

Monitoramento da depleção e detecção dos limites de exploração do Sistema Aquífero Guarani em Ivoti (RS): uma aplicação de geoprocessamento no gerenciamento municipal do uso sustentável de recursos hídricos subterrâneos

Carlos Alvin Heine

Doutorando do PPGeo - UNISINOS e Geólogo da CORSAN. carlos.heine@terra.com.br

Osmar Gustavo Wöhl Coelho

PPGeo-UNISINOS, Av. Unisinos,950 – 93022-000, São Leopoldo, RS

Ubiratan Faccini

PPGeo-UNISINOS, Av. Unisinos,950 – 93022-000, São Leopoldo, RS

Maria Carolina de Araújo Silva

Bolsista IC-FAPERGS, Curso de Geologia - UNISINOS

Camila Esmeris

Curso de Geologia - UNISINOS

ABSTRACT

Lacking of water, as customary phenomena during the long droughts in southern Brazil, has revealed the vulnerability of public supplying systems, which are exclusively based on superficial water resources. Concerning this context, the strategic importance of groundwater has been highlighted, mainly due the exploration of SAG - Guarany Aquifer System, which rises up as a promising alternative of public supplying in large areas of Brazil. Despite the suitable aspects, the insufficient knowledge about geologic characteristics and hydrogeologic behaviour, as well as the increasingly interference of new pumping wells, could turn out to be unsustainable at mid or long term the aquifer system exploration. The Ivoti County, which uses exclusively groundwater from the Guarani Aquifer System as public supplying resource, has expanded continuously its groundwater pumping system over the last 30 years. Continuous drilling of new pumping wells, aiming to increase the total water withdraw, was carried out following the population rising and public demand. It was done without any control, unknowing the impacts on groundwater storage and its limits of exploration. The operational break-down of pumping wells and the decreasing rates of the supplying system productivity, has lead administrators to realize that is necessary an establishment of some sustainability indicators, which allows the monitoring and use management of groundwater reserves. In this way, by using geoprocessing techniques, historical series of hydrogeological data were analyzed within the period 1973-2003, allowing an evaluation of multitemporal variations of the groundwater potential surface. The results are pointing a disequilibrium between the exploration rates and the natural recharge, with a decreasing groundwater withdraw, local static levels till 53m lowering and a general depletion of the aquifer reserves. Based on these results, it was characterized a non-sustainable exploration state of the SAG for public supplying purposes in the Ivoti (RS region).

Key words: Guarany Aquifer System, sustainable use, geoprocessing.

RESUMO

Situação de escassez hídrica, comuns nos longos períodos de estiagem do sul do Brasil, tem revelado a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento baseados unicamente em recursos hídricos superficiais. Neste contexto, ressalta-se a importância estratégica da água subterrânea, principalmente do Sistema Aquífero Guarani - SAG, o qual surge como alternativa viável para o abastecimento público em extensas áreas do território brasileiro. A despeito dos aspectos favoráveis, a insuficiência de conhecimento das características geológicas e do comportamento hidrogeológico, bem como a interferência progressiva de novos poços instalados, podem tornar insustentável a exploração deste sistema aquífero a médio ou longo prazo. O município de Ivoti-RS, cujo abastecimento é garantido exclusivamente pela água subterrânea extraída do SAG, expandiu continuamente o seu sistema de bombeamento nos últimos 30 anos. A instalação contínua de poços tubulares profundos, com vistas ao incremento da vazão total do sistema de bombeamento, foi executada seguindo o crescimento demográfico e a demanda urbano-industrial. Isto ocorreu sem qualquer controle, desconhecendo-se o seu impacto sobre as reservas hídricas subterrâneas e os seus limites de exploração. O colapso de poços e a produtividade decrescente do sistema de abastecimento, levou os administradores a perceber a necessidade do estabelecimento de indicadores de sustentabilidade, os quais permitam o monitoramento e gerenciamento do uso das reservas hídricas subterrâneas. Neste sentido, através de técnicas de geoprocessamento, foram analisadas séries históricas de dados hidrogeológicos no período 1973-2003, avaliando-se as variações multitemporais da superfície potenciométrica. Os resultados indicam um desequilíbrio entre a exploração e a recarga natural do aquífero, verificando-se vazões totais decrescentes, rebaixamentos localizados do nível estático de até 53m, bem como uma depleção generalizada das reservas hídricas subterrâneas. Desta forma, caracteriza-se um quadro geral de não sustentabilidade do uso do Sistema Aquífero Guarani para o abastecimento público municipal.

Palavras chave: Sistema Aquífero Guarani, uso sustentável, geoprocessamento.

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade de uso dos recursos hídricos, além de objeto de pesquisa científica, é atualmente fator de preocupação para a administração pública, órgãos ambientais, empresas estatais e a iniciativa privada. A escassez de água potável, citada por autores como Morris *et al.* (2003) como fator de uma provável crise mundial dentro de duas décadas, não tem recebido aportes científicos efetivos para a sua avaliação quantitativa e o gerenciamento sustentável do seu uso. O Sistema Aquífero Guarani, alvo de interesse atual para o abastecimento público de várias regiões do Brasil, tem ainda desconhecidos o seu comportamento hidrogeológico e os seus limites de exploração sustentável.

Somando-se a este quadro, a premissa da inesgotabilidade da natureza, fator presente na cultura e na tradição brasileiras, tem levado a uma exploração descontrolada da água subterrânea. Em muitos casos, embora desconheça-se a magnitude do fenômeno, há indícios de que os limites de exploração sustentável foram ultrapassados, comprometendo o abastecimento das gerações futuras. Este é o caso do município de Ivoti, onde o SAG - Sistema Aquífero Guarani supre integralmente o abastecimento público, observando-se uma expansão contínua do número de poços tubulares e um constante rebaixamento dos níveis d'água subterrâneos.

Por sua vez, em face da demanda crescente e da sazonalidade climática, o gerenciamento do uso sustentável das reservas hídricas requer o conhecimento da sua potencialidade e critérios efetivos de controle do seu uso. Neste sentido, como uma primeira aproximação do problema, são aqui avaliados alguns indicadores operacionais do sistema de abastecimento municipal, buscando-se estimar as variações das reservas hídricas subterrânea, com o que se espera subsidiar os gestores legais e os órgãos responsáveis pelo planejamento e gerenciamento de uso da água subterrânea.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde ao município de Ivoti, situado a norte da região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, entre os paralelos 29°35'00" e 29°42'06" e os meridianos 51°12'50" e 51°08'06" (Figura 1). Com aproximadamente 63 km², este município apresentava em 2003 uma população total de 16.544 habitantes, com uma densidade demográfica média de 263 hab/km².

O relevo da área tem como elemento dominante um platô em torno das cotas 180 a 200 m, o qual é limitado a norte e a sul por encostas íngremes. As cotas do terreno variam entre 138 m e 208 m, situando-se a área urbana municipal nas cotas mais elevadas. A rede de drenagem natural é divergente em relação à cidade de Ivoti (Figura 2).

A área de estudo é constituída geologicamente pelas formações Pirambóia (Neo- Permiano), Botucatu (Eo-Cretáceo), Serra Geral (127-132 Ma) e coberturas aluviais quaternárias localizadas nas planícies de inundação das principais drenagens (Figura 3).

A Formação Botucatu, de origem eólica, é constituída por arenitos quartzosos bem selecionados, de granulometria fina a média, com estratificações cruzadas em cunha ou tangenciais de grande porte. A formação Pirambóia, também constituída por arenitos eólicos, apresenta um significativo teor de feldspatos, caracterizando-se pela ocorrência de arenitos arcoseanos, o que a diferencia da Formação Botucatu. Estas duas formações, as quais apresentam porosidades predominantes entre 15% e 23%, constituem o SAG – Sistema Aquífero Guarani na área de estudo, representando uma importante reserva regional de água potável. Nesta área, o contato entre estas formações caracteriza-se por uma discordância erosiva, motivo pelo qual não foram preservadas as formações Sanga do Cabral, Santa Maria e Caturrita (unidades triássicas), as quais ocorrem entre as formações Pirambóia e

Botucatu na região central do Estado do Rio Grande do Sul (Faccini *et al.*, 2003; Giardin e Faccini, 2004 a,b). A área de estudo, alvo de ciclos de tectônica rígida, mostra a individualização de blocos do SAG por falhamentos, inexistindo informações a respeito da conectividade ou isolamento hidráulico dos mesmos, o que torna pouco confiável a análise quantitativa da exploração do sistema aquífero.

A Formação Serra Geral, constituída por efusivas básicas e intercalações eventuais de arenitos eólicos de pequena espessura, recobre os arenitos Botucatu. Devido a sua composição mineralógica, teores elevados de ferro podem ser encontrados nas águas subterrâneas. No contato das efusivas básicas com os arenitos subjacentes situam-se comumente as nascentes dos arroios da região.

Os sedimentos quaternários, constituídos por areias, argilas e cascalhos, preenchem o fundo dos vales. Estes sedimentos, com níveis de água subterrânea próximos a superfície e porosidades e permeabilidades elevadas nos horizontes arenosos, comportam-se como aquífero livre, sendo portanto vulneráveis às contaminações superficiais.

A água subterrânea extraída do SAG - Sistema Aquífero Guarani, única fonte de abastecimento municipal, destina-se em grande parte ao atendimento da indústria coureiro-calçadista. Este segmento industrial, juntamente com a agricultura minifundiária, constituem a base da atividade econômica municipal (IBGE 2003).

MÉTODO E TÉCNICAS

A concepção do método de pesquisa, visando detectar e monitorar as variações das reservas do SAG – Sistema Aquífero Guarani na região de Ivoti, baseou-se na avaliação do desempenho operacional do sistema municipal de bombeamento. Esta abordagem, contando com dados históricos do período 1973-2003, buscou identificar os indicadores de depleção ou recuperação do aquífero, os quais possam ser utilizados para o monitoramento e o gerenciamento municipal do uso da água subterrânea. Da mesma forma, visando avaliar as variações das reservas hídricas,

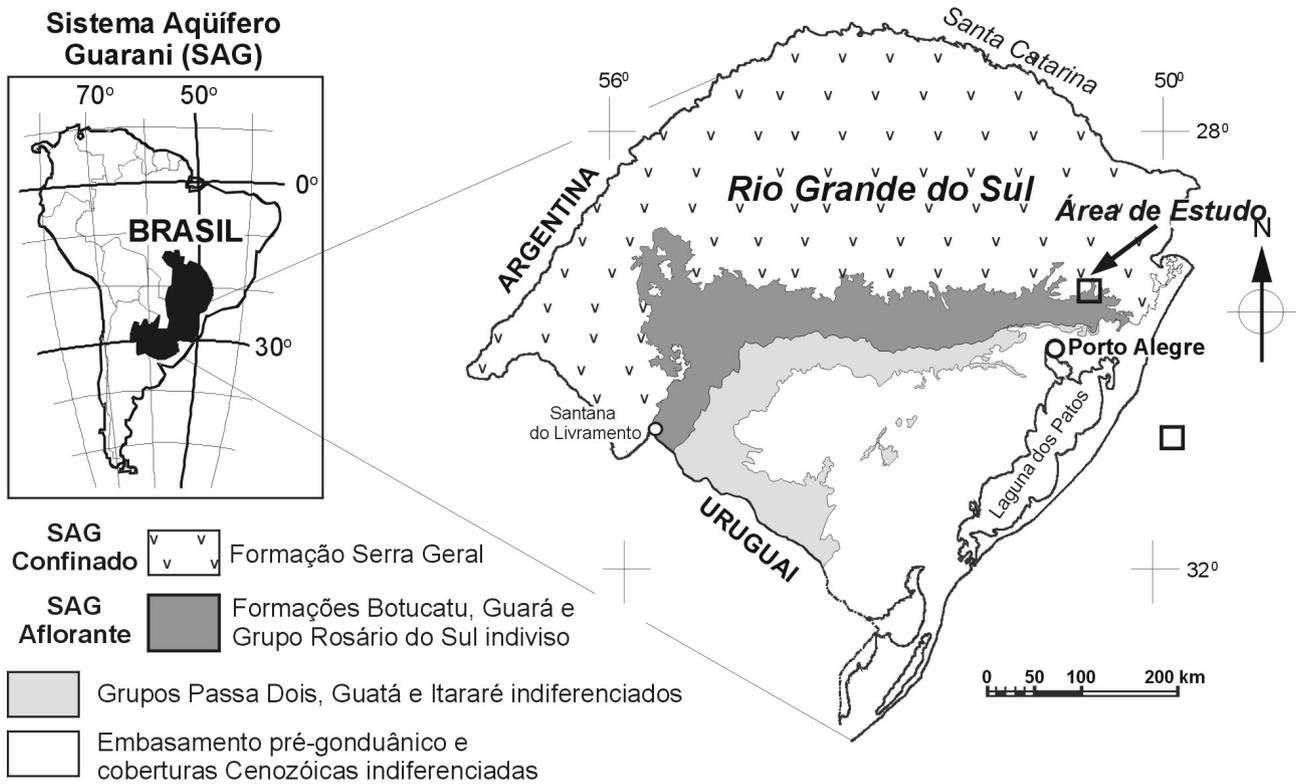


Figura 1. Localização da área no Estado do Rio Grande do Sul.

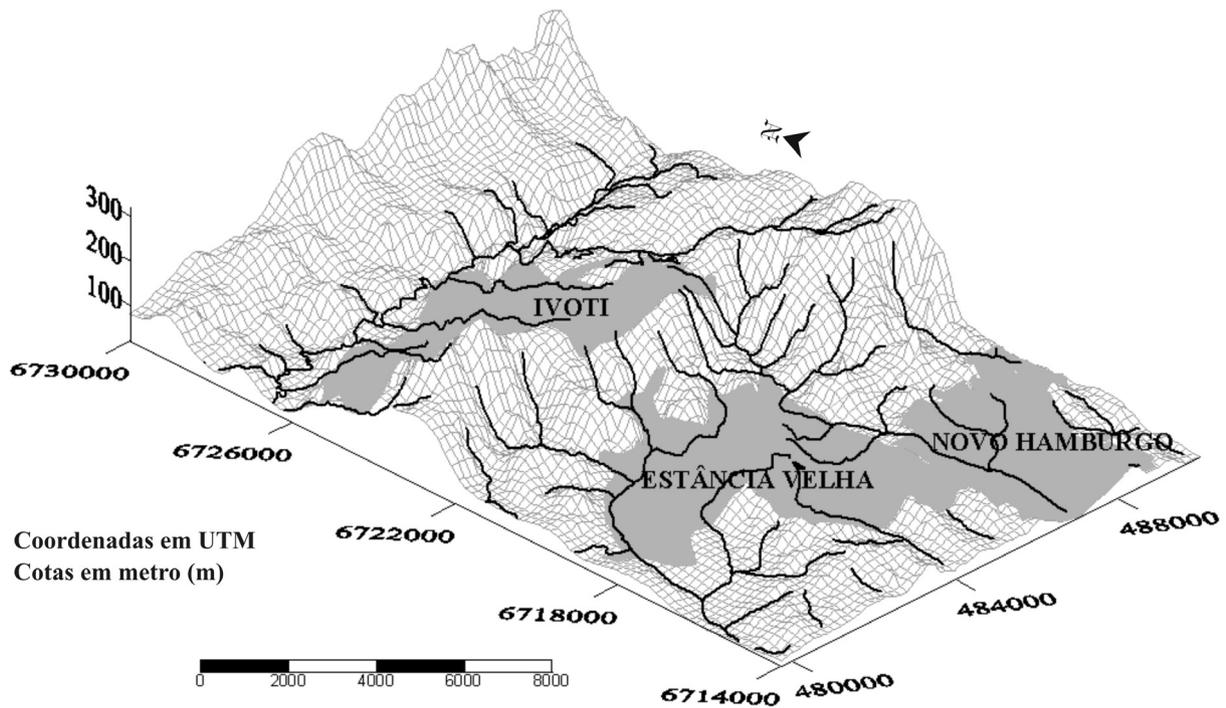


Figura 2. Relevo e drenagem da região de Ivoti (RS).

foram utilizadas técnicas de geoprocessamento para a espacialização e a análise dos dados hidrogeológicos.

O método, conforme indicado no diagrama da Figura 4, compreende as seguintes etapas:

- ◆ elaboração de modelo geológico;
- ◆ cadastramento e seleção de poços tubulares;
- ◆ coleta de dados históricos;
- ◆ análise da evolução de indicadores operacionais;
- ◆ espacialização multitemporal de dados hidrogeológicos;
- ◆ estimativa de variação das reservas hídricas subterrâneas.

ELABORAÇÃO DE MODELO GEOLÓGICO PARA O ESPAÇO GEOGRÁFICO MUNICIPAL

O relevo da região e os limites urbanos foram obtidos a partir de cartas 1:50.000 do serviço geográfico do exército de 1975 e imagens do satélite LANDSAT - TM

de 1999. Os dados foram digitalizados e analisados no sistema ILWIS 3.0, gerando-se um modelo tridimensional do relevo (Figura 2). Foram realizados trabalhos de campo para a caracterização das relações de contato, espessuras e distribuição espacial do SAG. Os dados de campo foram integrados ao relevo da área, através do sistema ILWIS 3.0, obtendo-se o modelo geológico apresentado na Figura 3.

CADASTRAMENTO E SELEÇÃO DE POÇOS TUBULARES

Na área do perímetro municipal e adjacências foram cadastrados 26 poços tubulares da CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento, determinando-se suas coordenadas UTM com equipamentos GPS GARMIN ETREX Vista. Para cada poço foi feita a descrição de amostras de calha e a análise do seu condicionamento geológico,

considerando-se para as cotas do terreno natural os dados dos boletins de perfuração. Para a seleção dos poços representativos do SAG, foram comparados os dados do modelo geológico com os perfis dos poços, descartando-se aqueles com informações discrepantes em relação ao referido modelo.

COLETA DE DADOS HISTÓRICOS

Para os poços selecionados, foram coletadas séries de dados históricos referentes ao período 1973-2003. As informações foram obtidas a partir dos boletins de perfuração da CORSAN, ensaios de bombeamento, projetos e do controle operacional dos poços. Estes dados, juntamente com informações de locação com GPS, foram organizados em planilhas EXCEL (Tabela 1).

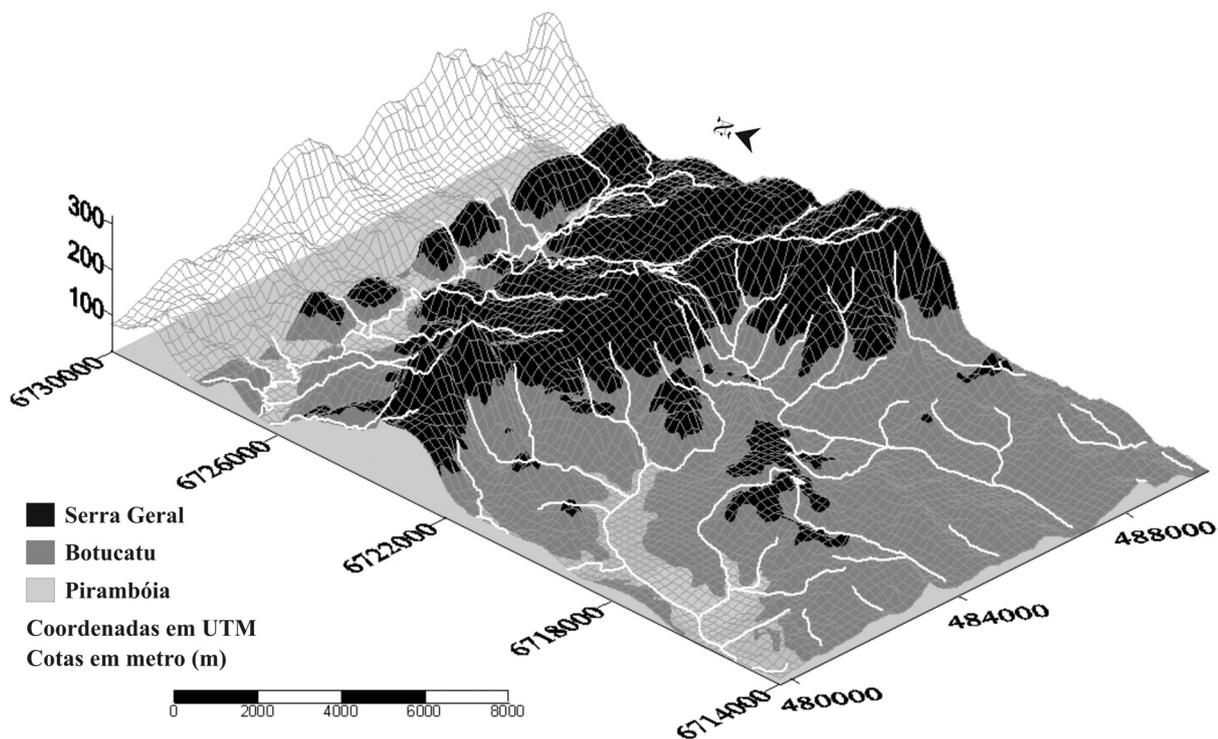


Figura 3. Geologia da região de Ivoti.

ETAPAS	DADOS / PROCESSOS / PRODUTOS			TÉCNICAS
	(a)	(b)	(c)	
CADASTRO E SELEÇÃO DE POÇOS	(a) Carta 1:50.000 (1975); Imagem LANDSAT (1999)	(b) Levantamento de campo com GPS; Descrição de amostras; Seleção de Poços	(c) Modelo geológico 3D; Poços Selecionados	- GPS Etrex Vista - Iliwis 3.0
COLETA DE DADOS HISTÓRICOS	(a) Boletim e Ensaios Hídricos	(b) Avaliação das Informações	(c) Planilhas de Dados Hidrogeológicos	- Planilhas Excel
ANÁLISE DE INDICADORES	(a) Vazões Totais e Níveis Estáticos	(b) Análise Gráfica	(c) Indicadores de Depleção	- Software Excel
ESPAIALIZAÇÃO DE DADOS HIDROGEOLÓGICOS	(a) Dados Multitemporais	(b) Interpolação por Krigagem 2D	(c) Mapas Potenciométricos	- Surfer - Iliwis 3.0
ESTIMATIVA DE DEPLEÇÃO DE RESERVAS	(a) Mapas Potenciométricos	(b) Álgebra de Mapas	(c) Mapas de Depleção do Aquífero; Estimativa de Depleção das Reservas	- Iliwis 3.0

Figura 4. Diagrama representativo do método e técnicas utilizados.

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DOS INDICADORES OPERACIONAIS

As séries históricas 1973-2003 foram analisadas graficamente no sistema EXCEL, identificando-se indicadores de depleção do aquífero. Analisou-se o desempenho do sistema de bombeamento, através da evolução das vazões totais e do número de poços instalados, bem como examinou-se as variações dos níveis estático e dinâmico dos poços individuais.

ESPAIALIZAÇÃO DE DADOS HIDROGEOLÓGICOS MULTITEMPORAIS

A análise da evolução do comportamento dos indicadores operacionais permitiu identificar distintas fases de produtividade do sistema de bombeamento. Estas fases foram utilizadas para caracterizar conjuntos multitemporais de dados hidrogeológicos, sendo que para cada conjunto de dados foram gerados mapas

potenciométricos por krigagem 2D no sistema SURFER 6.0. Para elaboração destes mapas foram utilizados os níveis estáticos no momento da perfuração dos poços ou aqueles determinados em reavaliação posterior.

MONITORAMENTO DA DEPLEÇÃO E DETECÇÃO DOS LIMITES DE USO SUSTENTÁVEL DO SISTEMA AQUÍFERO

O monitoramento de depleção do aquífero, obtido por meio álgebra de mapas em geoprocessamento, corresponde a diferença simples entre as superfícies potenciométricas multitemporais, indicando a magnitude, localização e extensão da depleção no período em estudo. Estes dados, associados às vazões e datas de instalação dos poços, foram utilizados para determinar as áreas de influência, o comportamento das vazões e os rebaixamentos em cada poço, servindo como base para a detecção dos limites e características de exploração sustentável do sistema aquífero em Ivoti.

ANÁLISE DE INDICADORES OPERACIONAIS

A evolução operacional dos poços tubulares e do sistema municipal de bombeamento, foi analisada no período de 1993/2003. Os comportamentos da vazão total anual do sistema e do número total de poços instalados são apresentados na Figura 5.

Após um período inicial de vazões crescentes, verifica-se uma tendência generalizada de redução da produtividade do sistema de bombeamento. O ano de 1997 (Figura 5) registra o ponto de inflexão, a partir do qual declinam as vazões totais anuais. A instalação de novos poços, embora resulte em recuperação parcial e temporária das vazões totais, não chega a atingir os valores iniciais de produção. Após um breve período de recuperação, resultante da instalação de novos poços em 2001, o sistema volta a apresentar declínio da produção total a partir de 2002.

Para o fenômeno observado, os poços individuais deveriam refletir a tendência geral de depleção dos níveis d'água e redução das vazões. Uma primeira informação de subsuperfície, resultante de observações no período de 1980/2003, é fornecida na Figura 6.

Verifica-se, ao longo do tempo, uma depleção contínua dos níveis dinâmico e estático, sendo o rebaixamento deste último superior a 60 m. Quanto ao rebaixamento excessivo do nível dinâmico, caracterizou-se em 1990 (Figura 6) a situação de colapso operacional definida por Muñoz *et al.* (2003), sendo necessário aprofundar o grupo moto bomba submerso (GMBS). Apesar disso, o monitoramento operacional efetuado desde 1995 neste poço mostra que permanecem as condições de depleção do sistema aquífero, indicando uma provável situação de colapso em futuro próximo.

Portanto, os indicadores operacionais, tanto de caráter geral como por poços individuais, mostram uma tendência de depleção dos níveis d'água e declínio das vazões totais. A instalação de novos poços produz apenas aumentos temporários das vazões, não revertendo a tendência geral de declínio de produção. O aprofundamento dos poços e

Tabela 1. Locação, dados de projeto e reavaliação em 2003 dos poços selecionados.

ID	Número do Poço	Coordenadas			Projeto de Operação				Avaliação		
		UTME	UTMN	Cota	Data	Vazão	NE	ND	Vazão	NE	ND
1	IV 2	483965	6725172	138	1973	21	67,58	93	10	87,15	100
2	IV 3	483988	6725794	145	1976	25	81,87	92	10	99,1	104
3	IV 4	484443	6725586	115	1979	70	14,74	75	20	74,52	104
4	IV 5	484713	6724897	147	1986	10	76,15	108	9,5	106,68	127
5	IV 6	482742	6724723	180	1986	15	89,37	105	14	101	115
6	IV 7	484834	6723508	198	1987	5	118,5				
7	IV 8	483565	6724150	135	1988	16	63	104	12	74,45	99,82
8	IV 9	484414	6723580	225	1990						
9	IV 10	484875	6724419	158	1990	10	83,62	128	8	98,1	131,5
10	IV 11	484557	6722829	175	1990	7,2	93,46				
11	IV 12	483885	6727039	25	1991	18	2,25				
12	IV 13	483202	6724566	160	1991	13	65,43	90	12	68,95	88,77
13	IV 14	483751	6723651	180	1991	20	97,86	115	6	110,79	118,22
14	IV 15	485191	6726047	130	1992	20	64,9	86	17	91,46	124,89
15	IV 16	485343	6724871	180	1992	2					
16	IV 17				1997						
17	IV 18	483489	6725043	150	1997	18	73	146			
18	IV 19	482251	6724482	180	1997	18	73,05	146	15	78,89	136,96
19	IV 20	484731	6723846	184	1997	18	97,4	120	12	100,97	114,47
20	IV 21	483911	6723038	160	1997						
21	IV 22	486332	6722803	185	1997						
22	IV 23	485067	6726161	125	1997	26	75,38	110			
23	IV 24	485240	6722978	208	1997	18	130,3	152	11	137,18	150,34
24	IV 25	484159	6726852	110	1997						
25	IV 26	483469	6723823	170	1997	12	93,21	111	12	98,5	109,75
26	CJ 1	487815	6726020	154	1976	6,7	90				

Obs: Os níveis d'água estão indicados em profundidade (m) a partir do terreno natural. As vazões estão indicadas em m³/h.

reposicionamento do GMBS, única alternativa nos casos de colapso operacional, não há alteração a tendência geral de depleção do aquífero. Estes resultados coincidem com as observações realizadas desde o final da década de 1980 pela CORSAN – Companhia Estadual de Saneamento, a qual tem identificado rebaixamentos excessivos dos níveis dinâmicos nos poços tubulares da região de Ivoti e municípios vizinhos.

MONITORAMENTO DA DEPLEÇÃO E DETECÇÃO DOS LIMITES DE EXPLORAÇÃO

A transição entre as fases de vazões

crescentes e decrescentes, caracterizada pela inflexão da curva de vazões totais ocorrida em 1997 (Figura 5), sugere que foi ultrapassado o limite de exploração sustentável, ingressando-se neste ponto em um regime de desequilíbrio entre a vazão total de bombeamento e a recarga natural do aquífero. Esta situação, caracterizada por uma retirada média maior do que a recarga, corresponde ao regime de super-exploração definido por Custodio (2002). Entretanto, apesar de plausível e alicerçada em dados históricos, a hipótese de superexploração deve ser testada através de métodos numéricos aplicados ao modelo geológico local, para o que são necessários dados estratigráficos, estruturais, hidroclimatológicos e parâmetros hidrogeológicos.

Uma vez que estes dados não foram ainda obtidos, inviabilizando uma análise numérica adequada, optou-se pela espacialização da superfície potenciométrica nas duas fases de produtividade (Figuras 7 e 8), através de técnicas de geoprocessamento. Para isto, embora ocorra recobrimento parcial do SAG pelas efusivas básicas da Formação Serra Geral, considerou-se o comportamento de aquífero. Este procedimento baseia-se nos níveis estáticos detectados durante as perfurações, os quais, exceção feita ao poço IV-4 em período anterior a 1997, não indicam a existência de confinamento pelas rochas basálticas sobrejacentes. Além disto, afora o poço IV-4 no mesmo período, todas as entradas d'água ocorrem no intervalo estratigráfico do SAG.

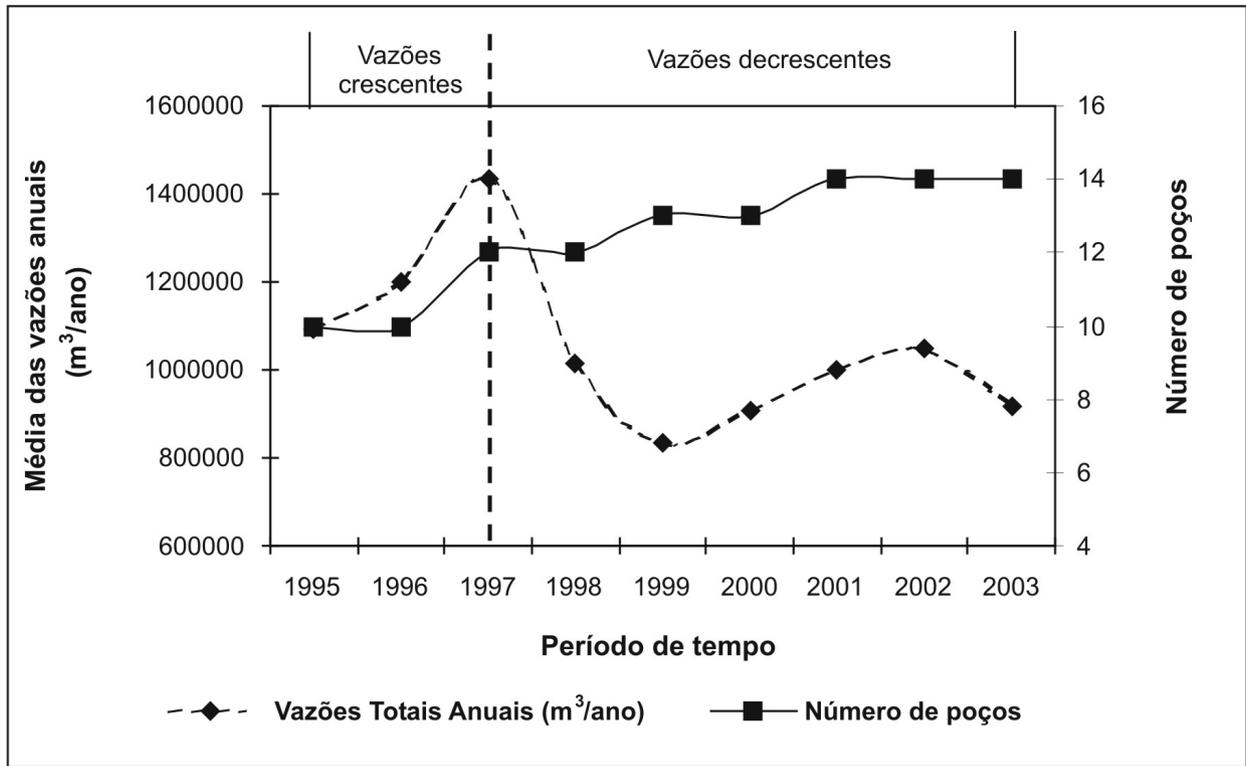


Figura 5. Evolução do número total de poços operantes e das vazões totais anuais do sistema de abastecimento público de Ivoti no período 1993-2003.

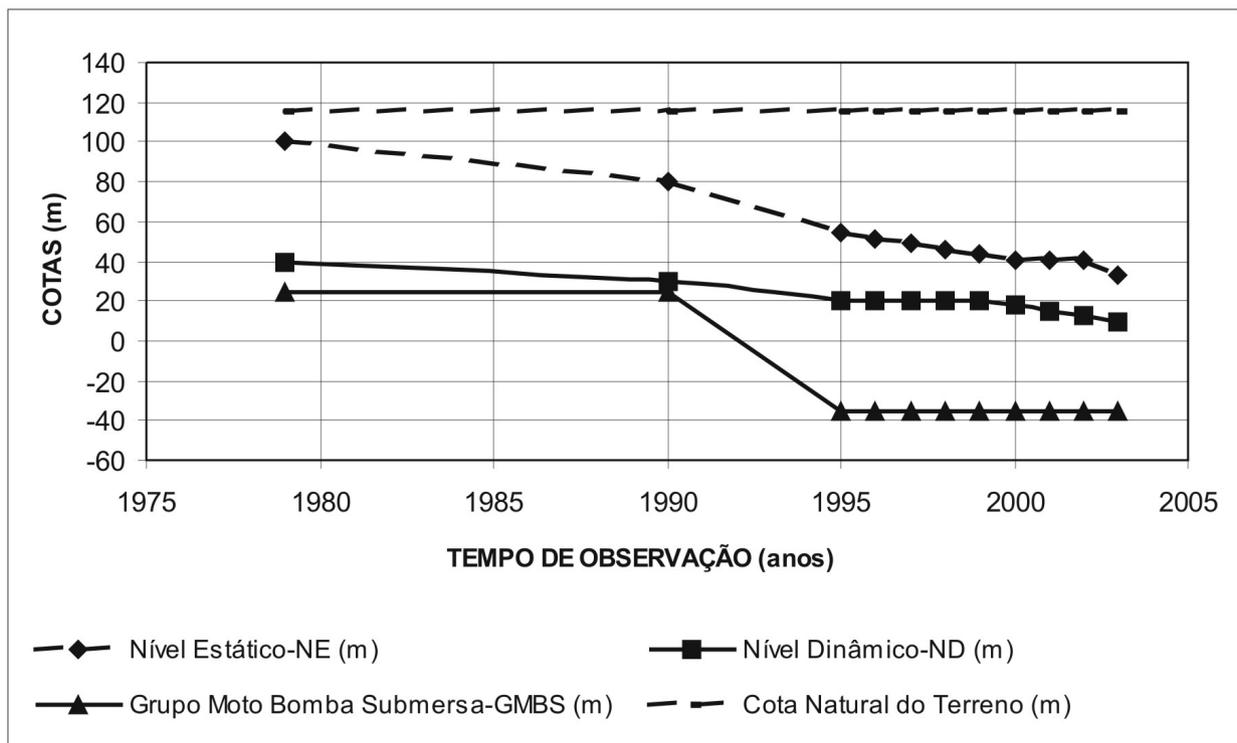


Figura 6. Evolução operacional de poço tubular no período 1979-2003. O conjunto moto-bomba foi posicionado em maior profundidade após colapso operacional ocorrido em 1990.

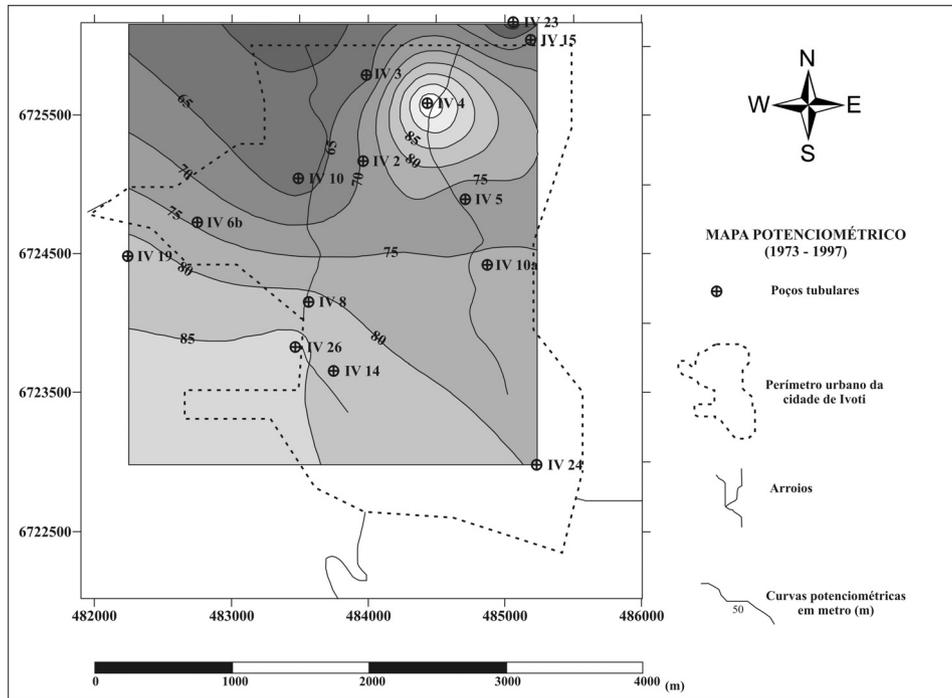


Figura 7. Superfície potenciométrica para o período de vazões crescentes (1973-1997), elaborado com base nos níveis estáticos dos poços tubulares na data da perfuração.

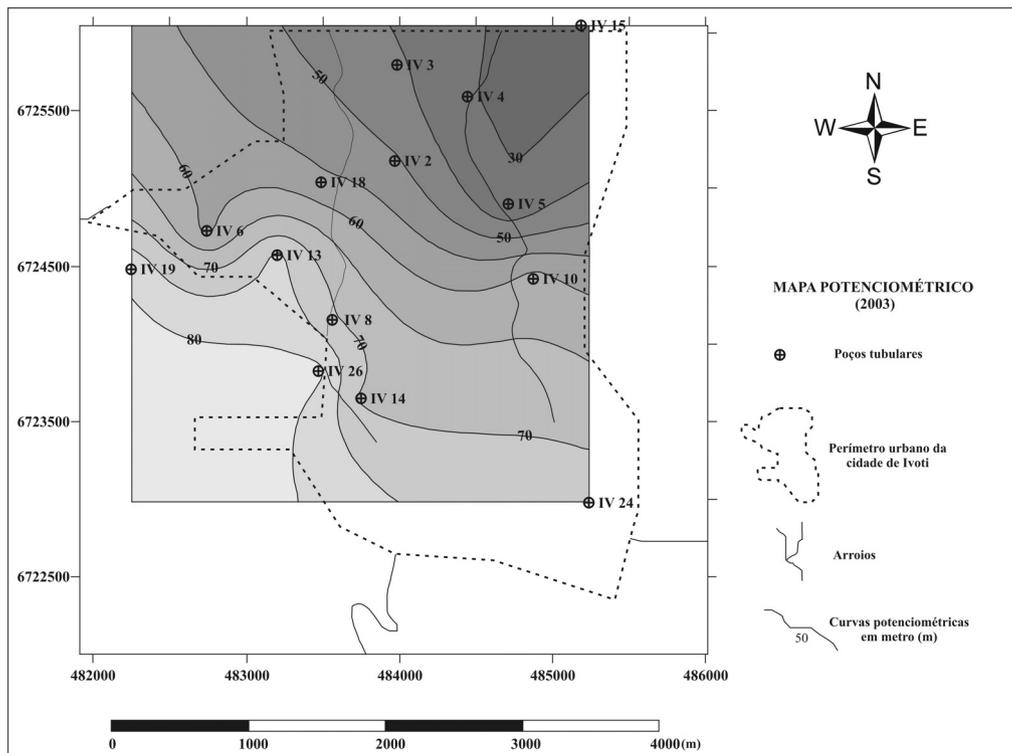


Figura 8. Superfície potenciométrica em 2003, elaborado com base nos níveis estáticos dos poços tubulares detectados na reavaliação executada nesta data.

Como se observa nestas figuras, manteve-se inalterada nas duas fases a direção geral norte-nordeste para o fluxo subterrâneo, embora os níveis, d'água mostrem depleções ao longo do tempo. Como alteração significativa, ressalta-se a variação da área de influência do poço IV4, para o que a CORSAN informa que outros poços particulares instalados nas imediações contribuem para o aumento da mesma. Como será visto adiante, alterações introduzidas nos níveis d'água e vazões de poços mais antigos, os quais encontram-se instalados nesta região, confirmam a extensão e magnitude desta área de influência.

A análise espacial da depleção do SAG foi realizada através de produto cartográfico específico (Figura 9), obtido por álgebra de mapas em geoprocessamento, o qual corresponde a diferença simples entre as superfícies potenciométricas nas duas épocas consideradas. Observa-se nesta figura uma depleção generalizada do aquífero,

com valores de rebaixamento de 8 m até 53 m dos níveis estáticos. Além disto, alguns poços tem influência predominante, como o poço IV4 com rebaixamento de 53 m, cujo efeito atinge um raio 1000 m a 2000 m. Em outros casos, como no poço IV6, observa-se um rebaixamento da ordem de apenas 15 m e um raio de influência de 250 a 300 m. A forma das áreas de depleção em torno dos poços reflete as características físicas do aquífero: a anisotropia hidráulica aparece no poço IV4, sugerindo uma influência predominante da estrutura geológica, enquanto no poço IV6 as condições são isotrópicas para as taxas atuais de bombeamento.

Estes mesmos poços, provavelmente com distinto condicionamento hidrogeológico, tiveram suas vazões afetadas pela depleção generalizada do aquífero. O poço IV4, projetado em 1979 para produzir 70 m³/h, teve sua vazão reduzida para apenas 20 m³/h em 2003. Por outro lado, poços com menores

vazões, como o poço IV6, projetado em 1986 para produzir apenas 15 m³/h, mantiveram sua produção praticamente inalterada até 2003. Estes resultados sugerem que vazões de projeto superiores a 15 a 20 m³/h podem não ser estáveis a longo prazo, desconhecendo-se, no atual estágio de estudo, as razões que determinam este limite de produtividade estável para os poços individuais.

Alguma especulação pode ainda ser feita com relação ao tempo de depleção ou recuperação do aquífero. O poço IV4, instalado em 1979, mostra interferência com vários outros poços (figura 9), verifica-se, entretanto, que apenas os poços instalados antes de 1979 sofreram rebaixamentos significativos dos níveis dinâmicos e redução das vazões. Por sua vez, poços instalados em 1986, os quais também sofrem interferência do poço IV4, mantiveram suas vazões praticamente inalteradas. Estes dados sugerem que a área de influência deste poço, com até 2.000 m de raio,

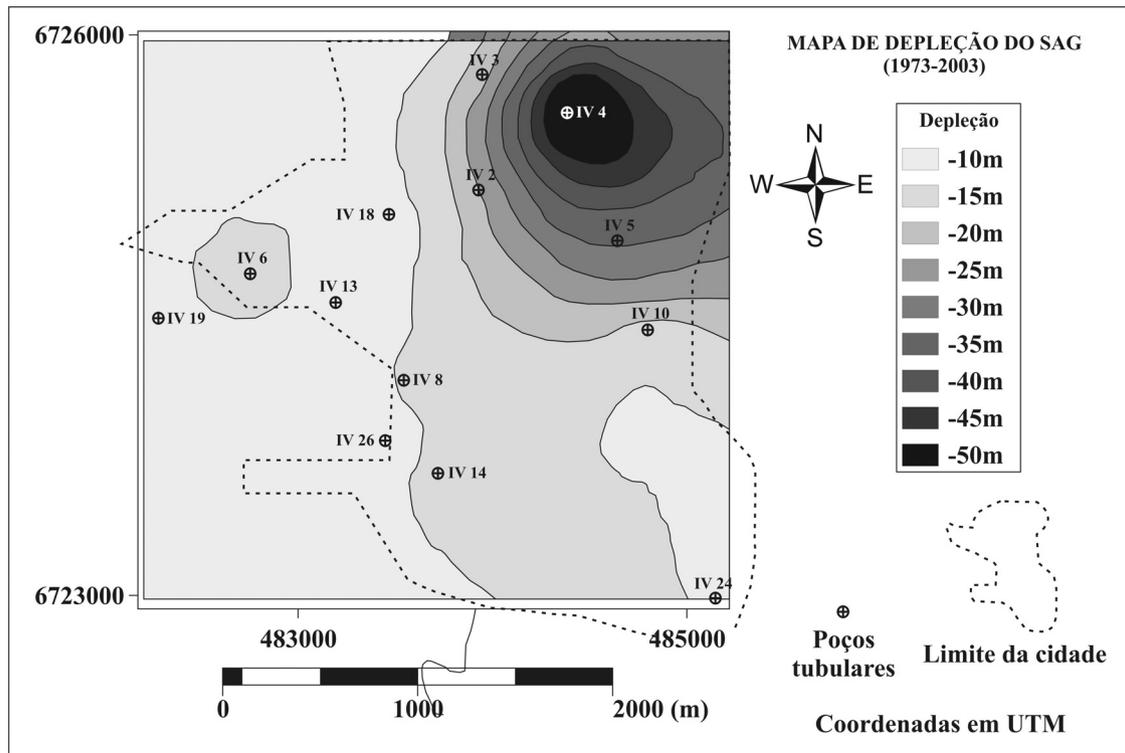


Figura 9. Mapa de depleção da superfície potenciométrica entre o período de vazões crescentes (1973-1997) e a reavaliação hidrogeológica realizada em 2003.

desenvolveu-se em período igual ou inferior aos primeiros sete anos de operação, afetando apenas os poços mais antigos. Uma das questões que emergem destes dados, a qual deverá ser alvo da modelagem numérica do fluxo subterrâneo, diz respeito ao período necessário para recuperação dos níveis originais do aquífero, uma vez reduzido ou interrompido o bombeamento nas áreas de maior depleção.

Estes resultados, indicam que há pouco conhecimento do comportamento hidrogeológico do SAG na região de Ivoti, levando a conflitos de uso, projeto de novos poços tubulares e gerenciamento do sistema municipal de bombeamento. Há, portanto, necessidade de aprofundamento do conhecimento geológico e modelamento numérico do sistema aquífero, de forma a avaliar sua potencialidade e limites de exploração, subsidiando adequadamente o planejamento do uso sustentável da água subterrânea para o abastecimento público.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram um quadro geral de depleção do sistema aquífero, permitindo algumas conclusões preliminares a respeito da sustentabilidade do uso da água subterrânea para o abastecimento de Ivoti:

- ◆ Fases de vazões totais crescentes e decrescentes foram indentificadas, servindo este parâmetro como indicador da sustentabilidade do sistema atual de exploração da água subterrânea.

- ◆ As vazões totais do sistema de bombeamento mostram declínio contínuo a partir de 1997, enquanto a

instalação de novos poços reverte apenas a curto prazo esta tendência, indicando que o atual sistema de exploração do SAG pode ter ultrapassado o seu limite de sustentabilidade.

- ◆ Os dados de subsuperfície, coerentemente com o comportamento das vazões totais, mostram depleção contínua dos níveis estáticos e dinâmicos, sendo atingida por vezes a situação de colapso operacional. O aprofundamento dos poços em colapso, bem como o reposicionamento do GMBS, não revertem a tendência de depleção dos níveis d'água subterrâneos.

- ◆ O SAG apresenta comportamento de aquífero livre na região de Ivoti, sendo que o fluxo subterrâneo ocorre na direção geral norte-nordeste.

- ◆ Entre as fases de vazões crescentes e decrescentes, esta última avaliada em 2003, ocorreu depleção generalizada do sistema aquífero, sendo que a superfície potenciométrica apresenta rebaixamentos entre 8 m e 53 m.

- ◆ Poços com vazões de projeto entre 15 e 20 m³/h, mostram vazões estabilizadas e áreas de influência com raios da ordem de 300 m.

- ◆ Poços com vazões de projeto de 70 m³/h mostram redução destas vazões até menos de 1/3 dos valores iniciais, desenvolvendo áreas de influência com raios iguais ou superiores que 1.000 m.

- ◆ Os resultados apontam para a não sustentabilidade do atual sistema de abastecimento público

REFERÊNCIAS

CUSTODIO, E. 2002. *Aquifer overexploitation what does it's mean?*

Hydrogeology Journal, **10** (2):254-277.

FACCINI, U.F.; GIARDINI, A. e MACHADO, J.L.F. 2003. Heterogeneidades litofaciológicas e hidroestratigrafia do Sistema Aquífero Guarani na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. In: P.S.G. PAIM; U.F. FACCINI e R.G. NETTO (eds.), *Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares – estudos de casos*. Editora Unisinos, p. 147-173.

GIARDINI, A. e FACCINI, U.F. 2004a. Heterogeneidades faciológicas e hidroestratigrafia do Aquífero Guarani na região central do Rio Grande do Sul: abordagem metodológica e resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12, Florianópolis, CD ROM.

GIARDINI, A. e FACCINI, U.F. 2004b. Complexidade hidroestratigráfica e estrutural do Sistema Aquífero Guarani na região central do Rio Grande do Sul: abordagem metodológica aplicada ao exemplo da área de Santa Maria – RS, Brasil. *Revista Águas Subterrâneas*, **18**:39-54.

IBGE. Cidades @ 2003 Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidades/topwindow.htm?o>. acessado em 20/12/2003.

MUÑOZ, J.F.; FERNANDEZ, B.; ESCAURIAZA, C. 2003. Evaluation of groundwater availability and sustainable extraction rate for Upper Santiago Valley Aquifer, Chile. *Hydrogeology Journal*, **11**(6):688-700.

MORRIS, B.L.; LAWREWNCE, A.R.L.; CHINTON, P.J.C.; ADAMS, B.; CALOW, R.C. e KLINCK, B.A. 2003. *Groundwater and its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of Problem and Options for Management and Assessment*. Report Series, RS.03-3. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.