

## CRISTALINO NA PARAÍBA

RESULTADO OBTIDO PELA CDRM-PB NO ÂMBITO DO PROGRAMA DE APROVEITAMEN  
TO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE - PROHIDRO/SUDENE.

POR

M.F.SOUSA<sup>1</sup>, G.A.Albuquerque<sup>2</sup>, e R.R.Carvalho<sup>3</sup>

RESUMO -- É notório que os resultados obtidos em determinado trabalho, é função intrínseca da metodologia e critérios técnicos adotados na sua execução. Como será visto mais adiante, os dados apresentados pela CDRM relativo aos poços perfurados essencialmente no âmbito do Programa de Aproveitamento dos Recursos Hídricos do Nordeste - PROHIDRO conduzido pela SUDENE, divergem em muito, dos parâmetros até agora revelados por outras empresas afins e publicações técnicas, no que diz respeito principalmente a vazão de exploração e salinidade das águas nos sistemas fissurados. Para o cristalino da Paraíba a vazão média de exploração, obtida para os poços produtores é de 1,2 m<sup>3</sup>/h. Sendo que aproximadamente 70% destes poços fornecem água em condições de uso para o consumo humano e 50,5% se encontram dentro dos limites de potabilidade estabelecidos pela ABTN. Dentre os tipos de fraturamento, as de mergulho e diagonais tem fornecido resultados satisfatórios, tendo sido detectado para as diagonais um pequeno acréscimo em relação ao resíduo de evaporação das águas extraídas, refletindo ser mais fechada que as de mergulho. Independente do tipo de fraturamento, a média de profundidade das intersecções das fraturas na Paraíba é de 22,2 m, com 93% destas ocorrendo até a profundidade de 40 m.

---

<sup>1</sup>Chefe da Divisão de Hidrogeologia e Sondagens - DHS, da Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba - CDRM/PB, Campina Grande-PB.

<sup>2</sup>Geólogo, DHS-CDRM/PB

<sup>3</sup>Geólogo, DHS-CDRM/PB

## INTRODUÇÃO

O trabalho apresentado, objetiva mostrar a forma e metodologia de execução adotada pela CDRM-PB, no âmbito do Programa de Aproveitamento dos Recursos Hídricos do Nordeste - PROHIDRO/SUDENE.

Na realidade se pretende também, fornecer subsídios que permitam viabilizar a perfuração de poços em aquíferos fissurados, para o atendimento de pequenas comunidades carentes por água do meio rural.

Para o desenvolvimento do mesmo, alguns condicionantes foram estabelecidos, sendo eles:

- Os elementos disponíveis, foram trabalhados principalmente por micro-região homogênea, segundo a classificação estabelecida pela Fundação IBGE (1968), no Estado da Paraíba, que leva em conta os aspectos geográficos, bem como os físicos e sócio-econômicos.
- As vazões consideradas ao longo de todo trabalho, são de exploração, determinadas a partir da extrapolação da capacidade específica para um período pré-estabelecido, não inferior a três meses contínuos de bombeamento.
- Nestas condições os poços com vazões inferiores a  $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ , são considerados secos e expurgados das médias apresentadas no tocante a produção de água, concentrações iônicas, resíduo de evaporação e dureza.

## METODOLOGIA DA LOCAÇÃO

A locação de poços no cristalino é ainda hoje uma atividade extremamente polêmica porque não existe na literatura especializada uma metodologia, um modelo ou uma forma consagrada que obtenha resultados sempre positivos.

Por esses motivos, as locações são efetuadas segundo os mais diversos critérios, diversificando de empresa para empresa, ao prazer e limitações técnicas dos seus profissionais encarregados.

A CDRM adota, nesse caso, os critérios considerados como essenciais. São eles:

- A foto-interpretação é o ponto de partida para a locação, porque é a base de todo trabalho posterior. Deve ser efetuada pelo técnico antes de ir para o campo, pois desta forma já terá definido o esboço, estrutural e geográfico da região.
- Conhecimento da extensão da bacia de drenagem ao ponto escolhido.
- Efetuar as locações em litologias de baixo e médio grau de metamorfismo.
- O contato de uma rocha competente com uma incompetente, sempre dão bons resultados.

- O poço deve ser locado próximo ao riacho fenda e deve-se tomar a at t u d e fr at u r a para o bom pos ic ion am en to do po ço em fun ção da int er se cc ão da mes ma.
- Os riachos fenda de segunda e terceira ordem são viáveis, principalmen te qu an do da int er se cc ão d ess es com a f at ur a pr inc ip al.
- Zonas de influência de falhamento, são propícias a perfuração de po ços.
- Locar os poços no eixo de estruturas siniformes.
- Fazer a locação sempre à jusante de barragens quando a estrutura for favorável.

As situações que a empresa considera desfavoráveis são:

- Locar poços em divisores d'água.
- Riachos com taxas de salinização superior a média da região.
- Fazer locações em litologias de alto grau de metamorfismo, e nem aquel as com gr ada ção met am ó r f ic a de m é d io para al to gr au.
- Locação em rochas granitoides.
- Efetuar locações na auréola de metamorfismo de corpos intrusivos.
- Regiões de intensa incidência de veios pegmatíticos.

É sabido que os resultados dos poços dependem de uma série de fatores dos quais a litologia e o fraturamento são de relevante importância. Com e feito estes aspectos foram analisados com bases nos poços perfurados pela CDRM, sendo obtidos resultados de real interesse.

#### Características litológicas

Foi constatado que as rochas de baixo e médio grau de metamorfismo são favoráveis para perfuração de poços. No caso da Paraíba são representados por filitos, xistos e gnaisses, que são os tipos litológicos que apresentam um número representativo de poços e abrangem três micro-regiões em quase a sua totalidade, onde a empresa teve maior atuação. Essas micro-regiões - Cariris Velhos, Depressão do Alto Piranhas e Sertão de Cajazeiras - correspondem a aproximadamente 60% do Estado da Paraíba.

Para efeito de análise foram amarrados os seguintes pontos:

- As vazões consideradas são de exploração.
- Poços com vazões inferiores a 0,2 m<sup>3</sup>/h (de exploração), são con sidera dos sec os.
- A análise dos resultados será feita considerando como fator dominante básico a micro-região, já que as diferenças significativas só se ope

ram entre elas.

Tabela 01. Médias Obtidas por Litologia

MICRO-REGIÃO	LITOLOGIA	Nº POÇOS	VALORES MÉDIOS		POÇO SECO(%)
			Q (m <sup>3</sup> /h)	RS (g/l)	
DEPRESSÃO DO ALTO PIRANHAS	GNAISSE	39	0,9	1,43	36
	XISTO	21	1,1	1,64	29
	FILITO	17	2,2	0,76	06
SERTÃO DE CAJAZEIRAS	GNAISSE	11	0,9	0,87	36
	XISTO	11	1,9	0,89	09
	FILITO	21	1,2	0,62	24
CARIRIS VELHOS	GNAISSE	33	1,6	3,59	24
	XISTO	15	1,2	3,61	33

Na Tabela 01 poderão ser efetuadas as seguintes observações:

Gnaisse -- O gnaisse apresenta melhor resultado de vazão nos Cariris Velhos. Na Depressão e Sertão os valores são semelhantes. O resíduo seco é maior nos Cariris Velhos por conta das suas características fisiográficas. O Sertão de Cajazeiras possui o menor resíduo seco. O percentual de poço seco sempre é elevado neste tipo litológico.

Xisto -- Já para o xisto a vazão é maior no Sertão de Cajazeiras. Com relação ao resíduo seco o caso é idêntico ao gnaisse e as taxas são sempre e levadas. O percentual de poço seco é bastante reduzido só no Sertão de Cajazeiras.

Filito -- Como não se encontra o filito nos Cariris Velhos, só se tem os dados das outras duas micro-regiões. A vazão para o filito é maior na Depressão do Alto Piranhas. Já o resíduo seco é baixo nas duas micro-regiões. O percentual de poço seco é menor na Depressão do Alto Piranhas.

Esses dados demonstraram que a vazão não está relacionada diretamente com a região, pois em cada tipo litológico apresentado, os valores de maiores vazões foram em regiões distintas.

O resíduo seco não está intrinsecamente ligado ao tipo litológico, já que os melhores valores se encontram no Sertão de Cajazeiras e maiores nos Cariris Velhos. Está ligado com a região.

A percentagem de poço seco é maior no gnaisse.

De maneira geral o filito apresenta melhores resultados do que os outros dois tipos litológicos em ambas as micro-regiões.

#### Características estruturais

O tipo de fraturamento é de grande importância no resultado final do poço, portanto na locação se tem procurado detectar e interceptar as fraturas



de mergulho e diagonal que tem apresentado melhores resultados.

Tem-se observado também alguns casos de fraturas do tipo direcional, que no entanto não merecem ser enfatizados, haja visto que se dispõe de poucos elementos e os resultados são inconclusivos. Não são apresentados também os dados referentes as perfurações efetuadas na intersecção dessas fraturas porque também se dispõe de poucos elementos (8 casos), mas se adianta que apresentam bons resultados quantitativos.

O levantamento efetuado e representado na Tabela 02, considerando as fraturas diagonais e de mergulho nas três micro-regiões em discussão para diversos tipos litológicos, apresentaram resultados contundentes e esclarecedores.

Tabela 02. Médias Obtidas por Tipo de Fraturas

TIPO DE FRATURA	CARIRIS VELHOS				S. DE CAJAZEIRAS				DEP. A. PIRANHAS			
	Nº POÇOS	Q m <sup>3</sup> /h	RS g/l	POÇO SECO %	Nº POÇOS	Q m <sup>3</sup> /h	RS g/l	POÇO SECO %	Nº POÇOS	Q m <sup>3</sup> /h	RS g/l	POÇO SECO %
DIAGONAL	23	1,6	3,75	30	11	1,0	0,87	9	50	1,5	1,6	22
MERGULHO	45	1,5	3,59	29	41	1,5	0,74	34	70	1,0	1,07	29

- Não há diferença significativa das vazões (Q m<sup>3</sup>/h) quando comparadas apenas no que tange ao tipo de fratura.
- Quando comparadas por micro-região, destaca-se os Cariris Velhos (1,6 e 1,5 m<sup>3</sup>/h), e as outras duas micro-regiões mantêm uma correlação inversa dos resultados obtidos.
- Em relação ao resíduo seco o fator determinante é a micro-região. No entanto as fraturas diagonais apresentam um ligeiro acréscimo nas médias.
- A discrepância verificada na Depressão do Alto Piranhas é por conta da ocorrência de valores anômalos não excluídos do cálculo.
- Nos Cariris Velhos o percentual de poços secos é maior, embora no Serão de Cajazeiras a fratura de mergulho apresente um elevado valor de 34%, não inteiramente explicável. Como se vê de modo geral as diagonais possuem melhores resultados.

#### ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para uma avaliação global do comportamento das fraturas em confronto com os tipos litológicos por micro-região homogênea, foi elaborada a Tabela 03, que resume e detalha todas as variações encontradas:

Tabela 03. Resultados por Tipo de Fraturas e Litologia

TIPO DE FRATURA	LITOLOGIA	CARIRIS VELHOS				S. DE CAJAZEIRAS				DEP. A. PIRANHAS			
		Nº POÇOS	Q m <sup>3</sup> /h	RS g/l	POÇO SECO %	Nº POÇOS	Q m <sup>3</sup> /h	RS g/l	POÇO SECO %	Nº POÇOS	Q m <sup>3</sup> /h	RS g/l	POÇO SECO %
DIAGONAL	GNAISSE	09	1,7	4,11	11	-	-	-	-	12	0,9	2,24	08
	XISTO	07	1,2	3,15	43	05	1,5	1,10	0,0	11	1,2	1,88	27
	FILITO	-	-	-	-	02	0,5	0,51	0,0	06	3,0	1,18	17
MERGULHO	GNAISSE	22	1,7	3,50	32	11	0,9	0,87	36	26	0,9	0,97	50
	XISTO	08	1,3	3,93	25	06	2,3	0,69	17	08	0,8	1,65	25
	FILITO	-	-	-	-	19	1,3	0,64	26	09	1,8	0,57	0,0

Como era de se esperar, as vazões dos poços nos Cariris Velhos em quaisquer circunstância possuem médias elevadas, denotando-se a produtividade nas fraturas diagonais do gnaíse. Nas outras micro-regiões não existe um comportamento padrão, apenas uma ligeira tendência favorável ao filito.

Quanto aos resíduos de evaporação, as fraturas diagonais independente do tipo litológico e em todas as micro-regiões possuem sempre maiores teores, com exceção do xisto nos Cariris Velhos e o filito no Sertão de Cajazeiras, sendo as diferenças de apenas 20%. Para um maior número de poços, nestes casos, esta diferença provavelmente tenderia a se anular.

No que se refere ao percentual de poços secos, os perfurados nas fraturas de mergulho apresentam um índice maior de insucesso.

#### ELEMENTOS DAS CAPTAÇÕES

Será abordado agora os resultados encontrados nas micro-regiões dos Cariris Velhos, Sertão de Cajazeiras, Depressão do Alto Piranhas e todo Estado, levando em conta os elementos hidráulicos dos poços (NE, ND, Vazão), como também as alturas de intersecção das fraturas e principalmente as características físico-químicas das águas.

#### Micro-região dos Cariris Velhos

Nesta região foram perfurados 80 poços no diâmetro final de 4.1/2" e profundidade máxima de 50 metros.

Quanto a produtividade os resultados são:

Tabela 04. Produtividade dos Poços

INTERVALO DE VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)	Nº DE POÇOS	PERCENTUAL
0 ≤ Q < 0,2 (Seco)	24	30
0,2 ≤ Q ≤ 0,5	14	25
0,5 < Q ≤ 1,0	18	32
1,0 < Q ≤ 1,5	8	14
Q > 1,5	16	29

Nos cálculos dos percentuais para os poços com limites de vazões superiores a 0,2 m<sup>3</sup>/h foram excluídos os 24 poços secos. Com vazões superiores ou iguais a 1,0 m<sup>3</sup>/h perfurou-se 33 poços - 59% dos 56 produtores.

Os principais elementos dos poços são comparados na Tabela abaixo.

Tabela 05. Elementos de Exploração e Perfuração

PARÂMETROS	Nº POÇOS	MÉDIAS		
		$\bar{x}$	$\Delta$	cv %
Nível Estático NE (m)	56	4,8	2,6	54
Nível Dinâmico Exploração ND (m)	56	18,75	8,64	46
Intersecção Fratura Principal (m)	56	21,6	10,98	50
Vazão Vertedouro Q <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /h)	56	3,2	2,7	84
Vazão Teste Q <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> /h)	56	2,3	2,1	91
Vazão Exploração Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /h)	56	1,5	1,3	86
Vazão Específica Q <sub>e</sub> /s (m <sup>3</sup> /h/m)	56	0,16	0,19	120

Onde:  $\bar{x}$  = média aritmética  
 $\Delta$  = o desvio padrão  
 cv = coeficiente de variação

Merece destaque a homogeneização dos elementos que compõem a média do nível estático (NE), nível dinâmico (ND) e a intersecção da fratura principal. Já os valores referentes as três modalidades de vazão, apresentam sempre elevados coeficientes de variação.

No que diz respeito as principais características físico-químicas das águas, quatro dos 56 poços produtores foram excluídos por possuírem águas com resíduo seco superior a 10 g/l. Encontrando-se na Tabela seguinte, as médias referentes ao restante dos 52 poços.

Tabela 06. Análise Química

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	MÉDIAS			
	Nº POÇOS	$\bar{x}$	$\Delta$	cv %
Sódio $\text{Na}^+$ (mg/l)	52	591,0	396,0	67
Potássio $\text{K}^+$ (mg/l)	52	13,72	0,09	52
Cálcio $\text{Ca}^{++}$ (mg/l)	52	161,7	116,0	72
Magnésio $\text{Mg}^{++}$ (mg/l)	52	162,0	111,2	68
Cloreto $\text{Cl}^-$ (mg/l)	52	1.344,0	996,8	74
Sulfato $\text{SO}_4^{=}$ (mg/l)	52	149,9	145,9	97
Carbonato $\text{CO}_3^{=}$ (mg/l)	24	39,9	26,9	67
Bicarbonato $\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	52	315,9	142,8	45
Dureza total (mg/l)	52	1.067,0	768,6	72
Resíduo de Evaporação (mg/l)	52	3.120,0	1,785	57

Dos dados acima o ânion sulfato é o que apresenta maior variação na sua concentração - (cv = 97%), por outro lado o resíduo de evaporação, bicarbonato e o potássio revelam maior homogeneização dos seus elementos.

As águas são salinizadas e não se prestam para o consumo humano.

#### Micro-região da Depressão do Alto Piranhas

Perfurou-se nesta região 155 poços com diâmetro final de perfuração de 4.1/2" e profundidade máxima de 50 m, excetuando 2 poços com profundidade de 60 m.

Os dados obtidos no tocante a produtividade dos poços, são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 07. Produtividade dos Poços

INTERVALO DE VAZÃO ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Nº DE POÇOS	PERCENTUAL
$0 \leq Q < 0,2$ (Seco)	37	23
$0,2 \leq Q \leq 0,5$	49	41
$0,5 < Q \leq 1,0$	31	26
$1,0 < Q \leq 1,5$	13	11
$Q > 1,5$	25	22

Seguindo a mesma metodologia adotada, foram excluídos os 37 poços com vazão inferior a 0,2 m<sup>3</sup>/h (secos).

Dos 118 poços considerados produtores ( $Q \geq 0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ) 50 forneceram vazões superiores ou iguais a 1,0 m<sup>3</sup>/h.

São agrupados abaixo os resultados obtidos das captações nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 08. Elementos de Exploração e Perfuração

PARÂMETROS	MÉDIAS			
	Nº POÇOS	$\bar{x}$	$\delta$	cv %
Nível Estático NE (m)	118	4,8	2,76	57
Nível Dinâmico Exploração ND (m)	118	19,8	8,28	42
Intersecção Fratura Principal (m)	118	22,9	11,2	49
Vazão Vertedouro $Q_v$ (m <sup>3</sup> /h)	118	2,6	2,9	111
Vazão Teste $Q_t$ (m <sup>3</sup> /h)	118	1,79	2,02	110
Vazão Exploração $Q_e$ (m <sup>3</sup> /h)	118	1,16	1,12	96
Vazão Específica $Q_e/s$ (m <sup>3</sup> /h/m)	118	0,096	0,119	120

Dos parâmetros acima relacionados, é verificado para as vazões, eleva dos coeficientes de variação refletindo grande amplitude de intervalo de classe. Em contrapartida os dados de NE, ND e intersecção das fraturas principais, revelam comportamento inverso -  $cv < 60\%$ .

Tabela 09. Análise Química

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	MÉDIAS			
	Nº POÇOS	$\bar{x}$	$\delta$	cv %
Sódio $\text{Na}^+$ (mg/l)	105	131,4	92,9	70
Potássio $\text{K}^+$ (mg/l)	105	8,78	7,9	89
Cálcio $\text{Ca}^{++}$ (mg/l)	105	52,8	33,1	62
Magnésio $\text{Mg}^{++}$ (mg/l)	105	39,6	29,5	74
Cloreto $\text{Cl}^-$ (mg/l)	105	166,0	190,0	114
Sulfato $\text{SO}_4^{--}$ (mg/l)	105	40,78	44,0	107
Carbonato $\text{CO}_3^{--}$ (mg/l)	51	36,8	25,7	69
Bicarbonato $\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	105	263,7	109,2	41
Dureza Total (mg/l)	105	286,0	164,0	57
Resíduo Evaporação RS (mg/l)	105	768,4	487,4	63

Para efeito de cálculo, foram excluídos da média 13 poços com resíduo de evaporação superior ou igual a 3 g/l, considerados anômalos. É tentado desta forma apresentar uma média mais confiável, uma vez que a maioria dos poços foram perfurados nos municípios da zona de transição desta micro-região para a dos Cariris Velhos, zona caracteristicamente possuidora das águas salinizadas.

De um modo geral as águas se enquadram nos limites de potabilidade, sendo verificado apenas para o cloreto e sódio um pequeno excesso, que segundo as bibliografias especializadas não acarretam prejuízo quando ingeridos, salvo portadores de problemas do aparelho circulatório.

#### Micro-região do Sertão de Cajazeiras

No Sertão de Cajazeiras foram perfurados 86 poços, mantendo o mesmo padrão dos perfurados nas outras regiões, com 4 poços de 60 m de profundidade.

Na Tabela abaixo são apresentados os dados referentes a produtividade dos poços.

Tabela 10. Produtividade dos Poços

INTERVALO DE VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)	Nº DE POÇOS	PERCENTUAL
0 ≤ Q < 0,2 (Seco)	30	35
0,2 ≤ Q ≤ 0,5	24	43
0,5 < Q ≤ 1,0	15	27
1,0 < Q ≤ 1,5	4	7
Q > 1,5	12	23

Para cálculo dos percentuais dos poços, foi aplicado o método já adotado anteriormente.

Dentre os poços produtores, 20 forneceram vazão de exploração superior a 1,0 m<sup>3</sup>/h, equivalendo a 36% do total de 56 poços.

Os dados intrínsecos aos poços produtores (56 poços) foram condensados na Tabela 11.

Tabela 11. Elementos Exploração e Perfuração

PARÂMETROS	MÉDIAS			
	Nº POÇOS	$\bar{x}$	$\delta$	cv %
Nível Estático NE (m)	56	4,97	2,05	41
Nível Dinâmico ND (m)	56	19,3	8,6	44
Intersecção Fratura Principal (m)	56	22,1	8,6	45
Vazão Vertedouro $Q_v$ (m <sup>3</sup> /h)	56	2,16	1,87	86
Vazão Teste $Q_t$ (m <sup>3</sup> /h)	56	1,57	1,34	85
Vazão Exploração $Q_e$ (m <sup>3</sup> /h)	56	1,06	1,0	94
Vazão Específica $Q_e/s$ (m <sup>3</sup> /h/m)	56	0,11	0,14	120

Pela Tabela se verifica que apenas a vazão específica apresenta um coeficiente de variação elevado (120%), em consequência da amplitude do intervalo de classe, onde o mínimo é de 0,03 e o máximo de 0,25 m<sup>3</sup>/h/m.

Concernente aos dados das análises físico-químicas das águas extraídas dos poços produtores, foi elaborado a Tabela abaixo com suas principais características.

Tabela 12. Concentrações das Análises Físico-Químicas

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	MÉDIAS			
	Nº POÇOS	$\bar{x}$	$\delta$	cv %
Sódio Na <sup>+</sup> (mg/l)	56	109,8	37,9	34
Potássio K <sup>+</sup> (mg/l)	56	5,7	3,3	57
Cálcio Ca <sup>++</sup> (mg/l)	56	52,64	27,1	51
Magnésio Ma <sup>++</sup> (mg/l)	56	36,2	21,15	55
Cloreto Cl <sup>-</sup> (mg/l)	56	101,8	65,4	64
Sulfato SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	56	43,4	41,1	94
Carbonato CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	24	49,7	26,8	54
Bicarbonato HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	56	308,0	65,5	21
Dureza Total (mg/l)	56	278,0	101,0	36
Resíduo de Evaporação RS (mg/l)	56	730,0	340,0	46

Dos dados apresentados na Tabela, apenas o sulfato possui elevado coeficiente de variação com o intervalo variando de 2,3 mg/l a 84,5 mg/l.

Para toda a região as águas extraídas estão dentro dos padrões de potabilidade.

Todo o Estado

A CDRM-PB perfurou até maio de 1984, no âmbito do PROHIDRO o total de 412 poços distribuídos nas regiões Cariris Velhos, Sertão de Cajazeiras, Depressão do Alto Piranhas, Seridó Paraibano e Agreste da Borborema.

Os dados de produção referentes a estes poços são relacionados na Tabela seguinte.

Tabela 13. Produtividade dos Poços

INTERVALO DE VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)	Nº DE POÇOS	PERCENTUAL
$0 \leq Q < 0,2$ (Seco)	125	30
$0,2 \leq Q \leq 0,5$	110	38
$0,5 < Q \leq 1,0$	82	28
$1,0 < Q \leq 1,5$	28	10
$Q > 1,5$	67	24

Os cálculos foram efetuados segundo os critérios já estabelecidos.

Para os aquíferos no cristalino, na Paraíba, o percentual de poços secos, é de 30% (125 poços). Quanto aos poços produtores 126 deles, 44% possuem vazões superiores ou iguais a 1,0 m<sup>3</sup>/h.

Nas Tabelas 14 e 15 a seguir, são alocados os elementos intrínsecos as captações bem como os parâmetros referentes as características físico-químicas das águas.

Tabela 14. Elementos de Exploração e Perfuração

PARÂMETROS	MÉDIAS			
	Nº POÇOS	$\bar{x}$	$s$	cv %
Nível Estático NE (m)	287	5,1	2,5	49
Nível Dinâmico ND (m)	287	19,4	8,4	43
Intersecção Fratura Principal (m)	287	22,2	10,2	46
Vazão Vertedouro Q <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /h)	287	2,6	2,5	96
Vazão Teste Q <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> /h)	287	1,92	2,04	106
Vazão Exploração Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /h)	287	1,26	1,3	105
Vazão Específica Q <sub>e</sub> /s (m <sup>3</sup> /h/m)	287	0,12	0,14	120

Em comportamento análogo ao verificado nas análises individuais das micro-regiões, os coeficientes de variação apresentam valores elevados no tanto as vazões, principalmente em relação à específica. É notado que os valores médios aqui encontrados são condizentes com as médias individuais de cada micro-região isoladamente.



Tabela 15. Análise Química

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	MÉDIAS			
	Nº POÇOS	$\bar{x}$	$\delta$	cv %
Sódio Na <sup>+</sup> (mg/l)	275	347,8	274,8	79
Potássio K <sup>+</sup> (mg/l)	275	11,3	9,1	81
Cálcio Ca <sup>++</sup> (mg/l)	275	110,9	92,0	83
Magnésio Mg <sup>++</sup> (mg/l)	275	98,6	79,4	80
Cloreto Cl <sup>-</sup> (mg/l)	275	746,0	657,4	88
Sulfato SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	275	87,4	90,2	103
Carbonato CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	115	40,19	25,2	62
Bicarbonato HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	275	296,0	109,9	37
Dureza Total (mg/l)	275	658,3	484,7	73
Resíduo de Evaporação RS (mg/l)	275	2.037,0	1.514,0	74

Foram excluídos da análise 12 poços com resíduo acima de 10.000 mg/l.

De modo geral os coeficientes de variação são elevados indicando uma grande amplitude dos intervalos de classe, haja visto o caso maior do sulfato com a concentração mínima de 2,8 e máxima de 177,6 mg/l - CV de 103%. Nestas condições, em primeira análise, as águas subterrâneas dos meios fissurados, na Paraíba, são restritivas para consumo humano.

#### ANÁLISE DOS RESULTADOS

Visando a análise global dos Elementos das Captações foram resumidos todas as informações nas Tabelas 16 e 17 (Anexo 1) que dispõe dos elementos por micro-região e também de todos poços perfurados no Estado. A referida análise será feita levando em conta as médias obtidas por elementos.

#### Análise dos resultados de exploração e perfuração (Tabela 16)

Nível estático (NE) -- Com média de 5 m não ocorrendo variações significativas entre as regiões apesar das diferenças geomorfológicas das mesmas, refletindo a descontinuidade do sistema fissurado.

Nível dinâmico (ND) -- Estabelecido em função da principal fratura produtora com objetivo de mantê-lo sempre acima desta entrada d'água e com isso manter um fluxo laminar, de baixas perdas de cargas.

Para os 287 poços produtores, o valor médio é de 19,4 m ( $\delta=8,4m$   $ecv=43\%$ ) e os Cariris Velhos possui o menor valor embora as diferenças sejam decimais.

tricas.

Intersecção das fraturas (P) -- A média global de altura ou profundidade de intersecção das fraturas é de 22,2 m ( $s = 10,2$  m e  $cv$  46%), sendo nos Cariris Velhos ligeiramente mais raso do que nas outras regiões.

O comportamento dos intervalos das frequências das fraturas pode ser melhor visualizado nos histogramas (Anexo 2), deles se pode concluir:

- 93,1% das fraturas são interceptadas no intervalo de  $0 < a \leq 40$  metros.
- 77% encontram-se no intervalo de  $0 < a \leq 30$  metros.
- 71% no intervalo  $10 < a \leq 30$  metros.

Vazões vertedouro, teste, exploração, específica -- Esses elementos indicam claramente que, durante a perfuração pelo sistema pneumático, são medidas vazões (de vertedouro) de super exploração atingindo uma média geral de  $2,6 \text{ m}^3/\text{h}$ , tendo os Cariris Velhos o maior índice de  $3,2 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Por conseguinte as vazões de teste e de exploração são de  $1,9$  e  $1,26 \text{ m}^3/\text{h}$ , respectivamente 73 e 48,46% da vazão de vertedouro. Não poderia ser de outra forma, já que os poços são explorados com vazões otimizadas.

A vazão específica é de  $0,12 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  tendo ainda os Cariris Velhos o maior valor  $0,16 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ .

#### Análise dos parâmetros físico-químicas (Tabela 17)

Para os cálculos das médias apresentadas nesta Tabela, e que diz respeito aos parâmetros físico-químicas das águas analisadas (285 amostras), foram excluídas 12 amostras com resíduo de evaporação superior ou igual a  $10 \text{ g/l}$  correspondendo a 4% do total. Poços esses perfurados principalmente na micro-região do Agreste da Borborema.

Comparando os resultados de todas as regiões (última coluna), como os encontrados para o Sertão de Cajazeiras e Depressão do Alto Piranhas verifica-se diferenças marcantes nas concentrações iônicas, de dureza total e resíduo de evaporação. No primeiro caso, como foi dito anteriormente, a qualidade da água poderia ser considerada imprésta vel para consumo humano. Não obstante, nas duas micro-regiões em apreço as médias não ultrapassam os limites vigentes de potabilidade.

O resíduo de evaporação como um fator quase sempre determinante da qualidade físico-química das águas foi merecedor de um tratamento mais apurado, motivando a elaboração da Tabela 18 que apresenta os intervalos de classe das concentrações.

Tabela 18. Frequência de Resíduo Seco

INTERVALOS (g/l)	C. VELHOS		D. A. PIRANHAS		S. CAJAZEIRAS		TODO O ESTADO	
	Nº POÇOS	%	Nº POÇOS	%	Nº POÇOS	%	Nº POÇOS	%
0 < RS ≤ 1,0	2	3,6	80	68	50	89,3	144	50,5
1 < RS ≤ 2,0	17	30,3	20	17	5	8,9	54	18,9
2 < RS ≤ 3,0	13	23,2	6	4	1	1,8	21	7,4
3 < RS ≤ 4,0	8	14,3	11	9	-	-	23	8,0
4 < RS ≤ 10,0	11	19,6	2	2	-	-	31	10,8
RS > 10,0	5	9,0	-	-	-	-	12	4,4

São as seguintes as conclusões observadas:

- 50,5% dos poços perfurados em todo Estado, em meios fissurados, fornecem águas com resíduos de evaporação nos limites de potabilidade estabelecidos pela ABNT.

Ressalte-se que o Sertão de Cajazeiras e Depressão do Alto Piranhas os índices atingem 89,3 e 68% respectivamente.

- Resíduo de  $1 < a \leq 2$  g/l correspondendo a 18,9% se presta ao consumo humano dependendo da adaptação do receptor.

- Resíduo de  $2 < a \leq 4,0$  g/l, cerca de 15,4%, podem ser destinados para uso sanitário e pecuária. Tem maior concentração nos Cariris Velhos.

- 10,8% com uso restrito à pecuária. Intervalo  $4 < a \leq 10$  g/l.

- 4,4% com resíduo superior a 10 g/l não tem alternativa de uso nas limitações técnicas atuais.

#### CONCLUSÕES

A vazão média de exploração obtida nos poços perfurados pela CDRM nos meios fissurados é de  $1,26 \text{ m}^3/\text{h}$ , correspondendo ao Cariris Velhos, a mais alta média obtida independente do tipo de fraturamento e correlacionada a litologia gnáissica.

Para a vazão específica, foi encontrada um valor médio de  $0,12 \text{ m}^3/\text{h/m}$ , considerado alto e sem confiabilidade e evidenciado pelo coeficiente de variação de 120%. Refazendo os cálculos com elementos mais homogêneos, coeficiente de variação de 62%, a vazão específica decresce assustadoramente para  $0,04 \text{ m}^3/\text{h/m}$ .

Neste ensaio, fica bem claro que a vazão de vertedouro, medida durante a perfuração, é sempre 100% maior do que a vazão de exploração. Talvez, as altas vazões informadas por certos construtores de poços, para os meios fisurados aqui no Nordeste, correspondam a essa primeira, expedita e instantânea medição.

Como não poderia ser de outra forma, os níveis dinâmicos (ND) médios situam-se a cerca de 3 metros acima da principal fratura produtora, sendo evidenciado com isso o aumento das perdas de carga e a consequente super exploração dos poços.

Em relação ao comportamento estrutural das fraturas, é válida e afirmativa de que as diagonais e de mergulho são de melhores resultados quando interceptadas, sendo a de mergulho de maior ocorrência e a diagonal com menor percentual de poços secos. Os poucos casos verificados de intersecção dos diferentes tipos de fratura (diagonal, mergulho e direcional) têm apresentado resultados positivos, quanto a produção, sugerindo uma taxa de confiabilidade de sucesso elevada.

Independente do tipo, a média de profundidade das intersecções das fraturas é de 22,2 metros, tendo os Cariris Velhos o menor valor, e comparativamente, possuindo um elevado percentual de frequência de fraturas nos intervalos de 10 a 20 e de 30 a 40 metros. Estes intrigantes resultados, de controle tectônico, talvez sejam responsáveis pelas maiores taxas de vazão encontradas na referida micro-região.

Importante ressaltar que para todos os poços perfurados no Estado, 93,1% das principais fraturas produtoras são interceptadas até a profundidade de 40 metros, e 77% até os 30 metros. Considerando que este comportamento pode ser extrapolado para outras regiões similares no Nordeste, não é compatível o dado fartamente anunciado por outros construtores de níveis dinâmicos (ND) médios de 30 a 40 metros de profundidade, a não ser que os poços sejam na sua totalidade super-explorados.

Segundo os critérios estabelecidos para definição dos poços produtores, dos 412 perfurados pela CDRM, 125 foram secos, equivalendo a uma taxa de insucesso de 30%, havendo uma equivalência entre as micro-regiões, sendo o Sertão Paraibano o de maior taxa e não incluído nas análises individuais em virtude do pequeno número de poços existentes.

A análise desavisada dos resultados médios das características físico-químicas das águas extraídas, levaria a concepção errônea de um manancial impréstável para consumo humano. Entretanto, de forma pragmática é visto que as micro-regiões da Depressão do Alto Piranhas e Sertão de Cajazeiras possuem médias que se enquadram nos limites de potabilidade estabelecidos pela ABNT, correspondendo aproximadamente 55% do semi-árido Paraibano.

Quanto ao resíduo seco, 50,5% das águas estão menores ou igual a 1 g/l e no Sertão e Depressão os índices atingem 89,3 e 68% respectivamente.

Fica evidente que o fator determinante na qualidade físico-química das águas do cristalino é a ambientação fisiográfica, haja vista a compartimentação da qualidade das águas coincidir com as divisões das micro-regiões.

#### BIBLIOGRAFIA

1. BILLINGS, M.P. Geologia estructural. Buenos Aires, EUDEBA, 1963. 564 p.
2. BRASIL. Instituto Brasileiro de Geologia e Estatística. Divisão do Brasil em Micro-regiões Homogêneas, 1968. Rio de Janeiro, 1970. 564 p. —
3. CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. Hidrología Subterránea. Barcelona, Ediciones Omega, S.A., 1976. t.1.
4. PARAÍBA. Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba - CDRM. Divisão de Hidrogeologia e Sondagens. Resumo das atividades técnicas dos convênios SUDENE/CDRM. Campina Grande, 1983. 68 p. —

**TABELA 16 - ANÁLISE DOS DADOS DE EXPLORAÇÃO E PERFURAÇÃO**

PARÂMETROS	CARIRIS VELHOS	DEP. ALTO PIRANH.	SERTÃO CAJAZEIR.	TODO ESTADO
	X	X	X	X
NÍVEL ESTÁTICO NE (m)	4,8	4,8	4,97	5,1
NÍVEL DINÂMICO ND (m)	18,7	19,8	19,3	19,4
INTERSECÇÃO FRATURA P(m)	21,6	22,9	22,1	22,2
VAZÃO VERTEDOURO Q <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /h)	3,2	2,6	2,16	2,6
VAZÃO TESTE Q <sub>T</sub> (m <sup>3</sup> /h)	2,3	1,79	1,57	1,9
VAZÃO EXPLORAÇÃO Q <sub>E</sub> (m <sup>3</sup> /h)	1,5	1,16	1,06	1,26
VAZÃO ESPECÍFICA Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)	0,16	0,096	0,11	0,12

X = MÉDIA ARITIMÉTRICA COM TODOS OS POÇOS.

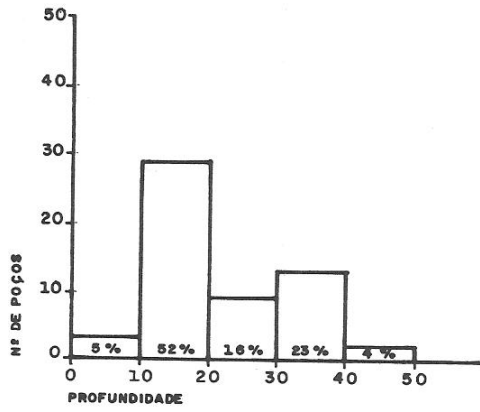
**TABELA 17 - ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO - QUÍMICOS**

PARÂMETROS	CARIRIS VELHOS	DEP. ALTO PIRANH.	SERTÃO CAJAZEIR.	TODO ESTADO
	X	X	X	X
SÓDIO Na <sup>+</sup> (mg/l)	591,0	131,4	109,8	347,8
POTÁSSIO K <sup>+</sup> (mg/l)	13,7	8,78	5,7	11,3
CÁLCIO Ca <sup>++</sup> (mg/l)	161,7	52,8	52,6	110,9
MAGNÉSIO Mg <sup>++</sup> (mg/l)	162,0	39,6	36,2	98,6
CLORETO Cl <sup>-</sup> (mg/l)	1344,0	166,0	101,8	746,0
SULFATO SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	149,06	40,78	43,4	87,4
CARBONATO CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	39,9	36,8	49,7	40,2
BICARBONATO HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	315,9	263,7	308,0	296,0
DUREZA TOTAL (mg/l)	1067,0	286,0	278,0	658,3
RESÍDUO DE EVAPOR. R <sub>s</sub> (mg/l)	3120,0	768,4	730,0	2.037,0

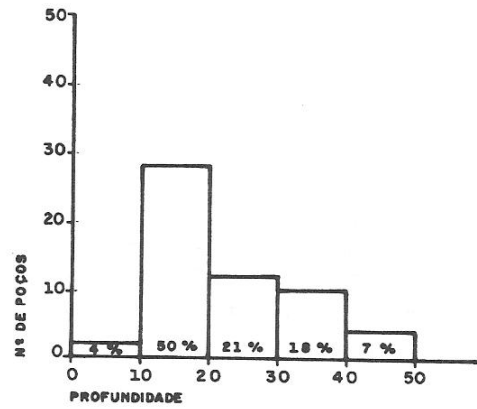
X = MÉDIA COM OS POÇOS ONDE O RESÍDUO SECO R<sub>s</sub> ≤ 10 g/l.

ANEXO 1

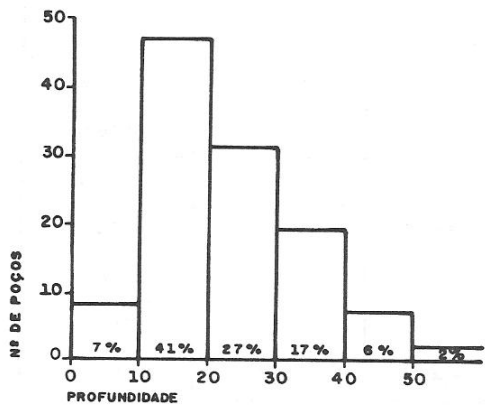
## ANEXO 2 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DE FRATURA



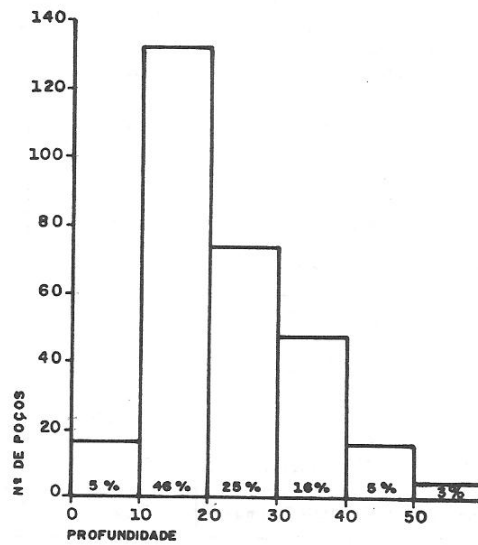
**CARIRIS VELHOS**  
TOTAL DE POÇOS = 56



**SERTÃO DE CAJAZEIRAS**  
TOTAL DE POÇOS = 56



**DEPRESSÃO ( DO ALTO PIRANHAS )**  
TOTAL DE POÇOS : 114



**TUDO O ESTADO**  
TOTAL DE POÇOS : 287

## CRISTALINO NA PARAÍBA

RESULTADO OBTIDO PELA CDRM-PB NO ÂMBITO DO PROGRAMA DE APROVEITAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE - PROHIDRO/SUDENE.

ABSTRACT -- It is wide spread that the results obtained in a given task are intrinsically related to the methodology and the technical approaches adopted during its performance. As we will see beyond, the data presented by CDRM-PB, relative to the wells drilled essentially under the program "Programa de Aproveitamento dos Recursos Hídricos do Nordeste" (PROHIDRO), conducted by SUDENE disagree a lot with the parameters displayed by other similar enterprises and technical literature, in regard mainly to the outflow and the water salinity in the fracture systems. For the crystalline basement of Paraíba, the average outflow for the yielding wells is equivalent to 1.2 m<sup>3</sup>/h. Nearly 70% of these wells yield water next to the potability standard limits set by ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), as 50.5% of this water can be included in those limits. Among the kinds of fissures, the transverse and the diagonal have delivered satisfactory results, having been detected, for the diagonal, a short increase in relation to the evaporation residues from the water extracted, showing to be narrower than the transverse ones. Not concerning to the kind of fracture, the average depth of fracture intersections in Paraíba is 22.2 m, 93% of which occurring to 40 m deep.