

ASPECTOS SOBRE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM TERRENOS CRISTALINOS DA REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA

Fernando A. C. Feitosa

Pesquisador em Geociências do Serviço Geológico do Brasil - CPRM
Av. Sul, 2291, Afogados, Recife, PE. Fone: 55-81-33161463, Fax: 33161402,
Email: fernando.feitosa@cprm.gov.br

ABSTRACT

About 50% of the surface of the Northeast region of Brazil is constituted by Precambrian rocks, generically called crystalline rocks. In these rocks groundwater systems occur as interconnected cracks, fractures and discontinuities, forming discontinuous random reservoirs showing small dimensions. Electrical conductivity data from 18,600 wells suggest the existence of a qualitative zoning, characterized by fresh water belts alternating with brackish to salt water belts. The reasons for this zoning are not well known. Some evidences, nevertheless, point to the geomorphology and factors associated with it, as playing important role in the matter. As to quantitative aspects, any try of resource evaluation would be untruthful. Nevertheless, it is believed that the amount of water that can be withdrawn from these rocks is sufficient to meet the needs of, at least, part of the scattered population and herds living in the Brazilian semi-arid areas. The human consumption of groundwater, however, in areas of poor chemical quality, requires the development of sustained desalination programs.

Keywords – Água Subterrânea; Rochas Cristalinas; Qualidade da Água

INTRODUÇÃO

Praticamente todos os países do mundo, desenvolvidos ou não, utilizam água subterrânea para suprir suas necessidades, seja no atendimento total ou suplementar do abastecimento público, seja em outras atividades como irrigação, produção de energia, indústria etc. O início dessa utilização perde-se no tempo e o seu crescimento tem acompanhado o desenvolvimento do homem na Terra. Consistia inicialmente no aproveitamento da água em nascentes e em lençóis freáticos rasos, estes captados por meio de escavações rudimentares, que com o tempo evoluíram para cacimbas revestidas de pedra e, posteriormente, de tijolo. Com o advento da Era Industrial, tornou-se possível a construção de poços de melhor qualidade técnica em tempo cada vez menor e com profundidades cada vez maiores.

A Unesco tem registrado um crescimento acelerado na utilização das águas subterrâneas e, conseqüentemente, problemas decorrentes da má utilização dos aquíferos em várias partes do planeta. Estima-se em mais de 300 milhões o número de poços perfurados no mundo nas últimas três décadas. A relação em termos de demanda quanto ao uso varia entre os países e nestes, de região para região, constituindo o abastecimento público, de modo geral, a maior demanda individual. A partir da década de 50, tem-se atribuído aos reservatórios hídricos subterrâneos, em todo o mundo, um papel de destaque no equacionamento do problema de água em regiões áridas e semi-áridas, como o Nordeste do Brasil e a Austrália, e mesmo desérticas, como a Líbia.

No Nordeste brasileiro a pequena disponibilidade de água superficial aliada à baixa e irregular pluviosidade explica a grande dependência dos habitantes e dos rebanhos da região em relação à água subterrânea, mesmo sendo essa, em grande parte, uma alternativa tênue pela reduzida vocação hidrogeológica das rochas cristalinas predominantes no semi-árido nordestino. Embora se perfurem poços nesta área desde o final do século XIX, é notório que só a partir da década de 1960, com a criação da Sudene - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, a água subterrânea começou a ser tratada como ciência. A Sudene promoveu um reconhecimento hidrogeológico pioneiro, materializado pelo **Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste**, cujas informações são referência até os dias de hoje. Esses estudos, que abriram as portas para a visualização do potencial hidrogeológico da região, foram paralisados no início da década de 70 em função da desmobilização da Sudene como órgão executor. Nesta região, entretanto, a utilização da água subterrânea cresceu vertiginosamente e de forma descontrolada, em função das demandas e necessidades de aumento da oferta. O reflexo disso hoje, se por um lado é a contribuição da água subterrânea em parcelas significativas, tanto para o abastecimento público como para usos diversos, por outro lado, é o desconhecimento das condições hidrogeológicas dos sistemas aquíferos explorados e problemas relacionados à sobreexploração e poluição/contaminação em algumas regiões (Picos, Mossoró, Natal, Recife, Maceió etc.).

OCORRÊNCIA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO NORDESTE BRASILEIRO

Em relação à geologia, podem ser considerados dois grandes domínios principais de ocorrência das águas subterrâneas: rochas cristalinas e cársticas (condições anisotrópicas) e rochas sedimentares intergranulares (condições "isotrópicas" - as setas indicam que essas condições isotrópicas são assim consideradas em comparação com a alta anisotropia das rochas cristalinas e cársticas, embora existam aquíferos sedimentares, estratificados e interdigitados, com anisotropia similar às rochas cristalinas).

Nas rochas cristalinas e cársticas, onde praticamente não existe porosidade primária, a água se acumula nos espaços vazios gerados por ações geológicas posteriores representadas por descontinuidades materializadas por quebramentos (falhas e fraturas), alterações e dissoluções etc., formando reservatórios subterrâneos descontínuos e irregulares, que podem apresentar de baixo a alto potencial, em função de suas dimensões e características. Neste domínio, a qualidade da água subterrânea está intimamente associada ao clima, apresentando, em geral, condições de salinidade elevada nas regiões semiáridas, com excesso de cloretos no cristalino e de bicarbonatos/carbonatos nos cársticos (águas duras). No domínio das rochas sedimentares, onde as formações geológicas apresentam porosidade primária intergranular, a água preenche os poros em toda a extensão de ocorrência da rocha, formando grandes aquíferos regionais. A figura 1 ilustra de forma clara e esquemática a diferença entre a ocorrência da água nos domínios das rochas cristalinas, mostrando a descontinuidade e heterogeneidade dos reservatórios com a existência de poços secos, e das rochas sedimentares, mostrando, ao contrário, continuidade e homogeneidade.

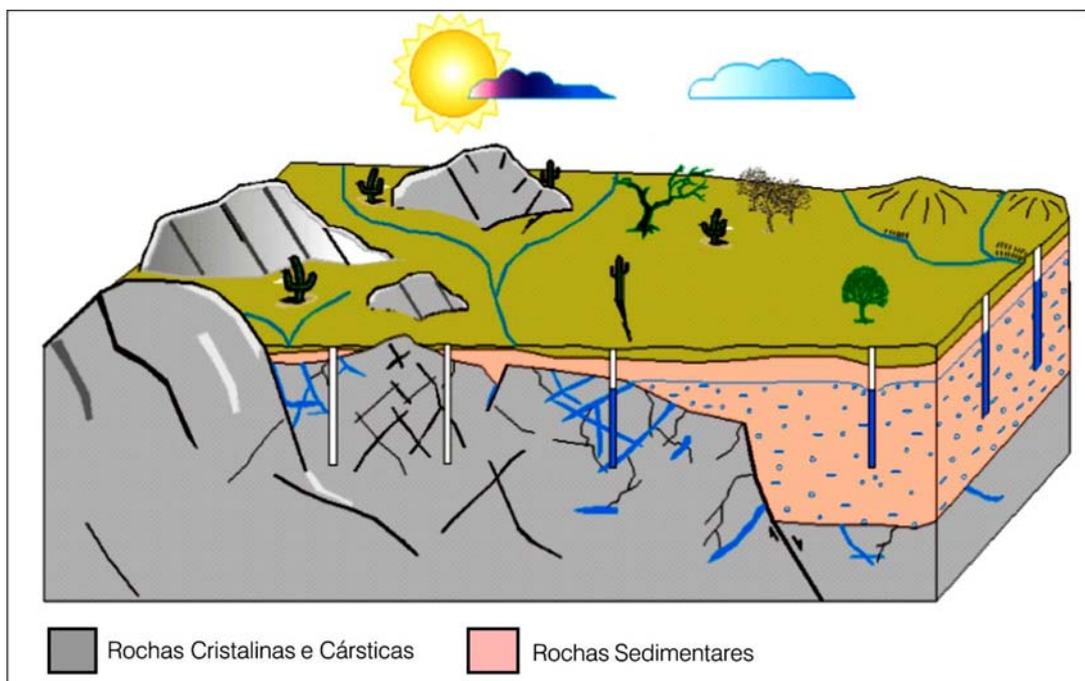


Figura 1 – Ocorrência da água subterrânea em rochas cristalinas e sedimentares (RIBEIRO & FEITOSA, 2000).

Nas rochas cársticas, a ocorrência da água subterrânea é similar à das rochas cristalinas, entretanto, em função dos processos de carstificação, que podem ser bastante acentuados em determinadas regiões (formação de cavernas), os reservatórios subterrâneos são, em geral, de maior porte e permitem a extração de vazões mais elevadas. Um exemplo no Nordeste brasileiro é a intensa exploração do calcário Jandaíra, na bacia sedimentar do Apodi, entre Mossoró e o estado do Ceará, utilizada atualmente para fruticultura irrigada. Ainda se pode destacar, no âmbito dos terrenos cársticos, a existência, no centro-oeste do estado da Bahia, do sistema aquífero Salitre-Jacaré. Trata-se de um aquífero cárstico-fissural composto por rochas carbonáticas associadas ao Grupo Bambuí, que apresenta um potencial alto a médio, chegando a produzir, excepcionalmente, vazões muito elevadas ($200 \text{ m}^3/\text{h}$) em zonas com acentuado grau de carstificação. Entretanto, as vazões mais frequentes são inferiores a $10 \text{ m}^3/\text{h}$. Na região de Irecê - BA, em função das condições favoráveis de carstificação dos calcários, a exploração é muito intensa, existindo hoje mais de 6.000 poços ativos.

Na figura 2, para efeito de ilustração, é apresentado um mapa esquemático simplificado mostrando a área de ocorrência dos terrenos cristalinos e a localização das ocorrências sedimentares existentes no Nordeste brasileiro.

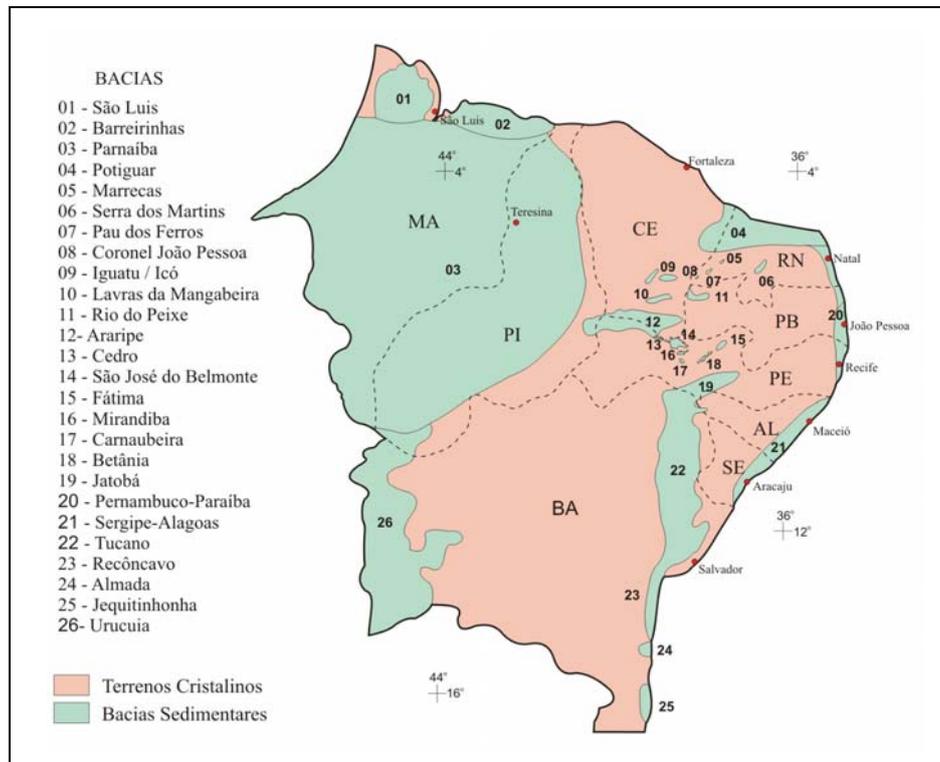


Figura 2 – Terrenos cristalinos e bacias sedimentares do nordeste brasileiro (FEITOSA *et.al.*, 2004).

A ÁGUA SUBTERRÂNEA EM TERRENOS CRISTALINOS

Os terrenos cristalinos do semi-árido brasileiro são constituídos por rochas ígneas e metamórficas e ocupam cerca de 70% da região conhecida como polígono das secas no Nordeste do Brasil (figura 3). Embora de reconhecida má vocação hidrogeológica, em função das baixas vazões e péssima qualidade da água, estas rochas vem sendo explotadas sistematicamente desde o início do século, constituindo, muitas vezes, a única fonte de suprimento hídrico para garantir a sobrevivência da população e, principalmente, dos rebanhos. Entretanto, só a partir da década de 60, com a criação da Sudene – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, os poços passaram a ter um acompanhamento técnico-científico especializado. A partir desta época até hoje, estima-se que já foram perfurados mais de 100.000 poços em rochas cristalinas do semi-árido nordestino. Em comparação com o enorme volume de dados representados por estes milhares de poços, a contribuição científica para o avanço do conhecimento da hidrogeologia do cristalino é considerada como insignificante. Praticamente, ainda não existe bom um entendimento sobre o comportamento destas rochas como aquífero, incluindo aí a avaliação probabilística das recargas, a avaliação de recursos explotáveis, a compreensão dos mecanismos de fluxo e de salinização e, importantíssimo, a melhoria dos critérios de locação de poços. Muitos dos métodos utilizados para a definição de parâmetros hidráulicos nestas rochas aplicam conceitos clássicos da hidrogeologia que só são válidos para os meios porosos homogêneos, sendo, portanto, considerados como insatisfatórios.

MANOEL FILHO (1998), analisando os principais estudos e projetos já executados e relacionados com a gestão da água subterrânea do cristalino semi-árido, faz, entre outras, as seguintes observações:

*não se estabeleceu ainda nenhuma relação consistente entre **produção de poço** e qualquer outro fator, seja tipo de rocha, tipo de fenda, padrão de fraturamento etc.*

os erros e acertos de muitos dos projetos de captação e uso da água no domínio do cristalino, e as suas respectivas causas, permanecem pouco conhecidos...



Figura 3 – Nova delimitação da região semi-árida no Nordeste do Brasil, incluindo 102 municípios. A área total atual é de 969.589,4 km² (Brasil/MI/MMA, 2005).

COSTA (1986) definiu o termo *aquífero fissural*, para definir, de forma genérica, as rochas cristalinas armazenadoras de água subterrânea. Entretanto, o termo aquífero neste caso chega a ser questionado por alguns autores, em função de sua conceituação inicial dada por MEINZER (1923). Este autor definiu originalmente como aquífero, uma formação geológica sedimentar, ou seja, uma rocha, com capacidade de armazenar e transmitir água, com geometria bem definida e parâmetros hidráulicos representativos. As rochas cristalinas podem ser consideradas como impermeáveis, com a porosidade primária próxima a zero, estando a água acumulada a partir de uma porosidade secundária representada pelas discontinuidades (fraturas, fissuras, zonas intemperizadas, contatos geológicos etc.) Logo, a capacidade de produção do cristalino não está ligada diretamente à rocha e sim a agentes secundários a partir de efeitos estruturais e erosivos. Além disto, não existem parâmetros representativos e a geometria dos sistemas hidráulicos que armazenam a água é completamente caótica e indeterminada.

Considerando um determinado volume de rocha, representativo das características do cristalino, existem n sistemas hidráulicos independentes entre si, capazes de armazenar e transmitir água. Um exemplo deste comportamento pode ser observado na figura 4, que mostra a disposição de seis poços perfurados na localidade de Jordão, município de Sobral no norte do estado do Ceará, numa área aproximada de 100m X 200m. Em função de extensivos testes de bombeamento realizados, ficou evidenciado que existem pelo menos, considerando duas dimensões (X,Y), cinco sistemas hidráulicos diferentes. Também foi detectado que os poços 4 e 5, mesmo estando inseridos no mesmo sistema (D₅), captam em profundidade um sexto sistema (D₆) totalmente isolado do anterior. Entretanto, é conveniente ressaltar que a delimitação dos sistemas hidráulicos da figura 4 é hipotética e ilustrativa e foi baseada apenas em informações pontuais (poços), podendo, na verdade, existir uma complexidade bem maior.

MANOEL FILHO (1998) introduziu o termo Condutor Hidráulico (CH), para definir o conjunto de discontinuidades interconectadas entre si e associadas a um determinado poço, que representa mais realisticamente as condições de armazenamento e produção nas rochas cristalinas. Assim, o que usualmente é chamado de “aquífero fissural” seria o somatório de todos os condutores hidráulicos existentes, sendo representado para cada área de estudo considerada como:

$$\sum_{i=1}^n CH_i(X, Y, Z)$$

Onde:

X e Y = coordenadas do ponto; e
Z = profundidade do poço.

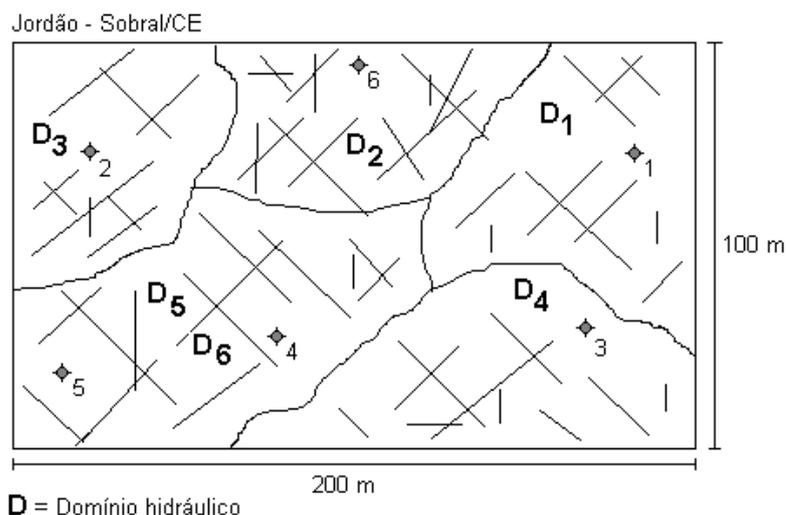


Figura 4 - Delimitação hipotética dos Domínios Hidráulicos dos poços perfurados em Jordão - Sobral/CE (FEITOSA, 1996).

Aspectos Quantitativos

Em função da aleatoriedade da distribuição dos reservatórios subterrâneos que armazenam água subterrânea no cristalino, existe sempre uma incerteza quanto ao sucesso da locação de um poço. Ainda, não foi possível estabelecer condicionantes geológicos que assegurem o acerto de uma locação, se bem que o uso de levantamentos geofísicos, principalmente os métodos de eletrorresistividade e VLF, tem ajudado significativamente no aumento do índice de acertos.

As diferenças de produtividade e qualidade de água de poços muito próximos entre si, porém captando condutores hidráulicos diferentes, são, muitas vezes, surpreendentes. Não é raro encontrar poços de alta vazão muito próximos de poços secos ou de baixa vazão. Como exemplo, podemos citar o caso do poço Salambaia (P_1), localizado no município de Alagoinha no estado de Pernambuco, que apresentou uma vazão instantânea de $50,0 \text{ m}^3/\text{h}$ em contraposição a outro poço localizado a 100 metros (P_2), que apresentou uma vazão instantânea de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ (figura 5).

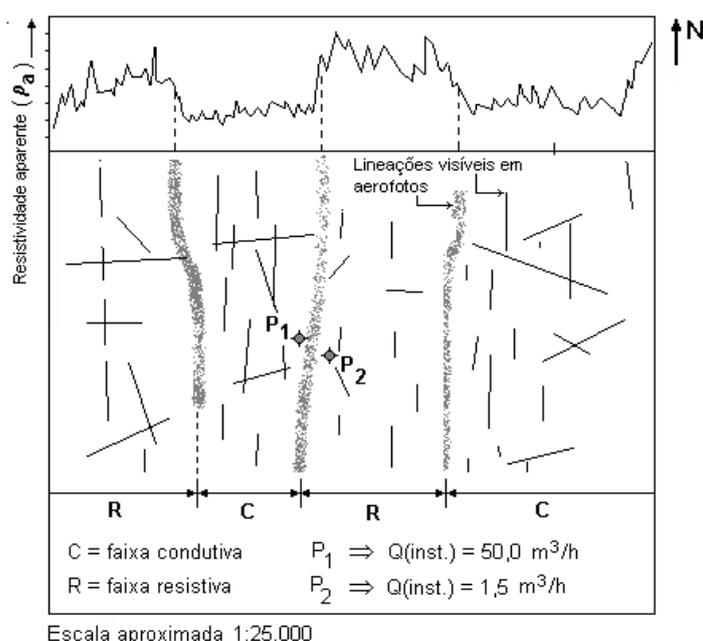


Figura 5 – Esboço esquemático da configuração geolétrica da região do poço Salambaia (P_1), mostrando faixas condutivas e resistivas, associadas com zonas mais fraturadas e menos fraturadas, respectivamente (FEITOSA, 1996).

Segundo estudos geofísicos, através do método de eletroresistividade, realizados no local por FEITOSA (1994) e depois expandidos para outras regiões do Estado de Pernambuco e, posteriormente, também do Ceará (RIBEIRO *et al.*, 2003), parece existir no domínio das rochas cristalinas, faixas ou zonas onde a rocha é intensamente fraturada, caracterizada por zonas condutivas, ladeada por outras onde predominam rochas mais compactas ou com um fraturamento incipiente, caracterizadas por zonas resistivas, conforme ilustrado esquematicamente na figura 5.

A distribuição de vazões das rochas cristalinas é log-normal, com mediana oscilando entre 1 e 2 m³/h. MÖBUS *et al.* (1998) trabalhando com cerca de 2.600 poços do cristalino cearense indicam uma mediana para a vazão dos poços de 1,7 m³/h. Excepcionalmente, encontram-se registros de poços com vazões instantâneas mais elevadas como 8, 15, 20 e até 50 m³/h (poço Salambaia). Os resultados de FEITOSA (*op. cit.*) e de RIBEIRO *et al.* (*op. cit.*) sugerem que estes poços excepcionais, de maiores vazão, estão associados no cristalino com faixas ou zonas de comportamento elétrico condutivo, situação esta bastante lógica, já que, de forma empírica, pode-se dizer que a água subterrânea dos poços mais produtivos do cristalino é sempre salinizada. Entretanto, os estudos realizados, até agora, não conseguiram evidenciar feições geológicas que explicassem ou fossem correlacionadas à existência destas faixas ou zonas condutivas/resistivas alternadas.

A utilização destes mananciais está sempre associada a um fator de risco, na medida em que não se pode determinar com segurança uma vazão de exploração sustentável e muito menos reservas. Entretanto, este recurso é utilizado no Nordeste desde o início do século XX e existem poços que produzem ininterruptamente desde a sua perfuração. Nestes casos, as características de aquíferos livres (em geral) e as altas condutividades hidráulicas associadas às descontinuidades (fraturas, fendas etc.) permitem uma recarga direta e rápida, proporcionando condições permanentes de exploração que só são alteradas em períodos muito longos de estiagem.

A produção de água nestas rochas tem aspectos peculiares muito diferentes dos meios porosos. Considerando a limitação dos reservatórios, a exploração é sempre feita em regime de exaustão, sendo sempre considerada uma probabilidade de recarga, através da pluviometria, embora as áreas e condicionantes dessa recarga sejam desconhecidos. Não existem métodos matemáticos seguros para se estimar uma vazão de exploração, sendo utilizado mais frequentemente o decaimento da vazão específica. Entretanto alguns aspectos relevantes podem ser discutidos.

Curva Rebaixamento X Tempo

A curva rebaixamento X tempo de poços no cristalino apresenta um comportamento singular. A evolução do rebaixamento no tempo não é contínua, existindo, em função da ordem de grandeza da vazão de bombeamento, inflexões da curva, coincidentes com as fendas produtoras, como ilustrado esquematicamente na figura 6.

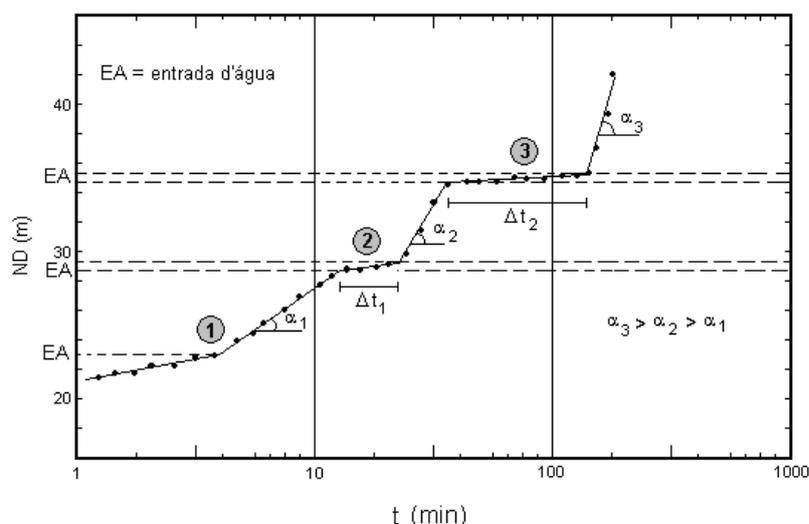


Figura 6 – Curva rebaixamento X tempo de um poço no cristalino com profundidade de 50,0 metros e com o crivo da bomba instalado a 46,0 metros. O poço foi bombeado durante 200 minutos com uma vazão muito alta em relação a sua capacidade de produção e praticamente foi à exaustão (FEITOSA, 1996).

No caso 1, ao passar pela fenda, houve uma inflexão para cima, aumentando o ritmo do crescimento do rebaixamento no tempo. Neste caso, a capacidade de produção da fenda (Q_f) é muito menor que a vazão de bombeamento (Q_b). Nos casos 2 e 3, ao chegar na fenda, a curva de rebaixamento sofre uma inflexão para a direita, como se houvesse um efeito de recarga. O ritmo de crescimento do rebaixamento diminui bruscamente, chegando, em alguns casos, a existir estabilizações durante certo intervalo de tempo (Δt). O intervalo Δt é proporcional à razão entre Q_f e Q_b , de forma que:

$$\frac{Q_f}{Q_b} \uparrow \Rightarrow \Delta t \uparrow \quad \frac{Q_f}{Q_b} \downarrow \Rightarrow \Delta t \downarrow$$

A cada fenda ultrapassada existe um incremento de perda de carga, de forma que o ritmo de evolução do rebaixamento sofre uma aceleração, ilustrada na figura 6 pelos ângulos (α) formados pelas retas que ajustam os dados e o plano horizontal. O comportamento da curva de rebaixamento depende da vazão inicial bombeada. Quando esta vazão é muito alta em relação à capacidade de produção da fenda, existe um decréscimo brusco do nível da água, em virtude de um aumento excessivo das perdas de carga por aumento de velocidade de fluxo. Rapidamente, o nível alcança a fenda ou fendas produtoras e as ultrapassa, como é o caso do exemplo ilustrado na própria figura 6. Quando a vazão inicial é menor ou pelo menos igual à capacidade de produção da fenda, existe certo equilíbrio no bombeamento e muitas vezes, em função do tempo de bombeamento, o nível nem chega a alcançar a fenda, como ilustrado na figura 7.

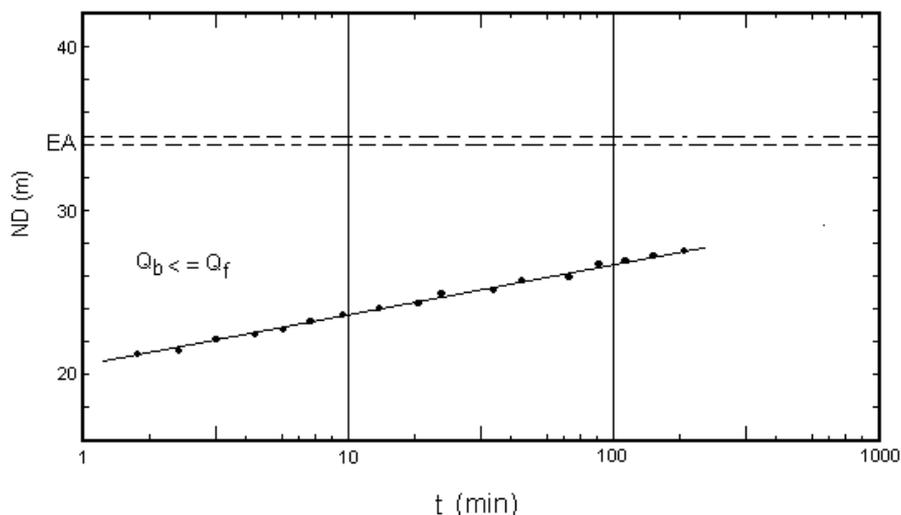


Figura 7 – Curva de rebaixamento X tempo para o mesmo poço da figura 6 bombeado durante o mesmo tempo com uma vazão inicial menor (FEITOSA, 1996).

Em função deste comportamento, é fundamental se ter uma idéia da capacidade de produção do poço antes de iniciar um teste de bombeamento, de forma a adequar a vazão do teste às condições do poço. Um bombeamento com vazão inicial muito alta pode levar a subestimar a real capacidade de produção de um poço, em função das perdas excessivamente altas. Em função disto, é necessário se fazer uma avaliação da capacidade de produção do poço, ainda durante a fase de perfuração, utilizando o próprio compressor da perfuratriz pneumática ou algum equipamento de bombeamento auxiliar.

Regime de Bombeamento e Rebaixamento Residual

Já foi observado, na prática, que um regime contínuo de bombeamento leva o poço à exaustão, ou seja, rebaixa o nível além da fenda de maior produtividade. Este fato ocorre mesmo em poços de alta produtividade, que aparentemente funcionam em regime de equilíbrio. Como exemplo, podemos citar um poço em Santo Antônio dos Camilos, Município de Meruoca, no estado do Ceará, que foi bombeado durante 89 horas consecutivas, tendo nas últimas 48 horas o nível permanecido praticamente estabilizado na altura da fenda produtora. Alguns minutos após as 89 horas de bombeamento houve um rompimento brusco do equilíbrio e o poço foi à exaustão. Com base neste fato, é fundamental se

estabelecer um regime diário de bombeamento para cada poço, em função de sua capacidade de produção e da demanda requerida. Na prática, não é aconselhável um bombeamento contínuo superior a 12 horas.

Outra questão de suma importância é o rebaixamento residual. Quando há uma quebra de estabilidade, rapidamente o nível é elevado até a posição da fenda de maior produtividade, porém, a partir daí a recuperação é muito lenta, como mostrado esquematicamente na figura 8. O poço de Santo Antônio dos Camilos levou praticamente três meses para voltar à sua situação original, ou seja, voltar para o NE antes de iniciar o bombeamento.

Os poços em operação guardam diariamente resíduos de rebaixamento, que gradativamente conduzem o nível estático para a posição da fenda de maior produtividade. Na instalação de equipamentos de bombeamento em poços no cristalino este comportamento deve ser observado, de forma que o crivo ou injetor seja colocado abaixo da entrada d'água mais produtora, minimizando assim os riscos de colapso.

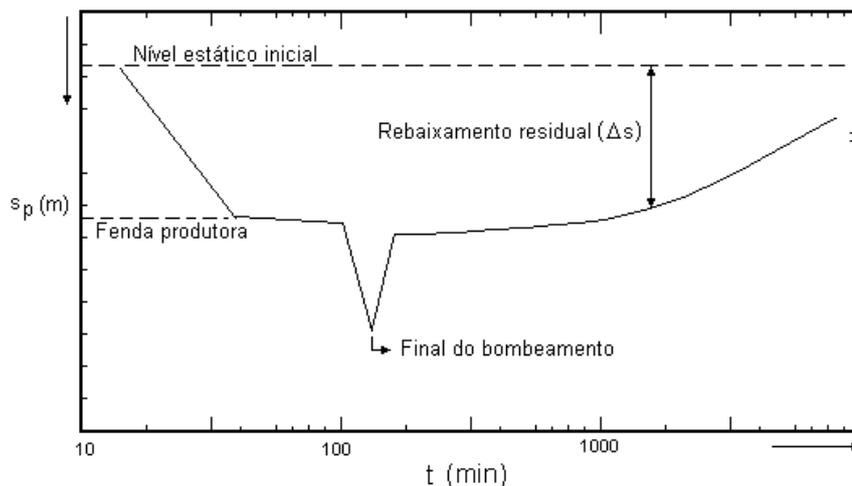
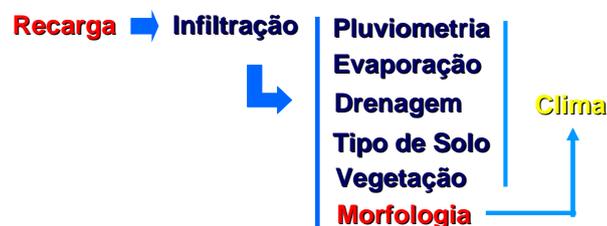


Figura 8 – Rebaixamento residual em poços no cristalino, mostrando a rápida elevação do nível da água para o nível da fenda produtora, quando há uma quebra de estabilidade (FEITOSA, 1996).

Aspectos Qualitativos

Nas rochas cristalinas, basicamente, a qualidade da água subterrânea está associada a três processos: tempo de residência, condições de fluxo e qualidade da água de recarga. O tempo de residência e as condições de fluxo, que controlam as condições de dissolução, estão associados diretamente com a geologia (litologia, estrutura e tectônica), enquanto que existe uma grande quantidade de variáveis que influenciam na qualidade da água de recarga. O esboço a seguir mostra, sinteticamente, estas variáveis e suas inter-relações:



Em resumo, pode-se dizer que a infiltração, condição básica para a existência de recarga, depende de inúmeros fatores (pluviometria, evaporação, drenagem, tipo de e espessura do solo, vegetação) relacionados com o CLIMA e que a morfologia condiciona este último. Portanto, a água de recarga (quantitativa e qualitativa) das rochas cristalinas guarda uma estreita relação com a morfologia. Tanto é que em regiões pediplanizadas, em geral, as águas subterrâneas das rochas cristalinas são muito salinizadas, enquanto que em zonas com relevo mais acidentado podem existir poços com água de melhor qualidade.

A questão do comportamento heterogêneo e anisotrópico na hidrogeologia dos meios fissurados está ligada diretamente à escala de observação. Na escala pontual, praticamente cada poço representa um “aquífero” diferente, ou melhor, um condutor hidráulico com características próprias. Como já discutido, as diferenças de produtividade e qualidade de água de poços muito próximos entre si, porém captando condutores hidráulicos diferentes, são, muitas vezes, surpreendentes. Sendo assim, não é consistente fazer regionalizações utilizando-se dados de poços em rochas cristalinas. Entretanto, para escalas pequenas ($\geq 1:1000.000$) talvez seja possível definir grandes áreas ou zonas que apresentem uma tendência em relação a um determinado parâmetro analisado.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) iniciou, em 1998, o Programa de Águas Subterrâneas para a Região Nordeste, dando prosseguimento aos estudos hidrogeológicos regionais paralisados desde a década de 1970. Dentre as linhas de ação, foi desenvolvido um grande projeto de cadastramento de poços que abrangeu na totalidade os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe e, parcialmente, os estados da Bahia e Minas Gerais (vale do Jequitinhonha). No âmbito deste projeto, duas informações coletadas *in loco* podem ser consideradas de extrema relevância: coordenadas (X, Y) e condutividade elétrica.

Na Figura 6 estão representados 18.600 valores de condutividade elétrica de águas de poços localizados no cristalino dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Os pontos estão distribuídos em três classes de valores de condutividade, escolhidos para expressar a qualidade em termos de água doce ($CE \leq 1.000 \mu\text{S/cm}$), salobra ($1.000 \mu\text{S/cm} < CE \leq 2.500 \mu\text{S/cm}$) e salgada ($CE > 2.500 \mu\text{S/cm}$).

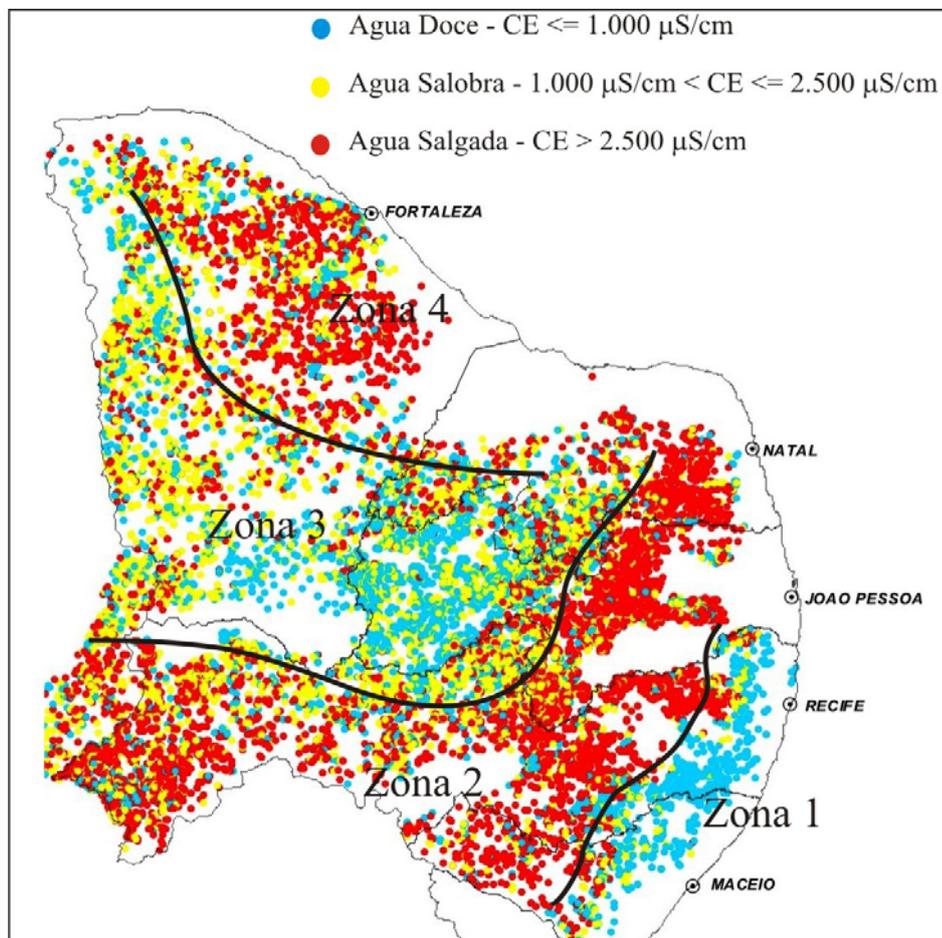


Figura 6 – Qualidade da água subterrânea no domínio das rochas cristalinas dos estados do CE, RN, PB, PE e AL. Representação de 18.600 valores de condutividade elétrica medidos *in loco* em poços tubulares (FEITOSA, 2008)

A observação desta figura permite verificar, com bastante nitidez, a existência de zonas com predominância de água salgada e zonas com predominância de água doce. É possível notar, também, que, aparentemente, a água classificada como salobra forma faixas de transição entre a água doce e a água salgada. Uma simples análise visual sugere a inferência de quatro grandes zonas, conforme discriminado a seguir:

Zona 1 – Predominância de Água Doce (Litoral Sudeste)

Zona 2 – Predominância de Água Salgada (Faixa Nordeste-Sudoeste)

Zona 3 – Predominância de Água Doce (Centro-Oeste)

Zona 4 – Predominância de Água Salgada (Norte-Noroeste)

Os condicionantes desta provável compartimentação ainda não são conhecidos e estão sendo estudados no âmbito de uma tese de doutorado, em desenvolvimento pelo autor na Universidade Federal de Pernambuco. Em primeira análise, existem algumas evidências sugestivas de uma boa correlação da qualidade da água com aspectos geomorfológicos e seus desdobramentos.

CONCLUSÕES

No aspecto quantitativo, qualquer tentativa de avaliação de reservas passaria muito perto da especulação. Entretanto, acredita-se que a quantidade de água que se pode extrair destas rochas seja suficiente para atender, pelo menos, parte da população difusa do semi-árido. Considerando a hipótese da existência de um poço em funcionamento a cada 5 km², teríamos a possibilidade de 120.000 poços captando o cristalino no Polígono das Secas. A distribuição de vazão de exploração dos poços no cristalino é log-normal, com a mediana oscilando entre 1 e 2 m³/h. Adotando-se o limite inferior da mediana, 1 m³/h, e um regime de bombeamento de 6/24 horas (considerado baixo), a quantidade de água diária produzida seria de 720 milhões de litros/dia, o que daria para atender 3,6 milhões de pessoas a uma taxa de 200 litros/habitante/dia. A questão é que segundo estatística obtida no Programa de Cadastramento de Poços do Serviço Geológico do Brasil, o percentual de água doce (dentro dos limites de potabilidade) das rochas cristalinas nesta região seria de apenas 20 a 30%. Este fato reduziria significativamente a produção de água que poderia ser utilizada para uso primário sem processos de dessalinização. Portanto, o grande fator limitador para utilização da água subterrânea das rochas cristalinas é a qualidade, que é condicionada pelas condições climáticas regionais.

A locação de poços orientada para áreas com tendência de água de melhor qualidade pode até vir a diminuir os índices de salinização, mas é notório que a utilização racional desses recursos está associada a programas eficientes e permanentes de dessalinização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, W. D. - Análise dos Fatores que Atuam no Aquífero Fissural – Área Piloto dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Tese de Doutorado, USP, SP, 1986.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - Cadastramento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea em parte do Semi-Árido. MME/PRODEEM/CPRM Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos dos Estados do CE, RN, PB e PE. Fortaleza, 1998; Recife, 2004.

CRUZ, W. B. da - Estudo geoquímico preliminar das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil. SUDENE, Série Hidrogeologia No 8, Recife, 1972.

FEITOSA, E. C. - Caracterização de Zonas Fendilhadas no Cristalino através do Método Geofísico de Eletroresistividade - Alagoinha/PE. Relatório Técnico Inédito, EMATER-PE/LABHID-UFPE Recife, 1994.

FEITOSA, E. C. & MELO, J. G. de - Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. Hidrogeologia. LABHID/HIDROSERVICE, Recife, 1998

FEITOSA, F. A. C. – Testes de Bombeamento em Poços Tubulares. Apostila de Curso, Inédito. ABAS/DNPM. Fortaleza, 1996.

FEITOSA, F. A. C. Compartimentação qualitativa das águas subterrâneas das rochas cristalinas do Nordeste oriental. UFPE, Proposta de Tese de Doutorado, 2008.

FEITOSA, F. A. C.; SOUZA FILHO O. A.; VIEIRA, A. T.; VASCONCELOS, S. M. S. - Caracterização Hidrogeológica da Região de Irauçuba/CE. III Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste, Anais. ABAS Núcleo PE. Recife, 1998.

FEITOSA, F. A. C. & VIDAL, C. Estudos hidrogeológicos de bacias Sedimentares da região semiárida do Nordeste brasileiro. Proposta. Fortaleza: CPRM, 2004. 85 p. Circulação Restrita. Fortaleza, 2004.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3ª Edição Revisada e Ampliada. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 812 p.

FRACALLOSSI JUNIOR, M. Aspectos da Hidrogeologia num Enclave Úmido do Semi-Árido Nordestino: Serra de Baturité – Ceará – Brasil. In: 1st Joint World Congress on Groundwater, Fortaleza, 2000, CD-Rom, 18p.

MANOEL FILHO, J. – A Gestão da Água Subterrânea na Região Cristalina Semi-Árida do Nordeste Brasileiro, Seminário. USP, SP Circulação Restrita. São Paulo, 1994.

MANOEL FILHO, J. – Modelo de Dimensão Fractal para Avaliação de Parâmetros Hidráulicos em Meio Fissural, Tese de Doutorado, USP, SP. São Paulo, 1996.

MELO, J. G. de.; OLIVEIRA, J. A. de.; LOPES, V. L. & D. FILHO, J. B. Fatores Climáticos e Geoestruturais afetando os Recursos hídricos superficiais e subterrâneos na região a Oeste de Touros. RN. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis, 2002, CD-ROM, 16p.

MÖBUS, G.; SILVA, C. M. S. V.; FEITOSA, F. A. C. Perfil estatístico de poços no cristalino cearense. III Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste. Recife, 1998, Anais.

RIBEIRO, J. A. & FEITOSA, F. A. C. Ocorrência de água subterrânea em rochas cristalinas - Região de Irauçuba, CE. Fortaleza: CPRM, 2000. Relatório Inédito.

RIBEIRO, J. A.; FEITOSA, F. A. C.; OLIVEIRA, J. F. de; SOUZA FILHO, O. A. de; FEITOSA, E. C. - Zonas (Eixos) Condutivas em Rochas Cristalinas na Região de Irauçuba, Norte do Estado do Ceará, Brasil. Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, N. 17, p. 113-124. São Paulo, 2003.

SANTIAGO, M. M. F.; FRISCHKORN, H. & MENDES FILHO, J. Mecanismos de Salinização em Águas do Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí. In: 1st Joint World Congress on Groundwater, Fortaleza, 2000, CD-Rom, 16p.

SOUZA FILHO, A. O. de.; VERÍSSIMO, L. S. & FEITOSA, F. A. C. Dados Lito-Estruturais e Hidrogeológicos da Área de Detalhe de Juá - Município de Irauçuba – Estado do Ceará – Brasil. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis, 2002, CD-Rom, 16p.

VERÍSSIMO, L. S. & FEITOSA, F. A. C. Aspectos Qualitativos das Águas Subterrâneas da Região de Irauçuba, Norte do Estado do Ceará. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis, 2002, CD-Rom, 13p.