

HIDRODINÂMICA E ANÁLISE QUANTITATIVA DAS FRATURAS NAS ROCHAS CRISTALINAS DA REGIÃO DE CAMPINA GRANDE –PB

Tumkur Rajarao Gopinath¹ & Cloves Rogério da Silva Costa¹

Resumo - A prospecção da água subterrânea nas rochas cristalinas enfrenta dificuldades devido às complexidades nas propriedades hidrológicas dessas rochas. O objetivo desse trabalho é para elucidar a natureza das fraturas e as condições que governam a hidrodinâmica nas rochas cristalinas. O trabalho de pesquisa envolveu uma área de 25 km de ao redor da cidade de Campina Grande. Foram feitos os levantamentos sobre localização dos afloramentos das rochas, medições de azimutes das fraturas e descrição litológica. As fraturas foram classificadas em relação às suas freqüências de ocorrência e espaçamento entre elas. Nas zonas de cisalhamentos existe a tendência de ocorrências de fraturas muito freqüentes locais, feixes de micro-fraturas e rocha fragmentada. A formação de drenagens e vales na região de estudo é diretamente relacionadas às fraturas; vales largos, com indícios de presença de água, mostrando-se paralelas às fraturas tencionais ou nos seus cruzamentos.

Este trabalho mostrou que existem fraturas tencionais que servem como condutor da água nas rochas. O armazenamento da água ocorre nas locais onde há uma grande interseção das fraturas com pequenos espaçamentos, bem como nas zonas de cisalhamentos onde as rochas apresentam uma grande concentração de micro-fraturas e fragmentação das rochas.

Palavras-chave - água subterrânea, rocha cristalina, Paraíba

¹ Departamento de Mineração e Geologia/ CCT, Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Bloco-BS,- Campina Grande-PB - Órgão Financiador: CAPES - E-mail: tumkur@openline.com.br

INTRODUÇÃO

A água é a fonte da vida e do desenvolvimento. Trata-se de um recurso estratégico por questão de segurança nacional e por seus valores sociais, econômicos e ecológicos. Esse bem natural é um patrimônio da humanidade que serve para tudo e para todos, sendo, portanto, um mineral que deve ser compartilhado com gerações atuais e futuras que habitam nas bacias hidrográficas e suas fronteiras.

Se não forem adotadas em tempo, providências hábeis como visão estratégica de futuro, no decorrer do terceiro milênio alguns países ricos poderão garimpar água e, muitos países pobres, como sempre, garimparão dinheiro para sobrevivência. Reduzindo o desperdício, recuperando a qualidade dos mananciais hídricos, racionalizando o consumo e avançando com a tecnologia racional de exploração hídrica, a população mundial pode ainda crescer muito sem problemas de água.

A água é considerada um líquido precioso à vida. O seu ciclo na terra é modificado por algumas atividades humana e também grande parte disponível é contaminada. Nos próximos 50 anos, os problemas relacionados com a água deverão afetar praticamente todos os habitantes da terra. Estudos comprovam que, no próximo século, a crise da água pode ser a principal causa de guerras, como já vem acontecendo em Ruanda e no Oriente Médio, que vivem em conflito devido à falta de água.

Como em toda a terra, a distribuição da água no Brasil ocorre de uma maneira desordenada. Enquanto as regiões norte, sul e sudeste enfrentam inundações, deslizamento e erosão do solo nas estações chuvosas, no nordeste a seca castiga severamente nos períodos de estiagem, fazendo com que boa parte da população, que vive da agricultura, migre para outros estados. Outra parte faz da água um tesouro perdido e vivem em busca de métodos que possam solucionar a sua escassez.

É preciso que encontre uma solução definitiva que abranja todas as áreas castigadas pela seca, vivendo em condições precárias, principalmente devido à escassez do precioso líquido. É necessário que os órgãos de pesquisa se empenhem nos seus estudos, no sentido de solucionar um problema não só do nordeste mais que poderá afetar outras regiões. Tendo em vista uma visão futurística a respeito das soluções alternativas do problema, neste trabalho fez-se uma tentativa de estudar as falhas e fraturas com o intuito de investigar a capacidade hídrica dessas estruturas.

A área de pesquisa é situada a 140 Km da Capital da Paraíba abrangendo um raio de 25 km em torno da cidade de Campina Grande, onde se encontram rochas cristalinas com variedades de juntas e fraturadas propícias ao armazenamento de água (Fig. 1).

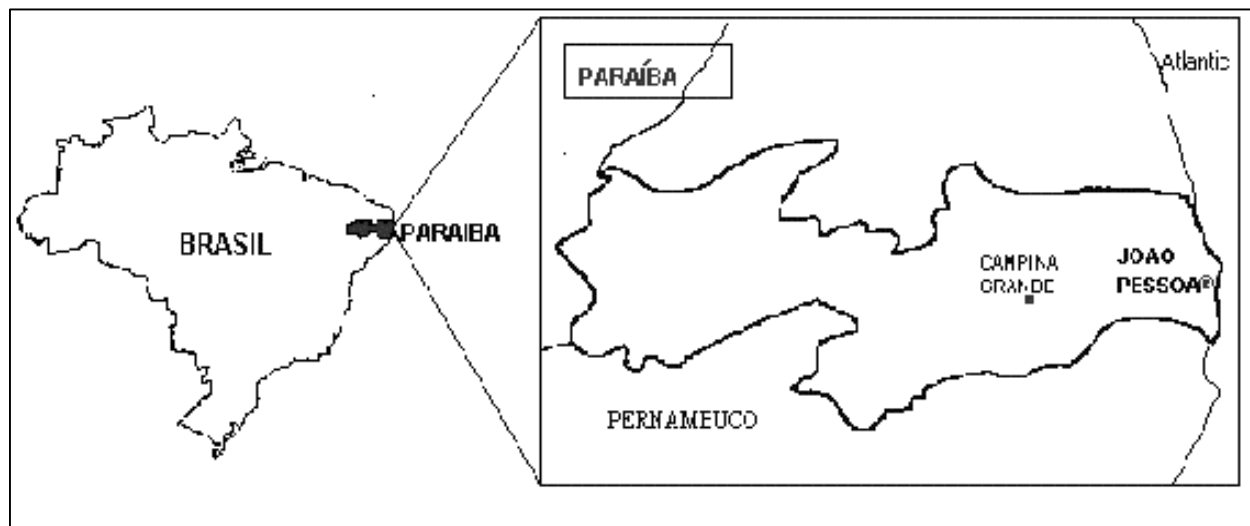


Figura 1. Mapa de localização da Paraíba com Campina Grande - PB

Para a análise das fraturas, juntas e falhas das rochas cristalinas da região, necessitou-se de reconhecimento geológico da região tanto bibliográfico como in loco, fotointerpretação e instrumentos de medição geológicos e geográficos, equipamentos computacionais para interpretação de dados e confecção de mapas.

O presente trabalho tem como objetivo:

- ✓ Realizar um levantamento sobre as fraturas das rochas cristalinas e classificá-las segundo a sua natureza dinâmica.
- ✓ Mapear e cadastrar todos os poços existentes de água nas rochas cristalinas dos municípios de Campina Grande e vizinhos.
- ✓ Fazer levantamento geológico em relação a litologia, tipos e natureza das fraturas nos locais dos poços de água.
- ✓ Caracterizar as zonas propícias ao armazenamento de água subterrânea.
- ✓ Analisar a possibilidade de retenção de água subterrânea nestas estruturas geológicas.

O armazenamento e a exploração de água subterrânea nas rochas cristalinas enfrentam dificuldades devido à complexidade nas propriedades hidrológicas das rochas

ígneas e metamórficas. Geralmente as fraturas nestas rochas proporcionam permeabilidade e porosidade necessárias para que estas se tornem aquíferos. É complicado prever essas propriedades e a presença de água subterrânea nas rochas cristalinas. Por esta razão a pesquisa busca uma proposta de elucidar a natureza das fraturas e as condições que governam a hidrodinâmica nas rochas cristalinas, para que os dados possam ser utilizados e possam contribuir para uma maior eficiência na localização de poços tubulares nestas rochas. Encontram-se diversos trabalhos relacionados à pesquisa de água subterrânea nas rochas cristalinas (Costa, 1986, Bertachini, 1988, Dantas Filho, 1996, Manoel Filho, 1996).

METODOLOGIA APLICADA

Toda metodologia foi criada e desenvolvida pelos os integrantes deste trabalho, e executada durante a pesquisa.

A pesquisa envolveu uma área de aproximadamente 25 Km de raio tendo como ponto central à cidade de Campina Grande – Estado Paraíba, Brasil e pólo a UFPB (Universidade Federal da Paraíba – Campus II) localizada a 140 km da capital João Pessoa (Fig. 2). A área de estudo foi investigada e interpretada por imagens de satélite LANDSAT da região em Escala de 1:2.500.000 (cópias originais) oferecidas pelo laboratório de fotointerpretação da Universidade Federal da Paraíba Campus II, do Departamento de Mineração e Geologia com fim de identificar objetos e determinar seus significados e usá-los em combinação com o levantamento de campo.

A verificação e medidas das fraturas no campo foram feitas através de afloramentos encontrados nas estradas e rodagens ao longo de todas as direções da região. Para as medições foram utilizados mapas geológicos e rodoviários, bússola geológica, e instrumento Gps. Com a bússola geológica determinou-se direção (azimute) das fraturas, direção e ângulo de mergulho. A confecção dos mapas de fraturas foi desenvolvida pelas coordenadas obtidas pelo equipamento GPS, e com posse das coordenadas dos afloramentos, foram traçadas todas as fraturas encontradas no campo em cada coordenada de afloramento pesquisado. A localização de poços no mapa se deu através de dados fornecidos pela CDRM - PB (Companhia de Desenvolvimento dos Recursos Minerais da Paraíba).

O estudo de estatístico das fraturas foi executado por meio de programa computacional denominado "Stereo Net". Para Windows, versão 3.06, da Geological Software, Tromso, Norway.

GEOLOGIA E ANÁLISES DAS FRATURAS DA SUBÁREA DE ESTUDO

A estrutura diz respeito as característica geométricas produzidas no sistema geológico por deformação após deposição ou cristalização, como é o caso da juntas, fraturas, falhas e dobras. O conhecimento da geologia de uma região, isto é, da sua lito-estratigrafia e estrutura, é o ponto de partida para a compreensão da distribuição espacial dos aquíferos e aquíferos.

A hidrogeologia dos aquíferos fraturados tem sua principal aplicação no domínio das rochas ígneas e metamórficas, genericamente designadas como cristalinas. Nesse domínio a matriz do maciço rochoso é caracterizada pela inexistência ou presença muito reduzida de espaços intergranulares na rocha. Na matriz, a água encontra-se em espaço intergranulares na rocha. Nesse meio, a água encontra-se em espaços representados pelas fissuras ou fraturas, juntas ou ainda em falhas e, em casos particulares, em vesículas, aberturas de dissolução, zonas de decomposição, dentre outros (Feitosa & Manoel, 1997).

GEOLOGIA REGIONAL

No Estado da Paraíba, encontra-se na maior de sua parte, geologicamente constituído pelas unidades lito-estratigáfica do pré-cambriano e mais restritamente pela seqüência sedimentar paleo-masózóicas constituintes das bacias do Araripe (Formação Cariri-Siluro/Devoniano), e Rio do Peixe (Grupo Rio do Peixe-Cretáceo Inferior) e da Faixa Sedimentar Costeira Pernambucana - Paraíba (Grupo Paraíba-Cretáceo Superior). Afloramentos de rochas efusivas ácidas e básicas, meso-cenozóicas, são observadas nas regiões de Itaporanga e Boa Vista, Cubati e Queimada, respectivamente. Finalmente, as unidades sedimentares cenozóicas acham-se representada pela Formação Campo Novos, de idade terciária, por depósitos terció-quadernários do Grupo Barreira e das coberturas arenosas e lateríticas e pelas aluviões, dunas, sedimentos de praia, etc. de idade quadernária.

A área de estudo foi dividida em quatro subáreas denominadas Queimada (Sul), Bodocongó (Oeste), Riachão (Leste) e Alagoa Nova (Norte), e nestas subáreas foram

feitos levantamentos sobre geologia e azimute das fraturas e posteriormente analisados estatisticamente através de programa computacional “Stereo Net” para definir as frequências das ocorrências e direções principais das fraturas (Fig. 2).

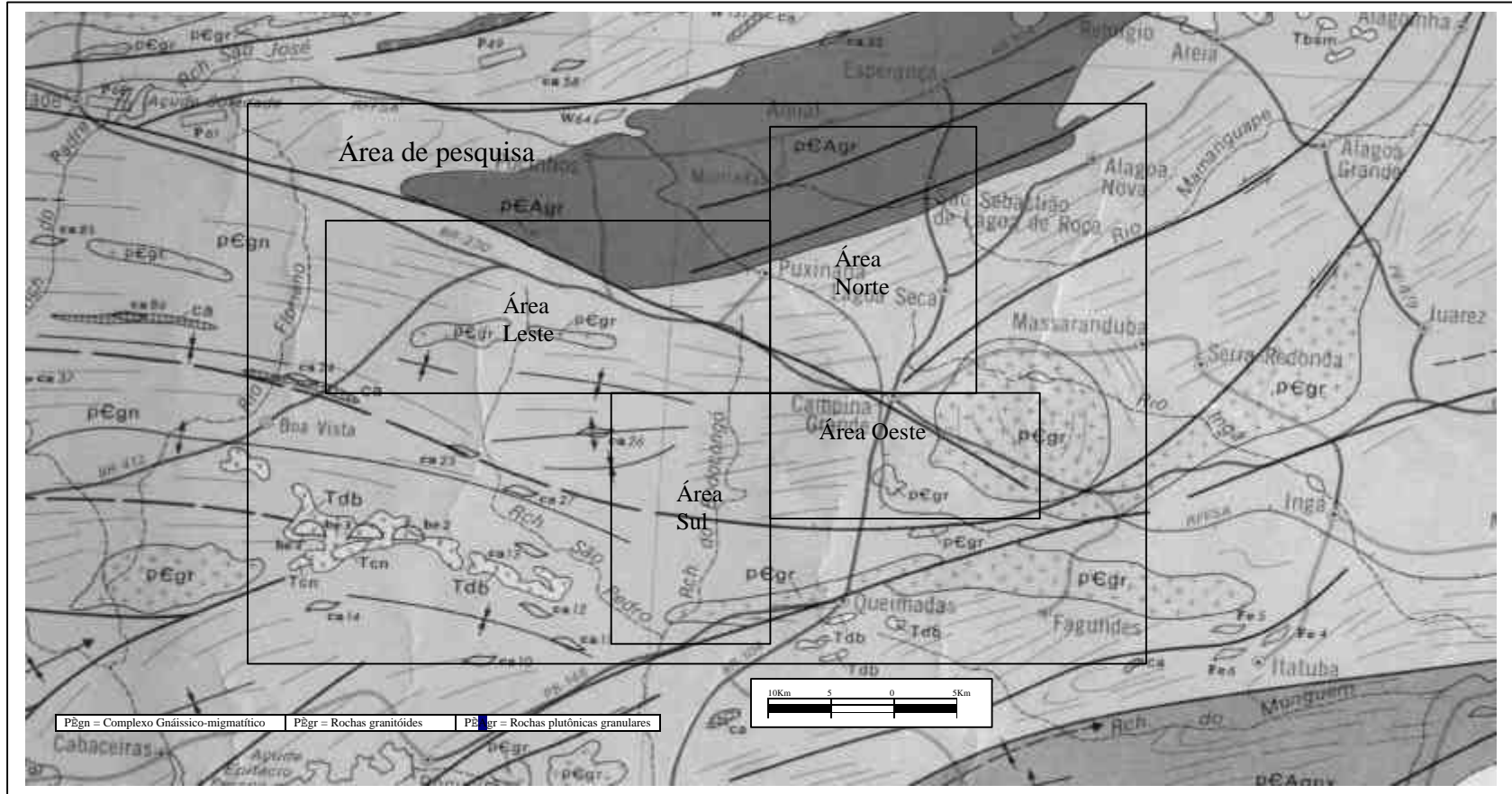


Figura. 2. Área de estudo com respectivas subáreas no Estado da Paraíba.

AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DAS FRATURAS

SUBÁREA DE ALAGOA NOVA/LAGOA SECA (NORTE)

GEOLOGIA

Toda esta área faz parte do Complexo Gnáissico-Migmatítico fazendo fronteira ao Norte com uma intrusão com rochas plutônicas granulares - granitóides e para leste-oeste com as falhas transcorrentes. Nessa região observa-se falhas transcorrentes ao Leste e Oeste e ao Norte passando pelo dentro da intrusão plutônica já no limite da área de falhas indiscriminada (Fig. 2). A foliação principal da região é paralela à direção da falha transcorrente do Leste; a foliação secundária é paralela às falhas indiscriminada da direção de $N45^{\circ}$. Nesta área foram obtidas 36 medições das fraturas para análises (Albuquerque, 1971; Almeida *et al* 1977).

ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS FRATURAS

No estereograma de pólos de fraturas (Fig. 3 - A) observa-se uma concentração relativamente alta no centro, caracterizando ângulo de mergulho das fraturas de cerca de 90° , com alguns pólos espalhados nas direções Nordeste e Sudeste. No diagrama de contorno de fratura (Fig. 3 - B) observar-se, que mais de 40% das fraturas tem um ângulo de mergulho aproximadamente 90° e que o restante apresenta ângulo de mergulho variado. As direções de $N5^{\circ}$, $N35^{\circ}$, $N145^{\circ}$ e $N165^{\circ}$ com uma preferência maior na direção de $N145^{\circ}$ são marcante nesta região (Fig. 3 – C). As fraturas com direções de $N35^{\circ}$ e $N145^{\circ}$ são aproximadamente paralelas às falhas de mesma direção. Verificando no mapa podemos observar falhas nas direções de $N30^{\circ}$ a $N45^{\circ}$ e outra $N135^{\circ}$ coincidindo com as direções de fraturas, a foliação na faixa de $N30^{\circ}$ a $N45^{\circ}$, no “Stereo Net” de plano de fratura reforça o que se observa no diagrama de roseta mostrando os mergulhos que variam de $N90^{\circ}$ a $N35^{\circ}$ nesta subárea (Fig. 3 – D).

ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE MAPA DE FRATURAS

Num estudo mais detalhado foram feitas as classificações de fraturas no campo, em classe de como fraturas freqüentes no afloramento, fraturas freqüentes regionais e fraturas não freqüentes, segundo as suas freqüências de ocorrência ou espaçamento entre planos no afloramento e na área de estudo.

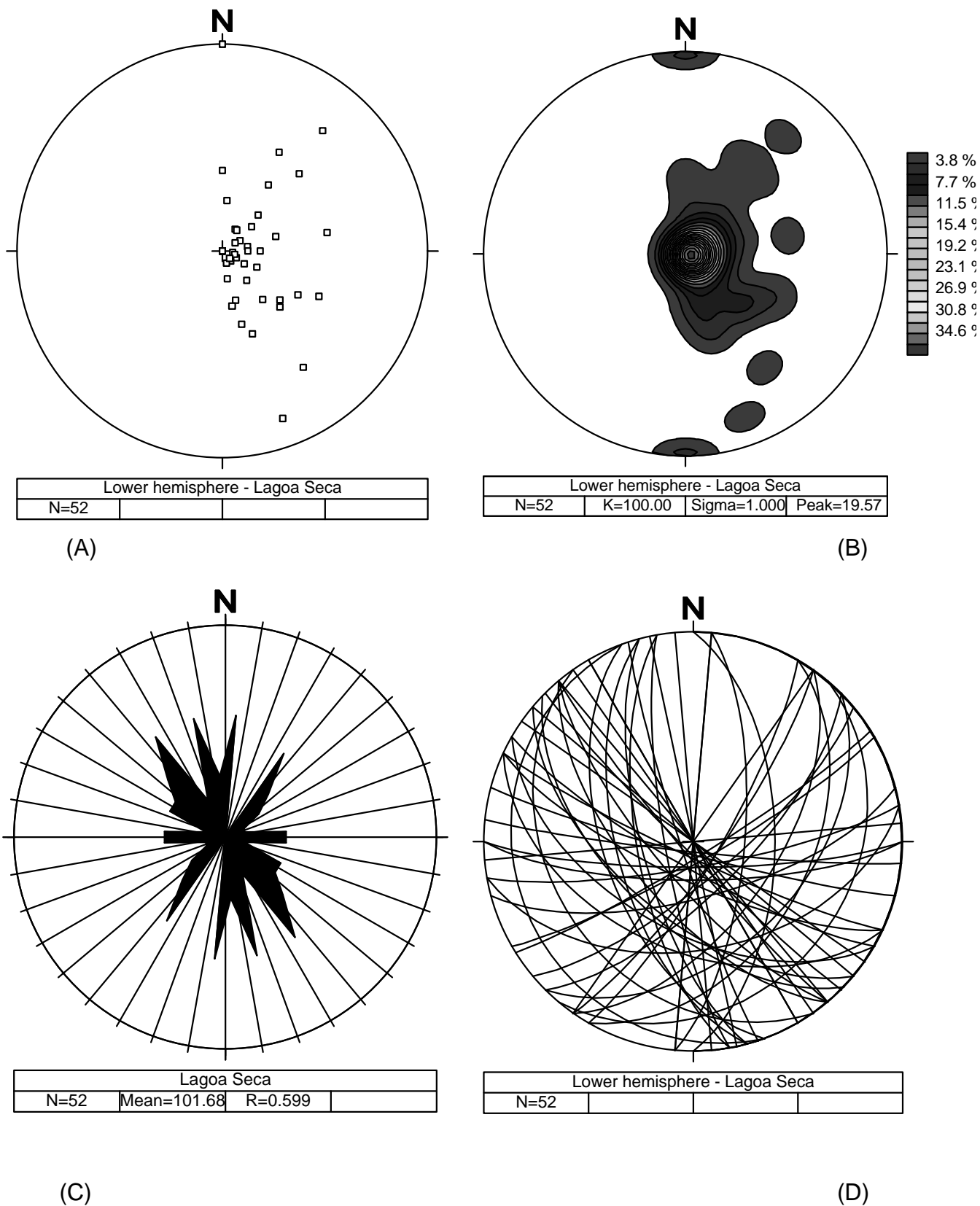


Figura 3 – Frequência de ocorrência de fraturas na subárea de Alagoa Nova/Lagoa Seca (Norte), A = Estereograma de pólo de fratura, B = Estereograma de contorno de fratura, C= Estereograma de roseta de fratura e D = Estereograma de plano de fratura.

Fraturas freqüentes no afloramento – são fraturas que aparecem com freqüência no afloramento, onde a distância ou espaçamento entre as fraturas variam de centímetro a alguns metros, definidas ainda em muito, médio e pouco freqüente.

Fraturas freqüentes regionais – são fraturas da mesma direção que aparece em vários afloramentos da região, definida também em muito, médio e pouco freqüente, com espaçamento em dezenas de metros.

Fraturas não freqüentes – são fraturas que não é comum e não aparecem com freqüência nos afloramentos da região.

As fraturas freqüentes foram classificadas segundo sua ocorrência em alto, médio e baixo (Tab. 1).

	Freqüência de ocorrência		
	Alta	Médio	Baixo
Fratura freqüente regional	> 3 vezes	3 vezes	2 vezes

Tabela 1. Classificação das fraturas segundo sua freqüência de ocorrência.

SUBÁREA DE LAGOA DE ROÇA/ALAGOA NOVA (NORTE)

As fraturas desta subárea estão representadas na Tabela 2 e Figura 4, os dados foram coletados no campo e organizados por afloramento, com classificação das fraturas quanto à freqüência. As fraturas freqüentes regionais desta sub-área apresentam sete grandes grupos principais de fraturas, seis fraturas muito freqüentes regional e uma de média freqüência regional. São elas:

Grupo 1 (Fratura muito freqüente regional) - são fraturas nas direções de N140° - 150°, que se apresentam nos afloramentos I, II, III, IV, III' e VI'.

Grupo 2 (Fratura muito freqüente regional) – são fraturas nas direções de N160°– 170°, que se apresentam nos afloramentos II, III, IV, I', II', III', e V'.

Grupo 3 (Fratura muito freqüente regional) - são fraturas nas direções de N120°– 115°, que se apresentam nos afloramentos II, III, IV, V, II', IV' e VII'.

Grupo 4 (Fratura muito freqüente regional) - são fraturas nas direções de N85°– 90°, que se apresentam nos afloramentos I, III, V, II' e V'.

Grupo 5 (Fratura muito freqüente regional) - são fraturas nas direções de N30°– 35°, que se apresentam nos afloramentos II, III, V, IV', VI' e VII'.

Grupo 6 (Fratura muito freqüente regional) - são fraturas nas direções de N130°–135°, que se apresentam no afloramento IV, II', III' e VII'.

Grupo 7 (Fratura média freqüência regional) - são fraturas nas direções de N60°, que se apresentam nos afloramentos II, IV e V.

Muitas são as fraturas freqüentes de afloramento desta subárea, e elas são:

- a) Fraturas nas direções de N45° observados nos afloramentos IV', VII';
- b) Fraturas nas direções de N60° observados nos afloramentos IV, V;
- c) Fraturas nas direções de N30° - 35° observados nos afloramentos II, IV', VI', VII';
- d) Fraturas nas direções de N85° - 90° observado no afloramento I;
- e) Fraturas nas direções de N115° - 120° observados nos afloramentos II, III, IV, V, IV';
- f) Fraturas nas direções de N140° - 150° observados nos afloramentos I, II, III, IV;
- g) Fraturas nas direções de N160° - 170° observados nos afloramentos III, I', II'.

A direção do ângulo de mergulho das fraturas desta subárea está representada na Tabela 3. Estes dados foram coletados no campo, junto com as direções das fraturas e estão organizados por afloramento. Mais de 50% das fraturas apresentam-se com mergulho elevado com ângulo maior do que 80° e uma pequena porcentagem de fratura com ângulo abaixo de 30°.

Ocorre na zona sul desta subárea uma falha transcorrente, próximo à cidade de Campina Grande e duas falhas indiscriminadas ao norte, passando pela uma intrusão de rocha plutônica próximo a cidade de São Sebastião de Lagoa de Roça. A foliação da região, N60° - 70°, observada corresponde à direção da falha transcorrente. Nesta região foram encontrados vários afloramentos com foliação horizontal e intersecções destas foliações com as fraturas poderão resultar em zonas armazenadoras de água subterrânea. Foram observados vários os poços artesianos nesta subárea, praticamente todo ao longo dos vales (Fig. 4). No mapa de fraturas mais uma vez, fica evidenciados uma região com bastante micro área verde, ou seja, micro área propícia ao armazenamento de água.

Esta região é ideal para fazer um estudo detalhado de fraturas no ponto de vista das condições hidrogeológicas, devido às freqüências de ocorrência das fraturas, topografia e números maiores de poços existentes na região.

Afloramento	Direção de foliação	Direção de fratura DF	Fraturas freqüentes no afloramento	Coordenadas		
				Latitude	Longitude	Altitude
I'	96°	96° e 165°	165°	07° 11' 24"	35° 52' 05"	545 m
II'	60°	115°, 170°, 60° e 135°	170° e 135°	07° 11' 05"	35° 51' 55"	604 m
III'	75°	75°, 00°, 135°, 145° e 165°		07° 10' 35"	35° 51' 39"	612 m
IV'		125°, 30° e 45°.	125°, 30° e 45°.	07° 08' 35"	35° 51' 28"	578 m
V'		60°, 170° e 105°		07° 08' 06"	35° 51' 39"	504 m
VI'	35°	35°, 140° e 80°	35° e 140°	07° 07' 23"	35° 51' 56"	696 m
VII'	30°	30°, 135°, 115°, 45 e 130°	30°, 135° e 45°	07° 06' 38"	35° 52' 02"	669 m
I		140°, 145°, 40°, 05° e 85°	145°, 05° e 85°	07° 07' 22"	35° 49' 50"	
II	60°	35°, 115°, 140°, 80°, 05° e 160°	35°, 115° e 140°	07° 06' 47"	35° 49' 16"	
III	70°	50°, 150°, 30°, 160°, 175°, 90°, 120° e 70°	70°, 150°, 30°, 175° e 120°	07° 06' 12"	35° 48' 30"	572 m
IV	60°	150°, 140°, 120°, 165°, 130° e 170°	140°, 120° e 60°	07° 04' 26"	35° 48' 53"	565 m
V		05°, 60°, 120°, 90° e 35°	60° e 120°	07° 03' 40"	35° 46' 52"	598 m

Obs. – Todas as direções de foliação da rocha, direções de fraturas e direções de mergulho das fraturas referem-se ao Norte magnético.

Tabela 2 Classificação de fraturas quanto à ocorrência no afloramento da subárea de Lagoa Seca/Alagoa Nova (Norte)

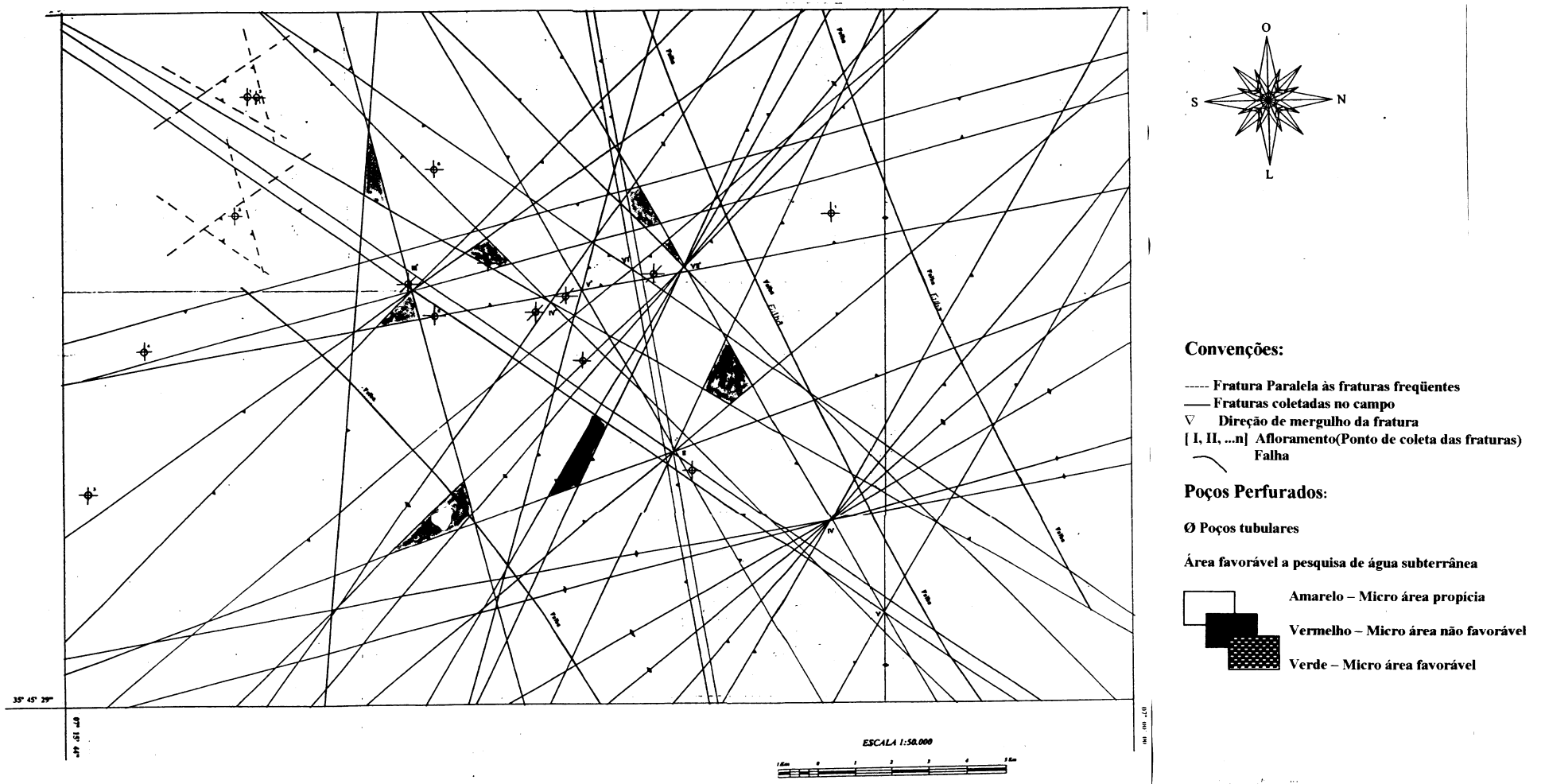


Figura 4. Mapa de fratura de subárea – Alagoa Nova/ Lagoa Seca (Norte)

Afloramento	Direção de Fratura	Direção de Mergulho	Ângulo de Mergulho
	DF	DM	AM
I'	96° e 165°	355° e 70°	85° e 85°
II'	115°, 170°, 60° e 135°	215°, 260°, 160° e 00°	85°, 80°, 75° e 90°
III'	75°, 00°, 135°, 145° e 165°	155°, 260°, 60°, 75° e 260°	70°, 60°, 60°, 35° e 70°
IV'	125°, 30° e 45°	00°, 315 e 150°	90°, 45° e 45°
V'	60°, 170° e 105°	00°, 00°, 60°, 305°, 50°, 190°, 340°, 110° e 275°	90°, 90°, 80°, 60°, 75°, 85°, 75°, 75° e 35°
VI'	35°, 140° e 80°	320°, 265° e 15°	85°, 70° e 85°
VII'	30°, 135°, 115°, 45 e 130°	300°, 30°, 15°, 320° e 00°	50°, 85°, 45°, 70° e 90°
I	140°, 145°, 40°, 05° e 85°	230°, 00°, 145°, 00° e 00°	85°, 90°, 25°, 90° e 90°
II	35°, 115°, 140°, 80°, .05° e 160°	00°, 25°, 230°, 180°, 00° e 260°	90°, 75°, 75°, 80°, 90° e 55°
III	50°, 150°, 30°, 160°, 175°, .90°, 120° e 70°	325°, 225°, 300°, 80°, 00°, .180°, 00° e 310°	75°, 90°, 80°, 15°, 90°, 80°, 90° e 80°
IV	150°, 140°, 120°, 165°, 130° e 170°	00°, 00°, 40°, 00°, 45° e 00°	90°, 90°, 55°, 90°, 60° e 90°
V	05°, 60°, 120°, 90° e 35°	280°, 155°, 215°, 00° e 280°	70°, 80°, 80°, 75° e 80°

Obs. – Todas as direções de foliação da rocha, direção fratura e direções de mergulho das fraturas referem-se ao Norte magnético.

Tabela 3 Ocorrências de fraturas quanto ângulo de mergulho nos afloramentos da subárea de Lagoa Seca/Alagoa Nova (Norte)

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos na integração dos conjuntos de recursos de sensoriamento remoto (LANDSAT-5), resultados estatísticos, dados bibliográficos pré-existentes e resultados do trabalho de campo foi possível o fazer uma análise detalhada para alcançar algumas conclusões sobre a natureza da fratura e água subterrânea na rocha cristalina.

A direção relacionada com os falhamentos, identificados nas sub áreas de estudo, demonstra qualitativamente que a fratura freqüente regional transversal às falhas tem grandes indícios de fraturas armazenadoras ou transportadoras de água, com menos intensidade as fraturas aflorante transversais às falhas e não regionais, devidos serem fraturas localizadas. As fraturas transversais às falhas observadas na área de estudo são fraturas tencionais(t) do Reidel (1929) e Sadowski, (1983). As fraturas de tensão apresentam abertura para facilitar fluxo ou condutividade de fluidos. Segundo Muralidhar, (1990), a condutividade da fratura depende ou é afetada pela presença de áreas de contatos no plano de fratura e a magnitude da média da abertura da fratura. Sendo assim acredita-se que as fraturas de tensão são fraturas com menos áreas de contato e com maior abertura, servindo como condutoras de água.

As áreas destacadas de verde e vermelho nos mapas referem-se àquelas que ocupam a posição de prioridade máxima e mínima de potencialidade e pesquisa de água subterrânea, a serem utilizadas como parâmetro de estudo. Outras áreas podem ser discriminadas através dos mesmos conceitos adotados. Nas áreas propícias à pesquisa de água subterrânea, destacadas no mapa de fratura (Fig. 4, área verde) comprovam-se a existência de estruturas de fraturas convergentes e são locais onde se encontram os poços de água. Áreas de potencialidade mínima de armazenamento de água subterrânea delimitada no mapa de fratura (Fig. 4, área vermelha), foram inferidas pela razão de que as fraturas de ângulo de mergulho vertical ou direção de mergulho da fraturas divergentes e não são correlacionadas com poços tubulares existentes na região.

As áreas de potencialidade média de armazenamento de água subterrânea indicadas nos mapas de fraturas (Fig. 4, área amarela) são caracterizadas por fraturas freqüentes regionais traçadas paralelas às fraturas de mesma direção já constatada em campo, configurando um sistema de interseção de fraturas com direções de mergulho e ângulo de mergulho favorecendo o formato convergente (forma de cunha) em torno do

poço existente. As zonas próximas das falhas ou zonas de cisalhamentos são locais, onde as rochas são sujeitas à fragmentação e trituração. As pesquisas anteriores confirmaram que os tamanhos das partículas fragmentadas ou trituradas diminuem

gradativamente da falha para fora (Anderson et al. 1983, Newman and Mitra, 1993, Yamamoto and Hattori, 1998). Fragmentação também pode induzir o desenvolvimento de feixes de micro-fraturas, sistemáticas e aleatórias, resultando em uma zona com características de um aquífero (Moore and Lockner, 1995, Reches and Lockner, 1994, Kusenko et al.1996). Para essa zona de cisalhamento, as fraturas tensionais podem conduzir a água, resultando em um aquífero de grande potência com recarga contínua.

A relação vale-fratura é consolidada no trabalho de campo, onde direção e ângulo de mergulho correlacionam-se diretamente com formações de vales na área de estudo (Fig. 5 A, B e C). Nas zonas de interseção das fraturas ou vales respectivos, sempre há indícios de presença de água. Os vales ou drenagens desenvolvidas nos sentidos de fraturas de tensão tendem a ser bem largos e bem definidos demonstrando a facilidade com que a água é conduzida nestas fraturas. Por outro lado, vales e drenagens que formam paralelos às fraturas compressionais ou paralelas às foliações tendem a ser estreitos e profundos demonstrando difíceis condições de movimento livre da água neste tipo de fraturas. Fraturas de ângulo de mergulho acima de 80° não tem condições de favorecer a retenção de água subterrânea, mas um excelente condutor. Fraturas abertas freqüentes, interconectadas com zona de recarga de água (rios, riachos etc.) favorecem a um armazenamento de água subterrânea. Fraturas com direção de ângulo de mergulho convergente poderão favorecer armazenamento da água subterrânea.



(A)



(B)



(C)

Figura 5. Vale-fratura -(Direção, sentido e ângulo de mergulho correlacionam-se diretamente com formações de vales) A - Representação das direções dos vales com poços artesianos, B - Fraturas no mesmo local com direção, sentido e ângulo de mergulho idêntico ao vale e C – Foto detalhada das fraturas do local, afloramento VI' de Lagoa Nova/Lagoa Seca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, J. do P. T. 1971. Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste: folha 15 Jaguaribe-SE. Recife SUDENE, (Série Hidrogeologia, 32).
- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B. & Fuck, R. A - 1977 – Província estrutural da Borborema. Atas 8. Simp. Geol. Nordeste, 363-391, SBG, Campina Grande, PB, Brazil.
- Anderson, J. L.; Osborne, R. H.; and Palmer, D. F. 1983. Cataclastic rocks of the San Gabriel Fault: an expression of deformation at deeper crustal levels in the San Andreas Fault zone. *Tectonophysics* 98:209-251.
- Bertachini, Antonio Carlos. 1988. Estudo das características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos sob clima úmido, na região de Jundiá, S.P. *Revista Brasileira de Geociências*. Vol.18, No 1, 102 - 102 p.(Resumo).

- Costa, W. D. 1986. Análise dos fatores que atuam nos aquíferos fissurais: área piloto dos Estados da Paraíba e Rio grande do Norte. Dissertação (Doutorado) – Instituto de geociências, USP. 225 p.
- Dantas Filho, João Ramalho. 1996. Identificação de área propícia à pesquisa de água subterrânea através de imagens TM/LANDS T-5 nas microregiões homogênea Curimataú (MRH 910) e Seridó Paraibano. Campina Grande – DEA/ CCT/ UFPB, 88 p. (Dissertação de Mestrado).
- Feitosa, F. A. Carneiro.; Manoel Filho, João. Hidrogeologia: CPRM, Labhid-UFPE, 1997 412 p.
- Kuksenko, V.; Omilin, N.; Damaskinskaya, E.; and Lockner, D. 1996. A two-stage model of fracture of rocks. *Pure Appl. Geophys.* 146:253-263.
- Manoel Filho, J. 1996. Modelo de dimensão fractal para avaliação de parâmetro hidráulico em meio fissural. Dissertação (Doutorado) – Instituto de Geociências, USP. 197p.
- Moore, D. E., and Lockner, D. A. 1995. The role of microcracking in shear-fracture propagation in granite. *J. Struct. Geol.* 17:95-114.
- Muralidhar, K. 1990. Flow and transport in single rock fractures. *J. Fluid Mech.* (1990), vol. 215, 481-502.
- Newman, J., and Mitra, G. 1993. Lateral variations in mylonite zone thickness as influenced by fluid-rock interactions, Linville Falls Fault, North Carolina. *J. Struct. Geol.* 15:849-863.
- Reches, Z., and Lockner, D. A. 1994. Nucleation and growth of fault in brittle rocks. *J. Geophys. Res.* 99:18,15918,173.
- Riedel, W. 1929. Zur mechanik geologischer Brucherscheinungen. *Cenyttralb.f.Min.Geol.u Pal., Abt.B*, 354-368.
- Sadowski, G.R. 1983. Sobre a geologia de cinturões de cisalhamentos continentais. Tese (Liver Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 108p.
- Yamamoto, H., and Hattori, I. 1998. Geological Laboratory, Fukui University, Fukui 910-8507, Japan.