

DADOS ISOTÓPICOS E HIDROQUÍMICOS DA PORÇÃO ORIENTAL  
DA BACIA POTIGUAR \*

Por

Horst Frischkorn<sup>1</sup>, MarluCIA Freitas Santiago<sup>2</sup> e  
J.R.Torquato<sup>3</sup>

RESUMO -- Numa série de dezessete poços, quase todos no arenito Açú, na parte leste da Bacia Potiguar, no Rio Grande do Norte, foram feitas análises isotópicas, das razões O-18/O-16 e D/H e da concentração de C-14 nos bicarbonatos dissolvidos, e análises químicas dos elementos maiores. Constatou-se uma forte interação entre os aquíferos Jandaíra e Açú. Além da velocidade de fluxo ( $\sim 1\text{m/ano}$ ) avaliamos a taxa de filtração ( $65 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{ano}$ ) e a razão de mistura ( $\sim 1:1$ ).

INTRODUÇÃO

Dois importantes aquíferos ocorrem no domínio da bacia Potiguar, o aquífero livre do calcário da Formação Jandaíra (superior) e o aquífero inferior confinado do arenito Açú, separados por uma camada pouco permeável, formada de argilas, margas e arenitos argilosos, correspondendo à Formação Açú Superior.

No presente trabalho apresentamos e discutimos análises químicas, elementos maiores e condutividade, e análises isotópicas, O-18, Deutério e C-14, em uma série de 17 poços na parte oriental da Bacia Potiguar. (Figura 1)

\*Trabalho desenvolvido com apoio do CNPq, laboratório com apoio do Convênio KFA Alemanha/CNPq.

1. Professor, Departamento de Hidráulica da UFC, Fortaleza.
2. Professor Departamento de Física da UFC, Fortaleza.
3. Professor, Departamento de Geologia da UFC, Fortaleza.

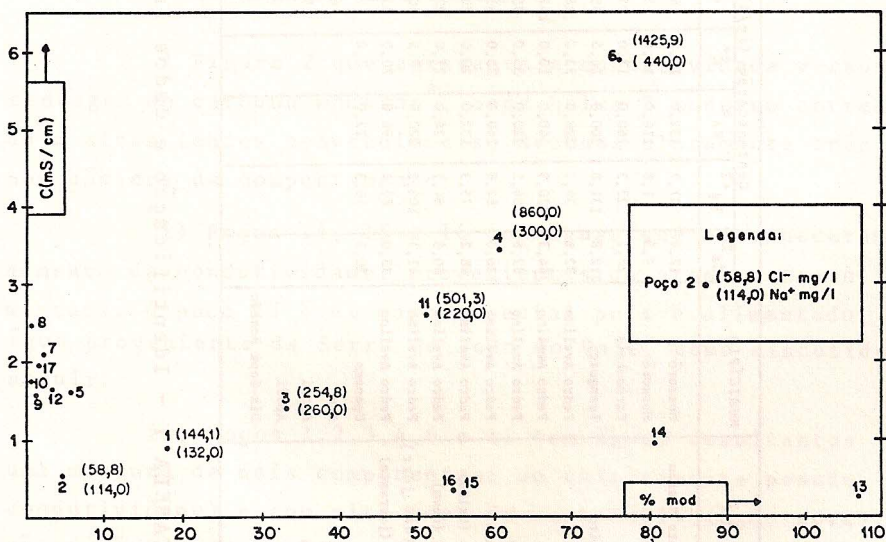
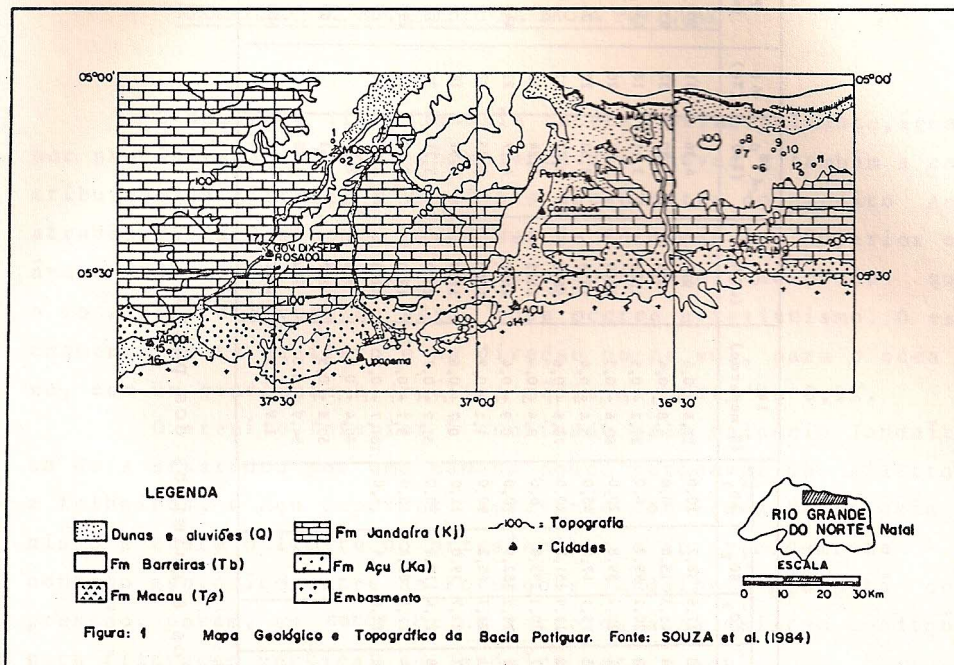


Figura 2 Condutividade com percentagem do carbono moderno de poços profundos.

LOCAL Nº	L O C A L	MUNICÍPIO	Concentração (mg/l)										14C (% moderno)	C (µS/cm)	-f 18 O (‰)	-f D (‰)	P (m)
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>						
1	Fabr. Cimento Nassau	Mossoró	17,4	37,7	132,0	16,5	144,1	164,0	17,6	38,7	10,0		17,8 ± 0,4	910	4,36	31	909,6
2	Alto São Manoel	Mossoró	9,5	1,8	114,0	10,0	58,8	152,4	11,3	15,8	0,0		4,8 ± 0,4	539	4,80	32	933
3	Carnaubais	Carnaubais	28,1	23,3	260,0	13,0	254,8	135,8	20,2	99,8	6,0		33,2 ± 0,5	1385	3,11	18	633,5
4	Sítio Malheiro	Ipanguaçu	212,8	131,8	300,0	16,5	860,0	201,1	20,2	89,8	120,0		60,6 ± 0,5	3460	3,17	20	-
5	F. União	Pedro Avelino	82,6	39,2	220,0	33,0	269,5	406,1	15,1	47,0	40,0		5,4 ± 0,4	1578	3,53	22	74
6	F. Bonito	Pedro Avelino	384,3	230,9	440,0	10,0	1425,9	215,2	13,9	151,7	120,0		75,8 ± 0,6	5890	3,22	22	-
7	F. Corrêgos	Pedro Avelino	82,6	84,1	220,0	35,0	352,8	226,7	20,2	193,8	6,0		2,4 ± 0,4	2115	4,24	26	-
8	Baixa do Meio	Pedro Avelino	126,0	82,8	260,0	35,0	433,7	256,2	18,9	182,9	10,0		0,9 ± 0,4	2480	4,17	23	443
9	Serra Verde (velho)	Pedro Avelino	68,2	75,3	132,0	20,0	207,3	333,1	22,7	48,2	40,0		1,3 ± 0,7	1600	3,55	22	-
10	Serra Verde (novo)	Pedro Avelino	80,6	84,1	124,0	27,0	232,8	308,7	22,7	79,0	11,0		0,7 ± 0,6	1760	3,51	18	-
11	Trincheira (não jorr.)	Pedro Avelino	41,3	105,2	220,0	6,5	501,3	258,8	21,4	110,1	30,0		51,2 ± 0,7	2560	3,71	20	-
12	Trincheira (jorrante)	Pedro Avelino	93,0	85,3	96,0	20,0	236,2	284,4	21,4	89,4	10,0		3,7 ± 0,3	1650	2,60	15	297
13	Upanema	Upanema	20,3	10,3	22,0	2,0	20,1	94,8	12,6	6,4	4,0		107,7 ± 0,8	263	4,27	26	-
14	Maternidade	Açu					168,96						80,4 ± 0,9	922	2,31	70	70
15	Maternidade	Apodi					48,96						55,8 ± 0,5	287	4,63	50	50
16	Escola	Apodi					-						54,9 ± 0,6	354	3,58	-	-
17	Sede	Dix-Sept Rosado					-						1,9 ± 0,9	1922	4,28	400	400

TABELA 1 - Identificação e dados isotópicos e químicos dos poços.

## MECANISMOS DE ESCOAMENTO NA BACIA POTIGUAR

O aquífero livre Jandaíra recebe, principalmente, águas por precipitação direta proveniente das chuvas e também a contribuição de filtrações verticais ascendentes do arenito Açú através da camada pouco permeável da Formação Açú Superior nas áreas onde o potencial do aquífero confinado é maior do que o do aquífero livre, ou seja, onde ocorre artesianismo. O escoamento neste aquífero é na direção norte sul, para o oceano, com um gradiente hidráulico médio da ordem de 0,1%.

O arenito Inferior é confinado pelo calcário Jandaíra, os dois separados por uma camada pouco permeável de siltitos e folhelhos, o Açú Superior. Apresenta condições de artesianismo e entre o limite do artesianismo e aproximadamente o contato geológico entre as Formações Jandaíra e Açú está sob pressão, porém, em cerca de um terço da área existem condições para filtração vertical do Jandaíra para o Açú.

### RESULTADOS ISOTÓPICOS

A Figura 2 que apresenta a condutividade versus percentagem do carbono moderno\*, onde baixa % moderno corresponde a altas idades convencionais, destaca claramente três tipos básicos de comportamento:

i) Poços 14, 15 e 16 com águas que envelheceram sem aumento da condutividade, provenientes do arenito Açú e sem mistura. O poço 13 é um caso especial pois é alimentado por água proveniente da Serra do João do Vale, como discutido a seguir.

ii) Poços 1,2,3,4,6 e 11 com águas resultantes de uma mistura de dois componentes; um quimicamente pesado (alta condutividade) e com alto teor de carbono-14 (água nova), que são as águas do aquífero livre Jandaíra, o segundo componente

---

\*100% mod (cem porcentos de carbono moderno) corresponde a concentração de C-14 no CO<sub>2</sub> da atmosfera em 1950, não poluída pelos testes de bombas nucleares.

com baixa concentração de sais e teor de carbono-14 médio a baixo (dependendo da distância à área de recarga do aquífero Açu )

iii) Finalmente os poços 5,7,8,9,10,12 e 17, um aglomerado que apresenta águas velhas (idade convencional maior do que 23.000 anos) e com uma variedade de valores de condutividade resultantes de misturas de águas velhas (mais de 40.000 anos) provenientes do arenito Açu com águas novas do calcário Jandaíra. Estes poços se encontram numa faixa muito estreita de % moderno, bem no início da escala, não somente por causa da relação exponencial entre a percentagem do moderno e a idade convencional (que é proporcional à distância à área de recarga) mas também pelo fato do limite de datação de idade com carbono do nosso sistema de detecção ser da ordem de 38.000 anos. Estas águas devem ter necessariamente sofrido o mesmo processo de mistura apresentado pelo conjunto (ii) de poços durante o seu deslocamento desde a área de recarga até ao local das amostragens.

A velocidade do fluxo de água subterrânea pode ser avaliada a partir dos dados de idade com a distância do poço à zona de afloramento, tomando para isso os dados de águas mais velhas uma vez que as mais novas refletem mistura.

i) Em Mossoró, à distância de 50km da área de recarga, o poço 2 tem 25.000 anos o que corresponde a uma velocidade de 2m/ano.

ii) Em Serra Verde, no poço novo, local 10, a distância ao afloramento é de 40 km, a idade de 40.000 anos correspondendo a uma velocidade de 1m/ano.

iii) Em Trincheira que fica a 35 Km da faixa de afloramento do arenito Açu a idade é de 36.500 km e a velocidade correspondente é 1,3m/ano.

A filtração vertical Jandaíra/Açu é observada e pode ser determinada através das medidas de percentagem do carbono moderno.

Os poços 3 e 4 são, como se vê na Figura 2 (condutividade versus percentagem do moderno) e na Figura 3 ( $\delta D$  versus  $\delta^{18}O$ ) tem águas misturadas. A distância entre os dois é

da ordem de 10Km e adotando uma velocidade de fluxo de 1m/ano corresponderia a uma diferença de idade de 10.000 anos que é de quase duas meia-vidas do Carbono-14. Esperamos, portanto, que a redução na percentagem do moderno do poço 4 para o poço 3, seja para um quarto mas os valores medidos mostram somente uma queda de 60,6% para 33,2%, ou seja, de aproximadamente' para a metade. Atribuindo esta discrepância a uma contínua diluição pela filtração vertical das águas do aquífero Jandaíra para o aquífero Açú e supondo uma taxa de filtração constante' ao longo do escoamento foi possível a sua determinação através de um modelo de células de 1m de largura, fazendo os cálculos com microcomputador.

Considerando H a coluna de água no aquífero Açú, dh/dt a coluna filtrada por unidade de tempo e usando uma concentração de carbono moderno de 70% para o aquífero Jandaíra obtivemos uma taxa de mistura de  $0,85 \times 10^{-4}$ /ano. Multiplicando pela área de filtração A obtemos a taxa de filtração anual. Adotando valores (REBOUÇAS-1967) de 80m para a espessura média do aquífero e uma área de filtração de  $6000\text{km}^2$  e uma porosidade eficaz de 3% para o Açú e de 5% para o Jandaíra, a taxa de filtração será de  $65 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

Este valor é próximo daquele encontrado por MERCADO et al (1976) que obtiveram  $50 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  mas é significativamente maior do que os  $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  obtidos por dados hidrogeológicos pro REBOUÇAS et al (1967).

Na Figura 3, a reta meteórica com valores globais,  $\delta D^* = 8\delta^{18}\text{O} + 10$  é comparada com a reta local  $\delta D = 6,88\delta^{18}\text{O} + 3,22$ . A diferença é provocada pela evaporação, certamente' durante a queda das gotas de chuva numa atmosfera não saturada. Distinguimos claramente três tipos de água:

(a) Águas pluviais (modernas), na faixa da costa do Nordeste com  $\delta^{18}\text{O}$  entre -3‰ e -2‰ e  $\delta D$  entre -18‰ e -12‰ (SALATI et al - 1976 e IAEA - 1981). Das amostras deste trabalho somente o poço 12 pertence a este grupo (Tabela 1).

\*Os valores de  $\delta$  são em relação ao padrão SMOW e definidos por

$$\delta\text{‰} = \frac{R(\text{amostra}) - R(\text{padrão})}{R(\text{padrão})} \times 10^3, \text{ onde } R \text{ é a razão isotópica do oxigênio, } ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}, \text{ ou do hidrogênio, } D/H, \text{ respectivamente.}$$

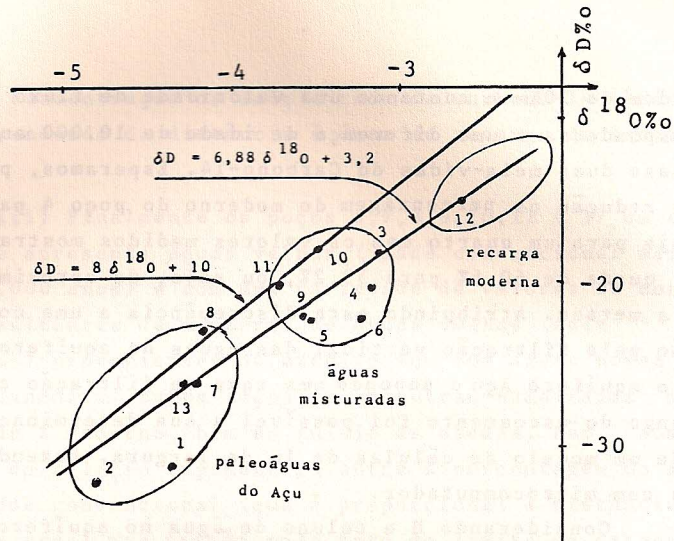


FIGURA 4 - Relação entre  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$ .

(b) O agrupamento com  $\delta^{18}O$  entre -5‰ e -4‰ e  $\delta D$  entre -32‰ e -22‰ que são valores bem abaixo da recarga recente e identificados como pertencentes a paleoáguas da Formação Açú. As idades convencionais destas águas são maiores do que 10.000 anos.

Medidas isotópicas no aquífero Serra Grande-Piauí (FRISCHKORN et. al-1984) mostram que em torno de 10000 anos antes de hoje houve uma mudança de +5°C, correspondente ao final do último tempo glacial Würm na Europa ou Wisconsin na América do Norte, que causou uma subida no valor de  $\delta^{18}O$  nas águas de chuva por 2,5 a 3,0‰.

O poço 13, em Upanema, é uma notável exceção, pois apresenta valores de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  característicos de paleoáguas, mas sua concentração de carbono-14 é de 107% (como se vê na Tabela 1) identificada como moderna (após 1950). Obviamente este poço é recarregado por água pluvial através do aluvião do Rio do Carmo proveniente da região cristalina da Serra do João do Vale com altitude acima de 700m. Esta água é, portanto, marcada pelo efeito de altitude que empobrece as chuvas em isótopos pesados, linearmente com a altitude. A grande distância entre este e os outros poços na Figura 1 confirma a facilidade de distinguir com métodos isotópicos entre as várias ocorrências das águas.

(c) Águas com composição intermediária, com  $\delta^{18}\text{O}$  entre -3,8 e -3,0‰ e  $\delta\text{D}$  na faixa de -24 a -16‰ (correspondentes aos poços 3,4,5,6,9,10 e 11) são consideradas misturas dos dois grupos anteriores.

A interação entre o aquífero livre Jandaíra e o aquífero confinado Açú pode ser avaliada através das medidas de oxigênio-18 e de deutério, determinando-se com eles o grau de mistura dos componentes.

Considerando os valores médios para  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$ , -4,4 e -27‰ para as paleoáguas, -2,5 e -14,0‰ para as águas de recarga e para o grupo de águas misturadas -3,4 e -20‰ podemos avaliar a ordem de grandeza do grau de mistura através da eq.

$$\delta = a \delta_1 + b \delta_2 \quad \text{com } a + b = 1$$

Obtemos para os valores acima uma razão Açú/Jandaíra de 1,1 para o oxigênio-18 e para o deutério.

### RESULTADOS HIDROQUÍMICOS

A classificação das águas através de diagrama triangular, são do tipo mista-mista (7,9,10 e 12) e cloretada-mista (8) e as da região intermediária são cloretadas-mistas (4,6 e 11). Com estes poços pode-se observar a evolução das águas tendendo a mista-mista. Na Figura 5 a condutividade em função da concentração de cloretos mostra que as duas variáveis são diretamente proporcio-

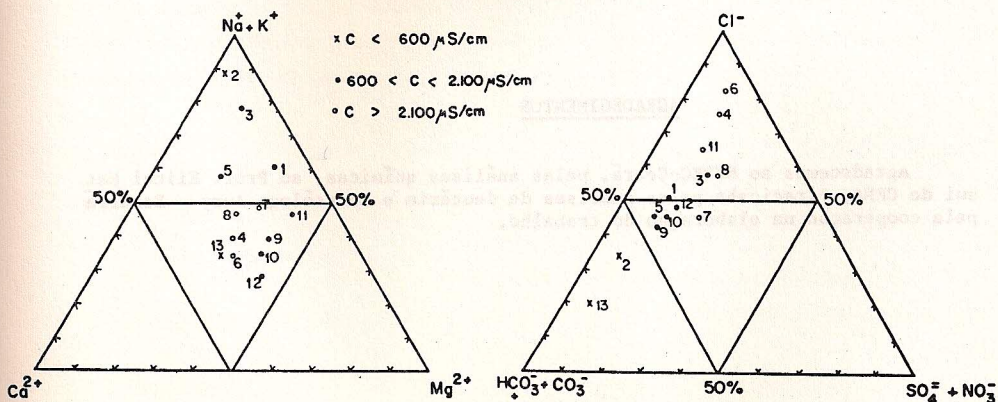


Figura: Diagrama de Piper para poços.



nais, aumentando a concentração de cloretos a medida que as amostras aumentam sua condutividade. Parte dos poços 1, 2, 3 e 5 têm águas sódicas, sendo 1 e 3 cloretada, 2 bicarbonatada e 5 mista.

A concentração de cloretos é muito bem correlacionada com a condutividade  $Cl = 0,19C - 45,6$  com coeficiente de correlação  $r^2 = 96,9\%$

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- . FRISCHKORN, H.; TORQUATO, J.R.; SANTIAGO, M.F. - 1984 - Medidas isotópicas em aquíferos profundos na região Centro-Leste do Piauí. Anais do 39 Congr. Bras. Ág. Subt. 2: 42-51
- . IAEA, International Atomic Energy Agency, Vienna/Austria - 1981 - Statistical Treatment of Environmental Isotope Data in Precipitation.
- . MANOEL FILHO, J.; HUBERT, B. DANIEL, J.M. e LAGARDE, A - 1969 - Bacia Potiguar, estudo por analogia elétrica das condições de exploração das águas subterrâneas do arenito Açú na região Mossoró-RN. SUDENE, Hidrogeologia 23, 78p.
- . MERCADO, A.; MENDES CAMPOS, M. MENEZES LEAL, J. e SALATI, E. - 1976 - Utilização conjunta de dados hidrológicos, hidroquímicos e isotópicos para avaliação do balanço de águas subterrâneas da bacia Potiguar. SUDENE, Bol. Rec. Nat., Recife, 14 (1/2): 37-61.
- . REBOUÇAS, A.C.; MANOEL FILHO, J.; E HUBERT, B. - 1967 - Bacia Potiguar, estudo hidrogeológico. SUDENE, Hidrogeologia 15.
- . SALATI, E.; MENEZES LEAL, J. e MENDES CAMPOS, M. - 1974 - Environmental Isotopes used in a hydrogeological study of a northeastern Brazil in: Isotope Techniques in Hydrology 1974. Vol. I: 259-281, IAEA-SM-182/13.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao NUTEC-Ceará, pelas análises químicas, ao Prof. Eiichi Matsui do CENA, Piracicaba pelas análises de deutério e ao geólogo Aury Bezerra pela cooperação na elaboração do trabalho.

ISOTOPE AND HYDROCHEMICAL MEASUREMENTS ON THE EASTERN POTIGUAR  
BASIN OF RIO GRANDE DO NORTE STATE.

by

Horst Frischkorn, Marlucia Freitas Santiago e  
J.R. Torquato.

ABSTRACT -- For a series of seventeen wells in the eastern part of the Potiguar Basin situated in the State of Rio Grande do Norte, most of them in the sandstone aquifer Açu, chemical analyses of the maior ions were made together with isotope measurements of the ratios O-18/O-16 and D/H and the C-14 concentration. The results prove a strong interaction between the aquifers Jandaira and Açu. Approximate values for the flow velocity in the aquifer Açu ( $\sim 1\text{m/year}$ ), the rate of filtration from Jandaira to Açu ( $65 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ ) and the mixing ratio Açu/Jandaira ( $\sim 1:1$ ) could be obtained.