

Gestão Sustentável da Água Subterrânea

Lições da Prática

Coleção de Perfis de Caso Número 9**

A Iniciativa do Programa Sistema Aquífero Guarani – Rumo à Gestão Prática da Água Subterrânea em um Contexto Transfronteiriço

Novembro de 2009**

(revisado a partir das versões de dezembro de 2004* e setembro de 2006*)

Autores: Stephen Foster, Ricardo Hirata, Ana Vidal, Gerhard Schmidt[^] & Hector Garduño

([^] Instituto Federal para Geociências & Recursos Naturais (BGR) de Hannover-Alemanha)

Gerente de Projeto: Karin Kemper, Abel Mejia, Doug Olson & Samuel Taffesse (Banco Mundial)

Contrapartes: Secretaria Geral do Projeto Guarani (OEA), Ministério do Meio Ambiente-Secretaria dos Recursos Hídricos (MMA-SRH) & Agência Nacional de Águas (ANA) - Brasil,

Sub Secretaria de Recursos Hídricos (SSRH) - Argentina, Secretaria do Ambiente (SEAM) - Paraguai,

Direção Nacional de Águas e Saneamento (DINASA) - Uruguai

Este estudo de caso primeiramente fornece uma concisa revisão científica dos avanços no conhecimento do Sistema Aquífero Guarani por meio do Programa de Proteção e Desenvolvimento Sustentável e Ambiental do Aquífero Guarani das nações pertencentes ao MERCOSUL (Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai). O Programa, realizado entre maio de 2003 a janeiro de 2009, foi implementado pela Organização dos Estados Americanos (OEA), sob supervisão do Banco Mundial e fortemente assessorado pelo GW-MATE, beneficiado por contribuições importantes da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) e do BGR, através da cooperação de desenvolvimento alemã. A revisão científica é seguida de uma avaliação detalhada das principais implicações para estratégia de manejo dos recursos, o progresso de gestão prática da água subterrânea, incluindo medidas de proteção local, por meio de projetos pilotos em andamento (ambos dentro e fora do Programa GEF), além de uma análise da situação e do fortalecimento de instrumentos institucionais e legais associados. O documento de referência central dessa revisão é o Plano Estratégico de Ação/PEA de 2009; contudo a discussão é mais aprofundada nas dimensões de gestão da água subterrânea que são aqui o principal foco. O GW-MATE reconhece a grande contribuição da Secretaria Geral do Projeto Guarani e dos Facilitadores dos Projetos Pilotos, juntamente com as agências governamentais nacionais e comitês, e com consultores e acadêmicos envolvidos em diversas partes do Programa.

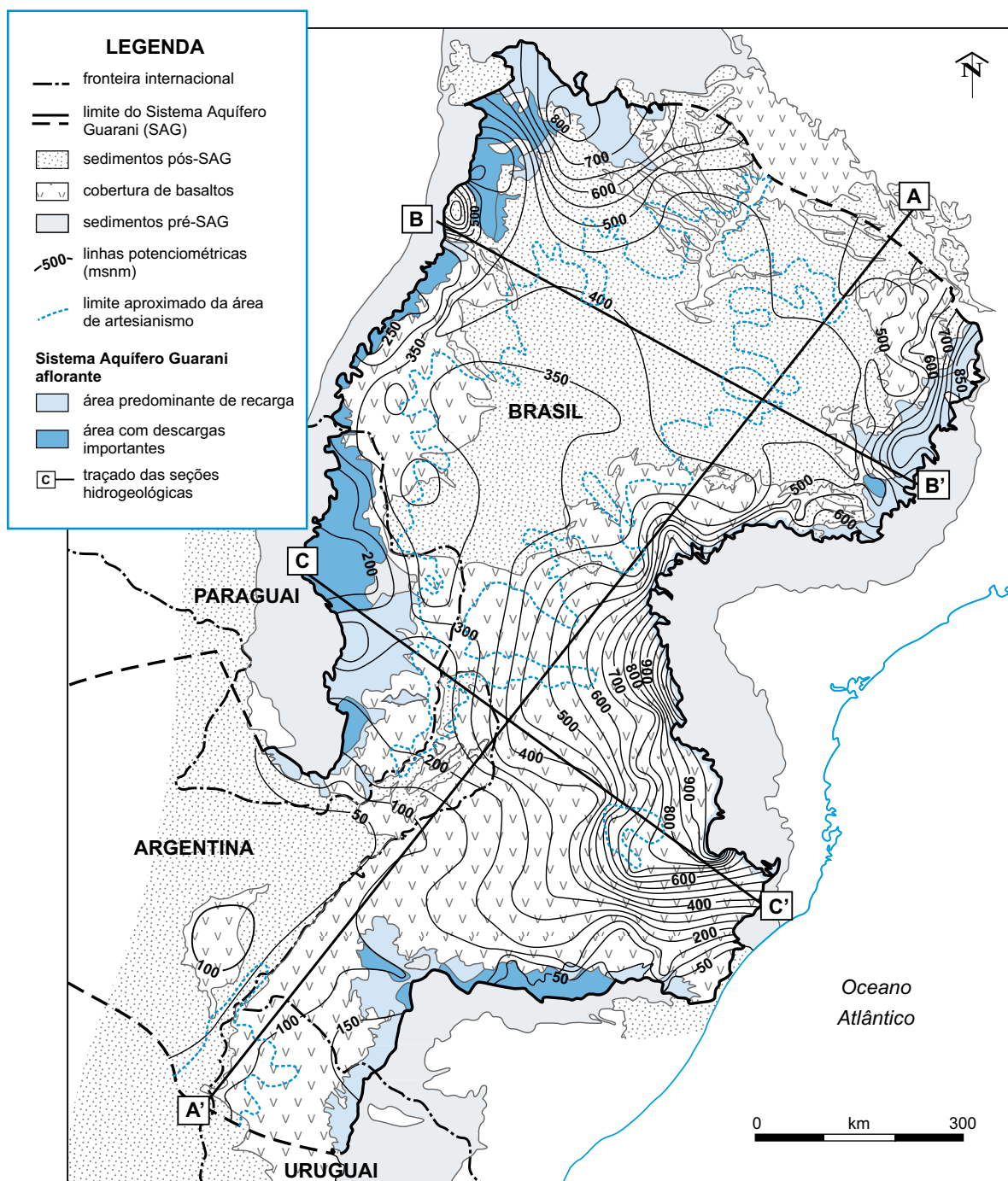
CONSOLIDAÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO SOBRE O SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

Características Hidrogeológicas do Sistema Aquífero

- O Aquífero Guarani é um enorme sistema hidrogeológico que corresponde a uma área de cerca de 1.100.000 km² localizado principalmente na Bacia do rio Paraná no Brasil (onde reside 62% de sua

área conhecida), Paraguai, Uruguai e Argentina (Figura 1). O aquífero possui uma espessura média de 250 m (podendo variar de 50 a 600 m) e alcança profundidades superiores a 1.000 m (Figura 2). O volume total de água armazenada é estimado em torno de 30.000 km³, o equivalente a 100 anos de fluxo cumulativo no rio Paraná. O aquífero se estende através de fronteiras políticas internacionais, assim como por vários estados brasileiros e províncias argentinas, e, portanto os recursos subterrâneos estão sob jurisdição essencialmente estadual/provincial.

Figura 1: Mapa hidrogeológico esquemático do Sistema Aquífero Guarani



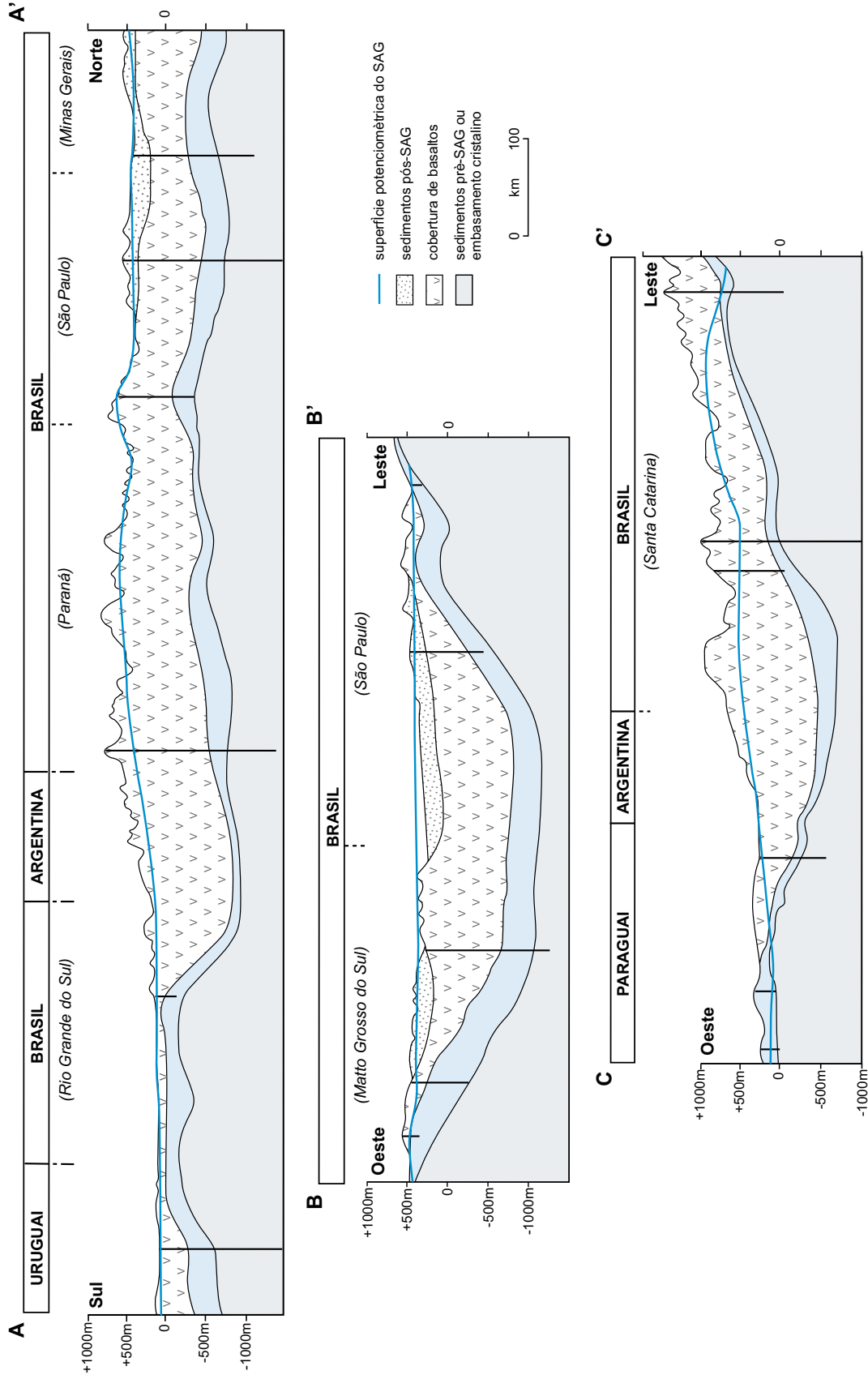


Figura 2: Seções geológicas selecionadas do Sistema Aquífero Guarani

- O Sistema Aquífero Guarani (SAG) compreende uma sequência de camadas de arenito quartzosos (fracamente cimentados) de idade triássica-jurássica – formadas por processos de deposição continental (eólicos, fluviais e lacustres) a partir de uma erosão regional de superfície permo-triássica (há 250 milhões de anos) e são sobrepostas por rochas basálticas do Cretáceo (entre 145 e 130 milhões de anos), que quase cobrem todo o sedimento, podendo exceder espessuras de 1.000 m em algumas áreas.
- A equivalência geostatigráfica desses arenitos foi somente reconhecida na década de 1990, a partir da perfuração de poços para exploração de petróleo e subsequente interpretação estratigráfica por pesquisadores, os quais nomearam o sistema aquífero de "Guarani" em homenagem à população indígena da região. As formações geológicas que compreendem o SAG são conhecidas por nomes distintos em áreas diferentes (Tabela 1).
- O aquífero ocorre em três principais "domínios hidrogeológicos" delimitados por duas estruturas geológicas que exerceram um controle na espessura e profundidade do aquífero e atualmente influencia o fluxo de água subterrânea regional.
 - Arco de Ponta-Grossa (ao norte do Estado do Paraná - Brasil), que força a água subterrânea a fluir de leste a oeste no Estado de São Paulo - Brasil;
 - Arco de Assunção-Rio Grande, que divide a porção ao sul do Arco de Ponta-Grossa em duas bacias sedimentares semi-independentes: a do Paraná Central e a de sudoeste Chaco-Baixo Paraná.

O SAG também é afetado por muitas estruturas tectônicas e atravessado por numerosos diques vulcânicos, mas apesar dessas importantes descontinuidades em escala local, o sistema é considerado um corpo de água subterrânea contínuo que atravessa toda a região.

Tabela 1: Subdivisão estratigráfica do Sistema Aquífero Guarani

País	URUGUAI	ARGENTINA	PARAGUAI	BRASIL	
Bacia Sedimentar	norte	Chaco-Paraná	Paraná	sul	Paraná central norte
PÓS-SAG	Basaltos Arapey	Várias formações	Basaltos Alto Paraná	Basaltos Serra Geral	
(Cretáceo inferior)	(Membro Superior) Tacuarembó (Membro Inferior) Itacumbú	Misiones ou Tacuarembó	Misiones	Botucatu	
SAG		<i>Discordância regional jurássica</i>		Guará	
(Triássico)				Caturrita	Pirambóia
		<i>Discordância regional permo-triássica</i>		Santa Maria	
	PRÉ-SAG				

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO ARMAZENAMENTO E REGIME DE FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

O "Sistema de Fluxo Ativo" em Áreas de Recarga

- O reabastecimento do SAG ocorre por: a) infiltração direta do excedente da precipitação e do fluxo de cursos d'água ao longo da área de afloramento do aquífero (Figura 1); b) infiltração indireta, através de basaltos, quando esses são muito fraturados e de pouca espessura; e c) via "janelas" (descontinuidades) no basalto, que normalmente são superpostas por formações sedimentares mais recentes.
- A elevada precipitação média através da maior parte da área de afloramento do SAG (1000 a 2000 mm/ano) resulta em taxas potencialmente elevadas de recarga do aquífero (300-400 e 500-600 mm/ano nas regiões setentrional e meridional, respectivamente). Embora parte da água possa ser "rejeitada" devido à capacidade de infiltração inadequada ou alto nível do lençol freático, a maior parte dessa recarga infiltra formando células de fluxo locais que descarregam quase que inteiramente em rios que cortam a área de afloramento do SAG. Nessas áreas, os gradientes hidráulicos da água subterrânea chegam a 3-5 m/km e as velocidades efetivas de fluxo são superiores a 5 m/ano.
- Há, entretanto, diferenças substanciais entre as áreas de recarga (Figura 1) no "flanco noroeste" da bacia principal (Paraguai a Mato Grosso do Sul – Brasil) e no "flanco nordeste" (Santa Catarina a São Paulo no Brasil). Neste, a espessura reduzida e o mergulho elevado da formação resultam em uma área de afloramento muito estreita, onde a recarga é menor, comparativamente ao outro flanco, e as áreas de descarga locais do aquífero são reduzidas (Figura 1).
- As estimativas assumidas da taxa de recarga do SAG não são precisas, por conta de incertezas não somente na variação espacial da recarga potencial média, mas também na proporção de área de afloramento que permite a recarga e na extensão da área coberta por basaltos onde ocorre a recarga. Contudo, a área total de recarga do SAG é apenas uma parcela pequena em comparação à extensão do aquífero conhecido (Figura 1), e usando as melhores estimativas, considerando os fatores descritos acima, um valor no intervalo 45-55 km³/ano parece ser razoável – isso é menos do que 0,2 % do armazenamento de água estimado. O SAG, dessa forma, é inquestionavelmente um sistema de água subterrânea totalmente "dominado pelo armazenamento", e essa realidade reflete fortemente nos resultados e conclusões que se seguem.

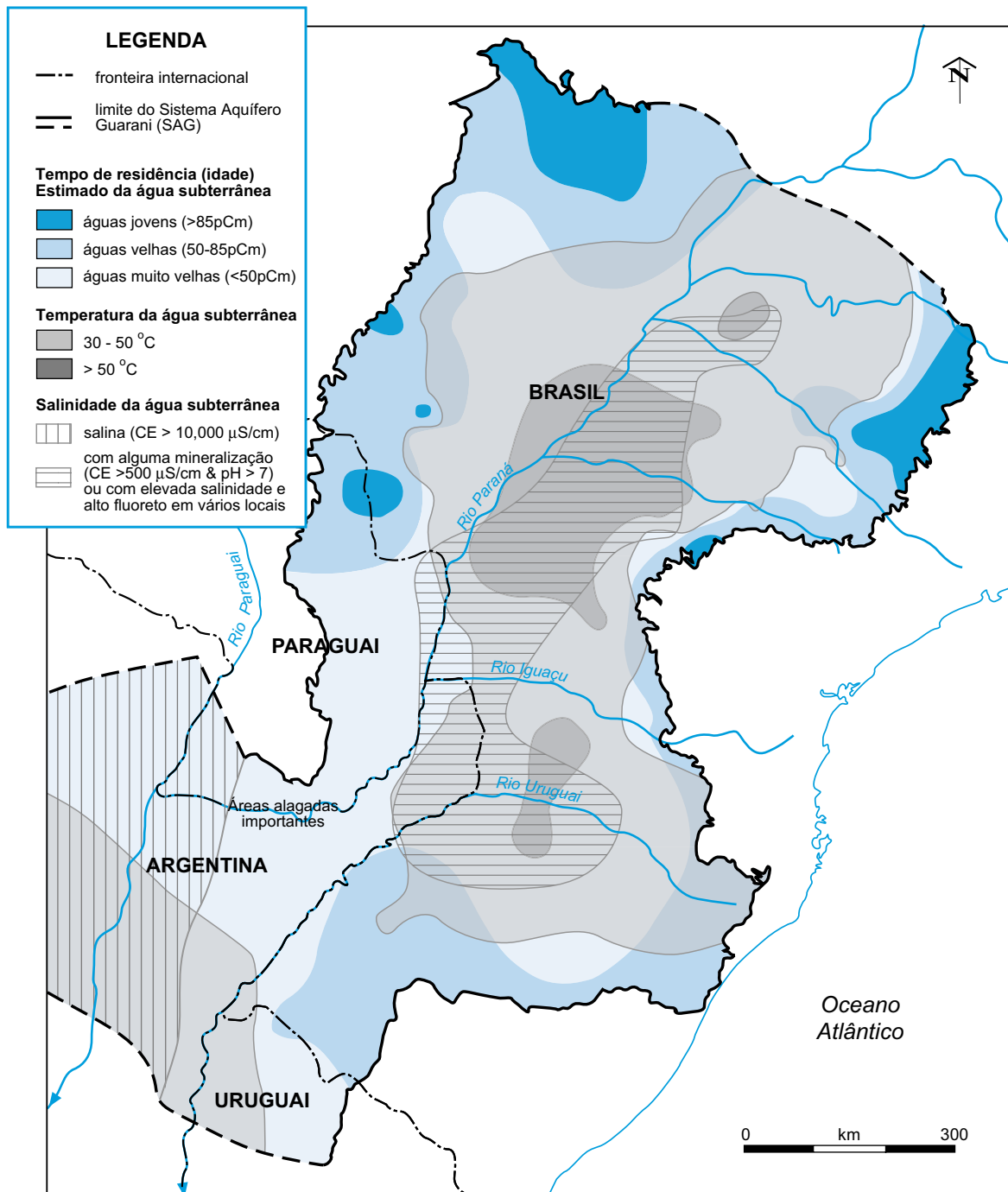
A Imagem Contrastante do "Armazenamento Regional"

- O mapa potenciométrico de água subterrânea (Figura 1) indica certo fluxo regional das principais áreas de recarga em direção às bacias estruturais mais profundas, e subsequente fluxo para sul, paralelo ao eixo principal da bacia do Paraná. Em direção ao centro das bacias estruturais, a água subterrânea do SAG torna-se progressivamente mais confinada, pelo aumento na espessura dos basaltos sobrepostos, e exibe uma carga de caráter artesianos em poços profundos ao longo de extensas áreas (Figura 1).
- O SAG possui relativamente alta condutividade hidráulica (K_h de 5-10 m/dia) e uma transmissividade média de cerca de 300 m²/dia (amplitude de 50-1200 m²/dia), mas o terreno plano e baixos gradientes hidráulicos no aquífero confinado (-0,1-0,3 m/km) implicam em velocidades de fluxo de água subterrânea muito baixas (<0,5 m/ano). Modelagens numéricas do aquífero sugerem que o fluxo de água subterrânea ativo no aquífero confinado profundo é muito limitado, provavelmente equivalente a 10-15

mm/ano de infiltração vertical da recarga observada na área de afloramento (somente cerca de 1-2 % da precipitação anual).

- Com o aumento da profundidade e confinamento, a temperatura da água subterrânea também aumenta substancialmente (como resultado dos gradientes geotérmicos atuantes), de tal forma que a água torna-se

Figura 3: Idade das águas subterrâneas, datada por $\delta^{14}\text{C}$ (porcentagem de carbono moderno - pCm), e variações da temperatura e da salinidade das águas do Sistema Aquífero Guarani



um recurso hidrotermal de baixa entalpia, com temperaturas largamente excedendo 40° C e localmente alcançando 60° C (Figura 3). Deve-se observar que o aumento de temperatura também irá significativamente reduzir a viscosidade da água subterrânea, alterando suas características hidráulicas.

- Alguma descarga natural do regime de fluxo regional indubitavelmente ocorre – mas ainda não foi adequadamente quantificada devido à dificuldade em se detectar e medir pequenos fluxos ascendentes em rios de grandes vazões. Entretanto há, por exemplo, sempre pequenas nascentes com composição química semelhante àquela da água do SAG confinado em locais com diques vulcânicos. Outras potenciais zonas de descarga (estrutura geológica favorável, níveis potenciométricos de aquífero e espessura basáltica reduzida), incluem seções do rio Paraná (ao longo da fronteira com o Paraguai) e do rio Uruguai (nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina no Brasil) e nas áreas alagadiças (wetlands) de Esteros de Ibera (Argentina) e Ñeembacú (Paraguai) (Figura 3).
- A utilização extensiva envolvendo isótopos ambientais (^3H , $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$, $\delta^{14}\text{C}/\delta^{13}\text{C}$) provou serem eles uma ferramenta muito útil para corroborar o modelo de fluxo regional do SAG. As águas subterrâneas associadas com as áreas de recarga do aquífero geralmente apresentam valores de $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ coincidindo com aqueles da precipitação dos dias de hoje ($> -7.5\%$ em $\delta^{18}\text{O}$). Além disso, a presença de ^3H de até ^3UT (unidades de Trítio) e atividade de $\delta^{14}\text{C}$ próxima a 100 pCm (porcentagem de Carbono moderno) confirma a ocorrência de água recarregada recentemente, incluindo sob certas "janelas" em áreas de basalto mais espesso.
- O declínio rápido da atividade de $\delta^{14}\text{C}$ ao longo do fluxo de água subterrânea em direção ao SAG altamente confinado é compatível com uma circulação extremamente baixa - com a maioria dos furos de sondagem mais profundos registrando conteúdo de $\delta^{14}\text{C}$ abaixo do limite de detecção (provavelmente a água foi recarregada há mais de 35.000 anos) (Figura 3). Adicionalmente, o conteúdo de $\delta^{18}\text{O}$ na água subterrânea em algumas áreas confinadas do SAG (por exemplo, no Estado de São Paulo no Brasil) é à primeira vista anômalo, dado que a composição isotópica é mais negativa do que àquela da precipitação atual ($\delta^{18}\text{O}$ de -8 a -9.5 ‰). Isso provavelmente indica que a paleo-água foi recarregada sob condições climáticas mais frias, mas esse mesmo fenômeno não é encontrado na porção mais ao sul do SAG.

Qualidade da Água Subterrânea Natural

- A qualidade natural das águas no SAG é geralmente muito boa com baixos níveis de mineralização na maioria dos locais. A evolução hidrogeoquímica é entendida como a de uma água que recarrega a partir de áreas de afloramento fluindo vagarosamente para o aquífero confinado mais profundo (Tabela 2), transição marcada pela dissolução de carbonatos (confirmado pelo conteúdo de carbono inorgânico dissolvido), por processos de troca iônica (fundamentalmente Na substituindo Ca na solução), pelo aumento de pH de 6,8 para 9,5 e também pelo aumento na temperatura.
- Os dados hidroquímicos e isotópicos mostram que as formações sotopostas a algumas partes do SAG (principalmente aquíferos salinos) contribuem para a salinidade observada no próprio aquífero e pelo aumento significativo dos elementos traços (especialmente o F e mais localmente o As) em determinados locais, mas essa contribuição não é significativa em termos de volumes de fluxo de água subterrânea. Há também muitos outros aumentos significativos e disseminados na salinidade das águas subterrâneas na parte confinada no extremo sudoeste do SAG na Argentina (Figura 3), que efetivamente definem o limite

Tabela 2: Típicas mudanças químicas das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani na direção oeste desde Ribeirão Preto (São Paulo) – Brasil

PARÂMETRO (unidades)		POÇOS EM AFLORAMENTO	POÇOS EM ZONA CONFINADA (DISTÂNCIA DESDE O AFLORAMENTO)	
			30 km	150 km
Característica Química				
T (°C)	temperatura	24	26	42
pH	acidez	6,5	8,5	9,5
Ca (mg/l)	cálcio	30	20	2
Na (mg/l)	sódio	1	5	90
HCO ₃ (mg/l)	bicarbonato	15	75	160
Cl (mg/l)	cloreto	1	2	10
F (mg/l)	fluoreto	< 0,1	0,2	> 1,0
SiO ₂ (mg/l)	sílica	15	20	30

(dados selecionados de Sracek & Hirata, 2002)

do sistema aquífero potencialmente utilizável. Também tem-se levantado a questão de que a água subterrânea confinada profunda poderia localmente conter níveis significativos de isótopos de urânio solúveis, rádio e gás radônio.

VISÃO GERAL DO GERENCIAMENTO E EXPLORAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Situação Atual e Futuros Indicadores da Utilização do Recurso

- O recente Projeto Aquífero Guarani resultou num cadastro bastante abrangente de poços de produção, o que indicou uma exploração de aproximadamente 1,04 km³/ano, sendo 94 % no Brasil (com 80% no Estado de São Paulo), 3 % no Uruguai, 2 % no Paraguai e 1 % na Argentina. Cerca de 80 % do total é usado para abastecimento público, 15 % para processos industriais e 5 % para estâncias de águas geotérmicas.
- Estima-se que existam cerca de 2.000 poços tubulares profundos operando atualmente, e alguns deles podem produzir mais que 500 m³/h (e menos quando somente a vazão artesiana é utilizada). Em média, menos de 20 % do total dos poços estão produzindo mais do que 100 m³/h.
- A extensa área do SAG possui uma população de cerca de 15 milhões, um clima sub-tropical e recursos hídricos superficiais abundantes (mas muitas vezes poluídos), que experimentam estiagens ocasionais. Assim, a necessidade de fontes de água para abastecimentos público e industrial (de tratamento de baixo custo) parece crescer significativamente, especialmente em alguns cenários de mudança climática (o que implica no aumento da demanda por água em razão do aumento da temperatura ambiente e estiagens mais frequentes e intensas que afetam os recursos hídricos superficiais).
- A importância crescente do SAG para abastecimento de água potável de diversas cidades com populações entre 50.000-250.000 deve ser enfatizada - exemplos incluem Tacuarembó e Rivera no Uruguai,

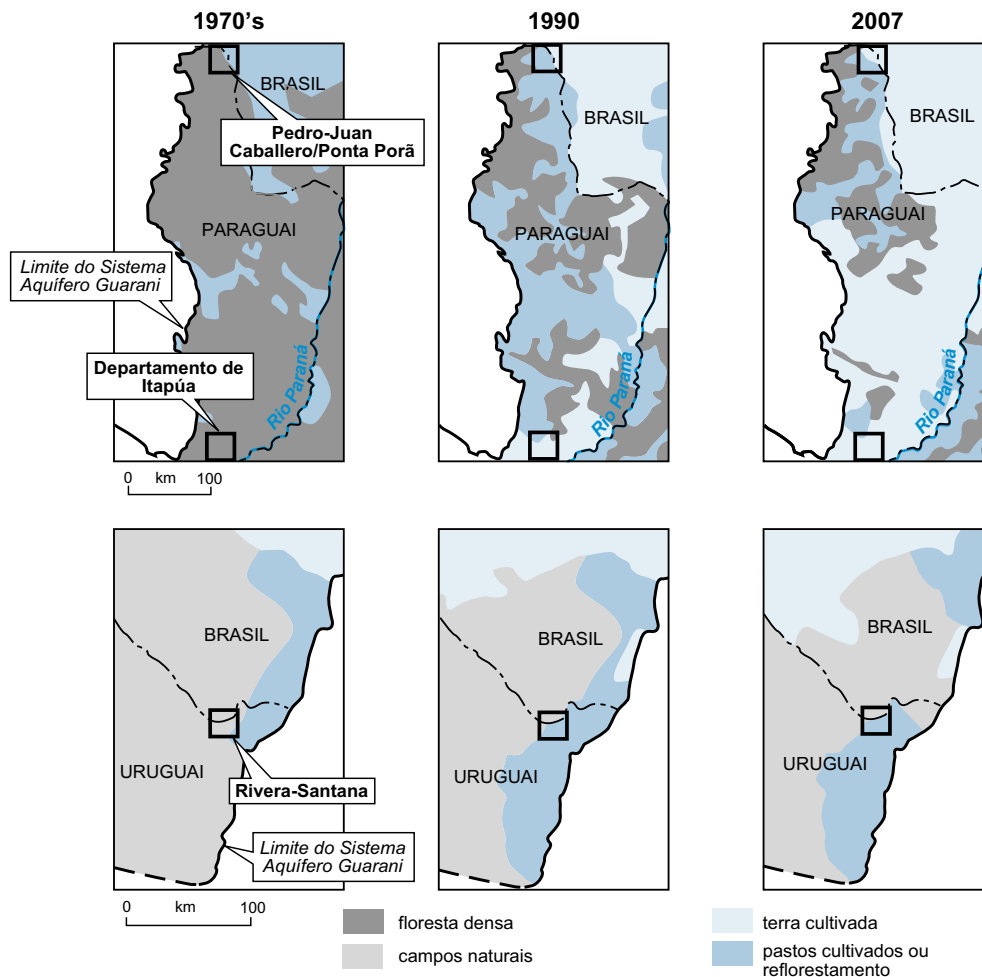
Caaguazu e Ciudad del Este no Paraguai, e no Brasil, Santana do Livramento e Caxias do Sul no Rio Grande do Sul, Londrina no Paraná, Uberaba e Uberlândia em Minas Gerais, Campo Grande no Mato Grosso do Sul e várias outras em São Paulo.

- Notavelmente, o SAG também representa o mais importante recurso geotérmico de baixa entalpia (frequentemente associado a carga de caráter artesianos) de distribuição muito extensa (Figuras 1 e 3), com potencial de se expandir futuramente nos seguintes setores econômicos:
 - facilidade de balneários na porção noroeste do Uruguai, partes vizinhas da Argentina, e mais a norte na área turística internacional de Iguazu; e sul do Brasil
 - numerosas aplicações potenciais industriais e processos agro-industriais.No entanto, as temperaturas das águas subterrâneas são muito baixas para geração de energia elétrica convencional.
- Um aumento das demandas pelo uso extensivo e/ou intensivo das águas subterrâneas do SAG na irrigação agrícola, especialmente em alguns cenários de mudança climática e de tendências crescentes nos preços das safras, é especialmente crítica para uma boa gestão do recurso no futuro. Uma avaliação agroeconômica preliminar sugere que o uso do SAG para a irrigação suplementar, como uma garantia contra a redução da produção de safra causada pela seca de curta duração durante o cultivo de soja, ainda não é totalmente econômico - à exceção das áreas de recarga com nível d'água raso.

Vulnerabilidade do Aquífero à Poluição e o Uso do Solo

- As únicas partes do SAG que exibem uma vulnerabilidade alta à poluição das águas subterrâneas causada por atividades antropogênicas em superfície são as áreas de recarga - abrangendo os afloramentos do aquífero e locais adjacentes onde os basaltos são altamente fraturados e pouco espessos ou onde apresentam "janelas". O grau de vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas, nesse caso, variará com a profundidade do nível d'água e com o grau de consolidação das unidades areníticas ou de fraturamento dos basaltos sobrepostos, e, embora não seja considerado "extremo", pode ser classificada de "moderada a alta".
- A certa distância da área de afloramento do SAG abaixo da cobertura basáltica, as "idades das águas relativamente antigas" calculadas a partir das análises isotópicas (Figura 3) indicam uma vulnerabilidade mínima à poluição, exceto, talvez, por contaminantes altamente persistentes e móveis a muito longo prazo e muito tóxicos.
- Potenciais ameaças à excelente qualidade original das águas subterrâneas na área de recarga correspondem a:
 - urbanização e infiltração de efluentes urbanos domésticos;
 - áreas industriais e o armazenamento e manipulação inadequados de químicos perigosos, além da deposição incorreta de efluentes líquidos e sólidos;
 - intensificação do cultivo agrícola e reflorestamento.
- O uso do solo rural em determinadas partes das áreas de recarga do SAG tem testemunhado enormes mudanças nos últimos 30 anos (Figura 3), incluindo:
 - devastação das florestas sub-tropicais úmidas, a fim de explorar seus recursos madeireiros e abrir caminho para a pecuária extensiva bovina (no Brasil e no Paraguai);
 - aragem de áreas de pastagem para a introdução de agricultura intensiva - rotações das culturas soja-

Figura 4 : Evolução do uso agrícola do solo em áreas de recarga selecionadas do Sistema Aquífero Guarani



girassol/soja-milho e cana de açúcar (no Brasil, Paraguai e Argentina), em parte para produção de biocombustível e frutas cítricas (Brasil);

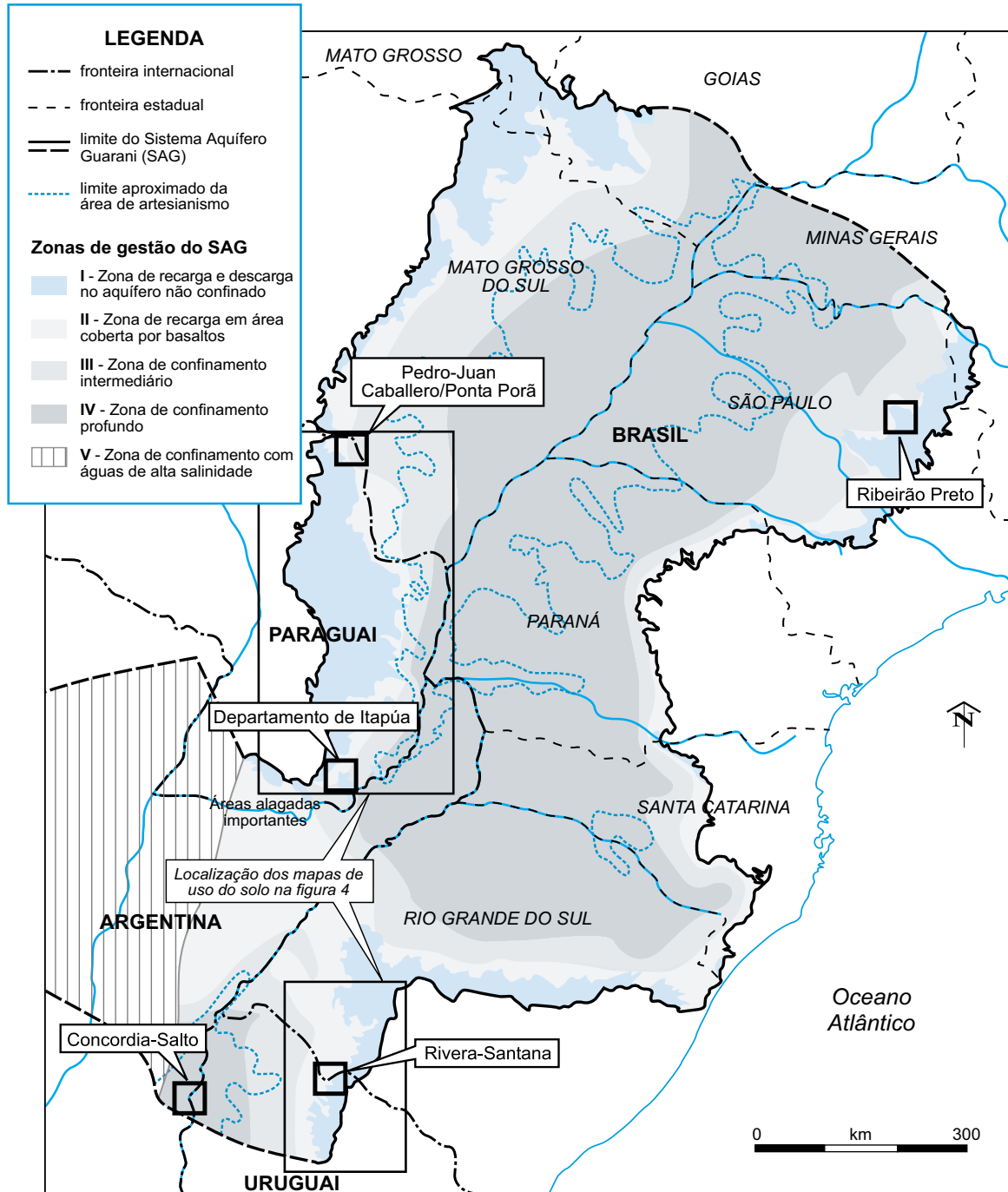
- reflorestamento de algumas áreas de pastagem naturais com eucaliptos para fabricação de papel ou pinheiros para produção de madeira (Uruguai).

Como os mais férteis perfis de solos desenvolvem-se sobre os basaltos ao invés dos arenitos, a introdução das rotações de cultura intensivas de soja dentro da zona de recarga no SAG tende a se concentrar em áreas de cobertura basáltica delgadas. O impacto dessas mudanças maiores de larga escala na qualidade e na taxa de recarga do SAG não foi ainda devidamente pesquisado e requererá especial atenção no futuro.

Base Científica para o Gerenciamento do Recurso

- O modelo conceitual revisado da hidrogeologia do SAG apresenta importantes implicações em termos da definição de uma estratégia eficiente e sustentável para a gestão dos recursos de água subterrânea. Cinco "zonas de gerenciamento do recurso" distintas podem ser convenientemente definidas (Figura 5), cujas características são discutidas a seguir.

Figura 5 : Delineamento de zonas de gestão do Sistema Aquífero Guarani



● **I - Zonas Não Confinada de Recarga e Descarga**

- Os recursos de água subterrânea extraídos dessa zona são completamente renovados até um equivalente a 300–600 mm/ano da recarga natural (dependendo da localização) – e, dependendo da forma de exploração, poderá inclusive induzir uma recarga adicional à medida que haja um rebaixamento do nível d'água do aquífero (extração induzindo recarga).
- Entretanto, o aquífero é consideravelmente vulnerável à poluição por atividades em superfície. No

caso de captações onde a qualidade é importante, uma campanha focada em medidas de proteção dessas captações e do próprio aquífero deveria ser implementada.

- O principal impacto da extração intensiva de água subterrânea será o de reduzir o fluxo de base dos rios locais. Por essa razão, seria conveniente reservar somente uma fração da recarga total como "disponível para extração" - embora se o uso da água subterrânea não for consultivo, a redução do fluxo de base poderá ser compensada pelo retorno do efluente, muito embora com implicações à qualidade das águas do rio.

● II - Zona de Recarga Coberta por Basalto

- Nessa zona adjacente muito próxima à Zona I, na qual o arenito é coberto por um basalto relativamente pouco espesso e muito fraturado (tipicamente com espessura <100 m), o SAG exhibe uma condição "semi-confinada", sendo que uma recarga vertical considerável pode ser esperada ou ser induzida por bombeamento (adicionalmente pelo fluxo subterrâneo horizontal, a partir do afloramento principal/ área de recarga).
- Os critérios para o desenvolvimento e gerenciamento do recurso de água subterrânea nessa zona são de muitas maneiras similares aos da Zona I, porém a taxa de recarga a longo prazo será significativamente menor.

● III - Zona Confinada Intermediária

- Nessa zona, nenhuma recarga significativa ocorre (tempo de residência no aquífero sendo >10.000 anos), e a água subterrânea extraída deve ser considerada como uma "mineração" do armazenamento do aquífero – ou seja, sem reposição –, com a superfície potenciométrica caindo continuamente (mas muito lentamente). Como o recurso é quase inteiramente "não-renovável", no entanto, um pequeno volume do fluxo subterrâneo regional poderá ser interceptado e um fluxo adicional induzido a muito longo prazo. As águas subterrâneas são completamente protegidas da poluição antropogênica e extensamente de qualidade potável (embora alguns problemas locais possam ser encontrados).
- Existe grande quantidade de água subterrânea no armazenamento confinado dessa zona – e o volume total explorável é estimado em cerca de 10 km³. Na prática, a taxa de progressão em área e a velocidade do rebaixamento potenciométrico em resposta à extração de água subterrânea serão controladas pelo coeficiente de armazenamento do aquífero. Em áreas onde o topo do SAG não é muito profundo, a exploração por poços adicionalmente poderá drenar os horizontes mais superiores do aquífero (o armazenamento por drenança de água subterrânea disponível são ordens de magnitudes maiores que o armazenamento de descompressão) – tornando o aquífero confinado em drenante-livre.
- O limite dessa zona é definido arbitrariamente como aquele onde o topo do SAG confinado está além de 400 m abaixo da cota topográfica do terreno, porque essa profundidade corresponde ao limite de exploração viável economicamente por bombas convencionais, que não podem bombear níveis dinâmicos mais baixos que essa profundidade. Abaixo desse nível, as águas extraídas somente poderão ser fornecidas do armazenamento e não há possibilidade de extração por drenança.

● IV - Zona Confinada Profunda

- A maioria das considerações discutidas acima em relação à Zona III também se aplicam à Zona IV, mas nessa zona o topo do SAG está abaixo de 400 m de profundidade e a única água subterrânea explorável é, portanto do armazenamento confinado. Abaixo desse nível, a exploração não é tida como econômica exceto para aplicações geotermiais. O volume total do armazenamento confinado está em torno de 40 km³.
- Nessa zona também a água subterrânea é completamente protegida e geralmente de ótima qualidade,

apesar de que em algumas áreas existam algumas complicações geoquímicas e/ou concentrações de elementos traços.

● V - Zona Confinada com Água Subterrânea Salina

- Há uma área extensa na Argentina onde o SAG confinado contém água subterrânea de elevada salinidade. Nessa zona, a água pode ser usada em balneários, assim como em outras aplicações hidrogeotermiais, ou para outros propósitos após tratamento quando economicamente praticável.

Avanços Legais e Institucionais Gerais para a Gestão de Recursos

- A gestão e proteção dos recursos hídricos contam com uma base jurídica adequada (no nível nacional e/ou sub-nacional) nos países de ocorrência do SAG, com a exceção notável das competências claramente especificadas na proteção das águas subterrâneas em áreas de recarga, com influência exercida sobre:
 - a política agrícola, como o motor essencial no uso do solo rural;
 - na tomada de decisão municipal sobre a utilização do solo urbano.Detectaram-se também deficiências generalizadas na regulamentação, nas ferramentas e na capacidade de execução e de aplicação das medidas de gestão das águas subterrâneas.
- Ao longo da implementação do Programa GEF, houve consenso entre os países para o desenvolvimento de um enquadramento legal coordenado, harmonizando assim, as legislações relativas à gestão dos recursos hídricos, reconhecendo as peculiaridades e as diferenças nacionais.
- Tanto o Paraguai quanto o Uruguai são Estados unitários onde a responsabilidade pelos recursos hídricos subterrâneos compete integralmente aos respectivos governos nacionais, e:
 - no Uruguai existe claramente um “Código de Águas” e um decreto específico para tratar da energia hidrotermal e instituir um comitê consultivo - a autoridade competente é a *Dirección Nacional de Aguas y Saneamiento* (DINASA), embora ela não possua jurisdição sobre a poluição;
 - no Paraguai a Lei Nacional da Água tem algumas questões relevantes ainda pendentes de regulamentação - a *Secretaria del Ambiente* (SEAM) possui responsabilidade sobre os recursos hídricos e a *Empresa Reguladora de Servicios de Saneamiento* (ERSSAN), na regulamentação dos serviços de água.Em contrapartida, tanto o Brasil quanto a Argentina são países federativos em que a administração dos recursos hídricos subterrâneos tem sido amplamente delegada aos estados ou aos governos provinciais, mas vários estados/províncias (incluindo algumas de grande porte) ainda não desenvolveram capacidade institucional adequada e/ou não estão muito ativos na sua implementação.
- Esforços significativos foram feitos pelo Programa GEF para mitigar as lacunas na regulamentação das águas subterrâneas e/ou ferramentas, de modo que todos os quatro países-SAG têm mostrado avanços importantes (Tabela 3). Além disso, sete estados brasileiros e três províncias argentinas fizeram imposições específicas de gestão do SAG e resoluções sobre a sua proteção. Um desses casos foi no Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (CBH-PARDO) no Brasil, que levou uma deliberação sobre a criação das áreas de restrição e controle das águas subterrâneas para o Conselho Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo. No entanto, as preocupações sobre a capacidade institucional para a execução continuam sendo significativas. O Projeto SAG também estimulou essa capacidade através da formação e fixação de pessoal, e nos centros acadêmicos, através da implantação de um "fundo especial das universidades" (apoiada pelo Banco Mundial-BNWPP).

Tabela 3 : Fortalecimento das provisões legais e instrumentos regulatórios das águas subterrâneas

	INSTRUMENTO LEGAL	ESCOPO
Argentina	Plano Federal de Água Subterrânea (2009)	• todas as províncias de ocorrência do SAG concordam com o planejamento e a coordenação da gestão das águas subterrâneas
	Lei de Águas Termais de Entre Rios (2006)	• arcabouço regulatório para a gestão dos recursos hidrotermais
	Lei do Aquífero Guarani do Chaco, Corrientes & Misiones (2004, 2004 & 2006)	• provisões legais para o uso e proteção do SAG com declaração do domínio público provincial
Brasil	CONAMA (2005 & 2008)	• classificação de corpos de água (incluindo os subterrâneos) • área de proteção de poços tubulares e controle de fontes potenciais de contaminação
	Deliberação CERH São Paulo (2005)	• criação de áreas de restrição e controle da exploração e uso da água subterrânea
Paraguai	Lei Nacional de Água (2007)	• gestão e proteção dos recursos hídricos
	Resolução SEAM (2005, 2006 & 2007)	• normas técnicas para a perfuração de poços tubulares para exploração de água subterrânea • regulação dos comitês de água • registro nacional do direito da água
Uruguai	Emenda Constitucional (2004)	• domínio público e princípios de gestão das águas subterrâneas
	Lei de Política de Água (2009)	• possibilita a criação de 'comitês' locais de gestão das águas subterrâneas
	Decretos Nacionais (2004 & 2006)	• normas técnicas para perfuração de poços tubulares para exploração de água subterrânea • instalação da Comissão Nacional de Água e Saneamento

- No nível internacional, um importante resultado jurídico do Programa GEF é o acordo para prosseguir a cooperação regional de gestão e proteção do SAG através de:
 - assumir a responsabilidade direta pela continuação das atividades principais, com cada país responsável por fornecer (em coordenação com os outros) as ferramentas e os recursos necessários: gerenciamento de banco de dados - SISAG (Argentina), o monitoramento e modelagem das águas subterrâneas (Brasil), capacitação e divulgação (Paraguai), e coordenação de atividades e escritório-base (Uruguai);
 - continuar as atividades iniciadas nos projetos-pilotos: Concordia/Salto a ser coordenado pela Argentina; Rivera/Santana do Livramento pelo Uruguai; Ribeirão Preto pelo Brasil; e Itapúa pelo Paraguai. Embora tenha havido relutância ou dificuldade para manter os serviços dos *facilitadores* nos projetos pilotos, crítico para a continuidade e eficácia das atividades, uma das opções (que necessita de uma atenção urgente) seria a de nomear alguém responsável dentro (ao invés de fora) das agências existentes.

Escala das Necessidades de Gerenciamento do Aquífero Transfronteiriço

- O Programa GEF confirmou que as reais e potenciais necessidades de gestão e proteção dos recursos hídricos subterrâneos do SAG não apresentam, fundamentalmente, "caráter transfronteiriço interna-

cional"- ainda que existam alguns "hot spots transfronteiriços" entre países, e sem dúvida entre estados distintos no Brasil, que compartilham o aquífero. A necessidade predominante por cooperação federal e internacional aumenta em vista dos benefícios de se compartilharem avanços no entendimento científico e de experiências positivas de gerenciamento - dessa forma, um comprometimento claro por parte dos países envolvidos poderia ajudar a dar continuidade ao desenvolvimento da pesquisa, assim como divulgar o conhecimento obtido.

- Conceitos equivocados sobre o SAG muito difundidos no passado foram dirimidos entre a administração pública e a própria comunidade – em particular sobre o caráter de seus próprios recursos de água subterrânea, a magnitude dos problemas que poderiam afetá-los e o nível mais apropriado de gestão para o seu caso. Um esquema indicativo (Tabela 4) foi, portanto, montado para ilustrar o que segue:
 - os problemas atuais sobre os recursos hídricos subterrâneos transfronteiriços estão estritamente limitados em distribuição e são essencialmente locais em caráter, não apresentando implicações "montante-jusante" maiores – assim as soluções são requeridas por meio de acordos e ação na escala local de atuação;
 - somente com a extensiva intensificação do uso de água subterrânea para irrigação suplementar há algum potencial efeito transfronteiriço no aquífero expandindo o problema de uma escala local para uma escala de bacia. As análises econômicas existentes, entretanto, não apontam que isso ocorra brevemente, exceto em áreas de recarga com nível d'água raso.
- O Programa GEF é, portanto, essencialmente "preventivo" em caráter e "cooperativo" em natureza - não existindo maiores "questões delicadas" para serem resolvidas e muitos benefícios poderão ser alcançados através da cooperação.

Tabela 4 : Necessidades potenciais de gestão de águas subterrâneas transfronteiriças do Sistema Aquífero Guarani em diferentes escalas

AÇÕES COOPERATIVAS DE APLICAÇÃO LOCAL COM BENEFÍCIOS MÚTUOS	SITUAÇÕES REAIS E POTENCIAIS COM EFEITOS TRANSFRONTEIRIÇOS LOCAIS	POSSÍVEIS SITUAÇÕES COM SIGNIFICANTE IMPACTO NA ESCALA DE BACIA
<ul style="list-style-type: none"> • avaliação de incidência/controle da contaminação de origem natural de contaminação (F, As, Rd, Rn) afetando o abastecimento de água potável • definição de estratégias para um eficiente desenvolvimento e gestão sustentável das águas subterrâneas • avaliação da vulnerabilidade à poluição e medidas apropriadas de proteção de aquíferos para zonas de recarga 	<ul style="list-style-type: none"> • contaminação de poços de produção devido à inadequada rede de saneamento e ao descontrole no uso do terreno urbano • impacto em áreas alagadiças e redução do fluxo de base de rios como consequência do uso intensivo potencial da água subterrânea para a irrigação agrícola • deterioração na qualidade e na taxa de recarga como resultado da mudança extensiva no uso agrícola do solo, cultura e reflorestamento por eucalipto 	<ul style="list-style-type: none"> • problemas adjacentes poderiam aumentar se políticas agrícolas e de mercado favorecessem o intenso e extensivo uso do terreno e/ou da água subterrânea – mas com poucas chances de grandes impactos ambientais transfronteiriços, a menos que sejam confirmadas algumas dependências ecológicas críticas do SAG
<ul style="list-style-type: none"> • avaliação das opções econômicas e eficientes para o uso de energia geotermal 	<ul style="list-style-type: none"> • redução no artesianismo e no geotermalismo do aquífero devido à exploração desordenada de poços de aproveitamento termal 	

GESTÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA PRÁTICA – PROJETOS PILOTOS

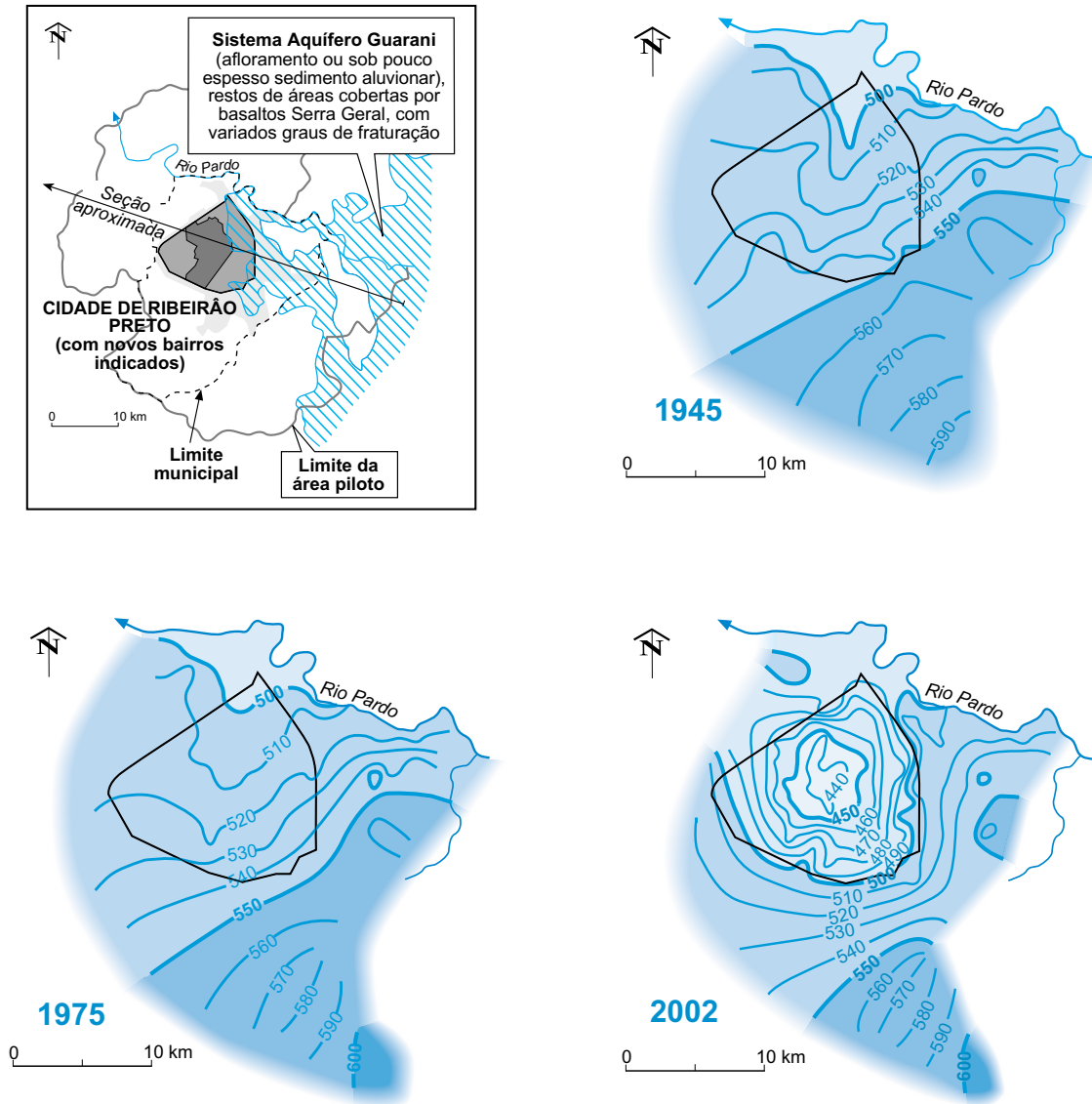
Identificação das Medidas Necessárias em Diferentes Locais

- Cinco experiências de gestão e proteção da água subterrânea no SAG são aqui apresentadas (Figura 5):
 - quatro desenvolvidas pelo Programa GEF através de *Facilitadores* de Projetos Locais ou “campeões” – dos quais dois envolvem fronteiras internacionais
 - um que envolve cooperação internacional (Brasil-Paraguai), com suporte técnico alemão.Dos cinco projetos pilotos, quatro estão situados nas Zonas de Gerenciamento do Recurso I e II e um na Zona IV.
- Estes projetos pilotos englobam uma gama ampla de questões relacionada à gestão do recurso e à proteção da qualidade, e buscam identificar soluções aos problemas em escalas específicas, capazes de serem implementadas por acordos institucionais locais.

Ribeirão Preto (Brasil)

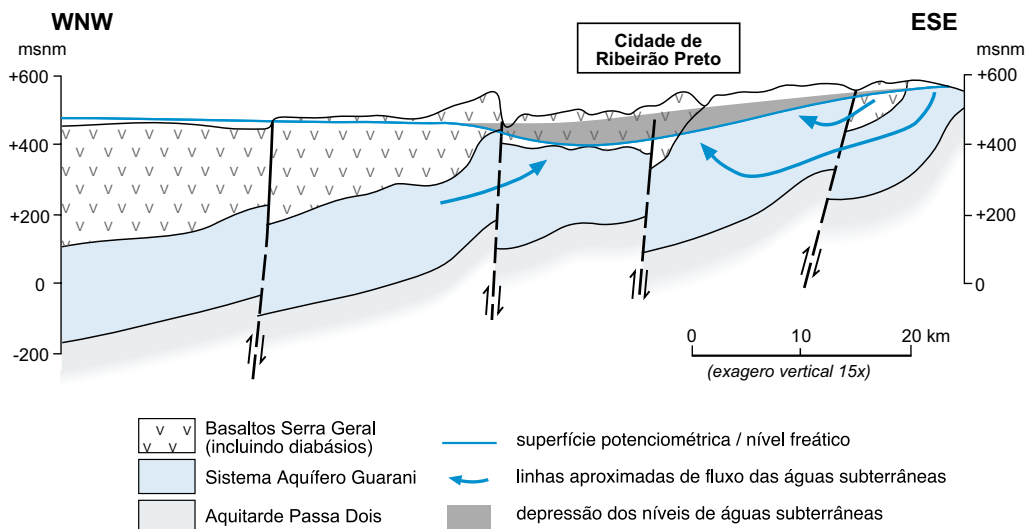
- O Projeto Piloto Ribeirão Preto está centralizado no município homônimo, localizado no nordeste do Estado de São Paulo. Ribeirão Preto tem uma população de 547.000 habitantes, área de 652 km², da qual 137 km² estão no afloramento do SAG, e o restante recoberto principalmente pelos basaltos da Formação Serra Geral (Figura 6). O Projeto Piloto todo cobre uma área de 2.920 km², com população de 766.000 habitantes (2007), que de acordo com as projeções do governo deve dobrar até o ano de 2045. O território do projeto recai sob várias jurisdições municipais.
- A região é grande produtora agrícola, sendo a cana-de-açúcar (para refino de açúcar e produção de álcool), o café e a laranja as maiores plantações. A cidade é um importante centro industrial possuindo grandes usinas de produção de álcool para combustível, indústrias e serviços na área de agricultura e uma grande variedade de empresas de manufatura.
- A recarga da água subterrânea ocorre quando o volume de água da chuva, que infiltra nos afloramentos de arenito, é maior que a evapotranspiração, geralmente entre os meses de novembro e março, a uma média aproximada de 250 mm/ano. Estudos abrangentes e detalhados conduzidos nesta área concluíram que ocorre muito pouca recarga do SAG através dos basaltos da Formação Serra Geral, geralmente quando a espessura contínua não excede a 30 m.
- O SAG é explorado por mais de 1.000 poços tubulares. O Departamento de Águas e Esgoto (DAERP) possui 95 poços em operação, produzindo ao redor de 127 Mm³/ano. Entretanto, não se sabe o volume total de água subterrânea explorado. Estima-se que cresceu de 45 Mm³/ano em 1967, a 96 Mm³/ano em 1996 e a 133 Mm³/ano em 2007. Para toda a área do Projeto Piloto (incluindo os outros municípios), o volume total de água explorado alcançou 186 Mm³/ano em 2007.
- A exploração de água subterrânea e o rebaixamento dos níveis potenciométricos reduziram a descarga do aquífero aos rios, e foram parcialmente substituídas pela descarga de águas provenientes de esgoto. Em uma extensa área da cidade, a recarga é excedida pela exploração, e os níveis de água baixaram cerca 30-40 m desde 1970 (Figura 7), ocasionando os seguintes efeitos:

Figura 6 : Evolução dos abatimentos dos níveis potenciométricos no município de Ribeirão Preto



- aumento no custo operacional do abastecimento de água e menor eficiência dos poços, devido a queda dos níveis de água;
 - aumento dos riscos de contaminação da água subterrânea, pois os rios anteriormente efluentes tornaram-se influentes.
- A qualidade da água dos poços profundos (DAERP) é tida como boa, possui excelentes resultados microbiológicos, excepcional baixa salinidade ($60 \mu\text{S}/\text{cm}$), levemente ácida (pH 5,5-7,0) e as concentrações de nitrato não ultrapassam $10 \text{ mg}/\text{l NO}_3\text{-N}$. Herbicidas móveis (como tebuthiuron, diuron, ametrine, etc.) amplamente aplicados nas plantações de cana de açúcar não foram ainda detectados em amostras de água subterrânea, assim como solventes clorados usados em indústrias. Entretanto, a maior parte dos poços do DAERP está localizada onde o SAG está protegido pelo aquitarde basáltico. Na

Figura 7: Seção hidrogeológica da área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto (Brasil)



região de afloramento, muito mais vulnerável, a zona vadosa é geralmente espessa (frequentemente entre 30 e 60 m) e tem aumentado com a queda dos níveis freáticos. Portanto, a poluição da água subterrânea por contaminantes persistentes provenientes de efluentes urbanos, industriais e da agricultura podem ainda não ter percolado até os profundos filtros dos poços tubulares, o que pode levar várias décadas.

- Os assuntos necessários que precisam ser abordados são:
 - promover um plano de uso da terra na área de recarga do SAG compatível com sua função primária de fornecer água de baixo custo, alta qualidade e prioritariamente para o abastecimento público. Este plano deve ser baseado em mapeamento de vulnerabilidade e criação de perímetros de proteção de poços;
 - avaliar os riscos aos recursos hídrico subterrâneos devido aos atuais processos de saneamento, atividades industriais e práticas agrícolas; promover ações para o manejo de qualquer risco identificado e confirmado. Em particular, o ciclo da água em áreas urbanas deve ser mais bem entendido e gerido desde o abastecimento público até o reuso de efluentes;
 - restringir a demanda pela exploração de água subterrânea – a demanda média atual é alta (350 l/d/hab) e a demanda municipal deve aumentar para 187 Mm³/a em 2030, resultado do crescimento populacional, para 867.000 habitantes. Portanto, ações precisam ser tomadas para aliviar a pressão sobre os aquíferos e manter uma área mínima protegida para o interesse do abastecimento público de água;
 - considerar a possibilidade de produção de água subterrânea em campo de poços situados na área mais protegida e confinada do SAG, em parte para substituir as fontes existentes em lugares com alto risco de poluição, assim como reduzir a intensa interferência hidráulica entre os poços na área central da cidade.
- Alguns importantes avanços já feitos incluem:
 - restrição na perfuração de novos poços no município de Ribeirão Preto até a definição das políticas de gestão, em um acordo entre o DAEE (Departamento de águas e Energia Elétrica - Estado de São Paulo) e a Prefeitura;
 - estabelecimento de uma rede de poços de monitoramento (usando antigos poços de produção) pelo DAERP.
- A Lei Estadual de águas subterrâneas e os decretos do município de Ribeirão Preto fazem várias provisões para a gestão e proteção do recurso subterrâneo. Mas embora tenha suporte legal, ainda é pouco imple-

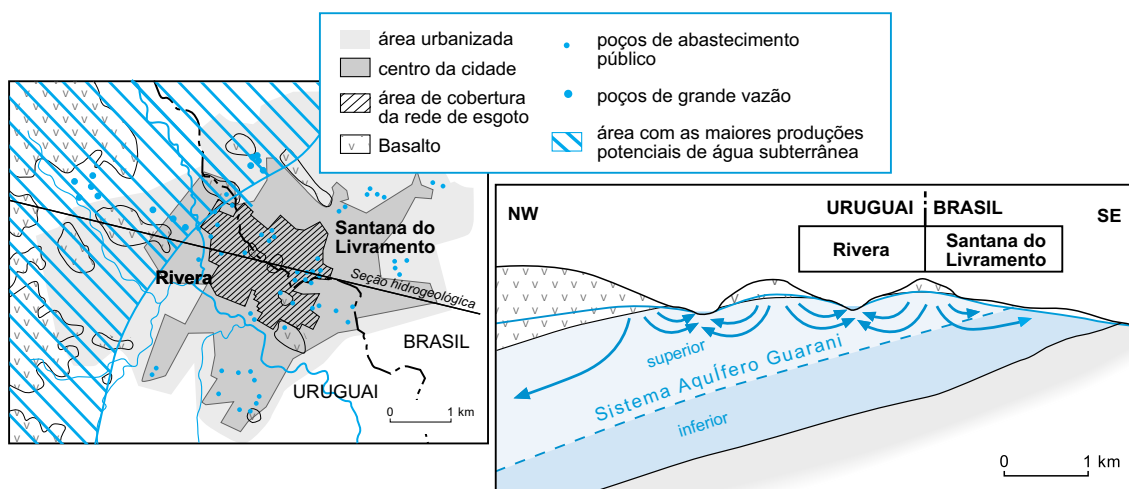
mentado na prática e necessitam de maior integração, aplicação e execução por parte de uma cooperação institucional e envolvimento de interessados. Em adição, várias iniciativas locais estão contribuindo para o desenvolvimento de uma visão mais holística do futuro:

- o Comitê da Bacia Hidrográfica do Pardo (CBHP) está promovendo ações para restringir a demanda por água da população urbana;
- o Instituto Geológico de São Paulo (IG SMA-SP), com o suporte técnico alemão, avaliou a vulnerabilidade dos aquíferos, o risco à poluição e definiu, a nível piloto, perímetros de proteção de poços.

Rivera (Uruguai) – Santana do Livramento (Brasil)

- O Projeto Piloto Rivera/Santana do Livramento (Figura 8) localiza-se na fronteira entre Uruguai e Brasil (Estado do Rio Grande do Sul), nas cidades de Rivera e Santana do Livramento. Juntas possuem uma população de 162.000 habitantes e funcionam como uma única área urbana (por exemplo, usam o mesmo sistema de eletricidade e serviços de emergência). A atividade econômica é baseada principalmente na agricultura, com gado e ovelhas para produção de couro, carne e lã, plantações de milho e soja, e no lado uruguaio, reflorestamento para produção de madeira para celulose.
- Os afloramentos do SAG se estendem por uma grande área. O restante é recoberto por uma fina camada de basalto e o limite é definido por um baixo, mas inclinado divisor de águas. O nível freático do aquífero é raso, com fluxo da água subterrânea natural na direção nordeste. O fluxo preferencial das águas subterrâneas concentra-se nas profundidades entre 40 e 80 m, no horizonte mais permeável do aquífero, muito embora, isso deve estar sendo modificado, devido à perda de nível em 5-10 m nos últimos 10 anos (Figura 8).
- O SAG é a principal fonte de água. Existem cerca de 300 poços, incluindo os da *Obras Sanitarias del Estado* (OSE) em Rivera e do Departamento de Águas e Esgoto em Santana do Livramento (Figura 8), que fornecem 7,3 e 8,7 Mm³/ano (70 % e 100 % do total) respectivamente em 2002. O abastecimento público cobre mais de 95 % da população, porém condomínios e grandes propriedades possuem seu próprio poço a fim de se prevenir contra falta de água e reduzir custos. Esta prática foi proibida no Rio

Figura 8: Mapa esquemático da infraestrutura de abastecimento de água e seção hidrogeológica da área do Projeto Piloto Rivera (Uruguai)-Livramento (Brasil)



Grande do Sul pela Declaração Sanitária em 1974 e reforçada pela Lei Federal de 2005, como precaução de que poços mal construídos explorando níveis rasos do aquífero poderiam apresentar perigo à saúde. Porém a proibição se mostrou questionável juridicamente e não será implementada até existir um pronunciamento final.

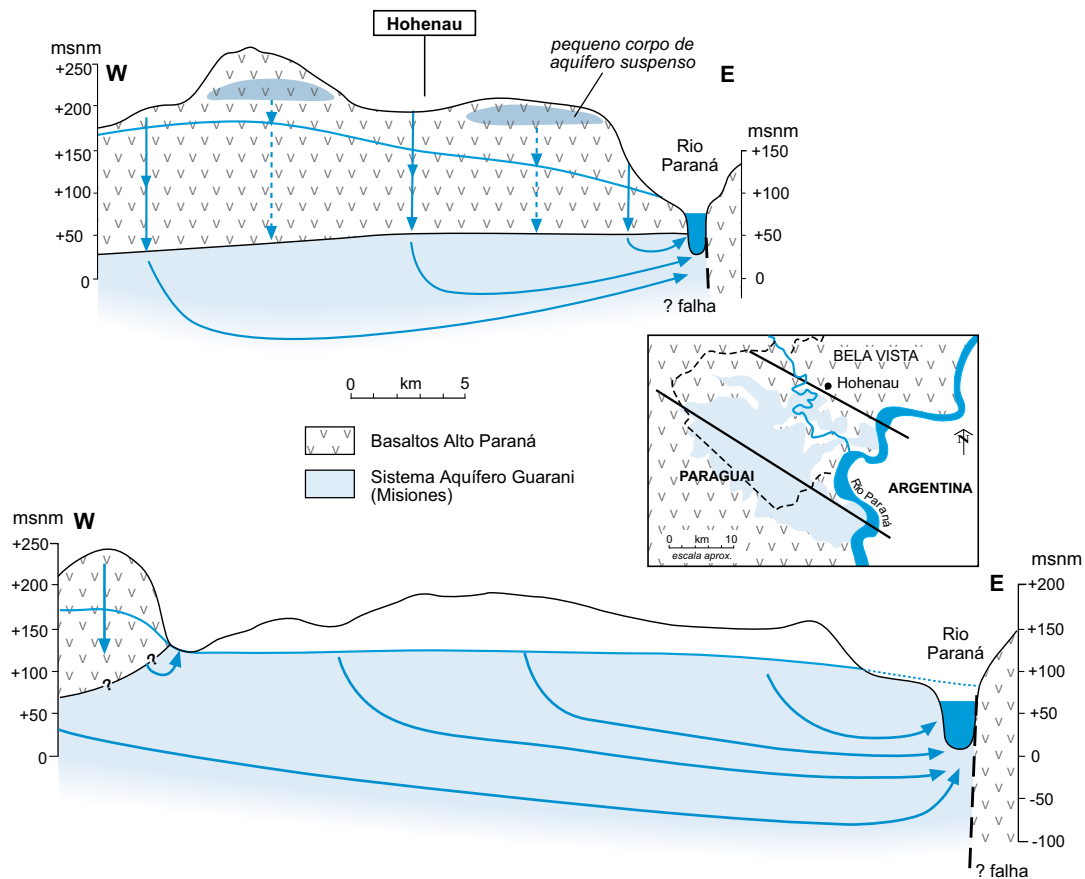
- A qualidade da água subterrânea é excelente, com baixa mineralização de CaHCO_3 (80 mg/l) e valores médios de $\text{Cl} = 33$ mg/l, $\text{SO}_4 = 4$ mg/l and $\text{Na} = 6$ mg/l, porém baixo pH (menor que 6,0) e altas concentrações de NO_3 (algumas acima de 10 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$). O principal problema na gestão das águas subterrâneas é a falta de sistemas de esgoto, que acarreta um grande aporte de água contaminada ao aquífero de alta vulnerabilidade, seja diretamente a partir de fossas ou indiretamente de córregos poluídos. Portanto, espera-se, a longo prazo, problemas potenciais com nitrato, cloreto e compostos orgânicos persistentes, caso essa situação persista. O histórico de disposição de resíduos sólidos municipais, a infiltração de alguns efluentes industriais (provenientes de madeireiras e abatedouros) e a presença de um número significativo de postos de combustível mal mantidos representam perigo à água subterrânea.
- O sistema de coleta de esgoto é restrito a 30 % e 40 % da população de Rivera e Santana do Livramento respectivamente, gerando um aporte substancial de esgoto sobre uma extensa área urbana. Ademais, muitas fossas são mal construídas ou localizadas (restrita capacidade de infiltração, níveis freáticos muito elevados), causando a retenção inadequada e vazamentos em certas áreas e a problemas de insegurança sanitária em ruas e passeios públicos. Ambas as cidades estão se esforçando para ampliar o sistema de esgoto (a OSE está ampliando de 30 % a 50 % o sistema), porém o processo não é simples devido a alguns fatores:
 - terreno acidentado que necessita de diversas sub-estações de bombeamento, aumentando o custo e problemas de operação;
 - baixa densidade populacional fora da área urbana, aumentando o custo unitário do sistema de esgoto;
 - relutância de parte da população para custear a ligação entre a propriedade e a rede principal quando instalada e/ou para pagar a taxa anual de manutenção, quando conectado;
 - ligações ilegais provenientes de telhados e pátios de residências na rede de esgoto, causando sobrecarga do sistema, grande carga de sedimentos e *by-pass* nas estações de tratamento, em intensos episódios de chuva.Assim, é incerto se um aumento do investimento resultará em uma melhora significativa de proteção dos aquíferos.
- A OSE e o DAE têm poços de alta produção (>100 m³/h) no SAG, em áreas restritas a oeste da cidade, próximas à escarpa dos basaltos, onde o sedimento é espesso e permeável. O volume proveniente desta região corresponde a 30 % do total. Esta localidade, que está além dos limites da área urbana, está preparada para o desenvolvimento de campo de poços e estabelecimento de área especial de proteção à água subterrânea. Esta abordagem permite uma maior segurança no abastecimento de água, reduzindo a dependência nos inúmeros poços dispersos na área urbana, que estão sob grande risco de contaminação, independente das decisões de ampliação do sistema de esgoto. Uma questão que se apresenta é onde os poderes legais e institucionais declararão essas áreas de proteção (perímetros) de poços (de vários km² de extensão), uma vez que, sendo nessas áreas o uso econômico será restringido, causando reações da população, particularmente do setor imobiliário, contra os governos locais ou municipais.
- Os principais ensejos a médio prazo para o Projeto Piloto são:
 - estabelecer áreas/perímetros de proteção ao redor das principais captações de abastecimento público de água, com planejamento do uso da terra apropriado (rural e urbano), para assegurar a sustentabilidade

- e proteger o investimento nas fontes e na infra-estrutura associada;
 - criar um plano de ação e de investimento para melhorar o saneamento urbano tanto para esgoto, como resíduos sólidos, incluindo onde melhorar a cobertura da rede de esgoto e medidas de controle nas áreas vulneráveis do aquífero, com interesse na preservação da qualidade da água subterrânea.
- De acordo com o último acordo internacional (*Acordo sobre Cooperação Brasil-Uruguai em Matéria Ambiental de 1992*), a *Comissão Transfronteiriça do Aquífero Guarani (COTRAGUA)*, com representação das cinco organizações interessadas de cada lado (incluindo governos locais, entidades de águas – OSE e DAE, perfuradores de poços, ONGs, agricultores, organizações de hidrologia e saúde pública) foi criada com a seguinte função:
 - ajudar no levantamento de dados técnicos, econômicos e jurídicos;
 - participar na gestão da água subterrânea, auxiliando, por exemplo, na denúncia de construção de poços ilegais e descargas de poluentes;
 - coordenar os esforços locais para o desenvolvimento de capacidades técnicas entre os interessados.
 A COTRAGUA finalizou suas atividades desde que o Programa GEF terminou. A falta de *facilitadores* locais e de coordenação estadual ou nacional são algumas das alegações apontadas. Portanto, a interação e troca de informações entre o DAE e DINASA não estão ocorrendo.

Itapúa (Paraguai)

- O Projeto Piloto do Departamento de Itapúa engloba predominantemente áreas de agricultura e pecuária no extremo sudeste do Paraguai, com pluviosidade média de 1.600 mm/a. A área foi originalmente ocupada por índios guaranis, com importantes lugares da colonização hispânica (ruínas das missões jesuítas). Hoje há uma população de 45.000 habitantes em duas pequenas cidades: Hohenau e Trinidad.
- O SAG aflora em cerca de 40 % da área do Projeto Piloto (de 800 km²), o resto é recoberto por camadas de espessura variável de derrames basálticos (Figura 9). Cerca de 60 poços foram cadastrados pelo *Servicio Nacional de Agua y Saneamiento (SENASA)*, com suporte da cooperação técnica alemã. Os poços apresentam profundidades entre 70 e 120 m, mas podem alcançar até 300 m em áreas com espessa camada de basaltos. Os poços, incluindo alguns de abastecimento público, apresentam contaminação por nitrato.
- A área presenciou grandes mudanças no uso do solo nos últimos 30 anos:
 - 1975-80: rápido desmatamento para produção de madeira e pecuária, facilitada pela construção da primeira ponte sobre o rio Paraná que facilitou a exportação;
 - década de 1990: rápida expansão da área cultivável devido a extensa introdução do sistema de rotação soja e girassol/milho fornecendo maiores lucros do que a pecuária (especialmente por causa dos excelentes solos lateríticos sobre os basaltos, onde o valor das terras rurais tem aumentado, chegando recentemente a cerca de US\$ 4 mil/ha);
 - década de 2000: extensa introdução nos campos aráveis do plantio direto, reduzindo a erosão do solo, porém necessitando de aplicação pesada de herbicidas como o glifosato.
 Estas mudanças causaram impactos hidrológicos importantes (como registrado pelo macro monitoramento no sistema de águas superficiais), mas os efeitos nas águas subterrâneas ainda são desconhecidos.
- O Projeto Piloto é relevante para o planejamento do uso do solo, produção agrícola e gestão dos recursos hídricos em grandes extensões do Mercosul – e seus principais objetivos são:

Figura 9 : Seção hidrogeológica da área do Projeto Piloto de Itapúa (Paraguai)

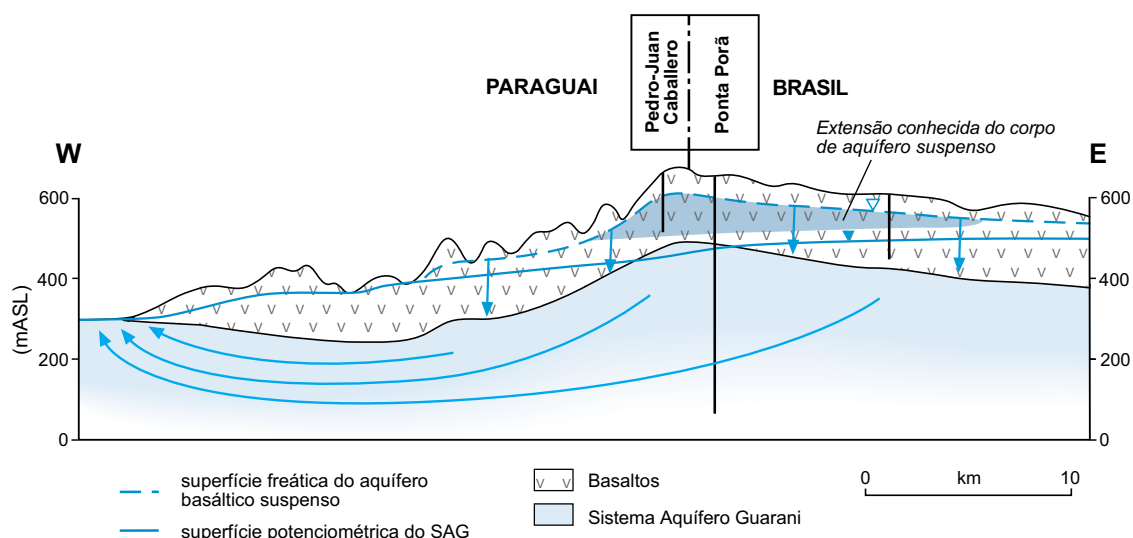


- revisar a evolução agroeconômica da área desde 1960, incluindo mapeamento do uso do solo, mudanças nos cultivos agrícolas, para confirmar a intensificação no cultivo de soja e sua relação com as condições hidrogeológica e pedológica;
 - classificar os pesticidas mais utilizados, com base na sua solubilidade e mobilidade no solo, e então avaliar (usando dados de intensidade típica das chuvas e o tempo de aplicação) a probabilidade de estes terem sido lixiviados para a água subterrânea nos perfis típicos de solo, desenvolvidos sobre afloramentos de arenito e de cobertura de basaltos;
 - estabelecer uma rede de piezômetros rasos para o monitoramento das águas subterrâneas e poços nos aquíferos arenítico e basáltico, analisar a água para determinar a extensão da lixiviação anterior e atual para o aquífero;
 - avaliar os procedimentos usados no desenvolvimento e proteção dos recursos hídricos subterrâneos para o abastecimento público e desenvolver e operar sistemas de saneamento para pequenas cidades.
- A participação de agentes chaves nacionais e locais dos setores agrícolas e de água, junto com representantes do governo local e líderes comunitário, é fundamental para se alcançar os objetivos. Ao final do Programa GEF, estes objetivos tinham sido apenas parcialmente alcançados. Entretanto, a Comissão do Projeto Piloto está participando do *Consejo de Aguas de Capibarii*, como uma unidade técnica em assuntos de águas subterrâneas e, portanto, as atividades continuam através do envolvimento de outras instituições como o *Gobernación de Itapúa*.

Pedro-Juan Caballero (Paraguai) / Ponta Porã (Brasil)

- O Projeto Piloto de Pedro Juan Caballero/Ponta Porã localiza-se na fronteira entre Paraguai e Brasil, abrangendo o entorno destas cidades fronteiriças que juntas têm uma população de aproximadamente 135.000 habitantes e uma taxa de crescimento maior que 1 %/ano e cerca de 2 %/ano, respectivamente. A economia na faixa de fronteira urbana é dominada pelo comércio e setor de serviços, que tem um bom potencial de desenvolvimento em uma região próspera com bons solos agrícolas e uma precipitação anual média de cerca de 1.200 mm /ano. No lado brasileiro, o uso da terra e a produção agrícola do Mato Grosso do Sul já são dominados pelo plantio intensivo de soja e rotações de cereais, juntamente com a criação de gado, enquanto que o desmatamento no lado paraguaio para esses fins veio somente mais tarde e ainda ocorre (Figura 4).
- Na maior parte da área, o SAG é coberto por mais de 100 m de basaltos (afloramentos apenas no extremo oeste), e a água subterrânea apresenta uma condição de confinamento (mas não apresenta artesianismo) (Figura 10). A faixa de fronteira segue o divisor de águas da Serra/Sierra de Amambai. A parte superior do basalto é suficientemente fraturada e intemperizada para formar um aquífero semi-independente em grande parte da área, possibilitando a recarga do SAG, que escoam em direção a oeste, com o fluxo das águas subterrâneas indo do Brasil ao Paraguai sob um gradiente hidráulico de 6-7 m/km.
- As águas subterrâneas dos basaltos é atualmente a principal fonte de abastecimento de água urbana, com mais de 100 poços de água (principalmente entre 70-120 m de profundidade), incluindo os da *Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay* (ESSAP) e do *Servicio Nacional de Agua y Saneamiento* (SENASA) em torno de Pedro Juan Caballero e da Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul (SANESUL) em Ponta Porã, que pode produzir um total de 1.200 m³/h ou mais. No entanto, não existe um sistema principal de coleta de esgotos em Pedro Juan Caballero e em Ponta Porã. Com isso, toda a deposição das águas residuais urbanas infiltra-se diretamente no solo através de unidades de saneamento *in situ*, afetando assim, o aquífero basáltico, que mostra sinais de poluição, causando o abandono de alguns poços de captação de água.

Figura 10: Seção hidrogeológica da área do Projeto Piloto de Pedro Juan Caballero (Paraguai) – Ponta Porã (Brasil)



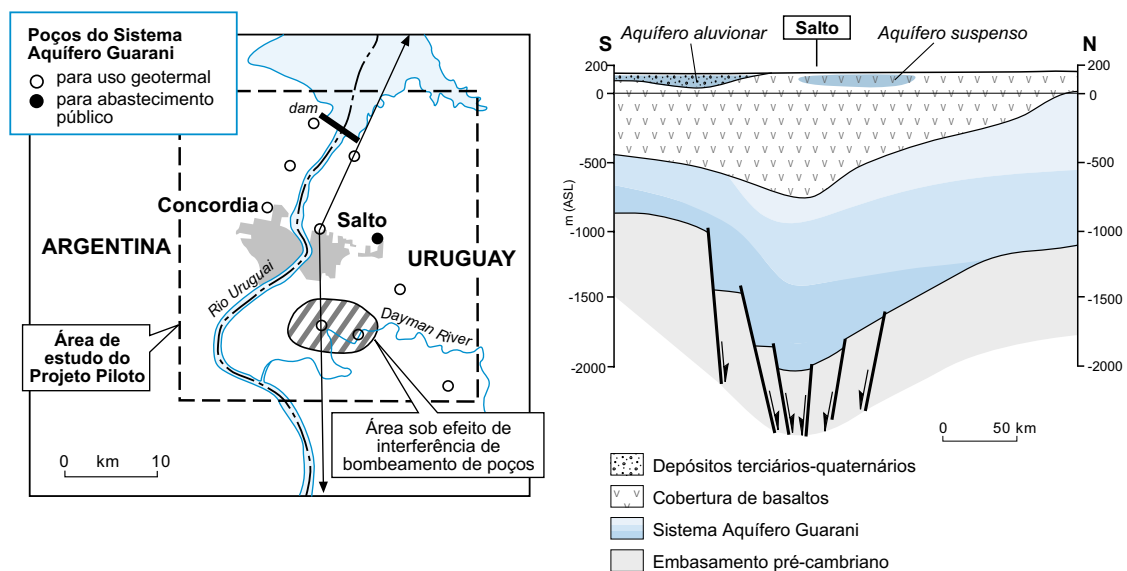
- A solução mais satisfatória seria a instalação de um pequeno número de poços de captação de água bem construídos na porção semi-confinada do SAG e a proteção de sua zona de captura (PPP) para prevenir a contaminação. A SANESUL recentemente concluiu a construção do primeiro poço profundo (750 m) que pode produzir sozinho um adicional de 260 m³/h.
- O primeiro seminário transfronteiriço de água e gestão ambiental foi realizado em fevereiro de 2009, com a participação de especialistas em água subterrânea e representantes dos interessados de ambos os lados da fronteira, onde se concluiu pela necessidade de:
 - finalizar o inventário de poços de captação de água e a criar um banco de dados hidrogeológicos com o estabelecimento de um modelo conceitual e numérico local de fluxo do SAG, além de uma rede de controle aperfeiçoada para medição dos níveis de água subterrânea, da qualidade e de sua utilização;
 - utilizar os recursos do SAG para o abastecimento público, exigindo um estudo de viabilidade e planos para a implantação dos poços de produção, além da necessidade de uma política com abordagem comum para racionalizar o desenvolvimento de tais recursos;
 - implementar medidas para reduzir a carga contaminante no aquífero basáltico, especialmente na área urbana onde ele deverá continuar como a “única fonte” de abastecimento de água;
 - informar o público em campanhas de sensibilização para obter apoio na aplicação mais rigorosa da legislação e dos regulamentos ambientais existentes em vigor, além de facilitar a implementação de medidas de proteção das águas subterrâneas no futuro.

Concordia (Argentina) – Salto (Uruguai)

- O Projeto Piloto Concordia/Salto ocupa uma extensa área (500 km²) em ambas as margens do rio Uruguai, em faixa de fronteira Argentina-Uruguai. Nesta área, o SAG encontra-se sob uma camada de 800-1000 m de basalto (Figura 11), com as águas subterrâneas exibindo artesianismo e evidente potencial geotérmico (temperaturas de 44-48° C). Os poços hidrotermais têm uma vazão normalmente na faixa de 100-300 m³/h com uma profundidade de até 1.400 m. Nessas cidades, o SAG não é suficientemente explorado para o abastecimento público. As estações de tratamento no rio Uruguai atendem a demanda que é complementada por poços rasos localizados no depósito terciário/quaternário de pouca espessura e em outras captações no topo fraturado dos basaltos do Serra Geral. Estes poços são utilizados para o abastecimento público e irrigação em pequena escala.
- Essa é a parte mais povoada da fronteira entre os dois países, com cerca de 256.000 habitantes, divididos entre Salto (99.100) e Concordia (157.000). As principais fontes de renda estão na citricultura e na horticultura, ambas em expansão, juntamente com o turismo hidrotermal. Salto (Uruguai) é o local com o turismo termal mais desenvolvido no Mercosul com uma história de mais de 20 anos. Até o final de 1990, o número de turistas chegou a 368.000/ano gerando uma renda anual de US\$ 58 milhões e a geração de 3.500 empregos (diretos e indiretos). Em contraste, Concordia (Argentina) só iniciou o mesmo tipo de atividade recentemente.
- O Projeto Piloto visa fornecer as bases para o uso sustentável e eficiente dos recursos hidrotermais do SAG e os principais problemas a serem enfrentados são:
 - interferência hidráulica entre os poços hidrotermais vizinhos (existem 8 poços em uma área relativamente restrita, extraíndo juntos 2,9 Mm³/ano), o que pode reduzir (e eventualmente eliminar) o efeito de artesianismo que é uma atração turística especial;

- forte redução na carga hidráulica dos poços causada por qualquer incremento na exploração e perfuração de novos poços, como atestam algumas simulações numéricas realizadas, com base nos dados hidrogeológicos escassos. Dessa forma, qualquer plano para aumentar a exploração deve ser feito com base em um estudo muito cuidadoso;
 - risco de aumento de salinidade pela mistura das águas (nas Termas de Daymán foi observado durante 1992-2000 um incremento de Na e Cl de 135 para 205 mg/L e de 100 para 200 mg/l, respectivamente) e/ou pela intrusão vinda do sudeste (onde o SAG contém águas termais com salinidade natural alta). É importante ressaltar que a água do SAG apresenta nessa região altas concentrações naturais de As (20-40 µg/l), superiores aos padrões de água potável;
 - falta de gestão de uso e demanda da água nos spas, com a necessidade de divulgação de práticas mais eficientes para o uso das águas termais (incluindo a reciclagem da água para o cultivo de jardim, espaço para aquecimento de estufas, criação de peixes e instalações do hotel) e assegurar a descarga segura dos efluentes.
- Entretanto, já foram feitos progressos importantes no que diz respeito à adoção conjunta de:
 - normas adequadas para o projeto, construção e operação de poços hidrotermais de modo a se evitar a perda desnecessária de água quente ou de pressão do poço artesiano, além da penetração de águas rasas com baixas temperaturas;
 - estabelecer uma distância mínima de 2 km entre os poços hidrotermais.
 - Um Comitê do Projeto Piloto, composto por representantes do governo local (municípios), pelas agências nacionais/federais e provinciais de recursos hídricos e pelas associações de usuários das águas geotérmicas e centros acadêmicos, foi instituído com as seguintes funções:
 - contribuir no desenvolvimento de material técnico, econômico e jurídico relevante e sua disseminação para a comunidade e o treinamento dos interessados;
 - ser o ponto focal para o necessário controle social e para a promoção da participação da comunidade na tomada de decisões na gestão das águas subterrâneas, incluindo a denúncia na construção de poços ilegais.

Figura 11: Esboço do mapa e seção hidrogeológica da área do Projeto Piloto Concórdia (Argentina)/ Salto (Uruguai)



- O atual regime institucional de gestão das águas subterrâneas em cada lado da fronteira internacional é distinto. Na Argentina a responsabilidade está com a *Secretaria de Recursos Hídricos de Entre Ríos* e nos departamentos federais, e no Uruguai, através das *Direcciones Nacionales de Aguas y Saneamiento & Medio Ambiente* (DINASA & DINAMA). Mas as respectivas disposições legais têm muitos pontos em comum e poderiam facilmente ser a plataforma para o desenvolvimento de um conjunto de normas jurídicas equivalentes.
- Desde que o Programa GEF terminou, o Comitê Transfronteiriço local suspendeu as atividades e o motivo alegado foi a falta de um *facilitador*. Na Argentina, o governo local (município de Concórdia), com ajuda técnica do governo provincial apóia as atividades locais e criou uma unidade de trabalho com um escritório técnico e pessoal competente. No Uruguai, o governo local (município de Salto) tem intenções semelhantes e as autoridades nacionais têm manifestado que uma unidade do Sistema Aquífero Guaraní poderia ser criada dentro das provisões da nova Lei de Política da Água.

Disposições legais e institucionais para a continuidade dos Projetos Pilotos

- Os principais avanços institucionais gerados pelo Programa GEF em matéria de gestão das águas subterrâneas, a nível local, juntamente com as recomendações para o seu acompanhamento no atual quadro estão resumidos na Tabela 5. A base jurídica para a 'Comissão de trabalho local' provém dos estados ou províncias, que possuem a responsabilidade pela gestão dos recursos hídricos em geral, e em particular, pela gestão de águas subterrâneas.
- O Programa GEF tem demonstrado, através de seus projetos-piloto, como o gerenciamento local deve ser configurado, e também apresentou diversas ferramentas úteis de gestão (como os sistemas de informações, manuais técnicos, etc.). Da mesma forma, ajudou a reforçar o núcleo institucional para o futuro gerenciamento local, e agora, os próprios países têm interesse em se organizar a partir deste modelo. Além disso, como visto em Concordia-Salto, Rivera-Santana do Livramento, Ribeirão Preto e Itapúa, a participação das autoridades nacionais e estaduais/provinciais tem sido essencial para alcançar esse progresso.
- A nível nacional e estadual/provincial, cada país tem os regulamentos necessários e instituições competentes para mobilizar a gestão das águas subterrâneas e a sua proteção, sendo que a cooperação entre os países é contemplada através dos tratados internacionais existentes. Mas localmente, os acordos atuais do Projeto Piloto, a capacidade institucional e a participação das partes interessadas em Concordia-Salto e Rivera-Santana do Livramento terão de ser reforçadas para a implementação efetiva da gestão das águas subterrâneas e das medidas de proteção necessárias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS: AS PRIORIDADES PARA UMA COOPERAÇÃO INTERNACIONAL

- O caráter fundamental do Programa GEF é que ele foi preventivo em sua essência e cooperativo, em seu espírito. Três aspectos merecem ser reiterados:
 - a importância de ter abordado a necessidade de entendimento comum adequado, uma vez que isso representava uma ameaça à cooperação para a conservação, proteção e uso sustentável das águas subterrâneas e dos recursos hidrotermais;
 - a promoção de ações relevantes e concretas para a gestão na escala local, com a integração transfron-

Tabela 5 : Avanços institucionais do Programa GEF para melhora da gestão local da água subterrânea

PROJECTO PILOTO	AVANÇOS	RECOMENDAÇÕES
Concordia-Salto (Argentina-Uruguai)	<ul style="list-style-type: none"> • comitê local transfronteiriço (com agências em cada país) instalado para apoiar as atividades do Projeto Piloto (CLAP) – embora inativo desde o final do Programa GEF • municípios concordam no cadastro de perfuração de poços de produção profundos e no controle de qualidade para a água de re-uso e descarga de efluentes 	<ul style="list-style-type: none"> • acordos necessários entre os municípios para ser implementado para ações específicas (por ex. amostragem, análises, monitoramento, etc.) • normas técnicas para perfuração de poços tubulares profundos poderiam ser reforçado pela incorporação nos regulamentos provinciais de Entre Ríos • considerar a cobrança de taxas para apoiar o fortalecimento da gestão a nível local
Itapúa (Paraguai)	<ul style="list-style-type: none"> • comitê local instalado para apoiar as atividades do Projeto Piloto (CLAP) • interação relevante desenvolvida entre governo local, <i>stakeholders</i>, acadêmicos, autoridades municipais, etc • Interação da CLAP com a <i>Comisión Aguas del Arroyo Capiibary</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • controle das atividades deveriam ser delegadas do município para o suporte técnico da CLAP • acordo entre a universidade (FUCAI) e o governo nacional (SEAM) poderia ser implementado para o monitoramento, etc. • divulgação da nova Lei de Água entre <i>stakeholders</i> com apoio da CLAP
Ribeirão Preto (Brasil)	<ul style="list-style-type: none"> • normas e regulamentos federais e estaduais foram implantados no local, em paralelo com o desenvolvimento de medidas de proteção e controle específicos, com apoio do Comitê de Bacia do Rio Pardo (CBRP) 	<ul style="list-style-type: none"> • envolver autoridades de todos os níveis no CBRP para articular ações necessárias com respeito ao controle municipal de uso do solo • reforçar controle regulatório através da disseminação de fóruns com apoio do CBRP • fortalecimento institucional e treinamento em gestão de território, ambiente e recursos hídricos
Rivera-Santana do Livramento (Uruguai-Brasil)	<ul style="list-style-type: none"> • comitê transfronteiriço local foi instalado para apoiar as atividades do Projeto Piloto – embora inativo desde o final do Projeto GEF, acordo internacional sobre águas compartilhadas e medidas gestão ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • acordo de cooperação internacional poderia ser implementado para ações específicas, tais como troca q de informação sobre o regime de exploração de poços • COTRAGUA poderia articular modificações nos planos de uso de água e ocupação de terreno baseadas na informação gerada no Programa GEF

teiriça adequada, permitindo assim, gerar experiências de boas-práticas que podem ser replicadas em outras áreas, se necessário;

- a viabilidade em tomar medidas com base nas informações existentes, sob o atual enquadramento jurídico e institucional, enquanto paralelamente melhorar a base de informações científicas e identificar os pontos fracos que merecem o aperfeiçoamento, através da implementação de um projeto piloto.
- As futuras prioridades na cooperação internacional devem centrar-se em:
 - encontrar mecanismos práticos e os meios financeiros para continuar os Projetos Pilotos na medida em que estes não lidam apenas com as "questões anômalas", mas fornecem informações concretas e práticas sobre a gestão dos recursos hídricos subterrâneos do SAG em geral;
 - continuar o desenvolvimento e a operação do banco de dados do SAG (SISAG) e o intercâmbio regular dos dados científicos e das experiências de gestão;
 - promover um "fórum de pesquisa" e o início de novos projetos colaborativos para a pesquisa de questões-chave sobre os quais ainda existem incertezas científicas significativas, incluindo os seguintes itens (em ordem decrescente de importância):
 - o impacto das grandes mudanças no uso do solo nas áreas de recarga do SAG sobre a qualidade e

as taxas de recarga do aquífero;

- a variação vertical da qualidade das águas subterrâneas nas áreas de recarga do SAG, onde estejam ocorrendo pressões da urbanização e da agricultura intensiva;
- a variação geográfica das taxas de recarga no SAG nas áreas onde o basalto apresenta pouca espessura e pouca capacidade de confinamento;
- o modelamento matemático e o monitoramento do SAG em resposta à exploração de sua zona altamente confinadas, e a localização de qualquer descarga natural nesta zona.

- Nos países do SAG existe uma longa história de cooperação ambiental dentro de uma complexa teia de acordos multilaterais e bilaterais:
 - Tratado da Bacia do Prata (1969), onde os governos da Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai concordaram em realizar no longo prazo estudos integrados e conjuntos da bacia hidrográfica;
 - Acordo Geral sobre Meio Ambiente do Mercosul (2002), onde os mesmos governos acordaram em prosseguir com “a proteção do ambiente e o desenvolvimento sustentável, através da articulação das dimensões econômica, social e ambiental”, com políticas comuns em matéria de proteção ambiental, a conservação dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentável com a harmonização da legislação ambiental e intercâmbio de informações.

Estas iniciativas devem contribuir para sustentar o futuro das águas subterrâneas do SAG.

- A formação de uma “Comissão Transfronteiriça do Aquífero Guarani” semi-independente não foi favorecida devido aos altos custos implícitos no acordo e no risco de se perder contatos com os problemas nacionais e estaduais relativos ao aquífero, bem como de capacidades e procedimentos. Em contrapartida, o modelo institucional transfronteiriço preferido foi o de criar um Conselho Superior de Direção do Projeto Aquífero Guarani (CSDP), desenvolvido através do Programa GEF, envolvendo os responsáveis pelos recursos hídricos subterrâneos nacionais diretos (ou seus representantes). O CSDP poderia evoluir para uma estrutura permanente afim de:
 - consultar e negociar os potenciais efeitos transfronteiriços no desenvolvimento do aquífero;
 - mobilizar investimentos para o desenvolvimento local das águas subterrâneas e órgãos gestores;
 - desenvolver a "visão compartilhada" da situação dos recursos, potencialidades do aquífero e suas necessidades de gestão;
 - promover uma ação controlada apropriada por meio de intervenções de gestão e procedimentos locais.

Arranjo Editorial

O Perfil de Caso do GW·MATE é uma série publicada pelo Banco Mundial, Washington, DC, EUA.

Ele é também disponível no formato eletrônico nos web sites de recursos hídricos do Banco Mundial

(www.worldbank.org/gwmate) e do *Global Water Partnership* (www.gwforum.org).

Os dados, interpretações e conclusões expressados aqui são de responsabilidade dos autores e não devem ser atribuídas, de nenhuma maneira, ao Banco Mundial, suas organizações afiliadas ou mesmo aos membros de seu Conselho de Diretores Executivos ou aos países que eles representam.

Financiadores



O GW·MATE (Equipe de Assessoria em Gestão de Água Subterrânea) é financiado por um fundo multi-doadores do *Water Partnership Program* (WPP) do Banco Mundial, aprovisionado pelos governos britânico, dinamarquês e holandês, com apoio suplementar do *International Development Department* do Reino Unido (DFID)

