

**XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII**  
**ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS**

**UTILIZAÇÃO DE SIG NA AVALIAÇÃO DO USO DA ÁGUA DO SISTEMA**  
**AQUÍFERO GUARANI NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Autores - Maurício Moreira dos Santos<sup>1</sup>; Maria Rita Caetano Chang<sup>2</sup>; Chang Hung Kiang<sup>3</sup>

**Resumo** – A gestão dos recursos hídricos, com vistas a garantir o suprimento de água em quantidade e qualidade suficientes para atender às necessidades da sociedade, da mesma forma que as questões ambientais em geral, deve ser sempre conduzida sob um enfoque sistêmico, considerando uma grande diversidade de parâmetros. Nesse sentido, com vistas à avaliação do uso atual das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no estado de São Paulo, buscou-se levantar uma larga gama de informações sobre sua utilização e ocorrência. Assim, foram utilizados dados coletados em 1389 poços que exploram o SAG para os mais diversos tipos de usos. Para armazenagem, manipulação, visualização e análise de dados espaciais, utilizou-se o sistema de informações geográficas (SIG). Cerca de 65% dos poços cadastrados são utilizados para o consumo humano (público e doméstico). Em termos volumétricos, o consumo público representa 67% do total extraído, seguido pelos usos industrial, doméstico, rural e recreacional, com 21,7%, 6,1%, 2,8% e 0,6%, respectivamente.

**Abstract** – The management of groundwater resources needs a systemic analysis of variables to succeed. In this way, the evaluation of the current usages of waters from Guarani Aquifer System (SAG) in São Paulo State, was based on a large amount of data from drilling wells and official reports. The analysis was accomplished using information collected from a survey of 1389 wells including the different types of water usages. The geographic information system (GIS) was used for storage, manipulation, visualization and analysis of georeferenced data. About 65% of water wells are presently used for human consumption (public and domestic usages); volumetrically, public consumption peaks to 67%, remaining 21.7%, 6.1%, 2.8% and 0.6% for industrial, domestic, rural and recreational usages, respectively.

**Palavras-Chave** – Sistema Aquífero Guarani (SAG), Uso Atual e Potencial da Água, SIG.

---

<sup>1</sup> LEBAC – Laboratório de Estudos de Bacias – UNESP. Av. 24 A, 1515 - CEP 13 506-900 - Rio Claro SP. mmsantos.geo@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Geologia Aplicada, – IGCE – UNESP. Av. 24 A, 1515 - CEP 13 506-900 - Rio Claro SP. mrchang@rc.unesp.br.

<sup>3</sup> Departamento de Geologia Aplicada – IGCE – UNESP. Av. 24 A, 1515 - CEP 13 506-900 - Rio Claro SP. chang@rc.unesp.br.)

## 1 - INTRODUÇÃO

A crescente utilização dos mananciais subterrâneos para suprir a demanda de água, tanto para o abastecimento público quanto para os diversos setores da economia, leva muitas vezes a situações de superexploração das águas subterrâneas, o que pode provocar efeitos físicos, econômicos, sociais e/ou ambientais, cujo balanço final é negativo à sociedade atual e às gerações futuras. O grande aumento na exploração de águas subterrâneas é decorrente de suas vantagens em relação às águas superficiais, destacando-se sua qualidade, geralmente melhor graças à maior proteção natural dos aquíferos à contaminação, além do fator econômico. Porém, essa situação exige instrumentos legais, normativos e de estudos que avaliem a atual utilização e a potencialidade de exploração de mananciais hídricos, visando o desenvolvimento sustentável.

A pressão sobre a demanda de água do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no estado de São Paulo é crescente, exercida principalmente pelo crescimento populacional, pela expansão urbana e pelo aumento progressivo da produção de bens de consumo, o que leva à necessidade de avaliações do consumo atual de suas águas. De acordo com Sinelli (1984) e Santos (2009), o uso do SAG para abastecimento de Ribeirão Preto remonta à década de 1930, estando atualmente com mais de 400 poços em atividade; para todo o estado, estima-se a existência de milhares de poços que exploram água do SAG, situação essa que preocupa os órgãos gestores de recursos hídricos no estado.

No presente trabalho, fez-se uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a avaliação dos usos das águas do SAG no estado de São Paulo, tendo em vista a utilidade dessa ferramenta na gestão integrada dos recursos hídricos, graças à sua capacidade de armazenar, manipular, organizar e visualizar uma ampla quantidade de dados, propiciando a fácil comunicação entre o usuário e o *software* (Sprague e Carlson, 1982; Porto *et al.*, 2003).

### 1.1 – Localização da Área

A área de estudo está inserida na porção NE da Bacia do Paraná, entre os paralelos 20° e 20°30' de latitude S e os meridianos 47° e 52°30' de longitude W, dentro dos limites do estado de São Paulo (Figura 1). Sua extensão total é de aproximadamente 155.800 km<sup>2</sup>.

A delimitação da área de estudo foi efetuada por meio da integração de informações das bases cartográficas referenciadas no Mapa Geológico do Estado de São Paulo, em escala 1:750.000 (Perrota *et. al* 2005), e o mapa com os limites geográficos dos municípios do estado de São Paulo (IBGE, 2005). Desse modo, foram delineados 411 municípios cujas áreas somadas ocupam aproximadamente 65% de todo o território paulista.

Em termos geológicos, o SAG ocorre confinado pelos derrames basálticos em 90% da área, margeado a leste por uma faixa alongada aflorante de direção aproximada NE-SW, na porção

central do estado, com espessura variável, ocupando área de aproximadamente 18.400 km<sup>2</sup>, constituindo a principal zona de recarga do sistema aquífero (Figura 1).

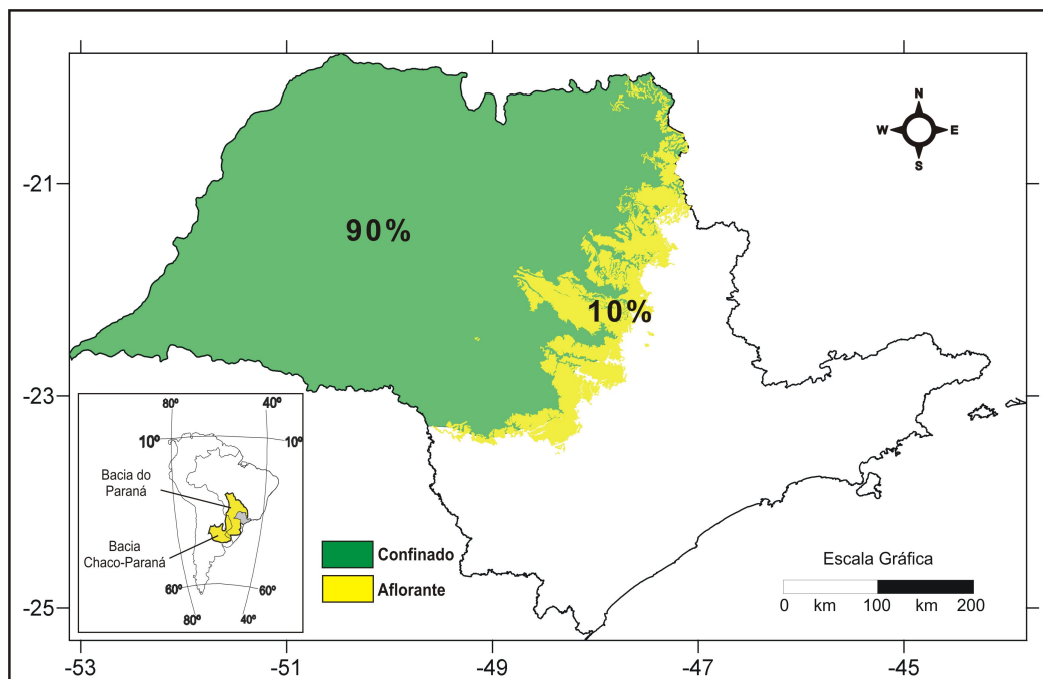


Figura 1 - Ocorrência do Sistema Aquífero Guarani no estado de São Paulo. Modificado de LEBAC (2004).

## 2 - OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivos principais a avaliação do uso atual do SAG no Estado de São Paulo com apoio de SIG, apresentando o diagnóstico sobre a avaliação dos volumes explorados atualmente, com a identificação de regiões, zonas e áreas no estado com os maiores índices de exploração sistema aquífero, bem como a proposição de medidas de controle para a gestão futura do recurso.

## 3 - MÉTODOS UTILIZADOS

O levantamento de dados envolveu a coleta de material bibliográfico e de dados dos poços existentes que exploram o SAG no estado de São Paulo. As fontes da base de informação referem-se a: levantamentos de campo; visitas a órgãos públicos e empresas perfuradoras; e informações recebidas por meio digital.

Técnicas de SIG foram utilizadas no armazenamento, processamento, visualização e análise de dados georreferenciados. Três projetos de banco de dados foram estruturados para receber as mais diversas informações levantadas para atingir os objetivos do trabalho.

Os dados dos poços tubulares profundos, cadastrados na área de estudo, foram obtidos a partir da consulta a três bancos de dados principais: a) do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) – arquivo digital cedido pelo DAEE-SP, contendo poços outorgados no estado de São Paulo, com localização e informações hidrodinâmicas, geológicas e de uso da água; b) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) – arquivo digital do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2007), disponível no site da CPRM, onde consta cadastro de milhares de poços georreferenciados, localizados em todo o território nacional, com informações hidrodinâmicas, geológicas e geográficas; e c) do Projeto para Proteção Ambiental e o Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (PSAG) (GEF, 2008).

É importante destacar que todos os bancos de dados passaram por um processo de seleção, vinculados à filtragem de informações para se chegar àqueles perfurados apenas no estado de São Paulo e que exploram as águas do SAG. Os poços em que não constavam informações sobre o sistema aquífero explorado foram descartados, mesmo quando suas coordenadas indicavam que eram perfurados nos limites geográficos do SAG.

Utilizando o *software* Microsoft Access 2003 (Microsoft Corporation), foi modelado um Banco de Dados (BD) próprio, como suporte ao desenvolvimento do Sistema de Informações Geográficas aplicado à análise do uso da água. Nesse banco foram armazenadas as mais diversas informações de poços perfurados no SAG, em território paulista. Foi também elaborada uma planilha em Excel para facilitar a organização ou armazenamento inicial das informações levantadas, que posteriormente foram transferidas para o Banco de Dados (BD) principal. A modelagem do BD possibilitou cadastrar e organizar a entrada das novas informações de poços tubulares perfurados no SAG, além de consultas diversas, por meio da associação de campos comuns entre as tabelas (estabelecimentos de “relações”). O objetivo principal do BD foi otimizar a exportação das informações para o *software* ArcGIS ArcView GIS 9.2 (Environmental Systems Research Institute, Inc.), responsável pela visualização e integração espacial dos dados.

O BD utiliza a divisão do uso das águas em categorias, similar à utilizada pelos órgãos gestores da água no estado de São Paulo, englobando os usos público, doméstico, rural e industrial. Na categoria uso público foram incluídos os poços tubulares profundos, cuja água é extraída com a finalidade de atender às necessidades de consumo da população nos municípios, atendidas pelas concessionárias públicas de serviço de água. Na categoria uso doméstico foram inseridos os poços cujos usos são para abastecimento humano, mas que não são operados por concessionárias públicas de serviço de água, abrangendo o uso da água por instituições ou propriedades privadas (loteamentos privados, casas de particulares, condomínios, etc.). A categoria uso rural abarca todo consumo em zona rural, incluindo seu uso na irrigação, dessedentação de animais e consumo humano (domicílio particular e assentamentos). A categoria uso industrial engloba toda atividade de

transformação em seus diversos segmentos (e.g., agroindústria, beneficiamento mineral, têxtil, químico, metalúrgico, etc.), e também o uso industrial sanitário, independentemente de sua localização geográfica.

Para estimativa volumétrica de consumo de água do SAG foi utilizado um método simples, em que se considera a vazão de produção apresentada no cadastro dos poços inseridos no banco de dados (normalmente obtido por meio de ensaios de bombeamento), multiplicado por um período médio estimado de 16 horas contínuas de operação do mesmo.

#### **4 - USO DE SIG NO GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para o gerenciamento de recursos naturais vem se mostrando cada vez mais uma ferramenta poderosa e eficiente nas diversas áreas do conhecimento. Segundo Aronoff (1989) e Bull (1994), os SIGs são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la.

Conforme Becker e Egler (1997 *apud* Melo *et al.* 2003), a finalidade última é otimizar o uso do território e a integração das políticas públicas. No caso específico dos recursos hídricos, a caracterização dos diferentes usos e a elaboração de planos de manejo das bacias hidrográficas constituem instrumentos indispensáveis à potencialização do uso adequado e sustentável do recurso água. O ordenamento do uso dos recursos hídricos pode se efetivar a partir da utilização do SIG, que apresenta duas funcionalidades: a) de instrumento técnico de informação sobre o território, necessário para a ocupação racional e para o uso adequado da água, que provê informações integradas em uma base geográfica e classifica as bacias hidrográficas segundo suas potencialidades; e b) de instrumento político de regulação do uso dos recursos hídricos e do território como um todo, que permite integrar as políticas públicas em uma base geográfica, descartando o convencional tratamento setorializado e acelerando o tempo de sua execução e de sua eficácia.

A gestão de recursos hídricos que se preocupa com a questão ambiental sempre considera dois pontos básicos: o diagnóstico ambiental, que retrata as realidades do meio, e a definição de alternativas ou diretrizes, que solucionam ou minimizam os problemas identificados no diagnóstico, bem como reforçam os acertos existentes. Os diagnósticos baseiam-se na espacialização das informações obtidas, que devem ser comparadas entre si. A utilização de SIG e a automação desse processo agilizam e expressam resultados em mapas, de fácil visualização e reprodução.

A utilização de SIG como ferramenta de apoio para dinamizar a gestão das águas subterrâneas vem se tornando cada vez mais frequente devido, fundamentalmente, à crescente demanda que gera potenciais conflitos pelo uso da água proveniente dos aquíferos.

## **5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 – Banco de Dados dos Poços**

Para o estudo ora realizado, foram cadastrados 1389 poços tubulares profundos perfurados no SAG, que se concentram próximos à zona de afloramento das unidades (Figura 2) e, principalmente, onde as espessuras dos basaltos da Formação Serra Geral são menores.

Segundo o trabalho de Santos (2009), isso ocorre em função de alguns fatores principais: a) os custos de perfuração dos poços nesta área são menores, de forma a implantação de um sistema de abastecimento baseado em poços tubulares pode ser viável e até mesmo mais vantajosa que a captação superficial; b) algumas bacias hidrográficas nesta zona apresentam situação crítica de disponibilidade; e c) maior concentração demográfica na área, quando comparada à população residente na porção oeste do estado, o que ocasiona uma maior demanda pelo recurso e maior diversidade econômica.

Com relação à tipologia do uso das águas subterrâneas, os poços foram classificados em cinco categorias, semelhantes às utilizadas pelo DAEE em seus processos de outorga e direito de uso da água: abastecimento público, doméstico, rural, industrial e recreação. O cálculo volumétrico foi obtido a partir das vazões horárias informadas nos cadastros consultados. Os valores estatísticos médios, máximos e mínimos foram considerados em m<sup>3</sup>/hora, enquanto que para a estimativa anual foi realizada a soma total da vazão de cada uma das tipologias dos tipos de usos e o resultado multiplicado por um período médio de operação do poço, de 16 horas.

O universo amostral dos poços cadastrados é o que melhor representa as informações atualmente disponíveis, apesar de problemas de consistência (a vazão informada nem sempre é aquela efetivamente utilizada) e integração de informações dos bancos de dados.

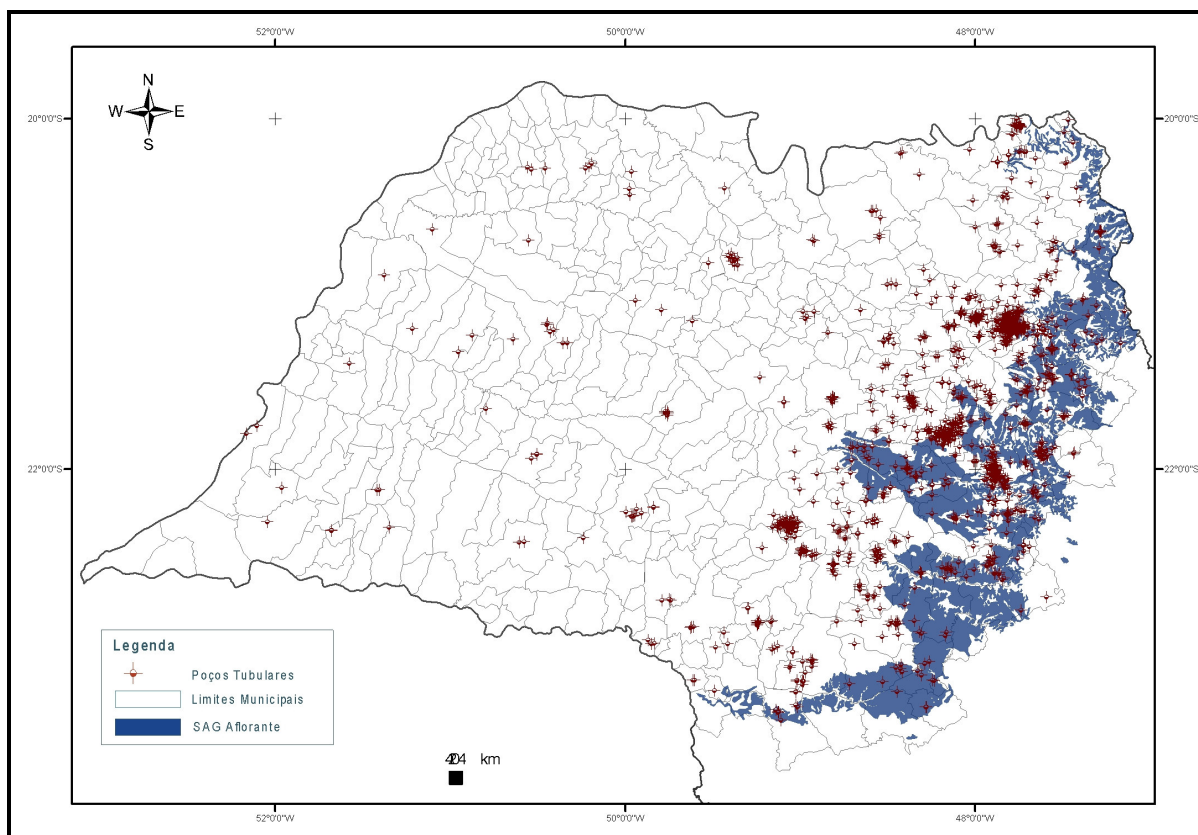


Figura 2 - Mapa de localização dos poços cadastrados na área de estudo e que explotam o SAG.

## 5.2 - Abastecimento Público

Como considerado no presente trabalho, o abastecimento público abarca toda a água subterrânea captada para o consumo humano de núcleos urbanos (e.g., sede, distritos, bairros, vilas, loteamentos, etc.) atendidos pelas concessionárias públicas e/ou privadas de serviço de água.

Dentre os poços tubulares profundos em atividade cadastrados, que explotam o SAG no estado, 590 são utilizados para abastecimento das populações urbanas e sua distribuição espacial na área de estudo é apresentada na figura 3.

Para o cálculo da vazão anual do uso público das águas do SAG foram utilizados os poços tubulares que, segundo os cadastros consultados, estão no modo de operação de extração. O conjunto destes poços, utilizados para servir às populações das áreas urbanas, explotam a vazão total estimada de  $3,7 \times 10^8$  m<sup>3</sup>/ano.

A análise estatística dos dados cadastrais para o abastecimento público indica que a vazão média dos poços atinge a marca de 126,3 m<sup>3</sup>/h, mediana de 90,0 m<sup>3</sup>/h, valor máximo de 1.100 m<sup>3</sup>/h e mínimo de 1,6 m<sup>3</sup>/h.

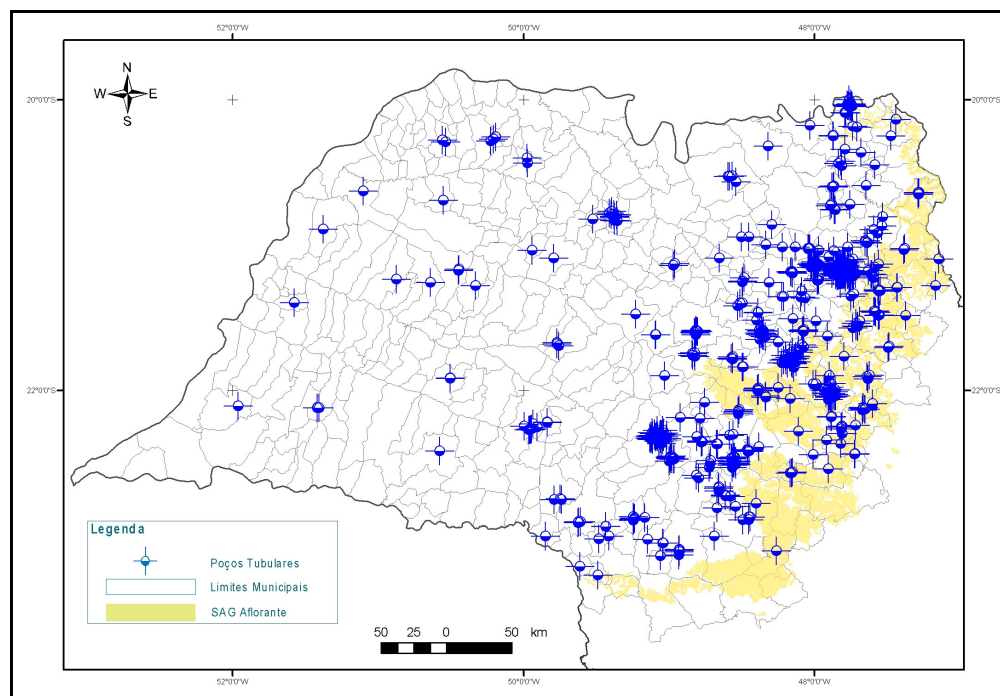


Figura 3 – Distribuição espacial dos poços para o uso público na área de estudo.

Como mencionado anteriormente, o uso do SAG para abastecimento remonta à década de 30, com os primeiros poços perfurados em Ribeirão Preto visando o abastecimento público. Esta informação é corroborada pelos dados cadastrais levantados para a área de estudo, pois o poço mais antigo de que se tem registro foi instalado em 1927 e, a partir daí, o número de perfurações de poços por ano para o abastecimento público aumenta lentamente até o início dos anos 1970 (Figura 4); a partir dessa década, o número de perfurações cresce fortemente até a década de 1990, sofrendo queda brusca entre os anos 2000 a 2007.

Esta queda deve-se, em parte, à incompletude dos dados da década de 2000, pois os poços mais recentes cadastrados que constam no banco de outorga do DAEE foram perfurados no ano de 2004. Assim, os dados coletados não se encontram atualizados, uma vez que os órgãos públicos não possuem um sistema capaz de disponibilizar em rede os poços outorgados, na mesma velocidade do crescimento das perfurações. Desse modo, o contínuo aumento das áreas urbanas dos municípios localizados na área de ocorrência do SAG no estado de São Paulo continuará a exercer profunda pressão sobre a disponibilidade hídrica desse manancial para o abastecimento público, com a continuidade de perfurações e com poços mais produtivos, a partir da evolução tecnológica de expropriação de aquíferos e a necessidade de poços cada vez mais profundos.



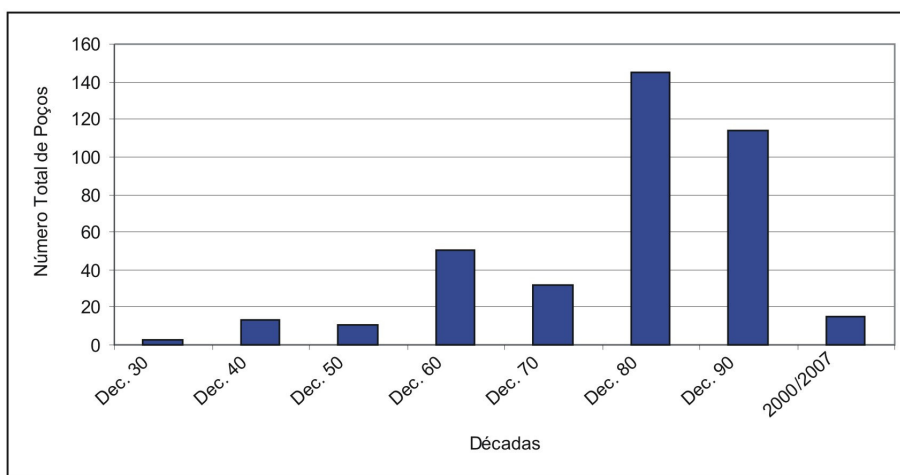


Figura 4 –Evolução das perfurações para o abastecimento público, por décadas, na área de estudo.

### 5.3 - Abastecimento Doméstico

Como uso doméstico foram considerados os poços que exploram as águas subterrâneas para abastecimento humano dentro dos limites urbanos das cidades, mas que não são operados pelas concessionárias de serviço de água, abrangendo o uso da água por propriedades privadas, independente de fornecimento público (e.g., lotes, casas, condomínios, dependências comerciais, etc.). Um total de 269 poços tubulares ativos foi cadastrado para o uso doméstico do SAG e sua distribuição espacial pode ser visualizada na figura 5.

Diferentemente do abastecimento público, a distribuição geográfica dos poços para o abastecimento doméstico se concentra fundamentalmente próximo às áreas de afloramentos do SAG. Esses poços pertencem a proprietários de casas que buscam o abastecimento autônomo para sua residência, como também a grandes condomínios fechados, de classe média-alta, que buscam ser servidos, parcial ou totalmente, por águas subterrâneas de qualidade. Isto porque os custos de perfurações próximas à área de afloramentos adequam-se a esta classe de usuários, dado que o dispêndio econômico é menor devido às menores profundidades a serem atingidas até os níveis potenciométricos das unidades hidroestratigráficas que constituem o SAG.

Os dados cadastrais indicam que a vazão dos poços para o abastecimento doméstico opera em extração média de 23,8 m<sup>3</sup>/h, mediana de 10,2 m<sup>3</sup>/h, com valor máximo de 500 m<sup>3</sup>/h e mínimo de 0,4 m<sup>3</sup>/h; o volume total estimado é de 3,3x10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>/ano.

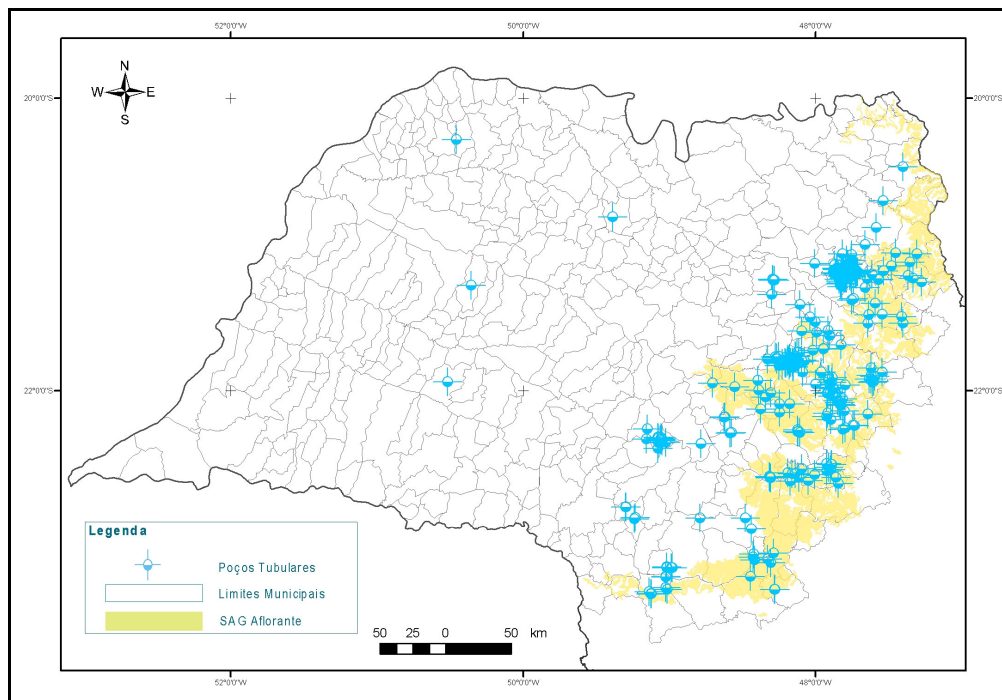


Figura 5 – Distribuição espacial dos poços para o uso doméstico na área de estudo.

Avaliar a evolução da exploração com base no número de perfurações para o uso doméstico é uma tarefa difícil. O setor da construção civil continua crescendo, mesmo com a atual crise econômica mundial; o setor imobiliário continua se beneficiando de incentivos do governo federal, como a ampliação do crédito para a compra da casa própria, a redução do IPI para materiais da construção civil e a significativa redução das taxas de juros.

O contínuo crescimento imobiliário, especialmente com a expansão de condomínios fechados, exerce pressão sobre a disponibilidade dos recursos hídricos. Becker (2005) relata que atualmente os condomínios fechados representam uma grande fatia do mercado imobiliário brasileiro, não sendo mais exclusividade de classes ricas, e nem estão localizados apenas em grandes cidades, mas fazem parte da paisagem de pequenas cidades, assim como já são construídos para classes de menor poder aquisitivo, como é a característica da maioria dos municípios da área de estudo. Ainda segundo a mesma autora, os condomínios fechados surgiram, em sua maioria, na década de 1970, intensificando-se as construções na década de 1980, e consolidando-se na década de 1990. Tal afirmação coincide com a evolução das perfurações para o abastecimento doméstico na área de estudo, como mostra a figura 6.

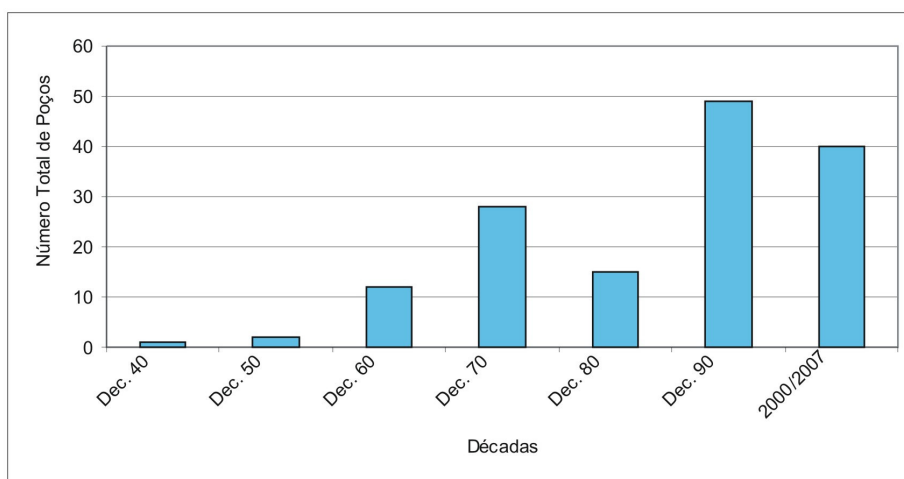


Figura 6 –Evolução das perfurações para o abastecimento doméstico, por décadas, na área de estudo.

Além do aumento significativo das perfurações na década de 1990, o gráfico indica continuidade da expansão no número de poços para captação de águas subterrâneas para uso doméstico entre 2000 e 2007, indicando que este tipo de abastecimento continuará a exercer pressão para suprir a demanda de água nos próximos anos. Neste sentido, o SAG será o manancial de referência, sobretudo próximo à zona de afloramentos.

#### 5.4 - Abastecimento Industrial

A categoria abastecimento industrial refere-se às atividades de transformação em seus diversos segmentos que utilizam água subterrânea no sistema de produção (e.g., agroindústria, beneficiamento mineral, têxtil, químico, metalúrgico, etc.).

Para o uso industrial das águas subterrâneas, um total de 309 poços tubulares que atualmente exploram o SAG foi cadastrado (Figura 7).

A localização geográfica dos poços para o abastecimento industrial ocorre de forma diferenciada, se comparado ao uso doméstico. Como nos casos anteriores, as perfurações estão concentradas numa faixa de orientação NE-SW, próxima aos afloramentos do SAG, e também nas áreas de maior importância econômica. Porém, percebe-se certa tendência de afastamento dos poços do limite leste do sistema aquífero, estando alguns deles presentes nas áreas de maior confinamento do SAG (Figura 6).

Quatro regiões apresentam grandes concentrações de poços que extraem a água subterrânea para o uso industrial. Na região de Ribeirão Preto, centro agropecuário paulista que concentra a maior quantidade de poços para o abastecimento industrial na área de estudo; o tipo predominante de uso está relacionado às atividades das usinas sucro-alcooleiras distribuídas na região. Na região de Araraquara, com forte presença industrial, destacam-se poços pertencentes a propriedades

ligadas à agroindústria cítrica. Na região de São Carlos, não é possível identificar um setor especializado de exploração do SAG para o uso industrial, mas é possível verificar que alguns poços estão ligados indiretamente ao setor de serviços. Na região de Bauru, os poços responsáveis pelo abastecimento industrial que exploram o SAG estão ligados principalmente à produção de bebidas, destacando-se a AMBEV, localizada no município de Agudos.

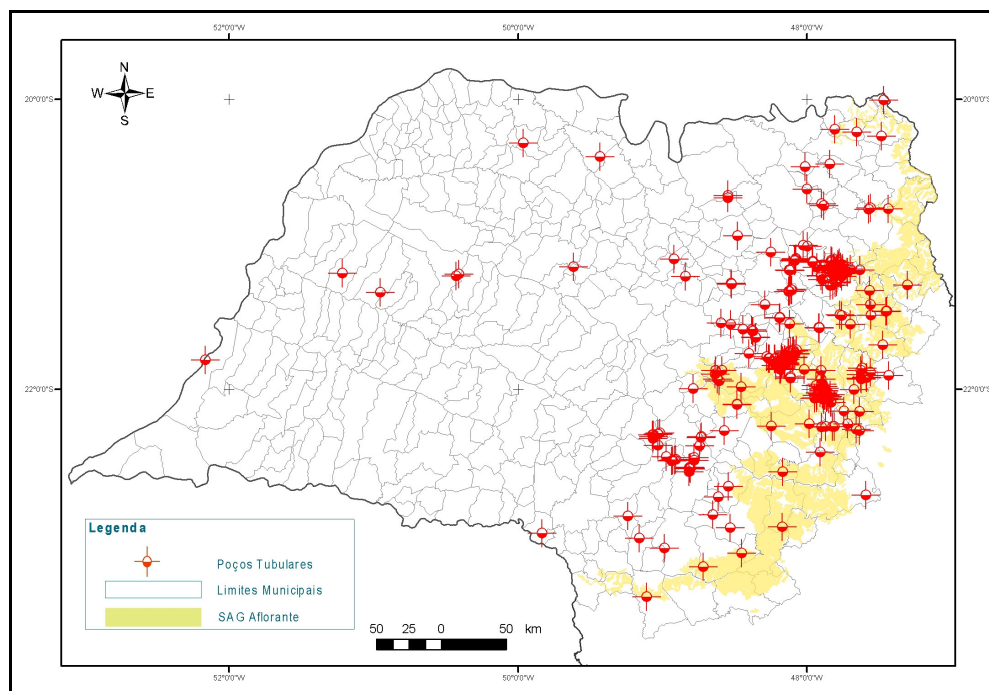


Figura 7 – Distribuição espacial dos poços para o uso industrial na área de estudo.

O conjunto dos poços para uso industrial explora o SAG a uma vazão média de 73,9 m<sup>3</sup>/h, mediana de 32,7 m<sup>3</sup>/h, valor máximo de 500 m<sup>3</sup>/h e vazão mínima de 1,6 m<sup>3</sup>/h. O valor da vazão total estimada é 1,2x10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/ano.

Quando se pauta a gestão do SAG, talvez a maior preocupação relacionada ao uso industrial seja a expansão da agroindústria sucroalcooleira no interior do estado de São Paulo, principalmente nas áreas de afloramento do sistema aquífero. Apenas no noroeste e oeste paulistas, 83 usinas estão em operação e outras 26 devem entrar em funcionamento até 2012 (UNICA, 2009). As usinas de cana de açúcar são grandes consumidoras de água em seu setor produtivo.

A evolução das perfurações pode ser visualizada na figura 8, onde é mostrado o crescimento logarítmico das perfurações. Chama atenção o salto no número de poços na década de 1990.

O abastecimento industrial deve continuar a exercer demandas cada vez maiores por fontes alternativas de água. Apesar da atual crise econômica global, o número de poços para exploração do SAG deverá continuar a crescer, mesmo que em um ritmo mais lento, pelo menos até uma mudança do panorama econômico mundial e nacional.

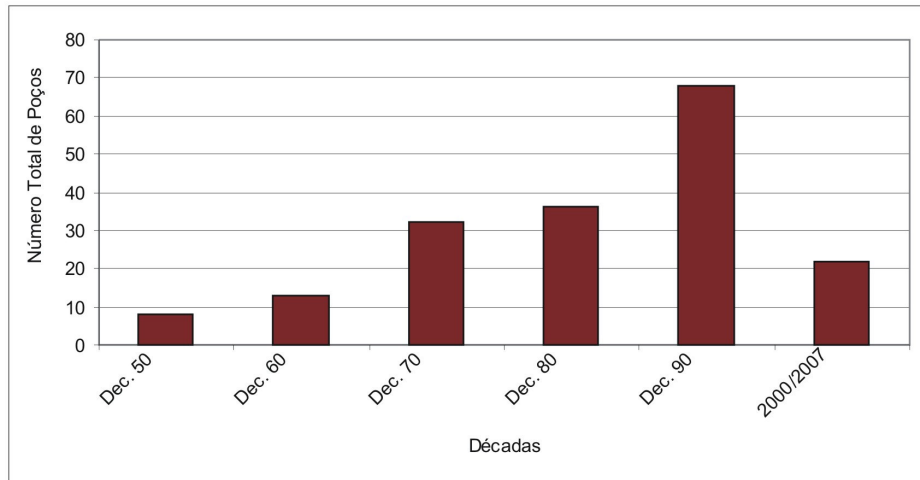


Figura 8 –Evolução das perfurações para o abastecimento industrial, por décadas, na área de estudo.

### 5.5 - Abastecimento Recreacional

O uso da água subterrânea para a recreação envolve os poços cadastrados que abastecem áreas ou propriedades destinadas ao lazer humano, como por exemplo: *Resorts*, Termas, Associações, Clubes etc. Esta tipologia é a que possui a menor quantidade de poços cadastrados, totalizando 23 perfurações que, somadas, possuem vazão estimada de  $3,2 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano. Os dados estatísticos indicam vazão média de 26,7 m<sup>3</sup>/h, com valor mediano de 15,4 m<sup>3</sup>/h, vazão máxima de 468,2 m<sup>3</sup>/h e mínima de 0,5 m<sup>3</sup>/h.

A figura 9 apresenta a distribuição geográfica dos poços usados para o abastecimento recreacional na área de estudo. A grande maioria pertence a clubes recreativos e os poços localizados nas zonas de maior confinamento do SAG são utilizados como Termas Naturais, aproveitando o recurso geotérmico do sistema aquífero. O estado de São Paulo, no entanto, não tem tradição neste tipo de uso, que pode possuir grande atrativo turístico, como acontece em outras regiões do Brasil, ou em outros países, como na fronteira do Uruguai com a Argentina, onde a presença de *Resorts* Termas, que utilizam das águas geotermas provenientes do SAG, são de fundamental importância para a economia regional (Cataldo, 2006). Quanto a uma eventual expansão deste tipo de uso, não é necessária uma análise pormenorizada, já que isso não implicaria grandes preocupações relacionada à gestão dos recursos hídricos, pelo menos sob o ponto de vista quantitativo.

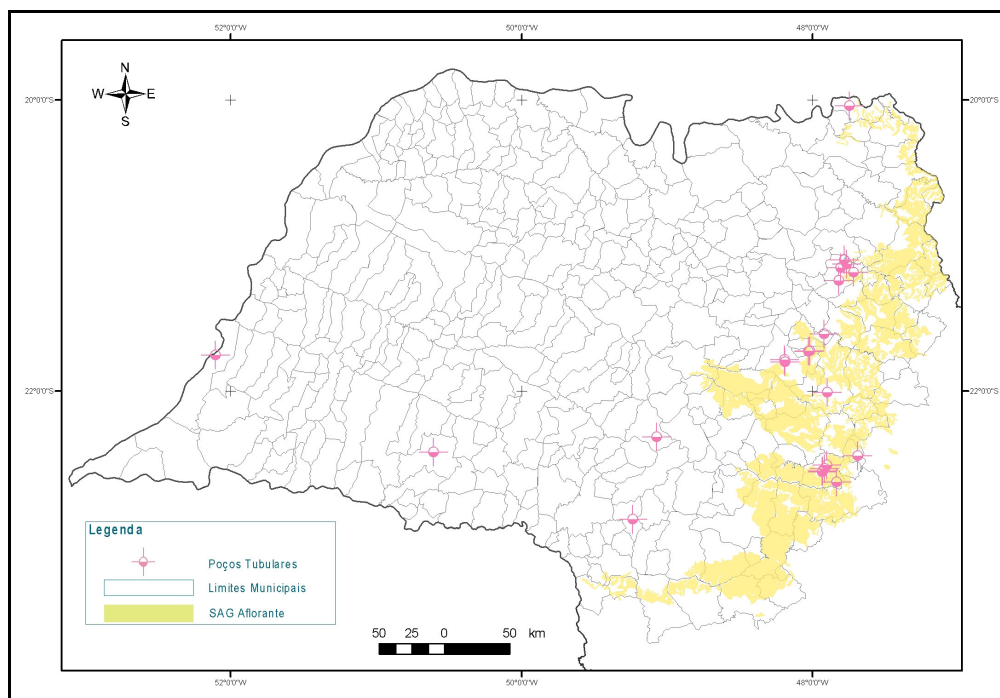


Figura 9 – Distribuição espacial dos poços para o abastecimento recreacional na área de estudo.

## 5.6 - Abastecimento Rural

O uso rural das águas subterrâneas envolve todo consumo efetuado em zona rural, incluindo seu uso na irrigação, dessedentação de animais e consumo humano (domicílio particular e assentamentos).

Um total de 72 perfurações para abastecimento rural utilizando águas subterrâneas do SAG foi cadastrado. Este número não tem grande expressão se comparado ao montante dos poços que exploram o SAG no estado de São Paulo, mas um dado chama a atenção, já que cerca de 40% desses poços são utilizados para irrigação.

A figura 10 mostra a localização dos poços para uso rural na área de estudo, com as perfurações concentrando-se na área de afloramentos do SAG ou próximas a estas. O ponto mais distante está a aproximadamente 70 km desta faixa, ao norte, no município de Guaira.

O volume total explotado estimado para o uso rural é de  $1,54 \times 10^7$  m<sup>3</sup>/ano. O conjunto dos poços apresenta vazão média de 51,0 m<sup>3</sup>/h, mediana de 15,4 m<sup>3</sup>/h, valor máximo de 468 m<sup>3</sup>/h e vazão mínima de 0,5 m<sup>3</sup>/h.

O uso da água para irrigação sempre causa preocupação em relação à sustentabilidade dos recursos hídricos pois, dependendo do tipo de cultura, as áreas irrigadas demandam grandes quantidades de água na produção agrícola, principalmente nos meses mais secos.

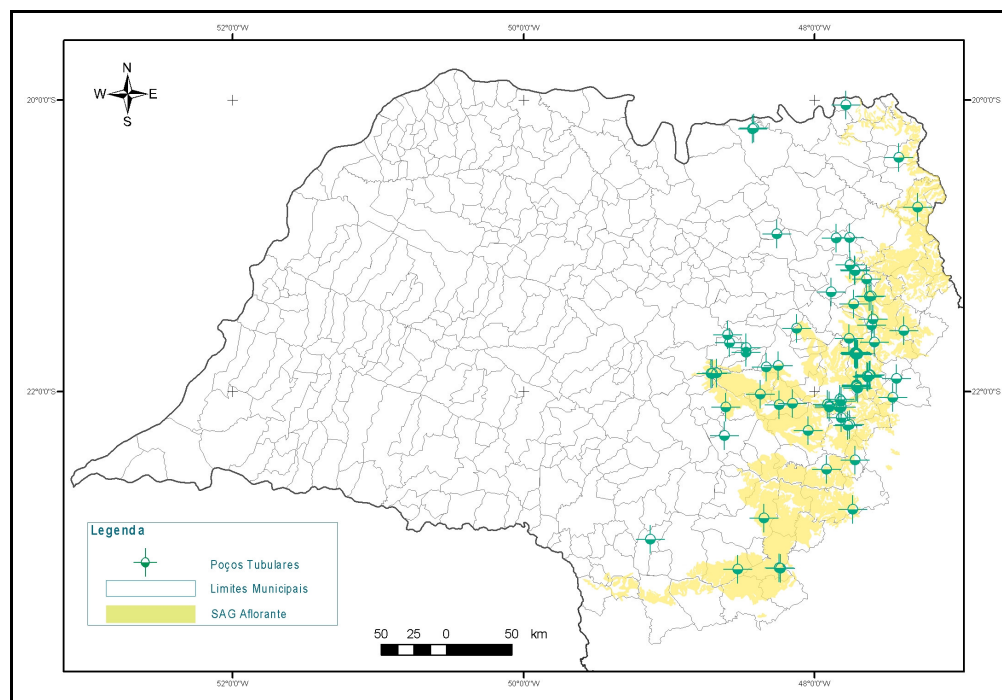


Figura 10 – Distribuição espacial dos poços para o abastecimento rural na área de estudo.

Entretanto, o uso dos mananciais superficiais para irrigação é muitas vezes superior ao subterrâneo. O “Relatório de Situação dos Recursos Hídricos” da UGRHI 04, elaborado pelo IPT (2007), a partir de registros obtidos no banco de dados de outorgas do DAEE, demonstrou que as captações superficiais são aproximadamente três vezes maior do que as de fontes subterrâneas, sendo que as maiores demandas se destinam ao uso na irrigação. A realidade verificada para essa UGRHI, se repete para grande parte do estado de São Paulo.

Mesmo a irrigação sendo uma atividade expressiva de exploração dos recursos hídricos, ainda não se tem um cadastro de irrigantes, o que dificulta qualquer análise estatística mais pormenorizada.

### 5.7 - Estimativas de Volume Captado

Em termos volumétricos, o uso público se destaca na área de estudo. Percentualmente, estima-se que 67,2% do total do volume explorado anualmente do sistema aquífero seja para esse tipo de uso. Os usos industrial e doméstico vêm a seguir, representando respectivamente 21,7% e 6,1% do volume total explorado anualmente; o uso rural possui 2,8% do total explorado, o recreacional 0,6% e outros tipos de uso constituem 1,6% do total estimado, sendo que para este último item foram considerados apenas os poços ativos na soma anual da exploração (Figura 11).



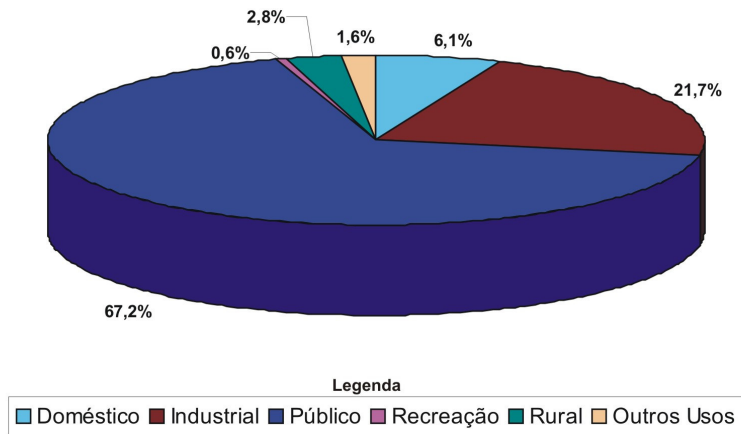


Figura 11 – Distribuição dos volumes captados anualmente na área de estudo, separados por tipos de uso da água subterrânea.

O gráfico da figura 12 compara o percentual do volume explorado por ano no SAG e o número de poços por tipos de uso das águas. Verifica-se que, de acordo com o tipo de uso dado ao recurso, a quantificação do volume explorado e o número de poços por categoria ocorre de modo desigual para a área de estudo. Por exemplo, percentualmente, o número de poços para uso doméstico está muito próximo ao de poços cadastrados para o uso industrial, porém, quanto aos volumes explorados, ocorre grande discrepância, com o abastecimento doméstico apresentando cerca de 6% do total explorado e o uso industrial 22%. Para o uso público, responsável por 50% dos poços cadastrados, quando analisado o volume retirado do SAG, esta proporção se eleva para 67% do total explorado estimado anualmente.

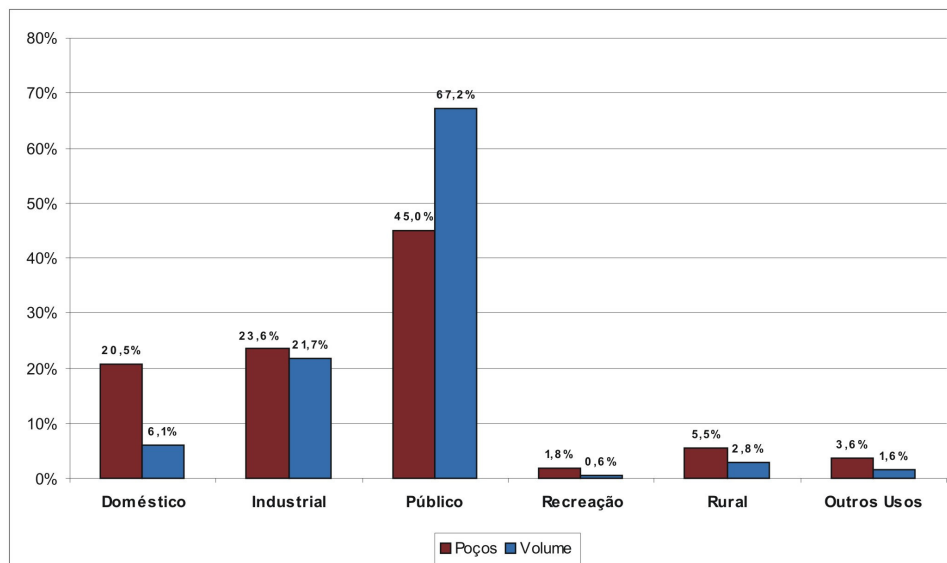


Figura 12 – Distribuição dos poços perfurados na área de estudo e o percentual de volume explorado anualmente, por tipos de uso da água subterrânea.



Esta situação pode ser explicada, em primeiro lugar, pelo tipo de uso pretendido, ou seja, para uso público, por exemplo, existe a necessidade da construção de poços altamente produtivos, capazes de atender, de forma eficaz, o sistema de abastecimento de uma cidade, enquanto um poço domiciliar é perfurado com o objetivo de conseguir pequena vazão, capaz de abastecer uma casa ou, no máximo, um condomínio. Também, a produtividade do poço está vinculada diretamente ao seu perfil construtivo, que depende muito da escolha feita pelo perfurador e da qualidade dos serviços prestados pela empresa de perfuração.

A tabela 1 mostra a distribuição das estimativas dos volumes totais explorados, segundo os tipos de uso da água subterrânea.

Tabela 1 - Volume total explorado por tipo de uso da água do SAG e total absoluto.

| Tipos de Uso       | Total da Exploração |                     |                     |                     |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                    | m <sup>3</sup> /h   | m <sup>3</sup> /dia | m <sup>3</sup> /mês | m <sup>3</sup> /ano |
| <b>Público</b>     | 63.763              | 1.020.202           | 30.606.053          | 372.373.642         |
| <b>Industrial</b>  | 20.626              | 330.020             | 9.900.586           | 120.457.125         |
| <b>Doméstico</b>   | 5.770               | 92.320              | 2.769.595           | 33.696.742          |
| <b>Recreação</b>   | 534                 | 8.544               | 256.315             | 3.118.502           |
| <b>Rural</b>       | 2.640               | 42.236              | 1.267.075           | 15.416.082          |
| <b>Outros Usos</b> | 1.540               | 24.640              | 739.200             | 8.993.600           |
| <b>Total</b>       | 94.873              | 1.517.961           | 45.538.824          | 554.055.692         |

O uso público destaca-se como o maior destino da exploração das reservas do SAG, seguido pelos usos industrial e doméstico, e, por fim, o uso para o abastecimento rural; outros usos representam 1,6% do volume anual para a área de estudo.

## 6 - CONCLUSÕES

O levantamento, sistematização, tratamento e análise dos dados e informações do uso atual do SAG no estado de São Paulo, com o apoio de SIG, resultaram em expressivo avanço na atualização e no aprofundamento do conhecimento dos fatores ligados aos recursos subterrâneos deste importante manancial.

De modo geral, a análise da evolução dos poços apontou que o uso dos sistemas aquíferos como fonte de abastecimento, muitas vezes principal ou mesmo única de importantes centros urbanos, apresenta uma tendência crescente, decorrente de suas vantagens em relação às águas superficiais, seja pela qualidade, devido à proteção natural dos aquíferos à contaminação, ou pelo fator econômico, devido aos custos relativamente baixos de exploração.

O estado de São Paulo dispõe hoje de uma política institucional específica voltada à gestão sustentável dos recursos hídricos, que incorpora princípios consagrados sobre o uso das águas e tem como base a descentralização e a participação da sociedade, o reconhecimento da água como um recurso de valor econômico, e a Bacia Hidrográfica como unidade de gerenciamento.

A distribuição espacial dos poços que captam água do SAG, no estado, mostra clara relação com a proximidade das áreas mais acessíveis ao sistema aquífero, ou seja, a maioria dos poços foi perfurada nas proximidades da zona de afloramento do SAG, devido à ausência ou à menor espessura da cobertura de basaltos da Formação Serra Geral nessas áreas, o que torna significativamente menor o custo da perfuração destes poços.

Um total de 1389 poços foram cadastrados e, com relação ao uso dado ao recurso hídrico captado, observa-se uma destinação principal para o abastecimento público que consome cerca de 67% do volume total explorado (45% dos poços cadastrados), seguido pelo uso industrial que consome cerca de 21% do volume de água (23% dos poços cadastrados).

Os volumes estimados de retirada de água do SAG, para os mais diversos tipos de usos no estado de São Paulo, são da ordem de  $5,54 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

## **7.- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ARONOFF, S. Geographic Information Systems. WDL. Publications, Canada. 1989.

BARBOSA S. A. **Aplicação de sistemas de informação geográfica em gestão dos recursos hídricos**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007. 68p.

BECKER D. **Condomínios horizontais fechados: Avaliação de desempenho interno e impacto físico espacial no espaço urbano**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. PROPUR/ UFRGS. Porto Alegre, 2005. 308p.

BULL, G. **Ecosystem Modelling with GIS**. Environmental Management, 18(3): 345-349, 1994.

FERREIRA, J. P. **Viabilidade de Implantação de poços tubulares profundos (EVI)**. Cravinhos: relatório técnico, 2008.

GEF – BANCO MUNDIAL – OEA. Projeto para a Proteção Ambiental e o Desenvolvimento Sustentável Integrado do Sistema Aquífero Guarani, Componente A, Atividade 1: Caracterização Física e Inventário de Poços, 94p acesso em: 05 nov 2007. GEF, 2007. [www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest\\_basico.htm](http://www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest_basico.htm)

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha municipal digital do Brasil: situação em 2005**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007a. CD-ROM.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Relatório Um de situação dos recursos hídricos da Bacia do Pardo**. Relatório Final. São Paulo: IPT/Digeo, 2007a. 255p.

MELO P. A.; ROCHA G. M.; ALMEIDA G. F. P. Informação geográfica e o uso dos recursos hídricos em áreas de grandes projetos hidroelétricos: o caso de Tucuruí (Pa). In: **X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Revista GEOUERJ, 2003. p. 2386 a 2394.

PERROTTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINO, L.Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S.D.; SACHS, L.L.B.; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, J.V. 2005. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000**. Programa Geologia do Brasil - PGB, CPRM, São Paulo, 2005. (1) CD

PORTO, R. L; EVSUKOFF, A.G.; EBECKEN, N.F.F.; VILLANUEVA, A. **Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 6**. Org. Por da Silva, R. C. V., ABRH, ed. UFRGS, Porto Alegre, RS,2003. p. 93 – 240: Sistema de suporte a decisão para análise de sistemas de recursos hídricos.

SANTOS, M. M. **Gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos: uso atual e potencial do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009. 224p.

SIAGAS - SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS Disponível em [www.siagas.gov.br](http://www.siagas.gov.br). Acessado em 25/05/2008. SIAGAS, 2008.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo** SIGRH, 2000. <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/perh2000idx.html>

SINELLI, O. Análise do nível piezométrico nos últimos 50 anos – Município de Ribeirão Preto (SP). 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Fortaleza: ABAS. **Anais...** São Paulo, 1984, v. 1, 1984. P 450-462

SPRAGUE, R. H.; CARLSON, E. D. **Building effective decision support systems**. Prentice Hall, 1982.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR **Expansão da agroindústria sucroalcooleira**. Informativo Única – acessado em 22 de março de 2009. UNICA, 2009. [www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)