



Caracterização do Aquífero Jandaíra, porção situada no Estado do Ceará, Brasil.

Sônia Maria Silva Vasconcelos¹, Zulene Almada Teixeira², José Alves Neto²

Recebido em 03 de maio de 2010/ Aceito em 08 de outubro de 2010

Resumo

A Formação Jandaíra é constituída por calcários, contendo ainda margas, siltitos, folhelhos, argilitos e dolomitos sendo caracterizada por apresentar variação litológica tanto na vertical como na horizontal. O Aquífero Jandaíra localiza-se na porção superior da seqüência carbonática da Formação Jandaíra é essencialmente livre, heterogêneo, hidráulicamente anisotrópico e de circulação cárstica em seu interior, sendo muito utilizado na região da chapada do Apodi, no Estado do Ceará, para irrigação de fruticulturas. O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia de avaliação das reservas de águas subterrâneas através da porosidade efetiva obtida a partir da interpretação de 19 testes de bombeamento e do monitoramento do nível estático de 32 poços localizados uma área de 37,91 km² onde o Aquífero Jandaíra apresenta-se na condição de aquífero livre.

Palavras-chave: Água subterrânea. Aquífero Jandaíra. Porosidade efetiva.

Abstract

The Jandaíra Formation is constituted by limestone, containing marlstone, siltstones, shales, mudstones and dolomites, and it shows so much variation in the vertical as in the horizontal. The Jandaíra Aquifer is located in the superior portion of Jandaíra's carbonate sequence, it is essentially free, heterogeneous, and in its interior the hydraulic circulation is anisotropic like is normal in carbonate aquifer. It is being largely explored in the area of the Apodi plate, in the State of Ceará, for irrigation of horticultures. The objective of this work is to present a methodology of evaluation of the ground water reservations through the effective porosity obtained from the interpretation of 19 pumping tests and the observation of the static level of 32 wells located in an area of 37,91 km² where Jandaíra Aquifer presents the condition of unconfined aquifer.

Keywords: Groundwater. Jandaíra Aquifer. Effective porosity.

¹Departamento de Geologia, UFC, Campus do Pici, Fortaleza, CE. email smaria@ufc.br, ²COGERH.

1. Introdução

A Formação Jandaíra apresenta uma ampla variação litológica tanto vertical como horizontal composta por calcários cinzas e cremes, margas, siltitos, folhelhos, argilitos e dolomitos, compreende calcarenito com bioclastos de moluscos, algas verdes, briozoários e equinóides. Também ocorrem calcilutitos com marcas de raízes, dismicritos e gretas de contração. O ambiente deposicional é descrito como uma planície de maré, laguna rasa, plataforma rasa e mar aberto. O contato inferior desta Formação é concordante com a Formação Açu.

De forma geral, o conhecimento das peculiaridades hidrológicas dos carstes assume grande importância, não só pelo interesse como reservatório de água subterrânea, mas também por influência em uma série de problemas geotécnicos e ambientais. O entendimento de um sistema hidráulico desse tipo de aquífero é muito difícil devido ao fato do armazenamento e a circulação das águas subterrâneas serem condicionados pela dissolução aleatória, pelo fraturamento ou por outras descontinuidades das rochas carbonáticas que muitas vezes são de difícil identificação (Silva, 2008).

As velocidades de circulação da água nas formações cársticas são muito variáveis, dependem fundamentalmente da estação do ano, do traçado, do tipo e do gradiente dos condutos, inclusive da procedência da água. A direção do movimento da água subterrânea nos carstes é determinada pela estrutura tectônica, pelos processos de esculturação do aquífero e pela situação das zonas de recarga e descargas mais recentes. Porém, a velocidade da água no subsolo, normalmente, é muito pequena e as reservas renovam-se lentamente (Silva, 2008).

Os estudos potenciométricos e a análise das oscilações dos níveis da superfície do “lençol” de água subterrânea são essenciais para a compreensão do funcionamento dos sistemas aquíferos, aplicados na determinação dos efeitos de recarga e descarga do aquífero e a variação do armazenamento de água.

Apesar dos sistemas cársticos não satisfazerem totalmente as condições de aplicação das equações de Theis ou de Jacob, é possível estimar os valores de transmissividade e do coeficiente de armazenamento a partir de testes de

bombeamento. Deve-se ressaltar que estes parâmetros do aquífero não devem ser extrapolados para qualquer ponto, principalmente em grandes áreas. Os valores encontrados são representativos apenas para as condições próximas ao poço testado. As curvas obtidas em testes de bombeamento refletem, normalmente, os fenômenos de barreiras geológicas ou de recarga do aquífero. Este fato é atribuído como sendo decorrente do próprio sistema cárstico que é descontínuo, com intercomunicações dos diversos subsistemas fissurais que, por sua vez, são caracterizados por uma forte permeabilidade vertical (Silva, 2008).

2. Área de Estudo

A área objeto do presente estudo está posicionada na borda noroeste da Bacia Potiguar que, por sua vez, situa-se no extremo nordeste do Brasil, mais precisamente na margem costeira norte do Estado do Rio Grande do Norte e nordeste do Estado do Ceará.

Do ponto de vista tectônico, a Bacia Potiguar possui como limite oeste o Alto de Fortaleza; sudoeste e sul o embasamento cristalino da Faixa Seridó; e norte e nordeste a cota batimétrica de 200m na Plataforma continental brasileira (Fig. 1).

A área da Bacia Sedimentar do Apodí apresenta o condicionamento climático da região Nordeste do Brasil que é caracterizado por chuvas irregulares durante os meses chuvosos de janeiro a julho, com um alto índice de evaporação durante os meses secos, de julho a dezembro.

A Figura 2 apresenta a área de estudo sobre uma base litoestratigráfica simplificada da porção da Bacia Potiguar situada no estado do Ceará e a bateria de poços cujos resultados dos ensaios de bombeamento foram utilizados para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do sistema Aquífero Jandaíra.

Na Bacia do Apodí destacam-se os sistemas aquíferos Açu e Jandaíra, no entanto, pouco se pode avaliar com relação ao Aquífero Açu, considerando que a maioria dos poços explora apenas o Aquífero Jandaíra.

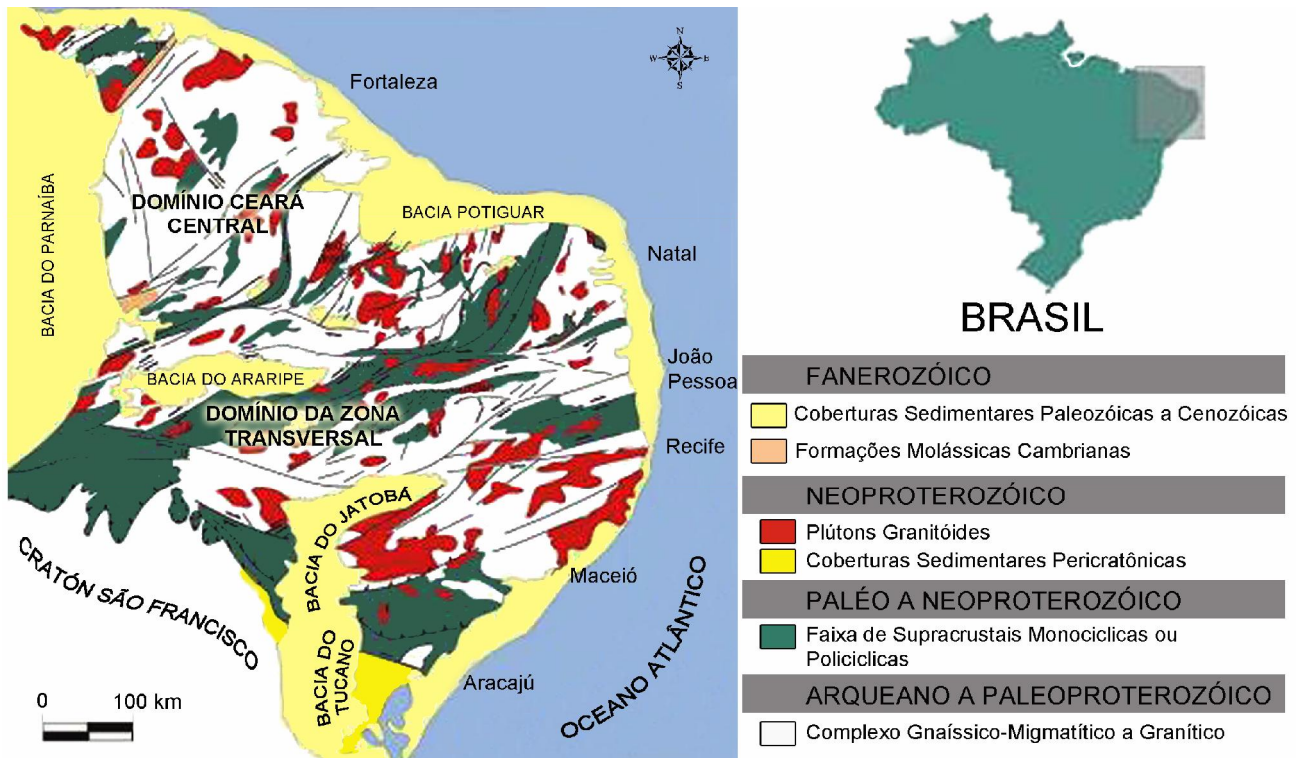


Fig. 1 - Mapa geológico simplificado da Província Borborema, nordeste do Brasil (Jardim de Sá, 1994).

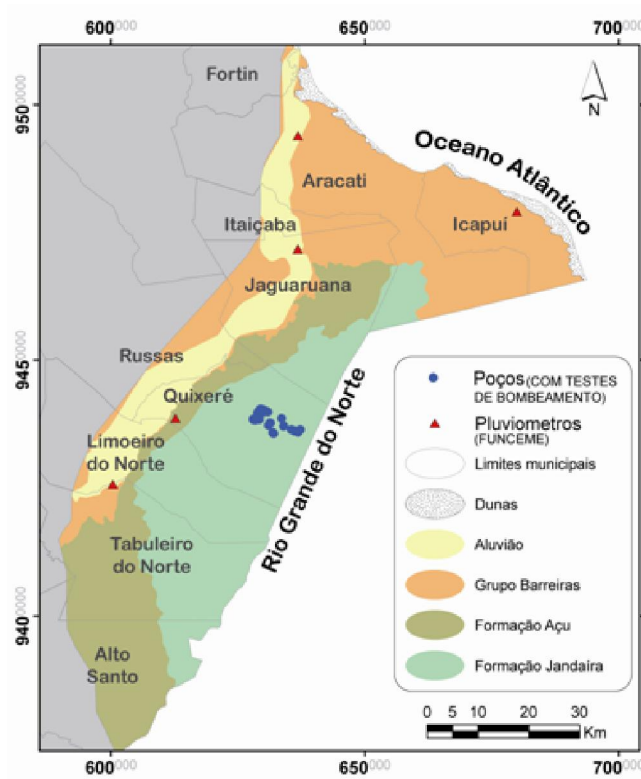


Fig. 2 – Delimitação da Área de estudo e suas unidades geológicas.

3. Caracterização Hidrogeológica

O Aquífero Jandaíra localiza-se na porção superior da seqüência carbonática da Formação Jandaíra, dispõe-se sub-horizontalmente constituindo um aquífero essencialmente livre, heterogêneo, hidráulicamente anisotrópico e de circulação cárstica. O estudo abrange uma área de 1.245 km².

Dentre os poços presentes na área de estudo foram interpretados 19 testes de bombeamento, predominantemente foi utilizada a simplificação de Cooper & Jacob, sendo que nos poços PT01 e PT08 empregou-se a metodologia de Hantush porque as medidas de nível dinâmico estabilizado indicaram a presença de drenança adicional. Nos

poços onde haviam registros de recuperação do nível o valor de transmissividade é obtido através da média aritmética dos valores resultantes das interpretações de Cooper&Jacob no bombeamento e na recuperação de nível. A Tabela 1 apresenta os valores obtidos para o coeficiente de transmissividade (T) e a Figura 3 a forma de variação através de isolinhas de transmissividade resultantes de interpolação por krigagem ordinária.

Com os valores de transmissividade e conhecendo a espessura do aquífero determina-se a condutividade hidráulica (K). Como constatado no traçado das linhas de contorno há uma variação espacial considerável nos valores de transmissividade que conseqüentemente indicam variabilidade espacial de espessuras e condutividade hidráulica do aquífero.

Tab. 1 – Transmissividades do Aquífero Jandaíra obtidas a partir da interpretação dos testes de bombeamento.

tual	UTM/S	UTM/E	Prof.(m)	Q (m ³ /h)	t bomb. (min.)	Método	T (m ² /s)	Trec. (m ² /s)	T _f (m ² /s)
T01	9436389	637225	60	45.47	720	Hantush	4.00E-02	-	4.00E-02
T02	9436209	637087	60	57.02	1440	C&J	2.20E-02	3.62E-02	2.91E-02
T03	9435999	636925	60	86.4	4320	C&J	1.27E-01	-	1.27E-01
T04	9435826	636783	60	48,00	600	C&J	4.00E-02	5.29E-02	4.65E-02
T05	9436119	636141	79	48,00	600	C&J	2.64E-01	2.87E-02	1.46E-01
T06	9436209	635932	80	48,00	600	C&J	1.00E-01	1.02E-01	1.01E-01
T07	9436398	635517	60	48,00	600	C&J	4.91E-03	5.07E-03	4.99E-03
T08	9437103	633989	60	37,44	4320	Hantush	7.37E-04	-	7.37E-04
T09	9438584	633560	80	66,46	1440	C&J	6.14E-02	4.75E-02	5.45E-02
T10	9437691	631357	60	43,20	4320	C&J	6.87E-03	1.58E-02	1.13E-02
T11	9437739	631269	68	48,00	4320	C&J	1.38E-02	1.65E-02	1.52E-02
T13	9439877	630759	60	46,08	4320	C&J	2.21E-01	-	2.21E-01
T14	9439989	630503	60	93,60	4320	C&J	1.08E-01	9.48E-02	1.01E-01
T15	9440035	630393	60	80,00	80	C&J	1.02E-01	-	1.02E-01
T17	9440226	629954	60	86,40	4320	C&J	2.21E-02	-	2.21E-02
T18	9440335	629694	60	39,41	4320	C&J	1.27E-01	8.06E-02	1.04E-01
T20	9440148	629215	60	93,00	1620	C&J	1.50E-02	1.07E-02	1.29E-02
T22	9439646	628818	60	86,40	4320	???	????	3.88E-01	3.88E-01

A porosidade efetiva S_y é definida como a quantidade de água por unidade de volume de material poroso, obtida da drenagem de uma coluna a partir do nível hidrostático até o a maior profundidade, por unidade de rebaixamento do nível hidrostático. Esta é a porosidade de drenagem e, neste sentido, pode ser avaliada pela equação de

Bieciniski (Pazdro, 1983, In: Alvarez e Niedzielski, 1996):

$$S_y = 0,117 \sqrt{K}$$

para a condutividade hidráulica K expressa em m/dia. As espessuras do Aquífero Jandaíra foram

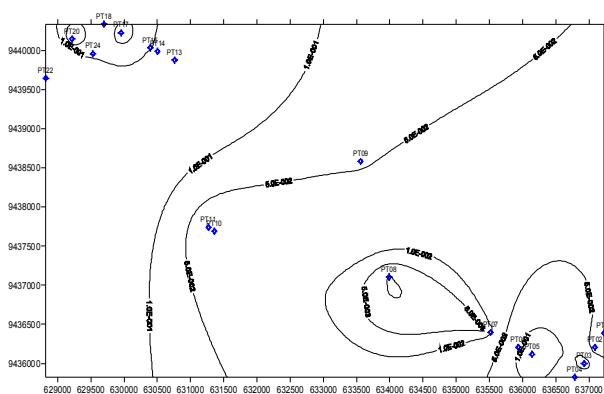


Fig. 3 – Mapa de isolinhas de transmissividade do Aquífero Jandaira.

obtidas a partir do posicionamento dos poços no mapa de isópacas fornecido pela PETROBRAS (Tab. 2). Os valores calculados para a condutividade hidráulica e porosidade efetiva estão apresentados na Tabela 10. A representação da variação espacial das espessuras saturadas e porosidades efetivas calculadas está apresentada nas Figuras 4 e 5.

Tab. 2 – Valores obtidos para a condutividade hidráulica e a porosidade efetiva do Aquífero Jandaira.

Poço	T (m ² /s)	NE (m)	E (m)	Esat. (m)	K (m/s)	K (m/dia)	Sy (%)
PT01	4.0E-02	11.53	120.26	108.73	3.3E-04	28.74	18.90
PT02	2.2E-02	11.29	163.29	152.00	1.3E-04	11.64	16.61
PT03	1.3E-01	10.35	163.40	153.05	7.8E-04	67.15	21.34
PT04	4.6E-02	13.37	163.63	150.26	2.8E-04	24.53	18.48
PT05	1.5E-01	10.71	161.54	150.83	9.1E-04	78.28	21.81
PT06	1.0E-01	10.6	163.85	153.25	6.2E-04	53.26	20.64
PT07	5.0E-03	10.47	161.45	150.98	3.1E-05	2.67	13.46
PT08	7.4E-04	10.39	149.39	139.00	4.9E-06	0.43	10.36
PT09	4.7E-02	2.61	160.71	158.10	2.9E-04	25.40	18.57
PT10	1.1E-02	9.97	158.62	148.65	7.1E-05	6.16	15.17
PT11	1.5E-02	8.62	149.38	140.76	1.0E-04	8.76	15.95
PT13	2.2E-01	6.54	136.05	129.51	1.6E-03	139.71	23.69
PT14	1.1E-01	8.47	135.62	127.15	8.0E-04	68.80	21.41
PT15	1.0E-01	8.33	125.23	116.90	8.1E-04	70.37	21.48
PT17	2.2E-02	10.55	123.36	112.81	1.8E-04	15.62	17.33
PT18	1.0E-01	10.72	122.77	112.05	8.5E-04	73.05	21.60
PT20	1.3E-02	9.81	120.43	110.62	1.1E-04	9.22	16.07
PT22	3.9E-01	11.02	116.86	105.84	3.3E-03	286.87	26.26
Média	8.4E-02	9.74	144.21	134.47	6.2E-04	53.93	18.84
Mínimo	7.4E-04	2.61	116.86	105.84	4.9E-06	0.43	10.36
Máximo	3.9E-01	13.37	163.85	158.10	3.3E-03	286.87	26.26

4. Avaliação da Recarga Subterrânea

Nas regiões semi-áridas, a evapotranspiração potencial normalmente ultrapassa as taxas médias de precipitação, o que significa que apenas em situações favoráveis a água precipitada é suficiente para a recarga. Os aquíferos apresentam recarga irregular e a observação dos processos dinâmicos nos aquíferos é muito limitada.

Estes fatores aliados a variação da topografia, a cobertura vegetal, os tipos de solo e outros condicionantes hidrológicos, dificultam extremamente a quantificação da recarga subterrânea.

A complexidade inerente ao problema de quantificação da recarga subterrânea é simplificada quando se dispõe de dados de monitoramento continuado do nível potenciométrico do sistema aquífero, permitindo a obtenção de resultados confiáveis. No entanto, devido à grande quantidade de fatores intervenientes no processo de recarga e

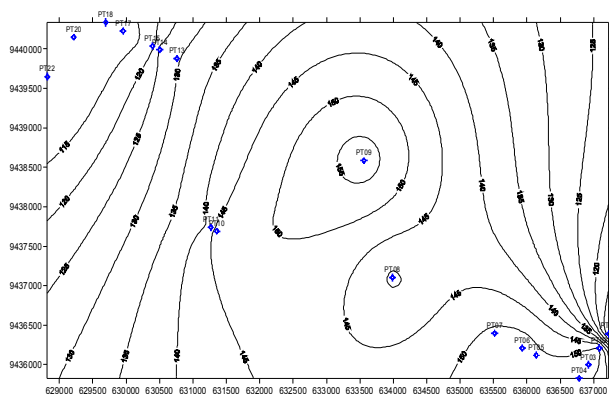


Fig. 4 – Mapa de isolinhas de espessura saturada em metros do Aquífero Jandaira.

a variabilidade diferenciada de cada um destes fatores no tempo e no espaço a quantificação da recarga subterrânea será tão mais precisa quanto maior for o período de monitoramento e quanto mais detalhadas forem as observações das variáveis envolvidas neste processo.

A Figura 6 exibe as variações de médias mensais destas séries históricas de precipitações registradas em cada um dos postos pluviométricos e das temperaturas médias obtidas através de regressão linear múltipla calculada para cada um destes municípios. A distribuição dos totais anuais para os respectivos períodos registrados estão indicados na Figura 7.

Observa-se que os maiores registros de temperaturas médias mensais ocorrem em janeiro e novembro, os valores totais mensais de precipitação estão concentrados no mês de março, e que volume precipitado é maior nos postos de Aracati e Icapuí, diminuindo consideravelmente à medida que os postos se distanciam da zona litorânea. Os valores totais anuais de precipitação variam entre 640 mm para os postos no interior e 940 mm para os postos situados na região litorânea.

A recarga de águas subterrâneas constitui um parâmetro de fundamental importância no conhecimento e manejo adequado dos aquíferos, entretanto, este parâmetro é muito difícil de ser avaliado notadamente em regiões semi-áridas (Lerner et al., 1990). A recarga das águas subterrâneas na área de estudo se processa principalmente pelas infiltrações das águas de precipitação pluviométrica no terreno.

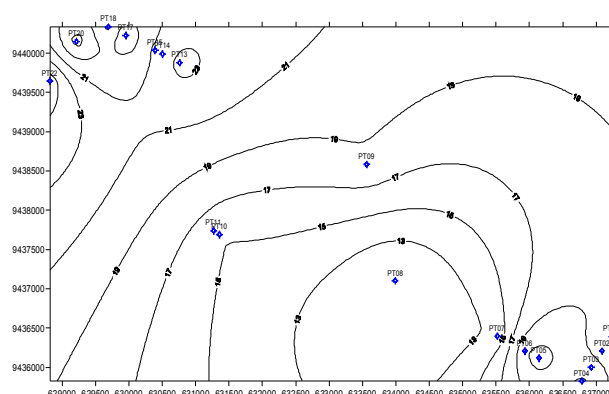


Fig. 5 – Mapa de isolinhas de porosidade efetiva do Aquífero Jandaira em porcentagem.

Em menor escala, pode ocorrer pelo fluxo superficial dos rios que drenam a área, através da Formação Açú. Na área aflorante da Formação Jandaira a ausência de drenagem, característica de meios cársticos, elimina esta possibilidade. No presente trabalho a avaliação de recarga ficará restrita à infiltração direta das águas de chuva.

O processo de recarga é dificultado pelas condições de semi-aridez da área, que lhes atribui “déficit” hídrico expressivo. Existem várias metodologias propostas para avaliar recarga de águas subterrâneas. A estimativa através do balanço hídrico mostrou-se inviável porque não existem estações na área e os postos no entorno apresentam grande variabilidade.

Desta forma optou-se pela avaliação utilizando os dados resultantes do monitoramento do nível potenciométrico que registra a recarga subterrânea através da variação sazonal do nível estático.

A avaliação da recarga das águas subterrâneas a partir das variações sazonais do nível potenciométrico constitui a forma mais confiável de determinação da recarga subterrânea. As dificuldades concentram-se na falta de um conhecimento adequado da porosidade específica do material aquífero e no desconhecimento de variações espaciais das características do aquífero.

A Tabela 3 contém os resultados do monitoramento de nível estático em 32 poços observados no ano de 2008 situados na área aflorante do Aquífero Jandaira.

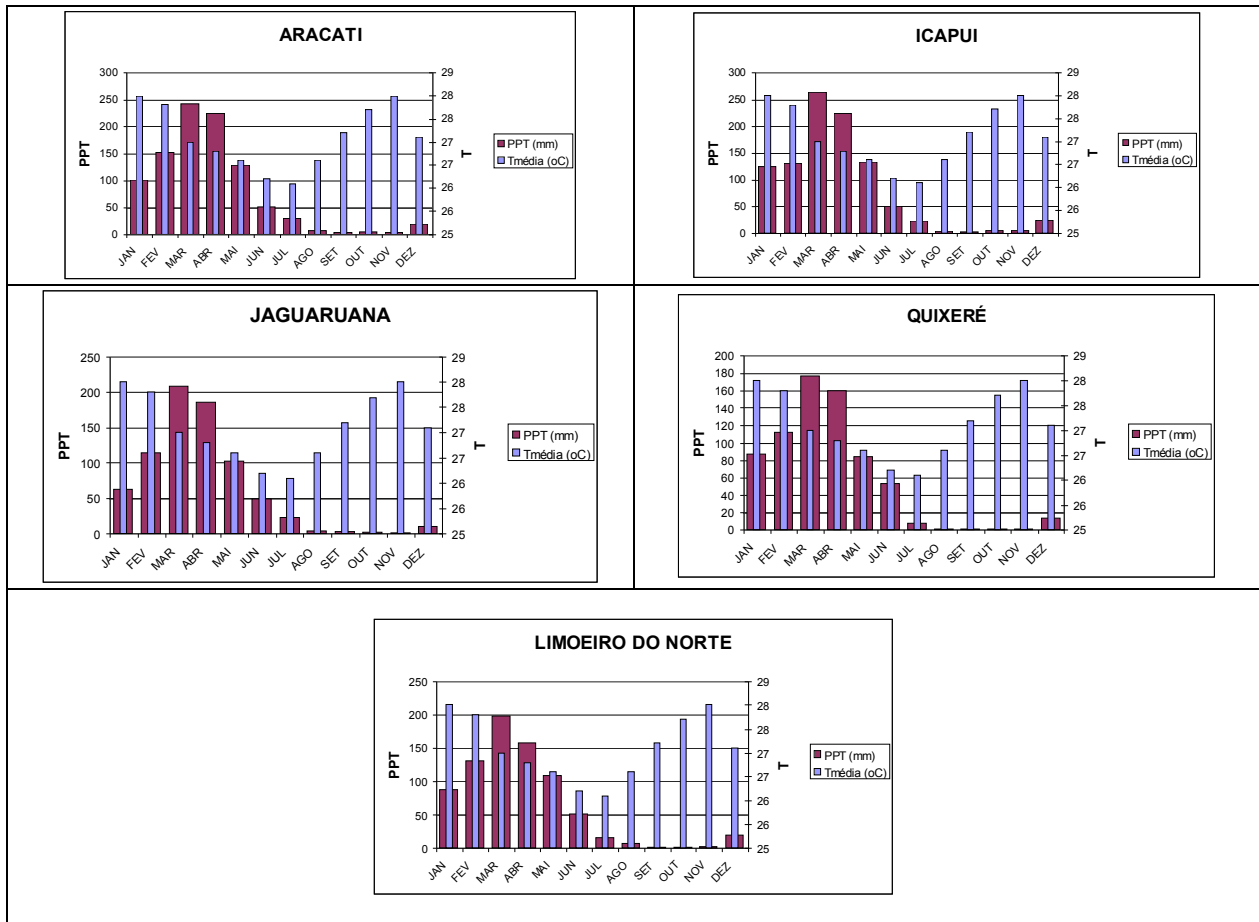


Fig. 6 – Valores médios de precipitação (PPT) e temperaturas estimadas por regressão linear para os postos pluviométricos considerados no balanço hídrico.

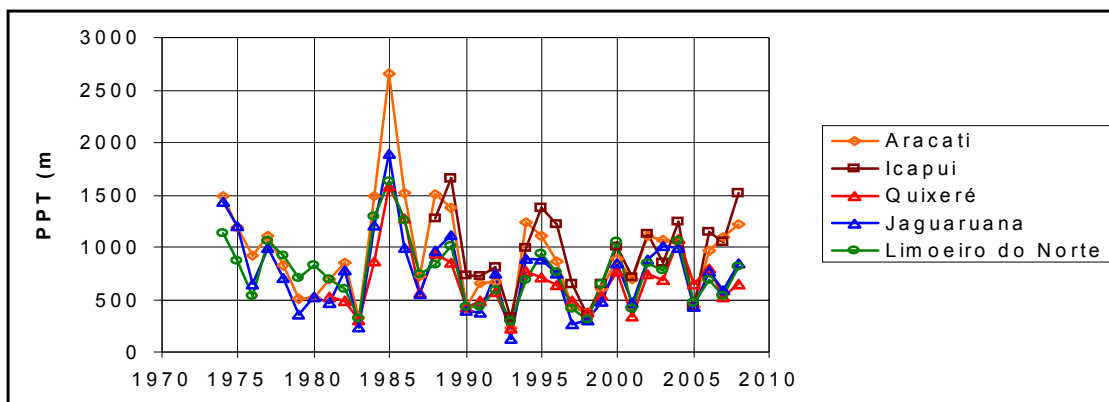


Fig. 7 – Totais anuais de precipitação para os postos pluviométricos considerados no balanço hídrico.

Tab. 3 – Valores de variação de carga hidráulica (“H) obtidos em poços com nível estático NE) monitorado no ano de 2008.

Poço	UTM-S (m)	UTM-E (m)	Prof. (m)	NE _{max.} (m)	NE _{min.} (m)	? H (m)
PT 1	9436432	637264.3	60	9.45	6.25	3.20
PT 2	9436250	637127.9	60	9.88	6.93	2.95
PT 3	9436041	636964.6	60	9.86	6.78	3.08
PT 4	9435869	636821.7	60	29.07	6.78	22.29
PT 6	9436252	635969.5	80	25.15	2.44	22.71
PT 7	9436442	635555.7	81	6.20	3.77	2.43
PT 9	9438631	633600.5	80	5.40	1.25	4.15
PT 10	9437736	631393.7	60	8.48	1.47	7.01
PT 11	9437785	631306.1	68	17.69	1.67	16.02
PT 12	9439891	630893.1	60	8.27	1.89	6.38
PT 13	9439929	630800.3	60	8.18	1.88	6.30
PT 14	9440039	630542.5	55	8.76	2.86	5.90
PT 15	9440085	630432.0	60	8.88	3.05	5.83
PT 16	9440172	630229.0	60	9.21	3.56	5.65
PT 17	9440272	629989.4	60	10.27	4.77	5.50
PT 18	9440381	629731.7	60	10.91	5.57	5.34
PT 19	9440482	629487.1	60	10.26	4.46	5.80
PT 20	9440189	629248.6	60	9.42	4.12	5.30
PT 21	9439987	629083.2	60	10.33	4.13	6.20
PT 22	9439689	628847.0	60	10.80	5.22	5.58
PT 23	9439690	629688.8	60	10.94	4.87	6.07
PT 24	9440007	629563.2	60	10.84	5.44	5.40
PT 25	9438403	629220.4	60	10.96	5.35	5.61
PT 26	9438263	628425.2	60	11.43	4.19	7.24
PT 27	9438349	628042.9	60	11.70	5.10	6.60
PT 28	9438486	627985.6	60	11.53	4.93	6.60
PT 29	9437267	630997.7	60	11.25	4.85	6.40
PT 30	9435840	631857.3	60	10.78	3.73	7.05
PT 31	9435635	632017.7	60	9.10	3.10	6.00
PT 32	9435994	632613.8	60	7.47	5.38	2.09
PT 33	9436096	632655.5	60	26.66	3.27	23.39
PT 34	9435960	632572.0	60	22.70	4.20	18.50

Alguns pontos observados (PT4, PT5 e PT32) indicaram um significativo aumento na variação de nível estático (Fig. 8). Este tipo de variação não é excepcional em meio cárstico, no entanto, devemos examiná-las com bastante prudência. O mapa da Figura 9 enquadra a área de estudo com os poços observados e isolinhas da variação de carga (“H). Observa-se que para a maior parte da área a carga hidráulica varia entre 2 e 12 m, no entanto registraram-se duas concentrações com altas variações, uma em torno do poço PT34 e a outra em torno dos poços PT04 e PT06.

Para efeito de avaliação da recarga subterrânea a área foi dividida em três partes utilizando as linhas de contorno para “H de 4 m a 10 m. Assim, para a área 1 foi adotado o valor de “H igual a 2 m, para a área 2 “H6 m e para a área 3 “H 10 m.

Os valores obtidos para a porosidade efetiva são muito superiores àqueles registrados nas literaturas consultadas, portanto, é importante ressaltar a necessidade de realizar testes de aquífero para chegar a uma avaliação consistente. O histograma (Fig. 10) apresenta uma distribuição

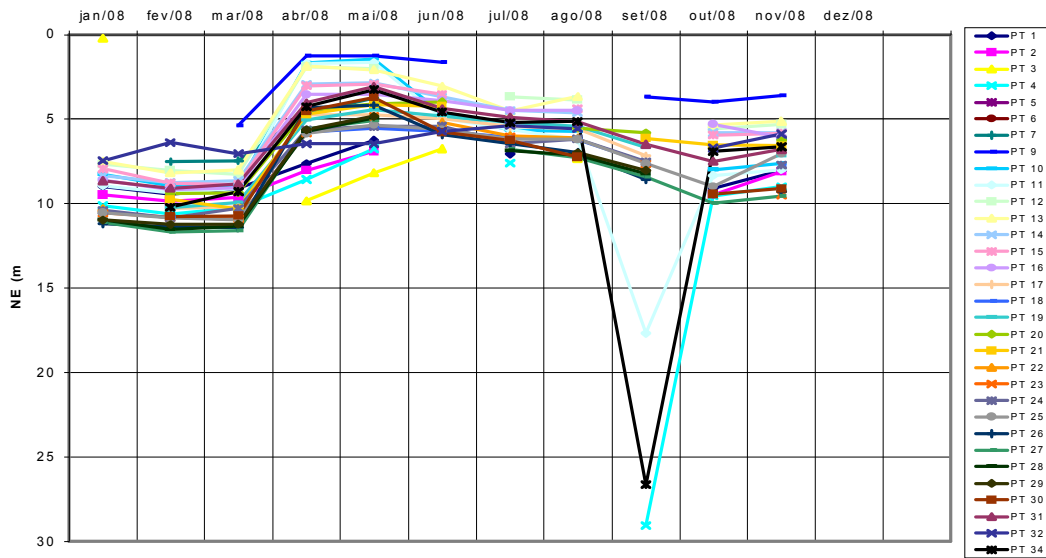


Fig. 8 – Medidas de nível estático (NE) em 2008.

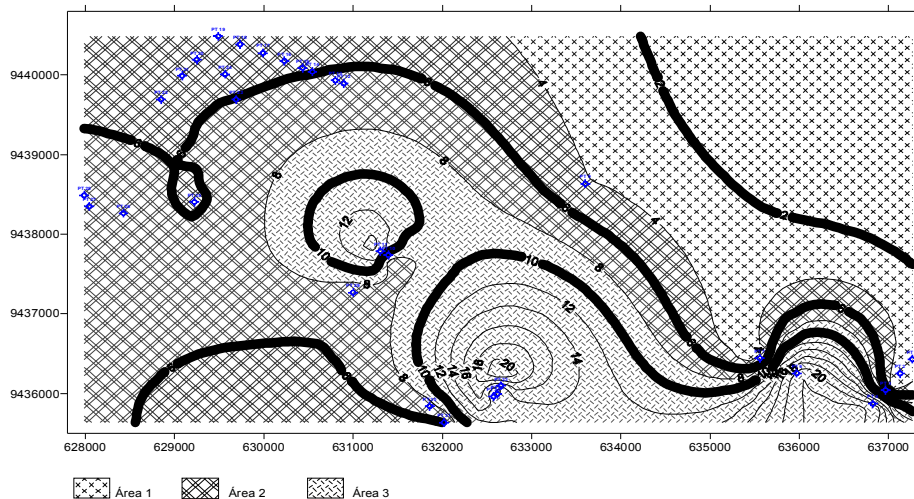


Fig. 9 – Mapa de isolinhas de variação da carga hidráulica ("H) registrada no ano de 2008 nos poços de monitoramento (pontos em azul).

irregular com as duas classes de maior frequência. Para avaliação da recarga considerou-se mais prudente adotar um valor intermediário da primeira classe de maior frequência, ou seja, 17% para a porosidade efetiva.

A partir dos valores de "H medidos e de porosidade efetiva com as simplificações adotadas chega-se ao volume de $38,63 \times 10^6 \text{ m}^3$ para a recarga subterrânea anual do Aquífero Jandaíra para uma área de $37,91 \text{ km}^2$ (Tab. 4), ou 1019 mm.

5. Reserva Permanente

A reserva permanente é o volume hídrico acumulado no meio aquífero não variável em decorrência da flutuação sazonal da superfície potenciométrica, portanto, esta reserva não depende do ciclo hidrológico atual. Em aquíferos confinados depende da porosidade eficaz e do coeficiente de armazenamento e em aquíferos livres depende apenas da porosidade efetiva.

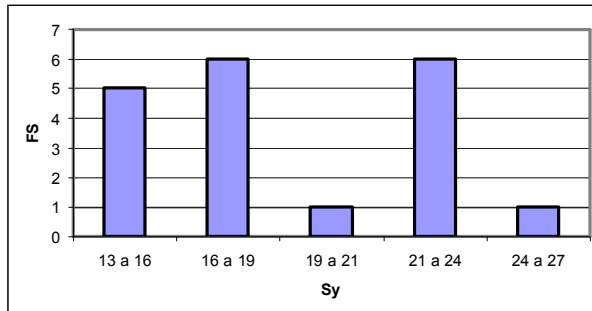


Fig. 10 – Histograma para a porosidade efetiva (S_y).

Tab. 4 – Recarga subterrânea avaliada a partir do monitoramento do nível potenciométrico.

Área (x 10^6 m ²)	H (m)	S_y (%)	Recarga anual (x 10^6 m ³)
11,82	2	17	4,02
14,33	6	17	14,62
11,76	10	17	19,99
TOTAL	37,91		38,63

Para efeito de avaliação da recarga subterrânea a área foi dividida em três partes utilizando as linhas de contorno para “H de 4 m a 10 m. Assim, para a área 1 foi adotado o valor de “H igual a 2 m, para a área 2 “H 6 m e para a área 3 “H 10 m.

Os valores obtidos para a porosidade efetiva são muito superiores àqueles registrados nas literaturas consultadas, portanto, é importante ressaltar a necessidade de realizar testes de aquífero para chegar a uma avaliação consistente.

O histograma (Fig. 10) apresenta uma distribuição irregular com as duas classes de maior frequência. Para avaliação da recarga considerou-se mais prudente adotar um valor intermediário da primeira classe de maior frequência, ou seja, 17% para a porosidade efetiva.

A partir dos valores de “H medidos e de porosidade efetiva com as simplificações adotadas chega-se ao volume de $38,63 \times 10^6$ m³ para a recarga subterrânea anual do Aquífero Jandaira para uma área de $37,91$ km² (Tab. 4), ou 1019 mm.

5. Reserva Permanente

A reserva permanente é o volume hídrico acumulado no meio aquífero não variável em decorrência da flutuação sazonal da superfície potenciométrica, portanto, esta reserva não depende do ciclo hidrológico atual. Em aquíferos confinados depende da porosidade eficaz e do coeficiente de armazenamento e em aquíferos livres depende apenas da porosidade efetiva.

O volume do Aquífero Jandaira para o cálculo da reserva permanente considerou o valor da espessura saturada correspondente à carga hidráulica mínima registrada no período de monitoramento. Para a reserva permanente deste aquífero, considerando toda a área aflorante no Estado do Ceará, foi determinado um volume de $121,0 \times 10^9$ m³ que corresponde a 95% do volume da Formação Jandaira avaliado em $127,4 \times 10^9$ m³. Considerando o valor da porosidade efetiva de 17% atingiu volume admissível de $121,0 \times 10^9$ m³ para a reserva permanente.

6. Análise e Discussão dos Resultados

No ano de 2008, de acordo com os registros dos 73 horímetros instalados em poços na área de estudo, foram extraídos 14 milhões de m³, que é inferior a 50% da recarga subterrânea avaliada para a área onde estão concentrados os poços.

É de conhecimento geral que existem incertezas inerentes ao estudo dos sistemas de armazenamento de águas subterrâneas atribuídas às dificuldades para obtenção de registros confiáveis de dados de campo. Para uma avaliação das características geométricas, hidrodinâmicas, de potencialidade e/ou disponibilidade de água subterrânea de um sistema aquífero são necessárias observações espacialmente bem distribuídas durante um período suficientemente longo de todas as variáveis envolvidas no condicionamento do sistema e dos processos a que estão sendo submetidas.

A porosidade efetiva é em um termo de fundamental influência para avaliação dos volumes de água subterrânea presentes nos aquíferos tanto os volumes que constituem as reservas renováveis quanto aqueles que compõem as reservas

permanentes. Na avaliação da reserva foram utilizadas fórmulas empíricas para a determinação volumétrica o que prejudica o grau de confiabilidade dos valores avaliados.

Por outro lado, observa-se a complexidade para a caracterização hidráulica dos aquíferos cársticos através da determinação de seus parâmetros hidrodinâmicos. O armazenamento e a circulação das águas subterrâneas em meio cárstico estão condicionados à dissolução, a malha e a intensidade do fissuramento das rochas. Os parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos são calculados a partir de metodologias válidas apenas para as condições de regime laminar de fluxo subterrâneo e em meio poroso, condições estas que podem não ser atendidas em aquíferos cársticos. Os fenômenos de deformação diferenciada das rochas e os processos de carstificação conferem grande heterogeneidade e anisotropia a esses sistemas aquíferos, o que resulta em uma grande variabilidade nos valores dos seus parâmetros hidrodinâmicos.

Os parâmetros hidrodinâmicos refletem uma componente regional, sendo fortemente influenciados pelas características locais e ao redor dos pontos onde foram determinados. Assim, durante a manipulação e análise dos valores destes parâmetros deve-se tomar cuidado quanto a representatividade local e regional do aquífero cárstico.

Neste sentido, para atingir um nível de conhecimento satisfatório torna-se necessária a aquisição de series continuadas de dados para produzir as informações exigidas para uma gestão eficiente deste tipo de sistema. Podemos destacar a importância da descrição litológica nos perfis, a realização do maior número possível de testes de aquífero, o monitoramento de níveis estáticos e da produção de poços tubulares.

Referências Bibliográficas

- Jardim de Sá, E. F., 1994 A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. Universidade de Brasília, Brasília. Tese de Doutorado, n3, 803p.
- Lerner, D. N., Issarar, A.S., Simmers, I., 1990. Groundwater recharge: A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge. Hannover, Germany: Heire (International Contributions to Hydrogeology, v. 8), 326 p.
- Pazdro, Z., 1983. Hydrogeologia Ogólna, W. G Warszawa, p. 575.
- Silva, A.B. Hidrogeologia de Meios Cársticos. In: Feitosa, F. A. C., Filho, J. M., Demetrio, J. G. A. (Coord.) Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008. Cap. 3.3, p.153:174.
- Alvarez, R. H., Niedzielski, H., 1996. Estimacion de la recarga en la subcuenca Rio de las Avenidas Pachuca Hidalgo México. In: Congresso Latino-americano de Hid. Sub., 3, México, 1996. **Anais do 3º Congresso Latino-americano de Hid. Sub.**, México: ALHSUD. p. 35-46.