

ASPECTOS DA HIDROGEOLOGIA NUM ENCLAVE ÚMIDO DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO: SERRA DE BATURITÉ-CEARÁ-BRASIL

Mário Fracalossi Júnior¹

Resumo - No interior do Estado do Ceará, praticamente metade da população urbana é abastecida por água subterrânea. No entanto, os sistemas de abastecimento d'água são supridos, na sua maioria, por poços perfurados em rochas sedimentares ou em sedimentos rasos de Dunas ou Aluviões. Na Serra de Baturité, no entanto, todas as sedes, com exceção de Baturité, são atendidas por água subterrânea a partir de poços perfurados em rochas cristalinas. Este fato concorreu para que fosse dedicada atenção especial para um estudo integrado das características produtivas dos poços e da respectiva qualidade da água. Um aspecto interessante a observar e a analisar diz respeito exatamente à qualidade da água desses poços, invariavelmente apropriada ao consumo humano, contrariando a expectativa de grande parte do Cristalino da Região Semi-Árida Nordeste que detém água com salinidade elevada.

Neste trabalho está sendo contemplado uma análise preliminar da situação do abastecimento público por água subterrânea das cidades de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu, Pacoti e Palmácia. Vale destacar que Baturité assolada pelo período de estiagem de 1998 e 1999 e que perdurou até Fevereiro de 2000, teve seu abastecimento atendido parcialmente por poços no Cristalino, perfurados no âmbito do *Programa de reforço de mananciais para sedes municipais*, como alternativa para minimizar o problema de falta d'água.

A Serra de Baturité é conhecida como uma importante região de produção agrícola e de concentração demográfica do Estado do Ceará. As altitudes elevadas, de 600 a 1100 metros, a pluviometria com média anual acima de 1100 mm e temperaturas médias em torno de 20 a 22°C favorecem a atividade agrícola e configuram uma parcela territorial de exceção no contexto semi-árido cearense. (Ceará/Semace 1992).

¹ Geólogo da CAGECE, Mestrando em Hidrogeologia na UFC. Rua José Vilar, 3005 CEP 60.125.001 Fortaleza – Ceará - Brasil fone: 0xx 55 85 247 2444. E-mail: mario@cagece.com.br

1. ASPECTOS GERAIS DA REGIÃO

A área de estudo totaliza 862 Km² e está localizada na Serra de Baturité, a 90Km de Fortaleza (Figura 1), com coordenadas UTM extremas de 532.286E e 487.532E e 9.548.567N e 9.502.724N.

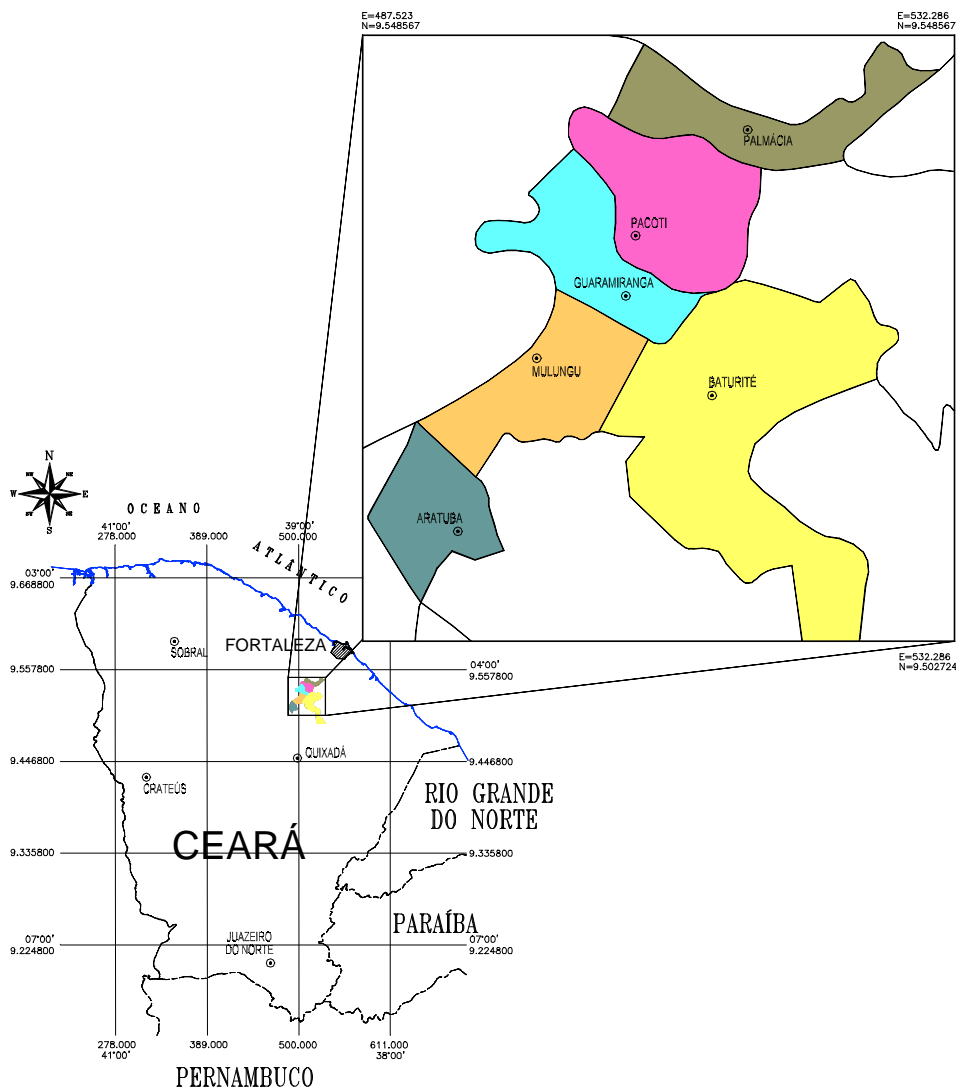


Figura 1 Localização da Área

Sob o aspecto geográfico e ecológico, a região representa um enclave úmido de floresta serrana no contexto semi-árido do Estado do Ceará. A incidência de pluviosidade elevada, permite incluí-la como um das regiões de maior índice pluviométrico do Estado do Ceará em que o clima regional é marcado pela semi-aridez. Esse fato decorre da ação combinada da altitude e da exposição do relevo face aos deslocamentos de massas de ar úmido. Estas condições climáticas têm reflexos diretos nas características hidrológicas superficiais, bem como nos demais atributos naturais que caracterizam a região.

2. ASPECTOS CLIMÁTICOS

PLUVIOMETRIA

A distribuição das chuvas na região, conforme dados contidos na Tabela e no Gráfico das Normais Mensais (Figura 2), evidenciam claramente duas estações: uma chuvosa de janeiro a junho e outra seca de julho a dezembro. A estação chuvosa detém 85% das precipitações anuais, com mínima mensal de 80mm, máxima de 362mm e média mensal de 203mm. A estação seca detém precipitações mínima mensal de 9,5 mm, máxima de 119mm e média mensal de 37mm

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	TOTAL
ARATUBA (SEDE)	116,30	188,90	310,50	362,50	308,40	190,80	119,30	34,10	18,40	19,80	24,40	59,70	1.753,10
BATURITE (SEDE)	90,70	148,30	240,60	224,80	172,20	87,20	39,90	13,50	9,50	13,50	13,80	35,70	1.089,70
GUARAMIRANGA (SEDE)	137,40	210,00	331,00	330,40	255,90	156,70	99,80	43,00	37,90	39,50	37,80	58,10	1.737,50
MULUNGU (SEDE)	80,00	136,30	222,40	248,70	170,60	108,30	56,30	24,50	11,80	13,40	14,40	32,80	1.119,50
PACOTI (SEDE)	128,10	194,50	308,70	280,80	235,60	140,40	85,90	35,00	27,50	33,50	32,80	55,30	1.558,10
PALMACIA (SEDE)	115,70	185,60	306,80	294,50	198,70	102,70	63,40	15,30	18,10	20,40	18,30	47,10	1.386,60
medias	111,37	177,27	286,67	290,28	223,57	131,02	77,43	27,57	20,53	23,35	23,58	48,12	1.440,75

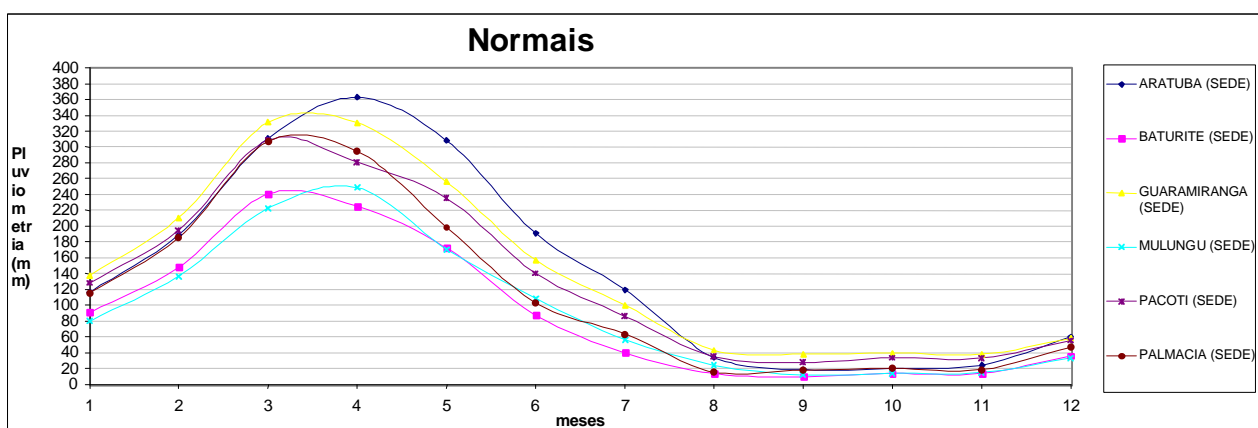


Figura 2 Normais mensais (Fonte: SUDENE)

Apesar da irregularidade das chuvas, a região apresenta um dos maiores índices pluviométricos do Estado do Ceará (Figura 3) com média anual de 1441 mm, chegando a 1753 mm no posto de Aratuba.

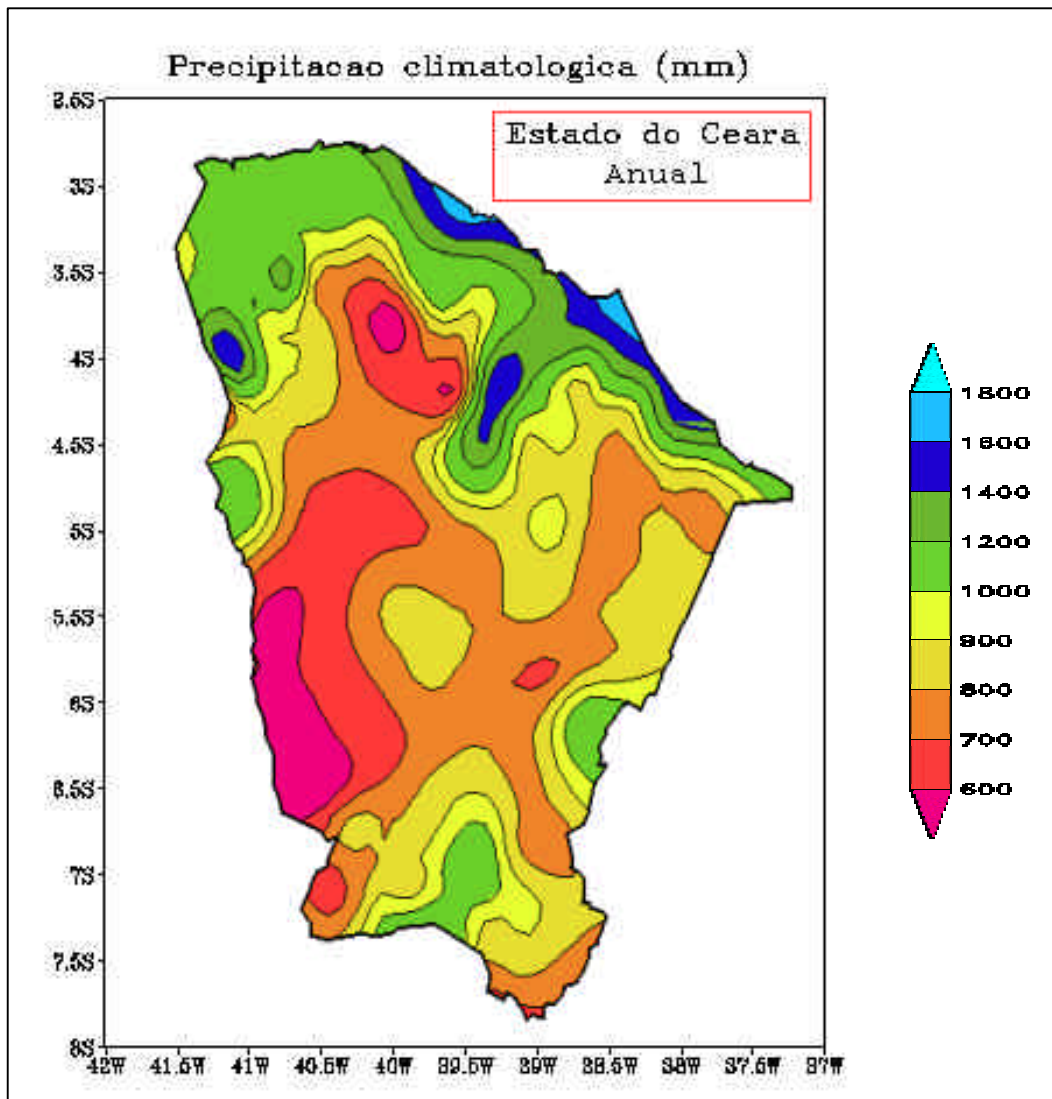


Figura 3 Precipitação climatológica do Estado do Ceará (Fonte: Funceme)

TEMPERATURA

A Serra de Baturité caracterizada pelas altas altitudes (ARATUBA 800m, BATURITÉ 127 A 170m, GUARAMIRANGA 890m, MULUNGU 865m, PACOTI 758m E PALMÁCIA 425m), que podem chegar a até 1.114m no Pico Alto, favorece o desenvolvimento de um clima com temperaturas mais amenas, contrapondo-se ao tórrido calor da Depressão Sertaneja. As variações térmicas ao longo do ano são insignificantes, ficando na faixa média dos 20 ° aos 22 ° C. Na estação seca a sensação de calor é maior devido aos efeitos mais pronunciados da insolação.

CLASSIFICAÇÃO

O clima da região pode ser enquadrado nas seguintes classificações climáticas:

- Tipo mesotérmico a megatérmico, segundo o sistema de THORNTHWAITE (1944) em função do índice de umidade e altitude.
- Tipo AW', segundo KÖPPEN (1948), caracterizado como clima quente e úmido com chuvas de verão e precipitações máximas no outono.
- Sub-domínios úmido (três meses secos) e semi-úmidos (quatro a cinco meses secos), segundo NIMER (1979).

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS

Geologicamente a região está condicionada ao denominado Complexo Nordeste (RADAMBRASIL 1981), posicionado estratigraficamente no pré-Cambriano como substrato das seqüências supracrustais. Está representado por uma ampla e complexa associação de rochas, predominando os migmatitos, gnaisses, gnaisses migmatizados, granitóides, quartzitos, calcários cristalinos e rochas calciossilicatadas. A grande variedade de rochas que constituem o Complexo Nordeste é resultante do metamorfismo regional.

De modo genérico a constituição litológica da Serra de Baturité representa o fator básico para explicar a sua expressão topográfica com altitudes superiores a 600 metros. Trata-se de um maciço residual derivado da ação seletiva da erosão diferencial. As rochas que o compõem, apresentaram maior resistência comparativamente ao litotipos que afloram na Depressão Sertaneja.

As rochas de composição quartzo-feldspática, contendo ainda, biotita, hornblenda, granada e moscovita, representam a extensa seqüência de gnaisses, migmatitos e granitóides, no entanto, lentes de quartzito podem ser observadas ao longo da faixa que se estende ao sul de Baturité até o nordeste de Redenção, cujas variações composicionais das rochas, as enquadram como quartzitos quase puros, moscovita quartzitos e feldspato-moscovita quartzitos. E também os calcários cristalinos ocorrem como intercalações dentro da seqüência gnáissica, circundando o maciço de Baturité.

Os denominados Planaltos Residuais, formados de relevos isolados e intensamente dissecados, tem cotas na faixa de 600 a 900 metros, como na região em questão. A água caracteriza-se por um forte escoamento superficial, evapotranspiração média e infiltração reduzida dependendo das condições de fraturamento das rochas. Trata-se de um enclave de floresta serrana inserido no domínio morfoclimático semi-árido (AB'SABER 1970) e, por isso, a região é submetida aos processos desencadeados por topoclimas úmidos.

O Maciço de Baturité está inserido no domínio dos Escudos e Maciços Antigos compostos de litotipos datados do pré-Cambriano (Souza, 1988). Trata-se de um maciço residual disposto em posição NE-SW. Suas características geomorfológicas estão

subordinadas às influências litológicas e estruturas pretéritas aos mecanismos de flutuações climáticas Cenozóicas e aos processos morfodinâmicos atuais.

4. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

GENERALIDADES

Neste trabalho serão abordados alguns aspectos sobre o aproveitamento de águas subterrâneas no Domínio Cristalino, ou seja, das águas subterrâneas armazenadas em zonas de descontinuidades das rochas cristalinas que ocorrem na Serra de Baturité e que são exploradas a partir de poços ou surgências.

O aproveitamento de poços no cristalino na região semi-árida do Brasil vem sendo feita desde o início do século com a criação do IOCS, em vista da necessidade cada vez maior de se buscar alternativas para abastecimento de populações e rebanhos. A dificuldade para obtenção de poços produtivos sempre foi e continua sendo a identificação prévia de zonas de descontinuidades e se elas têm possibilidade de produzir água em quantidade suficiente para atender à demanda e com qualidade adequada. Isto faz com que o Domínio Cristalino seja classificado como um *ser temperamental*, sendo encarado com desconfiança quanto à sua capacidade de produção.

Ao tratar do aproveitamento das rochas cristalinas como unidades geológicas fornecedoras de água, recai-se num problema de definição do termo mais apropriado para denominá-las hidrogeologicamente. A utilização do termo aquífero pode ser aplicada como uma forma genérica para referir-se ao meio cristalino como unidade produtora de água. No entanto, GUSTAFSON E KRÁSNÝ 1994, (*apud* MANOEL F^o 1996), consideram que muitos termos e conceitos normalmente empregados na hidrogeologia deveriam ser revisados ou modificados, no caso dos meios muito heterogêneos e descontínuos. O termo *aquífero*, por exemplo, aplicado às rochas cristalinas fraturadas, deveria ser substituído pela denominação *condutor hidráulico* (MANOEL F^o 1996),.

A denominação *condutor hidráulico* (GUSTAFSON E KRÁSNÝ 1994, *apud* MANOEL F^o 1996), foi definida para o sistema " poço + blocos da matriz rochosa + fendas associadas + manto de cobertura". Há de se convir que essa denominação é mais apropriada do que o termo aquífero, para descrever o reservatório subterrâneo conectado com o poço através da superfície de controle (parede do poço) criada pela perfuração no maciço rochoso fraturado. A transitividade do referido sistema pode ser identificada através de testes de bombeamento, independente de ser este condutor constituído por uma única fratura ou por uma rede de fraturas.

MANOEL F^o 1996 considera que a denominação aquífero fraturado, ou aquífero fissural de COSTA (1986), se aplica globalmente, a nível regional, ao reservatório de água subterrânea existente em uma formação de rochas ígneas ou de metamórficas do embasamento cristalino, a exemplo do que acontece com a denominação aquífero cárstico, que se aplica sem contestação aos reservatórios subterrâneos encontrados nas rochas carbonáticas. Define também que quando um poço perfurado nesse aquífero não intercepta qualquer fenda produtora, ou quando nenhuma entrada de água acontece durante a perfuração, os parâmetros do condutor hidráulico são nulos. Mas nem por isso o aquífero deixa de existir e nem se pode dizer que sejam nulas as suas propriedades hidráulicas naquele ponto, uma vez que o simples aprofundamento do poço pode produzir um condutor hidráulico com parâmetros diferentes de zero. Ou seja, ocorrendo uma ou mais fendas produtoras de água, o conjunto *poço-fendas* passa a constituir um condutor hidráulico. O poço que, por hipótese, nunca poderá penetrar totalmente o aquífero, define uma superfície elementar de controle, considerada como representativa do domínio em relação ao qual podem ser feitas as análises dos testes dos condutores hidráulicos e identificados os parâmetros hidráulicos correspondentes.

Finalizando MANOEL F^o (1996), entende que a capacidade de transmissão de água, deduzida de um teste de bombeamento em um poço, não pode ser considerada como uma característica do aquífero fissural, mas tão somente do condutor hidráulico. Isto porque, não se admite a hipótese de poço totalmente penetrante no aquífero fissural e em um mesmo ponto podem ser construídos vários condutores hidráulicos. Os parâmetros do condutor hidráulico, deduzidos do teste, como por exemplo a transmissividade, a condutividade hidráulica, a porosidade e a abertura média das fendas têm, portanto, um significado que se restringe ao próprio poço, sendo que a base do condutor hidráulico é definida pela fenda produtora mais profunda conectada com o poço.

Com base no exposto, MANOEL F^o (1996) desenvolveu uma metodologia denominada de *Método da capacidade específica fractal*, em que é possível avaliar a magnitude do fluxo uniforme equivalente para o poço, a partir de testes de bombeamento sob condições de fluxo variável e, as propriedades físicas de transmissão e de armazenamento do condutor hidráulico representado pelo conjunto poço-fendas-blocos associados. O resultado deste trabalho permitiu estabelecer os seguintes valores para o conjunto de poços analisados nos Estados do Ceará, Paraíba, Rio Grande do Norte e Bahia (Quadro 1).

Quadro 1 Parâmetros físicos dos condutores hidráulicos (MANOEL F ° 1996)

	Litologia	Transmissividade ($\times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$)	Coefficiente de armazenamento (%)	Abertura média das fraturas (mm)	Porosidade total (%)
Ceará	Granito	1,46 a 77,20	0,03 a 1,30	0,17 a 0,44	0,0022 a 0,2800
R.G. do Norte	Gnaisses	3,60 a 291,00	0,03 a 7,00	0,10 a 0,70	0,0004 a 0,0076
	Micaxistos	6,10 a 111,00	0,15 a 2,40		
	Granitos	1,70 a 25,60	0,004 a 0,60		
Paraíba	Filitos	13,70 a 152,00	0,03 a 3,60		0,0004 A 0,2860
	Micaxistos	3,20 a 16,10	0,03 a 0,09		
	Migmatitos	0,80 a 71,00	0,008 a 17,00		
	Granitos	3,10 a 731,00	0,01 a 1,10		
Bahia	Pegmatitos	3,10 a 24,60	0,004 a 9,4	0,15 a 0,63	0 0005 a 0,0030
	Cristalino ind.	3,10 a 230,00			

Uma forma de comparar a potencialidade do Domínio Cristalino em relação a outros aquíferos pode ser feita utilizando a *produtividade de aquífero* (Quadro 2), denominação introduzida por MENTE & MONT'ALVERNE (1982), no mapa hidrogeológico do Brasil, na escala de 1:5.000.000, como um indicador da *importância hidrogeológica relativa* dos diferentes aquíferos do país. Corresponde à capacidade específica de poços para rebaixamento de cerca de 25 metros. MANOEL F ° (1996) ressalva, no entanto, que a capacidade específica de poços é um parâmetro temporal e, por isto, deveria ser referido ao tempo, fato que quase nunca é feito.

Quadro 2 Classificação de produtividade de aquífero no Brasil (MENTE & MONT'ALVERNE 1982)

Produtividade de aquífero	Faixa de capacidade específica para rebaixamento de 25 metros ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$)	Faixa de vazão (m^3/h)
Muito elevada	$y > 4$	$Q > 100$
Média a elevada	$1 > y \leq 4$	$25 < Q \leq 100$
Fraca a média	$0,1 < y \leq 1$	$2,5 < Q \leq 25$
Muito fraca	$y < 0,1$	$Q < 2,5$

Para os poços estudados na Serra de Baturité, a *produtividade de aquífero* mais freqüente se classifica como fraca a média (entre 2,5 e 25 m^3/h) em 60% dos poços e muito fraca (abaixo de 2,5 m^3/h) em 40% dos poços.

MÉTODO DE PESQUISA

Definir critérios de locação e de construção de poços é uma tarefa muito importante no planejamento para aproveitamento de água subterrânea no Cristalino. Neste domínio o armazenamento da água subterrânea está condicionado às zonas de descontinuidades (estruturas rúpteis), sendo a porosidade primária praticamente nula. Cerca de 110.000 Km² ou 75% da área do Estado do Ceará são representados por uma variadíssima gama de rochas cristalofílicas (Figura 4).

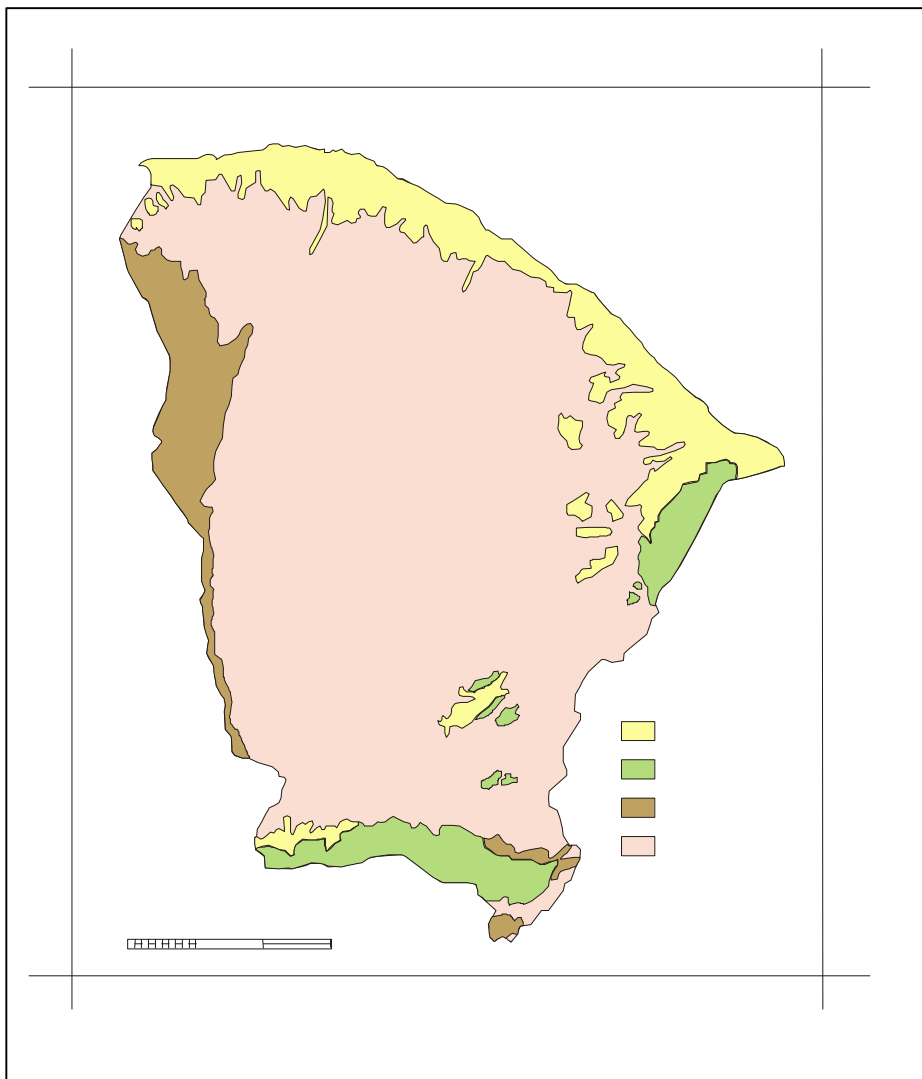


Figura 4 – Esboço Geológico do Ceará (Fone: CPRM, 1998)

Na Serra de Baturité há uma predominância de praticamente 100% dessas rochas, ficando uma pequena parcela restrita às coberturas aluviais relacionadas aos depósitos de origem fluvial depositados ao longo de pequenos riachos, que não serão tratados neste trabalho.

O sucesso no aproveitamento do Domínio Cristalino como aquífero, depende fundamentalmente do conhecimento da geotectônica da região, notadamente quanto à natureza e intensidade das estruturas do tipo rúptil. Secundariamente, o tipo de rocha também interfere na produção, haja vista que a granulometria e o tipo de minerais constituintes possibilitam desenvolver foliação proeminente, como no caso dos micaxistos, ou um aspecto isotrópico, como nos granitos. É discutível, no entanto, a importância do relevo como parâmetro contribuinte à produção do poço, como visto na, em que os dois poços estão em cotas muito diferentes, mas tem a mesma ordem de grandeza de vazão.

Contra-pondo-se aos sistemas aquíferos sedimentares, nos quais se faz presente uma certa homogeneidade física, o Domínio Cristalino, se constitui em um meio de condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas.

O comportamento hidráulico das rochas fraturadas é diferente dos aquíferos porosos, já que nestes a vazão tende a crescer proporcionalmente à espessura do aquífero. No Cristalino, a vazão é função unicamente das características de cada zona fraturada e cada uma delas tem características distintas relativamente à produtividade de água e, por isto, o parâmetro profundidade do poço não exerce influência direta na vazão do poço. É fundamental, no entanto, a definição da entrada d'água mais profunda do poço, pois, a partir de então, a profundidade do poço não tem mais razão de ser. Nos aquíferos porosos é prudente que se atravesse totalmente o aquífero captado, de forma a diminuir os efeitos de perdas por penetração parcial. No caso dos aquíferos fraturados, não existe o conceito de poço totalmente penetrante, pois sempre haverá a incerteza de uma nova zona produtora a uma profundidade maior.

Estas informações são fundamentais para que haja um entendimento da complexidade do dimensionamento de unidades de captação no Meio Cristalino, notadamente quando é preciso definir regimes de bombeamento diários de longa duração, como no caso de sistemas de abastecimento d'água.

Os métodos geofísicos de locação que estão *disponíveis no mercado* – eletrorresistividade e VLF (Very Low Frequency) não têm mostrado um nível de acerto compatível com o investimento realizado. Os resultados obtidos com a aplicação de ambas as ferramentas deixam muita incerteza quanto ao sucesso da perfuração de poços. Não faz sentido, por exemplo utilizar a geofísica para obter poços com vazão inferior a 1.000 L/h, pois com a análise de aerofotos, ferramenta imprescindível para este tipo de trabalho, pode-se eliminar as áreas menos favoráveis. A questão e o desafio são de obter poços com vazões acima da média, ou seja, com vazões superiores a 2.000 L/h.

Uma análise mais acurada do custo-benefício obtido pela aplicação de métodos geofísicos pode levar à sua inviabilização. Por outro lado, os resultados aleatórios obtidos pela geofísica podem estar relacionados à falta de critério dos trabalhos de campo aliado à restrição da sua aplicabilidade, ou seja, os métodos não permitem caracterizar zonas de descontinuidade preenchidas com água doce.

Diante da dificuldade em localizar poços no Cristalino, resta definir uma metodologia que assegure o máximo de eficiência na sua construção. O método de perfuração mais econômico e mais apropriado tecnicamente é o roto-pneumático, pois o tempo reduzido para perfuração do poço e a opção de estimar a vazão de produção das fendas produtoras durante o avanço da perfuração, conduz a um resultado mais satisfatório quando comparado ao método percussivo. Para executar a perfuração, o diâmetro recomendado é de, no mínimo 8" na parte superior inconsolidada, reduzindo para o diâmetro de 6" no momento em que se atinge a rocha sã. Deve-se atentar para o fato de que o avanço da perfuração desgasta o bit e, isso deve ser avaliado com certo critério de forma a não comprometer o diâmetro final do poço. Existem inúmeros casos de poços ovalados e com diâmetro ligeiramente menor que 6", o que tem dificultado e até inviabilizado a instalação de equipamentos de bombeamento. A amostragem de calha deve ser feita a cada metro perfurado ou a cada mudança de litologia, não esquecendo de registrar os trechos em que há fraturamento, principalmente se houver produção de água. Neste caso deve ser medida a vazão na calha e se possível medir a condutividade elétrica da água.

O desenvolvimento dos poços deve ser conduzido imediatamente após a conclusão da perfuração com o método de *air lift* e realizado com um tempo suficiente alternando os procedimentos de descarga e reversão (*fervura do poço*). O poço pode ser considerado desenvolvido quando após um processo de descarga e reversão não houver produção de material em suspensão.

Concluída a etapa de desenvolvimento, o poço está apto a ser testado. De posse dos dados construtivos e dos dados hidráulicos preliminares obtidos, são dimensionadas as, pelo menos duas, etapas de testes. A proposta do teste é produzir o rebaixamento do nível da água até que este atinja a fenda produtora mais profunda do poço, pois a partir desse nível não tem mais sentido continuar o teste, visto que a produção do poço está restrita à água que entra pelas zonas de descontinuidade (fendas, fraturas), sendo desprezível a contribuição da matriz rochosa.

RESULTADOS OBTIDOS

Para atendimento do abastecimento público de água das cidades da Serra de Baturité, a CAGECE conta com o aproveitamento de poços perfurados no cristalino, com vazões que variam de 1,3 a 20 m³/h. No Quadro 3 estão discriminadas as características principais dos poços, individualizados por cidade. São 3 poços e uma fonte em Aratuba, 1 poço em Guaramiranga, 4 poços em Mulungu, 5 poços em Pacoti e 3 poços e uma fonte em Palmácia. Visto que a Barragem Tijuquinha que abastece a cidade de Baturité, secou em dezembro de 98, foram colocados em operação, em Fevereiro de 99, 18 poços antigos para atendimento emergencial da cidade. Além desses, foram perfurados mais 13 poços pela CAGECE, sendo que somente 7 desses poços apresentaram resultados satisfatórios. Os outros 5 poços foram considerados improdutivos, sendo que dois deles apresentaram vazões de 0,2 e 0,7 m³/h.

As informações do Quadro 3 tem caráter unicamente informativo, ou seja, os poços são considerados como condutores hidráulicos (MANOEL F^o 1996) e, por isso, seus dados não podem ser extrapolados para fins estatísticos. Não tem sentido, por exemplo fazer média de profundidades ou de vazões, pois o nível de dispersão é muito grande que não permite definir a esperança de um evento futuro.

Quadro 3 Características dos poços

Cidade	Poço	Empresa Perfuração	Litologia	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Vazão (m ³ /h)	Fraturas produtoras					
								1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	4 ^a .		
Aratuba	PT-01	PHD	Gnaisse	60,00	1,60	24,00	4,40	26,0	30,0				
Aratuba	PT-02	Terra	Gnaisse	66,00	2,00	39,00	4,80	4,0					
Aratuba	Fonte		Gnaisse	1,00	0,00	0,10	3,00						
Aratuba	PT-03	Terra	Gnaisse	132,00	5,85	35,00	15,00	36,0		48,0	54,0	102,0	
Baturité	PT-01	Iguaçu	Gnaisse	78,00	5,40	43,00	4,00	6,0	8,0	48,0			
Baturité	PT-02	Iguaçu	Gnaisse	72,00	2,85		seco						
Baturité	PT-03	Iguaçu	Gnaisse	72,00	5,00		seco						
Baturité	PT-04	Iguaçu	Gnaisse	60,00	6,50		seco						
Baturité	PT-05	Iguaçu	Gnaisse	66,00	2,50		seco						
Baturité	PT-06	Iguaçu	Gnaisse	42,00	7,00	31,00	16,00	7,0	12,0	36,0			
Baturité	PT-07	Iguaçu	Gnaisse	66,00	1,60		0,70						
Baturité	PT-08	Iguaçu	Gnaisse	66,00	6,00	43,00	1,30	7,2	11,2	48,0			
Baturité	PT-09	Iguaçu	Gnaisse	60,00	2,52		seco						
Baturité	PT-10	Iguaçu	Gnaisse	66,00	10,30	58,00	12,00	63,0					
Baturité	PT-11	Iguaçu	Gnaisse	60,00	10,00	33,00	3,50	36,0					
Baturité	PT-12	Iguaçu	Gnaisse	72,00	11,00	23,00	0,20	23,0					
Baturité	PT-13	Iguaçu	Gnaisse	72,00	16,80	43,00	13,00	62,0					
Guaramiranga	PT-01	Terra	Gnaisse	60,00	2,20	6,00	18,00	7,0					
Mulungu	PT-01	Oásis	Quartzito	60,00	1,50	22,00	4,00						
Mulungu	PT-02	Oásis	Quartzito	57,00	3,00	39,00	5,00						
Mulungu	PT-03	Iguaçu	Quartzito	60,00	3,60	46,00	4,00	48,0					
Mulungu	PT-04	Iguaçu	Quartzito	72,00	4,00	48,00	15,00	64,0					
Pacoti	PT-01	Iguaçu	Xisto	72,00	6,30	18,00	2,20	20,0					
Pacoti	PT-01/99	Iguaçu	Xisto	72,00	6,30	18,00	2,20	20,0					
Pacoti	PT-02	Iguaçu	Xisto	84,00			0,40						
Pacoti	PT-02/99	Iguaçu	Xisto	72,00	6,30	18,00	2,20	20,0					
Pacoti	PT-03	Iguaçu	Xisto	72,00	19,00	50,00	1,30	54,0					
Pacoti	PT-01	Terra	Xisto	96,00	2,55	60,00	6,90	63,0					
Palmácia	Fonte		Quartzito	1,00	0,00	0,10	3,00						
Palmácia	PT-01	Iguaçu	Quartzito	42,00	5,80	22,00	1,50	18,0					
Palmácia	PT-02	Iguaçu	Quartzito	42,00	5,90	24,00	3,00	24,0					
Palmácia	PT-03	Iguaçu	Quartzito	42,00	15,60	24,00	2,50	20,0					

A qualidade da água dos poços é adequada aos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, conforme determina a Portaria n^o 36 de 19/01/90. Restrição se faz a alguns poços construídos em Baturité que são utilizados como chafarizes e para abastecer carros-pipa. No Quadro 4 estão sintetizados os resultados das análises físico-químicas realizadas pelo Laboratório Central da CAGECE de alguns dos poços estudados.

O fato de predominarem águas de baixa salinidade pode estar relacionado a alta taxa pluviométrica anual da região, favorecendo a lixiviação de sais de superfície permitindo a recarga do meio fraturado sem o aporte dos sais que precipitam na superfície, como ocorre na região do Sertão semi-árido.

Quadro 4 Hidroquímica dos poços

data	Município	Local	pH	dureza	Cond.	STD	Cátions (mg/L)						Anions (mg/L)				Erro (%)
							Fe _{tot}	Mn ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	
Jul/98	Aratuba	PT-03	6,24	181,00	564,00	293,00	0,09	0,08	40,60	11,80	28,80	26,10	80,00	13,55	70,00	26,50	0,85
Jul/98	Aratuba	PT-02	7,01	112,00	387,00	201,00	0,20	0,06	30,70	5,60	35,00	6,00	110,00	11,32	34,00	2,58	-1,94
Jan/99	Baturité	PT-10	6,91	190,00	904,00	470,00	0,14	0,08	79,70	23,00	27,20	29,30	128,00	84,92	68,00	41,37	8,09
Out/98	Baturité	PT-01	6,95	71,00	277,00	144,00	1,50	0,18	20,70	3,40	18,00	10,80	71,00	10,60	30,00	3,17	-1,13
Jan/99	Baturité	PT-06	7,01	1245,00	4.910,00	2.553,00	0,41	0,39	324,00	8,30	234,00	158,40	191,00	112,85	976,00	18,01	-5,44
Jan/99	Baturité	PT-08	7,04	371,00	1.455,00	757,00	0,18	0,31	111,50	14,20	49,60	59,30	131,00	50,56	260,00	58,00	9,32
Jan/99	Baturité	PT-01	7,26	105,00	383,00	199,00	0,83	0,10	44,20	3,10	24,80	10,30	92,00	15,13	47,00	16,69	6,68
Dez/98	Baturité	PT-06	7,92	860,00	3.881,00	2.018,00	0,24	0,09	251,00	8,90	254,00	54,00	174,00	30,80	898,00	22,16	4,67
Dez/98	Baturité	PT-10	8,05	148,00	622,00	323,00	0,13	0,10	49,00	29,10	25,20	20,40	75,00	37,20	82,00	30,27	7,46
Dez/98	Baturité	PT-08	8,17	450,00	1.960,00	1.019,00	0,06	0,03	151,50	7,80	84,00	57,60	140,00	28,20	410,00	2,58	-1,89
Jul/98	Guaramiranga	PT-01	6,50	23,00	106,00	55,00	0,02	0,01	13,50	1,90	4,00	3,12	14,00	6,52	17,00	2,23	-1,76
Nov/98	Pacoti	PT-01	6,68	46,00	200,00	104,00	0,30	0,04	18,90	3,80	11,60	4,08	44,00	7,07	24,00	7,49	9,94
Jan/99	Pacoti	PT-01	6,70	106,00	305,00	159,00	0,10	0,05	22,30	3,80	20,00	13,40	58,00	2,38	27,00	21,29	4,86
Jan/99	Pacoti	PT-Terra	7,47	185,00	733,00	381,00	0,10	0,05	72,00	4,60	22,40	30,96	135,00	53,55	78,00	33,48	9,73
Jan/98	Pacoti	PT-01	7,49	185,00	645,00	335,00	0,04	0,03	68,80	4,30	50,40	14,20	160,00	16,70	63,00	10,64	-5,47
Dez/98	Pacoti	PT-03	8,29	146,00	408,00	212,00	0,08	0,06	27,50	3,80	43,60	8,88	150,00	6,52	25,00	2,12	-2,56
Out/98	Palmácia	PT-02	7,50	258,00	1.484,00	772,00	0,54	0,08	198,00	7,30	54,00	29,50	359,00	48,30	147,00	20,57	-0,45
Out/98	Palmácia	PT-03	7,61	290,00	1.350,00	702,00	0,98	0,20	171,50	7,80	53,60	37,40	302,00	47,80	159,00	0,60	-7,42
Out/98	Palmácia	PT-01	7,70	358,00	1.910,00	993,00	0,30	0,10	270,00	12,90	80,00	37,90	406,00	85,10	229,00	32,72	-1,33

Uma análise mais detalhada dos testes de bombeamento foi feita utilizando o *Método da capacidade específica fractal* (MANOEL F^o 1996), em que é possível avaliar a magnitude do fluxo uniforme equivalente para o poço, a partir de testes de bombeamento sob condições de fluxo variável e, as propriedades físicas de transmissão e de armazenamento do condutor hidráulico representado pelo conjunto poço-fendas-blocos associados. Os resultados estão sintetizados no Quadro 5.

Quadro 5 Parâmetros físicos do condutores hidráulicos

Cidade		Poço		h _i (m)	D	Q* (L ^{2D} T ⁻¹)	R ²	T _f (m ² /s)	a (mm)	K _f (m/s)	k _f (m/s)	n (%)
		no.	Etapa									
Aratuba	Gnaisse	PT-03	1a.	126,15	1,0871	15,66	0,9982	1,54E-04	0,55	2,80E-04	2,52E-11	0,0044%
Baturité	Gnaisse	PT-10	1a.	55,70	1,5812	112,24	0,9667	7,62E-05	0,43	1,75E-04	1,58E-11	0,0078%
Guaramiranga	Gnaisse	PT-01	2a.	57,80	1,0118	22,68	0,9999	1,34E-03	1,13	1,18E-03	1,07E-10	0,0196%
Mulungu	Quartzito	PT-04	3a.	68,00	1,1521	8,3881	0,9962	1,52E-05	0,25	5,98E-05	5,38E-12	0,0037%
Pacoti	Xisto	PT-01	1a.	93,45	1,1800	20,68	0,9967	2,97E-05	0,32	9,35E-05	8,41E-12	0,0034%
Palmácia	Gnaisse	PT-02	3a.	36,10	1,1716	6,2628	0,9874	1,99E-05	0,28	7,16E-05	6,44E-12	0,0077%

Onde:

- h_i = carga piezométrica inicial
- D = dimensão fractal de fluxo
- Q* = vazão fractal constante
- R² = coeficiente de determinação
- T_f = Transmissividade do condutor hidráulico
- a = abertura média das fraturas
- K_f = Condutividade hidráulica das fraturas
- K_f = permeabilidade das fraturas
- n = porosidade do condutor hidráulico

5. SANEAMENTO BÁSICO

As sedes municipais da Serra de Baturité dispõem de sistema de abastecimento d'água operados pela concessionária estadual a CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará. No Quadro 6 estão dimensionados os quantitativos relacionados à expansão de rede e execução de ligações domiciliares, com vistas ao atendimento de 90% de população urbana com serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

O abastecimento das cidades é feito a partir de poços perfurados em rochas cristalinas, cujas características são apresentadas no Quadro 3 do item anterior.

Em termos de fonte de abastecimento a Serra de Baturité assume especial importância por se constituir na região com maior aglomerado de sedes municipais do Estado do Ceará atendidas por poços captando o aquífero fissural ou fraturado. O fato da qualidade da água desses poços não apresentar restrições para o consumo humano também concorre para credenciar a região como sendo de vocação hidrogeológica elevada, pois além da qualidade da água a quantidade produzida é compatível com as demandas.

Quadro 6 Dados físicos dos sistemas públicos de água e de esgoto

LOCALIDADE	POPULAÇÃO URBANA		ATENDIDA				A SER ATENDIDA		Taxa de Ocupação Residencial	LIGAÇÕES DE AGUA			LIGAÇÕES DE ESGOTO			
	Atual	Projetada	AGUA		ESGOTO		AGUA	ESGOTO		Residenciais	Potenciais	com+Ind+publica	Residenciais		Potenciais com+ind+publica	Funcionando+ +Tamponadas+ +Cortadas
			Real	Máxima	Real	Máxima							Totais	Potenciais		
ARATUBA	2.548	2.815	1.954	2.292	0	0	912	2.866	4,40	521	130	7	0	651	65	0
BATURITÉ	25.717	28.605	16.136	19.488	0	0	8.224	24.360	4,53	4.302	1.076	54	0	5.378	538	0
GUARAMIRANGA	1.326	1.557	1.262	1.518	340	340	636	1.558	4,93	308	77	4	69	316	32	75
MULUNGU	3.107	3.289	0	0	0	0	3.289	3.289	4,51		729	36		729	73	0
PACOTI	2.507	2.769	1.571	2.304	1.130	1.130	1.309	1.750	4,85	475	119	6	233	361	36	269
PALMÁCIA	2.902	3.206	2.583	3.173	0	0	1.383	3.966	4,68	678	170	8		848	85	0
Totais	38.107	42.241	23.506	28.776	1.470	15.753	15.753	37.789	4,65	6.284	2.300	115	302	8.282	828	344

Coluna	Informação/cálculo
1	-
2	-
3	Col.2 x tx.crescimento
4	-
5	Col.10 x Col.11
6	Col.10 x Col.14
7	Col.10 x Col.14
8	(Col.10 x Col.11) - Col.4
9	Col.3 x Col.7
10	-
11	-
12	Col.11 x 25%
13	Col.12 x 5%
14	-
15	-
16	Col.12 x 10%
17	-
18	Col.8 x Col.10
19	Col.9 x Col.10

Dos municípios da Serra, somente Baturité não é abastecido por água subterrânea. A fonte de captação é a Barragem Tijuquinha com capacidade de 500 mil m³, e cuja vazão regularizada não permite estabelecer níveis de garantia compatíveis com o sistema. Por ocasião da estiagem de 1998/1999 e 1999/2000 a Barragem secou completamente e Baturité foi forçada a entrar num regime de abastecimento emergencial através de poços destinados a alimentar carros-pipa e chafarizes distribuídos pela cidade. Ao total foram instalados 25 poços produzindo aproximadamente 130 m³/h. Contrariamente às demais cidades da Serra a maioria dos poços tem salinidade acima do limite de potabilidade.

Sistemas de abastecimento d'água baseados no suprimento a partir de poços no Cristalino são muito vulneráveis às variações climáticas que afetam a região semi-árida. A circulação da água subterrânea nesse tipo de aquífero é muito complicada, para não dizer desconhecida, tendo como resultado a limitação dos tempos de bombeamento diário dos poços e a queda da vazão de produção. Analogamente aos açudes da região semi-árida que têm as suas curvas de esvaziamento, a produção dos poços no Cristalino tendem à exaustão. Desta forma a operação desses poços deve seguir algumas orientações básicas como medida de prevenir a exaustão prematura. O dimensionamento da vazão de produção dos poços deve manter a mesma ordem de grandeza ao longo de um período em que não ocorre recarga do aquífero. Para que isso seja possível é importante estabelecer tempos máximos de funcionamento diário para os poços, que não deve ultrapassar 15 horas/dia, ficando mais segura a faixa de 6 a 12 horas/dia.

No tocante a garantia de atendimento das sedes, é perfeitamente admissível ampliações dos sistemas para universalização do atendimento para toda a população urbana. Com exceção de Baturité, já comentada, as demais cidades da Serra tem população que varia de 2.500 a 3.300 habitantes, o que implica num consumo médio de 370 m³/dia, ou 37m³/hora para um regime de bombeamento de 10h/dia.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As águas subterrâneas do Cristalino na Serra de Baturité merecem destaque particular, por apresentar potencialidade compatível com a demanda requerida para consumo humano. Isto implica dizer que as cidades de, GUARAMIRANGA, MULUNGU e PACOTI são plenamente atendidas por poços. ARATUBA e PALMÁCIA, por poços e fontes. BATURITÉ é a maior cidade da Serra e a única que não é abastecida por água subterrânea, muito embora nos períodos de estiagem tenha sido atendida emergencialmente por poços que chegaram a produzir até 130 m³/h.

Os resultados alcançados com a perfuração de poços no ano de 1998 e 1999 mostraram que o Cristalino se comporta como um *ser temperamental* com características heterogêneas e anisotrópicas, o que conduz à desmoralização dos critérios clássicos de locação de poços, pois os resultados só são conhecidos após a perfuração do poço. Não há explicação consistente, até o momento, para justificar as diferenças de vazão produzidas por poços perfurados na mesma região, utilizando os mesmos critérios de locação e de perfuração.

Apesar das incertezas relacionadas à pesquisa de água subterrânea no Cristalino, os resultados obtidos pelos poços na Serra de Baturité permitem enquadrar este aquífero como sendo de potencialidade muito superior à média do restante do Estado do Ceará. Esta potencialidade está relacionada tanto a quantidade como a qualidade da água. Poços com vazão da ordem de 15 m³/h e concentração de cloretos abaixo de 100 mg/l, como ocorre em Pacoti e Mulungu extrapolam as expectativas desse tipo de aquífero.

Não é preciso dizer que as pesquisas devem ser intensificadas para melhor caracterizar o meio aquífero. O monitoramento de poços para obtenção do registro de variação de vazão e nível d'água nos poços deve ser introduzido como forma de obter dados mais consistentes da pontencialidade do aquífero. E isto permitirá o dimensionamento mais realista das ampliações dos sistemas de abastecimento d'água das sedes municipais da Serra de Baturité.

7. BIBLIOGRAFIA

- AB'SABER, A.N. 1970. Províncias geológicas e domínios morfo-climáticos do Brasil. Geomorfologia. São Paulo: V. 20 .
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia . Rio de Janeiro, 1981. 744p.
- COSTA, W.D. 1986. Análise dos Fatores que Atuam no Aquífero Fissural. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências - USP). São Paulo.
- FERNANDES, A.J.F. 1997. Tectônica cenozóica na porção média da bacia do Rio Piracicaba e sua aplicação à hidrogeologia dos meios fraturados. 244p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências - USP). São Paulo
- KÖPPEN, W. 1948. Climatologia; com un estudio de los climas de la tierra. Versión de Pedro R. Heindrichs. México. Fonte de Cultura Económica. 478 p.
- LARSSON, I. 1977. Ground Water In Hard Rocks. International Seminar. Stockholm, Sweden.

- MANOEL FILHO, J. 1996. Cálculo de propriedades hidráulicas em meio fissural e cárstico pelo método da capacidade específica fractal. Anais IX Congresso de águas subterrâneas. ABAS. Salvador-Ba.
- MANOEL FILHO, J. 1996. Modelo de dimensão fractal para avaliação de parâmetros hidráulicos em meio fissural. 197p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências - USP). São Paulo.
- MENTE, A. & MONT'ALVERNE, A.F. 1982. Mapa hidrogeológico do Brasil na escala de 1:5.000.000. In: Anais do IX Congresso de águas subterrâneas. ABAS. Salvador-Ba. p. 111-117
- NIMER, E. 1979. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro, SUPREN, Recursos Naturais e Meio Ambiente. 421 p.
- SOUZA, M.J.N. 1988. Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do Estado do Ceará. Revista de geologia. Fortaleza: n^o 1. p 73-91.
- THORNTHWAITE, C.W. et alii. 1944. Report of the committee on transpiration and evaporation. American Geophysical Union. Part. V. p. 687.