

II CONGRESSO AQUÍFERO GUARANI

RIBEIRÃO PRETO (SP), 04 A 07 DE NOVEMBRO DE 2008

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O II Congresso Aquífero Guarani consistiu na realização de “workshops” temáticos destinados a avaliar o estado atual de conhecimento do aquífero. Grupos de pesquisadores e especialistas convidados reuniram-se previamente e organizaram suas idéias para exposição em plenário. Este relatório é uma síntese das principais conclusões e recomendações dos grupos temáticos, cujos componentes são nomeados ao final do texto.

I

MODELO CONCEITUAL, FUNCIONAMENTO E POTENCIALIDADES

Introdução

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é uma gigantesca unidade hidrogeológica da porção meridional da América do Sul, e se estende por quatro países: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai, totalizando mais de 1 milhão de km². A importância desse aquífero não reside apenas em sua extensão ou sua grande capacidade de armazenamento de água subterrânea, mas também à área de sua ocorrência, pois se trata de região com grande demanda pelo recurso hídrico.

Desde 2003, o SAG tem sido objeto de estudos sistemáticos pelo chamado *Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (PSAG)*, que é financiado pelo *Global Environmental Facility (GEF)*, através do Banco Mundial e das Organizações dos Estados Americanos (OEA), e pelos governos dos quatro países, além de apoio de instituições como o BGR (Alemanha) e a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). O objetivo desse trabalho é o de apresentar os resultados de algumas das recentes discussões

sobre o modelo conceitual de fluxo do SAG e o modelo numérico elaborado, incluindo a realizada em Ribeirão Preto durante o II Congresso Guarani (novembro de 2008), bem como algumas implicações preliminares para a gestão das águas subterrâneas.

A discussão e os resultados aqui apresentados estão baseadas nas interpretações dos dados e informações oriundos, em grande parte, dos trabalhos desenvolvidos pelo Laboratório de Estudos de Bacias (LEBAC-IGCE-UNESP), contratado pelo Consórcio Guarani (CG) para o desenvolvimento de diversos produtos relativos a questões da hidrogeologia do SAG (Mapa Hidrogeológico, Modelo Hidrogeológico Conceitual, entre outros), de resultados obtidos a partir da simulação numérica regional do SAG, efetuada pela equipe do Instituto de Hidrologia de Llanuras (Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina), bem como de reuniões técnicas das quais os autores participaram. Várias informações contidas nesse trabalho podem ser encontradas no site do PSAG (www.sg-guarani.org).

Definição do SAG e sua geometria

O SAG tem uma área de ocorrência total de 1.087.880 km². Esta área é compartilhada pelos estados brasileiros de Goiás (39.367 km²); Minas Gerais (38.585 km²); Mato Grosso (7.217 km²); Mato Grosso do Sul (18.9451 km²); São Paulo (142.959 km²); Paraná (119.525 km²); Santa Catarina (44.132 km²); Rio Grande do Sul (154.680 km²) e os países limítrofes do Paraguai (87.535 km²); Argentina (228.255 km²) e Uruguai (36.171 km²).

O SAG foi definido no âmbito do PSAG como sendo constituído pelos arenitos continentais mesozóicos, conformados entre as rochas basálticas cretáceas (Formação Serra Geral e equivalentes) e a discordância permoeotriássica, desenvolvidas nas bacias do Paraná e Chacoparanaense (Fig. 1, 2 e 3 e Tabela 1), Neste contexto diversas unidades permianas clásticas associadas ao aquífero foram retiradas, apesar de serem reconhecidas as possíveis relações de fluxo das águas subterrâneas entre elas.

Tabela 1. Unidades estratigráficas que conformam o Sistema Aquífero Guarani (SAG, em amarelo) e suas unidades Pré e Pós SAG.

Idade	Paraguai	Argentina	Uruguai	Brasil (S)	Brasil (C-N)
130 Ma	Alto Paraná (clásticos / ígneos)	Serra Geral (Curuzu Cuatia) Posadas /Solari	Arapey	Serra Geral	Bauru Serra Geral
Js-K	Misiones	Misiones	Tacuarembó (Itacumbu)	Botucatu Guará	Botucatu
Tr				Caturrita Sta Maria	Piramboia
250Ma	Tacuary Grupo Independencia	Buena Vista	Buena Vista	Sanga do Cabral	Corumbataí/Rio do Rastro

Fonte: Consórcio Guarani
Ma = milhões de anos

A hidrogeologia do SAG

Acompanhando os limites externos do SAG, juntamente com o mapa potenciométrico, é possível identificar as áreas de recarga, descarga e de fluxo zero (Fig. 4). A nível regional, há quatro extensas áreas de recarga (A, C, F, e H), três áreas de descarga (B, E, G) e cinco áreas de fluxo zero (O_1, O_2, O_3, O_4, O_5).

Tanto as zonas de recarga como as de descarga estão associadas às áreas de afloramento dos sedimentos do SAG, exceto a Zona E, onde, acredita-se que a descarga ocorra através de rochas Pré-SAG e/ou Pós-SAG (Fig. 4). Os indícios que se juntam para essa proposição são: a) a descarga esperada não é elevada (prox. 25.000 – 30.000 m³/d); b) a piezometria de poços no SAG é condizente com aquela observada, além dos seus limites ao sul (Uruguai). Outra área de descarga pelas rochas Pós-SAG encontra-se associada ao rio Uruguai, associado principalmente à região da Dorsal Assunção-Rio Grande.

As zonas caracterizadas pela ausência de fluxo (não-fluxo) ocorrem nos limites do aquífero, onde os sedimentos do SAG se encontram em contato com rochas impermeáveis lateralmente, ou onde os sedimentos do SAG se acunham estratigraficamente, terminando junto aos aquitardes. Tanto em um caso como no outro, o SAG encontra-se coberto por rochas basálticas, confinando-o ou cobrindo-o.



Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani
 Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guarani



ANEXO 3 - MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO / MAPA GEOLOGICO SIMPLIFICADO

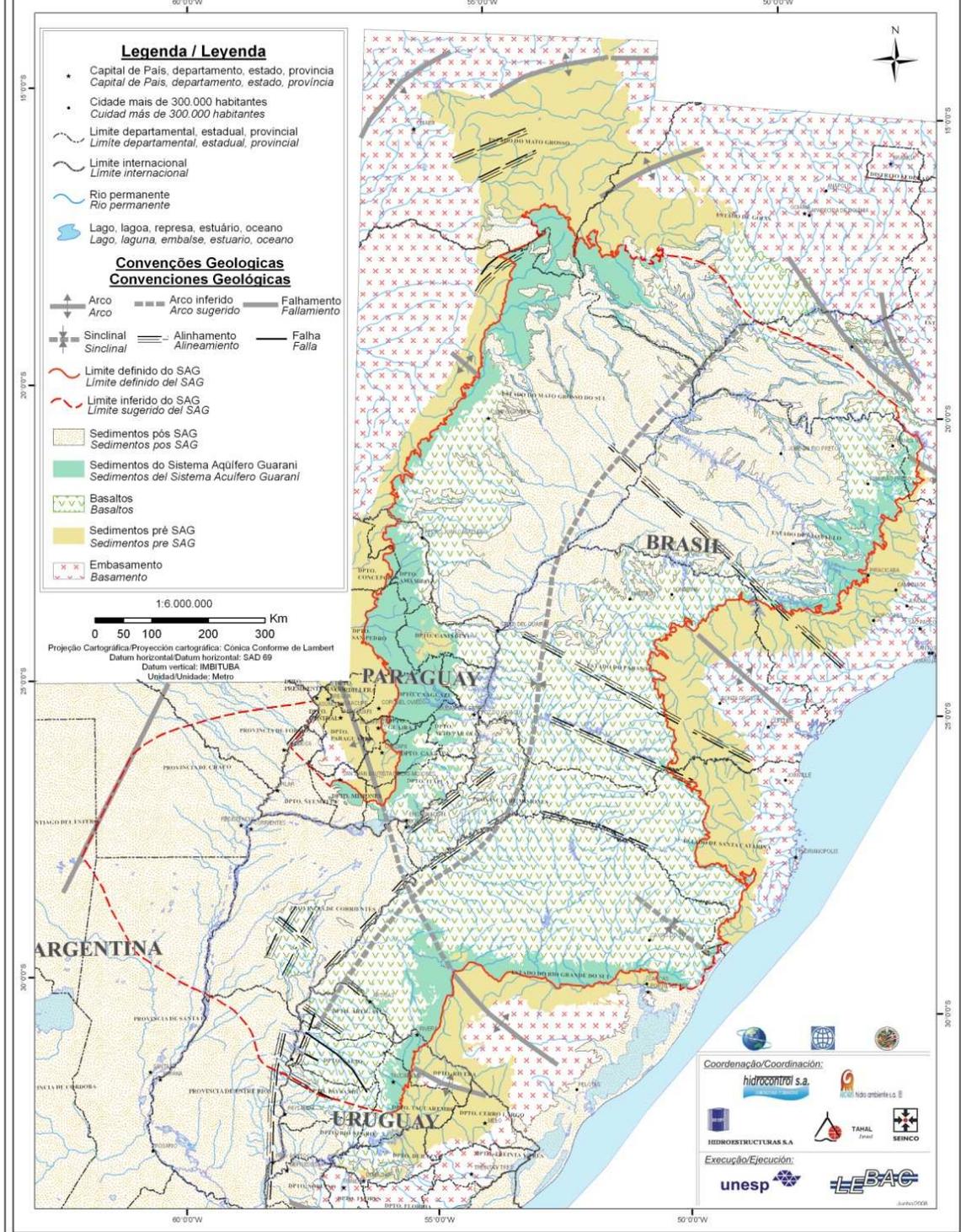


Figura 1. Geologia regional do Sistema Aquífero Guarani (SAG) (LEBAC-UNESP, preliminar)

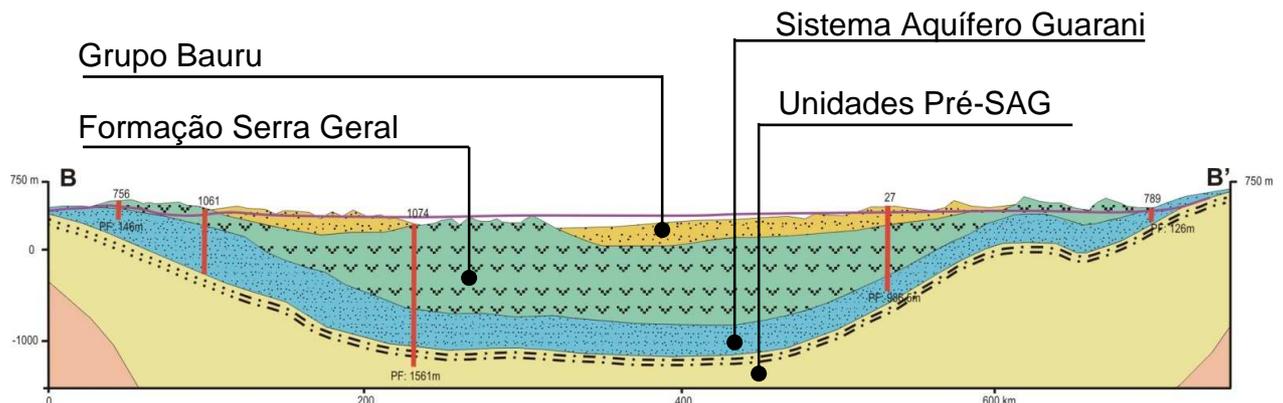


Figura 2. Perfil geológico simplificado do Sistema Aquífero Guarani e unidades pré e pós SAG com direção leste-oeste na porção norte da Bacia Sedimentar do Paraná.

Outra situação de ausência de fluxo é observada na região das Serras Gaúcha e Catarinense, ao sul do Domo de Lages, onde pela conformação geomorfológica inexistente a possibilidade de recarga, uma vez que as escarpas apresentam altos declives.

As rochas basálticas, em escala regional, foram consideradas impermeáveis, e as fraturas com pouca ou nenhuma contribuição na interconexão entre o SAG e as unidades sobrepostas, entretanto, é reconhecido que localmente haja, em áreas específicas, fraturas em basaltos alimentadas por águas do SAG na região de maior confinamento do aquífero e onde ele apresenta artesianismo natural. A recarga do SAG através de fraturas do basalto também foi considerada de pouca expressão, nessa escala de trabalho. Entretanto, conexões importantes para o aquífero são as “janelas” no basalto, ou seja, descontinuidades no basalto que colocam os sedimentos SAG em contato direto com a superfície ou com rochas Pós-SAG, servindo de recarga.

Os contatos do SAG com unidades permianas também são bastante incertas e sua relação hidráulica complexa (Tabela 1). A influência desse fluxo ascendente de águas das rochas Pré-SAG altera o quimismo da água no SAG, principalmente na porção central da bacia. Esta influência, ainda pouco conhecida, é resultante das características construtivas dos poços perfurados nesta zona, mas é um aspecto que necessita de estudos mais detalhados.

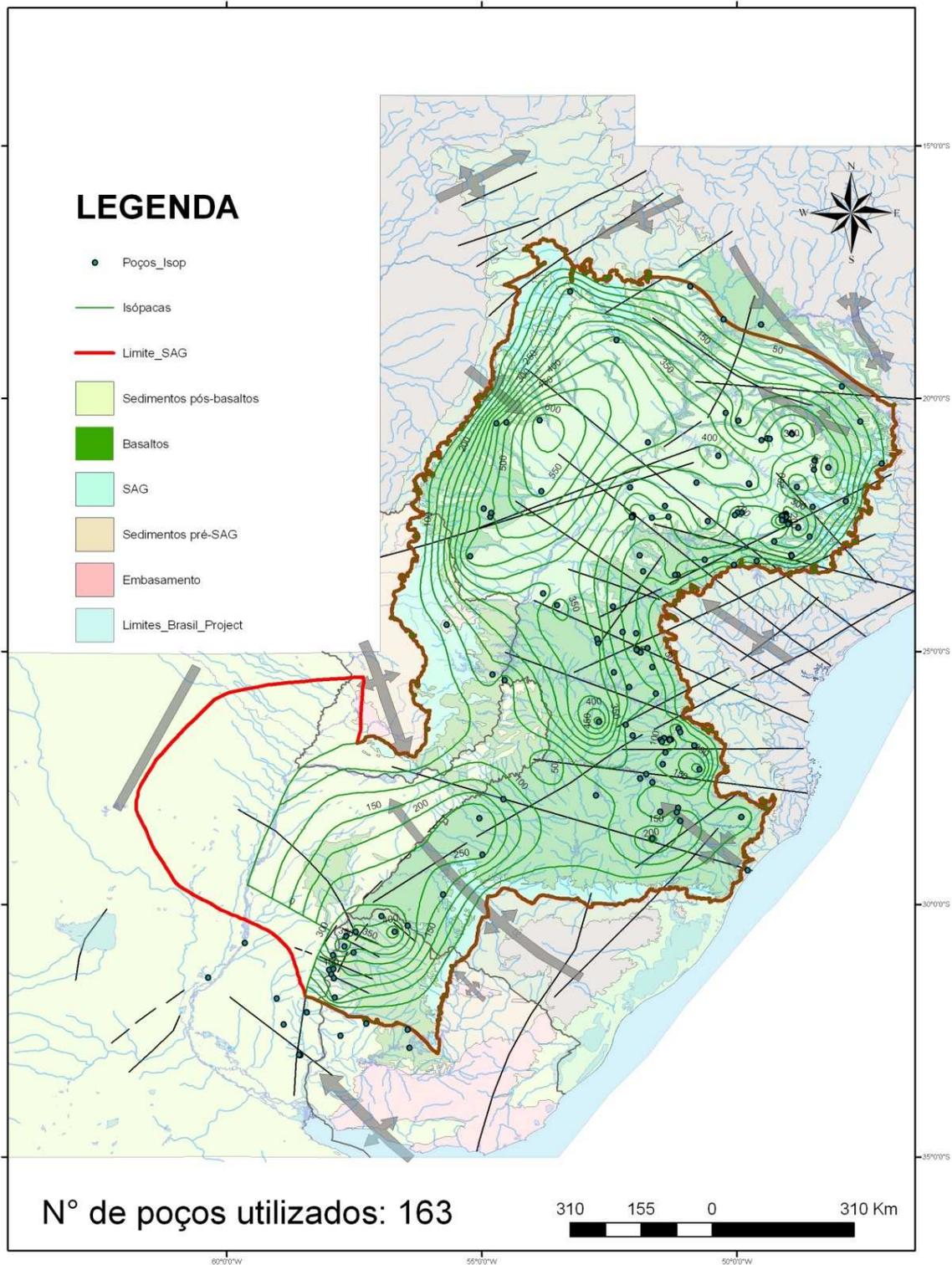


Figura 3. Isópaca e limites do Sistema Aquífero Guarani e estruturas tectônicas principais (LEBAC/UNESP abril 2008, versão preliminar)

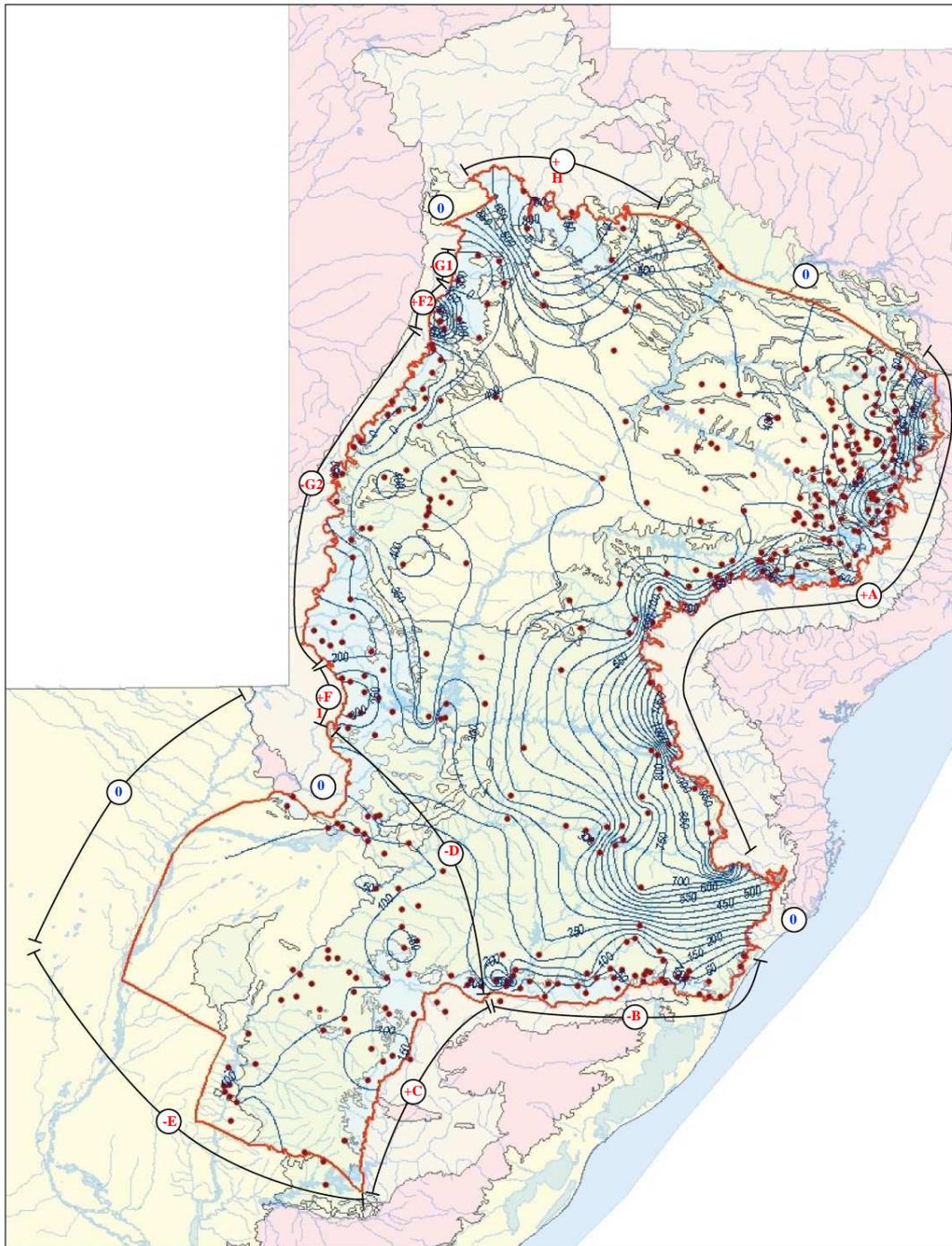


Figura 4. Áreas de recarga (+), descarga (-) e de fluxo zero (0), a partir da interpretação do mapa potenciométrico (linhas equipotenciais com cota em metros, com relação ao nível do mar) do SAG (LEBAC-UNESP, preliminar).

O SAG é caracterizado por apresentar rochas com boa a excelente condutividade hidráulica (média 1 m/d, chegando a 4 m/d), mas com fluxos bastante lentos (0,00001 a 0,0005 m/ano), águas de idade elevada, propiciados por um baixo gradiente hidráulico (0,001m/m) e reduzida velocidade de circulação.

O modelo hidrogeológico conceitual proposto para o SAG, pressupõe uma solução de continuidade do fluxo das águas subterrâneas através dos seus estratos, com isolamentos restritos e locais. Duas estruturas geológicas regionais, o Arco de Ponta Grossa e a Dorsal Rio Grande-Assunção, influenciam diretamente nas características regionais do fluxo das águas subterrâneas. Um exemplo notório são as águas no Estado de São Paulo, que apresentam um fluxo bastante restrito e lento (comparativamente ao resto do SAG), fruto da presença dos diques de diabásio do Arco de Ponta Grossa. Há possibilidade de uma estrutura paralela ao rio Paraná (à altura de São Paulo) que poderia restringir esse fluxo. Já a influência da Dorsal Rio Grande-Assunção, entretanto, é assunto de menos especulação. Essa estrutura adelgaça os sedimentos do SAG, com perdas sensíveis na transmissividade da unidade, entretanto sem isolamento por completo.

A hidroquímica do SAG

As águas do SAG são geralmente potáveis e apresentam baixa mineralização, a despeito das suas pequenas velocidades de circulação. Há, entretanto, problemas em algumas áreas restritas com relação ao flúor, arsênico, e salinidade. Essas anomalias geoquímicas não têm a sua origem conhecida até o momento (Fig. 5).

As águas geralmente apresentam baixa mineralização, do tipo Ca-HCO₃ com evolução das águas para Na-HCO₃, e em certos setores a Na-Cl. Localmente há altas concentrações de SO₄. Há áreas restritas onde a pequena circulação parece estar associada à maior salinidade das águas (estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). No extremo sul do SAG, há áreas com alta salinidade. O mesmo é observado nas regiões argentinas no limite oeste do aquífero.

As águas do SAG na Sub-Bacia Norte apresentam-se saturadas em calcita, exceto nas zonas de recarga, e não saturadas em sílica.

Evolução das águas nas áreas confinadas profundas gera, como resultado, águas de elevados pHs e de maior temperatura, entretanto todas respondem a gradiente geotérmico normal.

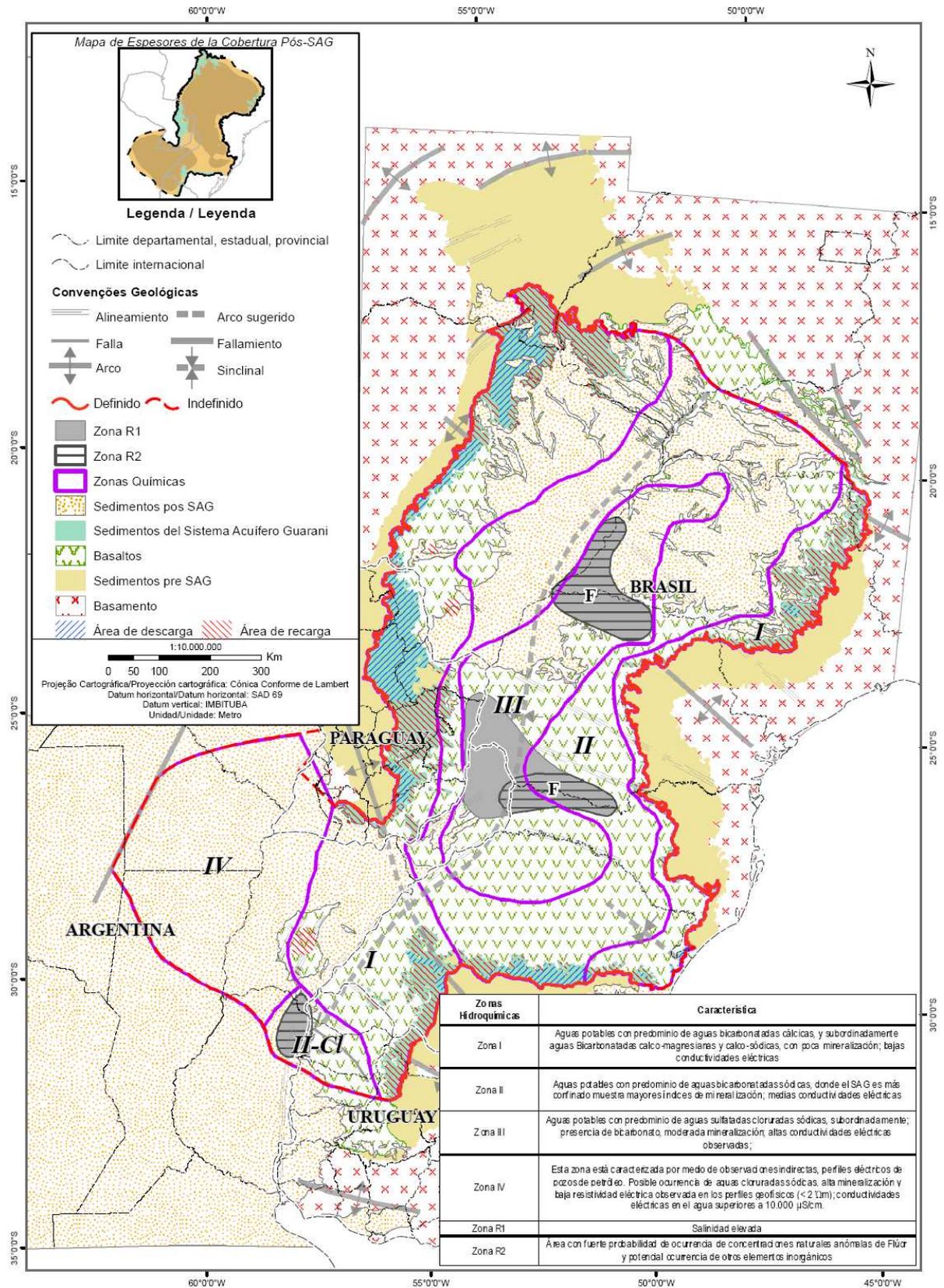


Figura 5. Hidrogeoquímica regional do Sistema Aquífero Guarani (Relatório do Plano de Ação Estratégico – PEA, Projeto Aquífero Guarani, versão preliminar)

A isotopia das águas do SAG

Várias amostras de água para análise de isótopos (oxigênio, hidrogênio e carbono) foram tomadas no SAG, auxiliando a construção do modelo hidrogeológico conceitual de circulação regional.

O oxigênio-18 (O-18) apresenta amplo intervalo de valores, variando desde -5 a -10‰, embora o intervalo da precipitação atual na área de recarga se encontre entre -5 a -6‰. As águas isotopicamente mais negativas, possivelmente foram recarregadas em condições climáticas diferentes das atuais. É notável os valores negativos ao norte do Arco de Ponta Grossa (sobretudo no Estado de São Paulo) e a pouca distância da zona de recarga, denotando uma circulação muito lenta da água subterrânea. Esse fato corrobora o mapa de potencimetria que mostra pequenos gradientes em território paulista.

Os resultados de trítio são condizentes com o modelo conceitual, não sendo detectado em áreas confinadas.

O carbono-14 (C-14) e carbono-13 (C-13) mostram uma evolução paralela, segundo as linhas de fluxo, com descenso da atividade de C-14 e enriquecimento de C-13 por dissolução de carbonatos do meio, intercâmbio e desintegração radioativa. Valores de 100 pMC (porcentagem de carbono moderno) nas zonas de afloramento até valores próximos a 0 pMC nas zonas profundas confinadas são observadas em áreas confinadas do SAG (Fig. 6). A técnica de C-14 mostra suas limitações e outras técnicas radiométricas deveriam ser utilizadas para uma datação mais precisa.

Os dados de C-14, juntamente com os dados de O-18, serviram para reafirmar a existência de recarga “interna” no Estado de Mato Grosso do Sul, através de janelas do basalto, gerando o principal divisor de drenagem subterrânea no setor oeste-norte do modelo conceitual e exposto no mapa hidrogeológico do SAG (Fig. 6). As recargas dessas “janelas” do basalto fazem com que as águas fluam para oeste (área de descarga G1 e G2) e parte fluam para o oeste, dirigindo-se à Calha Central.

Os resultados do isótopo Enxofre-34 mostram que os sulfatos dissolvidos são de origem continental. Não há evidência de contribuição de níveis profundos de origem marinha. Isso corrobora com os ambientes observados desde a sedimentação das unidades do embasamento do SAG, predominantemente transicionais, reflexo da elevação do nível de base regional ocorrida no final do Permiano na Bacia do Paraná e Chacoparanaense.

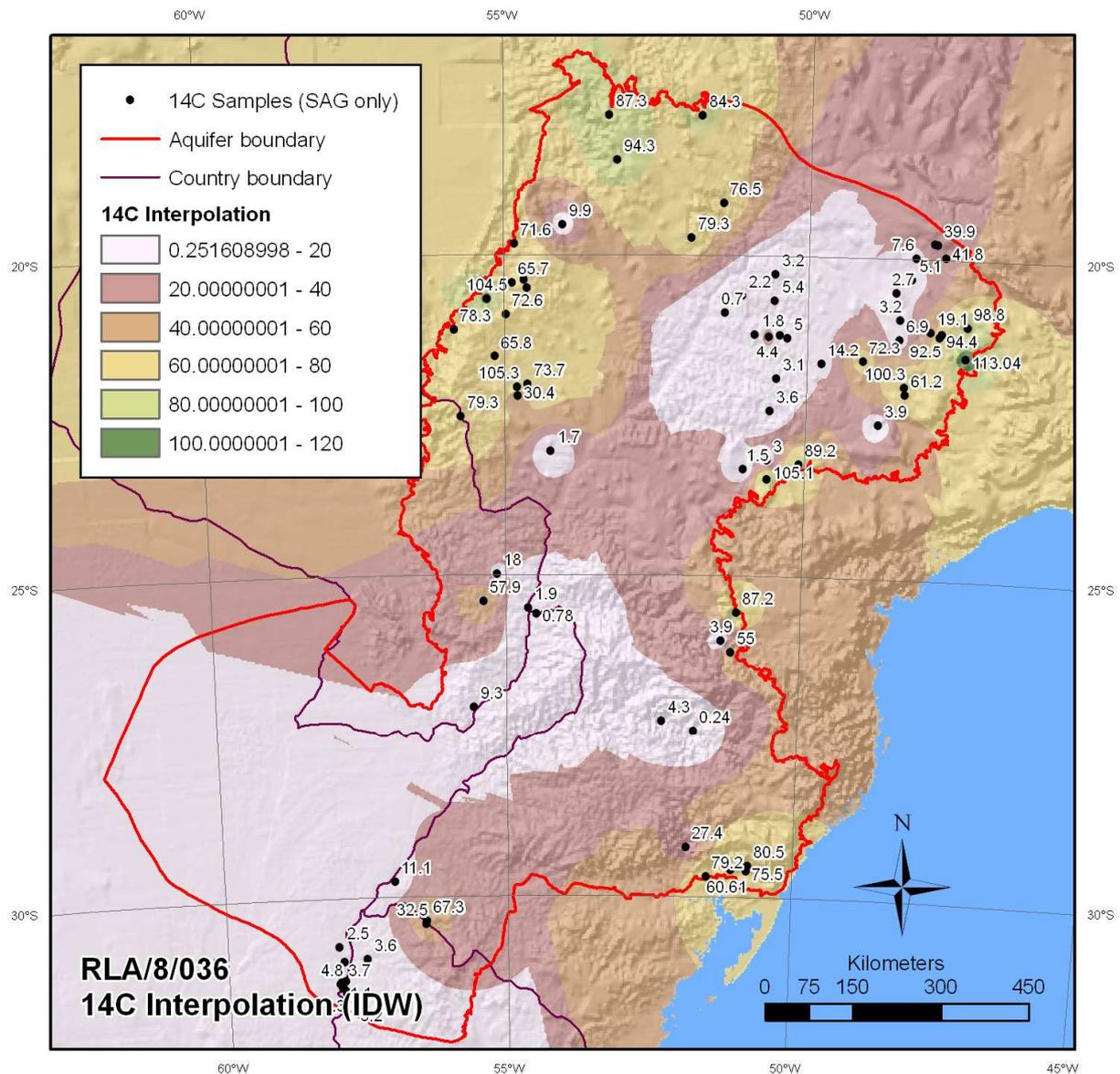


Figura 6. Idade relativa das águas subterrâneas do SAG a partir do C-14 (Valores em porcentagem de carbono moderno). As áreas em cores claras correspondem às mais antigas (legenda de cima para baixo em ordem decrescente de idades).

O balanço hídrico do SAG e disponibilidade de água

Com a identificação das áreas de recarga, descarga e de fluxo zero, ademais da delimitação das linhas equipotenciais nas áreas confinadas é possível, a nível regional e de reconhecimento tentativo, estabelecer um balanço de entradas e saídas de água no SAG. Utilizando-se de técnicas darcynianas, foi possível calcular os valores de ingressos e de saídas do SAG (Tabela 2).

Os ingressos totais de água do SAG são bastante reduzidos, da ordem de 1,633 km³/a e há excesso de água no SAG (0,877 km³/a), ou seja, as entradas de água são superiores às saídas, indicando a necessidade de reajustes de suas áreas de descarga e recarga.

A disponibilidade de água, analisada a partir da recarga, é bastante baixa, o que é corroborado pelas idades elevadas para as águas do SAG, que facilmente podem atingir a centenas de milhares de anos na porção central e sul.

Tabela 2. Ingressos e saídas de água do SAG (ver Fig. 4)

Zonas	Extensão no perfil perpendicular ao fluxo [km]	Espessura saturada média no perfil perpendicular [m]	Condutividade hidráulica média [m/d] (*)	Gradiente	Vazão média mínima [km ³ /a]	Vazão média máxima [km ³ /a]
A+	1140	100 – 150	1 – 3	0,003 – 0,006	0,12	1,12
B-	400	50 – 100	1 – 3	0,005	0,040	0,219
C+	260 – 500	150 – 250	1 – 3	0,001 – 0,0005	0,01	0,14
D	450	100 – 150	1 – 3	0,001 – 0,002	0,016	0,148
E-			1 – 3		0,009	0,011
F+		200 – 300	1 – 3		0,015	0,197
G-	800	200 – 300	1 – 3	0,003 – 0,002	0,153	0,526
H+	350 – 400	150 – 200	1 – 3	0,002	0,058	0,175
				Recarga	0,204	1,633
				Descarga	0,199	0,756
				Diferença	+0,005	+0,877

As descargas esperadas na porção sul (Zona E) são possíveis uma vez que as vazões esperadas de descarga são bastante baixas, da ordem de 0,009 a 0,011 km³/a. Estas vazões podem ser dissipadas através de rochas Pré e Pós-SAG.

Os baixos volumes de água circulando pelo aquífero também permite explicar e corroborar o modelo conceitual desenvolvido pelo LEBAC, definido as áreas de descarga no Rio Grande do Sul (Zona B). Há constatação que vários rios da região são fortemente afetados por períodos de estiagem. Sendo uma região de descarga do SAG se esperaria que os fluxos de base desses rios sustentassem as suas vazões na estiagem. As descargas em B são da ordem de 0,037 a 0,219 km³/a, muito baixas, reflexo também do sistema de fluxo dessa parte do SAG.

A exploração do SAG é função do tipo de aquífero. Na sua porção livre, a recarga é a principal limitante, e a vazão sustentável é dada pelo balanço entre a recarga e o mínimo para manutenção das funções ecológicas dos rios. Na sua porção confinada, a exploração é restrita pelo armazenamento. Neste caso, devido a pouca restituição da água na porção confinada (águas muito antigas > 500 anos), o

modelo de exploração do SAG pode ser análogo ao processo de mineração (retirada de água por apenas uma vez). Considerando-se essas premissas, o total explotável de água no SAG para a sua porção confinada é de 2.039 km³, 1.672 km³ e 1.613 km³, respectivamente para as situações de queda do nível dinâmico de 400, 200 e 100 m abaixo da superfície do terreno, e para as regiões onde o nível d'água atingir o reservatório, situação na qual o aquífero passa a ser livre, o rebaixamento máximo admitido é de 30% da espessura do SAG, Estes valores representam limites operativos de custo da exploração do SAG para o bombeamento (Tabela 3).

Tabela 3. Volumes máximos explotáveis do SAG para suas porções confinadas e livres.

Porção Confinada (exploração por mineração, planejada)		Rebaixamento máximo abaixo da superfície do terreno		
		400m	200m	100m
Reserva estática explotável	Confinado	25 km ³	12 km ³	4 km ³
	Drenável	2014+/-270 km ³	1660+/-220 km ³	1610+/-210 km ³
Total confinada		2039 km ³	1672 km ³	1613 km ³
Porção Livre (exploração sustentável e renovável)				
Q = 21 - 42 km ³ /a (15-30% da recarga na área de afloramento)				

Implicações para o gerenciamento da exploração do SAG

O modelo conceitual de fluxo do SAG permite estabelecer um zoneamento mínimo para o manejo de sua exploração. Regionalmente, sugerem-se apenas três grandes zonas, com distintas características de manejo dos recursos hídricos subterrâneos (Fig. 7):

- a) zona de afloramento [ZA];
- b) zona de confinamento próximo à área de afloramento (de 10-50 km do contato entre os sedimentos SAG e o basalto) e/ou onde o aquitarde tem até 100m de espessura [ZC]; e
- c) zona de forte confinamento [ZFC].

A existência da *primeira zona de confinamento* (ZC) depende da condutividade hidráulica vertical do aquitarde (geralmente os basaltos da Formação Serra Geral) e de sua espessura, e estes são bastante variáveis em todo o aquífero. Até o momento, há poucos estudos específicos sobre essa conexão vertical entre os basaltos e o SAG. Se por um lado a presença de estruturas geológicas indica a possibilidade de fluxo, por outro, os estudos de detalhe na região de Ribeirão Preto,

mostram que pelo menos lá, não existe tal conexão. Rosa Beatriz Gouveia da Silva (1983), em seu doutoramento na USP, estudando o SAG no Estado de São Paulo, indica que a geoquímica das águas em uma faixa de até 50 km da área de afloramento dava indícios de que tal recarga através dos basaltos estaria ocorrendo. Entretanto, os recentes dados hidroquímicos não mostram nenhuma indicação consistente nesse sentido.

Cada uma dessas zonas aquíferas pode ser caracterizada em termos de:

Área de ocorrência: área onde se manifesta em relação aos quatro países. O mapa hidrogeológico mostra as áreas de afloramento (ZA), que ora servem como áreas de descarga, ora como áreas de recarga regional do aquífero (ou ambas: recarga local e descarga regional, mais profunda), bem como as zonas confinadas (ZC) e fortemente confinadas (ZFC).

Características hidráulicas: tipo de aquífero e como a água circula e é armazenada no aquífero;

Forma de exploração: define a vazão máxima explorável da unidade aquífera, de forma sustentável em aquíferos livres (ZA) ou de forma racional ou planejada na porção confinada (ZC) e fortemente confinada (ZFC) (mineração do aquífero). O limite da exploração ou a exaustão do aquífero ocorrerá quando os custos de retirada de água não mais compensem a exploração ou mesmo quando os níveis não permitirem que fisicamente a água seja bombeada (profundidades de nível dinâmico >400 m ou que restem apenas 20-30% da espessura saturada do aquífero). No caso de aquífero na porção confinada próxima à área de afloramento (ZC), a exploração pode induzir a recarga do aquífero e favorecer a disponibilidade de água do aquífero. Isso ocorrerá quando o fluxo de água aumentar devido ao maior gradiente hidráulico causado pela exploração (efeito muito limitado). De qualquer forma, o limite de exploração deverá obedecer às mesmas limitações observadas na porção de forte confinamento do aquífero (ZFC), acrescido de uma possível maior disponibilidade de água pelo bombeamento.

Acessibilidade ao recurso: a exploração econômica das águas subterrâneas no SAG é limitada pela: i) profundidade do aquífero, que requer poços de grande extensão (>750 m), em sua zona de forte confinamento (ZFC), e ii) profundidade do nível dinâmico do aquífero, que não poderá passar de 400 m, devido aos altos custos de energia elétrica para a extração de água e limitação do equipamento de bombeamento. Na porção onde o aquífero é livre (ZA) ou naquelas anteriormente confinadas, mas que se tornaram livres devido ao seu desconfinamento, haverá

limitação da exploração quando restarem menos de 40 m de espessura saturada disponível. O SAG apresenta algumas áreas onde a profundidade da água (nível estático) é muito profunda (> 400 m), restringindo o uso da água como recurso hídrico (Fig. 8).

Qualidade natural: o SAG apresenta águas potáveis, com localidades com algum problema de qualidade, sendo observadas áreas restritas de elevada salinidade e outras áreas com concentração de flúor e algumas anomalias detectadas de compostos inorgânicos, incluindo arsênico, cádmio, zinco, boro, níquel. A origem, sobretudo de flúor e outros inorgânicos, não estão ainda esclarecidas. No caso específico do arsênico, cádmio, zinco, boro e níquel detectado nas águas de poços termais na região sul do SAG, há dúvidas se eles realmente ocorram de forma sistemática, pois se carece de estudos de detalhe e monitoramento sistemático. Qualquer uma das anomalias químicas somente ocorre nas áreas de forte confinamento do aquífero (ZFC) e pode, em algumas delas (sobretudo salinidade), estar relacionada com águas advindas de formações pré-SAG que contaminariam o SAG.

Vulnerabilidade à contaminação antrópica: é possível reconhecer áreas mais e menos susceptíveis à contaminação no SAG. As áreas aflorantes são aquelas que são mais facilmente contamináveis [ZA], em oposição à porção de forte confinamento [ZFC], onde a vulnerabilidade é nula. A área de confinamento [ZC] caracteriza-se por apresentar vulnerabilidades baixas a nula, entretanto, a espessura dos basaltos (<100 m) quando associadas a fraturas abertas, poderia permitir o ingresso de contaminantes da superfície até o SAG.

Temperatura: a presença de águas quentes no aquífero está relacionada ao grau geotérmico natural da bacia do Paraná e à profundidade da captação subterrânea. As porções mais profundas (ZFC) são aquelas, por conseguinte, mais quentes do aquífero. O aproveitamento econômico dessa fonte de energia está associado à temperatura da água. Até o momento, somente o uso para o lazer está sendo contemplado pelas águas quentes do aquífero, que em algumas áreas pode ascender a mais de 50° C.

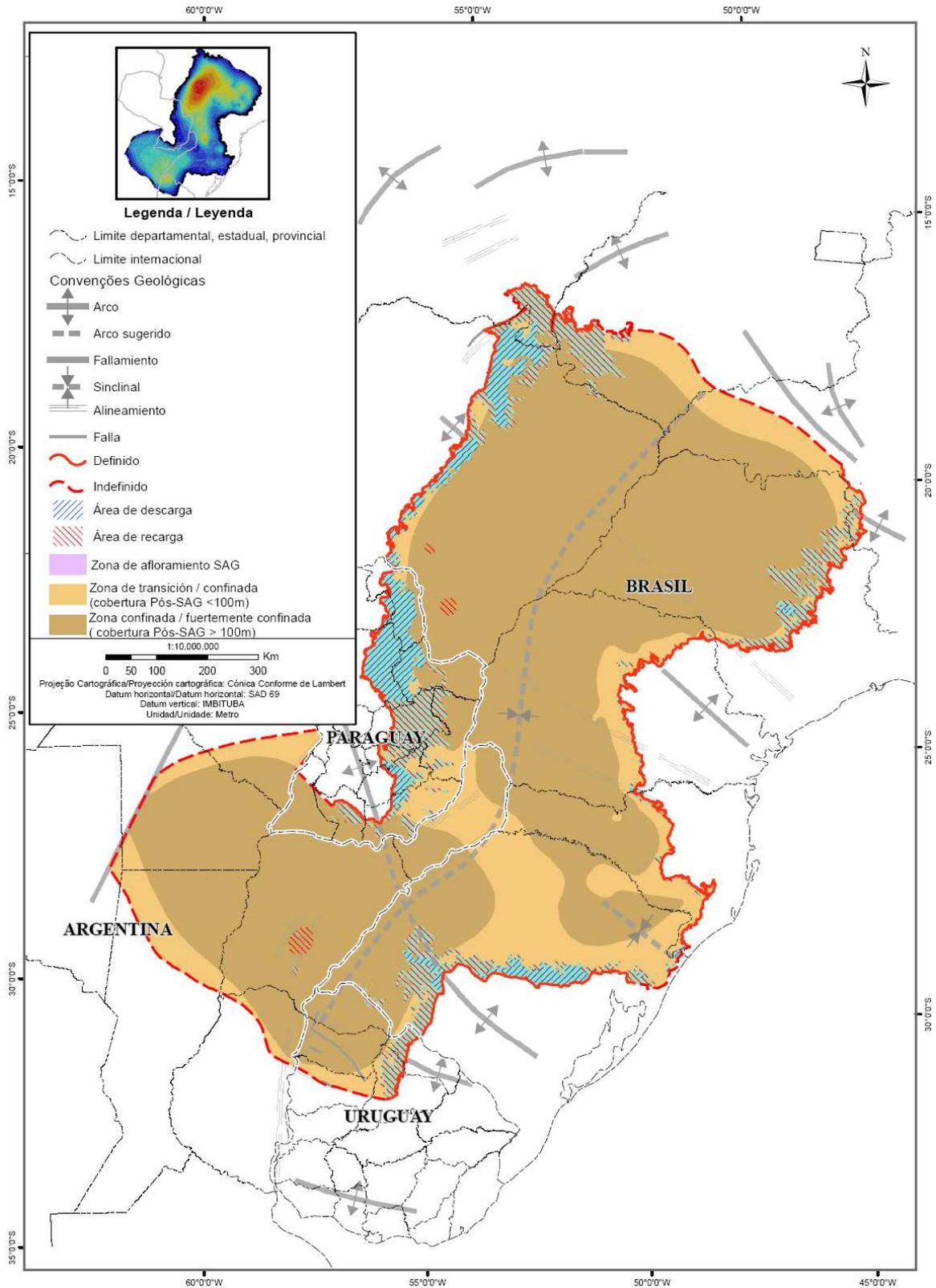


Figura 7. Proposta de zonas para o gerenciamento do SAG (analisar com Tabela 4).
 ZA: zona aflorante; ZC: zona confinada; ZFC: zona fuertemente confinada.

Tabela 4. Resumo das características das zonas do SAG com vistas ao gerenciamento do recurso hídrico subterrâneo (Figura 7)

	Zona Aflorante (ZA)	Zona Confinada (ZC)	Zona Fortemente Confinada (ZFC)
Situação geográfica	Área de afloramento, incluindo sob as áreas de descontinuidades do aquífero (<i>janelas do basalto</i>)	Áreas confinadas próximas ao afloramento, onde o aquífero tenha espessura entre 0 a 100m	Área fortemente confinada (aquitarde confinante > 100m)
Características hidráulicas	Água originada da drenagem do aquífero (modelo de Neuman). O armazenamento é do tipo livre Sy (specific yield). Velocidade da água é relativamente rápida, com águas relativamente modernas (<100anos)	Aquífero confinado, com possível drenança vertical descendente através de aquífero pós-SAG. A exploração pode induzir fluxos laterais importantes de água da zona de recarga, quando esta se encontra próxima (algumas dezenas de quilômetros), aumentando a disponibilidade. A velocidade das águas é lenta a moderadamente lenta e a sua idade entre 200 e 500 anos	Água originada do re-arranjo do arcaço da rocha e da descompressão da água (modelo de Theis) e, portanto, de seu armazenamento (S). Velocidade de circulação é lenta, com águas antigas (> 500 anos)
Forma de exploração e limites ou vazão sustentável ou planejada (na forma de mineração do recurso)	A vazão total explorável (vazão sustentável) será definida por bacias hidrográficas e será uma função da recarga do SAG e das funções hidráulicas e ecológicas do fluxo de base em rios e outros corpos de água superficial.	A exploração deve ser planejada, pois o comportamento do aquífero se aproxima do sistema confinado. Devido à proximidade da área de recarga a exploração intensa (aumento dos gradientes hidráulicos) pode induzir maior disponibilidade de água para essas porções do aquífero, trazendo água das áreas aflorantes.	Como não há reposição pela recarga da água extraída pelos poços (zona de recarga distante), a exploração dessas porções do aquífero faz com que a carga hidráulica caia continuamente com o tempo. A exploração, portanto, deve ser planejada. A mineração do corpo aquífero faz com que deva haver um planejamento do seu descenso contínuo. Além disso, a limitação da exploração deve considerar: a) interferência entre poços e aumento do custo de exploração da água; b) necessidade de aprofundamento e alargamento dos poços, bem como troca de equipamentos de bombeamento em função das quedas dos níveis de água; c) custo da exploração da água subterrânea, pelo aumento das alturas manométricas (por diversas razões).
Acessibilidade ao recurso (custo de perfuração e limite de bombeamento)	Sem problema de acesso. Poços tubulares de médio a baixo custo.	Sem problemas de acesso. Poços tubulares de médio custo.	A exploração por poços está limitada pelo custo das captações. Poços tubulares podem atingir mais de 1 mil metros, exigindo altos investimentos e tecnologia. Quando o nível dinâmico do poço atinge a 400m há limitação técnica e, sobretudo, econômica da exploração.
Qualidade natural	Sem problemas detectados	Sem problemas detectados	Áreas com problemas de salinidade elevada e/ou outros compostos inorgânicos, incluindo flúor e arsênico e outros em áreas específicas.
Vulnerabilidade à contaminação antrópica	Alta vulnerabilidade	Baixa vulnerabilidade. Problemas de contaminação através dos basaltos fraturados (espessura <100m) e/ou contaminação advinda da área de afloramento, induzida pelo bombeamento, criando fluxos laterais	Vulnerabilidade nula
Temperatura	Temperaturas baixas	Temperaturas baixas	Temperaturas de moderada entalpia. Áreas com aproveitamento energético para uso industrial/agrícola ou lazer.

Conclusões

O SAG é um complexo sistema que tem ocorrência em quatro países estendendo-se por uma área de 1.087.880 de km². Seu limite hidroestratigráfico restringe-se aos domínios dos arenitos continentais mesozóicos e essencialmente clásticos, conformados entre as rochas basálticas cretáceas (Formação Serra Geral e equivalentes) e a discordância permo-eotriássica, desenvolvidas nas bacias do Paraná e Chacoparanaense, incluindo as formações geológicas de Misiones, Tacuarembó (Itacumbu), Botucatu, Guará, Caturrita, Santa Maria e Pirambóia.

Essa geologia conforma um sistema predominantemente confinado por basaltos, com pequena área de aquífero livre, restrita à sua delgada faixa de afloramento.

Geralmente o SAG apresenta águas de boa qualidade, maiormente potáveis, com restritos problemas em áreas específicas onde há excesso de flúor, arsênico, e salinidade.

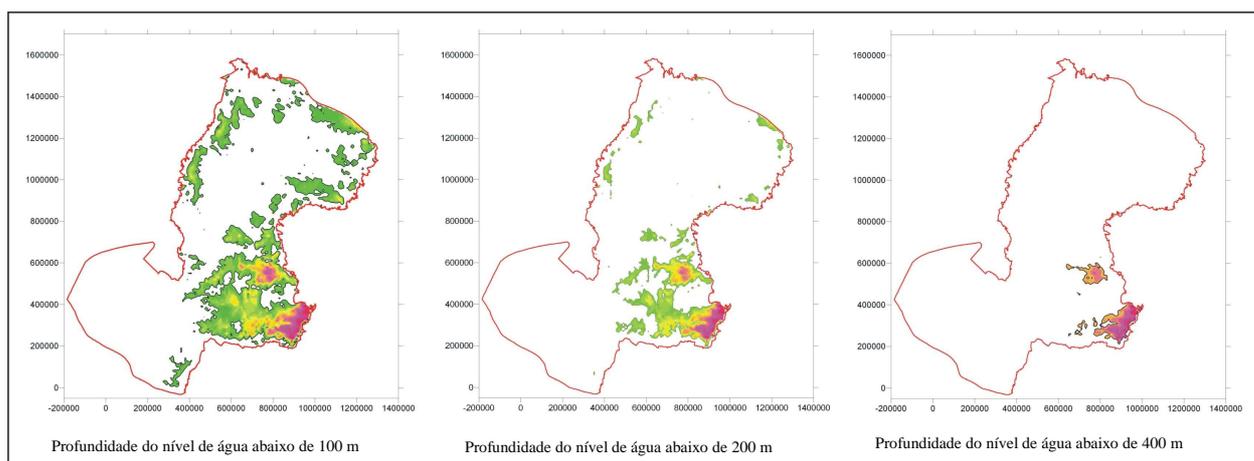


Figura 8. Profundidade do nível de água ou da carga potenciométrica do Sistema Aquífero Guarani (LEBAC/UNESP).

Esse modelo de circulação impõe características próprias para o seu manejo, onde se reconhece, pelo menos, três zonas com distintas características de manejo: a) zona do aquífero livre (ZA); b) zona de aquífero confinado (ZC); e c) zona de aquífero fortemente confinado (ZFC). A exploração da ZA deve obedecer aos parâmetros de balanço hídrico nas bacias hidrográficas, onde se deve respeitar as recargas e os fluxos de base de rios. Já nas ZFC, a água é retirada do armazenamento e a sua correta exploração deve levar em conta a mineração do reservatório. Nesse caso não se pode falar em exploração sustentável, mas planejada. Na ZC a situação é intermediária entre as duas anteriores, e a possibilidade de recarga através dos

basaltos, que a cobrem e confinam, pode propiciar maior vulnerabilidade à poluição e recarga adicional.

Finalmente, o SAG é um grande reservatório com grande potencial aquífero e a sua exploração racional será função do entendimento da sua geologia, hidrogeologia e química.

II

DIRETRIZES DE UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL E PROTEÇÃO DO AQUÍFERO GUARANI

A utilização sustentável do Sistema Aquífero Guarani tem como premissas o conhecimento de suas **Reservas**, o diagnóstico e a manutenção da **Qualidade** de suas águas, a caracterização e orientação sobre seu **Consumo** atual e futuro.

Assim, um aspecto importante é o **Cálculo de Reservas** e a **Disponibilidade Hídrica** do SAG. O volume total de água contida no SAG é atualmente estimado em **33.000 km³** de **Reserva Drenável** e **51 km³** de **Reserva Compressível**, totalizando **33.051 km³**, utilizando-se, respectivamente, porosidade efetiva (Sy) de 15% e coeficiente de armazenamento (S) de 10^{-4} . A disponibilidade hídrica do SAG, em termos de **Reserva Estática Explotável**, considerando-se de volume drenável e 400m de rebaixamento, é de: **2.000 km³**.

No debate, considerou-se de fundamental importância um bom diagnóstico da qualidade da água e o quadro real e potencial de usuários. Estas questões nortearam as discussões que convergiram para as sugestões que compõem as **Diretrizes de Utilização Sustentável e Proteção do Aquífero Guarani**.

As Diretrizes foram propostas para todo SAG e para os diferentes domínios – SAG Livre e Confinado–, tendo em vista suas especificidades. As diretrizes apresentadas não esgotam todas as possibilidades de ação, mas foram consideradas prioritárias para a utilização sustentável e proteção do aquífero.

As Diretrizes Gerais propostas para o SAG são:

- regularização de captações, com vistas à coleta de informações hidrogeológicas e sobre demanda do aquífero;
- controle de disposição de resíduos e efluentes, visando à proteção do aquífero, sobretudo na área de afloramento;
- regulamentação dos padrões técnicos construtivos (normas técnicas) e de desativação de poços, com vistas à proteção e à padronização na obtenção de dados;
- monitoramento de captações, para obtenção de dados quantitativos e qualitativos das águas do SAG;
- sistematização e atualização das informações sobre o SAG, buscando o aprimoramento do conhecimento hidrogeológico;
- implementação do enquadramento das águas subterrâneas, em termos de qualidade, como subsídio para o zoneamento do SAG;
- fortalecimento institucional para fiscalização, monitoramento e controle dos recursos hídricos subterrâneos;
- estabelecimento de fóruns de discussão internacionais, nacionais e locais para gestão compartilhada do SAG.

Verificou-se ainda a estrita necessidade de municiar a sociedade com informações sobre parâmetros para avaliação e tomada de decisão.

Para o domínio SAG Livre, as diretrizes devem considerar o Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo, com vistas à proteção e promoção de recarga do aquífero.

Para a **Zona Rural**, devem ser considerados:

- a vulnerabilidade natural da área,
- a aptidão agrícola (relevo, solo) e
- o modelo de produção agrícola.

Para a **Zona Urbana**, devem ser considerados:

- o parcelamento da ocupação do solo,
- o controle de fontes potenciais de poluição,
- o controle de captações e
- o controle de impermeabilização do solo.

Como medidas para aprimoramento do balanço hídrico, no domínio do SAG Livre, devem ser utilizados valores mais consistentes para construção de cenários futuros que busquem a sustentabilidade. Para tanto, são necessárias a quantificação de recarga, a quantificação da interconexão entre aquíferos e quantificação da interconexão água superficial e subterrânea (rede integrada pluviométrica, fluviométrica e hidrogeológica).

Para o domínio do SAG Confinado, as diretrizes devem estabelecer o zoneamento para o uso, de acordo com as características químicas e físicas da água, e os limites de rebaixamento (nível potenciométrico) para exploração.

III

PLANO ESTRATÉGICO DE AÇÕES - PEA PARA A GESTÃO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

O processo de construção do **Plano Estratégico de Ações (PEA)** foi amplamente participativo, com a realização de diversos seminários temáticos e oficinas, nos quatro países, envolvendo vários atores técnicos, governamentais nos níveis federal, estadual e municipal, universidades e sociedade civil.

Feita a análise diagnóstica transfronteiriça, o PEA detalhou várias ações propositivas a serem realizadas buscando atender os objetivos de preservação e uso adequado do Sistema Aquífero Guarani.

O PEA está estruturado em componentes organizados em ações (regionais, interestaduais, estaduais, nacionais), objetivos, atividades, necessidade ou não de coordenação regional, atores e instituições envolvidos, duração e ordem de magnitude, sugestões de execução da atividade, bem como possíveis fontes de financiamento.

As ações estratégicas e atividades no âmbito do PEA/SAG - Brasil estão organizadas, principalmente, nos seguintes componentes:

- Expansão do Conhecimento Técnico como Base para a Gestão (Ações Regionais, interestaduais e estaduais) e;
- Fortalecimento e Melhoramento das Capacidades Legais e Institucionais de Gestão de Águas Subterrâneas (Ações Nacional, Regionais e estaduais).

Como ações prioritárias para a gestão do Sistema Aquífero Guarani apresenta-se:

- Operação e manutenção do sistema de informações do Sistema Aquífero Guarani - SISAG;
- Operação e manutenção da rede de monitoramento;
- Difusão e capacitação;
- Continuidade dos projetos pilotos.

Vale ressaltar que o Programa Nacional de Águas Subterrâneas - PNAS, Programa VIII do Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, incorporou na sua elaboração as discussões do PEA.

O **Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)** está organizado em quatro componentes principais, subdivididos em treze programas, dos quais sete são subdivididos em trinta subprogramas.

O terceiro componente e a meta seis do PNRH expressam ações em espaços territoriais, cujas peculiaridades ambientais, regionais ou tipologias de problemas relacionados à água conduzem a um outro recorte, onde os limites não necessariamente coincidem com o de uma bacia hidrográfica, e que necessitam de programas concernentes à especificidade de seus problemas.

O **Programa Nacional de Águas Subterrâneas (PNAS)** está inserido nos Programas Regionais de Recursos Hídricos, sendo este subdividido em:

- **Ampliação do Conhecimento Hidrogeológico Básico**, subdividido em três ações: estudos e projetos para aquíferos de abrangência transfronteiriça e interestadual; estudos e projetos em escala local; e o monitoramento quali-quantitativo das águas subterrâneas. Esta divisão foi utilizada para compartimentar as escalas de trabalho (regional e local) e para destacar o monitoramento, uma vez que é base para a obtenção de dados com o objetivo de instruir os estudos e projetos em águas subterrâneas.
- **Desenvolvimento dos Aspectos Institucionais e Legais** foi concebido com vistas à promoção da gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos, englobando efetivamente o componente das águas subterrâneas.
- **Capacitação, Comunicação e Mobilização Social** prevê a inserção da temática das águas subterrâneas no desenvolvimento de capacidades proposto pelo Programa IV, bem como a promoção de capacitação específica em águas subterrâneas.

Outro destaque são as interfaces do PEA com a agenda de águas subterrâneas da Agência Nacional de Águas – ANA.

- Ação A - Apoio aos Estados na gestão das águas subterrâneas;
- Ação B - Capacitação;
- Ação C - Elaborar/fomentar a realização de estudos hidrogeológicos;
- Ação D - Aplicação dos Instrumentos do PNRH nas águas subterrâneas;
- Ação E - Apoio aos Estados para gestão compartilhada de Aquíferos interestaduais e transfronteiriços.

Os principais desafios para a implementação das ações estratégicas para a gestão do SAG são:

- Fomentar a articulação interinstitucional nos 4 países;
- Harmonizar procedimentos técnicos na aplicação dos instrumentos de gestão (p.e. outorga);
- Fortalecer capacidades nos órgãos gestores;
- Internalizar e fazer uso dos conhecimentos gerados no PSAG;
- Operar, manter e atualizar o SISAG;
- Operar, manter e ampliar a rede de monitoramento do SAG;
- Manter e ampliar a participação social;
- Buscar fontes de financiamento.

IV

PLANO DE AÇÃO ESTRATÉGICA PARA A GESTÃO DO AQUÍFERO GUARANI NA ÁREA PILOTO DE RIBEIRÃO PRETO

Introdução

A partir da década de 50, tem-se atribuído aos reservatórios hídricos subterrâneos, em todo o mundo, um papel de destaque por serem, cada vez mais, um meio de acelerar o desenvolvimento econômico e social. Conhecer as disponibilidades dos sistemas aquíferos é primordial ao estabelecimento de políticas de gestão de águas subterrâneas.

O Aquífero Guarani, possuindo aproximadamente 1.100.000 km², estende-se por quatro Países: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. No Brasil, o Aquífero abrange as regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste, incluindo estados com grande importância econômica, possuindo zonas de intensa atividade urbana, industrial e agrícola. Suas zonas de recarga, atribuídas às áreas aflorantes do Aquífero, correspondem a 10% da área total. Apesar de sua grande extensão, observa-se sinais de superexploração em algumas zonas, como a de Ribeirão Preto no Estado de São Paulo, devido à grande captação em poços que mantêm esta cidade abastecida exclusivamente pelo manancial subterrâneo. O conhecimento do comportamento do aquífero, sobretudo nas áreas sujeitas à recarga direta, naturalmente mais vulneráveis, tem uma importância fundamental para sua conservação e fornecimento de subsídios aos projetos de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável (OEA/GEF, 2001) como forma de assegurar a qualidade e a quantidade do seu manancial para as futuras gerações.

A área no entorno da cidade de Ribeirão Preto foi escolhida para a implantação de um Projeto Piloto por apresentar características representativas típicas da região de afloramento do SAG no Estado de São Paulo. Além disso, a intensa exploração do recurso hídrico e a existência de estudos hidrogeológicos anteriores justificaram a escolha dessa área. Por tratar-se de uma região aflorante, sua importância é aumentada sobretudo pela maior facilidade de exploração e maior vulnerabilidade natural de seu manancial. Com a intensificação do uso e ocupação dessas áreas e o correspondente crescimento da utilização dos seus mananciais subterrâneos, tornou-se necessário o melhor conhecimento sobre o comportamento do Aquífero nessas áreas, como uma forma de dar suporte ao gerenciamento hídrico subterrâneo adequado à manutenção e expansão das atividades econômicas da região.

Nesse contexto, o presente trabalho é uma compilação de discussões e propostas levantadas pela Mesa Redonda “Plano de ação estratégica para a gestão do Aquífero Guarani”, realizada durante o II Congresso Guarani, em Ribeirão Preto, de 4 a 7 de novembro de 2008.

Situação atual

De acordo com a Lei Federal nº 9.433, de 08/01/1997, que estabeleceu o Plano Nacional de Recursos Hídricos, a unidade de gerenciamento de recursos hídricos é a bacia hidrográfica. Nesse contexto, a presente proposta ignora os limites geográficos impostos no Plano Piloto de Ribeirão Preto. A discussão será desenvolvida tendo com foco parte da área delimitada pela Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, com centro no município de Ribeirão Preto, a cerca de 320 km da capital, situando-se na parte nordeste do Estado de São Paulo.

O município de Ribeirão Preto encontra-se localizado na área de recarga do Aquífero Guarani, onde há uma maior vulnerabilidade natural à poluição e um intenso uso da água subterrânea para o abastecimento público. O fato de Ribeirão Preto ser um pólo de desenvolvimento regional em constante crescimento, implica em maior demanda de água e também maiores riscos de contaminação dos recursos hídricos. Também fazem parte da área de estudo os municípios de Serrana, Cravinhos, Sertãozinho, Jardinópolis, Brodowski e Altinópolis.

Balanço hídrico

Antes de propor estratégias de gestão, é necessário conhecer a situação atual de exploração de recursos hídricos. A análise será realizada com base em dados disponíveis para a cidade de Ribeirão Preto. Tendo em vista o intenso crescimento populacional e conseqüente urbanização da região, a cidade de Ribeirão Preto conta atualmente com 547.417 habitantes (IBGE, 2007). Admitindo uma taxa de consumo diário de 400 l/hab.dia, pode-se concluir que a demanda anual por água na cidade é da ordem de 80 milhões de metros cúbicos (80.000.000 m³/a). Deve ser observado que a taxa de consumo adotada é conservadora. Estudos recentes (IPT, 2006) indicam que a taxa explorada em Ribeirão Preto pode ser superior a 600 l/hab.dia.

Como a cidade é abastecida exclusivamente por água subterrânea, a água captada do Sistema Aquífero Guarani deve ser recarregada nas áreas de afloramento das Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, à Oeste do perímetro urbano, conforme indicado por Sinelli (1987). Dessa forma, para quantificar a disponibilidade de água renovável, é necessário estimar a taxa de recarga nas zonas de afloramento.

A Figura 1 apresenta esquematicamente o processo de recarga. Da precipitação média da região ($P=1400$ mm/a), uma parte esco superficialmente, contribuindo para a formação de ondas de cheia nos cursos d'água superficiais e outra parte infiltra no solo. Descontados os mecanismos de escoamento sub-superficial e evapotranspiração, estima-se que a parcela que atinge a superfície livre do aquífero livre é da ordem de 280 mm/a. Esse valor, que corresponde a 20% da precipitação média, é identificado como recarga direta (R_d). Parte dessa recarga direta retorna à superfície na forma de escoamento básico, assegurando a perenidade dos rios, mesmo nos períodos de estiagem (sem precipitação). Apenas uma fração da recarga direta permanece no subsolo e contribui para a recarga profunda (R_p) do Sistema Aquífero Guarani. Esse valor, estimado em $R_p=70$ mm/a (ou 5% da precipitação), é considerado a taxa de recarga renovável do sistema e está disponível para captação e distribuição para consumo público.

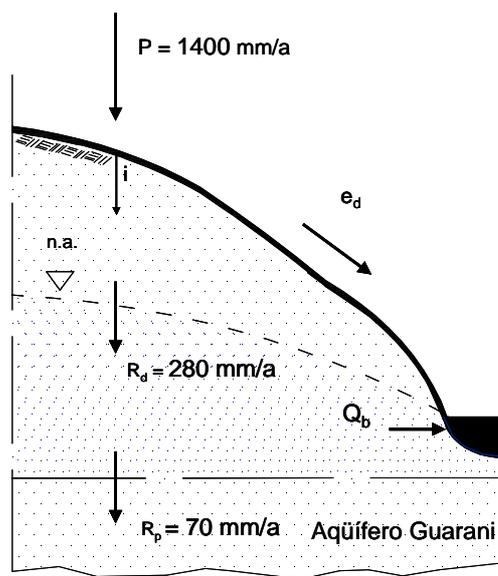


Figura 1: Desenho esquemático para estimativa da taxa de recarga profunda nas zonas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani

Considerando a área do município de 652 km², conclui-se que a recarga natural anual correspondente a toda a área municipal é da ordem de 46 milhões de metros cúbicos ($46.000.000$ m³/a). Deve ser observado que essa estimativa é simplificada e não faz distinção entre as diferentes ocorrências geológicas na região. Como a demanda anual foi estimada em 80 milhões de metros cúbicos por ano, verifica-se que a exploração atual é quase duas vezes maior que a taxa de renovação do sistema proporcionada dentro dos limites municipais. Essa condição demonstra que, face à exploração atual, o município de Ribeirão Preto não é auto-sustentável em termos de

recursos hídricos subterrâneos. Uma condição de sustentabilidade poderia ser atingida somente para uma taxa de consumo de água da ordem de 230 l/hab.dia.

A Figura 2 apresenta a área de contribuição necessária para suprir a demanda atual de água subterrânea dos municípios no entorno de Ribeirão Preto, pertencentes ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Pardo (CBH-Pardo), considerando uma taxa de recarga profunda de 70 mm/a. Os dados de consumo dos demais municípios foram fornecidos pelo Relatório 1 de Situação dos Recursos Hídricos (IPT, 2006). Conforme se observa, a área de contribuição necessária para a cidade de Ribeirão Preto ultrapassa os limites municipais, tornando a questão do abastecimento público de água um problema de gestão a ser discutido no âmbito do Comitê da Bacia Hidrográfica. Cumpre observar, mais uma vez, que essa análise é simplificada, uma vez que não considera a heterogeneidade geológica local, e tem apenas o propósito de tornar a dimensão do problema mais visível e compreensível.

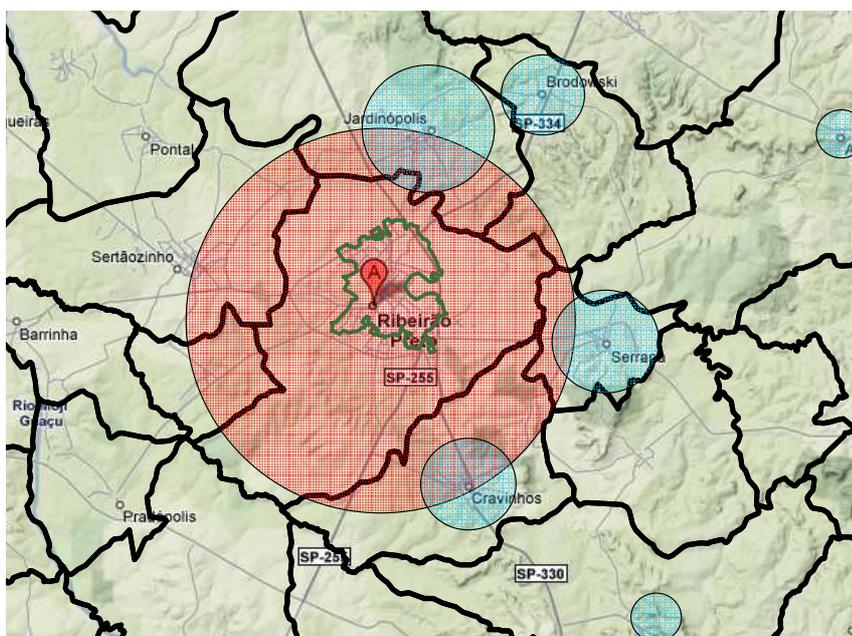


Figura 2: Área de contribuição necessária para suprir a demanda atual de água subterrânea dos municípios no entorno de Ribeirão Preto, pertencentes ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Pardo (CBH-Pardo), considerando uma taxa de recarga profunda de 70 mm/a.

Ações para sustentabilidade

Tendo em vista a excessiva exploração do aquífero na região central, a Câmara Técnica de Águas Subterrâneas do CBH-Pardo propôs e o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) homologou a Deliberação que estabelece a área de restrição e controle temporário de perfuração de poços no perímetro urbano de

Ribeirão Preto. Entre outros efeitos, essa medida contribui para o controle do rebaixamento do nível do aquífero na área central da cidade, resultante da superposição de cones de rebaixamento.

No entanto, a restrição à perfuração de novos poços não elimina o problema de captação excessiva, uma vez que a demanda por água continua crescendo e os poços existentes são capazes de captar grandes vazões. Dessa forma, é necessário que atitudes adicionais sejam tomadas tanto pelos usuários, consumidores dos recursos hídricos, como pelos agentes dos órgãos públicos.

Pelo lado do usuário final, algumas medidas visando à redução da demanda podem ser adotadas:

- redução do consumo/desperdício: sob esse aspecto, o usuário final deve assumir atitudes que promovam a efetiva redução de consumo: reduzir o tempo de banho, evitar a lavagem de áreas externas e veículos, etc.;

- uso preferencial: considerando a excelente qualidade da água subterrânea, esse recurso deveria ser utilizado exclusivamente em ações relacionadas à manutenção da vida, como dessedentação ou preparo de alimentos, de acordo com o preceito de utilização de recursos nobres em aplicações nobres;

- infiltração no lote: visando ao incremento da taxa de recarga profunda, a impermeabilização de lotes urbanos deve ser evitada. Os usuários devem ser incentivados a aumentar a retenção de água no lote, aumentando a infiltração em áreas verdes, contribuindo ao mesmo tempo para a redução de ondas de cheia resultantes do escoamento superficial excessivo;

- disque-poço: com o objetivo de elaboração de um cadastro detalhado e completo dos poços em operação ou desativados nas áreas urbanas, os usuários devem ser incentivados a fornecer voluntariamente as informações relativas aos poços de captação de sua propriedade. Essa atitude forneceria subsídios essenciais ao estabelecimento de um plano de gerenciamento sustentável para os recursos hídricos subterrâneos;

- disque-hidrômetro: através da implantação de um serviço gratuito, o usuário teria a possibilidade de informar o órgão público sobre o estado de funcionamento dos micro-medidores (hidrômetros). Essa atitude de cidadania contribuiria para o efetivo conhecimento do volume de água consumida pelos usuários, viabilizando a redução de perdas comerciais e subsidiando a elaboração de um plano de redução de perdas físicas na rede de distribuição.

O poder público tem grande responsabilidade no processo de gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos. Nesse sentido, podemos destacar as necessidades de:

- rede de monitoramento: de forma a assegurar a continuidade do abastecimento em quantidade e qualidade adequadas, é essencial a operação de uma rede de monitoramento de qualidade e quantidade, suficientemente abrangente e de longa duração. Dessa forma, pode-se gerar uma série histórica de informações essenciais ao estabelecimento de políticas de exploração;

- fiscalização: os órgãos públicos devem ser suficientemente aparelhados com pessoal e equipamento, de forma a assegurar a contínua fiscalização de explorações não autorizadas e desvios clandestinos da rede pública de distribuição;

- micromedição: os equipamentos de medição devem ser instalados em todos os pontos de consumo e seu correto funcionamento deve ser verificado através de fiscalização *in loco* e controle de padrões de consumo;

- redução de perdas: valores apresentados no Relatório Um de Situação dos Recursos Hídricos na bacia indicam uma perda total da ordem de 60% no município de Ribeirão Preto. Visando à redução das perdas comerciais, o órgão público deve otimizar o sistema de micromedição e cobrança. Por outro lado, as perdas físicas devem ser reduzidas, através da recuperação da rede de distribuição e da regularização da faixa de flutuação das pressões dinâmicas e estáticas no sistema;

- reservação elevada: uma medida importante para a redução de perdas físicas consiste na instalação de um sistema de reservação elevada, contribuindo para o zoneamento de pressões na rede de distribuição.

Sugestões adicionais para uso e proteção dos recursos hídricos subterrâneos foram extensamente levantadas durante a realização do Fórum Ribeirão Preto do Futuro (AEAARP, 2008).

Ações inovadoras

Considerando que as condições atuais do sistema de recarga e captação encontra-se em situação de exaustão da capacidade de produção, os órgãos públicos em cooperação com a sociedade civil devem elaborar e implantar ações inovadoras para assegurar a produção de água em quantidade e qualidade dentro de um horizonte de curto, médio e longo prazo.

Nesse contexto, três ações podem ser inicialmente propostas: fazendas de água, cinturão verde e recarga artificial.

Fazendas de água

O conceito de Fazenda de Água não é necessariamente novo, sendo praticado em alguns países (Alemanha, EUA, etc.). Em geral, o procedimento é conhecido com o nome técnico de campos de poços.

O sistema consiste na delimitação de uma área destinada à recarga do aquífero e produção de água subterrânea. Essa área deve ser identificada como área de proteção de água e seu uso e ocupação devem ser regulamentados, visando evitar a poluição dos recursos hídricos. De uma forma simplificada, as regras de ocupação da área das Fazendas de Água são semelhantes aos Perímetros de Proteção de Poços (PPP), mais conhecidos e difundidos junto à comunidade. A área pode ser definida como "a área de superfície e subsuperfície circundando um poço, nascentes ou campo de poços, que abastecem um sistema público, na qual existe uma grande probabilidade de contaminantes presentes se movimentarem e atingirem os mesmos" (ABAS, 2008). Os PPP's são traçados com o intuito de restringir, total ou parcialmente, a ocupação humana ou atividades potencialmente poluidoras nas suas áreas de recarga. Toda área que contribui com água para estes poços e nascentes faz parte do PPP que é também chamada de zona de captura.

No conceito de Fazenda de Água, a área prevista para a produção de água pode ser transformada em uma reserva de proteção natural, no caso específico da bacia hidrográfica do Pardo, uma Reserva de Cerrado, ou em área de produção agrícola orgânica, isto é, sem a aplicação de defensivos e fertilizantes. Conseqüentemente, a produtividade agrícola tende a diminuir, no entanto, mecanismos de compensação podem ser desenvolvidos, para assegurar a produção de água para consumo humano e a preservação de biomas ameaçados de extinção. Nesse sentido, os extensos afloramentos de arenito existentes na região podem ser considerados como potenciais áreas para a implementação do sistema.

A Figura 3 apresenta esquematicamente um conjunto de Fazendas de Água no entorno do perímetro urbano da cidade de Ribeirão Preto. As áreas de produção foram distribuídas aleatoriamente, com o objetivo de ilustrar a concepção do procedimento. Através da instalação de baterias de poços rasos, a produção de água seria assegurada. Adutoras podem transportar a água para reservatórios instalados em posições estratégicas para transferência à rede de distribuição urbana.

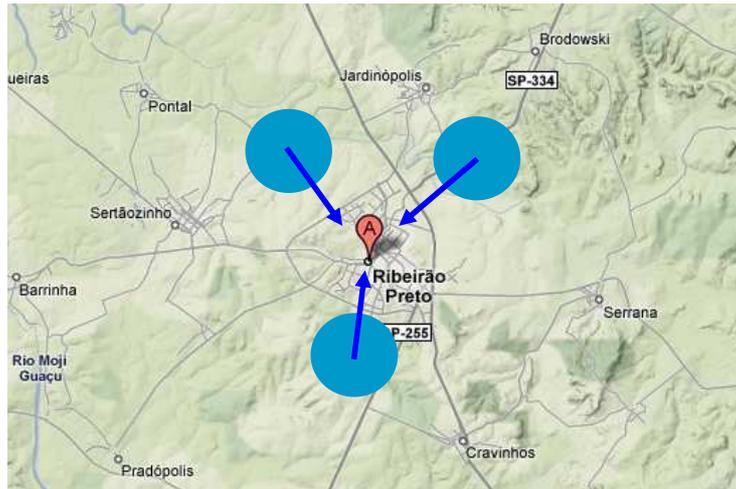


Figura 3: Fazendas de água no entorno do perímetro urbano de Ribeirão Preto. Disposição aleatória com objetivo apenas ilustrativo.

A capacidade de produção pode ser estimada a partir de um caso hipotético: considerando uma Fazenda de Água de 1300 hectares (área correspondente a uma Área de Proteção Natural) e uma taxa de infiltração renovável de 350 mm/a, a contribuição anual dessa Fazenda seria 4,6 milhões de m³/a. Nessas áreas, estruturas de retenção de água, visando à diminuição do escoamento superficial e aumento da taxa de recarga, podem ser previstas, otimizando a capacidade de produção do sistema.

O sistema de Fazendas de Água apresenta várias vantagens:

- menor custo de bombeamento: a energia elétrica necessária para elevação da água subterrânea constitui-se no item de maior peso na composição do custo de produção de água. Em consequência, atualmente, o DAERP é o maior consumidor de energia elétrica no município de Ribeirão Preto. Em Fazendas de Água, os custos de elevação serão reduzidos, uma vez que a superposição de cones de rebaixamento pode ser evitada ou controlada;

- melhor qualidade da água: tendo em vista a definição de critérios para a ocupação e uso do solo nas Fazendas de Água, o risco de contaminação da água subterrânea será menor em comparação com a água de áreas urbanas. Conseqüentemente, a qualidade da água pode ser assegurada, sem os problemas de contaminação por nitratos provenientes de vazamentos em redes de esgoto ou fossas sépticas, comuns em poços em áreas urbanas;

- menos conflitos: considerando a menor exploração no perímetro urbano, os conflitos pelo uso da água serão minorados, uma vez que os rebaixamentos serão menores e os poços mais rasos não secarão;

- solução duradoura: a Fazenda de Água representa uma solução duradoura, com perspectivas de abastecimento da população mesmo em um prazo de 100 anos ou mais. Dessa forma, o problema do abastecimento público não será um legado a para as futuras gerações que venham a habitar em Ribeirão Preto e entorno.

Cinturão verde

Uma forma alternativa de assegurar uma produção significativa de água é a implementação de um Cinturão Verde no entorno da malha urbana de Ribeirão Preto. Através da interligação das áreas verdes existentes, pretende-se implantar um Corredor da Água, que além de assegurar a preservação de espécies da flora e fauna nativas, permite incrementar a taxa de recarga do aquífero no entorno da malha urbana. Essa recarga adicional pode contribuir para a atenuação dos problemas provocados pelo rebaixamento dos níveis do aquífero na região central.

A Figura 4 apresenta as áreas verdes disponíveis na Bacia Hidrográfica do Pardo (IPT, 2008). Conforme se observa, existem poucas áreas contínuas significativas no entorno da malha urbana de Ribeirão Preto. Essas áreas devem ser expandidas e interligadas, visando à melhoria da qualidade de vida da população ribeirãopretana.

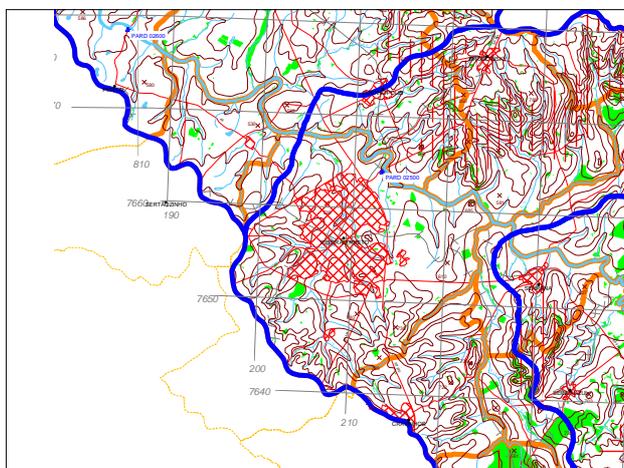


Figura 4: Áreas verdes disponíveis na Bacia Hidrográfica do Pardo. Fonte: IPT, 2008.

Recarga artificial

O conceito de recarga artificial tem sido usado há mais de 100 anos na Europa e América do Norte, assegurando a disponibilidade de água em áreas urbanas densamente povoadas. A tecnologia tradicional é comprovada e novas tecnologias (ASR – Aquifer Storage Recover) têm sido propostas para otimizar o armazenamento de água no aquífero em períodos de grande disponibilidade superficial. Nos períodos

de estiagem ou redução de disponibilidade, a água armazenada é recuperada, assegurando o suprimento à população.

A avaliação desse conceito deve ser aprofundada, visando minimizar os problemas de rebaixamento de níveis no aquífero.

Discussão

A mesa redonda realizada permitiu vislumbrar novas iniciativas visando à solução de um problema antigo da cidade de Ribeirão Preto, porém cada vez mais premente. O debate, que contou com intensa participação da sociedade civil, mostrou que a população ribeirão-pretana está ciente da necessidade de novas ações e contribuiu ativamente com sugestões e propostas para a redução dos problemas de abastecimento.

Entende-se que a implementação de algumas propostas exige uma intensa negociação política, cuja consecução demandará longos intervalos de tempo. No entanto, os primeiros passos foram dados e a vontade popular deverá direcionar futuramente a evolução do sistema de abastecimento público.

Referências bibliográficas

- ABAS, 2008. ABAS – INFORMA – ONLINE. Acesso em 26/11/2008. Disponível em <http://www.abas.org/abasinforma/121/paginas/09.htm> .
- AEAARP, 2008. Uso e Proteção dos Recursos Hídricos Subterrâneos, Fórum Ribeirão Preto do Futuro, p. 12-13.
- IBGE, 2007. Censos 2007, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- IPT, 2008. Relatório Um de Situação dos Recursos Hídricos da Bacia do Pardo - Relatório Final, Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
- SINELLI, O., 1987. Estudos hidrogeológicos da bacia hidrográfica do rio Pardo (SP), Revista Águas Subterrâneas, v. 11, p. 5-25.
- OEA/GEF, 2001. Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. Organização dos Estados Americanos / Global Environmental Facility.

PARTICIPANTES DAS MESAS REDONDAS

I – MODELO CONCEITUAL, FUNCIONAMENTO E POTENCIALIDADES

- ✓ Ricardo Hirata (Coordenador) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (IGc, USP) e GWMATE-Banco Mundial.
- ✓ Didier Gastmans – Laboratório de Estudos de Bacia, Universidade Estadual Paulista (LEBAC-IGCE, UNESP-Rio Claro) e Consórcio Guarani
- ✓ Jorge Santa Cruz – Secretaria Geral do Projeto Aquífero Guarani
- ✓ Luis Araguás – Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA)
- ✓ Paulo César Soares – Universidade Federal do Paraná (UFPR)
- ✓ Ubiratan F. Faccini – Universidade Vale dos Sinos (UNISINOS)
- ✓ Luis Vives – Instituto de Hidrología de Llanuras, Universidad Nacional Del Centro de La Provincia de Buenos Aires, Consórcio Guarani

II – DIRETRIZES DE UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL E PROTEÇÃO DO AQUÍFERO GUARANI

- ✓ Chang Hung Kiang (Coordenador) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (IGCE, UNESP-Rio Claro)
- ✓ Cláudio Luiz Dias - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB)
- ✓ Everton Luiz da Costa Souza – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA)
- ✓ Flávio de Paula e Silva – Laboratório de Estudos de Bacia, Universidade Estadual Paulista (LEBAC-IGCE, UNESP-Rio Claro) e Consórcio Guarani
- ✓ Giancarlo Lastoria – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
- ✓ Luiz Amore – Secretaria Geral do Projeto Aquífero Guarani
- ✓ Marco Antonio Ferreira Gomes - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-Jaguariúna)
- ✓ Maria Luiza Silva Ramos – Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM)

III – PLANO DE AÇÕES ESTRATÉGICAS PARA A GESTÃO DO AQUÍFERO

- ✓ João Bosco Senra (Coordenador) – Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, Ministério do Meio Ambiente (SRHU/MMA)
- ✓ Daniel Garcia – Secretaria Geral do Projeto Aquífero Guarani
- ✓ Elizabeth de Almeida Meirelles – Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo (FD, USP)
- ✓ Fernando Roberto de Oliveira – Agência Nacional de Águas (ANA)
- ✓ Gerônimo Rocha – Coordenadoria de Recursos Hídricos, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (CRHi/SMA)
- ✓ Welson Gasparini – Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto

IV – PLANO DE AÇÃO ESTRATÉGICA PARA A GESTÃO DO AQUÍFERO GUARANI NA ÁREA PILOTO DE RIBEIRÃO PRETO

- ✓ Osmar Sinelli (Coordenador) – Faculdades COC
- ✓ Carlos Eduardo Alencastre – Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE)
- ✓ Edson Wendland – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC, USP)
- ✓ Genésio Abadio Paula e Silva – Secretaria do Meio Ambiente, Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto (SMMA-Ribeirão Preto)
- ✓ Marco Antonio Sanchez Artuzo – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB)
- ✓ Paulo Finotti – Sociedade de Defesa Regional do Meio Ambiente (SODERMA)

PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES DO PÚBLICO

- a) Moção contra queimadas
- b) Recomendação para o cumprimento da legislação florestal = averbação e preservação da Reserva Legal
- c) Incentivo à pesquisa e implantação de sistemas agroecológicos nas áreas de recarga
- d) Incentivo e/ou compensação a pequenos agricultores para recomposição florestal em APPs
- e) Atuação do município como partícipe na gestão das águas subterrâneas, utilizando o Plano Diretor Municipal como instrumento, adotando um zoneamento especial ambiental em áreas importantes ou vulneráveis do SAG de forma que o uso do solo tenha restrições ou medidas de monitoramento.
- f) Proposição de APA em todos os Estados/Municípios que tem afloramento do SAG, com base na Lei Federal nº 9.985, de 18/07/2000