

POR

W. D. COSTA\*

RESUMO -- As águas subterrâneas armazenadas nas fraturas de rochas do embasamento cristalino, são de reduzidos volumes e, na região nordeste do Brasil, predominantemente salinizadas. Para um estudo prévio da locação do poço nesse tipo de aquífero, necessário se torna o conhecimento da influência dos fatores exógenos e endógenos que atuam tanto na quantidade como na qualidade das águas armazenadas. O presente estudo, efetuado nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, analisou a participação desses fatores, estabelecendo as relações diretas e inversas de cada um para com a vazão específica (parâmetro indicativo da quantidade) e o resíduo seco (parâmetro representativo da qualidade) das águas dos poços daquela região.

### INTRODUÇÃO

O estudo hidrogeológico do aquífero fissural, foi realizado com os dados de poços perfurados pela CDM no Estado do R. Grande do Norte e CDRM no Estado da Paraíba, no período de 1981 a 1985. A escolha desses dados foi precedida de uma criteriosa análise de dados de poços perfurados por várias empresas públicas e privadas (ou de economia mista) no nordeste, chegando-se a conclusão que as duas empresas supra mencionadas eram as que apresentavam uma sistemática de trabalho mais técnico, principalmente no que concerne a locação do poço e a realização do ensaio de bombeamento.

Apesar disso, não se pode excluir totalmente a interferência de pessoas estranhas na locação do poço, uma vez que a companhia pertence ao Governo e como tal, é passível das influências políticas. Esse é o principal motivo pela elevada taxa de insucessos obtida na perfuração dos poços nessa região.

Foram levantados 1.500 poços para toda a área de estudo, distribuídos 842 no Rio Grande do Norte e 658 na Paraíba. Desses poços, foram cadastrados apenas aqueles possuidores de água, em número de 443 (52,6%) no R.G.do Norte e 400 (60,8%) na Paraíba.

Para efeito de classificação como "poço seco" foi considerado o valor limite de 200 l/h ao final do teste de bombeamento de 24 horas consecutivas.

---

\* Professor Titular do Departamento de Geologia da UFPE.

ZONEAMENTO DOS POÇOS NA ÁREA ESTUDADA

O zoneamento dos poços foi levado a efeito em função da diversificação da qualidade da água, visto que as demais características do aquífero não diferem sistematicamente de uma região para outra, como será visto adiante.

Por outro lado, há uma íntima relação entre a qualidade das águas superficiais e as subterrâneas, como não podia deixar de ser, visto serem estas alimentadas por aquelas.

Tanto no Estado do R.G.do Norte, como no Estado da Paraíba, ocorre uma distinta variação na qualidade das águas dos rios que drenam para o oriente, desaguando na costa leste do nordeste, para aqueles que drenam para o norte, desaguando na costa setentrional do nordeste. Assim é que as bacias hidrográficas de maior curso que correm de oeste para leste, como os rios Ceará-Mirim e Potengi no R.G.do Norte e Paraíba, Jacu e Curimatau na Paraíba, possuem águas com elevados teores de salinidade. Enquanto isso, os rios que drenam de sul para o norte, como o Piranhas e Apodi, possuem águas de baixos teores de salinidade.

Em vista disso, foi efetuado um zoneamento em duas grandes regiões, denominadas de Região Oriental e Região Ocidental. O limite entre as duas regiões, que constitui o divisor hidrográfico das bacias que drenam para leste ou para norte, passa aproximadamente no meridiano 36°16', desde a altura de Lajes (RN) até o paralelo 7°00' logo acima de Soledade (PB); daí toma uma direção sudoeste até a cidade de Teixeira (PB), prolongando-se pela Serra do Teixeira em limite com o Estado de Pernambuco.

A distribuição de poços cadastrados por região (incluindo os dois estados) ficou assim: na região oriental, 372 poços, e equivalendo a 44,1% do total da área de estudo e na região ocidental, 471 poços, correspondendo a 55,9% do total estudado.

ANÁLISE DOS DADOS DOS POÇOS

No Quadro nº1, são apresentados os valores estatísticos dos principais parâmetros registrados para os poços pelas respectivas companhias de perfuração, sendo a seguir analisados individualmente cada um desses parâmetros, inclusive aqueles que não constam do referido quadro resumo.

Manto de cobertura

Como manto de cobertura são incluídos os materiais alóctones (depósitos fluviais, eólicos, gravitacionais, etc) e autóctones (manto de intemperismo).

A influência maior ou menor, desempenhada por esse manto sobre o aquífero fissural dependerá da sua espessura e da composição granulométrica.

Quadro nº1 - VALORES MÉDIOS REPRESENTATIVOS DOS PARÂMETROS DOS POÇOS

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	ESPESSURA CAP-EMPENHO (m)		PROFUNDIDADE (m)		NÍVEL ESTÁTICO (m)			NÍVEL DINÂMICO (m)			
	R.G. NORTE	PARA IBA	TOTAL	PARA IBA	TOTAL	R.G. NORTE	PARA IBA	TOTAL	R.G. NORTE	PARA IBA	TOTAL
Mínima	0	0	0	20,00	20,00	+3,80	+0,80	+3,80	1,80	3,91	1,80
Máxima	19,00	12,00	19,00	78,00	101,00	31,00	24,24	31,00	48,33	46,00	48,33
Média	3,85	2,42	3,17	46,06	50,53	5,17	4,56	4,87	23,13	16,59	19,97
D.Padrão	3,04	1,91	-	6,72	-	4,76	3,19	-	13,23	7,27	-
C.Var. (%)	78,95	79,06	-	14,59	-	92,11	70,05	-	57,19	43,84	-
Amostras	431	391	822	440	843	428	396	824	425	396	821

(continuação)

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	VAZÃO (l/h)		VAZÃO ESPEC: (l/h/m)		RESÍDUO SECO (mg/l)		
	R.G. NORTE	PARA IBA	TOTAL	PARA IBA	REGIÃO OCIDENTAL	REGIÃO ORIENTAL	TOTAL
					RN	PB	TOTAL
Mínima	120	59	59	8	139	125	355
Máxima	36000	13090	36000	3801	14946	11315	31125
Média	3878	2193	3077	345	1732	1436	5582
D.Padrão	4324	2353	-	642	2018	1550	-
C.Var. (%)	111,5	107,3	-	185,7	116,6	127,9	-
Amostras	443	400	843	396	191	251	334

Obs.: os valores decimais foram arredondados no quadro inferior

A espessura é variável, um pouco superior no Estado do R.G. do Norte, onde chega a atingir 19,0m (na região oriental); na Paraíba, o máximo atingido foi de 12,0m e 13,7% dos poços não possuíam qualquer manto de cobertura, enquanto no R.G.do Norte, apenas um poço (0,2%) foi perfurado inteiramente na rocha.

Quanto a composição granulométrica, 25% corresponde a fração psamítica (areias de granulação fina a grossa) enquanto 75% se acha representada pela fração pelítica e misturas granulométricas (areias argilosas, siltes arenosos, siltes argilosos, etc) de baixa permeabilidade, o que caracteriza um meio pouco favorável à recarga do aquífero fissural.

#### Profundidade dos poços

Esse parâmetro é pouco variável (coeficiente de variação inferior a 20%) apresentando uma média geral em torno dos 50,0m. No Estado do R.G.do Norte, a CDM estabeleceu um valor padrão de 60m, tendo 52,8% dos poços ali perfurados, ficando com essa exata profundidade; 7,9% ultrapassaram esse valor, enquanto 39,3% apresentaram valores inferiores. Enquanto isso, a CDRM na Paraíba, adotou o patamar de 50m, perfazendo essa exata profundidade, 46% dos poços ali perfurados; 28,5% tiveram profundidades de 40,0m, 8,2% excederam os 50,0m e o restante ficou em profundidades variáveis.

#### Níveis d'água

O nível estático de um modo geral, é raso, com média em torno dos 5,0m, e máximo aproximado dos 30,0m. Enquanto isso, o nível dinâmico apresentou uma média geral em torno dos 20m, o que implica um rebaixamento médio dos níveis d'água, da ordem de 15m.

#### Vazão e Vazão Específica

As vazões dos poços perfurados no R.G.do Norte, foram, de um modo geral, bem superiores àquelas obtidas na Paraíba (quase o dobro), sendo a média geral em torno de 3.000 l/h (toda a região), o que se coaduna com os resultados anteriormente obtidos no Nordeste como um todo.

A vazão específica que constitui o melhor parâmetro para a valiação de potencialidade de poços, apresentou na região estudada uma extrema variação, desde 0,7 l/h/m até 17.308 l/h/m, com um coeficiente de variação de 260%. A média geral situa-se em torno dos 500 l/h/m, sendo que 40% dos poços apresentaram vazão específica abaixo de 100 l/h/m, cerca de 40% ficaram entre 100 l/h/m e 500 l/h/m, cerca de 10%, tiveram valores entre 500 e 1000 l/h/m e apenas 10% ultrapassaram os 1.000 l/h/m.

#### Resíduo seco

No Estado do R.G.do Norte, o resíduo seco médio na região ocidental representou apenas 27,9% da média do resíduo seco da região oriental e na Paraíba, essa mesma relação foi muito próxima, com o valor de 25,9%. No geral, na região oriental as águas possu-

em quase quatro vezes o total de sais apresentados para a região ocidental.

Em termos percentuais, as águas do aquífero fissural na região estudada apresentam 37,6% com resíduo seco inferior a 1.000 mg/l, 37,0% com R.S. entre 1.000 e 4.000 mg/l e 25,4% com R.S. superior a 4.000 mg/l.

#### FATORES EXÓGENOS E ENDÓGENOS

Os fatores considerados como exógenos são o clima (sobre tudo a precipitação), a hidrografia, o relevo e a vegetação, enquanto os endógenos são representados sobretudo pela litologia e estrutura (principalmente as fraturas). O manto de cobertura pode ser de natureza exclusivamente exógena no caso de material alóctone ou de natureza mista, no caso de manto de intemperismo.

O clima e a vegetação apresentam características mais regionais do que locais, sobretudo se considerarmos que o poço representa um ponto no espaço. Assim, não devem esses fatores serem levados muito em consideração quando da locação de um poço.

Quanto a hidrografia e relevo, comportam-se esses dois fatores de um certo modo conjugadamente, pois às depressões correspondem em geral, os vales fluviais. Assim, a análise desses dois fatores será procedida em conjunto.

#### Litologia

O tipo de rocha que apresentou a grande predominância em toda a região estudada foi o gnaíse, na qual foram perfurados 62% dos poços da área; segue-se na ordem decrescente de ocorrência, o granito com 13%, o micaxisto com 12,5%, o migmatito com 4,9%, o filito com 4,6% (ocorre somente na Paraíba), o quartzito com 2% e outros tipos com menor ocorrência, que somados chegam a 1,0%.

Dentre os poços secos, os gnaíses também apresentam a maior incidência, com 66,9%, seguidos do granito com 23,2%, do micaxisto com 4,8%, do migmatito com 2,5%, do quartzito com 1,5% e outros tipos, que somados chegam a 1,0%, ou seja, a mesma sequência apresentada pelos poços com água.

#### Estruturas rupturais

Essas estruturas foram representadas na área estudada, apenas por fraturas, de diversos tipos como será visto.

O estudo de fraturas levou em consideração dois aspectos: um, relativo às fraturas aflorantes na superfície, que serviram (ou não) como critério para a locação do poço; o outro, relacionado às fraturas em profundidade, interceptadas durante a perfuração do poço.

Para as fraturas aflorantes na superfície, foi utilizado o mapa geológico na escala de 1:100.000 elaborado pelo DNPM/CPRM

(1980), abrangendo uma área de 42.350 km<sup>2</sup> (cerca de 50% da área de estudo), limitada pelas coordenadas 36°00' e 38°00' Long.W.Gr. e 5°30' a 7°15' Lat.Sul, enquanto que, para as fraturas em profundidade, foram consideradas as informações de entrada d'água contidas nas fichas dos poços.

Do total de poços amostrados - 246 - a distribuição do percentual de poços por tipo de fratura, foi a seguinte:

- fratura angular de cisalhamento ..... 24,3 %
- " transversal tracional ..... 23,9 %
- " longitudinal de cisalhamento ..... 4,8 %
- " " tracional ..... 4,0 %
- " " indefinida ..... 7,7 %
- sem fratura (na superfície) ..... 20,2 %

#### Relevo-Hidrografia

Foram consideradas três situações distintas de relevo, as sociadas à drenagem superficial, a saber:

- fundo de vale, ou talvegue
- encosta de vale, ou vertente
- topo de elevações, ou interflúvio

Do total de poços amostrados - 254 - a distribuição do percentual de poços perfurados em cada uma dessas distintas situações morfo-hidrográficas, foi:

- talvegue..... 67,7%
- vertente .... 20,1%
- interflúvio.. 12,2%

#### CORRELAÇÕES DOS PARÂMETROS DO POÇO COM OS FATORES INTERVENIENTES NO AQUÍFERO

Como parâmetros do poço, serão analisados a vazão específica, representando a potencialidade do poço, ou seja, o elemento quantidade e o resíduo seco, representando a qualidade da água.

Como fatores que atuam na quantidade e qualidade da água, serão estudados a litologia, o tipo de fratura (estrutura ruptural dominante), a profundidade de entrada d'água, a profundidade total do poço, o manto de cobertura, o relevo/hidrografia e o clima (precipitação).

#### Relação Vazão Específica X Resíduo Seco

Antes de analisar as relações entre os parâmetros do poço que refletem a quantidade e a qualidade, com os fatores intrínsecos e extrínsecos ao poço, será efetuada uma correlação entre os próprios parâmetros.

O estudo realizado utilizou o método gráfico em que os valores de resíduo seco e vazão específica foram lançados em papel mono-log e o método analítico. Neste último, foi empregado um pro-

grama de computador usando o método dos mínimos quadrados, a partir de diferentes gráficos ( X,Y ; logX, logY ; logX,Y ; X,logY) e distintas equações matemáticas. Foram avaliadas a média e o desvio padrão das variáveis dependente e independente, o valor dos coeficientes a e b e finalmente, o coeficiente de correlação.

Os valores dos coeficientes de correlação encontrados foram muito baixos em todas as quatro situações gráficas (inferior a -0,2), porém o valor negativo revela uma relação inversa entre esses dois parâmetros.

O gráfico R.S. X Q/s (resíduo seco x vazão específica) apesar de não apresentar boa correlação, revelou na região ocidental do R.G.do Norte uma "tendência" a relação inversa, ratificando o resultado analítico.

Essa inversão é absolutamente normal e lógica, pois, à medida que aumenta a vazão, aumentam também a circulação e a renovação da água subterrânea, com a tendência a melhorar a qualidade. Essa relação só não foi mais ressaltada, devido a interferência de outros fatores, principalmente a infiltração de águas salinizadas dos rios das bacias da região oriental, justamente onde ocorrem as melhores vazões nos poços.

#### Relação Vazão Específica X Tipo de rocha

A análise foi fortemente influenciada, quando do estudo de toda a "população", pelos valores anômalos de vazão específica, tanto aqueles muito baixos (inferiores a 50 l/h/m) como os muito elevados (superiores a 1.000 l/h/m).

Foi então procedida uma amostragem no intervalo de vazão específica entre 50 e 1.000 l/h/m, que representou 68% da "população" ou seja, 2/3 dos dados disponíveis. Os coeficientes de variação que variavam desde 150% até 272% com os dados da "população" caíram para 42 a 110% com os dados da "amostra".

Da análise realizada com os 550 poços da amostragem, as vazões específicas médias por tipo lítico foram as seguintes:

Gnaisse .....	293,21 l/h/m	(355 poços)
Quartzito .....	287,90 "	( 10 " )
Migmatito .....	264,62 "	( 26 " )
Micaxisto .....	252,46 "	( 61 " )
Granito .....	252,28 "	( 66 " )
Filito .....	211,70 "	( 31 " )
Média (ponderada) ..	277,70 "	

Embora a diferença de valores médios seja muito pequena entre um tipo lítico e outro, a sequência de valores coincide quase inteiramente com aquela encontrada pelo autor, quando analisou 274 poços na região do Alto Paraíba, tendo apresentado o resultado do trabalho no 1º Simposio de Águas Subterrâneas em Rochas Fraturadas, realizado na SUDENE, Recife, em 1979. Também corrobora os trabalhos de pesquisa de LEGRAND (1959) e SEVER(1964) nas regiões de Carolina do Norte e Pittsylvania, EUA, respectivamente.

Face aos resultados obtidos, que são plenamente justificáveis em função das características físicas das rochas, além da orientação da estrutura, da granulação dos cristais e outras feições que influem para produzirem maior número de fraturas e maior abertura das mesmas, pode-se estabelecer a seguinte ordem de crescente de "aptidão" para armazenamento e fornecimento de água subterrânea:

- 1º) gnaisses, quartzitos e migmatitos orientados
- 2º) micaxistos
- 3º) granitos e rochas granulares magmáticas e migmatitos não orientados
- 4º) filito, ardósea e xistos verdes.

#### Relação Vazão Específica X Tipo de Fratura

A análise estrutural foi baseada em foto-interpretação nas escalas de 1:70.000 e 1:25.000 com "checagem de campo" em pontos de dúvidas, tendo ainda o apoio cartográfico e geológico dos mapas altimétricos da SUDENE e geológico do DNPM/CPRM, ambos na escala de 1:100.000.

Algumas fraturas não puderam ser caracterizadas, nem quanto a geometria e principalmente quanto a gênese, e alguns poços foram perfurados sem indícios de qualquer tipo de fratura (talvez tenham sido observadas no campo). Da amostragem de 30% da população de poços estudada, o resultado encontrado foi o seguinte, por tipo de fratura (classificação geométrica e genética):

- poços perfurados em frat.transv.tracional-	1.076 l/h/m(24%)
- " " " " longit. "	484 " (4%)
- " " " " transv.de cisalh.-	114 " (24%)
- " " " " longit. "	106 " (5%)
- " " " " indefinida-	231 " (8%)
- " " " " não caracterizada-	351 " (15%)
- " " " sem fraturas	70 " (20%)

Esse resultado mostra a importância da geologia estrutural na locação do poço, pois as melhores vazões são relacionadas aos tipos de fraturas mais abertas que são aquelas proporcionadas por esforços tracionais. Por outro lado, os locais onde a perfuração do poço não levou em conta o aspecto estrutural, as vazões foram baixíssimas (70 l/h/m). Infelizmente, a quinta parte dos poços foram perfurados nessa situação o que vem a corroborar a importância desempenhada pela locação do poço tecnicamente bem conduzida.

#### Relação Vazão Específica X Profundidade do Poço e Entrada d'água

Aplicando o programa de regressão (mínimos quadrados) para os dados dos poços na região oriental do Estado da Paraíba, obteve-se um coeficiente de correlação de -0,3 (aproximadamente o mesmo para os quatro tipos de gráficos), o que revela uma fraca correlação inversa entre as variáveis de vazão específica e profundidade do poço.

A plotagem dos valores no gráfico mono-log não ofereceu resultados satisfatórios devido a predominância da profundidade de

60,0m para os poços do R.G.do Norte e 40,0 e 50,0m para os poços da Paraíba.

Uma análise de frequências com dupla variável revelou exatamente, os seguintes fatos:

1º - os poços que possuem vazão específica menor que 100 l/h/m, possuem na maior parte (80,8% no R.G.do Norte e 74% na Paraíba) profundidades elevadas, sendo superiores a 60m no R.G. do Norte e a 50m na Paraíba.

2º - dos poços que possuem vazão específica maior que 1.000 l/h/m, 75% no R.G.do Norte e 80% na Paraíba, apresentam profundidades menores que 60m e 50m respectivamente, sendo para ambos os Estados, a maior concentração de vazões específicas elevadas, na faixa de 40 a 50m.

3º - esses dados revelam que a vazão específica pode aumentar até uma certa profundidade, variável de um local para outro, entre 40 até 50m, porém a partir desse limite, tende a diminuir com o aumento da profundidade do poço.

Com relação a entrada d'água, a análise revelou o seguinte percentual com relação a profundidade (para ambos os Estados):

<u>Profundidade</u>	<u>Paraíba</u>	<u>R.G.Norte</u>	<u>Total</u>
0 - 20 m	52,2 %	59,3 %	57,8 %
20 - 40 m	40,8 %	31,7 %	33,7 %
> 40 m	7,0 %	9,0 %	8,5 %

Os dois resultados apresentados (profundidade total e profundidade de entrada d'água) revelam que nesse tipo de aquífero, na região nordeste do Brasil, a profundidade básica de poços deve ser de 40m, excepcionalmente podendo ir até os 50m

#### Relação Vazão Específica X Manto de Cobertura

Embora os dados plotados em gráfico tenham mostrado uma "nuvem de pontos" e a análise de regressão tenha acusado coeficiente de correlação muito próximo de zero, pôde-se detectar uma incipiente relação inversa entre esses parâmetros, principalmente na região oriental, com maiores espessuras de manto de cobertura.

Essa relação aparentemente anômala, é justificável face as reduzidas espessuras de capeamento (em 70% dos casos é inferior a 5,0m), constituição granulométrica predominantemente pelítica, baixos valores de precipitação pluviométrica e ainda o "mascaramento" provocado por esses capeamentos na detecção de estruturas favoráveis para a locação do poço.

#### Relação Vazão Específica X Relevo/Hidrografia

A relação foi estabelecida, igualmente ao tipo de fratura, entre a vazão específica e as diferentes situações de relevo associado à hidrografia, conforme descrito atrás. O resultado encontrado, foi o seguinte:

<u>Situação da locação do poço:</u>	<u>Vazão específica média:</u>
Em talvegues	460 l/h/m
Em encostas	350 l/h/m
Em elevações	160 l/h/m

#### Relação Vazão Específica X Clima

A relação entre essas variáveis é direta, pois em regiões onde a precipitação pluviométrica é maior, aumenta a infiltração e renovação do aquífero fissural.

Na região oriental, tanto no R.G.do Norte como na Paraíba, a vazão específica média é cerca de 50% maior do que a da região ocidental.

#### Relação Resíduo Seco X Tipo de rocha

Ficou pouco caracterizada a relação entre a qualidade da água e o tipo de rocha onde ela se encontra. Na análise procedida, verificou-se que a grande variação entre os resultados de análises químicas, tinha o caráter regional, sendo bem distintas as águas das regiões ocidental e oriental.

Apesar disso, notou-se que algumas rochas, como o micaxisto, aparecem com valores mais elevados do que outras como o quartzito, podendo essa variação ser devida às características físicas da rocha e a sua composição mineral. Assim, o micaxisto que tem maior energia de deformação e mais baixo módulo de elasticidade, possui as fraturas mais fechadas do que os gnaisses, granitos e migmatitos; em consequência, a circulação de água é menor, acarretando um aumento de salinização. Já o quartzito, além de ter características físicas favoráveis à circulação, a sua composição exclusiva de quartzo não acarreta qualquer salinização por efeitos de dissolução mineral.

#### Relação Resíduo seco X Tipo de fratura

Essa relação também não ficou bem caracterizada, notando-se apenas uma leve tendência à melhor qualidade da água em fraturas tracionais, com resíduo seco médio em torno de 2.500 mg/l, do que nas de cisalhamento, em que a média de R.S. varia desde 2.670 mg/l nas fraturas tipo angular de cisalhamento, até 5.070 nas fraturas tipo longitudinal de cisalhamento.

#### Relação Resíduo seco X Profundidade de entrada d'água e profundidade do poço

Quanto a entrada d'água, foi detectada uma fraca relação direta (índice de correlação de 0,3) com o resíduo seco. Todos os poços com resíduo seco inferior a 1.000 mg/l tiveram profundidades de entrada d'água inferiores a 25m; dos poços com entrada de água superior a 25m, 8% possuíam R.S. inferior a 2.000 mg/l, 54% com R.S. entre 2.000 e 8.000 mg/l e 38% com R.S. superior a 8.000 mg/l. Esse resultado corrobora aquele a que chegou CRUZ(1974) na

região de Petrolina (PE), em que acima da profundidade de 45m, 72% dos poços tiveram R.S. inferior a 3.000 mg/l enquanto abaixo dessa profundidade, 70% apresentaram R.S. superior a 3.000 mg/l.

No que se refere a profundidade total do poço, apesar dos baixíssimos índices de correlação apresentados, nota-se no gráfico mono-log de profundidade X resíduo seco, uma "tendência" a relação direta entre essas duas variáveis. Além disso, constata-se os seguintes fatos:

- dos poços com profundidades superiores a 60m, 50% possuem em R.S. entre 3.000 mg/l e 6.000 mg/l, enquanto os 50% restantes, apresentam R.S. superiores a 10.000 mg/l
- dos poços com R.S. inferior a 2.000 mg/l, 55% possuem profundidades inferiores a 50m e os outros 45% apresentam profundidades entre 50 e 60m.

#### Relação Resíduo seco X Manto de cobertura

Conquanto exista uma certa tendência para uma relação inversa, tendo em vista que, na região oriental do Estado da Paraíba, 70% dos poços com R.S. maior que 10.000 mg/l possuem manto de cobertura igual ou inferior a 1,0m de espessura, não se pode generalizar essa relação. Com efeito, além de existirem vários poços com baixa salinidade e delgado capeamento, ocorrem ao contrário, espessos capeamentos com elevada salinidade.

O resultado da análise de regressão com índice de correlação inferior a -0,05, mostra igualmente a inexistência de correlação entre essas variáveis.

#### Relação Resíduo seco X Relevo/Hidrografia

Em princípio, as situações de depressão do relevo, ou vales fluviais, devem apresentar melhor condição, pois as águas correntes tendem a propiciar uma renovação das águas subterrâneas.

Essa assertiva entretanto, nem sempre funciona na região nordeste, sobretudo naquelas bacias hidrográficas possuidoras de águas salinizadas, como as do Ceará-Mirim, Potengi, Curu, Curimatã e Paraíba. Nesses vales, a situação é invertida, isto é, os poços que são alimentados diretamente por esses cursos mais extensos (rios principais) possuem águas mais salinizadas do que aqueles perfurados em vales tributários, de pequena extensão.

#### Relação Resíduo seco X Clima

Foi mencionado atrás, que as águas dos poços da região oriental possuíam teores de sais que chegavam, em média, a quatro vezes os teores salinos das águas da região ocidental.

Todas as bacias hidrográficas da região oriental, têm suas nascentes na dorsal morfológica de direção aproximadamente norte-sul que divide as duas regiões estudadas (oriental e ocidental). Essa dorsal coincide com a faixa de maior aridez do nordeste, com índices variáveis entre 10 e 15 (na escala de aridez de E.Martone)

e isoietas em torno de 400 mm/ano. Nessa zona, a evaporação é sempre maior que a precipitação, estando os solos, na maior parte do ano, com deficiência de água. Os sais trazidos de zonas mais profundas e precipitados no solo pela evaporação da água, são em parte transportados pelos cursos d'água e em parte, re-infiltrados. Esse processo contínuo, acarreta gradativos aumentos de salinização da região e os rios que têm ali as suas nascentes, tendem igualmente a ser salinizados.

Do exposto, pode-se concluir que a principal causa de salinização das águas da região oriental é o clima, ou mais precisamente, a deficiência em precipitação, que acarreta salinização dos cursos hídricos superficiais, que vão recarregar os aquíferos fissurais. Trata-se então de uma relação inversa, pois, na medida que diminui a precipitação, aumenta a salinidade.

Resumo das diversas correlações entre parâmetros do aquífero e fatores intervenientes

Apesar das condições limitantes para a análise dos dados trabalhados, principalmente a existência de valores anômalos tanto de vazão específica como de resíduo seco, da grande dispersão de valores em torno da média (coeficientes de variação acima de 100%) e da simultaneidade de atuação dos diversos fatores nos parâmetros considerados, pôde-se estabelecer correlações diretas, inversas ou específicas, que podem ser resumidas no Quadro nº2, que se segue:

PARÂMETROS FATORES	VAZÃO ESPECÍFICA (l/h/m)	RESÍDUO SECO (mg/l)
TIPO DE ROCHA	ESPECÍFICA	ESPECÍFICA (Frac)
TIPO DE FRATURA	ESPECÍFICA	ESPECÍFICA (Frac)
PROFUNDIDADE DO POÇO	INVERSA	DIRETA (Incipiente)
PROFUNDIDADE DE ENTRADA D'ÁGUA	INVERSA (Incipiente)	DIRETA
MANTO DE COBERTURA	INVERSA (Incipiente)	INEXISTENTE
RELEVO/HIDROGRAFIA	ESPECÍFICA	ESPECÍFICA
CLIMA (PRECIPITAÇÃO)	DIRETA	INVERSA

Quadro nº2 - Resumo das correlação entre parâmetros e fatores

ALBUQUERQUE, J. do P.T. - 1984 - "Os recursos de água subterrânea do trópico semi-árido do Estado da Paraíba"- Dissertação de Mestrado apresentada no Centro de Ciências e Tecnologia da UFPB Campina Grande - PB (circulação restrita)

ALMEIDA, F.F.M.de; BRITO NEVES, B.B.de, e FUCK, R.A. - 1977 - "Províncias Estruturais Brasileiras"- VII Simp.Geol.do Nordeste. SBG.Campina Grande, PB. Atas pp.363-391

BENEDINI, M.; GIULIANO, G.; e TROISI, S. - 1972 - "Alcune considerazioni sulla trattazione matematica del problema del moto in acquiferi fessurati"- Geologia Applicata e Idrologia- Vol.VII- Università di Bari - Italia

BRITO NEVES, B.B.de - 1975 - "Regionalização geotectônica do Precambriano nordestino"- Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. 198pp.

CAMPBELL, M.D. - 1977 - "Water Well Technology for Ground-Water Development and Production in Igneous and Metamorphic Rocks"- In International Seminar - Stockholm - Sweden

COSTA, WALDIR D. - 1980 - "Aspectos macro-estruturais que influem na hidrogeologia de rochas cristalinas fraturadas"- Seminário apresentado no Curso de Pós-Graduação da USP-SP

COSTA, WALDIR D. - 1985 - "Avaliação dos critérios de locação de poço em rochas cristalinas" In: I Simpósio Nacional de Água Subterrânea em Rochas Fraturadas". Belo Horizonte-MG-Anais da ABAS

COSTA, WALDIR D. - 1986 - "Análise dos fatores que atuam no aquífero fissural"- Tese de doutoramento apresentada na USP-SP. 210 pp. (circulação restrita).

COSTA, WALTER D. - Análise dos fatores que influenciam na hidrogeologia do cristalino- 1965 - Rev.Água Subterrânea, 1(4):14-47

CRUZ, W.B.de - 1974 - "Estudo geoquímico preliminar das águas subterrâneas do nordeste do Brasil"- SUDENE-Série Hidrogeologia-nº8

DNPM/CPRM - 1980 - "Projeto Scheelita do Seridó" 35 vol. Recife

HONYK, W.J. - 1979 - "Proposta de uma nova unidade de produção de poço nas rochas cristalinas"- UFPE-Recife (circulação restrita)

JAEGGER, J.C. e COOK, N.G.W. - 1968 - "Fundamentals of Rock Mechanics" Methen, London

LARSSON, I. - 1977 - "Ground Water in Hard Rocks"- International Seminar - Stocholm - Sweden

LEAL, A.de S. - 1968 - "Considerações sobre a circulação de águas em rochas cristalinas e salinização em região árida: Área piloto de Juazeiro-Curaça-BA"- Recife, SUDENE: Série Hidrogeologia, 24

LEGRAND, H. - 1959 - "Yield of wells"- Div.Mineral Resources, Bull nº 75 - USA

LOUIS, C. - 1974 - "Fluxo de água a três dimensões em rochas fissuradas" Tradução nº5 da ABGE- São Paulo

- MENDES, G.M. de A. e SILVA JUNIOR, H. de O. - 1980 - "Identificação de áreas passíveis à exploração de águas subterrâneas no sertão pernambucano"- CONDEPE- Recife (circulação restrita)
- OBERT, L. e DUVAL, W. I. - 1967 - "Rock Mechanics and the Designs of Structure in Rock" - Wiley, N. York
- PRICE, N. J. - 1959 - "Mechanics of jointing in rocks". Geol. Mag. 96, 149 - London
- QUADROS, E. F. de - 1982 - "Determinação das características do fluxo de água em fraturas de rochas"- Tese de Mestrado apresentada na Escola Politécnica da USP-SP (circulação restrita)
- RAGAN, D. M. - 1968 - "Structural Geology an introduction to geometrical techniques". John Wiley & Sons, Inc. - N. York- USA
- REBOUÇAS, A. da C. - 1973 - "Le problème de l'eau dans la zone semi-árida du Brésil". Tese de Doutorado apresentada na Universidade de Strasbourg - França (circulação restrita)
- SEVER, C. W. - 1964 - "Geology and Groun-Water Resources of Crystalline Rocks - Dawson County, Georgia". Geological Survey, Information Circular, 30. Atlanta, Georgia, USA
- SIDDIQI, S. H. e PARIZEK, R. R. - 1971 - "Hydrogeologic Factors influencing Well Yelds in Folded and Faulted Carbonate Rocks in Central Pennsylvania". Water Resources Research. Vol. 7. n° 5
- SIQUEIRA, L. - 1963 - "Contribuição da Geologia à Pesquisa de Água Subterrânea"- SUDENE- Recife.
- SUDENE - 1978 - "Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste - PLIRHINE, Fase I". Vol. III - Águas Subterrâneas. Elaborado pela GEOTÉCNICA S/A. Recife.