

QUANTIFICAÇÃO DA RECARGA E DAS RESERVAS DO AQUÍFERO COXILHA DAS LOMBAS (RS) ATRAVÉS DE BALANÇO HÍDRICO

Bruno Collischonn¹; Roberto Kirchheim²

RESUMO – a recarga meteórica, apesar de ser um parâmetro importante em modelagem hidrogeológica, é freqüentemente estimada de forma muito empírica neste contexto. Além disso, a quantificação das reservas regulatórias de aquíferos passa necessariamente por uma correta quantificação da recarga. Neste trabalho, se propõe um procedimento para estimar a recarga por balanço hídrico no aquífero Coxilha das Lombas em Viamão (RS), de forma a contemplar todos os componentes do ciclo hidrológico intervenientes o fenômeno. Além disso, se quantifica a reserva permanente do referido aquífero. Os resultados obtidos podem subsidiar a gestão de recursos hídricos subterrâneos na região, além de fornecer a base para uma modelagem hidrogeológica mais aprofundada.

ABSTRACT – meteoric recharge, despite of being an important parameter for hydrogeological modelling, is often inferred in a very empiric way or simply based on average values. Moreover, accurate estimates of recharge are needed for the sustainable yield of groundwater reserves. In this work, a water balance procedure is proposed for the estimation of the recharge at Coxilha das Lombas aquifer at the eastern part of Rio Grande do Sul. This procedure is intended to consider all components of the hydrological cycle that have an intervenience on the process of recharge. The permanent yield of the aquifer is estimated as well. Results can enhance groundwater management at the region, beyond providing the basis for hydrogeologic modelling.

PALAVRAS-CHAVE: recarga, aquífero Coxilha das Lombas

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Av. Bento Gonçalves, 9500 – CEP 91501-970 Porto Alegre –RS – e-mail: 0009428@ufrgs.br – Tel. (51) 33167511

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Av. Bento Gonçalves, 9500 – CEP 91501-970 Porto Alegre –RS – e-mail: betokir@yahoo.com.br – Tel (51) 32682843

1- Introdução

O aquífero Coxilha das Lombas, situado nos municípios de Viamão e Osório, na planície litorânea do RS, se notabiliza pela excelente qualidade de suas águas e boas características hidrodinâmicas, da ordem 1,0 a 2,0 m²/h (Hausman, 1995). Recentemente, a empresa AMBEV S.A. instalou sua unidade de produção sobre a região, usando exclusivamente água subterrânea. Outros projetos de abastecimento têm sido pensados para os municípios de Viamão e Alvorada, como alternativas à adução de água da Lagoa do Casamento e do Lago Guaíba. Há ainda crescente uso informal, através da instalação de pequenos poços em propriedades rurais. Assim, começa a haver questionamentos quanto à dinâmica das águas subterrâneas frente a novas extrações.

Um dos parâmetros necessários para a correta modelagem de águas subterrâneas é a recarga meteórica. No entanto, se percebe que este parâmetro é freqüentemente estimado de forma muito aproximada, a partir de valores característicos para outras regiões, sem um estudo aprofundado da dinâmica meteorológica e hidrológica local.

Assim, neste trabalho se procurou fazer uma estimativa da recarga a partir de uma abordagem hidrológica, com vistas à quantificação da reserva regulatória do aquífero. Além disso, com base em dados de sondagens geofísicas, foi possível estabelecer o volume total do aquífero ou a reserva permanente.

1.1. Objetivos

Os objetivos principais deste trabalho foram:

- Revisar as informações climatológicas, hidrológicas e hidrogeológicas existentes de forma crítica e delas extrair elementos e subsídios para a realização de um balanço hídrico confiável;
- Estimar os valores de recarga mensais e anuais que se desenvolvem na região em função do regime de chuva, da cobertura do solo e do padrão de uso e ocupação do solo;
- Estimar as reservas regulatória e permanente do aquífero;
- Estabelecer uma base para a modelagem hidrogeológica na região, dado o crescente interesse na extração de água subterrânea do Aquífero Coxilha das Lombas.

Além das poucas informações institucionais, ressalta-se também o pequeno interesse acadêmico sobre o assunto. São raros os trabalhos técnico-científicos a respeito das águas subterrâneas da região de Águas Claras. Destacam-se os trabalhos desenvolvidos pelo IPH na Bacia do Gravataí, a dissertação de mestrado defendida por Rubbo 2004 e o trabalho de Freitas, 2002. De

maneira geral pode-se afirmar que são poucas e dispersas as informações sobre as águas subterrâneas na região.

2- Descrição Geológica

O Sistema Aquífero Quaternário Barreira Marinha (a partir de agora para efeitos de simplificação apenas *Aquífero*), conhecido como Aquífero Coxilha das Lombas ou mesmo Aquífero Águas Claras, consiste em um corpo arenoso na planície costeira do RS, saliente topograficamente, alongado segundo direção NE-SW, com extensão de aproximadamente 100 km (de Viamão até as imediações de Osório) e largura variando de 5 a 10 km. Apresenta altitude intermediária entre os morros graníticos e a planície lagunar. É constituído por paleodunas, registro da primeira grande transgressão marinha pleistocênica. São depósitos eólicos que constituem a feição geomorfológica *Coxilha das Lombas*, a qual atualmente destaca-se na paisagem como uma elevação de relevo suave. Com a instalação da AMBEV (antiga Brahma) na localidade de Águas Claras no Município de Viamão, seu potencial como reservatório de águas subterrâneas tornou-se notório, sendo denominado coloquialmente como *Aquífero Águas Claras*.

A Figura 1 mostra uma representação tridimensional da Coxilha das Lombas, baseada no MNT de 90m da área, obtido do NASA Shuttle Radar Topographic Mission (<http://srtm.csi.cgiar.org/>).

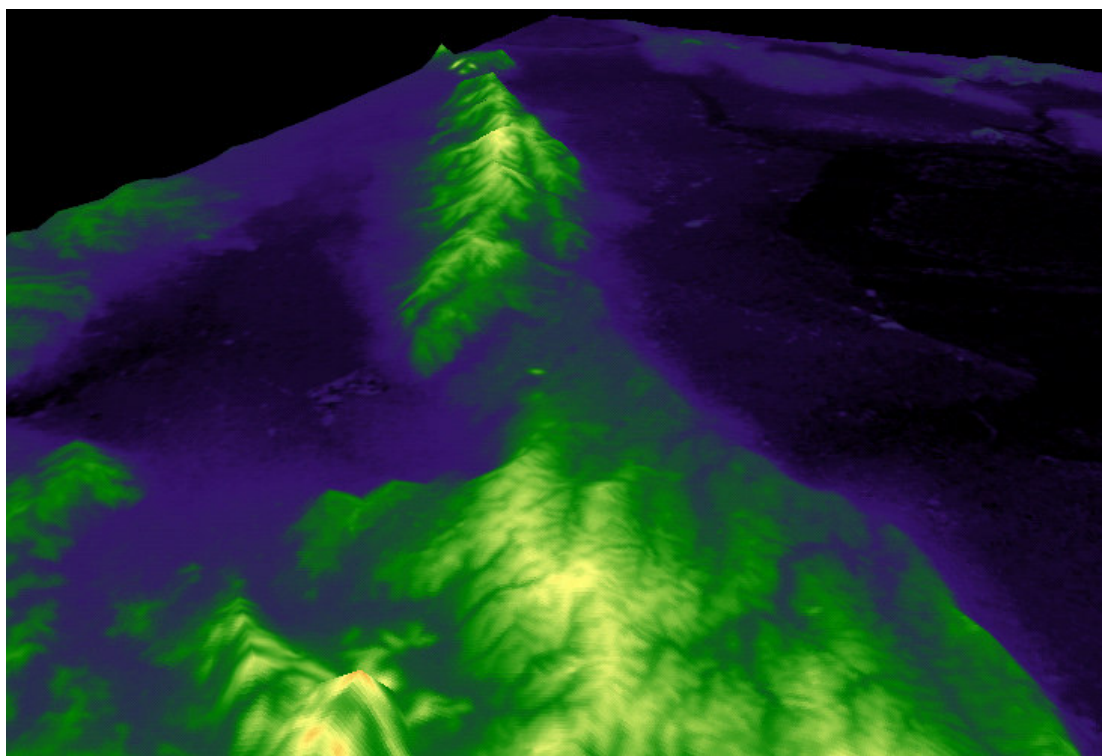


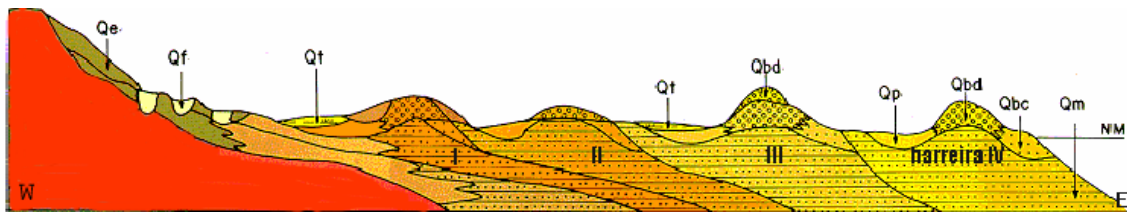
Figura 1. Representação tridimensional da topografia na região da Coxilha das Lombas

O observador visualiza a Coxilha das Lombas longitudinalmente, sentido de sudoeste para nordeste. Em primeiro plano está a região mais baixa por onde a RS-040 cruza a Coxilha. No lado esquerdo se encontra o Banhado Grande do Gravataí, e no direito, a planície litorânea em direção aos balneários de Cidreira e Pinhal. Ao fundo se visualiza a Lagoa dos Barros.

Geologicamente o aquífero constitui parte dos depósitos sedimentares que representam o mais antigo sistema deposicional do tipo *laguna-barreira* da planície costeira do RS (Villwock, 1984), formado há cerca de 400.000 anos e conhecido como Barreira I ou Barreira das Lombas. Sua formação está associada à acumulação de sedimentos eólicos que ancoraram-se preferencialmente sobre altos do embasamento. É formado por areias quartzo-feldspáticas avermelhadas inconsolidadas a semiconsolidadas, de granulização fina a média, muito bem arredondadas e com conteúdo variável de siltes e argilas infiltradas mecanicamente. Podem ser encontradas no solo crostas de óxido de ferro com bordas arredondadas chamadas de crostas lateríticas.

Embora seu perfil de solo seja visualmente semelhante ao dos solos formados sobre os morros graníticos, podem ser diferenciados destes pela ausência de grãos de areia grossa ou de grãos compostos por mais de um mineral e distingue-se dos depósitos sedimentares mais recentes simplesmente pela coloração avermelhada e sua ocorrência em altitudes do terreno um pouco mais elevadas. Comumente ocupado por pastagens e roças, a barreira arenosa mais antiga caracteriza-se na paisagem pela frequente ocorrência de vossorocas e quase ausência de cursos d'água devido à sua alta permeabilidade.

A Figura 2 abaixo apresenta o perfil estratigráfico clássico da planície costeira do RS, ou seja, das formações sedimentares que formam a superfície superior da espessa sequência sedimentar arenosa com origens continental, transicional e marinha, acumulada durante o período Cenozóico (Villwock *et al.*, 1994; Villwock & Tomazelli, 1995). Esta sequência é constituída de quatro sistemas deposicionais transgressivos-regressivos do tipo *laguna-barreira* (Villwock, 1984). A idade relativa entre os quatro sistemas é interpretada pela disposição espacial desde o mais antigo e atualmente afastado da costa, e o mais recente e adjacente à costa (Villwock, 1984; Villwock *et al.*, 1986 e 1994; Villwock & Tomazelli, 1995).



Qe = depósitos de encosta (sobre leques aluviais terciários); Qf = dep. de planície e canal fluvial; Qt = dep. lagunares e paludais; Qbd = dep. eólicos de dunas litorâneas; Qp = dep. lagunares; Qbc = dep. praias; Qm = dep. marinhos transgressivos.

Figura 2. Perfil vertical esquemático de direção leste-oeste. Ilustra a distribuição da seqüência de barreiras (I a IV) e os ambientes deposicionais em atividade. Adaptado de Villwock et al. (1984).

Destacam-se portanto neste perfil os pacotes arenosos que conformam a formação barreira I, sua interdigitação com os depósitos de encosta a oeste e sua continuidade em subprofundidade a leste

3- Descrição Hidrogeológica do Aquífero

A relativa homogeneidade litológica com predominância de litologias de origem eólica (areias quartzo-feldspáticas), associada à topografia elevada e levemente ondulada da feição geomorfológica Coxilha das Lombas determina fluxos subterrâneos rápidos e excelente capacidade de armazenamento. Estas características associadas à qualidade química de suas águas fazem com que o aquífero ou, sistema aquífero, tenha um grande potencial de aproveitamento.

A Figura 3 mostra detalhe do mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul, obtido de CPRM (2005).

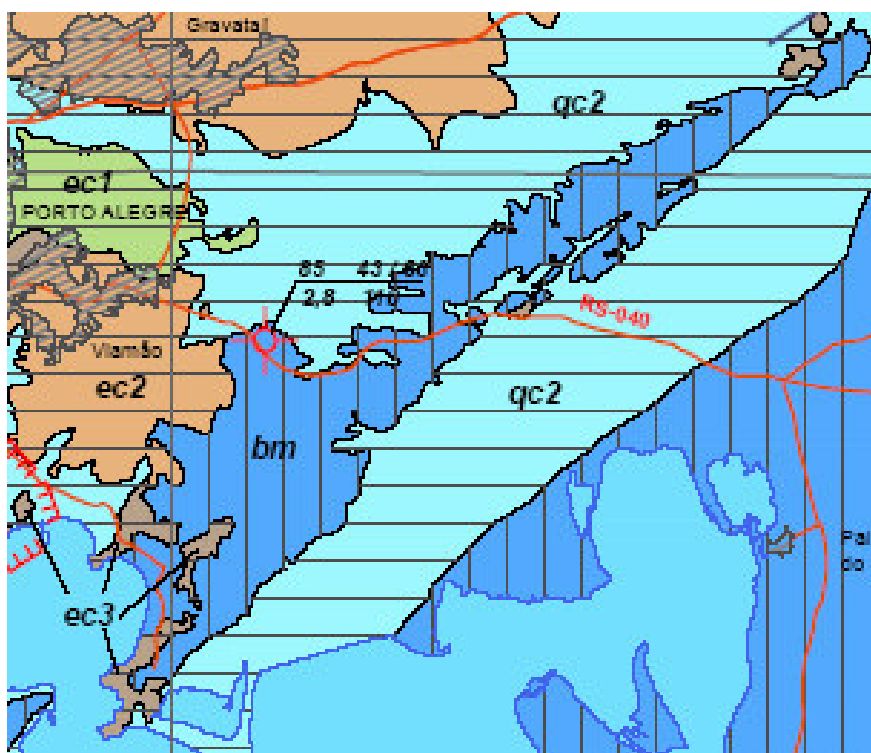


Figura 3. Detalhe do mapa hidrogeológico do RS mostrando a delimitação do afloramento do aquífero Coxilha das Lombas (CPRM, 2005)

As litologias são inconsolidadas e predominantemente arenosas, com algumas intercalações locais de argilas. Suas condições deposicionais, aliadas à baixa diagênese, conferem ao pacote uma excelente permeabilidade.

O nível freático é bastante condicionado pela configuração geomorfológica, sendo mais profundo nas posições topograficamente mais elevadas. De maneira geral apresenta regime livre, entretanto a ocorrência de níveis argilosos intercalados pode causar um certo confinamento, com níveis piezométricos superiores aos níveis de contribuição. O mesmo efeito de semi-confinamento pode ocorrer localmente em consequência do efeito hidráulico exercido pelos níveis lateríticos.

4- Estimativa das reservas

Todo aquífero é considerado um reservatório de água subterrânea, isto é, unidades/formações hidrogeológicas caracterizadas por parâmetros dimensionais (extensão, espessura e geometria) que são impostos pela geologia estratigráfica e estrutural (arcabouço geológico), por parâmetros hidrodinâmicos (transmissividade, armazenamento ou porosidade efetiva) e que dependem de padrões faciológicos, de condições de recarga e descarga e de variáveis de estado que descrevam a situação do aquífero em cada instante (superfície piezométrica, importância das reservas, aspectos da qualidade, condições de exploração, etc).

Os recursos exploráveis podem variar no espaço e no tempo em função das condições hidrogeológicas, do efeito das explorações sobre o regime de fluxo nos aquíferos, da disposição e concepção das obras de captação e dos equipamentos de exploração, dentre outros fatores.

Consideram-se as reservas dos aquíferos sob três aspectos principais:

- *reservas reguladoras*: volume de água da zona de flutuação (anual ou sazonal) no nível de saturação. Correspondem ao volume de realimentação anual ou estacional.
- *reservas permanentes*: volume de água da parte do aquífero situada abaixo da zona de flutuação anual ou estacional. Nas condições naturais, este volume varia somente em intervalos de tempo geológico. Assim, enquanto as reservas permanentes dão uma idéia da grandeza do volume da água armazenada no aquífero, as reservas reguladoras indicam suas condições de recarga.
- *recursos exploráveis*: a capacidade de armazenamento de um aquífero pode ser fraca mas seu rendimento considerável se sua alimentação é assegurada. Inversamente, as reservas permanentes podem atingir dimensões consideráveis, mas ser fracamente realimentadas. Em consequência a grandeza dos recursos exploráveis poderá ser superior, igual ou inferior ao valor da recarga dos aquíferos no seu estado natural. Por outro lado, o bombeamento de água de um aquífero provoca um aprofundamento do seu nível e, conseqüentemente,

aumento dos gradientes hidráulicos. A vazão de escoamento aumentará proporcionalmente ao incremento dos gradientes hidráulicos. Tais efeitos são sobretudo sensíveis nos aquíferos livres, engendrando crescimento das taxas de recarga.

4.1. Estimativa da reserva reguladora

A reserva reguladora representa a quantidade de água livre armazenada pelo terreno aquífero ao curso de uma recarga importante por alimentação natural (Feitosa e Manoel Filho, 1997). Na prática, esta reserva representa o volume anual que poderia ser retirado sem haver rebaixamento significativo na reserva permanente. Neste trabalho, se optou por estimar esta reserva a partir de uma estimativa da recarga meteórica, a qual foi obtida por balanço hídrico, conforme as seções a seguir.

Se esclarece que a recarga de aquíferos pode ser estimada através de diversas técnicas, onde são levados em conta diferentes parâmetros, tais como precipitação, taxa de evapotranspiração, características texturais e estruturais e ocupação do solo, vegetação e topografia. A eficácia da técnica a ser aplicada depende da disponibilidade de dados e cada uma delas ajusta-se de forma adequada a uma determinada situação geológica e climática.

4.1.1. Determinação da área de contribuição

A área total de contribuição para a recarga do aquífero pode ser estimada como a área coberta por sedimentos arenosos de origem eólica, ou seja os limites aflorantes do mesmo. Herlinger Jr e Viero (2004) afirmam que a porção aflorante do aquífero se estende por aproximadamente 700 km², sem no entanto apresentar a fonte desta estimativa. O aquífero foi delimitado no *IDRISI*, com o intuito de definir com precisão a área de contribuição para a recarga do aquífero, a partir da digitalização de mapas geológicos, hidrogeológicos e imagens de satélite.

A região identificada por “BM” (barreira marinha) no mapa da Figura 3 corresponde à unidade aquífera em estudo. Este mapa foi georreferenciado e o contorno da formação foi digitalizado, resultando em uma área de contribuição de 417 km².

O mesmo procedimento foi adotado usando-se o mapa geológico do projeto RADAMBRASIL (Ministério das Minas e Energia, 1983), cujo detalhe é mostrado na Figura 4.

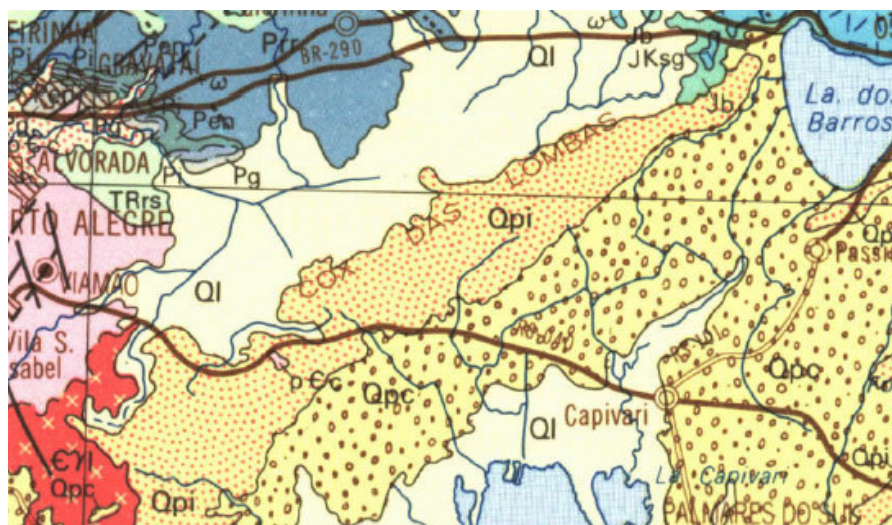


Figura 4. Detalhe do mapa geológico do projeto RADAMBRASIL (Ministério das Minas e Energia, 1983), mostrando a delimitação do afloramento do aquífero Coxilha das Lombas

Analogamente ao caso anterior, se georreferenciou o mapa e se digitalizou o contorno da litologia denominada Qpi, descrita como areias quartzosas, de esfericidade regular e origem eólica. A área do afloramento segundo essa fonte seria igual a 556 km².

Por fim, para comparação e validação das estimativas, o aquífero foi delimitado a partir de uma terceira base de dados, a composição colorida de imagens LANDSAT TM com resolução de 30m. As imagens datando de 23/08/1987 foram obtidas junto à Universidade de Maryland (<http://glof.umiacs.umd.edu/>). Foi feita uma composição associando as bandas 3, 4 e 5 deste satélite. Dada a alta reflectância das areias quartzosas características da feição Coxilha das Lombas nestas bandas, se pôde delimitar a área de contribuição do aquífero (Figura 5).



Figura 5. Composição colorida de imagens LANDSAT TM com resolução de 30m, bandas 3,4 e 5, e delimitação da área de contribuição do aquífero

A área estimada do afloramento a partir da composição é de 400 km². Pode se perceber que os valores obtidos a partir das três fontes distintas coincidem aproximadamente, porém são valores sensivelmente inferiores aos atribuídos por outros autores, que chegavam a 700 km².

Visto que os valores de área de contribuição são coerentes, e, ainda, adotando-se uma premissa conservadora de trabalho, adotou-se nos cálculos seguintes a área de 417 km², obtida a partir do mapa hidrogeológico da CPRM. Este mapa possui escala maior do que o mapa geológico do RADAMBRASIL e a delimitação através de imagens de satélite embute incertezas devido à subjetividade da digitalização. Além disso, a área segundo a CPRM é um valor intermediário entre os outros dois.

Salienta-se portanto duas premissas importante de trabalho nesta etapa:

- adotou-se como área de contribuição à recarga somente a parte aflorante da feição geomorfológica Coxilha das Lombas. Sabe-se pela interpretação dos modelos geológicos para as sequências da planície costeira do RS, que o aquífero da barreira marinha I se estende sub-superficialmente para leste e encontra-se interdigitado pelos depósitos de cobertura a oeste. É de se esperar que ocorram recargas indiretas, aumentando portanto as reservas, como se verá a seguir;

- adotou-se os menores valores de área de contribuição dentre os calculados e/ou encontrados na bibliografia, postura conservadora em relação aos volumes de recarga.

4.1.2. Determinação da recarga por balanço hídrico

Para a estimativa da recarga, se recorreu a um balanço hídrico simples, em termos médios anuais, expresso na equação abaixo:

R=P-E-Q, onde:

R= Recarga do aquífero, mm/ano;

P=Precipitação média, mm/ano;

E=Evapotranspiração real, mm/ano;

Q=Escoamento superficial, mm/ano.

Precipitação média

A precipitação média foi obtida de dados do posto pluviométrico Lombas, identificado pelo código 03050008 junto ao banco de dados *Hidroweb* da Agência Nacional de Águas

(<http://hidroweb.ana.gov.br/>). Este posto está situado na coordenada 30°02'48'' Sul e 50°42'08'' Oeste, no centro da Coxilha das Lombas, de forma que representa bastante bem a precipitação média na área de contribuição. O período de dados se estende de 1992 a 2004 e a precipitação média anual é de 1.368 mm.

Evaporação

A evaporação real foi obtida a partir do trabalho de Beltrame et al (1994). Este trabalho apresenta isolinhas de evapotranspiração potencial média em períodos de 10 dias. As isolinhas foram interpoladas graficamente para obter o valor médio na região de estudo. A Tabela 3 mostra a evapotranspiração média decenal na região da Coxilha das Lombas.

Tabela 3: Evapotranspiração média por decêndios na região da Coxilha das Lombas, obtido de Beltrame et al. (1994)

Mês	Decêndio	ET (mm)	Mês	Decêndio	ET (mm)
Janeiro	1°	50	Julho	1°	12
	2°	54		2°	13
	3°	56		3°	15
Fevereiro	1°	49	Agosto	1°	15
	2°	44		2°	16
	3°	40		3°	21
Março	1°	40	Setembro	1°	23
	2°	35		2°	27
	3°	34		3°	31
Abril	1°	28	Outubro	1°	34
	2°	24		2°	38
	3°	23		3°	40
Maio	1°	16	Novembro	1°	45
	2°	16		2°	48
	3°	14		3°	48
Junho	1°	12	Dezembro	1°	45
	2°	11		2°	54
	3°	12		3°	58

Se considerou que a evapotranspiração potencial é igual à real na área, dado que o solo tem boa capacidade de armazenamento e dificilmente se verifica *stress* hídrico. Daí resultou um valor de evapotranspiração real médio de 1.141mm por ano.

Escoamento superficial

O escoamento superficial é normalmente negligenciado em estudos de recarga neste aquífero, dado que o solo tem alta permeabilidade e capacidade de armazenamento. No entanto, trata-se de região com topografia consideravelmente acidentada, em especial comparando-se com a topografia em seus arredores. Este fator, aliado ao fato de que freqüentemente ocorrem chuvas de grande intensidade na área, ou chuvas com vários dias de duração, acarreta que, ocasionalmente, o solo sature por completo e ocorra escoamento superficial. Para quantificá-lo, se recorreu ao método do Soil Conservation Service ou SCS, conforme descrito em Tucci (1993):

$$Q = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S}, \quad (\text{eq. 1})$$

onde Q é a lâmina d'água escoada superficialmente, P é a precipitação e S é o armazenamento no solo, dado por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{eq. 2})$$

O coeficiente CN é tabelado de acordo com o tipo e uso do solo. Para definição do valor do coeficiente CN, se considerou que no uso do solo preponderam chácaras e estradas de terra com superfície normal. O solo é do tipo A, correspondente a solos arenosos profundos, resultando em um valor do coeficiente de 56. Assim, o valor do escoamento superficial anual variou de 16mm a 155 mm, com um valor médio de 64 mm.

Vale ressaltar que este método em geral superestima o escoamento superficial, para incorporar um coeficiente de segurança, de forma que o valor da recarga fica subestimada, também a favor da segurança.

Assim, a **recarga global do aquífero obtida por balanço hídrico resultou em 163 mm ao ano**. Este valor parece ser muito coerente com estimativas de trabalhos anteriores, que variam de 150 a 200mm por ano. Considerando a área de contribuição estimada na seção anterior, de 417 km², pode-se esperar uma **produtividade de 7.750 m³/hora do aquífero** como um todo (2,15 m³·s⁻¹), ou 68 milhões de metros cúbicos por ano. Se fossem consideradas as outras estimativas de área, a produtividade varia de um valor de 7.560 m³·h⁻¹ (2,1 m³·s⁻¹), num cenário conservador, até 10.440 m³·h⁻¹ (2,9 m³·s⁻¹), no cenário mais otimista. Esta produtividade supre as demandas de abastecimento humano e industrial na área, bem como uma demanda ecológica para os ecossistemas do Banhado Grande, vazão de base do rio Gravataí e lagoas litorâneas a leste.

5- Estimativa da reserva permanente

As reservas permanentes são também denominadas seculares ou profundas, e constituem as águas acumuladas que não variam em função das precipitações anuais e permitem uma exploração mais importante, regularizada em períodos de vários anos. Na prática, representa o volume total de água armazenado passível de ser retirado por bombeamento no aquífero.

A estimativa da disponibilidade hidrogeológica absoluta do aquífero é dada pela cubagem do volume integral do mesmo, considerando-se uma porosidade efetiva média.

A cubagem do aquífero foi realizada a partir de sondagens geofísicas encontradas em Rubbo (2004) além das sondagens realizadas pela AMBEV, bem como de perfis construtivos de poços obtidos junto à CORSAN. Estas investigações possibilitaram identificar as cotas de topo e base do aquífero em vários locais. Ao plotar estes pontos em um sistema de informações geográficas, se constatou uma escassez generalizada de sondagens na porção sudoeste do aquífero. Como esta apresenta as mais altas cotas de toda a região, é provável que se trate de área importante de recarga e possua níveis estáticos bastante elevados. Para contemplar esta região, foram obtidos mais 4 pontos, onde se considerou que o topo do aquífero coincide com a cota do terreno, obtida a partir do MNT de 90m. Esta suposição representa uma superestimação da porção saturada do aquífero,

naquela região, entretanto compensa a falta de dados e os prováveis erros (muito maiores no sentido da subestimação) quando gerando uma interpolação sem os respectivos pontos de contorno. Além disso, foram estabelecidos pontos como condições de contorno, situados junto aos limites do corpo aquífero, nos quais se considerou que a cota de topo e de base do aquífero coincidem com a cota do terreno. A Figura 6 mostra a localização dos pontos usados para cubagem do aquífero.

A partir de dados obtidos através da interpretação de sondagens geofísicas, bem como da leitura das informações estratigráficas dos principais poços tubulares (seu níveis dinâmicos) da região, foi possível (através de interpolação das superfícies do topo e da base usando a técnica de *kriging* no *software* Surfer 8.0) estimar a geometria básica da porção aflorante do aquífero, além de sua configuração potenciométrica média. As Figura 6, Figura 7, Figura 8 e Figura 9 apresentam respectivamente os pontos de observação geofísica e pontos de apoio, as curvas de nível do topo do aquífero (superfície potenciométrica), as curvas de nível da base do aquífero e suas isoespessuras.

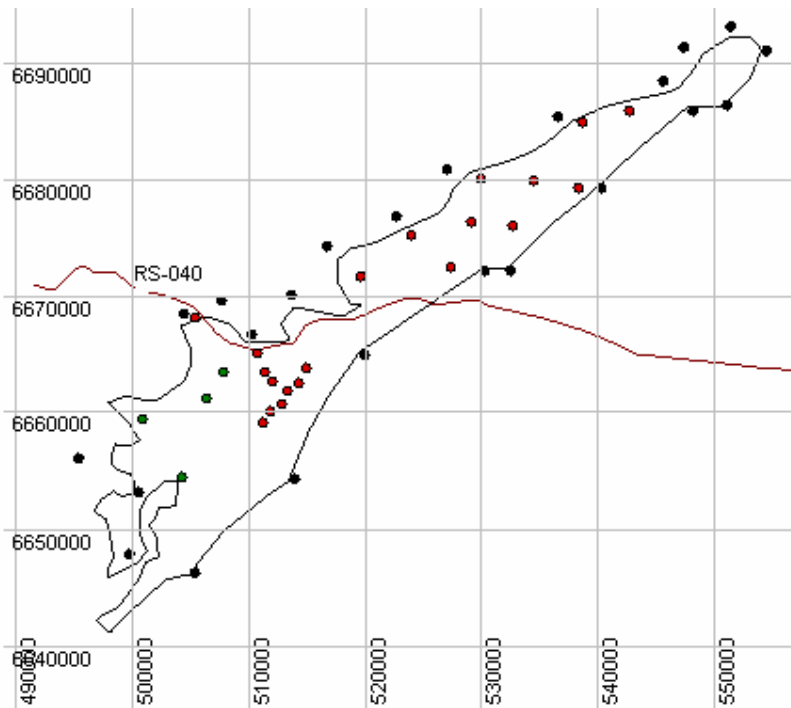


Figura 6. Contorno do aquífero Coxilha das Lombas e localização das sondagens usadas na cubagem do mesmo. Os pontos em vermelho identificam sondagens geofísicas de campo, nos pontos em verde o topo do aquífero foi obtido do MNT e pontos em preto representam condições de contorno, onde o topo e a base do aquífero foram obtidos do MNT

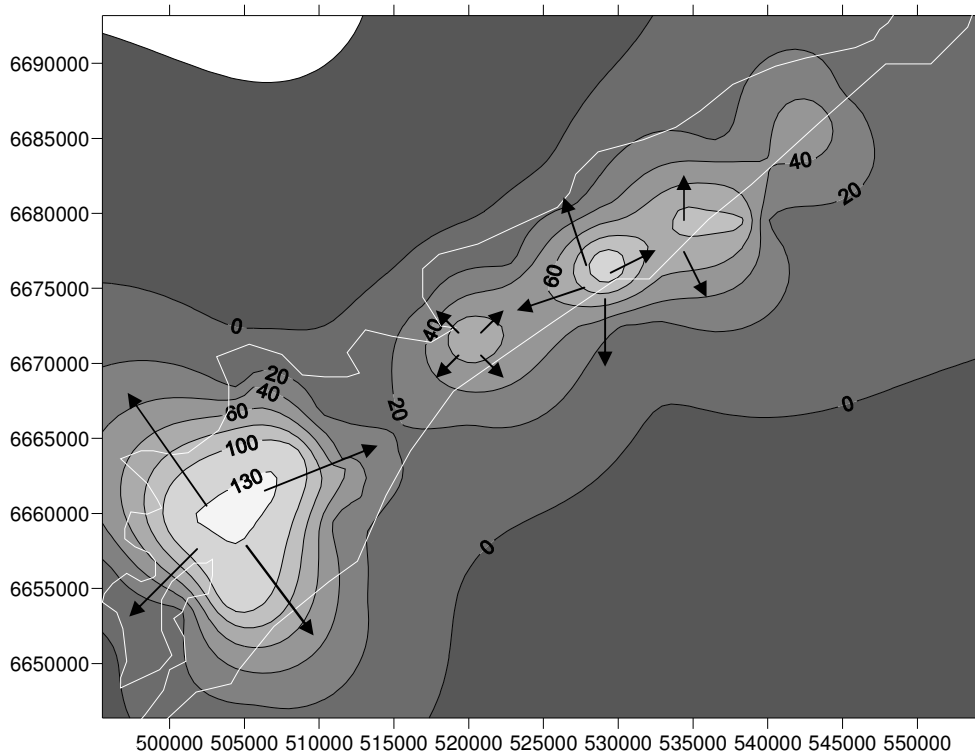


Figura 7. Curvas de nível do topo do aquífero.

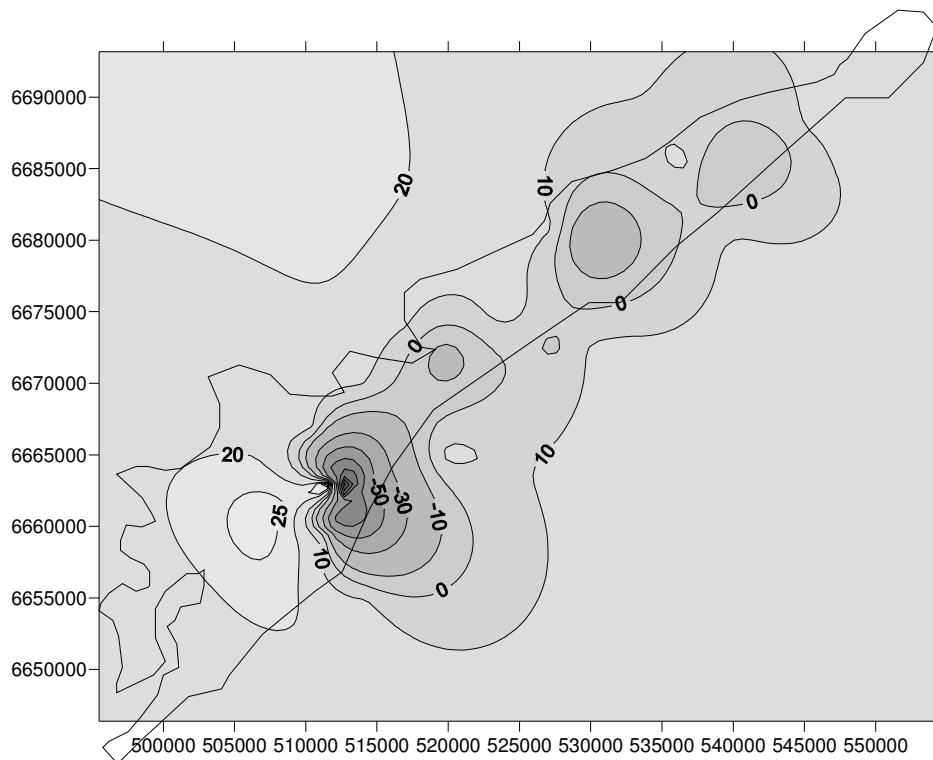


Figura 8. Curvas de nível da base do aquífero

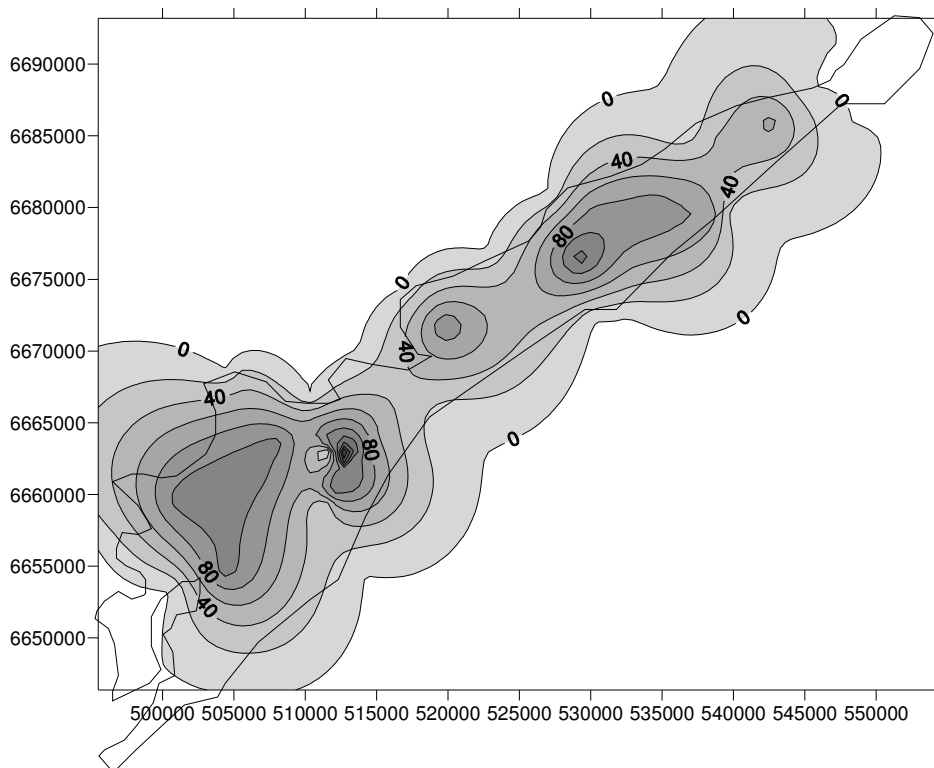


Figura 9. Curvas de nível de mesma espessura do aquífero

A leitura dos modelos descritivos da geometria do aquífero permite realizar as seguintes considerações:

- O aquífero possui um divisor geral de fluxo de água subterrânea coincidente com os altos topográficos da própria feição geomorfológica, resultando em fluxos divergentes na direção da Lagoa do Casamento para leste e à Bacia do Gravataí a oeste. Esta característica explica em parte os fenômenos de artesianismo que ocorrem em ambas direções, sendo estas, as áreas de descarga principais do aquífero. As setas na Figura 4 indicam a direção e a magnitude das velocidades de fluxo.
- Existem altos topográficos que se comportam como domos de água, a partir dos quais se estabelecem padrões de fluxos radiais, com linhas de fluxo apontando inclusive para o interior do próprio corpo aquífero. Os maiores gradientes ocorrem junto aos domos, principalmente aqueles localizados no quadrante SW.
- No quadrante SW as águas subterrâneas apresentam as maiores cotas ultrapassando os 130 m, constituindo-se na área de recarga principal do corpo aquífero. Esta mesma região também coincide com as áreas de grande espessura, superiores a 100m. Subordinadamente em sua porção central a levemente superior no quadrante NE, ocorre área com espessuras saturadas e cotas de superfície freática relativamente elevadas.

- Grande parte da informação encontra-se concentrada no quadrante SW, em sua porção mais central. Em seu quadrante NE, principalmente em sua porção mais distal o aquífero aparenta possuir pequenas espessuras saturadas.

A reserva permanente pode ser calculada agora através da seguinte integral de área:

$$V_s = \oint_A \eta_e \cdot (Z_{\text{topo}}(x, y) - Z_{\text{base}}(x, y)) \cdot dA \quad (\text{eq. 3})$$

Onde V_s é a reserva permanente, $Z_{\text{topo}}(x, y)$ é a cota do topo do aquífero na coordenada (x, y) , $Z_{\text{base}}(x, y)$ é a cota da base do aquífero no ponto (x, y) e η_e é a porosidade efetiva.

Adotando uma porosidade efetiva média em toda a zona de areias quartzosa saturada igual a 15% (também conservador), obtém-se uma estimativa da reserva permanente em torno de 6 bilhões de metros cúbicos. Assim, o valor da reserva reguladora anual corresponde a pouco mais de 1% da reserva permanente.

É importante ressaltar que este cálculo é conservador, na medida que não incorpora a reserva permanente do aquífero confinado associado aos depósitos lagunares que o circundam, tampouco a componente de pressão nas porções onde o aquífero possui um certo grau de confinamento.

6- Conclusões e recomendações

A área de contribuição de recarga do aquífero em estudo foi estimada em cerca de 417 km², sendo que sua recarga meteórica por precipitação foi estimada, através de balanço hídrico, em cerca de 163mm, resultando uma vazão de recarga de 2,2 m³·s⁻¹. Já a reserva permanente foi estimada em 6 bilhões de m³.

Algumas extensões que podem ser imaginadas para o presente trabalho são listadas a seguir:

- Avaliação hidrodinâmica dos poços existentes visando obter um bom conjunto de medições de parâmetros de aquífero;
- Estudo das interrelações entre o aquífero subterrâneo e os recursos hídricos superficiais, através de modelagem hidrológica distribuída;
- Modelagem matemática de aquíferos para estabelecer zoneamento de potencial de aquífero, cenários de aproveitamento, otimização de vazões, avaliação de impactos em função das extrações, determinação das zonas de captura e dos balanços de massa/volumétricos junto às regiões de contorno;
- Quantificação e espacialização dos impactos da possível retirada de água na vazão do rio Gravataí, nas vazões afluentes às lagoas costeiras e no ecossistema como um todo.

- Avaliação das prerrogativas legais e das outorgas estaduais (via DRH) e licenças federais (via DNPM) já concedidas.

Além disso, as configurações de topo e base do aquífero são a base para modelagem hidrogeológica mais aprofundada. Há um aumento gradual do consumo de água subterrânea na região, haja vista a instalação da AMBEV S.A. no distrito de Águas Claras. Da mesma forma, projetos de abastecimento público têm avaliado a possibilidade de instalar poços em locais estratégicos para suprir a demanda dos municípios de Viamão e Alvorada, que têm sofrido racionamentos constantes no verão. A quantificação dos impactos destas extrações passa necessariamente pela modelagem hidrogeológica do aquífero.

7- Bibliografia

AMBEV – Construção e Condições de Exploração do Poço Tubular Profundo ACGL-1, Relatório Técnico, Água e Solo, 1996.

AMBEV – Estudo Geofísico no Município de Viamão, Área de Águas Claras, Relatório Técnico, Antonio Flávio Uberti Costa, 1997.

AMBEV – Monitoramento do Sistema de Captação de Água e do Aquífero Subterrâneo, Relatório Técnico, Água e Solo, 1998.

AMBEV – Projeto Executivo do Sistema de Bombeamento para Exploração do Manancial Subterrâneo-Cervejaria Águas Claras do Sul, Relatório Técnico, Água e Solo, 1998.

AMBEV – Relatório de Monitoramento Trimestral das Quantidades e Qualidade da Água Extraída dos Poços Tubulares da AMBEV, Laudo Técnico, Hidrogeo, 2005.

Beltrame, L. F. S.; Louzada, J. A. S.; Lanna, A. E. L.; Cauduro, F. A.; Rosa, S. M.; Miranda, T. L. Evapotranspiração potencial no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, IPH-UFRGS, 1994.

Herlinger Jr, R.; Viero A. P. Estimativa da recarga do aquífero Coxilha das Lombas através do método balanço de cloretos. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá – MT, 19 a 22 de outubro, 2004.

Freitas, M. A.; Costa. C. T.; Tedesco, M. A.; Castro, M. A. H. Estudo do comportamento e potencialidade do aquífero relacionado à barreira marinha em Viamão-RS utilizando modelagem computacional. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Florianópolis- SC, 10 a 13 de setembro de 2002.

CPRM- Serviço Geológico do Brasil (2005): Mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul. Versão digital, Porto Alegre – RS.

Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL, carta SH-22 (Porto Alegre), 1983.

- Tucci, C. E. M. Escoamento Superficial. In.: Hidrologia: Ciência e Aplicação. Editora da Universidade, Porto Alegre, 1993, 943p.
- Luna Caicedo, N. Água subterrânea. In.: Hidrologia: Ciência e Aplicação. Editora da Universidade, Porto Alegre, 1993, 943p.
- Hausman, A. Acta Geologica Leopoldensis. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1995, 127p.
- Feitosa, F. A. C.; Manoel Filho, J. (coordenadores). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. CPRM, LABHID-UFPE, Fortaleza, 1997, 412 p.
- Rebouças, A.; Braga, B.; Tundisi, J. G. (coordenadores). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo, Escrituras, 1999.
- Nicolodi, J.L. A morfodinâmica praial como subsídio ao gerenciamento costeiro. O caso da Praia de Fora – Parque Estadual de Itapuã, RS. Porto Alegre. UFRGS, 2002. Dissertação de mestrado. 138fl. il.
- Toldo, E.Jr. Sedimentação, predição de ondas e dinâmica sedimentar de antepraia e zona de surfe do sistema lagunar da Laguna dos Patos, RS. Porto Alegre. UFRGS, 1994. Tese de doutorado. 178p.
- Villwock et al. Atlas geológico da província costeira do Rio Grande do Sul - Brasil. Porto Alegre: Centro de estudos de geologia costeira e oceânica, Instituto de Geociências, UFRGS, 1984.
- Villwock, J.A. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, A synthesis. Pesquisas, 1984, v.16, p.5-49.
- Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., Loss, E.L., Dehnhardt, E.A., Horn, N.O., Bachi, F.A., Dehnhardt, B.A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: Rabassa, J. (ed.). Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. Rotterdam: A.A. Balkema. 4: p.79-97.
- Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., Loss, E.L., Dehnhardt, E.A., Bachi, F.A., Dehnhardt, B.A., Godolphim, M.F., Horn Fº, N.O. Mapa geológico da Província Costeira do Rio Grande do Sul - Escala 1:1.000.000. Porto Alegre: CECO, Instituto de Geociências, UFRGS, 1994.
- Villwock, J.A., Tomazelli, L.J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas, v.8, 1995, p.1-45.
- Banco Mundial, GW-Mate. Sustainable Groundwater Management: Concept and Tools, Briefing Note Series.
- Custodio E, Llamas, M.R. Hidrologia Subterranea, Ed. Omega, 1983.