

ANÁLISE REGIONAL DE AQÜÍFEROS ALUVIAIS. Um estudo de caso: região de Itapiuna/CE.

Gilberto Möbus¹; Jair Barroso Lúcio²; Yuri Castro Ponciano Lima³ & Rafaela Gonzaga Silva³

RESUMO --- Realizou-se a análise regional dos aquíferos aluvionares na região abrangida pela Folha de Itapiúna (escala 1:100.000 – SUDENE). Para tanto, lançou-se mão de análise da rede de drenagem e de aspectos dimensionais e hidráulicos dos depósitos sedimentares. O desenho da rede de drenagem foi obtido através da geração automática a partir do modelo numérico do terreno (MNT). Furos de sondagens a trado, medidas da largura e ensaios de condutividade hidráulica (K), foram realizados em 68 seções de aluviões, amplamente distribuídas na área do projeto. Foram avaliadas possíveis relações entre os aspectos dimensionais e a ordem das drenagens, classificadas segundo o método de Strashler. Por fim, foram feitas algumas considerações sobre o potencial hidrogeológico do sistema aquífero aluvionar da região.

ABSTRACT --- This paper presents a regional analysis of alluvial aquifers for the region covered by the Itapiúna Map (SUDENE MAP: 1:100.000). The method consists of using drainage network analysis along with dimensional and hydraulic aspects of sediment deposits. The drainage network was automatically generated based on a digital elevation model (DEM). The field campaign to gather the necessary information to carry out the study included drilling of holes, measurements of alluvial aquifers' width, and hydraulic conductivity (K) analyses in 68 sections of the alluvial aquifers over the region of interest. Possible mathematical relationships have been studied between dimension aspects of the aquifer and the order of the drainage, defined according to the Strashler Method. Finally, the paper points out some considerations regarding the hydrogeological potential of the alluvial aquifer system in the region.

Palavras-chave: hidrogeologia, aluviões.

¹ Pesquisador da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME; Av. Rui Barbosa 1246, Aldeota; CEP 60115-221; Fortaleza; CE; Brasil; Fone (+85) 4331843, mobus@funceme.br

² Técnico da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, jair@funceme.br

³ Bolsistas CNPq/FUNCEME, yuri@funceme.br, rafaela@funceme.br

INTRODUÇÃO

Grande parte do território nordestino brasileiro, dado a sua posição geográfica, pertence ao chamado “Polígono das Secas”. Trata-se de uma região semi-árida, onde vários impactos ambientais fragilizam seus ecossistemas naturais. O Ceará, inserido nesse contexto, freqüentemente é castigado pelo fenômeno da seca. Como se não bastasse, mesmo em anos com pluviosidade significativa, ocorrem longos períodos de estiagem (em média 8 meses) que, associados a má distribuição das precipitações, conferem aos rios um caráter intermitente. Esse cenário faz com que o Estado do Ceará apresente, além de problemas freqüentes de abastecimento em várias regiões, poucas áreas com condições de desenvolver atividades econômicas. Apesar das adversidades climáticas, o Estado possui uma vocação agrícola histórica que vem ganhando força nos últimos anos, graças ao estímulo dado à agricultura irrigada.

O Ceará possui mais de 70% de sua área composta por rochas cristalinas que, do ponto de vista hidrogeológico, apresentam-se com limitada capacidade de armazenamento e com dificuldades de exploração, por poços, de grandes vazões (em média, inferiores a $3\text{ m}^3/\text{h}$ - Möbus et al, 1998). Mas, ao longo das drenagens desses ambientes, existem depósitos de materiais, predominantemente arenosos, que se constituem, normalmente, em bons aquíferos e, por consequência, com forte potencial hídrico. Esses depósitos, denominados de aluviões, apesar de não apresentarem dimensões (largura e espessura) muito significativas, comparativamente às de regiões climaticamente mais amenas, possuem uma significativa ocorrência superficial.

Não existe, ainda, um mapa que indique a localização desses aluviões, exceto os de grande dimensões, na região do domínio do cristalino no Estado. Torna-se evidente a importância da localização de tais depósitos, de modo a auxiliar nas buscas de novas alternativas no suprimento d’água. Ainda, se esta informação vier acompanhada por dados sobre o provável potencial hídrico associado ao depósito mapeado, na forma de uma hierarquização, auxiliaria na otimização de tempo e recursos, os quais poderiam ser canalizados para uma prospecção de detalhe, para fins de estimativas mais seguras sobre a disponibilidade hídrica.

A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME desenvolve, desde 2005, sob os auspícios do CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa), um estudo que visa propor uma metodologias de aplicação de ferramentas no âmbito do sensoriamento remoto e de um sistema geográfico das informações, associado às técnicas convencionais, no mapeamento regional e avaliação do potencial hidrogeológico de aluviões em áreas de ocorrência do embasamento cristalino no Estado do Ceará. O presente trabalho mostra, de forma resumida, os estudos realizados no tocante a caracterização hidrogeológica da região estudada no projeto citado.

ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na área abrangida pela Folha SB.24-X-A-IV/Itapiúna – Ceará (SDN/MI, 1972), de coordenadas $4^{\circ}30' S / 39^{\circ} 00' W$ e $5^{\circ} 00' S / 38^{\circ} 30' W$ (Figura 01). A área dista, aproximadamente, 100 km de Fortaleza, capital do Estado do Ceará.

Esta área cobre, parcialmente, os municípios de Ibaretama, Ibicuitinga, Itapiúna, Ocara, Morada Nova e Quixadá. Os principais rios da região são os rios Choro, Sitia e Pirangi. O embasamento cristalino, que perfaz mais de 75% dos tipos litológicos aflorantes na região, é constituído predominantemente por rochas metamórficas (complexo migmatítico-gnaissico) do Pré-Cambriano e do Proterozóico. Coberturas colúvio-aluvionares terciárias rasas e aluviões recentes completam o quadro geológico da região.

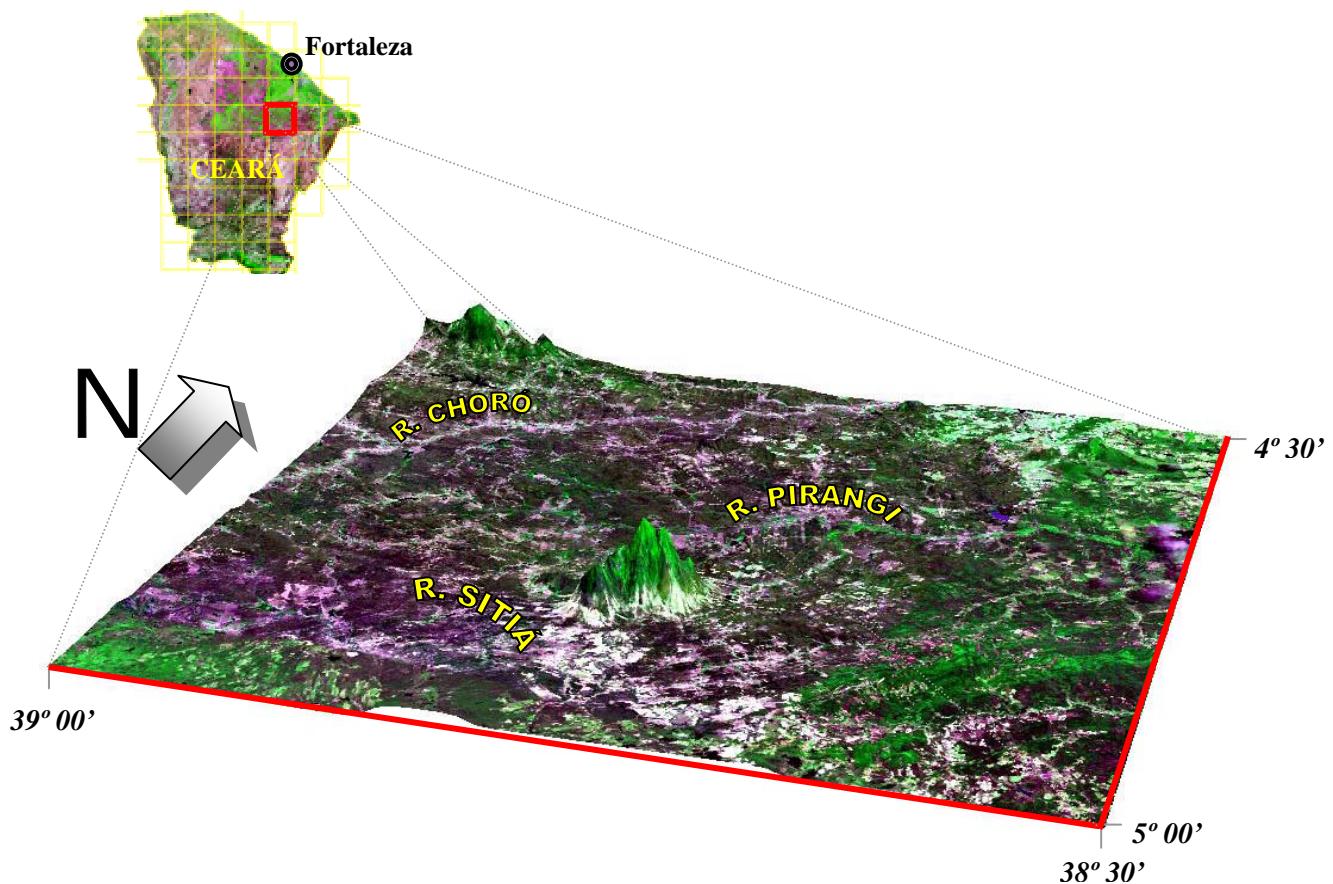


Figura 01 – Localização da área de estudo (Folha de Itapiúna)

METODOLOGIA

A pesquisa contemplou duas linhas preferenciais de estudo. O mapeamento dos corpos aluvionares foi desenvolvido, basicamente, através de tratamento e análise de produtos de sensoriamento remoto. Já a caracterização hidrogeológica da área foi realizada com base em estudos XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos

de campo. Como já mencionado, aqui será tratado somente as atividades relacionadas à avaliação hidrogeológica da área.

Aspectos Conceituais

Os principais elementos a serem considerados na avaliação de um aquífero clássico (porosidade por interstício) são seus aspectos dimensionais e suas propriedades físicas.

Em se tratando de aquíferos aluvionares, de gênese e geometria estreitamente relacionada com a rede de drenagem, elementos como largura e espessura são significativos para estimar a pujança do corpo. Estes dois elementos são fortemente condicionados pelas características da bacia hidrográfica. Aspectos como tamanho de bacia contribuinte, declividade do terreno e ordem da drenagem devem ser considerados na avaliação dos aspectos dimensionais dos corpos aluvionares.

Apesar dos aluviões se caracterizarem pela suas grandes heterogeneidades litológicas, uma idéia da composição granulométrica de alguns perfis pode ser útil na estimativa das espessuras sedimentares mais efetivas na caracterização do potencial hidrogeológico do corpo aluvionar. Mesmo havendo uma conexão hidráulica direta com os rios (afluentes ou efluentes), as camadas mais superficiais dos aluviões exercem significativa importância na recarga das águas subterrâneas.

Já, em termos de propriedades físicas macroscópicas que melhor definam a capacidade de um meio em armazenar e ceder água subterrânea, destacam-se: a porosidade (efetiva) do aquífero, o tamanho, a forma, o arranjo e a distribuição das partículas que o compõe. O parâmetro hidráulico que melhor descreve estes elementos é a condutividade hidráulica, definida como a facilidade do meio aquífero em exercer a função de um condutor hidráulico (Feitosa & Manuel Fº, 1997).

Sinopse Metodológica

Foram realizadas as seguintes atividades:

- a) Geração de uma rede de drenagem a partir do modelo numérico de terreno (reamostrado) do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) da NASA;
- b) Levantamentos de campo das características geométricas e hidráulicas dos aluviões da área de pesquisa;
- c) Tabulação e tratamento dos dados;
- d) Análise dos resultados;
- e) Conclusões e recomendações.

Atividades Preliminares

O mapeamento dos aluviões, através do tratamento e análise das imagens de satélite (ASTER), mostrou-se problemático no tocante a identificação dos corpos menores. Mesmo assim, ficou claro que a rede de drenagem associada era mais densa que a apresentada na carta da SUDENE (escala 1:100.000).

Com base nas imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), um projeto conjunto entre a *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), foi obtido o Modelo Digital do Terreno (DTM), com acurácia de 90 m. Posteriormente foi reamostrado para 25 metros e, utilizando o programa ArcView 9.0 (módulo ArcHidro), gerou-se uma rede de drenagem de forma automática. Esta nova rede, além de captar maiores detalhes, corrigiu pequenos erros na drenagem impressa na carta da SUDENE (Figura 02).

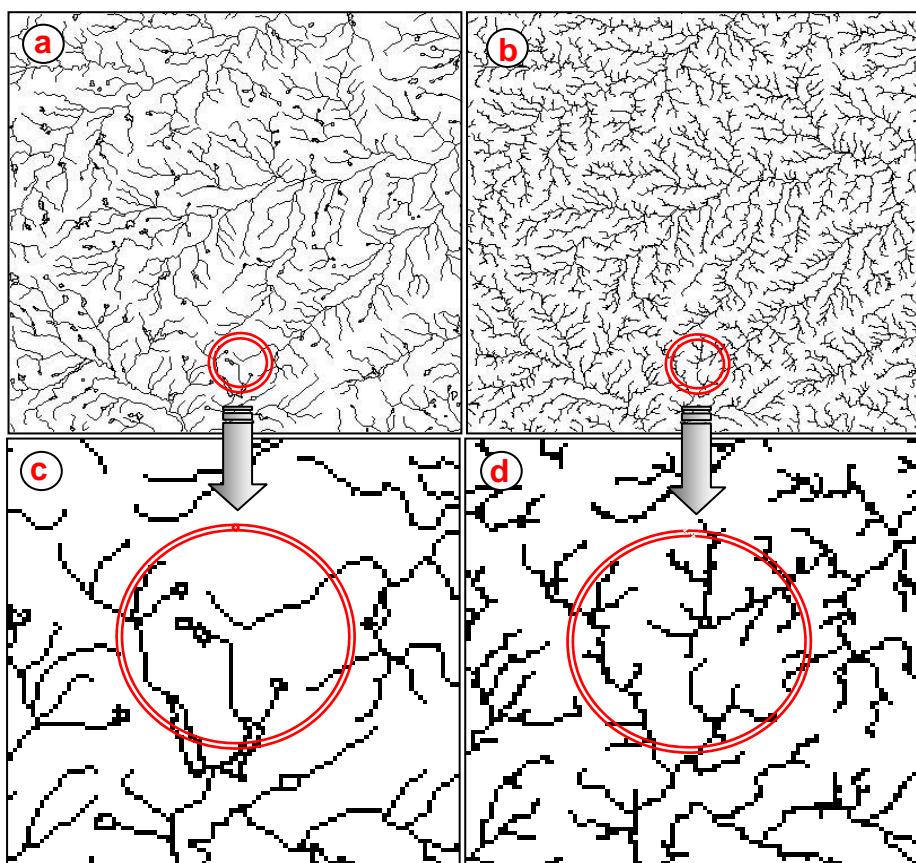


Figura 02 – (a): Drenagem SUDEME (1:100.000), (b): Drenagem gerada a partir do MNT, (c) e (d): Detalhes das respectivas drenagens, destacando-se diferenças de escoamento dos cursos.

Os elementos dessa rede de drenagem foram classificados, segundo a ordem de grandeza, pelo método de Strahler (Tucci, 1993). Esta classificação norteou os trabalhos de campo. Foram selecionados pontos de amostragem de modo a contemplar, de forma significativa, todas as ordens classificadas.

Trabalhos de Campo

Foram realizadas 11 (onze) campanhas, que resultaram em avaliação de 68 (sessenta e oito) seções. A Figura 03 mostra a distribuição espacial dos pontos amostrados em relação a classificação dos trechos da rede de drenagem.

Os trabalhos de campo contemplaram tanto a caracterização dimensional, como a estimativa da condutividade hidráulica, das seções selecionadas. A seguir, é apresentado o aspecto metodológico empregado nestes serviços.

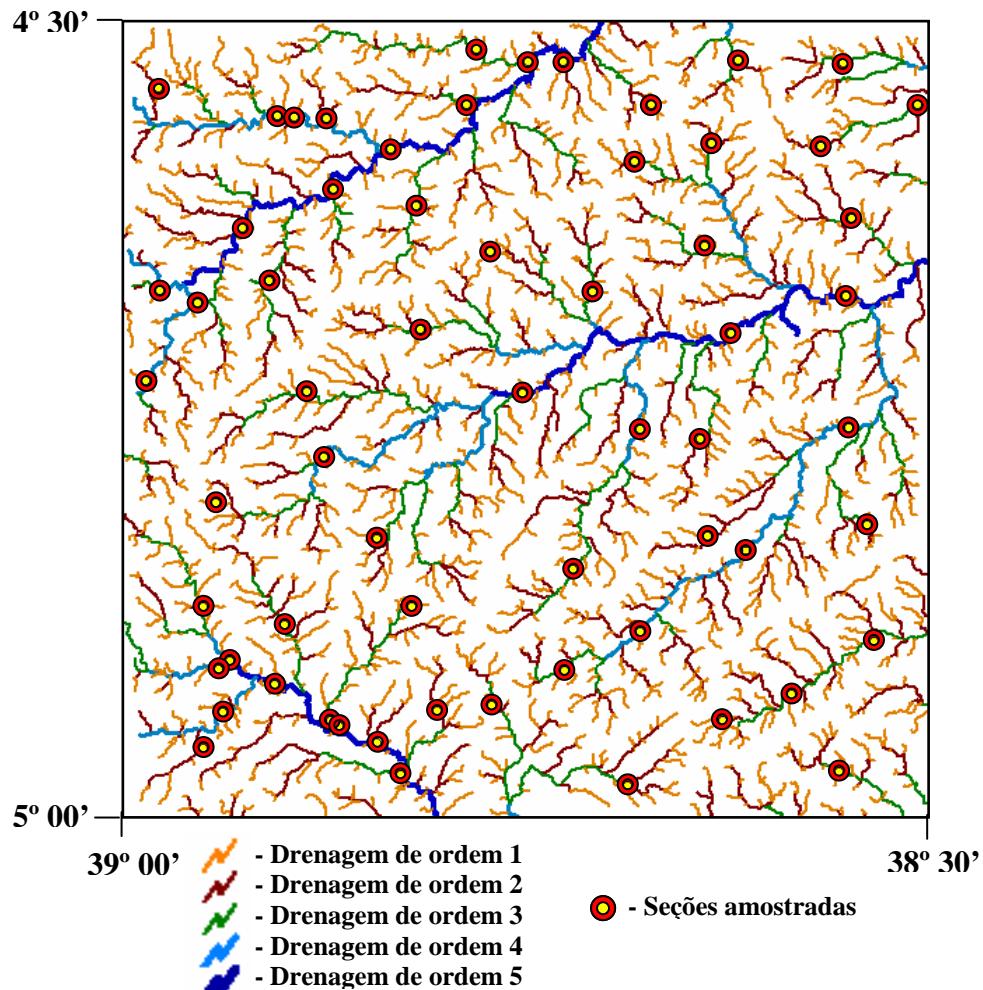


Figura 03 – Classificação da drenagem segundo Strahler & seções amostradas

Caracterização Geométrica

Os principais elementos dimensionais levantados em campo foram à espessura do pacote sedimentar e a largura da seção transversal. A largura foi tomada diretamente com auxílio de uma trena. Para a determinação da espessura foram realizados furos de sondagens a trado, buscando sempre os locais com tendência a apresentarem as maiores espessuras.

O equipamento empregado, trado com autonomia para 15 metros, foi desenvolvido

especialmente para trabalhar em depósitos de areias não consolidadas, mesmo em condição de saturação. Cada furo de sondagem a trado teve seu perfil litológico descrito, em termos de granulometria, homogeneidade, cor e umidade.

Avaliação da Condutividade Hidráulica

Nas seções onde foram feitas as sondagens a trado também foram realizados ensaios de estimativa da condutividade hidráulica do meio. Por haver níveis mais ou menos permeáveis ao longo de um perfil vertical de um aluvião, optou-se por realizar os ensaios sempre a uma mesma profundidade (1m), buscando assim uma padronização na amostragem.

O método empregado foi o de Pourche, também conhecido por “método do poço invertido”, que é empregado em solos sem a presença do lençol freático. A técnica consiste em abrir um furo á trado e, após saturar a espessura a ser analisada, medir a relação tempo x rebaixamento após o enchimento do furo com água (Figura 04). O ensaio deve ser repetido, no mínimo, por três vezes. Os dados devem ser plotados em um gráfico monolog ($hi + r/2$) x t.

Assim, a condutividade hidráulica pode ser obtida através da equação:

$$K = 1,15r \frac{\log(hi(1) + r/2) - \log(hi(2) + r/2)}{ti(2) - ti(1)} \quad (1)$$

onde:

- K = condutividade hidráulica (m/dia);
- r = raio do poço (cm);
- $hi(1) + r/2$ = altura correspondente a um dado ponto da reta interpolatriz (cm);
- $hi(2) + r/2$ = altura correspondente a um segundo ponto da reta interpolatriz (cm);
- $ti(1)$ e $ti(2)$ = tempos correspondentes a primeira e segunda leituras de níveis na reta.
-

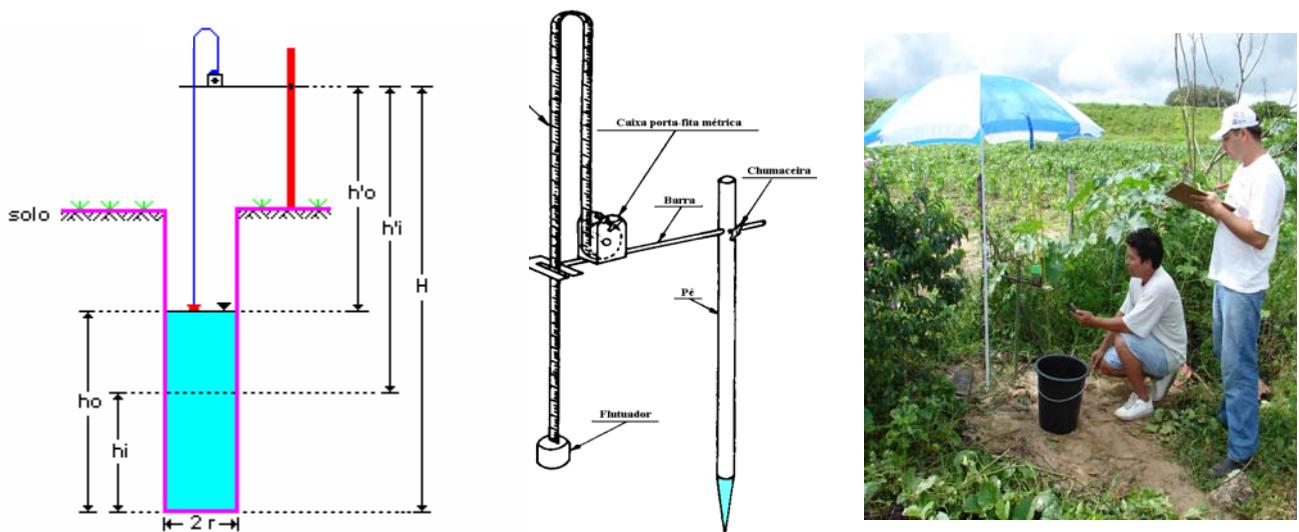


Figura 04 – Desenho esquemático do ensaio de Pourche, equipamento utilizado e foto de um ensaio.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Quadro 01 apresenta um resumo dos valores característicos dos trechos de drenagem, ordenados segundo Strahler.

Quadro 01 – Resumo dos valores característicos dos trechos de drenagem da área Strahler.

Valores Característicos	Ordem da Drenagem (Segundo Strahler)				
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a
Nº de trechos	1491	358	76	15	3
Menor trecho (m)	103,03	106,06	247,49	1.101,41	23.129,54
Maior trecho (m)	5.270,37	12.522,54	20.753,78	42.477,11	49.726,19
Soma total dos trechos (m)	1.570.836,08	748.573,69	457.899,08	167.034,87	115.971,81
Valor médio (m)	1.053,54	2.085,16	6.024,99	11.135,66	38.657,27
Desvio padrão (m)	796,89	1.841,91	4.533,48	11.296,34	13.847,61

O Quadro 02 mostra um resumo dos valores das características dimensionais dos aluviões, para os sessenta e oito pontos amostrados (vide Figura 02), associados aos trechos de drenagem (ordenados segundo Strahler).

Observa-se haver uma coerência nos valores médios, tanto da espessura como da largura, em relação à ordem das drenagens, uma vez que se espera valores maiores nos trechos de maior ordem.

Quadro 02 – Valores das características dimensionais dos trechos amostrados dos aluviões.

Valores das Características Dimensionais dos Aluviões	Ordem da Drenagem Associada (Segundo Strahler)				
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a
Nº de seções amostradas	8	11	25	14	10
Espessura					
Menor espessura (m)	1,200	1,100	1,400	1,970	2,700
Maior espessura (m)	3,400	3,690	3,600	7,000	7,000
Valor médio (m)	2,035	2,123	2,323	3,222	4,844
Desvio padrão (m)	0,802	0,758	0,589	1,294	1,516
Largura					
Menor largura (m)	40,00	50,00	30,00	70,00	120,00
Maior largura (m)	150,00	200,00	200,00	160,00	260,00
Valor médio (m)	73,75	104,17	105,36	122,06	177,27
Desvio padrão (m)	33,77975	43,31876	46,94221	29,21145	38,7533

O Quadro 03 apresenta os valores característicos das condutividades hidráulicas (K) estimadas. Como intervalo de valores da condutividade hidráulica usou-se os sugeridos pelo U.S. Bureau of Plant Industry and Agricultural Engineering (in Cauduro & Dorfman, 1988 - Quadro 04). Os valores de K variaram de moderado a moderadamente rápida, classificação coerente com o tipo

de material predominante nas camadas superficiais (até 1m) da maioria das sondagens realizadas. Apesar, do fluxo estudado ser predominantemente horizontal, observou-se, na fase preliminar dos ensaios (saturação do meio), uma velocidade de infiltração (fluxo vertical) alta.

Novamente, nota-se uma tendência de condições de permeabilidades melhores nos trechos de maior ordem. Apesar, da condutividade hidráulica ter sido calculada para as camadas mais superficiais, cabe lembrar que, quase que somente as seções aluviais das drenagens de mais alta ordem (4^a e 5^a ordem) apresentaram níveis mais profundos de permeabilidade muito elevada (níveis de areia grossa e cascalho limpo), constituídos de areias grossas e cascalhos limpos. A percentagem de zonas dessas zonas mais condutivas é, na grande maioria, inferior a 50% das profundidades verificadas nos furos de sondagens.

Quadro 03 – Valores característicos das condutividades hidráulicas estimadas nos trechos amostrados dos aluviões.

Valores Característicos das Condutividades Hidráulicas K (cm/h)	Ordem da Drenagem Associada (Segundo Strahler)				
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a
Nº de trechos amostrados	8	11	25	14	10
Menor valor de K (cm/h)	7,16E-01	8,14E-01	7,34E-01	7,42E-01	3,87E+00
Maior valor de K (cm/h)	8,01E+00	1,45E+01	1,88E+01	1,34E+01	1,22E+01
Valor médio: K _{med} (cm/h)	5,62E+00	6,42E+00	8,46E+00	7,60E+00	8,61E+00
Desvio padrão	2,581575	4,308806	4,570690	3,484840	2,522990
Classe	M	MR	MR	MR	MR

Quadro 04 – Classes de condutividade hidráulica (U.S. Bureau of Plant Industry and Agricultural Engeneering).

CLASSES	SIGLA	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA - K (cm/h)
1 - Muito Lenta	MLL	< 0,13
2 – Lenta	L	0,13 a 0,51
3 – Moderadamente Lenta	ML	0,51 a 2,00
4 – Moderada	M	2,00 a 6,30
5 – Moderadamente Rápida	MR	6,30 a 12,70
6 – Rápida	R	12,70 a 25,40
7 – Muito Rápida	MRR	> 25,40

Assim, pode-se inferir com base nos dados coletados que as drenagens de maior ordem são as que apresentam condições mais favoráveis, nos aspectos dimensionais e hidráulicos, do ponto de vista da hidrogeologia.

Estimativa das Reservas Subterrâneas dos Aquíferos Aluvionares

Em termos de volumes armazenados, e volumes passíveis de serem explotados, pode-se

fazer uma primeira aproximação, considerando-se um valor médio da porosidade total e porosidade efetiva, com base no tipo de material presente na maioria das seções analisadas dos aluvião (Quadro 05).

Quadro 05 – Valores representativos de porosidade total e efetiva (segundo Davis, 1978).

Tipo de material	Areia média	Areia fina
Porosidade efetiva	0.25	0.10
Porosidade total	41 a 50 %	

Em se tratando de aquífero livre, sabe-se que a água armazenada é liberada principalmente por drenagem gravitacional dos poros. O parâmetro, neste caso, que expressa o percentual de água passível de ser liberada, é o Coeficiente de Armazenamento Efetivo (S_y), o qual se constitui na soma entre o Coeficiente de Armazenamento (S) e a porosidade efetiva (η_{ef}). Segundo Feitosa (1996), a parcela correspondente ao coeficiente de armazenamento é muito pequena em relação a porosidade efetiva, sendo que, para efeitos práticos, toma-se como valor representativo da porosidade efetiva de um aquífero livre o próprio valor estimado para o armazenamento efetivo. Optou-se por trabalhar com valores médios apresentados no Quadro 05.

Os volumes dos aluviões foram estimados com base nos valores característicos dos trechos (Quadros 01 e 02), considerando-se que esses apresentem formato genérico de um prisma horizontal de base triangular. O quadro 06 mostra um resumo desses dados:

Quadro 06 – Resumo das características dimensionais dos trechos de drenagem da área

Elementos calculados	Ordem da Drenagem (Segundo Strahler)					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	Total
Comprimento(m)	1.570.836,08	748.573,69	457.899,08	167.034,87	115.971,81	
Largura (m)	73,75	104,17	105,36	122,06	177,27	
Espessura (m)	2,03	2,12	2,32	3,22	4,84	
Área (m ²)	115.849.161	77.978.921	48.244.247	20.388.276	20.558.323	283.018.928
Volume (m ³)	117.876.521	82.774.625	56.035.693	32.845.513	49.792.258	339.324.610

Considerando-se um volume total de aluvião na casa dos 339.324.610 m³, tem-se:

Volume total passível de ser armazenado (saturação total do aluvião):

$$339.324.610 \text{ m}^3 * 0,41 \text{ a } 339.324.610 \text{ m}^3 * 0,50 = 139.123.090 \text{ a } 169.662.305 \text{ m}^3$$

$$\text{Valor médio: } \mathbf{154.392.697 \text{ m}^3}$$

Assim, uma estimativa do volume médio passível de ser extraído dos aluviões, considerando os aquíferos constituídos por materiais entre areia média a fina, em condição de saturação total, será

$$339.324.610 \text{ m}^3 * 0,25 \text{ a } 339.324.610 \text{ m}^3 * 0,10 = 84.831.152 \text{ a } 33.932.461 \text{ m}^3$$

$$\text{Valor médio: } \mathbf{59.381.806 \text{ m}^3}$$

Vale lembrar que os valores aqui apresentados podem ser tomados como conservadores, por não ter sido considerado os níveis mais permeáveis, característicos dos trechos de aluviões associados às drenagens de maiores ordens (4^a e 5^a ordem).

Se tomarmos um valor extremamente conservador de permeabilidade efetiva, na ordem de 15%, para a estimativa do volume total passível de ser armazenado pelos aquíferos, em pelo menos 80% do volume total médio dos trechos (271.459.688 m³), e dividirmos pela área superficial total dos aluviões, estimada a partir dos valores médios obtidos nos levantamentos de campo (Quadro 02 e 04), vemos que seriam necessários infiltrar 144 mm de água na superfície dos aluviões para termos 80% da saturação total dos aquíferos.

A precipitação média anual na área, com base na série histórica de 24 anos (1978-2002) de 8 (oito) postos pluviométricos na região, é de, aproximadamente, 611 mm por ano. Sem considerar a distribuição temporal ao longo do ano, pode-se inferir que, na maioria dos anos, a precipitação direta garante uma fração significativa para a renovação das reservas hídricas dos aquíferos aluvionares da região. Cabe frisar que as condições iniciais da zona não saturada (vadosa) é crucial para que ocorra recarga efetiva do aquífero.

Deve-se lembrar que a recarga do sistema se dá, além por infiltração direta da precipitação, também através da influência dos cursos d'água superficiais. Esta recarga depende da diferença de potencial hidráulico entre rio/aquífero. Não houve monitoramento dos níveis potenciométricos. Se considerar o volume d'água precipitado sobre toda a área da carta (55Km x 55Km), excluindo-se as áreas ocupadas pelos corpos aluvionares, ter-se-ia 1.675.350.434 m³.

Macedo (1981), em seu estudo de aproveitamento hídrico das bacias fluviais do Ceará, apresentou como coeficientes de escoamento superficial (Rendimento pluvial – R), para o cálculo dos volumes afluentes, das Sub-bacias do rio Choró e do rio Pirangi, os valores de 17,64% e 14,9%, respectivamente. Já Carvalho (1983) propôs uma estimativa desse coeficiente (R) com base em faixas de precipitações. Assim, para precipitações compreendidas entre 500 e 1.000 mm, tem-se:

$$R\% = \frac{H^2 - 400H + 230.000}{55.000} \quad (2)$$

Onde: R% = Rendimento pluvial, porcentagem da precipitação ocorrida;
H = Precipitação pluviométrica (mm)

Para a região, com base na fórmula acima, ter-se-ia um valor de R na ordem de 6,5. Numa análise relativamente conservadora, considerando-se um percentual de 10% de escoamento superficial (valor médio), e o fato do terreno se apresentando pouco acidentado, pode-se estimar que o volume de água precipitada já citado, pode gerar um escoamento que alimentaria os rios na ordem de 167.535.043 m³, volume este bastante significativo para auxiliar a recarga dos aquíferos

aluvionares.

Sobre a Qualidade das Águas dos Aqüíferos Aluviais da Área

Não foram realizadas análises físico-químicas durante os trabalhos do presente estudo. As informações disponíveis quanto à qualidade das águas subterrâneas foram obtidas a partir dos dados disponíveis no Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará (MME/CPRM, 2002).

Dos mais de 220 poços cadastrados na região, somente 10 foram identificados como sendo no aluvião. São poços de grande diâmetro (tipo amazonas) e rasos (profundidades não superiores a 6,0m). Apesar do número relativamente pequeno da amostra de poços no aluvião, os dados deles extraídos mostram-se representativos, considerando as informações verbais colhidas durante os trabalhos de campo.

O Quadro 07 apresenta uma síntese dos dados de condutividade elétrica (CE) e de Sólidos totais Dissolvidos das águas desses poços. Águas com valores de CE, na faixa dos apresentados neste quadro ($>1020 \mu\text{mohs/cm}$), conferem um alto risco de salinização do uso dessas águas para irrigação, segundo o estabelecido no nomograma de classificação de águas para irrigação do United States Salinity Laboratory - USSL (in Feitosa & Manoel Fº, 1997). Segundo este mesmo nomograma, estas águas só podem ser utilizadas em solos bem drenados. As águas com valores de C.E. superiores a 2250 $\mu\text{mohs/cm}$ (caso de 03 poços) são proibitivas para irrigação.

Quadro 07 – Valores característicos da Condutividade Elétrica e de Sólidos Totais Dissolvidos dos poços, tipo amazonas, escavados na área da pesquisa (MME/CPRM, 2002).

Valores Característicos	Condutividade Elétrica (CE) $\mu\text{mohs/cm}$	Sólidos Totais Dissolvidos (STD) mg/L
Nº amostras:	10	10
Menor valor:	1020	683
Maior valor:	9540	6392
Média:	3521	2359
Desvio Padrão:	3479	2331

Os valores de Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) das águas dos poços no aluvião (Quadro 06) são sempre superiores a 500 mg/L, mostrando não haver água doce disponível. Excetuando três amostras, classificadas como salgadas, as demais caracterizam as águas como salobras (TDS entre 500 e 1500 mg/L).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O desenho da rede de drenagem a partir do modelo numérico do terreno (MNT) mostrou-se de ótima qualidade, com boa aderência a realidade, e com um nível de detalhe muito superior a

carta disponível (1:100.000). Deve-se salientar que neste processo são estimados, automaticamente, os comprimentos de todos os trechos de drenagem, individualmente.

A metodologia utilizada nos trabalhos de campo (sondagens e ensaios de condutividade hidráulica) mostrou-se prática e eficiente. Salienta-se que o rendimento dos trabalhos foi maior na época da estação seca.

Como padrão geral, observou-se que a profundidade dos furos tendem a aumentar para jusante nos mesmos trechos de drenagem, e que há idêntica tendência na variação das espessuras dos aluviões na rede como um todo. Assim, verificou-se que quanto maior a ordem da drenagem (considerando o método de Strahler), a tendência é de se ter as maiores espessuras de aluviões. Isto se verificou, talvez, por não haver variações muito significativas na geomorfologia regional.

Via de regra, observou-se que os aluviões associados aos trechos de drenagens de ordem 4 e 5 apresentaram melhores características hidrogeológicas, nos aspectos dimensionais e hidráulicos, assim como mostraram as maiores espessuras de zona mais permeável que, na maioria dos casos, perfaziam menos de 50% da profundidade do pacote sedimentar.

A obtenção dos dados dimensionais dos trechos aluvionais, associados à estimativa das características hidráulicas, permitem a inferência das potencialidades hidrogeológicas do sistema aquífero em bases confiáveis.

Qualquer plano de aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos da região deverá passar, necessariamente, por uma avaliação mais acurada sobre a qualidade dessas águas, e de estratégias para a recuperação ou tratamento das mesmas.

Sugere-se o uso do MNT seja mais explorado, para fins de estabelecer relações que poderão minimizar as atividade de campo, e tornar o processo de avaliação hidrogeológica, a nível regional, mais objetiva e precisa. Dentre estas relações está a inferência das espessuras dos pacotes aluvionares a partir da análise de elementos característicos da bacia contribuinte a seção analisada, tais como área, declividade, comprimento da drenagem, etc.

BIBLIOGRAFIA

CARVALHO, L.H. (1983). “*Curso de barragens de terra, com vistas ao nordeste brasileiro*”. Fortaleza. MI/DNOCS. Vol.I, 173p.

CAUDURO, F.A.; DORFMAN, R. (1988). “*Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem*”. Brasília: PRONI/MA. 216p.

CUSTÓDIO, E. e LLAMAS, M. R. (1976). “*Hidrologia Subterrânea*”. Barcelona. Ediciones Omega. 2350p.

FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO, J. (1997). “*Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*”. Fortaleza, CPRM, LABHID-UFPE, 412p.

MACEDO, M.V.A. (1981) “*Aproveitamento hídrico das bacias fluviais do Ceará*”. Fortaleza, DNOCS. 176p.

MME/CPRM. (2002). “*Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará*”. CDROM. Fortaleza.

MÖBUS, G. SILVA, C.M.S.V. E FEITOSA, F.A.C. (1998). “*Perfil Estatístico dos Poços no Cristalino Cearense*”. III Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste - Anais - ABAS – Recife (PE).

TUCCI, C.E.M. et al (org.). (1993). “*Hidrologia - ciência e aplicação*”. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.4). 943p.