

ASPECTOS DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO AQUÍFERO GUARANI NO TRIÂNGULO MINEIRO – ESTIMATIVAS OBTIDAS A PARTIR DE INTERPOLAÇÃO NUMÉRICA

José Eduardo Alamy Filho¹ & Anamaria Moya Rodrigues²

RESUMO --- O objetivo deste trabalho está relacionado com o conhecimento da distribuição espacial do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro, Minas Gerais. Nesse sentido, utilizou-se, como ferramenta matemática, a interpolação numérica, para refinar aspectos da distribuição regional desse Aquífero. O estudo adotou, como bases, os mapas elaborados por Araújo (1995) que tratam da investigação do arcabouço hidrogeológico em toda sua extensão. Para a interpolação dos pontos originais utilizou-se o método de Kriging, permitindo a construção de mapas mais refinados, com curvas de contorno de espessura e cotas de topo do Aquífero, além das formações a ele sobrepostas. A interpolação numérica expandiu criteriosamente no espaço os dados pré-existentes. Isto permitiu a elaboração de perfis que ampliaram a percepção das características locais, como variações de espessura e profundidades estimadas, evidenciando o mergulho direcional do Aquífero em direção ao sudoeste do Triângulo Mineiro. Também foi possível verificar o aumento gradativo da espessura dos arenitos no sentido de norte para sul. Os resultados dessas estimativas permitem embasar o monitoramento e estratégias de uso do Aquífero Guarani na região.

ABSTRACT --- The objective of this work is related with the knowledge of spatial distribution of Guarani Aquifer in the Triângulo Mineiro, Minas Gerais. In this sense, was used as mathematics tool, the numeric interpolation to refine the aspects of regional distribution of this aquifer. The search adopted, as basis, the maps made by Araújo (1995) which treat of the structure hydrogeologic investigation in all its extension. To the original points interpolation was used the Kriging's method, allowing the construction of maps more accurate, with outline curves of thickness and Aquifer summit quotes, beyond of the formation overlapping on it. The numeric interpolation expanded distinguishable into space the pre-existent data. It allowed the elaboration of profiles that increased the perception of local characteristics, such as thickness variation and estimated deeps, evidencing the directional dive of the Aquifer towards at southwest of Triângulo Mineiro. Also was possible to verify the gradual thickness increasing of sandstone from north to south. The results of these estimative allow to base the monitoring and use strategies of Guarani Aquifer in the region.

Palavras-chave: Aquífero Guarani, interpolação numérica, Triângulo Mineiro.

1) Professor Doutor - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Bloco 1Y, CEP: 38400-902 – Uberlândia, MG, Brasil; (34)-3239-4159; zeedu@feciv.ufu.br.

2) Mestranda do Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Bloco 1Y, CEP: 38400-902 – Uberlândia, MG, Brasil; (34)-3239-4159; moyarodrigues@yahoo.com.br.

1 – INTRODUÇÃO

O presente artigo tem como objetivo contribuir para um conhecimento mais apurado do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro, Minas Gerais. A investigação do arcabouço hidrogeológico elaborado por Araújo (1995), juntamente com a Petrobrás e a Universidade Federal do Paraná – UFPR, a qual foi divulgada para a comunidade científica em 1995, possibilitou um conhecimento geral da distribuição espacial do aquífero na sua área de abrangência. As análises conduzidas no presente artigo basearam-se nessas investigações. Para isto foi utilizada a interpolação numérica para refinar informações sobre o Aquífero Guarani na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Isto possibilitou um estudo mais detalhado das rochas do reservatório juro-triássico e das inter-relações entre relevo, espessura e recobrimento do Aquífero Guarani na região. A figura 1 ilustra a localização do setor analisado, incluindo os municípios da região.

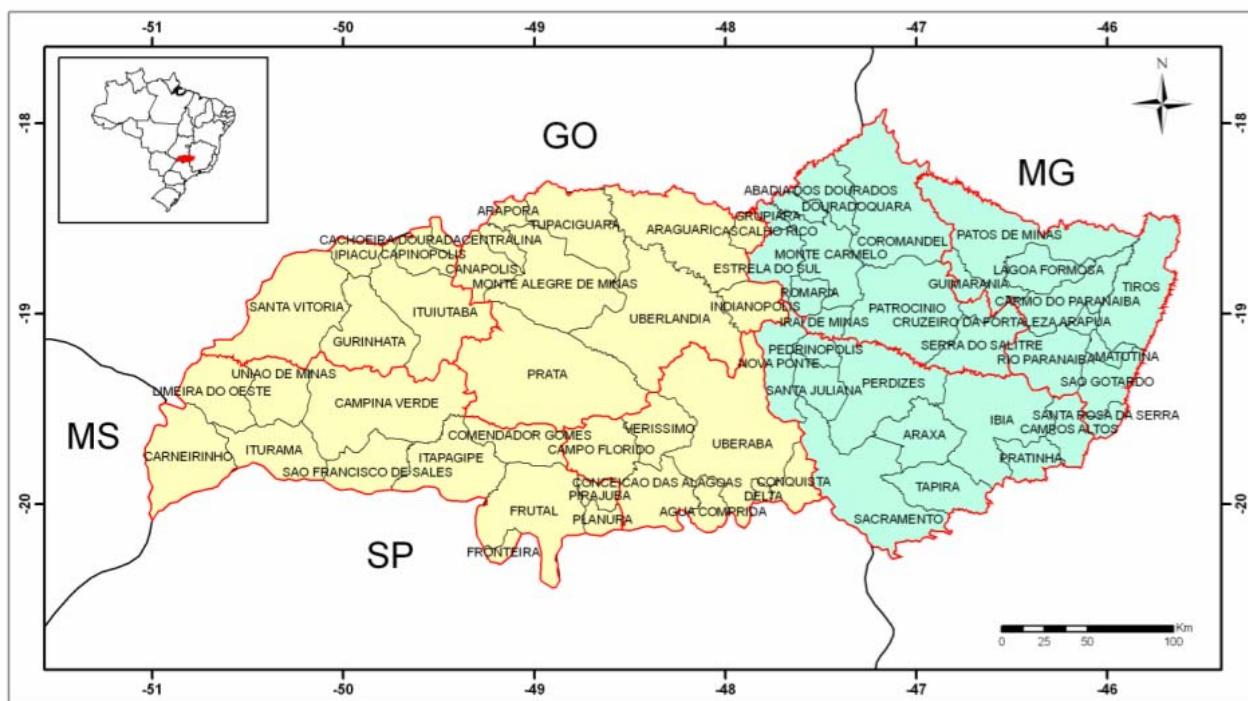


Figura 1 – Localização da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

O trabalho de Araújo (1995) representou a primeira base técnico-científica sobre o Sistema Aquífero Guarani, no âmbito da Bacia Geológica do Paraná e é composto de um documento que inclui, dentre outros, o mapa de isópacas, o mapa estrutural de topo e o mapa de isópacas de rochas sobrejacentes ao Aquífero Guarani. Todos esses mapas foram elaborados na escala de 1:5.000.000 (ROSA FILHO et al., 2003, p. 94). Entende-se o termo isópacas como sendo linhas que representam a iso-espessura real de um corpo geológico (GLOSSÁRIO GEOLÓGICO, 2007).

O presente estudo mostra como foi alcançado o objetivo proposto, projetando um modelo conceitual gráfico, por meio de cortes distintos, obtidos a partir de interpolações de pontos presentes

nas curvas dos mapas pré-existentes apresentados por Araújo (1995). Vale comentar que o estudo partiu do posicionamento do Aqüífero Guarani na área delimitada (mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba) e na sua vizinhança. Salienta-se também, que os estudos do aqüífero na região são escassos, fato que destaca a necessidade de investigações mais refinadas. Neste contexto está inserida a contribuição do presente artigo, preenchendo uma lacuna, até então existente, sobre os arenitos mesozóicos saturados (triássicos e jurássicos) presentes no subsolo da região delimitada.

É inegável que ainda existe uma série de estudos que podem ser realizados, principalmente no tocante à determinação de parâmetros regionais (físicos dos aqüíferos e químicos da água). Todavia, este trabalho mostra que a interpolação gráfica e a posterior elaboração de perfis, podem fornecer informações relevantes, expandindo, criteriosamente no espaço, dados pré-existentes, além de embasar monitoramento e estratégias de uso do Aqüífero Guarani nos dias atuais e para as gerações futuras.

2 – ASPECTOS GERAIS ACERCA DO AQÜÍFERO GUARANI

O Aqüífero Guarani, unidade hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Paraná e Chaco-Paraná, ver figura 2, ocupa um espaço de aproximadamente 1,2 milhões de km² abrangendo territórios do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai. No Brasil estende-se por sob oito estados: Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, São Paulo, Paraná, Goiás, Minas Gerais, Santa Catarina e Mato Grosso (ARAÚJO, 1995, p.1).

Ainda que não existam estudos detalhados sobre toda área de abrangência, o Sistema Aqüífero Guarani – SAG é uma denominação mais adequada do que Aqüífero Guarani, já que o mesmo apresenta ser um conjunto de diversas formações permeáveis, compondo um sistema com potencialidades muito diversas (MACHADO, 2006, p. 33). As formações geológicas, portadoras de água em maior ou menor quantidade, embora ocorram nos quatro países não fazem do Aqüífero Guarani, sob o ponto de vista hidráulico, um sistema transfronteiriço em toda sua área de ocorrência. Estudos realizados indicam que, em determinados locais, a compartimentação por falhamentos geológicos expressivos e por intrusões de rochas funciona como barreira hidráulica, segmentando o sistema e afetando a continuidade do fluxo e qualidade da água (MACHADO, 2005, p. 8).



Figura 2 - Sistema Aqüífero Guarani. Fonte: Machado (2006, p.35).

É difícil apresentar um panorama geral do Aqüífero Guarani. Isso ocorre devido à sua grande dimensão e às heterogeneidades de suas condições geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas. Desprovido de uma homogeneidade contínua, com diversos fluxos independentes e com extensas áreas com águas não potáveis, ocorre uma desmitificação sobre o Aqüífero Guarani principalmente no que diz respeito ao fato de ser o *maior reservatório subterrâneo de água doce do mundo*, conforme já divulgado nos meios de comunicação (MACHADO, 2005, p. 33, 2006, p. 8, destaque nosso).

No presente artigo, não é feita a diferenciação entre as expressões *Sistema Aqüífero Guarani* e *Aqüífero Guarani*, sendo que a utilização do segundo nome não pressupõe a existência de conexão hidráulica e similaridade de condições hidrogeológicas. Independente dessas constatações, o Aqüífero Guarani é um recurso natural, hídrico ou mineral, de extraordinária importância para os quatro países que estão sobre sua área de ocorrência.

Segundo Shiklomanov (1998, p. 4) pode-se verificar que 97,5% do volume total de água na Terra formam os oceanos e mares e somente 2,5% são de água doce. Ressalta-se que a maior parcela dessa água doce é representada pelas calotas polares, geleiras e neves eternas (68,9%); as águas subterrâneas constituem 29,9%; os rios e lagos, 0,3% e outros reservatórios como solo (umidade e gelo) e pântanos compõem os restantes 0,9%. As águas subterrâneas representam, portanto, cerca de 96% da água doce disponível na Terra, excluindo-se as geleiras, calotas polares e neves eternas. O Aqüífero Guarani ganha relevância no Brasil, no contexto das águas subterrâneas, em função da sua grande área de abrangência, 839.800 km², representando cerca de 70% de sua área total (ARAÚJO, 1995, p. 1), constituindo-se assim, numa importante reserva de água sotoposta à superfície brasileira.

No ano de 2002, em Johannesburgo, África do Sul, o governo brasileiro assumiu compromissos na Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável. Para endossar o acordo com a UNESCO o governo brasileiro elaborou o Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, aprovado no dia 30 de janeiro de 2006 (MMA, 2006, p. 12). O PNRH destaca, dentre outras considerações, a realidade das informações sobre a qualidade das águas subterrâneas no país como sendo dispersa e escassa e que *há carência de estudos sistemáticos sobre os aqüíferos em um contexto regional* (MMA, 2006, p. 65, destaque nosso).

Há consenso entre diversos autores da necessidade de estudos sobre o Aqüífero Guarani, visando aprofundar o conhecimento de sua estruturação e de suas águas. Montaño (2004) no artigo intitulado *Características hidrogeológicas del acuífero transfronterizo Guarani*, considera que o Sistema Aqüífero Guarani não se constitui de um sistema homogêneo e a aparente homogeneidade apresentada em muitas publicações se deve simplesmente a zonas com falta de dados ou de estudos detalhados. Rosa Filho (2004) enfatiza que, para o avanço do conhecimento do SAG, é fundamental aprofundar as pesquisas. Esse autor descreve, como um dos resultados parciais da Oficina Técnica, intitulada: *Contribuição ao estado atual do conhecimento sobre o sistema Aqüífero Guarani*, realizada em Curitiba no ano de 2004, em que a potencialidade relacionada com a reserva da água subterrânea é estabelecida com a espessura do reservatório, e sendo a espessura variável espacialmente, a capacidade de armazenamento é alterada com as características de cada compartimento. Segundo Araújo (1995) a espessura total do Aqüífero Guarani pode variar de valores superiores a 800 metros até a ausência completa em áreas internas da bacia. As variações na espessura foram atribuídas ao controle estrutural durante a deposição, à variação faciológica causada por diferentes ambientes deposicionais e ao controle erosional do ambiente desértico responsável pelas variações locais na espessura do Aqüífero. Note-se que, em um ambiente desértico, como naquele em que houve a formação dos depósitos de areia, as dunas realmente apresentam variações de espessura consideráveis.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Os mapas de isópacas, de estrutural de topo e de isópacas de rochas sobrejacentes ao Aqüífero Guarani, elaborados originalmente por Araújo (1995), foram adaptados para o desenvolvimento desse trabalho. Primeiramente, destacou-se dos mapas originais a região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, visando uma ampliação do espaço regional em relação às demais áreas de abrangência do Aqüífero Guarani. Detalhes desses mapas, destacando a região analisada, são ilustrados pela figura 3. Esses mapas foram formulados no sistema de projeção policônica, de forma que, neste trabalho, optou-se pelo uso do sistema de coordenadas UTM. A razão dessa escolha está no fato de que as projeções planas fornecem uma melhor noção acerca das distâncias. Nesse sentido, todas as coordenadas espaciais (x , y e z) assumem dimensões métricas, o que facilita sensivelmente a visão e os cálculos das distribuições espaciais.

Os mapas originais (ou mapas base), disponíveis como imagens, foram digitalizados e transformados em arquivos de desenhos compatíveis com o programa computacional AutoCad. Esse procedimento permitiu a obtenção das coordenadas dos pontos que delimitam as curvas de contorno dos mapas base.

É importante ressaltar que as curvas de contorno apresentadas nos referidos mapas originais estão espacialmente distantes, fator que dificulta uma estimativa mais precisa da distribuição do aqüífero em escala regional. Exatamente neste contexto, a interpolação de valores amostrais surge como uma alternativa interessante, a qual permite a construção de curvas de contorno intermediárias às curvas dos mapas base. Nesse argumento, ressalta-se que os valores amostrais, colhidos ao longo das curvas originais, representam pontos já previamente interpolados quando da confecção do mapa original.

Assim, no procedimento de interpolação, foram levantados pontos amostrais ao longo das curvas inicialmente existentes. O armazenamento desses pontos ocorreu na forma de um vetor (x, y, z). Nessa situação, vale comentar que x e y representam as coordenadas do ponto amostral, ao passo que z representa a variável do aqüífero em cada um desses pontos. Por exemplo, z no mapa das isópacas, refere-se à espessura dos arenitos mesozóicos nesse ponto; no mapa estrutural, z está relacionada à elevação do topo desses arenitos em relação ao nível do mar, adotado como datum (elevação zero). No mesmo contexto, no mapa das isópacas de rochas sobrejacentes, z representa a espessura das rochas basálticas somadas aos arenitos dos Grupos Bauru e Caiuá, quando presentes.

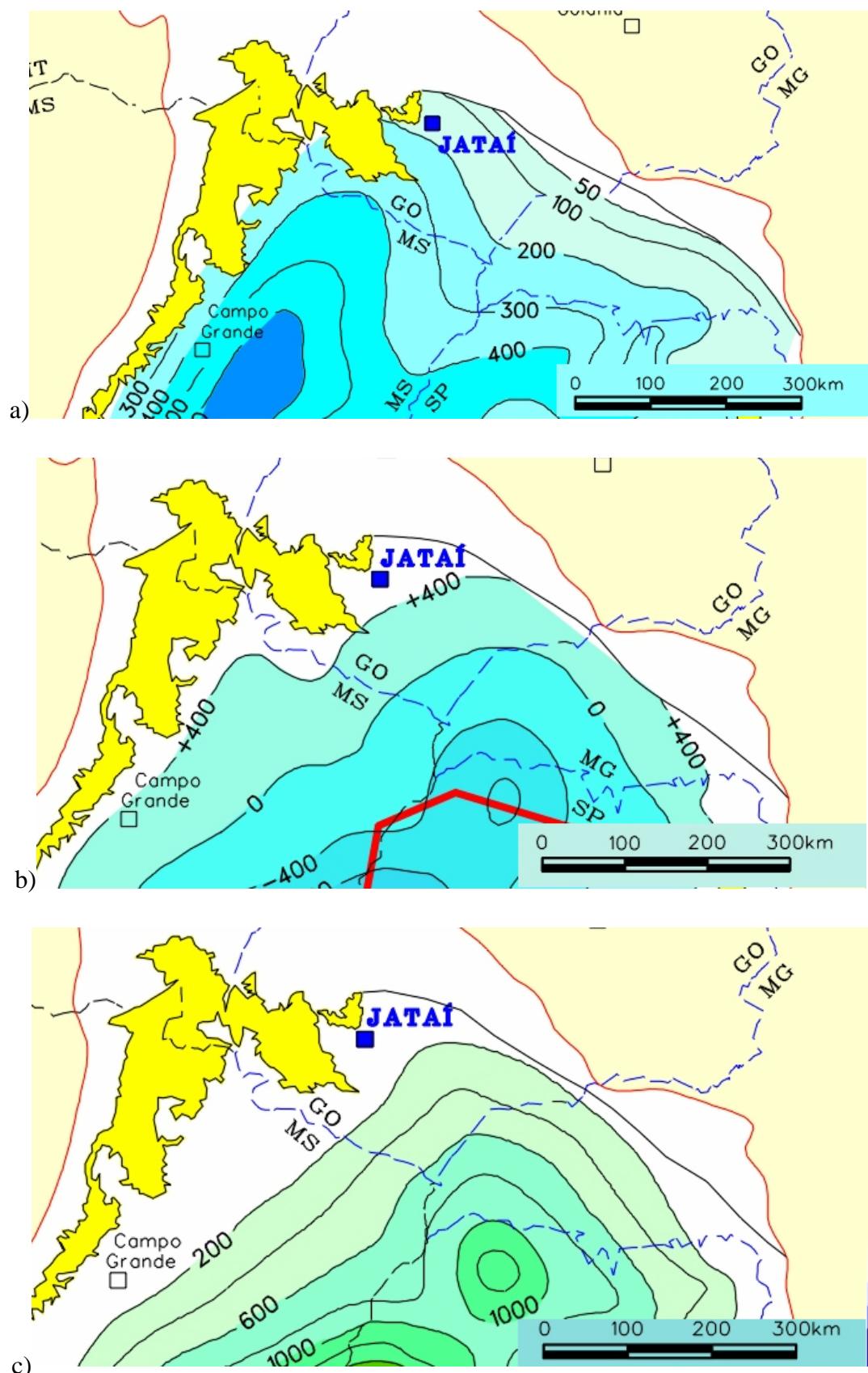


Figura 3 – Mapas elaborados por Araújo (1995). Destaque para a região estudada: (a) isópacas (iso-espessura) do Aqüífero Guarani, (b) Cotas do topo do aqüífero, (c) isópacas de formações sobrepostas ao aqüífero. As regiões em amarelo representam zonas de afloramento.

Os métodos de interpolação permitem estimar valores da variável z em pontos onde esses valores não são previamente conhecidos. Neste sentido, há uma grande variedade de procedimentos matemáticos, destacando-se entre eles o método de Kriging. O Kriging é um interpolador estocástico baseado na taxa de alteração da variância dos pontos observados ao longo do espaço. Assim, o valor de uma variável, no caso específico deste trabalho, os pontos amostrais das curvas dos mapas base, pode ser estimado a partir de uma média móvel, de acordo com:

$$\hat{z}(\vec{X}_o) = \sum_i a_i \cdot z(\vec{X}_i) \quad (1)$$

Na equação (1), $\hat{z}(\vec{X}_o)$ representa a variável interpolada na coordenada (x_o, y_o) , a_i representam os pesos atribuídos a cada uma das amostras “ i ”, as quais são previamente conhecidas nas posições (x_i, y_i) . Ressalta-se que essas posições (x_i, y_i) constituem pontos amostrais coletados ao longo das curvas de contorno dos mapas base. No método de Kriging, os pesos a_i variam de acordo com a proximidade entre o ponto a ser interpolado e o ponto amostral, fator que estabelece uma correlação espacial entre as variáveis nesses pontos. Assim, a interpolação em pontos vizinhos a um determinado valor amostral tende a estimar valores de variáveis também próximos aos da amostra. Para incentivar essa correlação espacial, o método de Kriging calcula os valores dos pesos com uso de uma função objetivo que minimiza a variância estimada, ou seja:

$$\sigma^2_i = \min \{ \text{var}[z(\vec{X}_o) - \hat{z}(\vec{X}_o)] \} \quad (2)$$

A minimização da variância atua como uma característica importante que destaca o método de Kriging entre os demais. Isto ocorre porque os erros nas estimativas apresentam uma variância mínima. Os procedimentos de interpolação normalmente constituem ferramentas intrínsecas de pacotes computacionais geoestatísticos. Neste sentido, o presente artigo utilizou o Surfer 8.0 para a interpolação dos valores das variáveis procuradas em cada mapa para a geração das curvas de contorno.

Para a interpolação das curvas de iso-espessura do aquífero foram utilizados 70 pontos amostrais. Os espaçamentos médios entre esses pontos foram de 19,40 km (curvas de 0 m), 14,30 km (curvas de 50 m), 15 km (curvas de 100 m), 11,30 km (curvas de 200 m) e de 7,57 km (curvas de 300 m).

Na interpolação das curvas de iso-espessura das formações sobrepostas ao Aquífero Guarani foram coletados 148 pontos do mapa base. Os espaçamentos médios entre as amostras foram de

11,90 km (curvas de 1000 m), 9,08 km (curvas de 800 m), 16,85 km (curvas de 600 m), 9,39 km (curvas de 400 m) e 9,52 km (curvas de 200 m).

Procedimentos idênticos aos anteriores foram adotados para o mapa que relaciona as cotas de topo do aquífero. Nesse último caso, a análise partiu da coleta de 121 pontos. Os espaçamentos médios foram de 8,04 km (curvas de -800 m), 21 km (curvas de -400 m), 21,62 km (curvas de -200 m) e finalmente de 27,89 km (curvas de 400 m).

Em todos os três casos descritos acima, a interpolação foi realizada sobre uma malha regular de 27029 células (151 linhas e 179 colunas), com espaçamentos de 2 km entre os centros de cada célula.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas figuras 4 a 6 estão ilustrados os mapas com as curvas de contorno interpoladas. Note-se que o nível de detalhamento, em relação aos mapas originais (figura 3), é muito maior. Em todos os mapas, a linha contínua em verde indica o limite do Aquífero Guarani na região.

É importante notar que o Aquífero Guarani não está presente em boa parte da região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. De acordo com Rodrigues et al. (2007), 48,6% da área da região está fora dos domínios do aquífero. A área de abrangência do aquífero reúne 64% da população da região, mas exclui municípios importantes como Patos de Minas, Araguari, Araxá e Patrocínio. Os resultados também revelam que somente cerca de 45,2% da área do município de Uberlândia, a cidade mais populosa da região, está dentro da zona de abrangência do Aquífero Guarani.

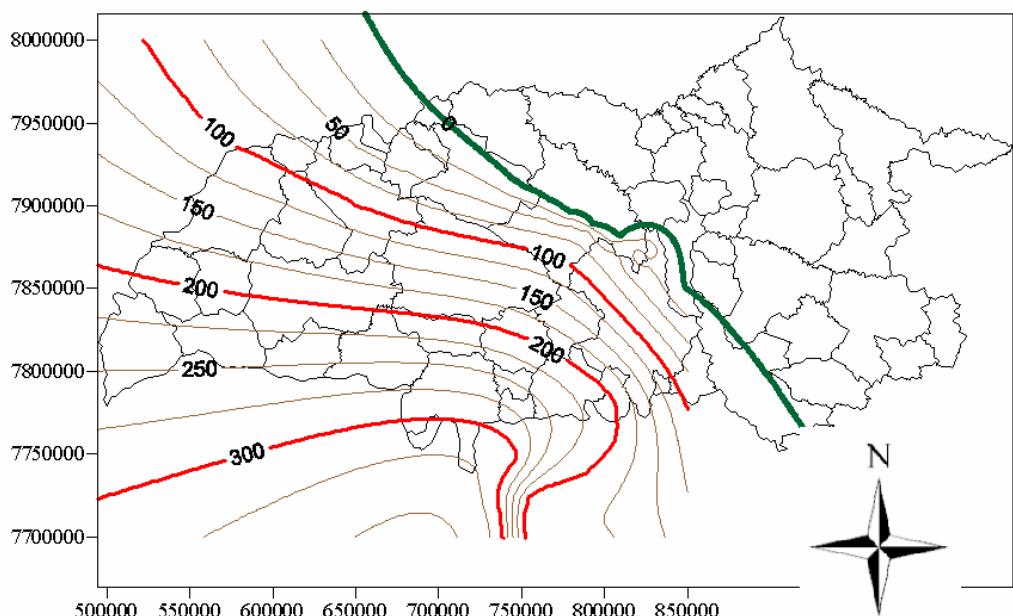


Figura 4 – Mapa de iso-espessura do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro.

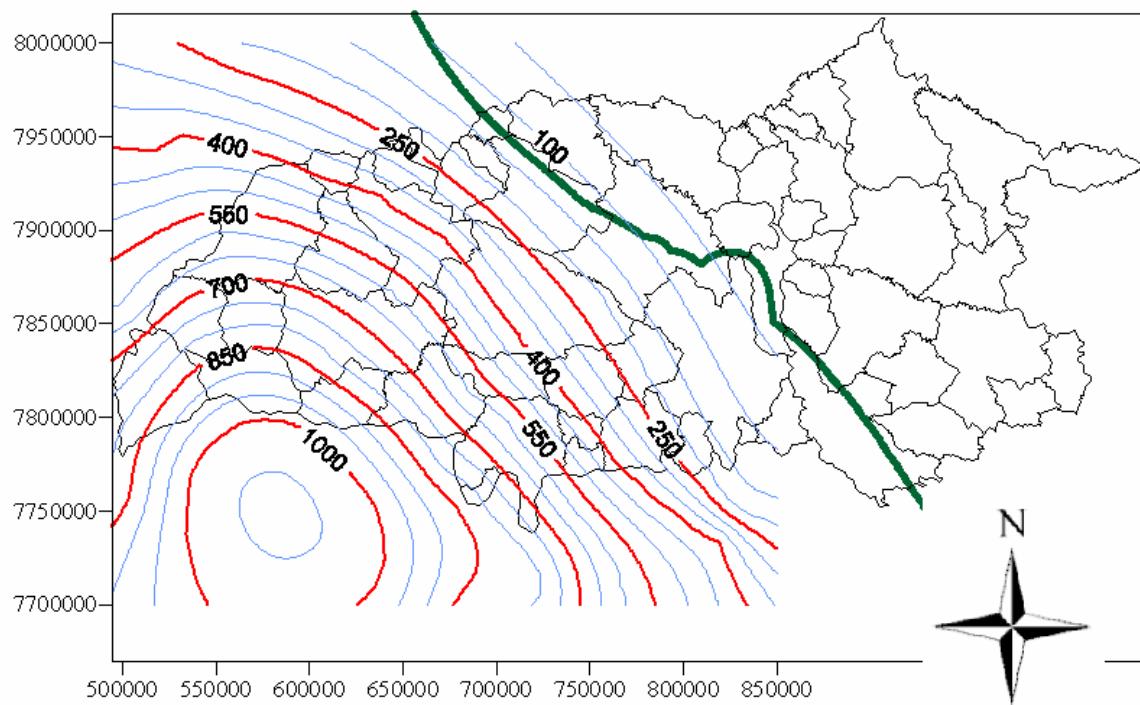


Figura 5 – Mapa de iso-espessura de formações sobrepostas ao Aquífero Guarani.

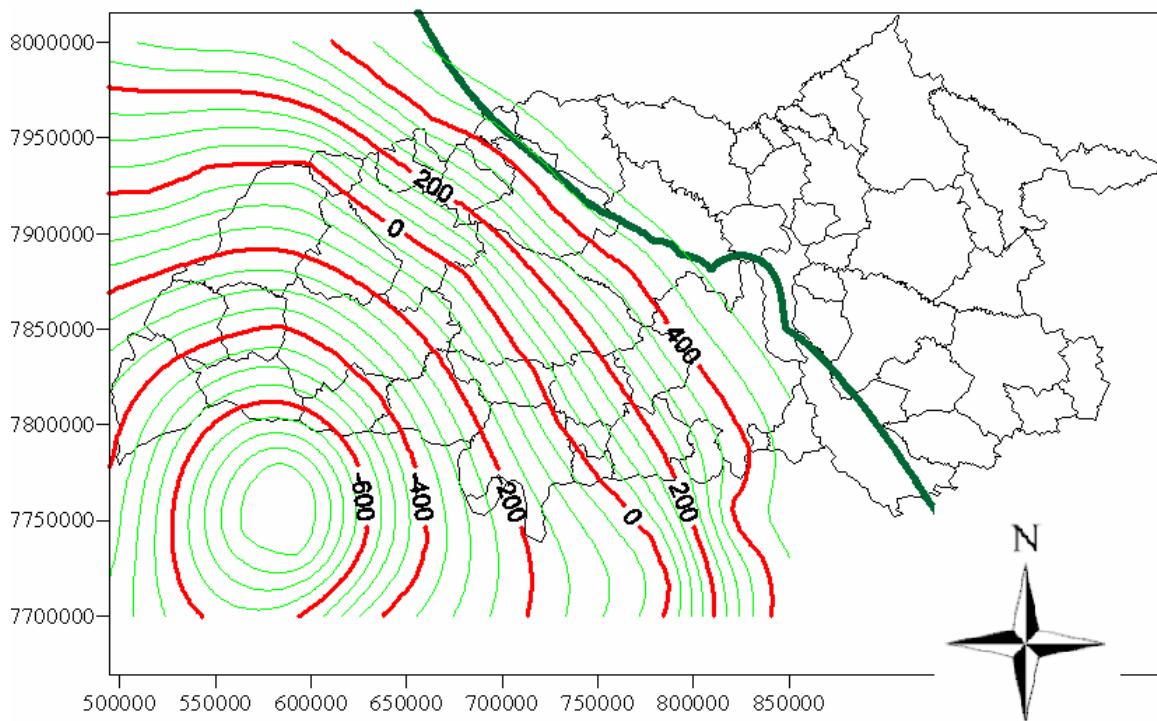


Figura 6 – Cotas do topo do Aquífero Guarani.

A partir da confecção dos mapas mais refinados, foram construídos perfis longitudinais (direção W-E) e transversais (direção S-N), permitindo uma visão regional da distribuição do Aquífero Guarani, evidenciando ainda, características como variações de espessura, profundidades estimadas e mergulhos direcionais. A figura 7 ilustra a locação desses perfis longitudinais (direção W-E) e transversais (direção S-N).

As figuras 8 e 9 ilustram os perfis obtidos a partir das seções ilustradas pela figura 7. Por uma breve análise dessas figuras, é possível perceber o mergulho do aquífero na direção S-W, além de um aumento gradativo da sua espessura desde o rio Paranaíba (limite norte da região) até o rio Grande (limite sul). Também é possível perceber que a bacia sedimentar, na qual o Aquífero Guarani sobrejaz, em termos regionais, não coincide exatamente com a bacia de drenagem superficial. Essa coincidência entre as bacias subterrânea e superficial torna-se, contudo, um pouco mais evidente apenas no baixo rio Grande, no sudoeste da região.

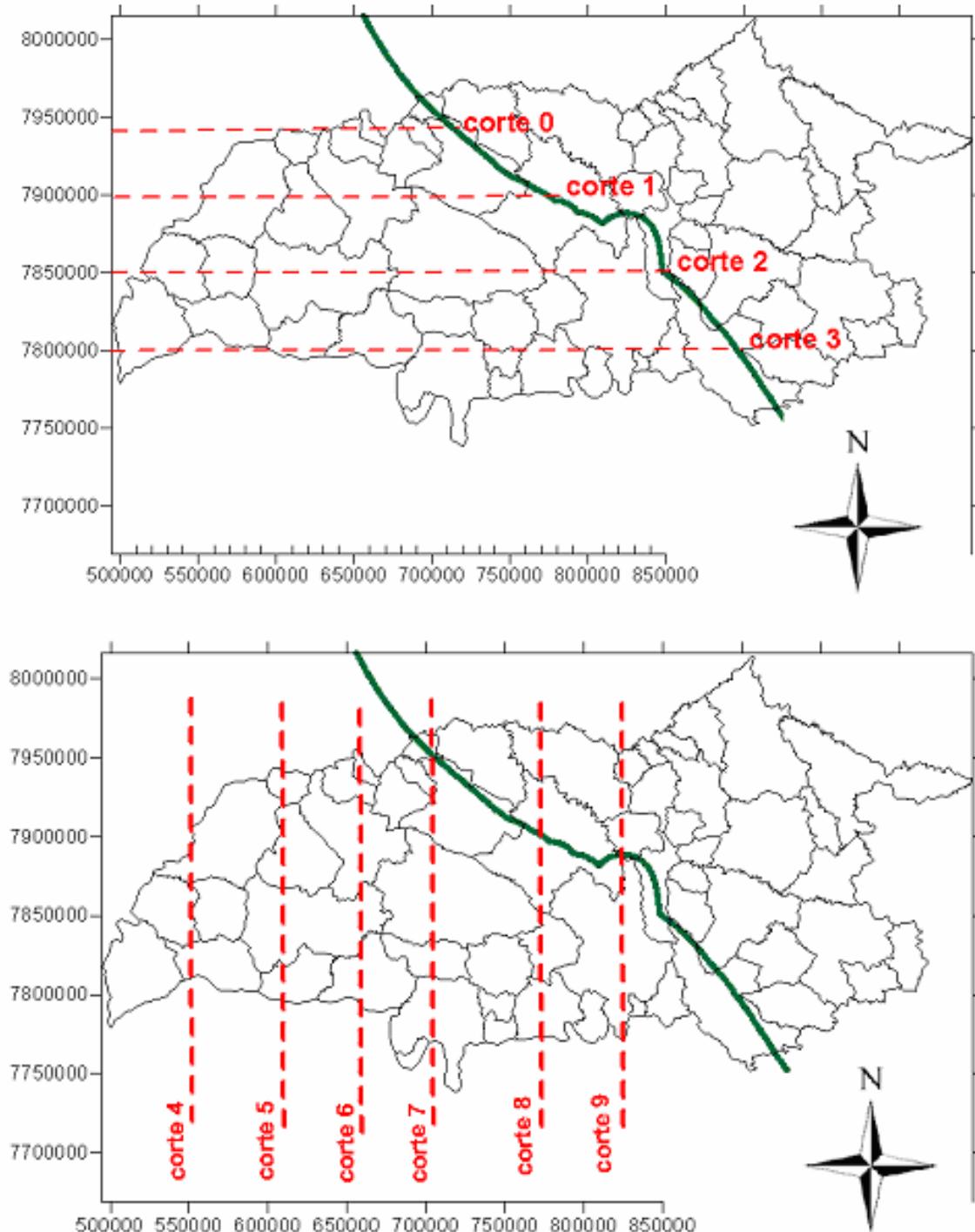


Figura 7 – Cortes longitudinais e transversais.

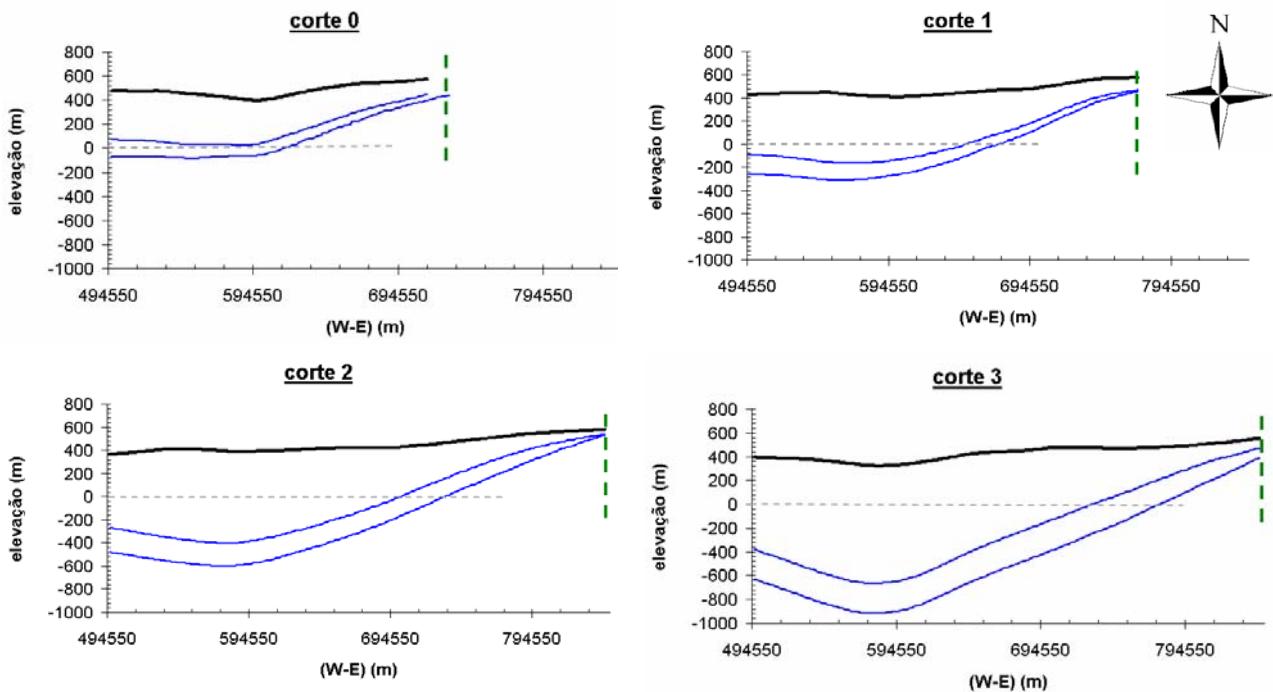


Figura 8 – Perfis longitudinais (direção W-E).

É de especial interesse observar que, no Triângulo Mineiro, grandes extensões do aquífero situam-se a profundidades excessivas (abaixo do nível do mar), fato que talvez explique, dentro de certo ponto de vista, a escassez de estudos já efetuados na região.

A despeito desse conhecimento incipiente, uma estimativa da quantidade de água armazenada em cada município pode ser obtida, a partir da metodologia aqui descrita, utilizando o mapa detalhado que descreve a variação espacial das espessuras dos arenitos (figura 4). O procedimento numérico utilizado foi o da integração trapezoidal.

Para isto, é importante comentar que os arenitos que constituem o Aquífero Guarani possuem porosidade efetiva média variável entre 15% e 20% (BOSCARDIN BORGHETTI et al., 2004, p. 149), valor estimado em âmbito global.

A despeito do conhecimento escasso do parâmetro porosidade efetiva média na região, Rodrigues et al. (2007) realizaram a estimativa do possível volume de água armazenada no aquífero. O gráfico da figura 10 mostra a estimativa do volume de água armazenada no Aquífero Guarani nos municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

Nesse estudo foi adotada uma porosidade uniforme de 20%. Para se ter uma idéia aproximada, o volume estimado para o armazenamento de água subterrânea, no Aquífero Guarani, na região do Triângulo Mineiro, é cerca de 54 vezes maior do que o volume útil do reservatório superficial de Sobradinho, no rio São Francisco; e cerca de 80 vezes maior do que o volume máximo normal do reservatório de Itaipu, no rio Paraná.

Isto, todavia, não significa que todo esse volume de água subterrânea esteja dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, pois, conforme já citado, o Aquífero Guarani apresenta extensas áreas com águas não potáveis. A potabilidade pode estar, dentre outros fatores, relacionada com o fluxo subterrâneo. Um grande tempo de permanência da água nos arenitos formadores do Aquífero implica num fluxo praticamente estacionário numa determinada escala temporal. Nesse sentido, a sucessão de anos necessários para dar continuidade ao fluxo pode ser responsável por altas concentrações de sais residuais na água. Não se pode desprezar também, em relação à potabilidade da água, a interação água-arenito e/ou o possível aporte local de águas advindas de formações inferiores ao Aquífero. Nesse contexto, há a necessidade de se realizar estudos em âmbito regional.

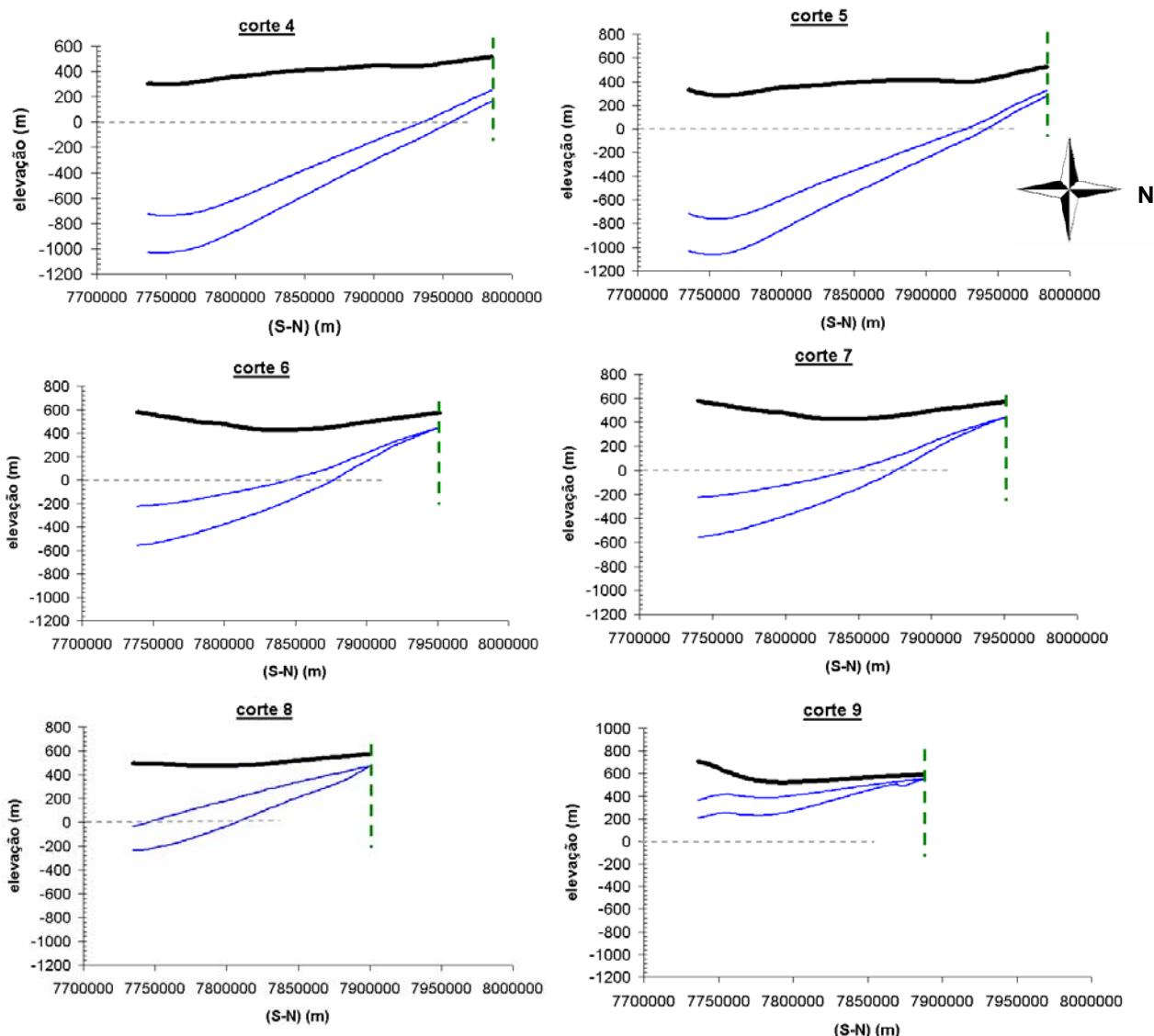


Figura 9 – Perfis transversais (direção S-N).

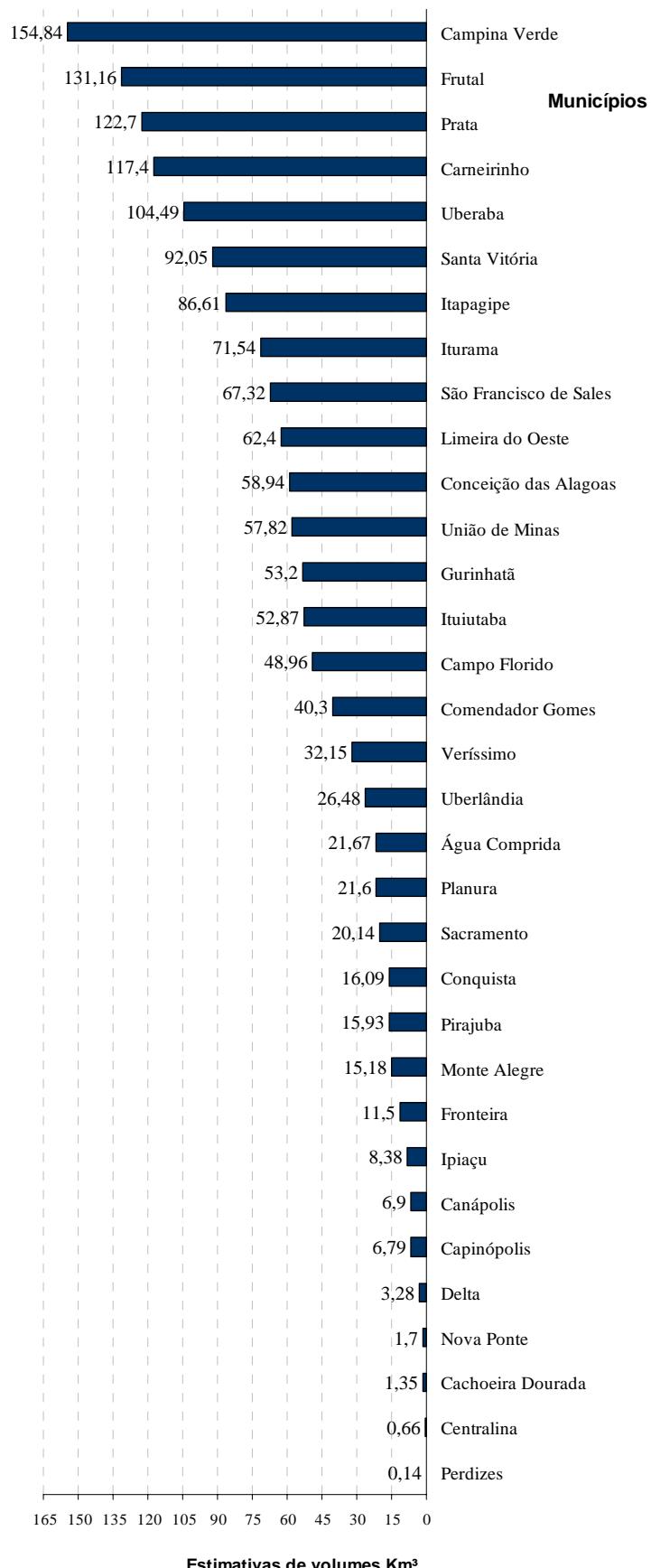


Figura 10 - Gráfico da estimativa do volume de água armazenada no Aquífero Guarani nos municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

Fonte: Elaborado a partir de Rodrigues et al. (2007)

5 - CONCLUSÕES

A obtenção de curvas intermediárias, por meio da interpolação numérica de curvas existentes no trabalho elaborado por Araújo (1995) e a posterior elaboração de perfis gráficos, utilizando-se de programas computacionais, como o Surfer 8.0, AutoCad, contribuíram para um conhecimento mais detalhado do Aqüífero Guarani na região do Triângulo Mineiro. As estimativas de aspectos da distribuição espacial do Aqüífero Guarani no Triângulo Mineiro procuram minimizar a carência de contribuições de estudos regionais apontados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2006, p. 65). É inegável que ainda existe uma série de estudos a serem realizados. Todavia, este trabalho mostra que a interpolação numérica pode fornecer informações relevantes, expandindo, criteriosamente no espaço, dados pré-existentes. Notadamente, quanto maior for o número de dados disponíveis, melhores resultados serão fornecidos pelo processo de interpolação matemática.

É importante ressaltar que as curvas de contorno apresentadas nos mapas originais estão espacialmente distantes, fator que dificultava uma estimativa mais precisa de dados em escala regional. A metodologia adotada para a obtenção do objetivo proposto atingiu resultados consistentes ao resultar em um modelo conceitual de perfis longitudinais e transversais, tomando por base dados pré-existentes e suas interpolações e não novas perfurações exploratórias. Deixa-se claro que as sondagens exploratórias, a despeito do seu custo excessivo, são fundamentais para o conhecimento regional mais preciso do Aqüífero. Todavia, a interpolação de informações pré-existentes constitui uma alternativa módica na realização de estimativas. Os perfis confeccionados mostram graficamente a distribuição espacial das espessuras do Aqüífero Guarani, das rochas sobrejacentes, da acomodação dessas camadas em relação à superfície do terreno na área considerada e das direções preferenciais de mergulho, aumentando a percepção ambiental desse recurso natural.

A metodologia aqui descrita também pode ser aplicada a outros tipos de questionamentos, como no cálculo dos volumes dos arenitos, para estimativa de volume de água, conforme demonstrado no trabalho. Essa alternativa é potencialmente interessante no embasamento de estratégias de uso do Aqüífero Guarani na região.

BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E. **Aqüífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai:** mapas hidrogeológicos das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Curitiba: Universidade Federal do Paraná,

1995. 16 p.

BOSCARDIN BORGHETTI, N. R.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. da. Aqüífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul. 1^a ed.. Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 2004. 214 p.

MACHADO, J. L. F. A redescoberta do Aqüífero Guarani. **Scientific American**, Brasil, n. 47, p. 32–39, abr. 2006.

MACHADO, J. L. F. A verdadeira face do “Aqüífero Guarani”: mitos e fatos. In: SIMPÓSIO DE HIDROLOGIA DO SUDESTE, 2., 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2005. 10 p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria Nacional de Recursos Hídricos. **Plano nacional de recurso hídricos**: síntese executiva. Brasília, 2006. 135 p.

MONTAÑO, J. et al. Características hidrogeológicas del acuífero transfronterizo Guarani. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ABAS, 2004. 14 p.

RODRIGUES, A. M.; ALAMY FILHO, J. E.; NISHIYAMA, L. Aplicação do mapeamento geoambiental na contribuição ao conhecimento do Aqüífero Guarani no Triângulo Mineiro (MG): estimativa dos volumes dos arenitos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6., 2007, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2007. No prelo

ROSA FILHO, E. F. da. Contribuição ao estado atual do conhecimento sobre o sistema Aqüífero Guarani. In: OFICINA TÉCNICA, 2004, Curitiba. **Estado atual do conhecimento sobre o sistema Aqüífero Guarani**: UFPR/LPH, 2004.

ROSA FILHO, E. H. da et al. **Revista Águas Subterrâneas**. Sistema Aqüífero Guarani – considerações preliminares sobre a influência do arco de Ponta Grossa no fluxo das águas subterrâneas. São Paulo, n. 17, p. 91-112, maio 2003.

SHIKLOMANOV, I. A. **World water resources**: a new appraisal and assessment for the 21st century. IHP/UNESCO. 1998. 40 p. Disponível em: < <http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001126/112671eo.pdf> >. Acesso em 16 out. 2006

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. **Glossário geológico**. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/glossario/>>. Acesso em: 21 maio de 2007.