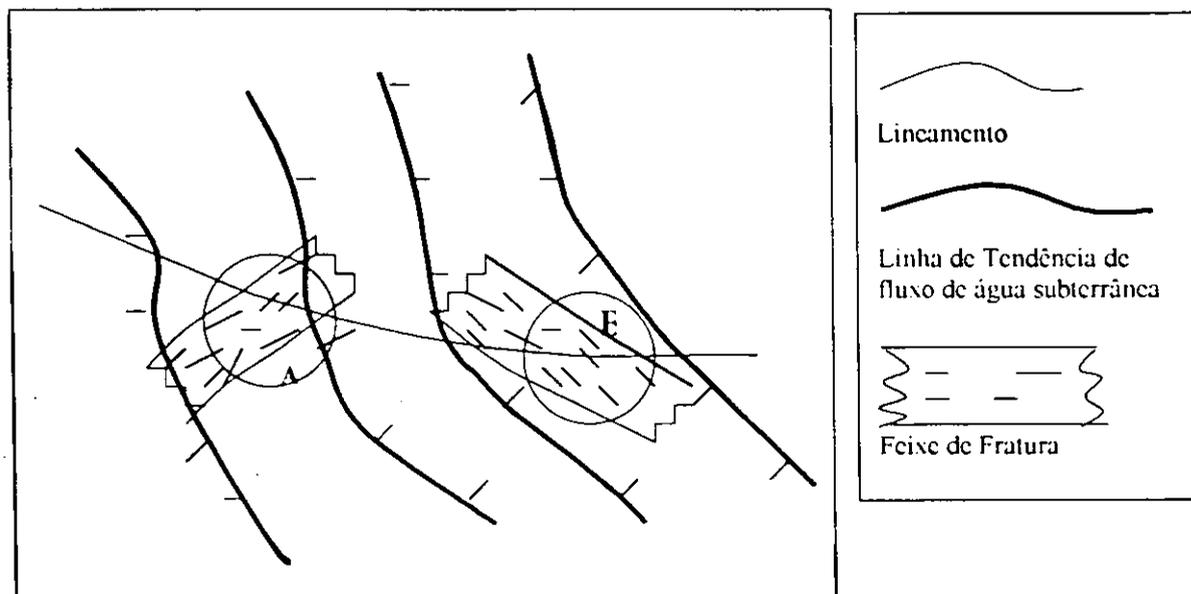


Fig. 4.10 – Exemplo esquemático de delimitação de áreas favoráveis à pesquisa de água subterrânea

Efetuada-se a composição dos critérios já referidos, visando à definição da ordem de prioridade de áreas com maior potencial hídrico subterrâneo no cristalino, as feições estruturais são consideradas em 28 situações de formas de ocorrência, ordenadas em 3 grupos (Tabela 4.1), de acordo com as características de potencial de infiltração de água, (Sampaio, 1987, in Guedes, 1993). Os elementos abertos (A), híbridos (H) e

fechados (F) compõem, respectivamente, os grupos de maior prioridade, de prioridade intermediária e de menor prioridade. A forma de ocorrência dos elementos (cruzamentos e estruturas individuais) está representada por algarismos romanos, enquanto os algarismos arábicos definem as feições estruturais caracterizadas em nível de imagem fotográfica, dados de campo e bibliografia própria.

Exemplificando, o significado da seqüência alfanumérica B12 para uma determinada área é a existência de elementos estruturais híbridos, formando um sistema conjugado, com cruzamento entre feixes e lineamentos.

É importante ressaltar que a utilização de todos esses critérios objetiva a identificação de áreas com potencialidades hidricas subterrâneas maiores, significando que para a locação de poços no interior das mesmas, com alto grau de confiabilidade, devam ser procedidos estudos hidrogeológicos convencionais e testes de perfuração.

TABELA 4.1

ESTRUTURAS E COMBINAÇÕES SEGUNDO ORDEM DE PRIORIDADE

ELEMENTOS ESTRUTURAIS		CRUZAMENTOS				III	ESTRUTURAS INDIVIDUAIS
		I	SISTEMAS CONJUGADOS	II	SISTEMAS		
A	ABERTOS (A)	1	FEIXE X FEIXE	1	FEIXE X FEIXE	1	FEIXES
				2	FEIXE X LINEAMENTOS(S)		
		2	FEIXE X LINEAMENTOS(S)	3	LINEAMENTO(S) X LINEAMENTOS(S)	2	LINEAMENTOS
				4	FEIXE X DESCONTINUIDADE		
				5	LINEAMENTO(S) X DESCONTINUIDADE		
B	HÍBRIDOS (H)	1	FEIXE (A) X LINEAMENTO(S) (F)	1	FEIXE (A) X LINEAMENTO(S) (F)		
		2	FEIXE (F) X LINEAMENTO(S) (A)	2	FEIXE (A) X FEIXE (F)		
		3	FEIXE (A) X FEIXE (F)	3	LINEAMENTO (A) X LINEAMENTO (F)		
		4	LINEAMENTO (A) X LINEAMENTO(S) (F)	4	FEIXE (F) X LINEAMENTO (A)		
C	FECHADOS (F)	1	LINEAMENTO (S) X LINEAMENTO(S)	1	LINEAMENTO(S) X LINEAMENTO(S)	1	FEIXES
				2	FEIXE X LINEAMENTO (S)		
		2	FEIXE X LINEAMENTO(S)	3	FEIXE X FEIXE	2	LINEAMENTOS
				4	FEIXE X DESCONTINUIDADE		
				5	LINEAMENTO(S) X DESCONTINUIDADE		
3	FEIXE X FEIXE						

OBS.

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

Observar a permeabilidade quanto à porosidade ou densidade de elementos estruturais;

Verificar a tendência de fluxo de água, se concordante ou discordante às estruturas.

Fonte: Veneziani (1982), Sampaio (1987), modificada por Guedes (1993).

4.2.5 Poços Perfurados

As informações obtidas sobre os poços profundos existentes na região estudada são importantes na complementação dos dados obtidos na fotointerpretação dos produtos de sensoriamento remoto e no trabalho de campo, como também na aferição das áreas selecionadas como mais propícias à pesquisa de água subterrânea.

As informações de poços perfurados foram obtidas a partir de dados existentes na Prefeitura Municipal de Boa Vista e na Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Estado da Paraíba – CDRM/PB (Anexo 2).

4.2.6 Integração dos Dados

Em todas as fases de desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, foram geradas informações de conteúdo complementar a outras informações e/ou informações de resultados finais, agrupadas em um único documento. Um mapa integrado consiste de um documento que abrange as informações conseguidas nestas etapas do trabalho, como a delimitação das áreas com potencialidade maior para a pesquisa de água subterrânea, a rede de drenagem com as linhas de tendência de fluxo das águas de subsuperfície, os lineamentos estruturais, os feixes de fraturas, a localização dos poços profundos perfurados e a base cartográfica.

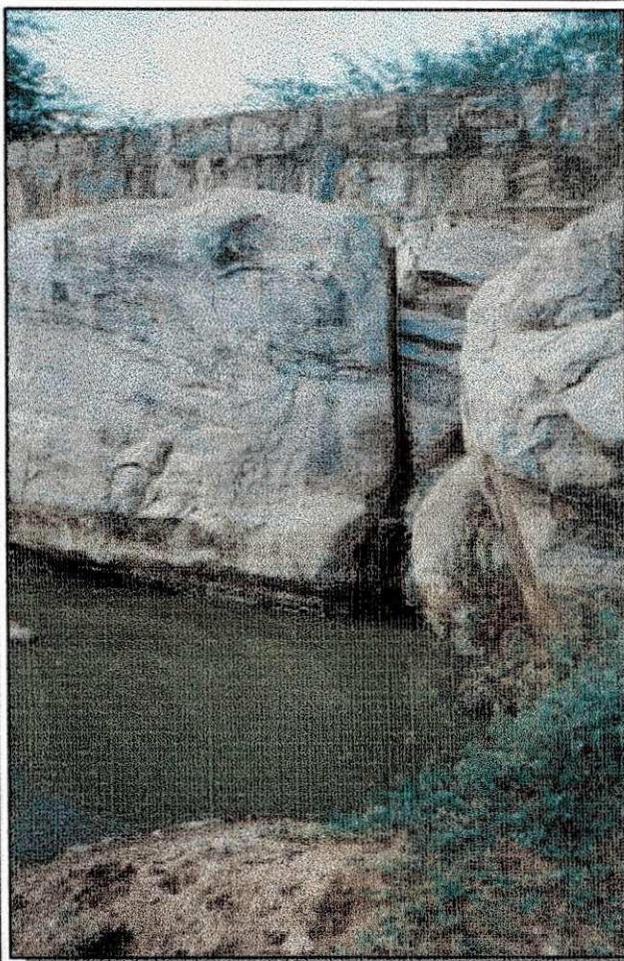
CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos no desenvolvimento das análises e medidas efetuadas em cada fase da pesquisa, com discussões associadas. Os itens que compõem este capítulo obedecem à seguinte seqüência de apresentação:

RESULTADOS E DISCUSSÕES

- Aspectos geológicos
- Aspectos geomorfológicos
- Análise de Fraturamento
- Análise quantitativa de fotolineamentos
- Análise qualitativa de fotolineamentos
- Análise da assimetria da rede de drenagem
- Áreas favoráveis à pesquisa de água subterrânea
- Dados de poços profundos
- Sistema de Informação Geográfica



RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

A unidade lito-estratigráfica Embasamento Cristalino, no trabalho desenvolvido, engloba as rochas do Pré-cambriano Indiviso, ou seja, o complexo gnáissico-migmatítico, incluindo calcário cristalino, e as rochas granitóides. Esta unidade é responsável por mais de 95% da formação litológica da área estudada.

As observações efetuadas em campo indicaram a presença de um alto grau de tectonismo, fraturamento e dobramento das rochas do embasamento cristalino, além de foliação cataclástica ligadas à evolução das falhas transcorrentes representativas das principais direções de esforços definidas, sendo este conjunto de evidências corroborativo da movimentação policíclica e poliativa a que foi submetida a região estudada, (Figuras 5.1 e 5.2). As principais direções da foliação encontradas nas observações de campo, que apresentam subparalelismo ao fálhamento de Patos, de direção E-O, foram:

- E - O;
- N 86° O;
- N 82° O;
- N 78° O;
- N 76° O;

Com bem menos freqüência, as direções N 65° O e N 75° E também foram encontradas no campo como orientação de foliação.



Figura 5.1 – Evidências de dobramentos e fraturamentos em afloramentos de migmatito; setor extremo sul da área estudada.

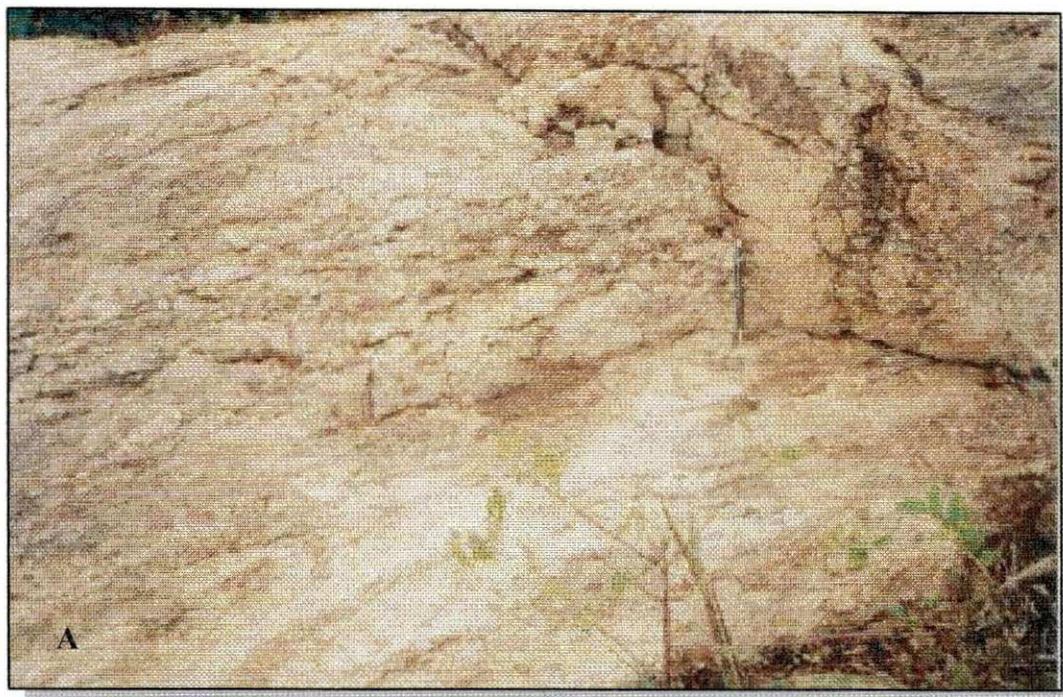


Figura 5.2 – Aspectos das rochas cristalinas tectonizadas e fraturadas (A) e da foliação, com fraturas associadas, desenvolvida sob direção leste-oeste (B). Afloramento a NO-NE, porção centro-norte da área de estudo.

5.2 ASPECTOS FOTOGEOLÓGICOS

As rochas do Embasamento Cristalino apresentam algumas características fotogeológicas que se mostram evidentes nos produtos TM-Landsat-5.

A notável presença de lineamentos nesses produtos, com mais evidência na banda 4, Figura 5.3, é indicativa das características estruturais dessas rochas. As lineações de drenagem e de relevo desenvolvem-se de maneira estruturada e caótica. A definição do fraturamento, da foliação associada e dos grandes falhamentos é possível a partir da estruturação dessas lineações nas imagens.

Na região estudada, o aspecto estrutural das rochas do Embasamento Cristalino observado nas imagens apresenta o delineamento marcante dos lineamentos, ressaltando, em alguns setores, características de virgação de falhas.

O tipo litológico e as unidades morfológicas das imagens guardam entre si propriedades indicativas de uma relação direta. Grande parte da área que, nas imagens, apresenta um relevo plano a suave ondulado, tem como seus correspondentes no campo o complexo gnáissico-migmatítico, a formação Campos Novos e as rochas diabásicas/basálticas, enquanto os pontos de relevo mais elevado referem-se, no campo, às rochas granitóides.

O relevo impõe o par luz/sombra para determinar as características de fraturas e falhamentos nos produtos imageados.

No que diz respeito à drenagem, no âmbito das rochas cristalinas, a densidade de seus elementos texturais apresenta-se maior do que nas pequenas áreas de domínio de rochas cenozóicas e diabásicas/basálticas.

5.3 ANÁLISE DE FRATURAMENTO

A partir dos lineamentos extraídos das imagens TM/Landsat-5, foi elaborado o Mapa de Lineamentos (Figura 5.4), que apoiou a definição dos principais lineamentos estruturais da área de estudo. A interpretação desses lineamentos foi suportada por dados de campo e bibliográficos, gerando a definição de elementos estruturais, como

falhamentos e fraturas e das principais direções de esforços condicionantes do processo evolutivo da área de estudo.

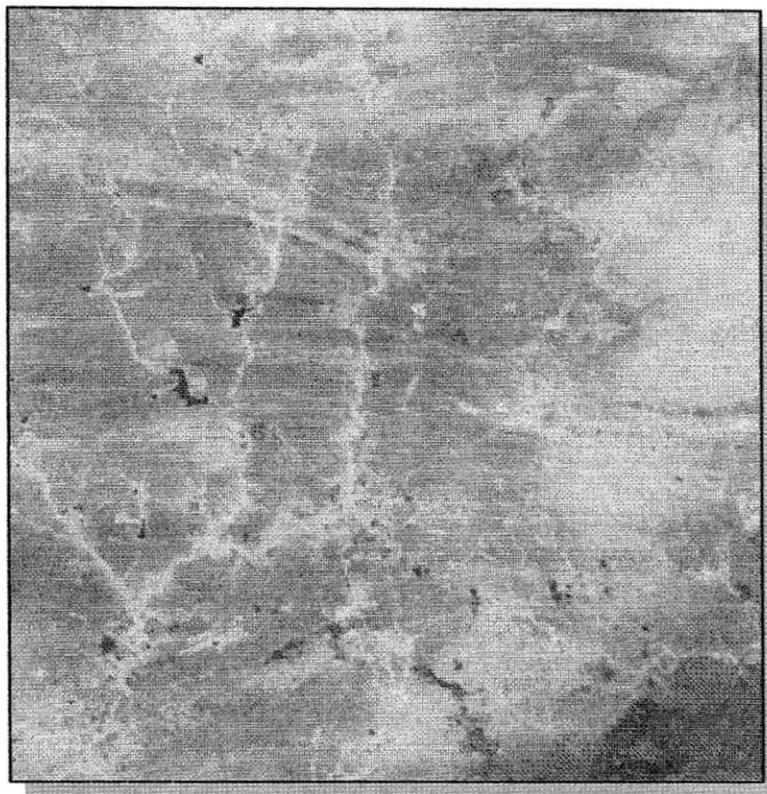


Figura 5.3 – Parte da área de estudo na imagem TM/Landsat-5, com destaques para a rede de drenagem e para as lineações denotativas de falhamentos E-O, com posterior virgação para SE-NO.

Fonte: UFPB/LMRS

A análise da distribuição dos feixes de fraturas, plotados no Mapa de Feixes de Fraturas (Figura 5.5), permitiu a definição das direções preferenciais de esforços, que se encontram no Quadro 5.1. Neste estudo, verificou-se que o maior número de feixes de fraturas está relacionado com direções que variam de $N73^{\circ}O$ a E-O e o menor número de feixes de fraturas, com a direção $N(20-25)^{\circ}E \pm 5^{\circ}$. Não foi definido feixe orientado sob a direção $N60-65^{\circ}E \pm 5^{\circ}$.

A relação das interseções dos feixes de fraturas não indicou deslocamentos relativos de maiores proporções nem mudanças importantes nas direções, o que permite inferir que em termos de idade relativa, possivelmente os diferentes falhamentos associados a fraturamentos da área pesquisada são antigos e contemporâneos.

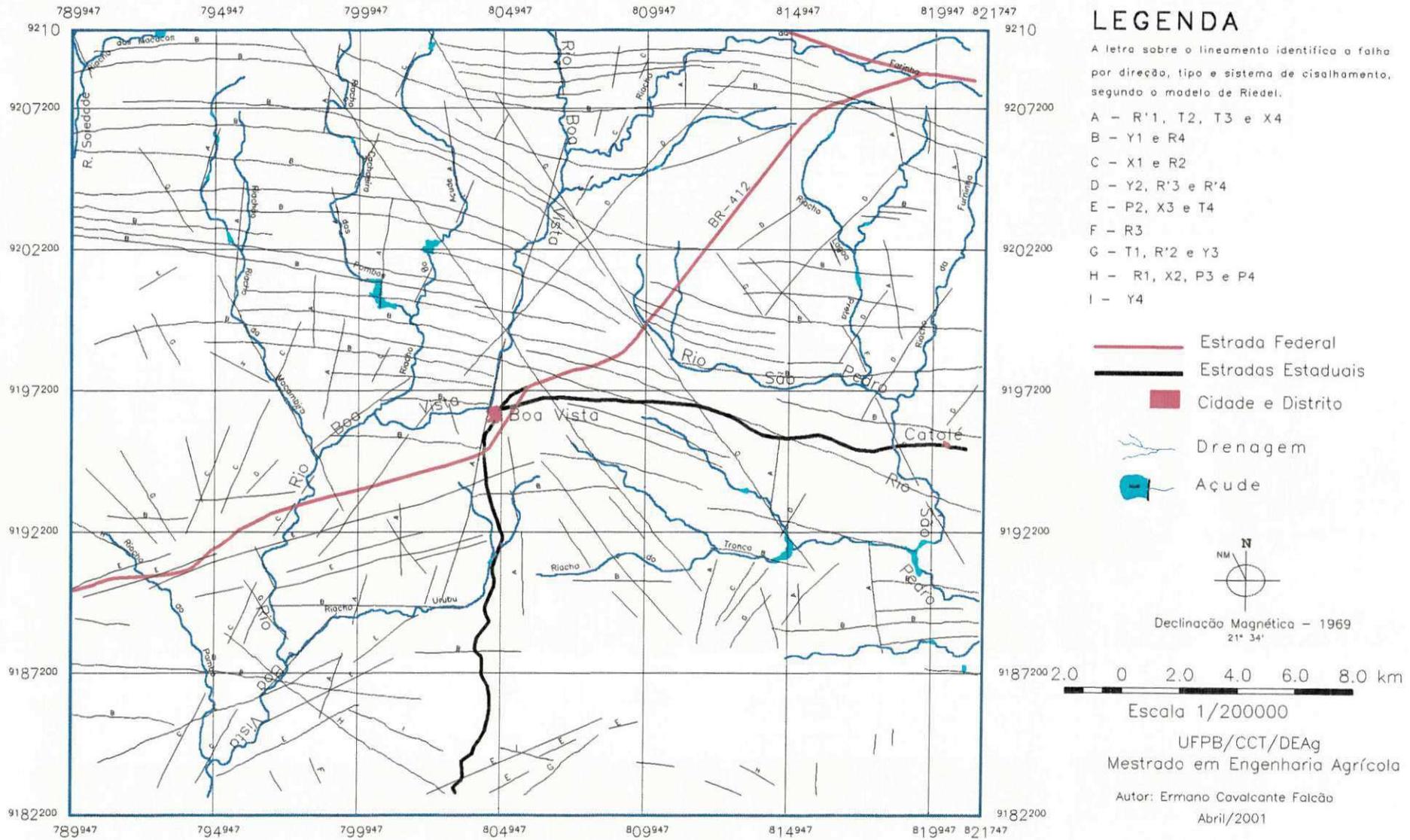
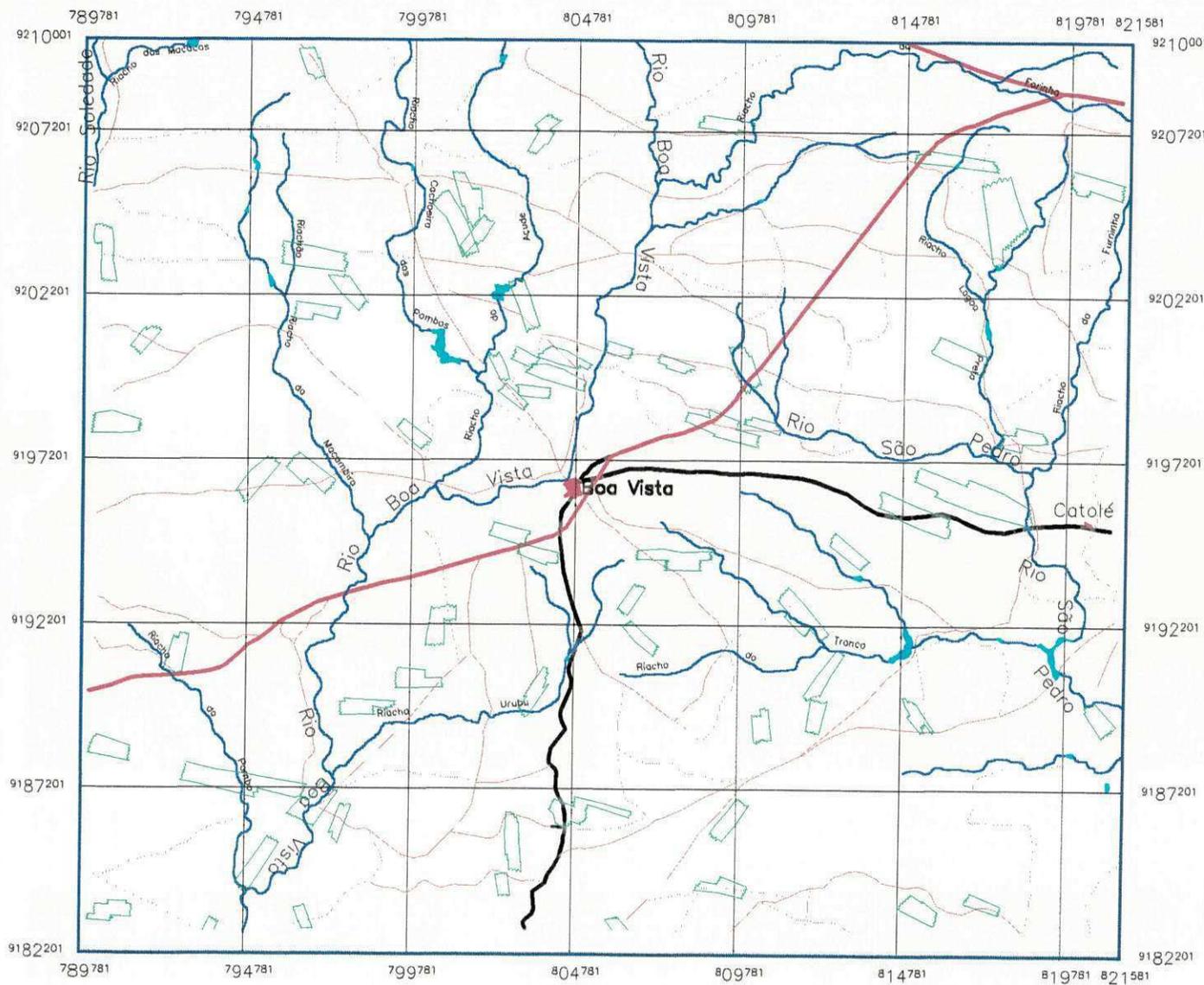


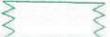
Figura 5.4 - MAPA DE LINEAMENTOS

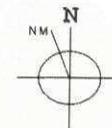
QUADRO 5.1
DIREÇÕES PREFERENCIAIS DE ESFORÇOS

DIREÇÃO	CARACTERÍSTICAS
NS $\pm 10^\circ$	Caracteriza a direção atual de falhas inversas (?) de alto ângulo de mergulho (vertical a subvertical e foliação e eixo de dobras associadas).
DIREÇÃO	CARACTERÍSTICAS
E-O $\pm 10^\circ$	Caracteriza as falhas de rejeito direcional, conjugadas com falhas de gravidade e as foliações gnáissicas e cataclásticas e fraturamentos e eixos de dobras associadas.
DIREÇÃO	CARACTERÍSTICAS
N(20-25)° E $\pm 5^\circ$	Caracteriza a direção atual de falha de empurrão (?) de alto ângulo (vertical a subvertical) e foliação e eixos de dobras associadas.
DIREÇÃO	CARACTERÍSTICAS
N(40-45)°E $\pm 5^\circ$ e N(35-40)° O $\pm 5^\circ$	Direções que caracterizam as falhas de rejeito direcional conjugadas com falhas de gravidade e a foliação gnáissica e cataclástica e fraturamento e eixo de dobra associada.
DIREÇÃO	CARACTERÍSTICAS
N(60-65)°E $\pm 5^\circ$ e N(55-60)° O $\pm 5^\circ$	Direções que caracterizam as falhas de rejeito direcional conjugadas com falhas de gravidade e a foliação gnáissica e cataclástica e fraturamento e eixo de dobra associada.
DIREÇÃO	CARACTERÍSTICAS
N20° O $\pm 5^\circ$	Caracteriza direção de falhas de rejeito direcional conjugadas com falhas de gravidade e a foliação gnáissica e cataclástica e fraturamento e eixo de dobra associada.

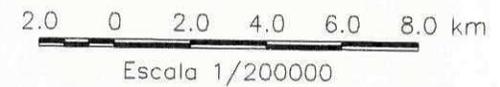


LEGENDA

-  Estrada Federal
-  Estradas Estaduais
-  Estradas Municipais
-  Caminhos
-  Cidade e Distrito
-  Feixe de fraturas
-  Drenagem
-  Açude



Declinação Magnética - 1969
21° 34'



UFPB/CCT/DEAg
Mestrado em Engenharia Agrícola

Autor: Ermano Cavalcante Falcão
Abril/2001

Figura 5.5: MAPA DE FEIXES DE FRATURAS

5.3.1 Análise Quantitativa dos Fotolineamentos

As informações referidas a seguir, para cada direção definida, foram extraídas com base na análise do Mapa dos Eixos de Máximos de Frequência de Fraturas (Figura 5.6), definido a partir do tratamento estatístico do fraturamento da área efetuado no ambiente do aplicativo Surfer.

NS ± 10°

Os eixos de máximos de frequência de fraturas apresentaram uma predominância segundo as direções N-S ± 10° e E-O ± 10°. Um controle menos forte é dado em alguns pontos pelas direções N(40-45)°E ± 5° e N(35-40)°O ± 5°.

N(20-25)°E ± 5°

Os eixos de máximos de frequência de fraturas orientam-se preferencialmente segundo a direção N-S ± 10°. Em alguns pontos da área de estudo, os eixos de máximos de frequência de fraturas também apresentam orientação segundo a direção E-O ± 10°.

N(40-45)°E ± 5°

Os eixos de máximos de frequência de fraturas orientam-se preferencialmente pela direção N-S ± 10°. Em alguns locais, os eixos de máximos de frequência de fraturas apresentam-se discretamente segundo as direções E-O ± 10°, N20°O ± 5° e N(20-25)°E ± 5°.

N(60-65)°E ± 5°

Os eixos de máximos de frequência de fraturas são definidos preferencialmente pela direção NS ± 10°. As direções EW ± 10° e N(40-45)°E ± 5° também definem orientação dos eixos de máximos de frequência de fraturas em alguns locais da área de estudo.

E-O $\pm 10^\circ$

As direções N-S $\pm 10^\circ$ e E-O $\pm 10^\circ$ exercem um controle forte sobre os eixos de máximos de frequência de fraturas. Em alguns pontos, os eixos de máximos de frequência de fraturas orientam-se, também, segundo as direções N(60-65) $^\circ$ E $\pm 5^\circ$ e N(20-25) $^\circ$ E $\pm 5^\circ$.

N20 $^\circ$ O $\pm 5^\circ$

Os eixos de máximos de frequência de fraturas orientam-se preferencialmente segundo a direção N-S $\pm 10^\circ$. Em pontos mais isolados, os eixos de máximos de frequência de fraturas são orientados pela direção E-O $\pm 10^\circ$.

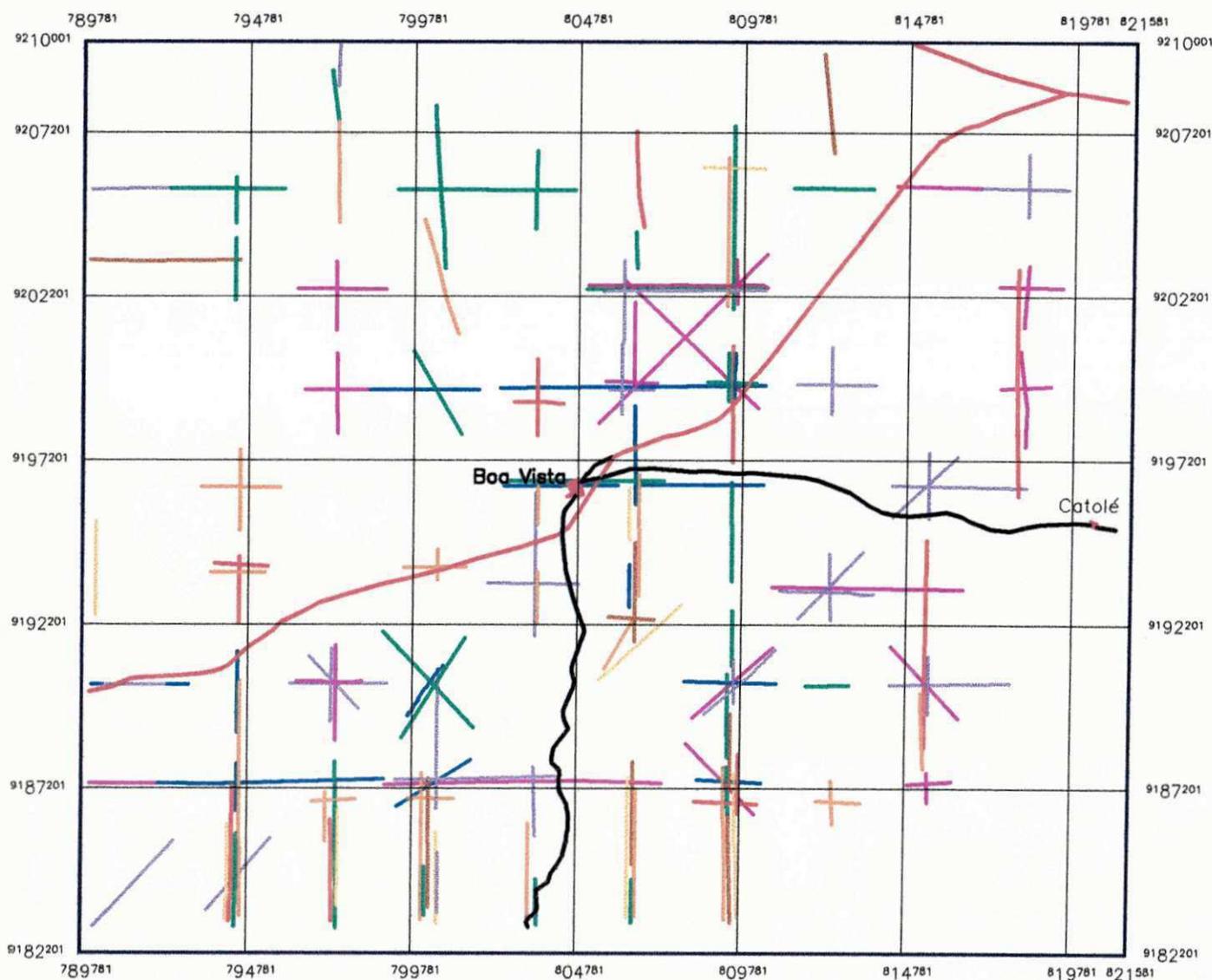
N(35-40) $^\circ$ O $\pm 5^\circ$

Os eixos de máximos de frequência de fraturas orientam-se preferencialmente pelas direções N-S $\pm 10^\circ$ e E-O $\pm 10^\circ$. Em alguns pontos, os eixos de máximos de frequência de fraturas também se orientam segundo as direções N(40-45) $^\circ$ E $\pm 5^\circ$, N(35-40) $^\circ$ O $\pm 5^\circ$.

N(55-60) $^\circ$ O $\pm 5^\circ$

Os eixos de máximos de frequência de fraturas orientam-se de forma preferencial pelas direções N-S $\pm 10^\circ$, E-O $\pm 10^\circ$. As direções N(40-45) $^\circ$ E $\pm 5^\circ$, em alguns pontos, exercem um controle mais discreto sobre os eixos de máximos de frequência de fraturas.

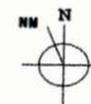
A análise dos eixos de máximos de fraturamento conduz à identificação de direções de fraqueza mais antigas que condicionam o aparecimento das mais novas.



LEGENDA

- N-S+/-10°
- E-O+/-10°
- N(20-25)°E+/-5°
- N(40-45)°E+/-5°
- N(60-65)°E+/-5°
- N20°O+/-5°
- N(35-40)°O+/-5°
- N(55-60)°O+/-5°

- Estradas Estaduais
- Estrada Federal
- Cidade e Distrito



Declinação Magnética - 1969
21° 34'

2.0 0 2.0 4.0 6.0 8.0 km
Escala 1/200000

UFPB/CCT/DEAg
Mestrado em Engenharia Agrícola

Autor: Ermano Cavalcante Falcão
Abril/2001

Figura 5.6: MAPA DE EIXOS DE MÁXIMOS DE FREQUÊNCIA DE FRATURAS

5.3.2 Análise Qualitativa dos Fotolineamentos

A base para realização da Análise Qualitativa dos Fotolineamentos foi as informações obtidas das medidas efetuadas em campo e dos dados das imagens TM/LANDSAT-5 (Tabela 5.1), para as oito direções preferenciais de fraturamento, em toda a área de estudo e nas quatro subáreas definidas para a região estudada. Esta análise objetivou a determinação de regiões possivelmente dotadas de maior concentração de fraturas, segundo as direções de esforços.

Pode ser verificada nos dados listados, (Tabela 5.1), a existência de valores discordantes entre as intensidades de ocorrência de fraturas no campo e nas imagens TM/LANDSAT-5, para as direções definidas no presente trabalho. É possível que essas diferenças estejam relacionadas com o número de afloramentos visitados, com o forte controle estrutural que a direção pode exercer sobre a(s) outra(s), como também com a presença, em quantidades razoáveis, de propriedades agrícolas, o que tornou mais difícil a extração na imagem de dados de interesse para o trabalho.

A Análise Qualitativa dos Fotolineamentos foi realizada de maneira individual para cada uma das direções definidas.

Esta análise indicou, para os dados das imagens TM/LANDSAT-5 e para os dados de campo, resultados que são informados e discutidos a seguir.

As direções de fraturamento que apresentaram ocorrência praticamente homogênea na área da pesquisa são $N(40-45)^{\circ}E \pm 5^{\circ}$, $N(60-65)^{\circ}E \pm 5^{\circ}$, $E-O \pm 10^{\circ}$ e $N(55-60)^{\circ}O \pm 5^{\circ}$, enquanto que as direções de fraturamento $N-S \pm 10^{\circ}$, $N(20-25)^{\circ}E \pm 5^{\circ}$, $N20^{\circ}O \pm 5^{\circ}$ e $N(35-40)^{\circ}O \pm 5^{\circ}$ apresentaram discordâncias de valores entre os dados de imagens TM/LANDSAT-5 e dados de campo.

TABELA 5.1

QUANTIDADES E FREQUÊNCIAS DE OCORRÊNCIA DE FRATURAS

TABELA DE QUANTIDADES E FREQUÊNCIAS DE OCORRÊNCIA DE FRATURAS (DADOS DE IMAGEM E DE CAMPO)

DIREÇÕES		ÁREA TOTAL		SUBÁREA 1		SUBÁREA 2		SUBÁREA 3		SUBÁREA 4	
		Imagem	Campo	Imagem	Campo	Imagem	Campo	Imagem	Campo	Imagem	Campo
N-S±10°	Quant. Fraturas	1865	440	380	122	353	53	614	95	518	170
	Frequência (%)	16,19	25,06	16,02	28,37	14,62	17,73	15,66	18,74	18,43	32,69
N(20-25)°E±5°	Quant. Fraturas	1215	312	206	67	234	59	496	76	279	110
	Frequência (%)	10,55	17,77	8,68	15,58	9,69	19,73	12,65	14,99	9,93	21,15
N(40-45)°E±5°	Quant. Fraturas	862	142	130	55	180	33	363	37	189	17
	Frequência (%)	7,48	8,09	5,48	12,79	7,46	11,04	9,26	7,30	6,72	3,27
N(60-65)°E±5°	Quant. Fraturas	801	134	129	32	177	24	322	62	173	16
	Frequência (%)	6,95	7,63	5,44	7,44	7,33	8,03	8,21	12,23	6,15	3,08
E-O±10°	Quant. Fraturas	1770	261	406	34	345	29	630	103	389	95
	Frequência (%)	15,37	14,86	17,12	7,91	14,29	9,70	16,06	20,32	13,84	18,27
N20°O±5°	Quant. Fraturas	1698	112	383	0	396	24	484	61	435	27
	Frequência (%)	14,74	6,38	16,15	0,00	16,40	8,03	12,34	12,03	15,47	5,19
N(35-40)°O±5°	Quant. Fraturas	1498	135	352	40	328	36	425	27	393	32
	Frequência (%)	13,00	7,69	14,84	9,30	13,59	12,04	10,84	5,33	13,98	6,15
N(55-60)°O±5°	Quant. Fraturas	1810	220	386	80	401	41	588	46	435	53
	Frequência (%)	15,71	12,53	16,27	18,60	16,61	13,71	14,99	9,07	15,47	10,19
TOTAL	Quant. Fraturas	11519	1756	2372	430	2414	299	3922	507	2811	520
Relação Campo/Imagem		15,24 %		18,13 %		12,39 %		12,93 %		18,50 %	

N-S ± 10°

A intensidade de ocorrência que esta direção apresentou nas imagens TM/LANDSAT-5, para toda a área estudada, foi de 16,19%. No campo, a intensidade de ocorrência foi de 25,06%.

Em toda a área de estudo e nas quatro subáreas definidas, esta direção apresentou intensidade de ocorrência alta, tanto nas imagens quanto no campo. A intensidade de ocorrência no campo, em toda a área e nas quatro subáreas, superou a intensidade de ocorrência nas imagens. Esta direção não apresenta uma ocorrência homogênea na área total, com frequência de fraturamento de 16,19% nas imagens e 25,06% no campo. Nas subáreas 1 (NE) e 4 (NO), a ocorrência desta direção também não se apresentou de forma homogênea, com frequências imagens/campo de 16,02%/28,37% e 18,43%/32,69%, respectivamente. Nas subáreas 2 (SE) e 3 (SO), a ocorrência desta direção apresentou homogeneidade, com respectivas frequências imagem/campo de 14,62%/17,73% e 15,66%/18,74%.

N (20-25)° E ± 5°

A ocorrência desta direção na área total estudada e em 3 subáreas apresentou variações na frequência de fraturamento nas imagens e no campo. Para a área total, a frequência de fraturas nas imagens foi de 10,55%, enquanto que, no campo, este valor foi de 17,77%. As três subáreas que apresentaram ocorrência não homogênea desta direção, com respectivas frequências de fraturas nas imagens e no campo, foram: subárea 1 (NE) - (8,68% e 15,58%), subárea 2 (SE) - (9,69% e 19,73%) e subárea 4 (NO) - (9,93% e 21,15%). A subárea 3 (SO) apresentou frequência de fraturas nas imagens de 12,65% e no campo de 14,99%.

Observa-se que esta direção apresenta uma ocorrência alta, tanto nas imagens quanto no campo, apesar de sua distribuição não ser homogênea.

N (40-45)° E ± 5°

Esta direção apresenta ocorrência praticamente homogênea em toda a área estudada, com frequência de fraturas nas imagens de 7,48% e no campo de 8,09%. Esta homogeneidade também é observada para as subáreas 2 (SE), 3 (SO) e 4 (NO),

contrariamente à distribuição não homogênea desta direção na subárea 1 (NE), que apresentou frequência de fraturas bem superior à das imagens.

N (60-65)° E ± 5°

Em toda a área de estudo, esta direção apresenta ocorrência de fraturamento praticamente homogênea. Nas imagens TM/LANDSAT-5, a intensidade de ocorrência desta direção é de 6,95% e no campo, de 7,63%.

E-O ± 10°

Esta direção apresentou uma ocorrência praticamente homogênea para toda a área da pesquisa, com intensidade de ocorrência de 15,37% nas imagens e de 14,86% no campo. As subáreas 3 (SO) e 4 (NO) apresentaram frequência de fraturas no campo maior que nas imagens, inversamente ao que ocorreu nas subáreas 1 (NE) e 2 (SE).

N 20° O ± 5°

Esta direção apresentou variações na frequência de ocorrência de fraturas nas imagens e no campo, em toda a área observada neste estudo e em três subáreas.

Na área total, esta direção apresentou uma intensidade de ocorrência de 14,74% nas imagens, enquanto, no campo, esta intensidade caiu para 6,38%. Apenas na subárea 3 (SO) esta direção apresenta uma distribuição homogênea de ocorrência com percentuais de frequência de 12,34% nas imagens e de 12,03% no campo.

N (35-40)° O ± 5°

Na área estudada, esta direção apresentou um percentual de frequência de 13,00% nas imagens, bem maior do que no campo, com percentual de 7,69%, fato que está possivelmente relacionado com o forte controle estrutural que esta direção recebe da direção N-S ± 5°.

N (55-60)° O ± 5°

Para a área total de estudo, a intensidade de ocorrência de fraturas orientadas sob esta direção, nas imagens TM/LANDSAT-5, é de 15,71%, enquanto, no campo, a intensidade de ocorrência é de 12,53%.

Nas subáreas, tanto nas imagens quanto no campo, esta direção tem intensidade de ocorrência alta. Nas subáreas 3 (SO) e 4 (NO), observam-se variações entre frequência de ocorrência nas imagens e no campo, com maior quantidade ocorrendo nas imagens.

Para toda área de estudo, tanto nas imagens como no campo, observou-se que a foliação das rochas cristalinas está controlada pela direção E-O $\pm 10^\circ$. Não foi observada nenhuma coincidência de controle da foliação pelas outras direções.

A partir da análise dos diagramas de rosetas, que foram traçados com os dados extraídos de imagens TM/LANDSAT-5 e com os dados medidos em campo, Figuras 5.7 e 5.8, abrangendo toda a área de estudo e as suas subáreas definidas, concluiu-se que, para os dados de imagens, as ocorrências de fraturas são mais evidentes nas direções N-S $\pm 10^\circ$ e E-O $\pm 10^\circ$, enquanto que a direção N-S $\pm 10^\circ$ é mais predominante no campo.

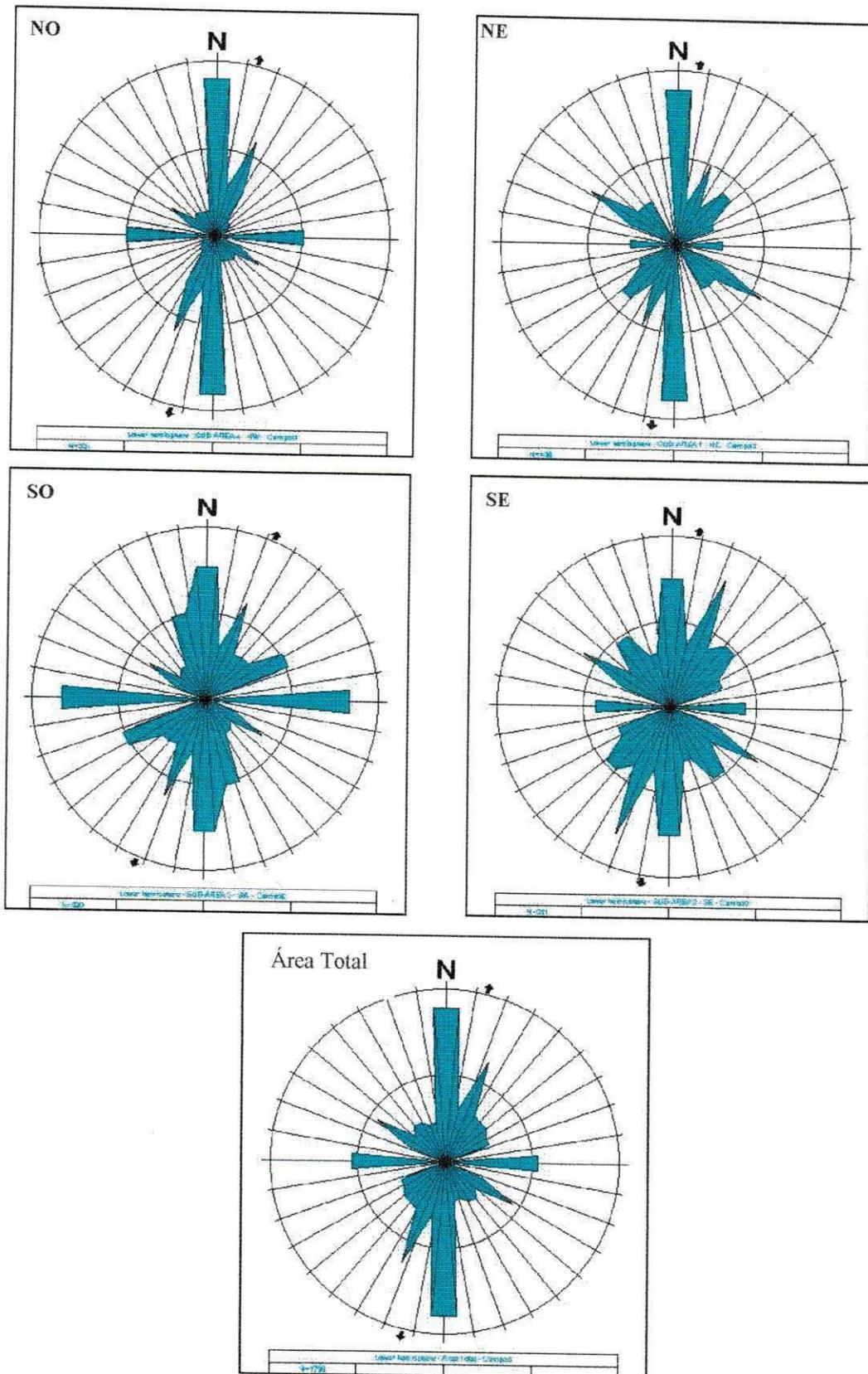


Figura 5.7– Diagramas de rosetas da área total e das subáreas, para dados de campo.

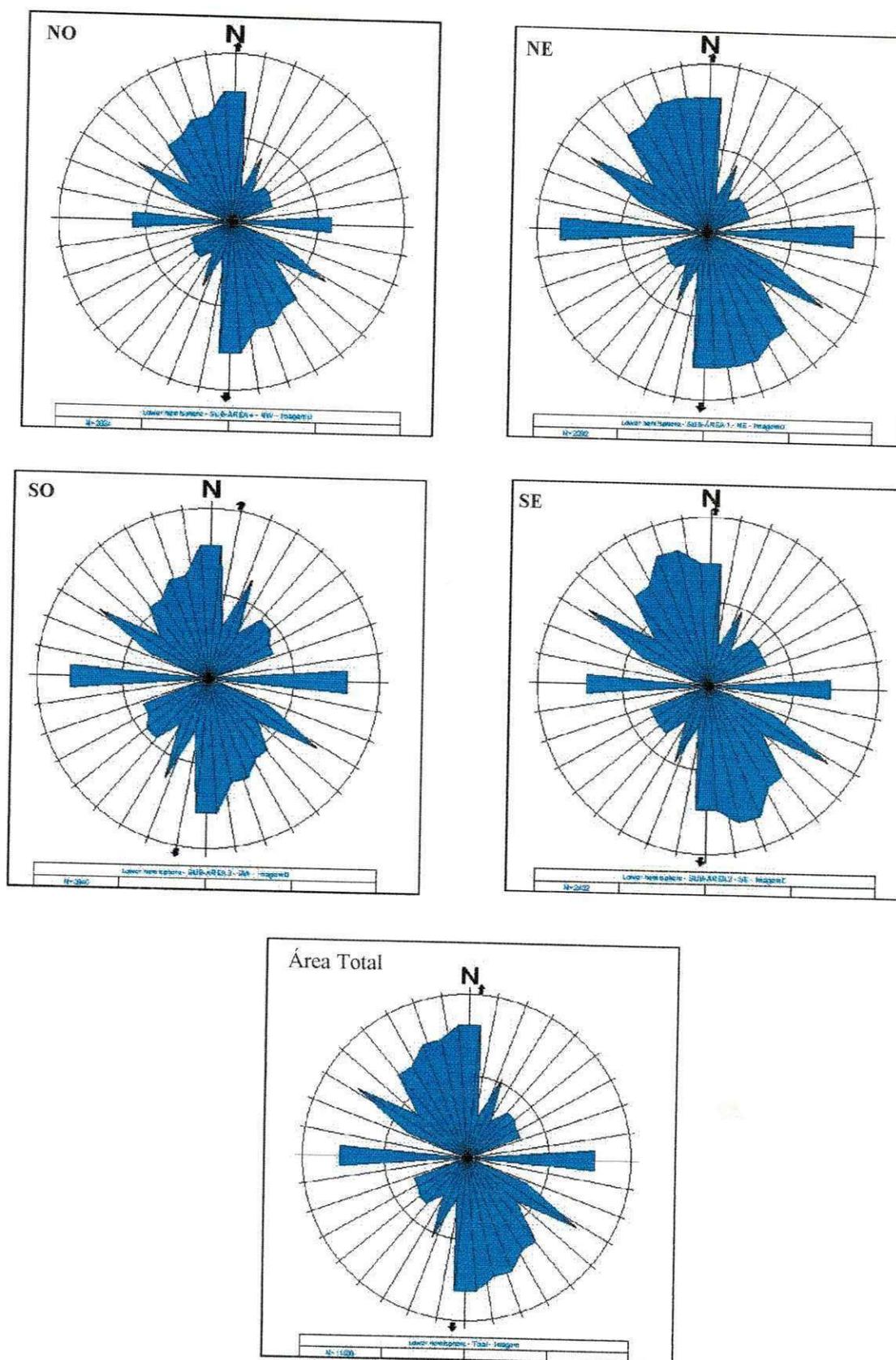


Figura 5.8– Diagrama de rosetas da área total e das subáreas, para dados de imagens.

5.3.3 Análise de Falhamentos

Analisando-se as relações dos fotolineamentos e dos fotoalinhamentos, verificou-se que em determinados setores da área estudada, há indícios de movimentos transcorrentes, evidenciados pelos elementos texturais de drenagem e de relevo identificados nas imagens TM/LANDSAT-5.

Para a análise dos fotoalinhamentos que apresentam essas evidências de movimentação horizontal, foi utilizado o modelo concebido por Riedel (1929) e modificado por Sadowski (1983). Esta análise mostrou que os fotoalinhamentos guardam entre si uma relação angular semelhante à apresentada no modelo referido, e também possibilitou a determinação dos seguintes sistemas de cisalhamento para a área de estudo:

Na análise tectono-estrutural, com aplicação do Modelo de Riedel para a zona de cisalhamento, verificou-se que a área apresenta-se tectonicamente muito complexa. Foram definidos quatro sistemas de cisalhamento nas direções gerais E-O $\pm 10^\circ$, N(35-40) $^\circ$ O $\pm 5^\circ$, N45 $^\circ$ E $\pm 5^\circ$ e N65 $^\circ$ O $\pm 5^\circ$.

- **Sistema 1 - Direção E-O $\pm 10^\circ$**

No arcabouço tectônico do Nordeste Oriental, a direção leste-oeste apresenta-se como um dos seus principais elementos de estruturação. Por esta direção, desenvolveram-se importantes falhamentos transcorrentes, entre eles os lineamentos de Patos e de Pernambuco. As características estruturais mais importantes são dadas pelas seguintes feições:

- O limite sul entre a Bacia Potiguar e o embasamento cristalino, no Rio Grande do Norte;
- A instalação de bacias sedimentares interioranas como a bacia do Araripe, entre os Estados de Pernambuco e Ceará e a Bacia do Rio do Peixe, no Estado da Paraíba, ambas alongadas na direção leste-oeste e controladas pela zona de cisalhamento do lineamento de Patos.
- Outro controle estrutural importante desta direção está relacionado com a instalação da bacia sedimentar do Jatobá no estado de Pernambuco, cujo limite norte com o embasamento cristalino é bem definido de oeste para leste, controlado pelo lineamento de Pernambuco.

Utilizando-se o modelo de Riedel na análise desta direção, foram definidas as seguintes direções de fraturamentos associados:

1. E-O – N80°O - Esta direção corresponde às falhas Y, transcorrentes com movimento dextral, que corresponde à direção geral do lineamento de Patos;
2. N60°O ± 10° - Esta direção corresponde às falhas R, também transcorrentes, dextrais, sintéticas a Y;
3. N-S - N10°O ± 10° - Esta direção corresponde às falhas R', também transcorrentes, sinistrais, antitéticas a Y;
4. N(35-40)°O ± 5° - Esta direção corresponde às falhas T do modelo, distensivas (de gravidade);
5. N25°E ± 10° - Esta direção corresponde às falhas X, inversas de alto ângulo.

Na análise das imagens, não se encontrou evidência da falha P do modelo de Riedel. Isto, possivelmente esteja relacionado ao paralelismo a subparalelismo das estruturas lineares geológicas com as linhas de imageamento do sensor TM, aliado ao relevo plano a suave ondulado predominante na região.

A direção principal de esforço σ_1 para este sistema de cisalhamento é de N 60° O para SE.

- **Sistema 2 - Direção N45°E ± 5°**

A direção N45°E ± 5° também é uma direção tectonicamente importante. Esta direção teve um papel preponderante na instalação das bacias sedimentares dos chamados campos dos rifts brasileiros (Bruhn et al., 1988).

Na região do nordeste oriental, esta direção é bem evidenciada na parte emersa da bacia Potiguar, no estado do Rio Grande do Norte, onde ao longo da qual instalaram-se os grábens de Boa Vista e Umbuzeiro, aos quais estão associadas inúmeras jazidas de petróleo. Esta mesma direção teve um papel importante na instalação da bacia sedimentar de Tucano Sul, no estado da Bahia. No estado da Paraíba, esta direção condicionou, juntamente com a direção leste-oeste, a instalação da sub-bacia sedimentar Antenor Navarro. Além disso, em tempos pré-cambrianos, possivelmente, esta direção também condicionou a formação das rochas do Grupo Cachoeirinha.

A esta direção, que define a segunda zona de cisalhamento para a área de estudo, foram definidas as seguintes direções associadas:

1. $N45^{\circ}E \pm 5^{\circ}$ - Esta direção corresponde às falhas Y, transcorrentes, com movimento sinistral. Caúla & Dantas (1982) mapearam falhamentos associados a esta direção, como o extenso lineamento que passa a leste das cidades de Boqueirão, Congo e Camalaú, no estado da Paraíba. Na região sul-sudeste do estado da Paraíba, associadas a esta direção, são encontradas lentes alongadas de calcário metamórfico, e os eixos da maioria das dobras, como mapeados por Dantas & Caúla (1982). Possivelmente, essas dobras associadas a esta direção, sejam dobras de arrasto. Guedes (1993), Silva Neto (1993) e Dantas Filho (1996), nos estudos estruturais realizados nas regiões do Alto Sertão Paraibano, do Alto Rio Sucuru e do Seridó Paraibano, respectivamente, e Sadowski (1983), na região sudeste do estado do Ceará, identificaram esta direção como sendo a falha R' do sistema Riedel para a zona de cisalhamento E-O.
2. $N(20-25)^{\circ}E \pm 5^{\circ}$ - Esta direção corresponde às falhas R, também transcorrentes, sinistrais, sintéticas a Y;
3. $N(60-65)^{\circ}E \pm 5^{\circ}$ - Esta direção corresponde às falhas P, também transcorrentes, sinistrais e sintéticas a Y;
4. $N30^{\circ}O \pm 5^{\circ}$ - Esta direção corresponde às falhas R', também transcorrentes, dextrais, antitéticas a Y;
5. $N-S \pm 10^{\circ}$ - Esta direção corresponde às falhas T do modelo, distensivas (de gravidade);
6. $N(55-60)^{\circ}O \pm 5^{\circ}$ - Esta direção corresponde às falhas X, inversas de alto ângulo.

Para este sistema de cisalhamento, a direção principal de esforço σ_1 é de $N15^{\circ}E$ para sudoeste.

• **Sistema 3 - Direção $N(35-40)^{\circ}O \pm 5^{\circ}$**

Esta direção também é uma direção muito antiga e encontrada em praticamente todo o território nacional. Ela também teve um importante papel no desenvolvimento tectono-geológico do nordeste. Fortes evidências da atividade tectônica desta direção são encontradas na Bacia do Recôncavo, no Estado da Bahia, nas falhas de Mata-Catu e Itanagra-Araçás, dextrais, que subdividem esta bacia nos baixos de Camaçari, Miranga e Quiambina (Bruhn, Cainneli e Matos, 1988), e na falha de Itaporanga, também

dextral, associado à qual está o Alto de Vaza-Barris, na bacia do Tucano (Santos, Cupertino e Braga, 1991). Aparentemente, o limite tectônico entre as bacias Tucano e Jatobá dá-se também por esta direção.

A esta direção, que define a terceira zona de cisalhamento para a área de estudo, foram associadas as seguintes direções:

1. $N(35-40)^{\circ}O \pm 5^{\circ}$ - Esta direção corresponde às falhas Y, transcorrentes com movimentos dextrais;
2. $N20^{\circ}O \pm 5^{\circ}$ - Esta direção corresponde às falhas R, também transcorrentes, dextrais, sintéticas a Y;
3. $N(55-60)^{\circ}O \pm 5^{\circ}$ - Esta direção corresponde às falhas P, também transcorrentes, dextrais, sintéticas a Y;
4. $N(40-45)^{\circ}E \pm 5^{\circ}$ - Esta direção corresponde às falhas R', também transcorrentes, sinistrais e antitéticas a Y;
5. $N-S \pm 10^{\circ}$ - Esta direção corresponde às falhas T, distensivas (de gravidade);
6. $N(60-65)^{\circ}E \pm 5^{\circ}$ - Esta direção corresponde às falhas X, inversas de alto ângulo.

A direção do esforço principal σ_1 para este sistema de cisalhamento é de N $(10-15)^{\circ}$ O para sudeste.

• Sistema 4 - Direção $N65^{\circ}O \pm 5^{\circ}$

Esta direção também tem caráter regional e já foi identificada por diversos autores em diferentes pontos do território nacional. Estudando a região do Alto Sertão Paraibano, do Seridó e do Alto Rio Sucuru, Guedes (1993), Silva Neto (1993) e Dantas Filho (1996), respectivamente, identificaram esta direção e a associaram a uma zona de cisalhamento N-O. Barbosa (1988) identificou, na região do Espinhaço Meridional, no Estado de Minas Gerais, falhas transcorrentes associadas a zonas de cisalhamento relacionadas a esta direção. França & Potter (1988) identificaram na bacia do Rio Paraná, alinhamentos estruturais também relacionados com esta direção, como os alinhamentos de Paranapanema, Rio Uruguai e Torres-Pousada.

A esta direção, que define a quarta zona de cisalhamento para a área de estudo, foram associadas as seguintes direções:

1. $N65^{\circ}O \pm 5^{\circ}$ - Esta direção corresponde às falhas Y, transcorrentes, com movimento sinistral;

2. E-O $\pm 10^\circ$ - Esta direção corresponde às falhas R, também transcorrentes, sinistrais e sintéticas a Y;
3. N(55-60) $^\circ$ O $\pm 5^\circ$ - Esta direção corresponde às falhas P, também transcorrentes, sinistrais e sintéticas a Y;
4. N(40-45) $^\circ$ E $\pm 5^\circ$ - Esta direção corresponde às falhas R', também transcorrentes, dextrais e antitéticas a Y;
5. N-S $\pm 10^\circ$ - Esta direção corresponde às falhas X, inversas de alto ângulo;
6. N(60-65) $^\circ$ E $\pm 5^\circ$ - Esta direção corresponde às falhas T, distensivas (de gravidade).

Para este sistema de cisalhamento, a direção principal de esforço σ_1 é de N(85-90) $^\circ$ E.

Em uma análise minuciosa dos quatro sistemas de cisalhamento definidos, verificou-se que para todos eles a relação angular entre as falhas Y e as falhas R varia de 15° a 22° ; entre as falhas Y e as falhas P, de 12° a 18° ; entre as falhas Y e as falhas R', de 68° a 80° ; entre as falhas Y e as falhas X, de 68° a 82° e entre as falhas Y e as falhas T, de 37° a 48° . Todos estes valores angulares condizem com aqueles definidos nos modelos para zonas de cisalhamento, propostos por Riedel (1929) e Sadowski, (1983).

A análise dos fotolineamentos das imagens TM/LANDSAT-5, aplicando-se o modelo de Riedel, definiu oito direções estruturais. Estas direções, por sua vez, definem sistemas de falhas poliativas e policíclicas, tanto de caráter distensivo, como de caráter compressivo. Outro fato importante é que estas direções não são restritas à região de estudo, mas possuem caráter regional-continental, condicionando seqüência rochosa desde o arqueano até as atividades termo-tectônicas do fanerozóico.

Análise das fraturas para os sistemas definidos, por direção.

- **Direção N-S $\pm 10^\circ$**

Observa-se, no sistema de falhas do nordeste brasileiro, que a direção N-S é um importante elemento condicionante da estruturação do arcabouço tectônico regional. Sadowski (1983) relacionou com esta direção as falhas inversas de Tauá e de Orós, no estado do Ceará.

Com esta direção estão relacionadas as falhas R', do sistema 1; T, dos sistemas 2 e 3 e a falha X do sistema 4. Pelo modelo de Sadowski, as falhas X são identificadas como falhas inversas, e em termos de pesquisa de água subterrânea, estas

falhas praticamente não oferecem nenhum condicionamento para percolação da água. No entanto, pelo caráter policíclico e poliativo da área de estudo, verificou-se a reativação desta direção, ora por esforços compressivos, ora por esforços distensivos, ao longo de toda evolução tectono-estrutural da região, desde o arqueano até o fanerozóico.

Estudos de fraturamento realizados no campo, em nível de afloramentos, mostraram que com ela relacionam-se fraturas abertas e os principais indícios são a formação de estruturas erosivas, denominadas de panelas e o desenvolvimento da vegetação, até mesmo de médio porte, mesmo em rochas cristalinas desprovidas de cobertura de solos (Figura 5.9). Outro fato importante observado em campo foi as evidências de movimentos ora dextrais, ora sinistrais em falhas orientadas segundo esta direção (Figura 5.10). Foram observadas poucas fraturas associadas a esta direção preenchidas por material de composição granítica ou pegmatítica.

Dantas & Caúla (1982) e Dantas Filho (1996) na região do Seridó, e Sadowski (1983) na região leste do Ceará, definiram a direção norte-sul como sendo de empurrão. Silva e Jardim de Sá (2000), na região do município de Equador (RN), verificaram que poços perfurados em fraturas controladas por esta direção apresentam produção muito baixa, podendo ser considerados secos. Entretanto, na região central da área de estudo registram-se dados de poços perfurados em fraturas orientadas por esta direção que apresentaram vazões consideradas boas a muito boas em relação a valores médios de vazão de poços profundos perfurados na região do cristalino do nordeste brasileiro.

Mais uma forte evidência da poliatividade desta direção, que corrobora com o fato da existência, também, de eventos tectônicos distensivos por ela, com formação de estruturas abertas, está relacionada com o desenvolvimento de rifts no Fanerozóico, como o rifteamento que resultou na instalação da Bacia Sedimentar do Tucano, no estado da Bahia, no nordeste oriental. Outro fato que contribui para esta hipótese relaciona-se com a instalação da drenagem na região de estudo, onde os principais cursos d'água têm seus leitos controlados por ela (na porção oeste) e pela direção leste-oeste (na porção leste). Dessa maneira, podemos afirmar que a direção norte-sul, na área de estudo, também apresenta condições hidrogeológicas razoáveis para percolação e armazenamento de água nas rochas cristalinas.

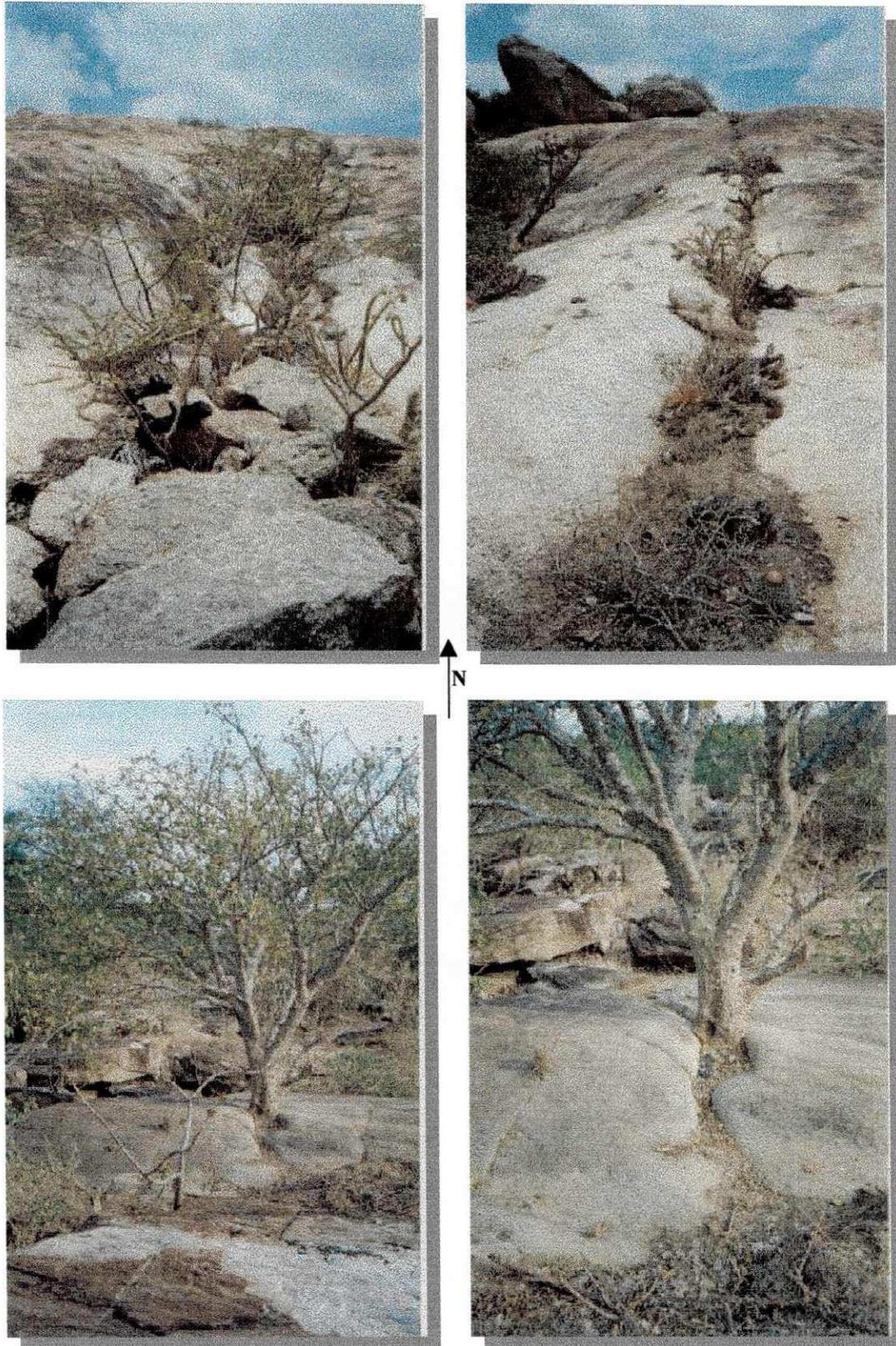


Figura 5.9 – Desenvolvimento de vegetação em rochas cristalinas, ao longo de fraturas de direção N-S. Regiões sudeste e sudoeste da área.

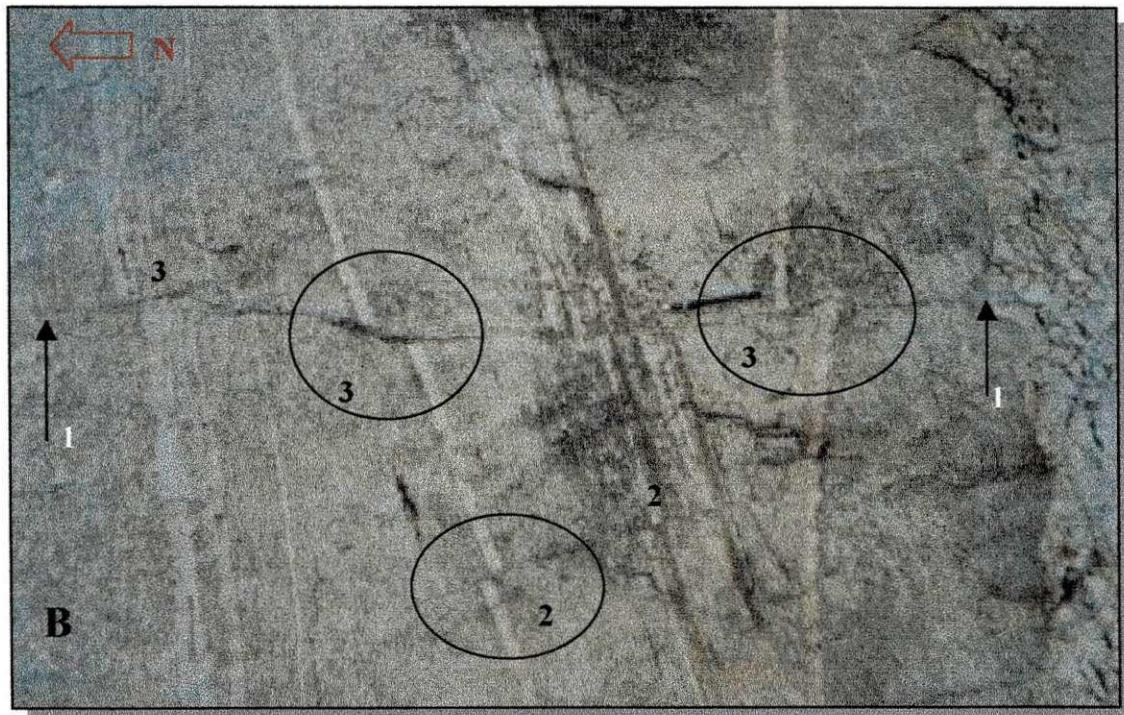
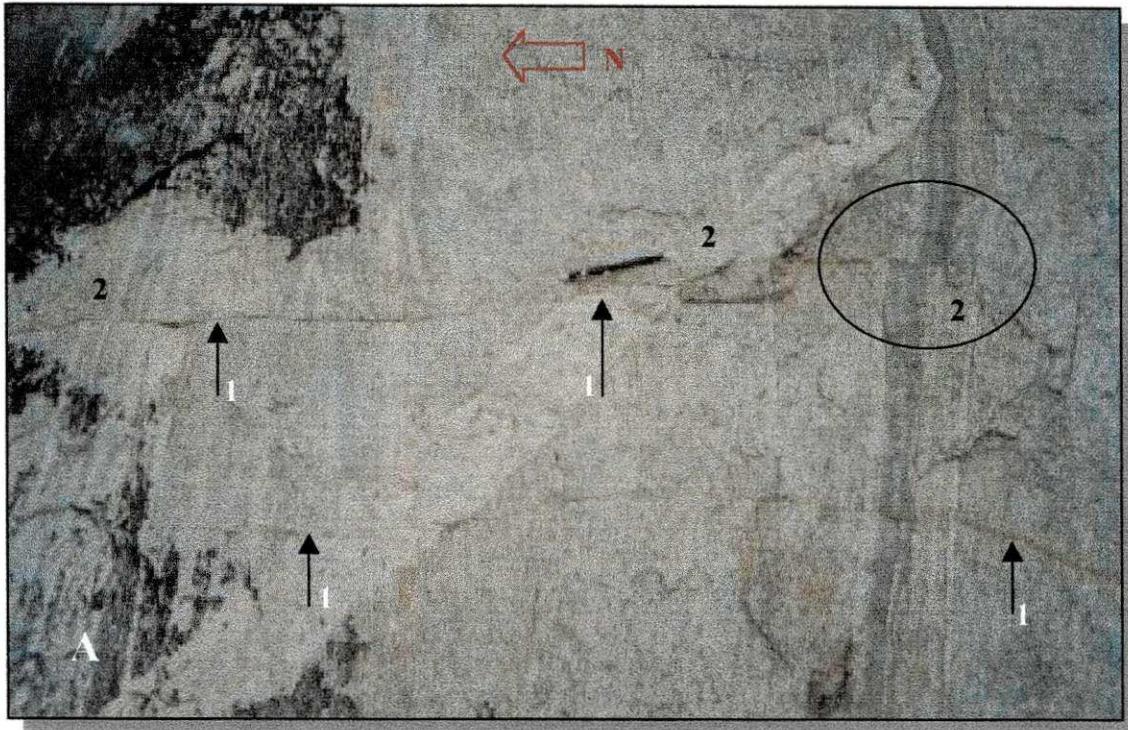


Figura 5.10 – (A) e (B): Fraturas abertas de direção N-S (1) e evidências de movimentos dextrais (2) e sinistrais (3). Afloramento a nordeste da região pesquisada.



Figura 5.11—Estruturas erosivas (panelas) ocorrentes ao longo de fraturas N-S (A) e E-O (B). Afloramento a nordeste da região pesquisada.

- **Direção E - O $\pm 10^\circ$**

Com esta direção, estão relacionadas as falhas Y do sistema 1 e R do sistema 4. Esta é a direção regional da foliação gnáissica-cataclástica das rochas pré-cambrianas e do fraturamento associado, que nas imagens TM/Landsat-5 está bem evidenciada. No campo, em alguns pontos foram observadas ao longo das zonas de falhas, como em uma mina aberta de calcários cristalinos, no sítio Riacho Fundo, marcas de arrancaduras em espelho de falha, indicativas da movimentação dextral, conjugada com movimentos verticais (Figura 12). O mesmo foi verificado em rochas gnáissicas-migmatíticas no sítio Aldeia. Todas estas evidências corroboram para a evolução poliativa e policíclica da tectônica rúptil-dúctil da região de estudo, ora as estruturas lineares tendo comportamento compressivo, ora, distensivo. Uma das melhores evidências do comportamento distensivo foi a instalação da bacia sedimentar do Rio do Peixe, no oeste

paraibano, que se apresenta alongada por esta direção. Dantas e Caúla (1982), Guedes (1993), Silva Neto (1993), Dantas Filho (1996), Costa (1999), Costa Filho (2000), entre outros, também identificaram esta direção como de fraturamentos muito freqüentes regionalmente, no território do Estado da Paraíba, e o seu caráter poliativo e policíclico. Silva e Jardim de Sá (2000) identificaram importantes evidências de reativação extensional nas fraturas de direção oeste-leste, que imprimem um nítido comportamento de abertura. Estes autores, na localidade de Caiçara, no Município de Equador /RN, verificaram que os poços locados em fraturas segundo esta direção apresentam boas vazões, em regime de exploração de 24 horas ininterruptas, há quase 20 anos. Dessa forma, as estruturas lineares controladas pela direção E-O \pm 10° na área de estudo apresentam condições hidrogeológicas favoráveis para a percolação e armazenamento de água.

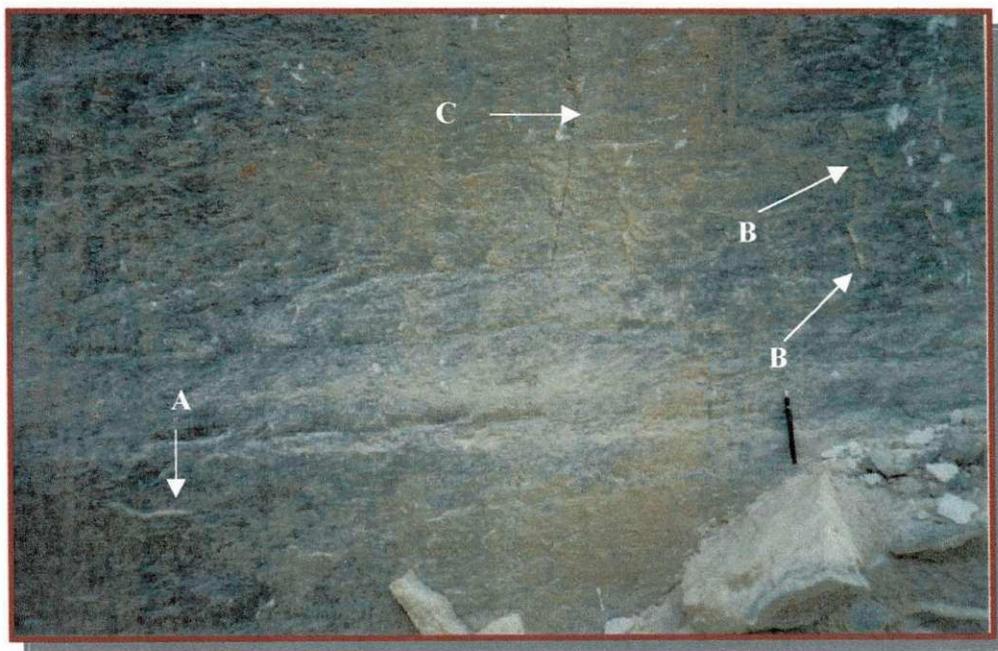


Figura 5.12 – Plano vertical em zona de falha controlada pela direção E-O. Evidência de movimento vertical (A); nítidas marcas de arrancaduras indicativas de movimentação dextral (B); fratura subvertical aberta de direção próxima a N-S (C). Mina de calcário metamórfico em lavra, a nordeste da área.

- **Direção N(20-25)°E ± 5°**

As falhas X do sistema 1 e R do sistema 2 estão relacionadas com esta direção. Sadowski (1983) define as falhas X como falhas inversas, não oferecendo, portanto, condições satisfatórias para que ocorra percolação de água subterrânea. Esta direção apresentou uma considerável frequência de ocorrência, tanto nas imagens TM/Landsat como nas medidas efetuadas nos afloramentos. Ela foi identificada também como desfavorável à percolação de água subterrânea nos trabalhos sobre potencialidades hidrogeológicas desenvolvidos por Guedes (1993), Silva Neto (1993) e Dantas Filho (1996). Costa Filho (2000), analisando as fraturas na região de Santa Luzia/PB, também faz alusão a feições lineares identificadas tanto em imagens orbitais como no campo, relacionadas com esta direção. No entanto, na área de estudo, com esta direção associam-se também falhas dextrais, mostrando o caráter poliativo e policíclico desta direção. Estes falhamentos transcorrentes, são conjugados com falhas normais. Na área de estudo, observa-se que esta direção também controla alguns canais secundários da drenagem. Dessa maneira, podemos considerar, que esta direção apresenta uma potencialidade média para a percolação e armazenamento de água.

- **Direção N(40-45)°E ± 5°**

Relacionam-se com esta direção as falhas R' do sistema 3, Y do sistema 2 e R' do sistema 4. Todos estes falhamentos são transcorrentes, conjugados com falhamentos gravitacionais. Gopinath e Costa (2000) elegeram-na como uma direção de fraturas frequente nos afloramentos por eles estudados, quando identificaram uma falha transcorrente e outras duas falhas indiscriminadas a norte da cidade de Campina Grande. Na região de Equador/RN, Silva e Jardim de Sá (op. cit.) constataram que estes falhamentos funcionam como fraturas de cisalhamento e os poços locados em fraturas de traço orientado nesta direção, oferecem vazões consideradas boas, em regime de 24 horas.

- **Direção N(60-65)°E ± 5°**

Com esta direção, estão relacionadas as falhas P do sistema 2, X do sistema 3 e T do sistema 4. As falhas X, segundo Sadowski (1993), são falhas inversas, e, por apresentarem-se fechadas, dificilmente proporcionam condições de favorabilidade à percolação da água subterrânea. As falhas T são falhas tensionais, abertas e são as que

mais favorecem ao fluxo de água subterrânea. Esta direção foi identificada nos trabalhos de Guedes (1993), Silva Neto (1993) e Dantas Filho (1996) como sendo uma das direções mais favoráveis à pesquisa de água subterrânea nas regiões estudadas por estes autores. A identificação de falhas transcorrentes (P) e distensivas (T), associadas às falhas X, mostra mais uma vez o caráter poliativo e policíclico das estruturas lineares da região. Na região Nordeste, alguns rios de grande porte se alinham segundo esta direção, como o Rio São Francisco, desde Remanso até Juazeiro, no Estado da Bahia, quando o seu curso inflete para o litoral, segundo a direção N (55-60)° O ± 5. Esta direção exerceu um importante papel na instalação da bacia sedimentar de Jatobá, que tem seu limite norte bem definido com o embasamento cristalino ao longo do lineamento de Pernambuco. Estas evidências deixam claro o caráter distensivo regional desta direção. Assim, esta direção, para a área de estudo, também se apresenta com boas perspectivas para a percolação e armazenamento de água.

- **Direção N20°O ± 5°**

A falha R do sistema 3 está relacionada com esta direção. Esta direção foi identificada no território paraibano por Guedes (1993), Silva Neto (1993) e Dantas Filho (1996) como direção de falhas transcorrentes, conjugadas com falhas gravitacionais. Gopinath e Costa (2000), em área a oeste da cidade de Campina Grande, a definiram como direção de fraturas de média frequência regional. Costa Filho (2000) também faz alusão a esta direção como orientadora de fraturas de extensão e normais. Para a área de estudo esta direção apresenta-se com uma boa potencialidade para a percolação e o armazenamento de água.

- **Direção N(35-40)°O ± 5°**

Com esta direção, estão relacionadas as falhas T do sistema 1, R' do sistema 2 e Y do sistema 3. Pelo modelo de Riedel, modificado por Sadowski, as falhas T são abertas, propiciando condições favoráveis à ocorrência de fluxo de água subterrânea. Os autores Guedes (1993), Silva Neto (1993) e Dantas Filho (1996) concluíram, em suas pesquisas hidrogeológicas, que esta direção apresenta-se como muito favorável à pesquisa de água subterrânea nas regiões do embasamento cristalino por eles estudadas. Fraturas de alta frequência regional, direcionadas neste rumo, foram identificadas nos estudos desenvolvidos por Gopinath e Costa (2000), em área situada a norte da cidade de Campina

Grande. Para a área de estudo, esta direção também se apresenta com boa potencialidade para a percolação e armazenamento de água subterrânea.

- **Direção N(55-60)°O ± 5°**

Estão relacionadas com esta direção as falhas R do sistema 1, X do sistema 2, P do sistema 3 e P do sistema 4. As falhas X são definidas por Sadowski (1983) como falhas inversas, e a priori apresentam muito baixa potencialidade para a percolação e armazenamento de água. No trabalho desenvolvido por Costa (op. cit.), esta direção de fraturas foi definida como de alta frequência regional. Esta direção foi identificada por Guedes (1993), Silva Neto (1993) e Dantas Filho (1996), que a relacionaram a um sistema de falhas transcorrentes conjugadas com falhamentos gravitacionais.

Na região Nordeste, esta direção exerceu um importante papel na estruturação tectônica. Por ela se deu a inflexão da bacia sedimentar Tucano-Jatobá nos estados da Bahia e Pernambuco. Alguns grandes cursos d'água são controlados por ela, como o Rio São Francisco entre a cidade de Cabrobó e sua foz na região litorânea. Mais para noroeste, alinhado ao curso do Rio São Francisco, no sul dos estados do Piauí e Maranhão, encontramos o rio Itaim, o que vem corroborar com a hipótese desta também ser uma importante feição estrutural, de caráter regional. Além disso, a inflexão da bacia Tucano-Jatobá dá-se justamente onde ela é cortada pelo Rio São Francisco, evidenciando a existência de falha(s) profunda(s) nesta região.

Para a área de estudo, podemos considerar que as estruturas geológicas lineares associadas a esta direção apresentam uma perspectiva de média a boa para a percolação e o armazenamento de água. Figura 5.10.

Em uma análise minuciosa dos quatro sistemas de cisalhamento definidos, verificou-se que para todos eles a relação angular entre as falhas Y e as falhas R varia de 15° a 22°; entre as falhas Y e as falhas P, de 12° a 18°; entre as falhas Y e as falhas R', de 68° a 80°; entre as falhas Y e as falhas X, de 68° a 82° e entre as falhas Y e as falhas T, de 37° a 48°. Todos estes valores angulares condizem com aqueles definidos nos modelos para zonas de cisalhamento, propostos por Riedel (1929) e Sadowski (1983).

As direções mais importantes que devem ser consideradas nos estudos de pesquisa de água subterrânea na área são: N(35-40)°O±5°, N(40-45)°E±5°, N(60-65)°E±5° e N-S±5°.

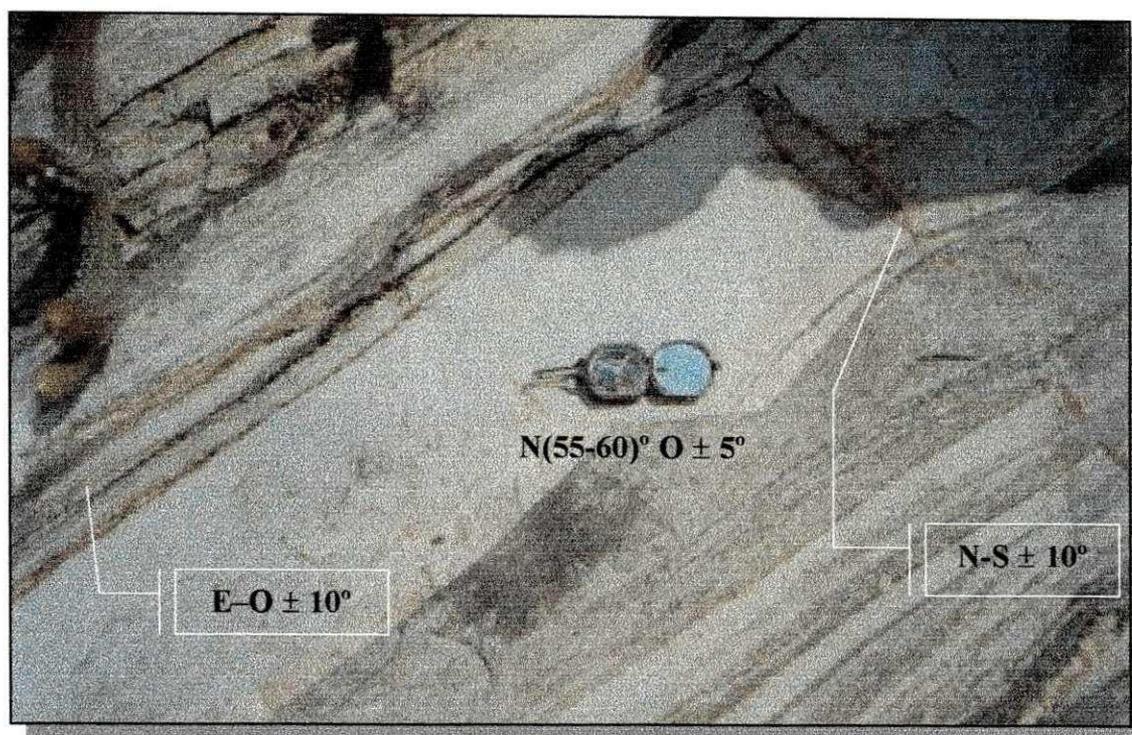


Figura 5.13 – Fraturas de direções: $N(55-60) \pm 5^\circ$, com movimento dextral; $E-O \pm 10^\circ$, associada à foliação, e $N-S \pm 10^\circ$. Afloramento a nordeste da área de estudo.

5.3.4 Análise da assimetria da rede de drenagem

A rede de drenagem da região estudada de um modo geral é caracterizada por um padrão dendrítico, uma densidade média de elementos texturais que a constituem e uma boa uniformidade do seu desenvolvimento ao longo da área.

A partir do estudo da assimetria da drenagem e do relevo, foram definidas as linhas de tendência de fluxo das águas de subsuperfície, apresentadas na Figura 5.14, Mapa de Linhas de Tendência de Fluxo, que ofereceram condições para as seguintes considerações em termos dos condicionantes hidrogeológicos da área:

A rede de drenagem da área, em termos de tendência de fluxo, apresenta-se dividida por dois divisores regionais de águas e caracteriza-se pela existência de dois grupos maiores de área drenada, um situado a leste, outro a oeste da área.

O primeiro divisor tem a seguinte conformação: na subárea 1, NE, orienta-se sob direção E-O, a partir do extremo leste da área (longitude de $36^{\circ} 06'$ oeste, e latitude de $7^{\circ} 10'$ sul), até a longitude de $36^{\circ} 09'$ oeste, reorientando-se para NE-SO até a longitude de $36^{\circ} 13'$ oeste e latitude $7^{\circ} 13'$ sul, onde inflete para norte-sul até a latitude de $7^{\circ} 20'$ sul, onde bruscamente muda para a direção E- 80° O, até o extremo leste da área, na subárea 2, SE.

A porção leste da drenagem tem os canais principais controlados pelas direções N-S e E-O, e alguns canais secundários orientados sob a direção NO-SE e NE-SO, com as águas convergindo para a calha do rio São Pedro.

A porção oeste da drenagem apresenta-se com os canais principais instalados sob controle principal da direção N-S, e outros canais orientados nas direções E-O e NO-SE, com as linhas de tendência de fluxo indicando que as águas de subsuperfície são drenadas para a calha do rio Boa Vista, afluente do rio Taperoá.

No extremo oeste da área estudada, o segundo divisor de águas regionais, com orientação principal N-S, divide as águas da porção a oeste, já referida, com uma pequena porção da rede de drenagem da área. Esta porção apresenta poucos canais no interior da região estudada, e suas águas são drenadas para o rio Soledade, também afluente do rio Taperoá.

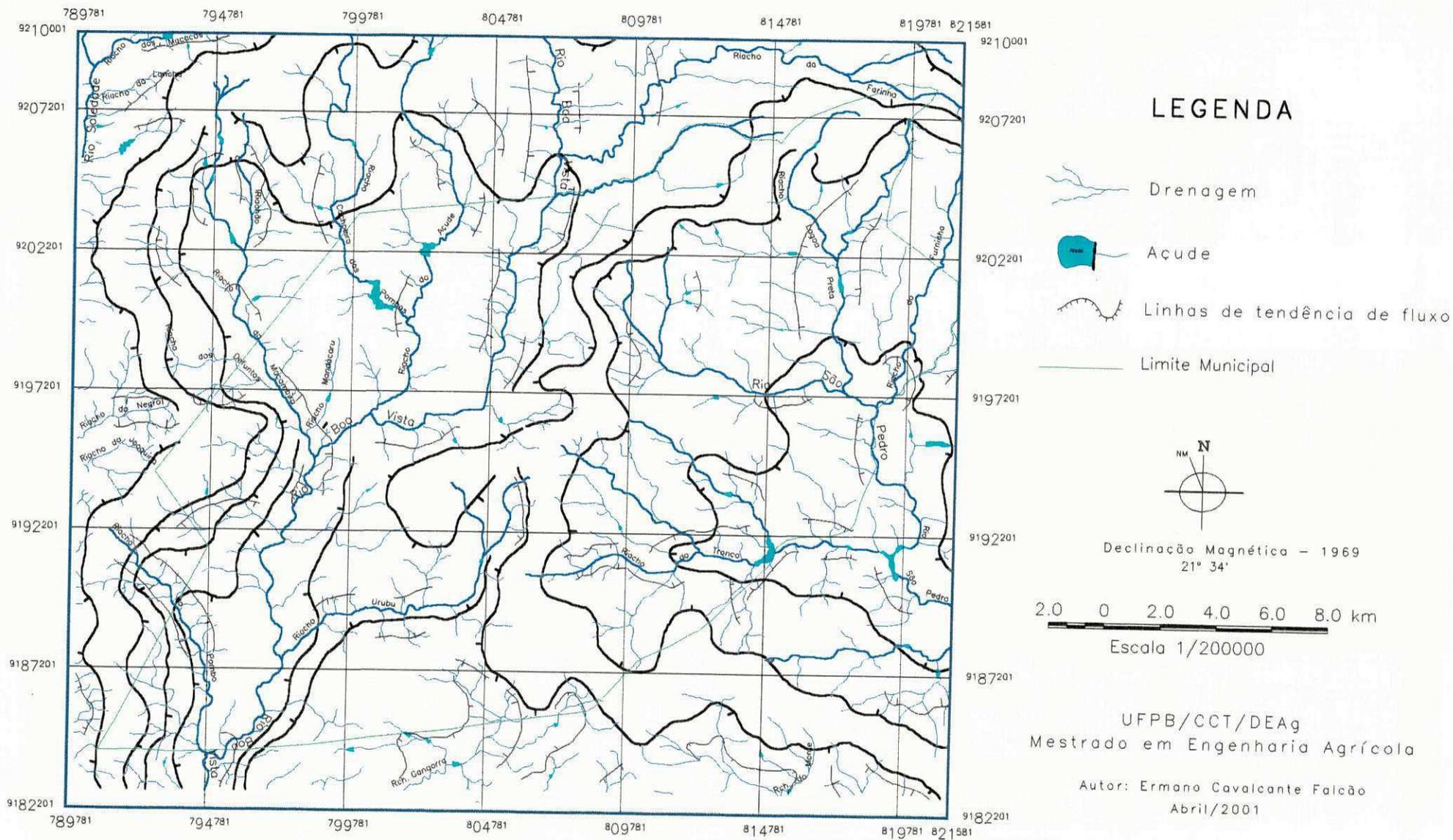


Figura 5.14 – MAPA DE DRENAGEM E DE LINHAS DE TENDÊNCIA DE FLUXO

5.4 ÁREAS FAVORÁVEIS À PESQUISA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Após as análises qualitativa e quantitativa de fraturamento, dos falhamentos, e da tendência de fluxo de água de subsuperfície, foram definidas dezoito áreas como de maior prioridade à pesquisa de água subterrânea na área de estudo, utilizando-se o critério estabelecido por Sampaio (1987), (Tabela 4.1), que reúne as situações possíveis de formas de ocorrência de estruturas e suas combinações, a partir de uma ordem de prioridade.

As áreas definidas como de maior prioridade à pesquisa de água subterrânea foram plotadas no Mapa Integrado (Figura 5.15 e Anexo 1), usando-se como simbologia círculos segmentados, sem que a circunferência desses círculos seja representativa de limites rígidos das áreas prioritárias, apresentando apenas, caráter puramente estimativo. Nessas áreas delimitadas, define-se que a prioridade maior para pesquisa de água subterrânea seja dada à região central das mesmas, com prosseguimentos seguintes em direção à borda estimativa do limite. Outro critério a ser adotado é que o estabelecimento de pesquisa de água nessas áreas se faça ao longo das feições maiores (lineamentos), pois são consideradas estruturas favoráveis à acumulação de água subterrânea.

No Mapa Integrado, também são encontrados os lineamentos estruturais, os feixes de fraturas e as linhas de tendência de fluxo de água de subsuperfície (condicionantes hidrogeológicas), que foram as principais variáveis analisadas visando à definição das áreas prioritárias à pesquisa de água subterrânea.

A seguir, são discriminadas as áreas com maior potencialidade à pesquisa de recursos hídricos subterrâneos, considerando como setores prioritários aqueles que contêm sistemas conjugados abertos, na ordem estabelecida na tabela elaborada por Sampaio (op.cit.). Na discriminação de cada área, ao lado da direção dos feixes de fraturas e dos lineamentos, são identificadas, entre parênteses, a(s) falha(s) definida(s) nos quatro sistemas de cisalhamento e que correspondem a uma determinada direção. A seguir, alguns exemplos da notação estabelecida para essa identificação:

- (Y1, R4): Falha Y do sistema 1 e falha R do sistema 4;
- (R'2, P3, X4): Falha R' do sistema 2, falha P do sistema 3 e falha X do sistema 4.

ÁREA 1

Tipo A12 - (cruzamento feixe x lineamento)

Direção do feixe e falhas correspondentes: E-O $\pm 10^\circ$ - (Y1 e R4);

Direção do lineamento e falhas correspondentes: N(40-45) $^\circ$ E $\pm 5^\circ$ - (Y2, R'3 e R'4);

Estruturas associadas: lineamento de direção E-O $\pm 10^\circ$, associado ao feixe.

Localidade: Caluete – Subárea 1 (NE)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente

Poço: há um poço perfurado no interior desta área com vazão de 4 m³/h.

ÁREA 2

Tipo A12 - (cruzamento feixe x lineamento)

Direção do feixe e falhas correspondentes: N65 $^\circ$ O $\pm 5^\circ$ - (Y4).

Direção do lineamento e falhas correspondentes: N(40-45) $^\circ$ E $\pm 5^\circ$ - (Y2, R'3 e R'4);

Estrutura associada: existe um lineamento de direção N65 $^\circ$ O $\pm 5^\circ$, associado ao feixe.

Localidade: Cacimba Nova – Subárea 2 (SE)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente

ÁREA 3

Tipo A12 - (cruzamento feixe x lineamento)

Direção do feixe e falhas correspondentes: E-O $\pm 10^\circ$ - (Y1 e R4);

Direção do lineamento e falhas correspondentes: N(40-45) $^\circ$ E $\pm 5^\circ$ - (Y2, R'3 e R'4);

Estrut. associada e falhas correspondentes: lineamento N(55-60) $^\circ$ O $\pm 5^\circ$ - (R1, X2, P3 e P4).

Localidade: Santa Rosa – Subáreas 1 e 4 (NE e NO)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente.

Poço: há um poço perfurado no interior desta área com vazão de 1 m³/h.

ÁREA 4

Tipo A12 - (cruzamento feixe x lineamento)

Direção do feixe e falhas correspondentes: N(35-40) $^\circ$ O $\pm 5^\circ$ - (R'2, T1 e Y3).

Direção do lineamento e falhas correspondentes: E-O $\pm 10^\circ$ - (Y1 e R4);

Estrutura associada: existe um outro feixe de fraturas de direção E-O $\pm 10^\circ$ - (Y1 e R4);

Localidade: Riacho do Açude – Subárea 4 (NO)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente.

ÁREA 5

Tipo A11 - (cruzamento feixe x feixe)

Direção dos feixes e falhas correspondentes:

Feixe 1: $N20^{\circ}O \pm 5^{\circ}$ - (R3);

Feixe 2: $N(40-45)^{\circ}E \pm 5^{\circ}$ - (Y2, R'3 e R'4);

Estruturas associadas e falhas correspondentes:

Lineamento 1: $N(40-45)^{\circ}E \pm 5^{\circ}$ - (Y2, R'3 e R'4);

Lineamento 2: $E-O \pm 10^{\circ}$ - (Y1 e R4), cruza os dois feixes;

Lineamento 3: $N(35-40)^{\circ}O \pm 5^{\circ}$ - (T1, R'2 e Y3), subparalelo ao feixe de direção $N20^{\circ}O \pm 5^{\circ}$.

Localidade: Navalha/Poço do Juá – Soledade/PB – Subárea 4 (NO)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente.

ÁREA 6

Tipo B11 - (cruzamento feixe x lineamentos)

Direção do feixe e falhas correspondentes: $N(40-45)^{\circ}E \pm 5^{\circ}$ - (Y2, R'3 e R'4);

Direção do lineamento 1 e falhas correspondentes: $E-O \pm 10^{\circ}$ - (Y1 e R4);

Estruturas associadas e falhas correspondentes:

Lineamento 2: $N(55-60)^{\circ}O \pm 5^{\circ}$ - (R1, X2, P3 e P4);

Lineamento 3: $N(40-45)^{\circ}E \pm 5^{\circ}$ - (Y2, R'3 e R'4);

Localidade: Aldeia – Subárea 3 (SO)

Fluxo: nesta área, o fluxo de água de subsuperfície é convergente.

Poço: há um poço perfurado no interior desta área com vazão de $12 \text{ m}^3/\text{h}$. Nas proximidades do limite externo desta área há um poço perfurado com vazão de $0,60 \text{ m}^3/\text{h}$.

Nesta área, observam-se um poço perfurado com uma vazão muito alta, para a região, e um outro poço com vazão muito inferior ao primeiro, cujas localizações podem ser verificadas no Mapa de Localização de Poços Perfurados (Figura 5.18). Também é observada a presença de uma falha X, considerada como fechada pelos modelos utilizados neste trabalho. A presença da falha X pode estar interferindo no fluxo da água para oeste, o que poderia explicar a menor vazão do segundo poço localizado no interior da área delimitada. Para uma melhor avaliação desta hipótese, seriam necessários dados de poços perfurados mais a oeste deste setor. Apesar destas evidências, considerando o alto grau de poliatividade das estruturas presentes e a orientação de cada lineamento, pode-se concluir que esta área é propícia à pesquisa de água subterrânea.

ÁREA 7

Tipo B11 - (cruzamento feixe x lineamento)

Direção do feixe e falhas correspondentes: E-O $\pm 10^\circ$ - (Y1 e R4);

Direção do lineamento e falhas correspondentes: N-S $\pm 10^\circ$ - (R'1, T2, T3 e X4);

Localidade: São João Velho – Subárea 3 (SO)

Fluxo: nesta área, o fluxo de água de subsuperfície é convergente.

ÁREA 8

Tipo A11 - (cruzamento feixe x lineamentos)

Direção do feixe e falhas correspondentes: N20°O $\pm 5^\circ$ - (R3);

Direção do lineamento 1 e falhas correspondentes: E-O $\pm 10^\circ$ - (Y1 e R4);

Estrutura associada: Lineamento 2: N(35-40)°O $\pm 5^\circ$ - (T1, R'2 e Y3);

Localidade: Santa Rosa – Subárea 4 (NO)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente.

ÁREA 9

Tipo B14 - (cruzamento lineamentos x lineamentos)

Direção dos lineamentos e falhas correspondentes:

Lineamento 1: N(20-25)°E $\pm 5^\circ$ - (X1 e R2);

Lineamento 2: N(40-45)°E $\pm 5^\circ$ - (Y2, R'3 e R'4);

Lineamento 2: N(35-40)°O $\pm 5^\circ$ - (T1, R'2 e Y3);

Localidade: Santa Rosa – Subárea 4 (NO)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente.

ÁREA 10

Tipo C12 - (cruzamento feixe x lineamentos)

Direção do feixe e falhas correspondentes: N(20-25)°E $\pm 5^\circ$ - (X1 e R2);

Direção do lineamento e falhas correspondentes: N65°E $\pm 5^\circ$ - (P2, X3 e T4);

Localidade: Riacho do Rei – Município de Gurjão. Subárea 3 (SO)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente.

ÁREA 11

Tipo A12 - (cruzamento feixe x lineamento)

Direção do feixe e falhas correspondentes: N20°O $\pm 5^\circ$ - (R3);

Direção do lineamento e falhas correspondentes: E-O $\pm 10^\circ$ - (Y1 e R4);

Localidade: Manoel de Sousa – Município de Soledade. Subárea 4 (NO)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é divergente.

ÁREA 12

Tipo AI3 - (cruzamento lineamento x lineamento)

Direção dos lineamentos e falhas associadas:

Lineamento 1: $N(35-40)^{\circ}O \pm 5^{\circ}$ - (T1, R'2 e Y3);

Lineamento 2: $E-O \pm 10^{\circ}$ - (Y1 e R4);

Localidade: Juá - Subárea 2 (SE)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente.

ÁREA 13

Tipo AI2 - (cruzamento feixe x lineamento)

Direção do feixe e falhas correspondentes: $E-O \pm 10^{\circ}$ - (Y1 e R4);

Direção do lineamento 1 e falhas correspondentes: $N(35-40)^{\circ}O$ - (T1, R'2 e Y3);

Estrutura associada: Lineamento 2: $E-O \pm 10^{\circ}$ - (Y1 e R4). Este lineamento encontra-se associado ao feixe de fraturas e cruza o lineamento 1 fora do feixe.

Localidade: Roçado do Mato/Santo Antônio. Subárea 2 (SE)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente.

ÁREA 14

Tipo B11 - (cruzamento feixe x lineamento)

Direção do feixe e falhas correspondentes: $E-O \pm 10^{\circ}$ - (Y1 e R4);

Direção do lineamento e falhas correspondentes:

Lineamento 1: $N-S \pm 10^{\circ}$ - (R'1, T2, T3 e X4). Este lineamento cruza o feixe de fraturas.

Estrutura associada e falhas correspondentes: Lineamento 2: $E-O \pm 10^{\circ}$ - (Y1 e R4). Este lineamento encontra-se associado ao feixe de fraturas e cruza o lineamento 1 na extremidade do feixe.

Localidade: Xique-xique - Município de Soledade. Subárea 4 (NO)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente.

ÁREA 15

Tipo AI2 - (cruzamento feixe x lineamentos)

Direção do feixe e falhas correspondentes: $N(40-45)^{\circ}E$ - (Y2, R'3 e R'4);

Direção dos lineamentos e falhas correspondentes:

Lineamento 1: $N(35-40)^{\circ}O$ - (T1, R'2 e Y3);

Lineamento 2: E-O $\pm 10^\circ$ - (Y1 e R4). Os lineamentos 1 e 2 cruzam o feixe de fraturas, como também se cruzam no interior deste feixe.

Localidade: Viração – Município de Soledade. Subárea 4 (NO)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente.

ÁREA 16

Tipo BI4 - (cruzamento lineamentos x lineamentos)

Direção dos lineamentos e falhas correspondentes:

Lineamento 1: N60° E – (P2, X3 e T4);

Lineamento 2: E-O $\pm 10^\circ$ - (Y1 e R4);

Lineamento 3: N(35-40)°O – (T1, R'2 e Y3).

Localidade: São João Velho. Subárea 3 (SO)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente.

ÁREA 17

Tipo AI3 - (cruzamento lineamento x lineamento)

Direção dos lineamentos e falhas correspondentes:

Lineamento 1: N(35-40)°O – (T1, R'2 e Y3).

Lineamento 2: N(40-45)°E – (Y2, R'3 e R'4);

Localidade: Malhadinha. Subárea 1 (NE)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente.

Poço: No interior desta área delimitada para pesquisa, existe um poço seco.

ÁREA 18

Tipo BI4 - (cruzamento lineamento x lineamento)

Direção dos lineamentos e falhas correspondentes:

Lineamento 1: N-S $\pm 10^\circ$ - (R'1, T2, T3 e X4).

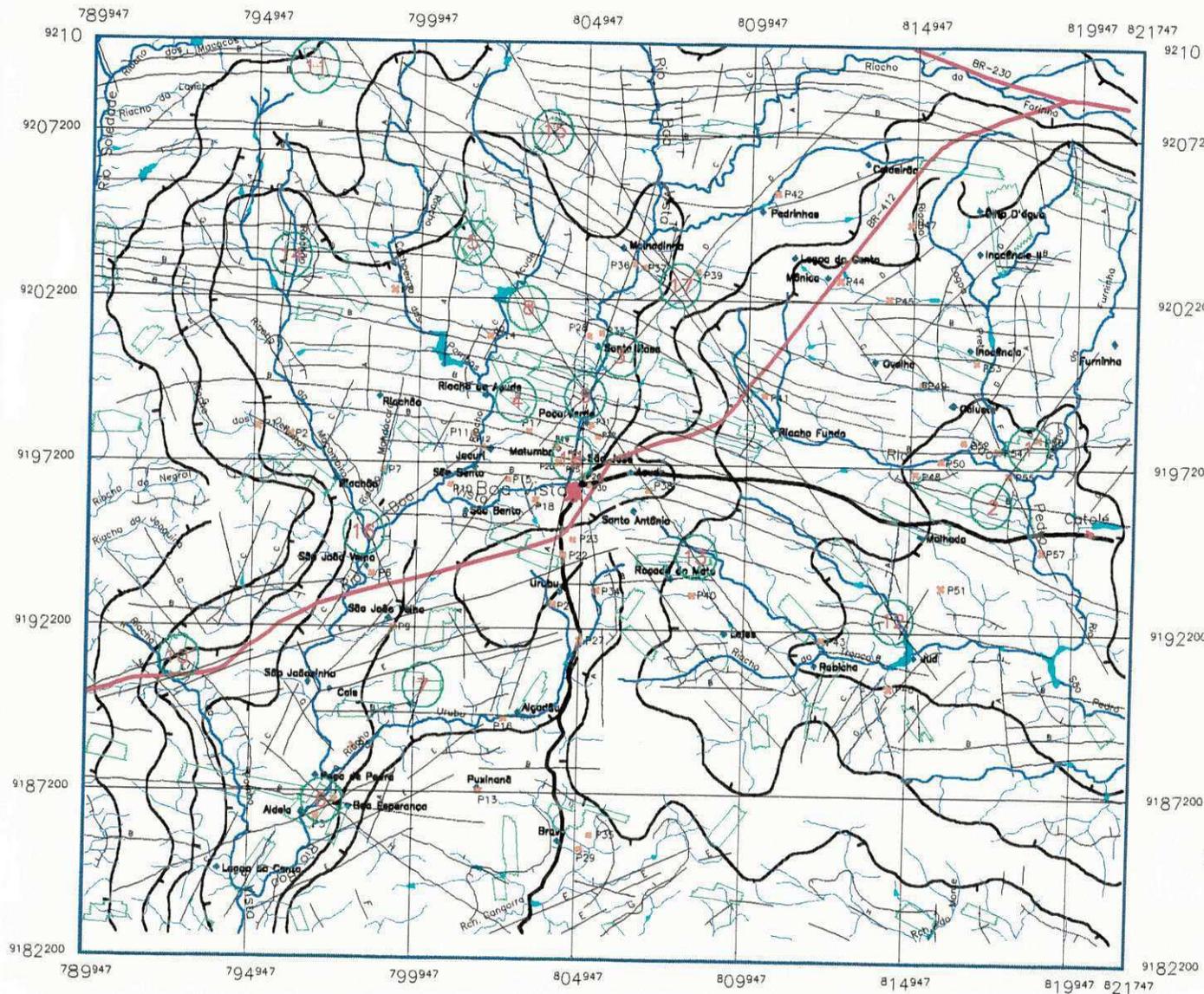
Lineamento 2: E-O $\pm 10^\circ$ - (Y1 e R4);

Localidade: São José/Matumbo. Subárea 4 (NO)

Fluxo: o fluxo de água de subsuperfície nesta área é convergente.

Poço: No interior desta área delimitada para pesquisa, existem 4 poços perfurados, um com vazão de 1,8 m³/h, dois com vazão de 3 m³/h e um com vazão de 7 m³/h.

As direções com maior frequência de ocorrência nessas áreas selecionadas como prioritárias à pesquisa de água subterrânea na região estudada são: E-O $\pm 10^\circ$, N(35-40)°O $\pm 5^\circ$, N(40-45)°E $\pm 5^\circ$ e N-S $\pm 10^\circ$.

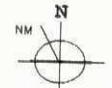


LEGENDA

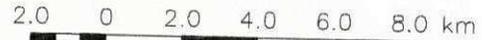
A letra sobre o lineamento identifica a falha por direção, tipo e sistema de cisalhamento, segundo o modelo de Riedel.

- A - R'1, T2, T3 e X4
- B - Y1 e R4
- C - X1 e R2
- D - R'3, Y2 e R'4
- E - P2, X3 e T4
- F - R3
- G - T1, R'2 e Y3
- H - R1, X2, P3 e P4
- I - Y4

- Estrada Federal
- Estradas Estaduais
- Cidade e Distrito
- poços profundos
- propriedades rurais
- Drenagem
- Açude
- Linha de Tendência de Fluxo
- Área para pesquisa
- Feixe de fraturas



Declinação Magnética - 1969
21° 34'



Escala 1/200000

UFPB/CCT/DEAg
Mestrado em Engenharia Agrícola

Autor: Ermanno Cavalcante Falcão
Abril/2001

Figura 5.15 - MAPA INTEGRADO

5.5 DADOS DE POÇOS PERFURADOS NA ÁREA

Os dados de poços profundos perfurados na área objeto desta pesquisa foram fornecidos pela Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba – CDRM/PB e pela Prefeitura Municipal de Boa Vista – PMBV (Anexo 2).

No município de Boa Vista, a adoção da prática de dessedentação de aves e de rebanhos bovinos, caprinos, ovinos, suínos, etc. em alguns meses do ano, utilizando-se água de poços profundos, é de ordem comum e vital para a sobrevivência dos animais que representam a base econômica de um número considerável de famílias ali residentes. A utilização da tecnologia de dessalinizadores tem contribuído para um melhor aproveitamento da água subterrânea, para consumo humano e animal, porém, em decorrência do alto custo para aquisição e manutenção desses equipamentos, o poder público é que tem viabilizado a sua utilização em comunidades rurais.

Este trabalho não objetivou efetuar um levantamento amplo das propriedades físicas e iônicas das águas ocorrentes nos poços profundos perfurados na área de estudo, para que se pudesse indicar sua destinação mais adequada. No entanto, nas recomendações contidas no Capítulo 6 desta dissertação, são apresentadas possibilidades de utilização das águas de poços profundos perfurados no município de Boa Vista/PB, com base nos dados de residuo seco, como propriedade disponível, e em alguns critérios e opiniões de pesquisadores que apontam para a devida utilização das águas subterrâneas do embasamento cristalino, e que podem servir como referencial indicativo de uso para águas de poços que venham a ser perfurados na área de estudo ou em outras áreas com características semelhantes.

As Figuras 5.16 e 5.17 mostram os respectivos valores de residuo seco e vazão, para poços perfurados na área de estudo, cujas localizações geográficas encontram-se plotadas no Mapa de Localização de Poços Perfurados, Figura 5.18.

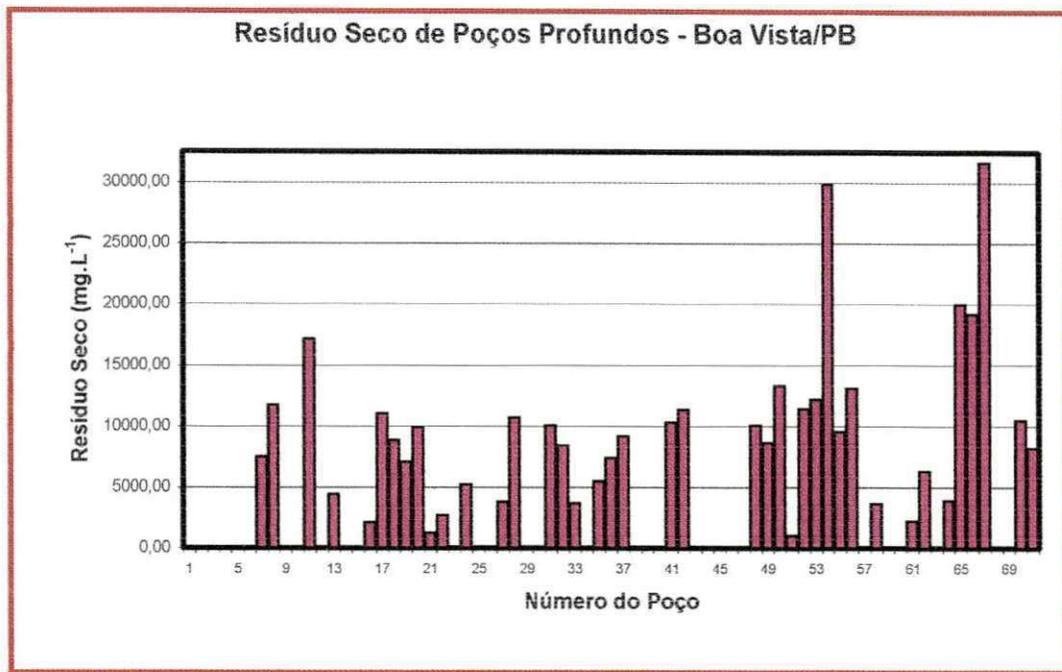


Figura 5.16 – Valores de resíduo seco para poços perfurados na área de estudo.
 Fonte: CDRM/PB e PMBV

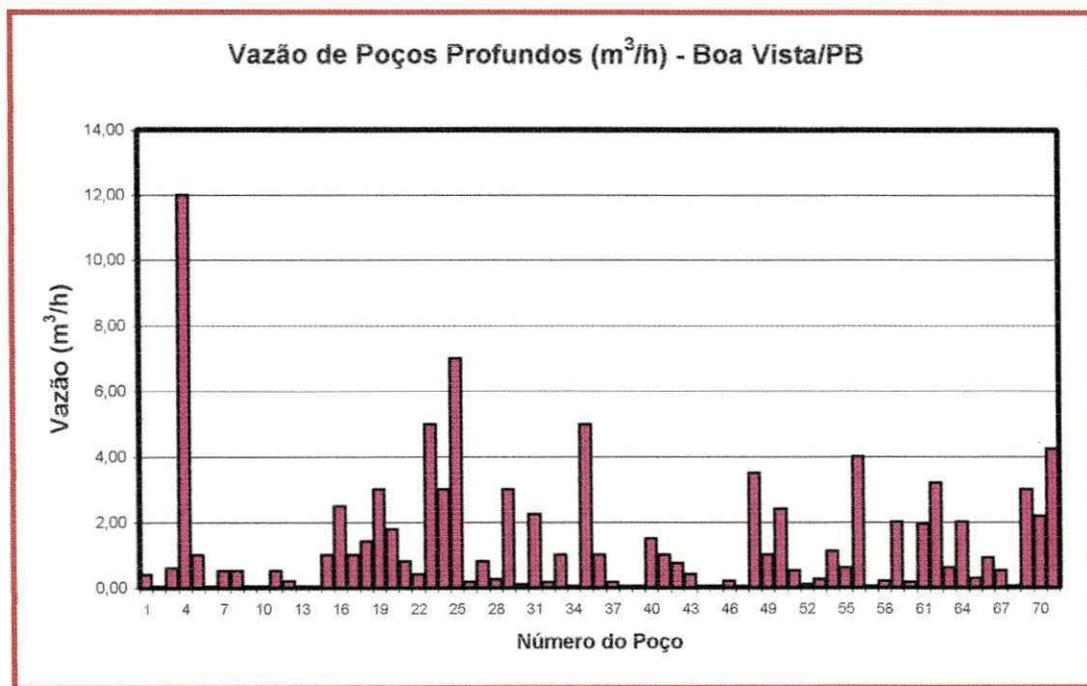
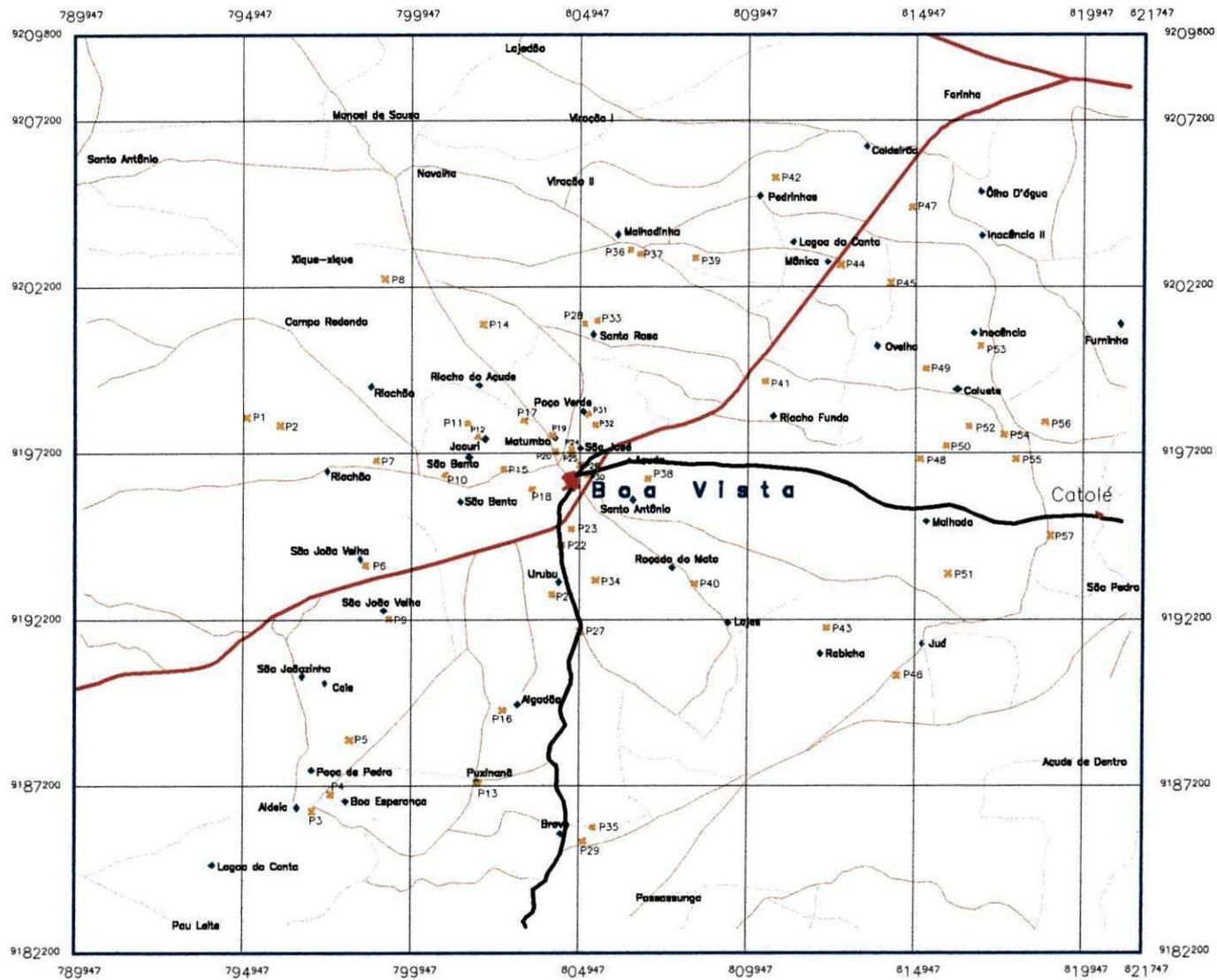
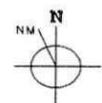


Figura 5.17 – Dados de vazão de poços perfurados na área de estudo.
 Fonte: CDRM/PB e PMBV.



LEGENDA

- Estrada Federal
- Estradas Estaduais
- Estradas Municipais
- Caminhos
- Cidade
- propriedades rurais
- poços profundos



Declinação Magnética - 1969
21° 34'



Escala 1/200000

UFPB/CCT/DEAg
Mestrado em Engenharia Agrícola

Ermano Cavalcante Falcão
Abril/2001

Figura 5.18 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE POÇOS PERFURADOS

5.6 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Esta fase de desenvolvimento do trabalho é seguinte às etapas de coleta de dados, aplicação de metodologias, processamento de dados, análise dos resultados obtidos e geração de produtos cartográficos. No processamento de dados, o sistema Spring possibilitou a definição de planos de informação de algumas categorias como estradas, drenagem, geologia, feixe de fraturas, lineamentos, linhas de tendência de fluxo, poços perfurados na área de estudo, etc.

A partir de uma categoria ou de um plano de informação ou classe de categoria foram construídos bancos de dados na forma de tabelas, que guardam atributos convencionais, ou seja, o componente descritivo do objeto geográfico. O Spring possui um sistema dedicado que trata os dados ou componentes espaciais do objeto. Um sistema gerenciador de banco de dados permite a ligação entre o sistema de informação geográfica e o banco de dados. A conexão entre os componentes espacial e descritivo é feita por identificadores.

Esta estrutura seqüencial de organização é uma ferramenta do sistema Spring que permite ao usuário efetuar análise e consulta espacial sobre um determinado objeto geográfico do seu interesse. Com os objetos na tela, o usuário pode realizar diversos tipos de consulta, como espacial, agrupamento, tabela, etc.

Pode ser do interesse do usuário verificar a distância entre um determinado poço perfurado e a sede de uma localidade, de modo a facilitar uma decisão sobre como transportar a água daquele poço até aquela localidade. Este tipo de consulta é feito diretamente na tela do Spring, com os planos de informação de poços perfurados e de localidades ativos na tela do monitor (Figura 5.19).

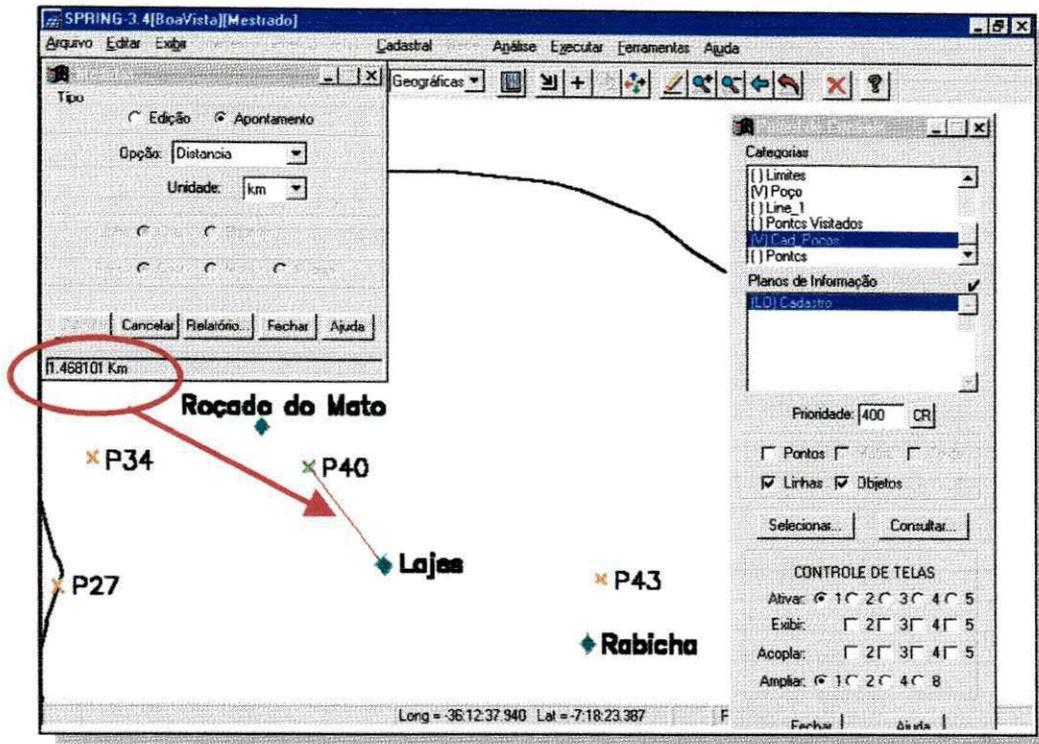


Figura 5.19 – Medida da distância, em linha reta, efetuada na tela do monitor, entre o poço 40 (P40) e a localidade Lajes, a partir da ação de um clique com o cursor do mouse sobre cada um dos pontos. O resultado é visualizado automaticamente no rodapé de uma janela associada.

Os dados que compõem um banco de atributos de um determinado objeto georreferenciado podem ser atualizados ao longo do tempo, propiciando condições para que consultas possam ser efetuadas no sentido de se obter uma informação que auxilie em um processo de tomada de decisão ou que seja uma informação complementar ao que se deseja. Um determinado poço pode apresentar problemas relativos, por exemplo, à redução de sua vazão, à mudança nos níveis de salinização de suas águas, etc, e o seu monitoramento constante oferece condições para manutenção de seus dados atualizados, disponibilizando informações para consultas de dados mais consistentes a respeito daquele objeto.

A Figura 5.20 mostra os resultados de uma consulta do tipo tabela ao plano de informação dos poços perfurados na área de estudo, destacando que um poço perfurado pode ser apontado na tela do monitor e seus dados surgindo destacados em uma linha da

tabela de atributos de todos os poços do banco de dados. Esta operação pode ser efetuada no sentido inverso, apontando-se uma linha na tabela de atributos e realçando na tela o objeto pesquisado.

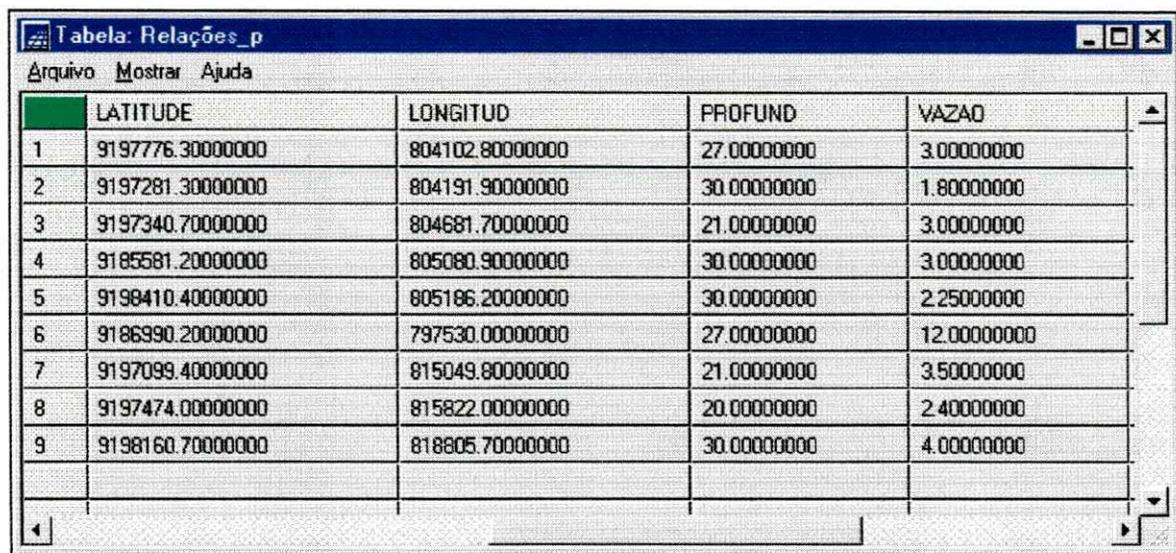
The figure illustrates a spatial query in a GIS application. The main window shows a map with several wells (P4, P5, P13, P16) and labels for 'Poço de Pedra' and 'Puxinani'. A table window 'Tabela: Relações_p' shows a list of wells with columns for NUMERO, ANO, LOCALID, PROPRIET, LATITUDE, and LOD. A pop-up window 'Atributos: Relações_p' shows the detailed attributes for the selected well P4, with the same color as the selected row in the table.

NUMERO	ANO	LOCALID	PROPRIET	LATITUDE	LOD	
32	38	1994	Alto do Jovem	Mancel Ismael	9196475.10000000	80E
33	39	1986	Malhadinha	José Targino	9203092.60000000	80E
34	4	1999			0000	79E
35	40	1971			0000	80E
36	41	1981			0000	81E
37	42	1991			0000	81E
38	43	1991			0000	81E

ID	VALOR
4	4
NOME	P4
ROTULO	4
AREA	0.0000
PERIMETRO	372.2710
NUMERO	4
ANO	1999
LOCALID	D. Soledade I
PROPRIET	Ana Maria Almeida
LATITUDE	9186990.20000000
LONGITUD	797530.00000000
PROFUND	27.00000000
VAZAO	12.00000000

Figura 5.20 – Exemplo de Consulta Espacial - Consulta à categoria cadastral que contém dados de poços perfurados na área de estudo. A seleção de um objeto geográfico na tela, no caso o poço de número 4, P4, torna os dados deste poço destacados na tabela de atributos com a mesma cor do objeto marcado. Uma outra forma de consulta na própria tela do monitor possibilita a visualização numa janela dos atributos apenas do objeto consultado.

Uma outra visualização de consulta é verificada na Figura 5.21, a qual responde a um questionamento do usuário que pode ser no seguinte sentido: verificar os poços perfurados que apresentam vazão maior que $1,5\text{m}^3/\text{h}$ e que tenham profundidade menor que $40,00\text{m}$. O sistema mostra uma tabela com os dados dos poços que atendem à solicitação do usuário



	LATITUDE	LONGITUD	PROFUND	VAZAO
1	9197776.30000000	804102.80000000	27.00000000	3.00000000
2	9197281.30000000	804191.90000000	30.00000000	1.80000000
3	9197340.70000000	804681.70000000	21.00000000	3.00000000
4	9185581.20000000	805080.90000000	30.00000000	3.00000000
5	9198410.40000000	805186.20000000	30.00000000	2.25000000
6	9186990.20000000	797530.00000000	27.00000000	12.00000000
7	9197099.40000000	815049.80000000	21.00000000	3.50000000
8	9197474.00000000	815822.00000000	20.00000000	2.40000000
9	9198160.70000000	818805.70000000	30.00000000	4.00000000

Figura 5.21 – Consulta sobre atributos descritivos a partir de uma condição colocada pelo usuário.

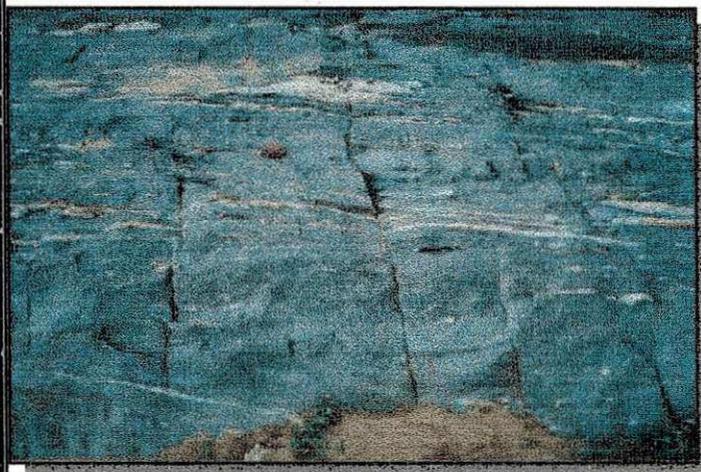
CAPÍTULO 6

As conclusões a que se chegou neste trabalho de pesquisa são apresentadas neste capítulo, além de recomendações para trabalhos futuros relacionados ao tema desenvolvido, no âmbito da área estudada. Este capítulo apresenta a seguinte organização de tópicos:

Conclusões

Recomendações

CONSIDERAÇÕES FINAIS



6.1 CONCLUSÕES

No decorrer das etapas que constituíram a elaboração deste trabalho de pesquisa, resultados e reflexões conduziram a algumas inferências, que se encontram resumidas nos itens seguintes:

- Os produtos de sensoriamento remoto do sensor TM/Landsat-5, associados com dados bibliográficos consultados e com dados levantados em campo, com a complementação de outras tecnologias de geoprocessamento, como o SGI-340 e o SPRING, possibilitaram o atendimento aos objetivos a que se propunha esta pesquisa;
- As imagens TM/Landsat-5 propiciam um estudo hidrogeológico regional com uma considerável redução do tempo dispendido e de custos inerentes às pesquisas hidrogeológicas;
- A análise de fotolineamentos e de fotoalinhamentos, com base no modelo de Riedel, com as modificações de Sadowski, definiu quatro sistemas de cisalhamento para a área estudada: dois de caráter dextral, de direções E-O $\pm 10^\circ$ e N(35-40)° O $\pm 5^\circ$; e dois de caráter sinistral orientados sob as direções N(40-45)° E $\pm 5^\circ$ e N 65° O $\pm 5^\circ$.
- As principais direções que devem ser consideradas na pesquisa de água subterrânea são: N(35-40)° O $\pm 5^\circ$, N(40-45)° E $\pm 5^\circ$, N-S $\pm 10^\circ$ e N(60-65)° E $\pm 5^\circ$;
- As direções que apresentaram maior frequência de ocorrência nas dezoito áreas definidas como de maior prioridade para serem analisadas na pesquisa de água subterrânea na região estudada foram: E-O $\pm 10^\circ$, N(35-40)° O $\pm 5^\circ$, N(40-45)° E $\pm 5^\circ$ e N-S $\pm 10^\circ$;
- As fraturas orientadas sob a direção N-S, regionalmente caracterizadas como fechadas, apresentaram evidências de serem abertas na área estudada, com potencialidades para permitir a percolação da água subterrânea;

- Alguns poços perfurados na área e que apresentam maior vazão localizam-se no domínio de algumas áreas definidas como prioritárias à pesquisa, evidenciando a validade da metodologia adotada no desenvolvimento do trabalho;
- O SPRING possibilitou de forma satisfatória a elaboração de um sistema para análise geográfica relacionando objetos georreferenciados nos mapas elaborados e os seus atributos contidos nos bancos de dados correspondentes.

6.2 RECOMENDAÇÕES

- ❑ Considerando as evidências do caráter de abertura presente em número considerável de fraturas de direção N-S $\pm 10^\circ$, recomenda-se um estudo geológico detalhado para um melhor entendimento do condicionamento estrutural das fraturas geológicas da região pesquisada;
- ❑ Para a locação de poços no interior das áreas selecionadas como prioritárias à pesquisa de água subterrânea, com maior grau de confiabilidade, recomenda-se a utilização prévia de estudos hidrogeológicos convencionais e testes de perfuração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. do P. T. de. **Os recursos de água subterrânea no trópico semi-árido do Estado da Paraíba**. Campina Grande. 1984. UFPB (Dissertação de Mestrado).

ALIYEV, A. **Regional fracturing of the pamirs and its metallogenic significance**. In: Dohlady Akademiy Nauk, SSSR. Moscou. 1980. (v. 250): 90-93.

AYERS, R. S. & WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução: H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros e F. A. V. Damasceno. Campina Grande, UFPB, 1999. xxviii, 153p.: il., 29,7 cm (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado 1).

AMARAL, G. **Princípios de Sensoriamento Remoto**. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 1990.

BARBOSA, M. P. **Estudo do relacionamento genético de feições geológicas da região do Espinhaço Meridional e adjacências (MG)**. São Paulo: USP. 1988.(Tese de Doutorado).

BARBOSA, M. P. **MÓDULO 2: Princípios Físicos**. Módulo de Estudo UFPB/DEAg/ABEAS. Curso de Especialização por Tutoria à Distância em Sensoriamento Remoto e SIG. Campina Grande-PB 1998.

BARBOSA, M. P. **MÓDULO 3A: Programas Espaciais**. Módulo de Estudo UFPB/DEAg/ABEAS. Curso de Especialização por Tutoria à Distância em Sensoriamento Remoto e SIG. Campina Grande-PB 1998.

BARBOSA, M. P. **MÓDULO 4: Comportamento Espectral dos Alvos**. Módulo de Estudo UFPB/DEAg/ABEAS. Curso de Especialização por Tutoria à Distância em Sensoriamento Remoto e SIG. Campina Grande-PB 1998.

BARROS, M. A. de. **MÓDULO 7: Sistemas de Informações Geográficas**. Módulo de Estudo UFPB/DEAg/ABEAS. Curso de Especialização por Tutoria à Distância em Sensoriamento Remoto e SIG. Campina Grande. 1998.

BERALDO, P. e SOARES, S. M. **GPS – Introdução e Aplicações Práticas**. Criciúma. SC. Ed. Livraria Luana Ltda. 150p. 1995.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 3ª edição. Viçosa, MG, UFV. 1984, 463pp.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **I - Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do estado da Paraíba, II - Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: Sedegra, 1972. 283pp.

- BRUHN, C. H. L., CAINELLI, C. e MATOS, R. M. D. Habitat do Petróleo e Fronteiras Exploratórias nos Rifts Brasileiros. In: **Boletim de Geociências da Petrobrás**. Vol. 2. Nº 2/4. pp.217-253. 1988.
- CALDASSO, A. L. da S. Geologia da jazida de argila de Boa Vista, Paraíba. Recife, SUDENE – Div. de Geol., 1965. 18p. Il. (Série Especial, 2). In: **Dantas, J. R. A. e Caúla, J. A. L. Estratigrafia e Geotectônica**. 1982.
- CALDASSO, A. L. da S. Geologia da quadricula E-088 – Folha São João do Cariri-PB. Recife, SUDENE – Div. de Geol., 1968. 50p. Il. (Série Geologia Regional, 10). In: **Dantas, J. R. A. e Caúla, J. A. L. Estratigrafia e Geotectônica**. 1982.
- CARVALHO, M. G. R. F. de. **Estado da Paraíba, classificação geomorfológica**. João Pessoa, Ed. Universitária, UFPB, 1982. 72pp.
- CDRM - Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba. **Mapa Geológico do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1982b.
- COSTA, W. D. Hidrogeologia dos meios anisotrópicos – Hidrogeologia dos aquíferos fissurais. In: FEITOSA, F. A. C. e MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. Fortaleza. CPRM/LABHID, 1997. pp133-163
- DANTAS, J. R. A. e CAÚLA, J. A. L. Estratigrafia e Geotectônica. In: **Mapa Geológico do Estado da Paraíba – Texto Explicativo**. CDRM/PB. Campina Grande: Grafset, 1982. 133pp.
- DANTAS FILHO, J. R. **Identificação de áreas propícias à pesquisa de água subterrânea através de imagens TM/LANDSAT-5 nas microrregiões homogêneas Curimataú (MRH91) e Seridó Paraibano (MRH90)**. Campina Grande. 1996. (Dissertação de Mestrado).
- ENGESPAÇO. **Manual Básico do Sistema Geográfico de Informações – SGI**. São Bernardo do Campo: Engespaço Ind. e Com. Ltda, 1993.
- ENGESPAÇO. **Manual de Referência do Sistema Geográfico de Informações – SGI**. São Bernardo do Campo: Engespaço Ind. e Com. Ltda, 1993.
- ENGESAT – Imagens de Satélites. Disponível em:
<<http://www.engesat.com.br/satelites/landsat5.htm>> . Acesso em Março de 2001.
- FEITOSA, E. C. Pesquisa de Água Subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C. e MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. CPRM/LABHID, 1997. pp. 53-80
- FRANÇA, A. B. E POTTER, P. E. Estratigrafia, Ambiente Depositional e Análise de Reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1). In: **Boletim de Geociências da Petrobrás**. Vol. 2, Nº 2/4. pp. 147 – 191. 1988.

FREITAS, M. A. de. **Determinação do Potencial Hidrogeológico de Rochas Cristalinas Através de Técnicas de Geoprocessamento.** In: 1st Joint World Congress on Groundwater. Fortaleza. 2000. Anais. CD.

GOPINATH, T. R. & COSTA, C. R. da S. **Hidrodinâmica e análise quantitativa das fraturas nas rochas cristalinas da região de Campina Grande –PB.** In: 1st Joint World Congress on Groundwater. Fortaleza. 2000. Anais. CD.

GUEDES, F. X. **Aplicação de dados de sensores remotos de baixa resolução espacial na pesquisa de água subterrânea: Bacia do Rio do Peixe e adjacências (PB, CE e RN).** Campina Grande: 1993. 111pp. UFPB (Dissertação de Mestrado).

GUIMARÃES, D. **Fundamentos da Petrologia e as rochas ígneas do Brasil.** Rio de Janeiro, DNPM-DFPM, 1960. 410p. Il. (Bol. 107)

GUY, M. **Quelques principes et quelques expériences sur la méthodologie de la photointerprétation.** In: Simposium International de Photointerprétation, 1966. 2nd Acte. v.1. 21-24. Paris.

HURN, J. **GPS – Um Guia para a Próxima Utilidade.** Para Trimble Navigation Limited. E.U.A. 1989.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sistema SPRING.** Manual de Consulta do Sistema SPRING, versão 3.4. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br>> . Acesso em Dezembro de 2000.

JARDIM DE SÁ, E. F. **O condicionamento de água subterrânea no cristalino fraturado: reavaliação da abordagem estrutural.** In: 1st Joint World Congress on Groundwater. Fortaleza. 2000. Anais. CD.

JORNAL CORREIO DA PARAÍBA. **Projeto prevê rejeito do dessalinizador aproveitado.** João Pessoa, 27 mar. 2001. Caderno Cidades, p. B-6.

LMRS/PB - Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba. **Dados de Pluviometria do Estado da Paraíba.** Disponível em: <<http://www.lmrs.pb.gov.br>>. Acesso em Janeiro. 2001.

LILLESAND, T. M. & KIEFFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation.** New York: John Willes & sons, 1994. 634pp.

LUEDER, D. R. **Aerial photographic interpretation: principles and applications.** New York: McGraw Hill, 1979. 161pp.

MENTE, A. As condições Hidrogeológicas do Brasil. In **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** FEITOSA, F. A. C e MANOEL FILHO, J. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. 412p:il

- MOLINIER, M.; AUDRY, P.; DESCONNETS, J. C.; LEPRUN, J. C. – **Dinâmica da água e das matérias num ecossistema representativo do Nordeste brasileiro: condições de extrapolação espacial à escala regional.** ORSTOM, Recife, 1989.
- NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações.** 2ª Edição. Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1982.
- NICKELSEN, R. P. **Early Jointing and Cumulative fracture patterns.** p 193-199. Proceeding of the First International Conference on the New Basement Tectonics. Salt Lake City, Utah, 1974.
- NORTHFLEET, A. A.; BETTINI, C.; CHAVES, H. A. F. **Aplicação da geomatemática à prospecção de petróleo: análise de fraturas por polinômios ortogonais.** São Paulo: Congresso Brasileiro de Geologia, 25. São Paulo, 1971. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, 1971, v.3 pp.61-70.
- CDRM - Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba. **Mapa Geológico do Estado da Paraíba - Texto Explicativo.** Campina Grande: Grafset, 1982. 133pp.
- PARAIBA. Secretaria de Planejamento. **Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Caracterização Hidrogeológica do Estado da Paraíba. Anexo 2.** Campina Grande: SEPLAN/ATECEL, 1994b. 15pp. (Convênio FDE-028/93).
- PEDROSA, I. L. Recursos Minerais. In: **Mapa Geológico do Estado da Paraíba – Texto Explicativo.** CDRM/PB. Campina Grande: Grafset, 1982. 133pp.
- PLICKA, M. **Observations on joint zones in Maravia Czechoslovakia.** In: PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE NEW BASEMENT TECTONICS. Utah: Utah Publ., 1974.5: 279-289.
- QUEIROZ, J. E. R. de. **MÓDULO 9: Fundamentos de Sistemas de Informação Geográfica.** Módulo de Estudo ATECEL/DEAg/ABEAS. Curso de Especialização em Sensoriamento Remoto e SIG. Brasília-DF, Agosto, 1996.
- ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto.** 2ª Ed. Rev. Uberlândia. Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 1992. 110p.
- RIEDEL, W. **Zur mechanik geologischer Brucher.** Scheinunger Central B1. Min. Geol. und Pal., 1929. v.8: 354-368.
- RIVERAU, J. C. **Notas de aula do curso de fotointerpretação.** Sociedade de Intercâmbio Cultural e Estudos Geológicos. XI Semana de Estudos. Ouro Preto, MG. 1972. São Paulo: USP, 1983. 108pp. (Tese de Doutorado).
- SADOWSKI, G. R. **Sobre a geologia de cinturões de cisalhamento continentais.** São Paulo. USP, 1983. 108pp. (Tese de Doutorado).

- SAMPAIO, O. S. **Estudo de fraturamento como subsídio à pesquisa de água subterrânea no Estado de Sergipe: uma abordagem através de dados de sensoriamento remoto.** São José dos Campos: INPE, 1987. (Dissertação de Mestrado).
- SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C e MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações.** CPRM/LABHID, 1997. pp81-108.
- SANTOS, A. R. dos. **O sensoriamento remoto e a estrutura rúptil: exemplos de aplicações em estudos tectônicos.** In: Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto. IV Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. VI Reunion Plenária Selper. Anais. Vol.1. Gramado. 1986. p.429-434.
- SANTOS, C. F. dos. CUPERTINO, J. A., BRAGA, J. A. E. **Síntese sobre a geologia das Bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá.** In: RAJA GABAGLIA, G. P. e MILANI, E. J. **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares.** Rio de Janeiro. 1991. Ed. Gávea. 2ª ed. – Petrobrás.
- SILVA, C. C. N. da. JARDIM DE SÁ, E. F. **A influência da neotectônica na locação de poços para água no cristalino fraturado: resultados preliminares da região de Equador, Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.** In: 1ª Joint World Congress on Groundwater. Fortaleza. 2000. Anais. CD.
- SILVA NETO, A. F. da. **Avaliação dos recursos hídricos e uso da terra na bacia do Alto Rio Sucuru, com base em Imagens TM-LANDSAT-5.** Campina Grande, 1993. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA NETO, A. F. da & BARBOSA, M. P. **O sensoriamento remoto orbital aplicado ao estudo dos recursos hídricos subterrâneos em municípios do cariri ocidental (PB) e sertão do Pajeú (PE) – BR.** In: 1ª Joint World Congress on Groundwater. Fortaleza. 2000. Anais. CD.
- SIQUEIRA, L. **Aspectos Hidrogeológicos do Cariri Paraibano.** SUDENE. Boletim de Recursos Naturais, vol. 1, nº 1, p.156. Recife, 1963:51.
- SOARES, P. C. & FIORI, A. P. **Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia.** Nat. Geomorf. N-16(32), 71-104. Campinas. 1976.
- SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Dados Hidroclimáticos.** Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br>>. Acesso em: Janeiro. 2001.
- TRIMBASE. **Seminário: GPS – Global Positioning System.** Apostila. 1998.
- VENEZIANI, P. **Análise de movimentos da tectônica rúptil e rúptil-dúctil através da interpretação de produtos de sensores remotos na região do Espinhaço Meridional (MG): uma correlação com os processos evolutivos.** São Paulo: USP, 1986 (Tese de Doutorado).

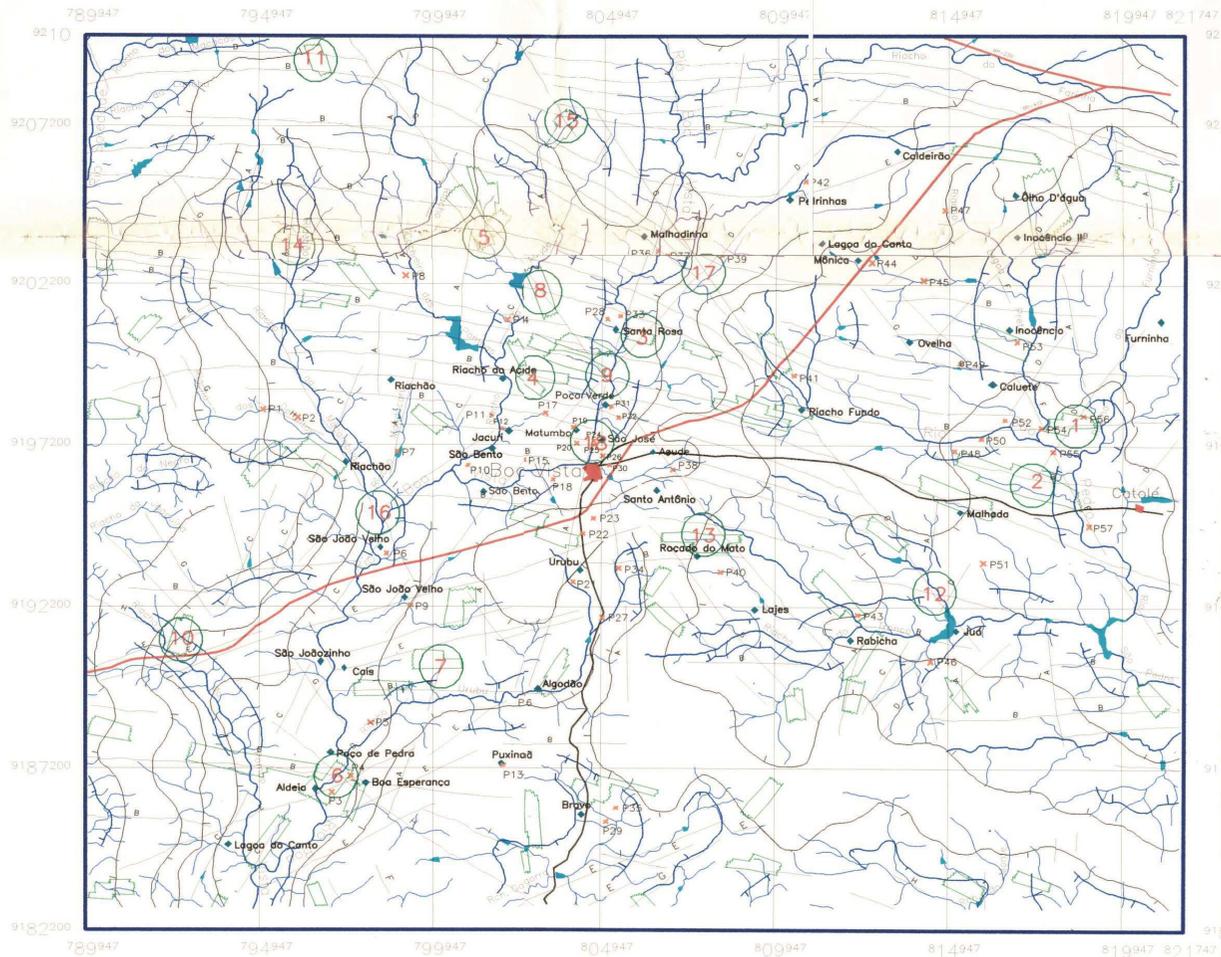
VENEZIANI, P. **Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto em Geologia.** Curso de Treinamento: Introdução às Técnicas de Sensoriamento Remoto e Aplicações. INPE. São José dos Campos. SP. 1980.

VENEZIANI, P. & ANJOS, C. E. dos. **Metodologia de Interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicação em geologia.** São Jose dos Campos: INPE, 1982. (2227-MD/014). 6lpp

WANDERLEY, B. V. D. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto e processamento na análise de fotoalinhamentos como subsídio à pesquisa de água subterrânea.** Campina Grande, 1995. 27pp. Trabalho de conclusão do Curso de Especialização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas. UFPB/CCT/DEAg.

ANEXO 1

- **MAPA INTEGRADO**



LEGENDA

- A - Falhas R' do sistema 1, T do sistema 2, T do sistema 3 e X do sistema 4
- B - Falhas Y do sistema 1 e R do sistema 4
- C - Falhas X do sistema 1 e R do sistema 2
- D - Falhas Y do sistema 2, R' do sistema 3 e R' do sistema 4
- E - Falhas P do sistema 2, X do sistema 3 e T do sistema 4
- F - Falha R do sistema 3
- G - Falhas T do sistema 1, R' do sistema 2 e Y do sistema 3
- H - Falhas R do sistema 1, X do sistema 2, P do sistema 3 e P do sistema 4
- I - Falha Y do sistema 4

- Feixe de Fraturas
- Estrada Federal
- Estradas Estaduais
- Cidade e Distrito
- poços profundos
- propriedades rurais
- Drenagem
- Açude
- Linha de Tendência de Fluxo
- Área para pesquisa



Declinação Magnética - 1969
21° 34'

1.0 0 1.02.03.04.0 km
Escala 1/100000

UFPB/CCT/DEAg
Mestrado em Engenharia Agrícola

Autor: Ermãno Cavalcante Falcão
Abril/2001

MAPA INTEGRADO

ANEXO 2

- **DADOS DE POÇOS PERFURADOS NA ÁREA**

DADOS DE POÇOS PROFUNDOS PERFURADOS NA ÁREA DE ESTUDO

Número	Ano	Localidade	Proprietário	Coordenadas		Prof. (m)	Vazão (m ³ /h)	ND (m)	NE (m)	Res. Seco (mg/l)	PH
				Latitude	Longitude						
1	1997	Açude Grande	Lourival Targino Araújo	7° 14' 42"	36° 19' 40"	50,00	0,40	23,00	6,00		
2	1997	Açude Grande	Lourival Targino Araújo	7° 14' 48"	36° 19' 09"	47,00	0,00				
3	1999	D. Soledade II	Ana Maria Almeida	7° 21' 10"	36° 18' 34"	23,00	0,60	19,30	7,00		
4	1999	D. Soledade I	Ana Maria Almeida	7° 20' 52"	36° 18' 17"	27,00	12,00	10,00	6,40		
5	1994	Boa Esperança	M ^a de Lourdes C. Almeida	7° 19' 55"	36° 18' 00"	35,00	1,00	25,00	10,00		
6	1994	São Joãozinho	Antônio José Torres	7° 17' 07"	36° 17' 44"	30,00	0,00				
7	1993	Riacho do Mandacaru	Apolônio Cardoso	7° 15' 25"	36° 17' 40"	40,00	0,50	18,00	10,00	7440,00	8,00
8	1983	Riacho do Açude	Herminio Soares	7° 12' 25"	36° 17' 27"	50,00	0,50	13,50	9,57	11721,00	8,00
9	1994	Poço de Pedra	José V. de Oliveira	7° 18' 02"	36° 17' 23"	50,00	0,00				
10	1994	São Bento II	José Sílvio C. Batista	7° 15' 39"	36° 16' 32"	50,00	0,00				
11	1982	Riacho do Açude	Herminio Soares	7° 14' 48"	36° 16' 07"	40,00	0,50	11,00	9,14	17177,00	8,20
12	1994	São Bento dos Rogérios	Manoel Rogério	7° 15' 02"	36° 15' 53"	36,00	0,20	23,00	5,00		
13	1993	Puxinanã	M ^a de Lourdes C. Almeida	7° 20' 40"	36° 15' 55"	50,00	0,00			4430,00	8,60
14	1994	Raposa	Gilberto Leite	7° 13' 13"	36° 15' 53"	50,00	0,00				
15	1994	São Bento	Hélio C. Batista	7° 15' 33"	36° 15' 27"	36,00	1,00	20,00	4,50		
16	1986	Algodão	Homero Vitorino	7° 19' 26"	36° 15' 31"	40,00	2,50	15,00	6,73	2080,00	8,10
17	1994	D. Marluce	Antônio C. Castro	7° 14' 45"	36° 15' 12"	48,00	1,00	37,00	17,00	11026,00	7,60
18	1991	São Bento	José Barbosa Neto	7° 15' 52"	36° 15' 06"	50,00	1,40	14,40	8,40	8840,00	7,50
19	1994	Matumbo II	Gilberto Leite	7° 15' 00"	36° 14' 45"	27,00	3,00	12,00	6,00	7040,00	7,20
20	1994	Matumbo III	José Libório	7° 15' 15"	36° 14' 42"	30,00	1,80			9870,00	8,60
21	1981	Urubu	Nilton Vitorino	7° 17' 36"	36° 14' 43"	50,00	0,80	12,50	6,50	1220,00	7,70
22	1981	Bentonita	Bentonita	7° 16' 45"	36° 14' 37"	50,00	0,40	24,80	20,80	2677,00	7,20
23	1995	Coréia	Edvan Leite	7° 16' 28"	36° 14' 28"	48,00	5,00	35,00	30,00		
24	1994	São José	Ricardo Cavalcante Falcão	7° 15' 13"	36° 14' 24"	21,00	3,00	8,00	5,00	5210,00	8,60
25	1994	São José	José Marinho Falcão	7° 15' 19"	36° 14' 21"	50,00	7,00				

Continuação – Dados de Poços

26	1994	Casa Grande	Tito de Assis	7° 15' 27"	36° 14' 12"	40,00	0,17	24,10	8,00		
27	1994	Urubu	Antônio Bento	7° 18' 10"	36° 14' 19"	39,00	0,80	14,50	5,00	3800,00	8,80
28	1994	Sta. Rosa	Martinho Celestino	7° 13' 08"	36° 14' 15"	50,00	0,25	34,00	10,00	10640,00	7,40
29	1994	Pedras de Fogo	Armando Ricardo	7° 21' 38"	36° 14' 10"	30,00	3,00	12,00	9,00		
30	1994	Cachoeirinha (Olaria)	Geraldo B. Nascimento	7° 15' 39"	36° 14' 13"	51,00	0,10				
31	1994	Poço Verde	Jorge T. Vitorino	7° 14' 41"	36° 14' 10"	30,00	2,25	18,00	7,00	10020,00	7,50
32	1994	Sta. Rosa	César L. Pessoa	7° 14' 50"	36° 14' 05"	50,00	0,15			8330,00	8,40
33	1986	Sta. Rosa	Francisco Aranha	7° 13' 06"	36° 14' 00"	50,00	1,00	10,00	3,47	3700,00	7,60
34	1994	Urubu II	Francisco Jovem	7° 17' 20"	36° 14' 02"	50,00	0,00				
35	1986	Bravo I	José Aleixo	7° 21' 23"	36° 14' 00"	40,00	5,00	5,00	1,50	5440,00	7,20
36	1986	Malhadinha	José Targino	7° 11' 58"	36° 13' 30"	40,00	1,00	12,00	4,25	7344,00	7,40
37	1989	Malhadinha	Teófilo Romão	7° 12' 02"	36° 13' 20"	50,00	0,15	22,00	8,00	9140,00	8,60
38	1994	Cachoeirinha (Alto do Jovem)	Manoel Ismael	7° 15' 38"	36° 13' 12"	50,00	0,00				
39	1986	Malhadinha	José Targino	7° 12' 04"	36° 12' 28"	50,00	0,00				
40	1975	Roçado do Mato	José Victor Filho	7° 17' 25"	36° 12' 25"	27,00	1,50				
41	1982	Riacho Fundo	Reginaldo de França	7° 14' 06"	36° 11' 21"	50,00	1,00	16,00	10,00	10274,00	7,85
42	1994	Pedrinha	Simão Barbosa	7° 10' 48"	36° 11' 13"	34,00	0,75			11346,00	7,00
43	1994	Rabicha	Everaldo Carlos	7° 18' 11"	36° 10' 16"	48,00	0,40	18,00	6,30		
44		Mônica	José Eustáquio	7° 12' 12"	36° 10' 08"	50,00	0,00				
45	1994	Mônica II		7° 12' 28"	36° 09' 18"	50,00	0,00				
46	1995	Juá	Salvador Penaranda	7° 18' 52"	36° 09' 08"	50,00	0,20	15,00	7,00		
47	1994	Mônica	José Fidelis (Cazuzinha)	7° 11' 13"	36° 09' 00"	50,00	0,00				
48	1994	Riacho Fundo	Paulo de Sousa	7° 15' 21"	36° 08' 48"	21,00	3,50	11,00	9,05	10050,00	8,60
49	1982	Caluete	Sebastião Soares	7° 13' 50"	36° 08' 44"	50,00	1,00	22,00	9,27	8585,00	7,95
50	1994	Caluete dos Aleixos	Pedro Aleixo de Almeida	7° 15' 08"	36° 08' 25"	20,00	2,40	10,50	8,00	13330,00	7,30
51	1998	Malhada	José Virgulino	7° 17' 14"	36° 08' 18"	33,00	0,50	21,00	12,00	1000,00	8,48
52	1984	Caluete	Erivan Leite	7° 14' 49"	36° 07' 57"	40,00	0,10	15,24	4,49	11374,00	7,70
53	1994	Inocência	Geraldo G. Almeida	7° 13' 30"	36° 07' 48"	50,00	0,25	26,00	10,00	12180,00	7,60
54	1998	Caluete dos Aleixos	Severino Luiz Sampaio	7° 14' 55"	36° 07' 26"	33,00	1,12	14,50	6,40	29800,00	7,30
55	1986	Cacimba Nova	Antônio A. Barbosa	7° 15' 18"	36° 07' 13"	50,00	0,60	18,00	4,10	9520,00	7,70

...cont. – Dados de Poços

56	1994	Caloete	João Lopes de Almeida	7° 14' 43"	36° 06' 47"	30,00	4,00	21,00	8,00	13070,00	8,60
57	1982	N.S.Perp.Socorro	José Tavares	7° 16' 34"	36° 06' 40"	50,00	0,00				
58	1998	Ólho D'água				45,00	0,20	24,00	11,00	3600,00	8,13
59	1998	Poço da Pedra				39,50	2,00	16,00	6,40		
60	1998	Cruzeiro				40,00	0,16	29,40	9,40		
61	1998	Cacimba Nova	Comunitário			36,00	1,95	9,23	6,88	2200,00	8,40
62	1998	Cacimba Nova II				45,00	3,20	21,00	9,00	6270,00	7,30
63	1998	São Pedro				51,00	0,60	25,00	12,00		
64	1989	Caluete				42,00	2,00	24,00	15,00	3900,00	8,20
65	1992	São Joãozinho	José Virgínio			50,00	0,27	34,00	4,00	19931,00	7,60
66	1994	Sta. Rosa	Rosandro Aranha			30,00	0,90	16,00	14,00	19150,00	7,40
67	1994	São Bento I	Francisco das Chagas			45,00	0,50	15,00	5,00	31680,00	8,60
68	1994	Alto Bonito/Riacho da Roça	Reginaldo V. Soares			50,00	0,00				
69	1997	Juá				45,00	3,00	20,00	8,00		
70	1999	Sede do Município	PMBV			42,00	2,18	8,75	6,56	10.470	7,00
71	2000	Cacimba Nova				42,00	4,23	17,93	6,57	8.200,00	7,44

ANEXO 3

- **LOCALIZAÇÃO DOS AFLORAMENTOS VISITADOS**

LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS VISITADOS NO TRABALHO DE CAMPO

Ponto Visitado	Município	Coordenadas Geográficas	
		Latitude (S)	Longitude (O)
Km 5 da BR-412	Boa Vista	7° 10' 23"	36° 08' 49"
Acesso à localidade Ôlho D'água, a 1 km da Br-412	Boa Vista	7° 11' 27"	36° 09' 07"
Localidade Mônica - às margens da BR-412	Boa Vista	7° 12' 08"	36° 10' 08"
Local Sta Rosa/Riacho Fundo - Mina de Calcário	Boa Vista	7° 14' 17"	36° 12' 36"
Localidade São José	Boa Vista	7° 14' 54"	36° 14' 09"
Localidade Roçado do Mato	Boa Vista	7° 17' 25"	36° 12' 25"
Localidade Riacho do Açude	Boa Vista	7° 13' 47"	36° 15' 51"
Localidade Navalha	Soledade	7° 10' 45"	36° 16' 16"
Localidade Poço do Juá	Soledade	7° 11' 12"	36° 14' 49"
Localidade Pocinhos	Cabaceiras	7° 22' 05"	36° 10' 58"
Localidade Bravo	Boa Vista	7° 21' 59"	36° 14' 35"
Localidade Algodão	Boa Vista	7° 18' 35"	36° 14' 23"
Localidade São Joãozinho	Boa Vista	7° 17' 11"	36° 17' 25"
Localidade São Joãozinho	Boa Vista	7° 18' 41"	36° 20' 17"
Localidade Caluete	Boa Vista	7° 14' 14"	36° 09' 05"
Localidade Riacho do Rei	Gurjão	7° 15' 18"	36° 21' 20"
Proximidades do Distrito de Catolé	Campina Grande	7° 16' 15"	36° 06' 49"
Localidade Juá	Boa Vista	7° 18' 04"	36° 08' 41"
Localidade Aldeia	Boa Vista	7° 21' 14"	36° 18' 52"
Localidade Campo Redondo	Soledade	7° 13' 38"	36° 20' 44"
Localidade Manoel de Sousa	Soledade	7° 10' 39"	36° 19' 01"
Localidade Farnha	Pocinhos	7° 09' 44"	36° 05' 42"
Leito do Rio São Pedro	Boa Vista	7° 18' 08"	36° 06' 19"
Localidade Açude de Dentro	Campina Grande	7° 20' 18"	36° 05' 52"