

IMPLICAÇÕES DA NEOTECTÔNICA NO CONDICIONAMENTO ESTRUTURAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM TERRENOS CRISTALINOS: EXEMPLO DO SEMI-ÁRIDO DO LESTE DO RIO GRANDE DO NORTE, NORDESTE DO BRASIL¹

Ana Catarina Fernandes Coriolano¹; Emanuel Ferraz Jardim de Sá² &
Carlos César Nascimento da Silva³

Resumo - As zonas de fraturas correspondem aos principais alvos para locação de poços em terrenos cristalinos. A determinação precisa destas estruturas é uma tarefa complexa, sendo que os métodos atualmente utilizados para locação de poços são em geral baseados no exame de fotografias aéreas e na geologia de superfície.

Está sendo realizado um estudo de casos na porção oriental do Estado do Rio Grande do Norte, utilizando análise estrutural com ênfase ao contexto neotectônico, na tentativa de determinar com maior precisão as estruturas acumuladoras de água em subsuperfície. Foram gerados mapas de lineamentos e correlacionados com poços já locados na região. Em campo, a análise foi feita na escala do poço/afloramento, com o objetivo de discriminar diferentes grupos de fraturas pela orientação, idade dos marcadores afetados e nível crustal, inferidas para o seu desenvolvimento.

Em alguns casos, não foi possível fazer correlação entre as fraturas distinguidas em campo e os critérios presumidos utilizados na locação dos poços (p.ex., fraturas inferidas a partir da rede de drenagem). Neste caso, pode não haver um condicionamento por estruturas frágeis, e sim pela combinação de feições como anisotropias das rochas, modo de alteração e presença de coberturas inconsolidadas.

Palavras-chaves - Fraturas, terrenos cristalinos.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG - Bolsista CAPES; E-mail: catarina@geologia.ufrn.br - Apoio Financeiro FINEP/PADCT

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG – Pesquisador CNPq; E-mail: emanuel@geologia.ufrn.br – Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – UFRN.

INTRODUÇÃO

O melhor conhecimento da circulação e acumulação de água em rochas cristalinas ainda constitui um desafio nas atividades de exploração hidrogeológica. As zonas de falhas e/ou fraturas são os principais alvos para locação de poços neste tipo de terreno. Todavia, a determinação precisa de estruturas favoráveis é uma tarefa complexa. No Nordeste do Brasil e em outros terrenos cristalinos similares, os métodos utilizados para locação de poços são baseados essencialmente no exame de fotografias aéreas e na geologia de superfície, à luz de conceitos estruturais das décadas de 1950 e 60. O índice de insucessos obtido nestes procedimentos tem sido relativamente alto. Segundo Lima (1984), 36% dos poços perfurados utilizando apenas estes métodos, em terrenos cristalinos do Estado da Bahia, resultaram secos ou com vazões insuficientes para bombeamento.

Com o objetivo de melhorar o índice de acerto nas locações, está sendo realizado um estudo de casos no interior do Estado do Rio Grande do Norte, envolvendo áreas nos municípios de Santa Cruz e Santo Antônio, utilizando análise estrutural com ênfase na avaliação dos esforços neotectônicos, na tentativa de determinar estruturas acumuladoras de água em subsuperfície.

Na análise estrutural foram estudados afloramentos de rochas próximas (raio de aproximadamente 10 a 100m) a poços já existentes. No terreno, o fraturamento foi caracterizado em termos de estilo, geometria e relações cronológicas, e respectivo contexto cinemático. Foi feita uma comparação com os sistemas de tensões atuais, reconhecidos com base nos dados neotectônicos e sismológicos disponíveis na região, para tentar estabelecer a tendência de comportamento (“abertura” ou “fechamento”) das fraturas antigas, em relação ao(s) campo(s) de tensões recente(s). A influência deste fator, e sua possível utilização na prática de locação de poços, é objeto de uma pesquisa em desenvolvimento. Alguns resultados preliminares são aqui abordados.

³ Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG - Bolsista CAPES; E-mail: cesar@geologia.ufrn.br – Doutorando(a) da Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica – UFRN.



Figura 1- Localização das áreas estudadas, indicadas por setas.

ARCABOUÇO GEOLÓGICO E NEOTECTÔNICO REGIONAL

As áreas de estudo estão inseridas no domínio estrutural da Província Borborema (Almeida *et al.*, 1977), representada pela sequência de cobertura da Faixa Seridó (o Grupo Seridó), com *trend* NE, seu embasamento (representado pelo Complexo Gnáissico-Migmatítico), granitóides brasileiros e pré-brasilianos.

No Nordeste brasileiro, episódios de deformação frágil ocorreram em épocas diversas (Jardim de Sá *et al.* 1999), remontando aos processos de soerguimento e exumação/resfriamento da crosta ao final da Orogênese Brasileira (final do Neoproterozóico ao Cambro-Ordoviciano). Este processo superimpôs um conjunto de estruturas de baixa temperatura, dúcteis-frágeis ou frágeis, em geral retrabalhando as superfícies do estágio precedente, de alta temperatura, com a mesma cinemática (Coriolano *et al.* 1997). Outro episódio está relacionado com o processo de rifteamento e estruturação das bacias da margem continental, desde o Juro-Cretáceo até o início do Terciário (Matos 1992). A continuidade desses processos, desde o Terciário superior até os dias atuais, está preservado no registro da evolução geomorfológica e morfotectônica, incluindo um domeamento de escala crustal, compondo o Planalto da Borborema (Saadi 1993 e Jardim de Sá *et al.* 1999). Neste contexto, desenvolveram-se as estruturas em marcadores terciários (sedimentos e vulcânicas) e depósitos recentes (Bezerra *et al.*

1993; Coriolano *et al.* 1997; Caldas *et al.* 1997), sendo palco da importante atividade sísmica atual (Ferreira *et al.* 1998).

A expressiva atividade sísmica na região Nordeste, a exemplo da *Falha de Samambaia* (João Câmara-RN), permite estabelecer o campo de tensões atual, com compressão (σ_1) E-W e extensão (σ_3) N-S. Este estado de tensões é relacionado com a expansão da cadeia Meso-Oceânica e/ou a compressão Andina, fatores aos quais se somam esforços extensionais mais localizados, perpendiculares à costa, gerados pelo desequilíbrio de massa na transição continente-oceano (Assumpção 1992; Ferreira *et al.* 1998).

De acordo com o campo de tensões atuante na região é feita uma previsão das principais direções de fraturas com acumulação de água em subsuperfície: fraturas com direção próxima a E-W possuem um comportamento de fraturas abertas, mais propícias para acumulação de água. As fraturas NE e NW funcionam atualmente como fraturas de cisalhamento, que também podem ser consideradas como produtivas, especialmente nas zonas de interseção. Já as fraturas com direção próxima a N-S se comportariam como fraturas fechadas, portanto improdutivas.

CRITÉRIOS ESTRUTURAIS UTILIZADOS PARA LOCAÇÃO DE POÇOS NO CRISTALINO

Os métodos atuais de pesquisa hidrogeológica no cristalino estão baseados em conceitos de Geologia Estrutural das décadas de 1950-60 (Costa 1965; Siqueira 1967), os quais precisam ser reavaliados, em termos de métodos e idéias estruturais modernas e no contexto dos campos de tensões neotectônicos, já que a percolação da água explotável é um fenômeno praticamente “atual”.

A metodologia de trabalho comumente empregada envolve a interpretação de fotografias aéreas e o exame de afloramentos, especialmente quanto ao “grau de fraturamento” das rochas (Costa 1965; Siqueira 1967), utilizando para inferências os campos de tensões (e o respectivo ambiente crustal) que atuaram na época de formação das fraturas, mesmo sendo estas de idade bastante antiga (juro-cretácea ou mesmo cambriana). É improvável, neste caso, qualquer relacionamento direto com o fluxo atual de água subterrânea.

Um conceito muito utilizado na locação de poços é do “riacho-fenda” (Siqueira 1963), que representa a associação da hidrografia com a geologia, no sentido de proporcionar a melhor condição de infiltração e armazenamento de água, em rochas cristalinas fraturadas. O “riacho-fenda” corresponde à situação em que ocorre a

coincidência da drenagem superficial com zonas fraturadas do cristalino, sendo facilmente reconhecido em fotografias aéreas e mesmo no campo, devido à feição retilínea adquirida por trechos do rio/riacho.

Em vários trabalhos que utilizam análise estrutural para locação de poços em terrenos cristalinos (Siqueira 1967), estruturas dobradas são interpretadas como refletindo esforços de grande magnitude, que poderiam resultar em maior frequência de fraturamentos e, conseqüentemente, de sítios acumuladores de água. Tal raciocínio é inadequado, já que os dobramentos e foliações antigas são geradas em profundidade, em geral não exercendo influência significativa sobre a permeabilidade das rochas e acúmulo atual de águas subterrâneas.

No Nordeste brasileiro, as fraturas com potencial supostamente elevado para armazenamento de água, correspondendo a juntas de extensão, com tendência a abertura, estão relacionadas à deformação frágil tardi-brasiliana (cambriana), como demonstrado pelo preenchimento de veios ácidos (quartzo e pegmatitos), ou mesmo à deformação extensional juro-cretácea.

É difícil avaliar como feições produzidas por processos atuantes em níveis crustais profundos do orógeno Brasileiro, há 600 Ma atrás, possam estar influenciando o fluxo e armazenamento atuais de água subterrânea, em níveis crustais superficiais (< 100m, em geral). Tais eventos têm pouca ou nenhuma relação com a dinâmica atual, condicionadora da permeabilidade dos aquíferos fissurais.

O papel da reativação neotectônica de fraturas antigas é avaliado neste contexto, sendo possível prever as direções de abertura impostas pelos campos de tensões recentes sobre populações de fraturas “antigas”, herdadas de eventos ocorridos em épocas distintas.

Neste trabalho foram analisados poços que foram locados com base nos critérios clássicos de análise de fotografias aéreas e exame de terreno, apresentando resultados discrepantes de produção de água. Inicialmente foi feito um levantamento de dados através de fichas de poços da antiga Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Rio Grande do Norte (CDM/RN).

Os poços foram perfurados em rochas gnáissicas (Complexo Gnáissico-Migmatítico), com profundidade inferior a 60 metros. O ponto de interseção com os principais sistemas de fraturas se situa no máximo a 30 metros da boca do poço, e o nível dinâmico raramente ultrapassa 20 metros de profundidade, de acordo com os dados nas fichas de poços.

É importante ressaltar esses valores, pois em profundidade as possibilidades de acumulação de água estão condicionadas à manutenção de fraturas abertas. A porosidade, em geral, decresce com a profundidade, face à pressão do material sobrejacente e ao confinamento lateral. No entanto, existe uma dificuldade em levantar dados estatísticos para correlacionar com as informações de campo, devido à freqüente incompatibilidade entre ficha de poço e o poço no terreno, ou a própria falta de anotações.

Na maioria das vezes não é possível correlacionar as estruturas observadas nas fotografias aéreas com as feições de campo (fraturas em afloramentos, rio/riacho local). Quando isto é feito, é preciso ter cuidado ao associar os fotolineamentos marcados a partir da rede de drenagem ao conceito de riacho-fenda, pois nem sempre a drenagem está associada a uma zona fraturada.

EXEMPLOS DA APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE GEOLOGIA ESTRUTURAL E NEOTECTÔNICA PARA O ESTUDO DO CONDICIONAMENTO DE ÁGUA NO CRISTALINO FRATURADO

Os estudos realizados na região de Santo Antônio e Santa Cruz tiveram início com a interpretação de fotografias aéreas na escala de 1:70.000, com o auxílio de folhas topográficas da SUDENE, na escala de 1:100.000. Alguns exemplos serão aqui discutidos.

Em Santo Antônio, foi estudado poço localizado na Fazenda Tararaca, vizinho a grandes afloramentos de ortognaisses, localmente migmatizados e intrudidos por finos veios pegmatíticos. O poço é improdutivo por possuir uma baixa vazão, na ordem de 100 l/h.

A partir da interpretação de fotografias aéreas foi possível identificar um lineamento de direção aproximadamente N-S e outro NE, onde o poço foi locado. O critério utilizado para locação deste poço foi a interseção destes dois lineamentos, interpretados como riachos-fenda.

Em campo, os riachos não apresentam espessura expressiva de aluvião. A análise estrutural dos afloramentos identificou fraturas predominantemente na direção NW, e ausência de fraturas na direção NE. Todavia, a foliação do gnaiss possui direção NE e mergulho de 30⁰ para NW. Desta forma, não foi possível correlacionar o fraturamento medido com as direções dos riachos, colocando em dúvida a aplicação do conceito de riacho-fenda no local. Neste caso, a direção do riacho maior, NE, parece estar relacionada com a direção de foliação da rocha no local.

Dados de geofísica no mesmo local, utilizando VLF (Very Low Frequency) e resistividade aparente (Silva 2000), confirmam a presença de um fraturamento de direção aproximadamente N-S. Essa direção corresponde ao riacho menor, cuja confluência com o riacho NE, maior, foi utilizada para locação do poço. Apesar do poço ter sido locado numa zona fraturada, os resultados de vazão tornaram o poço improdutivo. Portanto, essa estrutura N-S deve estar se comportando como uma fratura fechada, o que pode ser previsto a partir do campo de tensões neotectônico, com σ_3 aproximadamente N-S.

Em Santa Cruz, foi analisada uma bateria de cinco poços na Fazenda Santa Rita, dos quais dois estão em operação, dois foram desativados, e um poço é seco. A área está situada num domínio litológico de ortognaisses, por vezes com bandas de anfibolito e intrusões de granitos e pegmatitos, na forma de diques e veios.

A interpretação das fotografias aéreas identificou um lineamento ENE associado à drenagem onde foram perfurados os poços. Aqui também foi utilizado o conceito de riacho-fenda, sendo o trecho retilíneo da drenagem associado a zona de fraturas.

Em campo, não foram identificadas fraturas com direção ENE, que correspondessem à direção do riacho onde foram perfurados os poços. As fraturas ocorrem em pequena quantidade nos afloramentos, e apresentam direções predominantemente NW, havendo algumas poucas NNE. O plano da foliação principal das rochas, no local, está orientado na direção ENE, apresentando mergulho em torno de 45° para Sul. Neste caso, a direção ENE do riacho está relacionada com a direção da foliação da rocha no local. Observa-se que o intemperismo atua “abrindo” os planos das foliações.

Dados geofísicos na região (Silva 2000) não comprovam a presença de fraturamento na mesma direção do riacho. Em conjunto com os dados de campo, é delineada uma estrutura tipo calha, com uma considerável quantidade de aluvião + regolito.

Neste caso, a irregularidade entre poços secos e desativados, e poços produtivos, pode estar relacionada com a quantidade de aluvião e rocha alterada, que servem como área de recarga. Assim, os poços produtivos estariam localizados em locais onde o intemperismo atua na foliação, abrindo essa estrutura, aumentando a porosidade e permeabilidade da rocha e, conseqüentemente, o acúmulo de água, tendo o aluvião como sítio de recarga.

DISCUSSÕES

Os estudos que estão sendo realizados mostram uma dificuldade em associar as

estruturas identificadas em fotografias aéreas ao conceito de riacho-fenda. A locação dos poços analisados, utilizando apenas este conceito, resultaram em discrepâncias em termos de vazão dos poços perfurados.

Nas áreas estudadas, as direções das estruturas identificadas em fotografias aéreas, também coincidentes com as direções dos riachos, podem, ou não, estarem associados a fraturamentos. Quando isto ocorre, a fratura não necessariamente se comporta como uma fratura aberta, como é o caso do poço perfurado em Santo Antônio, na Fazenda Tararaca. Neste caso, a análise neotectônica permite prever o baixo potencial de uma fratura aproximadamente N-S.

Já na Fazenda Santa Rita, no município de Santa Cruz, não foi identificado nenhum fraturamento. O acúmulo de água em subsuperfície está associado ao intemperismo da ocha na direção da foliação, abrindo planos e aumentando a porosidade e permeabilidade. Neste caso, a boa produtividade dos poços estaria relacionada com as regiões mais intemperizadas, onde o aluvião + regolito estariam mais espessos.

Os trabalhos trazem resultados preliminares, que requerem a adição de novos exemplos, na tentativa de avaliar melhor a aplicação do conceito de riacho-fenda. A adição de informações neotectônicas pode ajudar na avaliação das fraturas. Finalmente, confirma-se a utilidade do emprego e combinação de diferentes métodos.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F.F.M; Hasui, Y; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A. 1977 . Províncias estruturais brasileiras. *In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 7. Campina Grande/PB, p.363-391.*
- Assumpção, M. 1992. The regional intraplate stress field in South America. *Journal Geophysical Research. 97(138): 11889-11903.*
- Bezerra, F. H. R. *et al.* 1993. Estruturação Neotectônica do Litoral de Natal-RN, Com Base na Correlação Entre Dados Geológicos, Geomorfológicos e Gravimétricos. *In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 4. Belo Horizonte-MG. Anais, boletim, 12: 317-321.*
- Caldas, L. H. O. *et al.* 1997. Os *Beachrocks* no Litoral do Rio Grande do Norte: Potencial como Marcadores Neotectônicos. *In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 17. Fortaleza-CE. Resumos Expandidos, boletim, 15: 369-376.*
- Coriolano, A. C. F. *et al.* 1997. Estruturas Frágeis no Substrato da Região de João Câmara (RN): Correlação com a Falha Sísmica de Samambaia? *In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 17. Fortaleza-CE. Resumos Expandidos, boletim, 15: 325-*

- Costa, W.D. 1965. Análise dos fatores que influenciam na hidrogeologia do cristalino. *Água Subterrânea*, **4**: 14-47.
- Ferreira, J. M. *et al.* 1998. Superposition of local and regional stresses in northeast Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin. *Geophys.* **134**: 341-355.
- Jardim de Sá, E. F. *et al.* 1999. Epirogenia Cenozóica na Província Borborema: Síntese e Discussão sobre os Modelos de Deformação Associados. *In*: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos e Simp. Inter. de Tectônica da SBG, 7. Lençóis-BA. *Anais*, p.58- 61.
- Lima, O. A. L. 1984. Geofísica de Água Subterrânea. *Projeto Geofísica/Geologia, UFBA, submetido à FINEP*. Salvador (BA).
- Matos, R. M. D. 1992. The Northeast Brazilian Rifting System. *Tectonics*, **1 (4)**: 766-791.
- Saadi, A. 1993. Neotectônica da Plataforma Brasileira; esboço e interpretação preliminar. *Geonomos*, **1**: 1-15.
- Silva, J. A. 2000. Estruturas de acumulação de água em rochas cristalinas: estudo geofísico e geológico de casos no Estado do Rio Grande do Norte. *Dissertação de Mestrado*, UFRN/CCET/PPGG. (Inédito).
- Siqueira, L. 1963. Contribuição da Geologia à Pesquisa de Água Subterrânea no Cristalino. *SUDENE*, Recife (PE).
- Siqueira, L. 1967. Contribuição da Geologia à Pesquisa de água subterrânea no cristalino. *Água Subterrânea*, **9**: 1-29.