

DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO DO ESTADO DO RS: UMA FERRAMENTA PARA O PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS

Roberto E. Kirchheim¹ & Sidnei G. Agra²

Resumo – Este diagnóstico tem como objetivo gerar informações de apoio para a gestão dos recursos subterrâneos no Estado do Rio Grande do Sul. O arcabouço hidrogeológico foi confrontado com a divisão de bacias e a sistematização de dados de extração de água subterrânea. As disponibilidades de água subterrânea ora adotada equivalem às reservas reguladoras, que por sua vez, são consideradas equivalentes às descargas subterrâneas que regularizam as principais drenagens superficiais. Por técnicas de separação de hidrograma, foi possível estimar a magnitude destas reservas. Conhecendo-se estas relações de entrada e saída, assim como o somatório de áreas aquíferas com alta vulnerabilidade para cada aquífero, foi possível estabelecer indicadores de quantidade e qualidade para cada bacia, os quais em última análise podem ajudar a nortear as políticas públicas específicas.

Abstract – This study aims to provide information for the groundwater management within the Rio Grande do Sul state. Once defined, the hydrogeological framework and the water wells extraction volumes were defined for each one of the official water basins. The water availability, set to be the groundwater discharge into the main basin drainage, was calculated through hydrogram separation techniques. Knowing their magnitude has allowed the estimation of the relationship between in and out flow of the groundwater for each basin. A series of quality and quantity indicators were established, whose values give an overview of the basin state leading to the definition of more appropriated groundwater policies.

Palavras-Chave – Água Subterrânea, disponibilidades x demandas, gestão de águas subterrâneas.

1.Introdução

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar as disponibilidades hídricas subterrâneas no Estado do Rio Grande do Sul. Para tanto, adota-se uma abordagem espacial baseada em suas 25 Bacias Hidrográficas e 3 Regiões Hidrográficas, conforme definidas. Se para o caso das águas superficiais a adoção da bacia hidrográfica no processo de gestão é unânime, as águas subterrâneas possuem particularidades que tornam esta escolha mais complexa. Ainda que não necessariamente restrita aos limites físicos e hidráulicos impostos pelas bacias hidrográficas, as águas subterrâneas podem ser avaliadas a partir destas unidades dada as hidráulicas existentes entre estas e os corpos de água superficiais em nível de bacia.

1) Pesquisador em Geociências, Serviço Geológico do Brasil – CPRM - Superintendência de Porto Alegre - e-mail: roberto.kirchheim@cprm.gov.br.

2) Engenheiro Civil, MSc, Agra Engenharia, Porto Alegre – email: sgagra@gmail.com

Talvez mais importante que a coincidência geográfica dos processos físicos, existem questões relacionadas às bases do processo de gestão e o histórico de reconhecimento por parte da sociedade, da bacia enquanto espaço político de decisão, o qual deve ser fortalecido, por definição.

Para que este recorte tenha sentido é necessário conhecer os sistemas aquíferos e entendê-los como base física fundamental controlador da dinâmica das águas subterrâneas. Ambas as abordagens se complementam e devem ser levadas em conta nos processos de gestão.

Tradicionalmente, as quantificações hídricas nos planos regionais de desenvolvimento ou mesmo em planos de bacias têm sua ênfase no entendimento das disponibilidades superficiais e suas condicionantes (contando inclusive com modelos hidrológicos, modelos de qualidade e regionalizações) e, raramente aprofundam-se em temas relacionados ao escoamento subterrâneo. Resulta que o grau de compreensão e aprofundamento técnico-científico dos recursos superficiais na bacia, independente do seu grau de ocupação e perfil urbano/rural, é superior ao nível de conhecimento dos aquíferos que a compõem. Este desequilíbrio impõem dificuldades ao desenvolvimento e ampliação da captação e uso racional de água subterrânea.

Entretanto, nota-se significativos avanços no entendimento da dinâmica dos aquíferos e novos e importantes trabalhos vêm sendo desenvolvidos. O número de atores atuantes no setor vem aumentando significativamente, não somente no campo técnico, mas também social, de participação pública e política. Neste sentido, políticas públicas recentes relacionadas às águas subterrâneas tiveram um papel catalisador fundamental.

2.Arcabouço Geológico

O conhecimento do arcabouço geológico é pilar da avaliação dos sistemas aquíferos e representa, assim como suas relações com os corpos hídricos superficiais, a base física analítica. Neste caso a unidade espacial de análise é o conjunto de sistemas aquíferos reconhecidos e agrupados no referido mapa e sua sobreposição com as divisões hidrográficas estaduais. A classificação regional mais adequada para o levantamento das potencialidades (qualidade e quantidade) das águas subterrâneas do Estado, neste momento, é a sugerida no Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, 1:750.000, no qual as litologias foram agrupadas em sistemas segundo suas semelhanças em termos de comportamento hidrogeológico e potencial produtor de água subterrânea.

Os sistemas aquíferos considerados na análise, a começar pelos mais produtivos, e sua proporção de ocorrência aflorante em área no RS são apresentados no Quadro 1. A visualização espacial destes sistemas aquíferos com os limites das bacias encontra-se apresentada no Mapa da Figura 1. Neste mesmo mapa são visualizadas as zonas de produtividade.

Observa-se que a grande parte do Estado (70%) possui cobertura de rochas ígneas, com predomínio das rochas vulcânicas do aquífero Serra Geral (55%), conformando aquíferos do tipo fraturados com tendências de média a baixa produtividade. O sistema aquífero Serra Geral I representa uma exceção, em virtude das altas capacidades específicas apresentadas. Os diversos sistemas aquíferos pertencentes à formação geológica Serra Geral estão sujeitos às mais altas taxas de extração de água subterrânea e abrigam a maior quantidade de poços. As diversas unidades sedimentares que formam o Sistema Aquífero Guarani aflorante (SAG) abarcam 13% da área do Estado ocorrem principalmente na depressão periférica e na encosta da serra basáltica. Já os sistemas aquíferos litorâneos, da planície costeira do RS representam cerca de 10% de sua área total. A compreensão de seu potencial aquífero é bastante recente e, em função disto, é flagrante sua tendência crescente de uso. O sistema aquífero costeiro I e o sistema aquífero barreira marinha constituem aquíferos de enorme potencial, com grandes reservas permanentes. Por último aparecem os sedimentos permeanos (7%) da Bacia do Paraná com pouca potencialidade regional, porém com grande importância no contexto das bacias hidrográficas onde ocorrem. Partindo-se do quadro anterior, de caráter genérico, busca-se espacializar e caracterizar os distintos aquíferos no contexto das Bacias Hidrográficas. O Quadro 2 apresenta a porcentagem de ocorrência em área aflorante de cada unidade aquífera e sua respectiva potencialidade (via capacidades específicas) para água subterrânea. Ressalta-se que esta análise diz respeito às porções aflorantes dos distintos sistemas aquíferos lembrando que, em muitos casos, é necessário referir-se aos aquíferos considerados confinados, como é o caso do Passo das Tropas no caso do Sistema Aquífero Santa Maria e dos estratos areníticos do SAG, ocorrendo logo abaixo dos espessos pacotes de rocha vulcânica em uma área expressiva do RS, estendendo-se aos demais estados e países vizinhos.

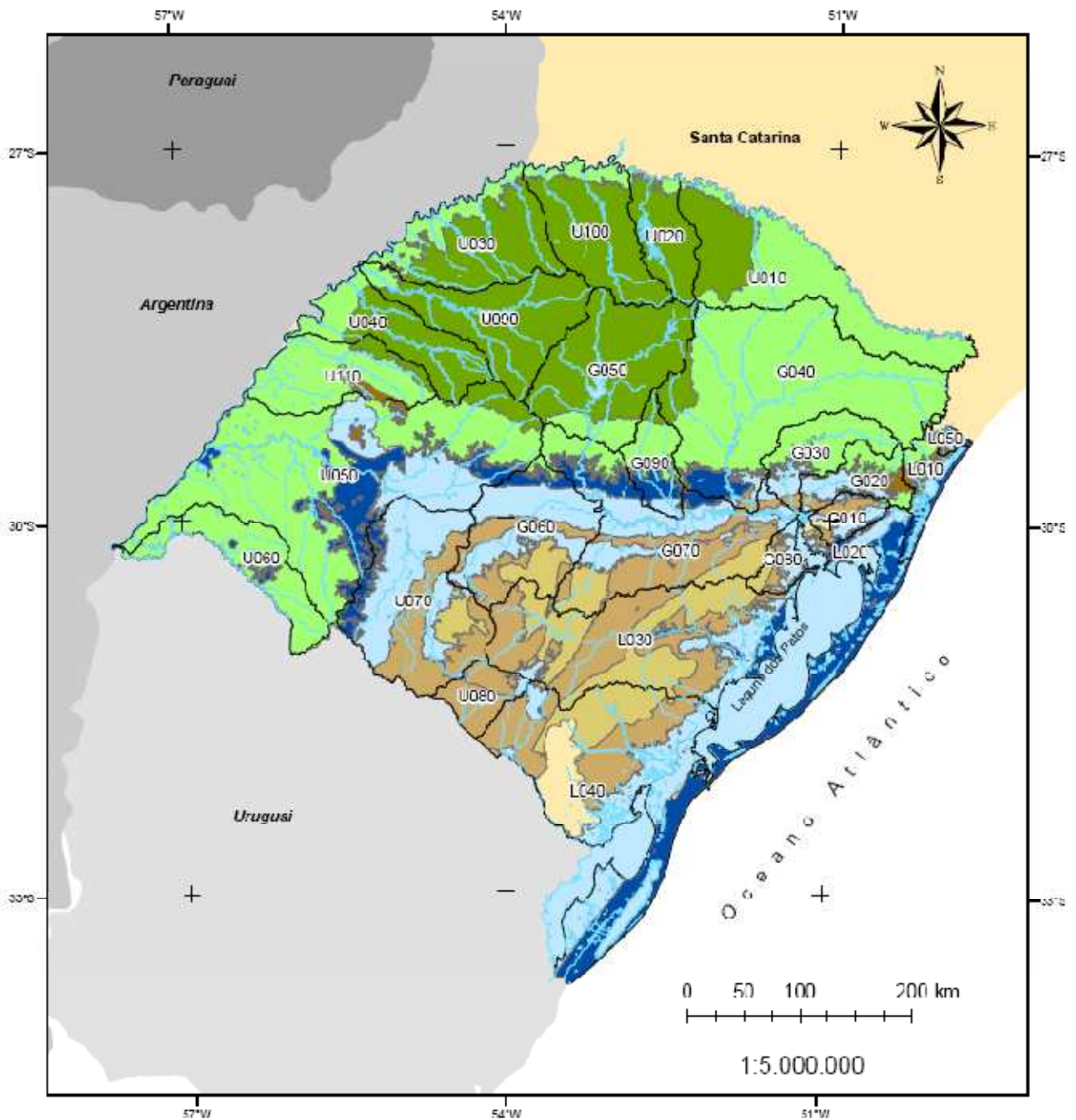


Figura 1 – Mapa Hidrogeológico do RS.

Quadro 1 – Agrupamento dos sistemas aquíferos e sua distribuição aflorante no RS.

Agrupamentos segundo Potencialidade (*)	Sistemas Aquíferos	% de Ocorrência no RS
Aquíferos com alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular	Sistema Aquífero Botucatu/Guará I	1.91
	Sistema Aquífero Santa Maria	2.21
	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I	3.99
	Sistema Aquífero Quaternário Barreira Marinha	0.22
	Sistema Aquífero Sedimentos Deltáicos	0.04
	Sistema Aquífero Quaternário Indiferenciado	0.13
Aquíferos com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular	Sistema Aquífero Botucatu/Guará II	-
	Sistema Aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia	6.98
	Sistema Aquífero Botucatu/Pirambóia	1.15
	Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito I	2.30
	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro II	4.68
Aquíferos com alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas	Sistema Aquífero Serra Geral I	21.13
Aquíferos com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas	Sistema Aquífero Serra Geral II	32.78
	Sistema Aquífero Embasamento Cristalino I	1.30
Aquíferos limitados de baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas	Aquitardos Permianos	4.81
	Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II	8.36
Aquíferos praticamente improdutivos em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas	Sistema Aquífero Basalto/Botucatu	0.73
	Sistema Aquífero Botucatu	0.27
	Sistema Aquífero Serra Geral III	0.28
	Aquicludes Eo-Paleozóicos	2.20
	Sistema Aquífero Embasamento Cristalino III	4.51

(*) Potencialidade determinada pela produtividade (capacidade específica). Produtividade alta - $(Q/s) > 4\text{m}^3/\text{h/m}$; Produtividade média - $(Q/s) 2 - 4\text{m}^3/\text{h/m}$, Produtividade baixa - $(Q/s) 0.5 - 2\text{m}^3/\text{h/m}$, Produtividade muito baixa - $(Q/s) < 0.5\text{m}^3/\text{h/m}$.

Fonte: Extraído e adaptado do Relatório Final do Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul, SEMA/CPRM 2005.

Quadro 2 – Distribuição dos Sistemas Aquíferos nas Bacias Hidrográficas do RS e suas características principais.

Bacia Hidrográfica	Principais Sistemas Aquíferos Aflorantes (1)	% de Ocorrência na Bacia	Vazão (Q) (m^3/h) (2)	Capacidade Específica Média da Bacia (Qs) ($\text{m}^3/\text{h/m}$) (1)
Gravataí (G10)	<u>Barreira Marinha</u>	8.27	>50m^3/h	Em geral muito baixa; Barreira Marinha com Q/s muito alta
	<u>Botucatu/Pirambóia</u>	7.21	6,9 m^3/h	

	Aquitardos permeanos	32.03		
	Basalto/Botucatu	2.09		
	Embasamento Cristalino I	6.78		
	Embasamento Cristalino II	6.61		
	Embasamento Cristalino III	0.43		
	Quaternário Costeiro II	34.80		
	Serra Geral II	1.78	27.5 m³/h	
Sinos (G20)	Botucatu/Pirambóia	39.72	10 m³/h	Em geral muito baixa; Botucatu confinado com Q/s baixa
	Aquitardos permeanos	6.88		
	Basalto/Botucatu	2.81		
	Botucatu	0.27		
	Quaternário Costeiro II	1.23		
	Serra Geral II	41.22		
	Serra Geral II	7.87	6.7 m³/h	
Caí (G30)	Botucatu/Pirambóia	17.74	13.5 m³/h	Em geral muito baixa; Botucatu confinado com Q/s baixa
	Aquitardos permeanos	3.92		
	Botucatu	0.90		
	Quaternário Costeiro II	0.36		
	Serra Geral II	77.09	10.8 m³/h	
Taquari-Antas (G40)	Botucatu/Pirambóia	1.28	16.52 m³/h	Em geral muito baixa; Serra Geral I com Q/s baixa; e Santa Maria na borda da serra com Q/s de média a muito baixa; Botucatu confinado com Q/s variando de baixa a média
	Aquitardos permeanos	0.78		
	Botucatu	0.50		
	Serra Geral I	4.88	15.1 m³/h	
	Serra Geral II	88.14		
	Santa Maria	4.06	18 m³/h	
	Sanga do Cabral/Pirambóia	0.37		
Alto-Jacuí (G50)	Serra Geral I	87.12	17.68 m³/h	Em geral baixa; Serra Geral II muito baixa com Botucatu confinado com Q/s muito baixa
	Serra Geral II	12.88		
Vacacaí – Vacacaí-Mirim (G60)	Aquitardos permeanos	14.49		Em geral muito baixa; Santa Maria na borda da serra com Q/s de média a muito baixa (Unidade hidroestratigráfica Passo das Tropas confinado com Q/s média)
	Basalto/Botucatu	0.41		
	Botucatu	0.25		
	Embasamento Cristalino II	12.44	3.8 m³/h	
	Embasamento Cristalino III	0.81		
	Aquiclude Eo-Paleozóico	14.80		
	Palermo/Rio Bonito	19.41	3 m³/h	
	Serra Geral II	2.33		
	Santa Maria	5.50	8.7 m³/h	
	Sanga do Cabral/Pirambóia	29.55		
Baixo Jacuí (G70)	Aquitardos permeanos	9.01		Em geral muito baixa; Santa Maria com com Q/s média na encosta da serra (Unidade hidroestratigráfica Passo das Tropas confinado com Q/s média)
	Botucatu/Pirambóia	1.20	14.5 m³/h	
	Botucatu	1.63		
	Embasamento Cristalino II	22.77		
	Embasamento Cristalino III	7.57		
	Aquiclude Eo-Paleozóico	8.40		
	Palermo/Rio Bonito	8.60		
	Quaternário Costeiro II	2.65		
	Sedimentos Deltáicos	0.29		
	Serra Geral I	0.07	11.5 m³/h	
	Serra Geral II	10.35		
	Santa Maria	8.99	10 m³/h	
	Sanga do Cabral/Pirambóia	18.47		

Lago Guaíba (G80)	Aquitardos permeanos	0.26	38 m³/h 5.2 m³/h	Em geral muito baixa; Barreira Marinha com Q/s muito alta
	<u>Barreira Marinha</u>	5.03		
	<u>Embasamento Cristalino I</u>	3.37		
	<u>Embasamento Cristalino II</u>	25.70		
	Embasamento Cristalino III	22.61		
	<u>Quaternário Costeiro II</u>	40.73		
	Sedimentos Deltáicos	2.27		
Pardo (G90)	Botucatu	4.43	9.7 m³/h 13.5 m³/h	Em geral muito baixa; Serra Geral I com Q/s baixa; e Santa Maria na borda da serra com Q/s de média a muito baixa(Unidade hidroestratigráfica Passo das Tropas confinado com Q/s média)
	<u>Serra Geral I</u>	9.57		
	<u>Serra Geral II</u>	50.62		
	<u>Santa Maria</u>	24.73		
	Sanga do Cabral/Pirambóia	10.65		

Cont.

Apuã- Inhandava (U10)	Serra Geral I	31.06	13.7 m³/h	Em geral muito baixa, Serra Geral II com Q/s baixa
	<u>Serra Geral II</u>	68.94		
Passo Fundo (U20)	<u>Serra Geral I</u>	92.09	15 m³/h	Em geral baixa; Botucatu confinado com Q/s média
	Serra Geral II	7.90		
Turvo-Sta. Rosa-Sto. Cristo (U30)	<u>Serra Geral I</u>	72.89	19 m³/h	Em geral baixa; Botucatu confinado com Q/s alta
	Serra Geral II	25.75		
	Basalto/Botucatu	1.35		
Piratinim (U40)	<u>Serra Geral I</u>	73.68	16.3 m³/h	Em geral baixa; Botucatu confinado com Q/s média
	Serra Geral II	26.32		
Ibicuí (U50)	Basalto/Botucatu	2.81	27.12 m³/h 17 m³/h 12 m³/h	Em sua parte norte e oeste Q/s muito baixas;na parte central (Botucatu/Guará I)para sul (Sanga do Cabral/Pirambóia) Q/s de médias a baixas; bem a oeste Botucatu e Guará confinados com Q/s alta
	<u>Botucatu/Guará I</u>	10.23		
	<u>Botucatu</u>	0.13		
	Serra Geral I	4.14		
	<u>Serra Geral II</u>	62.35		
	<u>Santa Maria</u>	5.04		
Quarai (U60)	<u>Botucatu/Guará I</u>	4.11	21.2 m³/h 8.5 m³/h	Em geral muito baixa; Botucatu confinado com Q/s média e Botucatu/Guará I aflorante com Q/s média
	<u>Serra Geral II</u>	95.89		
Santa Maria (U70)	Aquitardos permeanos	26.38	36 m³/h 13 m³/h	Em geral muito baixa; Sanga do Cabral/Pirambóia na borda oeste com Q/s baixa e Botucatu/Guará I aflorante com Q/s média
	Basalto/Botucatu	0.63		
	<u>Botucatu/Guará I</u>	7.77		
	Embasamento Cristalino II	9.12		
	Embasamento Cristalino III	7.29		
	Palermo/Rio Bonito	8.76		
	<u>Serra Geral II</u>	0.39		
	Sanga do Cabral/Pirambóia	39.64		
Negro (U80)	Aquitardos permeanos	61.85	4.5 m³/h 9.6 m³/h	Em geral muito baixa
	<u>Embasamento Cristalino II</u>	30.95		
	<u>Palermo/Rio Bonito</u>	7.20		
Ijuí (U90)	Basalto/Botucatu	0.32	21.27 m³/h	Em geral baixa; Botucatu confinado com Q/s média
	<u>Serra Geral I</u>	94.44		
	Serra Geral II	5.24		
Várzea (U100)	<u>Serra Geral I</u>	87.85	15.8 m³/h	Em geral baixa; Botucatu confinado com Q/s média
	Serra Geral II	12.15		
Butuí-Ícamaquã (U110)	Basalto/Botucatu	5.90		Em geral muito baixa; Botucatu confinado com Q/s média
	Serra Geral I	10.31		

	Serra Geral II Sanga do Cabral/Pirambóia	83.46 0.33	6 m³/h	
Cont.				
Tramandaí (L10)	Botucatu Quaternário Costeiro I Quaternário Costeiro II Serra Geral II Serra Geral III	0.42 37.04 14.02 33.93 14.59	15.6 m³/h 71.8 m³/h 20.7 m³/h	Na parte oeste mais alta Q/s muito baixas; na planície costeira Q/s altas
Litoral Médio (L20)	Barreira Marinha Embasamento Cristalino III Quaternário Costeiro I Quaternário Costeiro II Serra Geral II	4.31 0.26 81.61 13.46 0.37	55 m³/h	Em geral alta
Camaquã (L30)	Barreira Marinha Embasamento Cristalino II Embasamento Cristalino III Aquiclude Eo-Paleozóico Palermo/ Rio Bonito Quaternário Costeiro I Quaternário Costeiro II Quaternário Indiferenciado	0.19 44.42 26.41 12.61 1.40 3.78 11.36 1.62	5 m³/h 34.1 m³/h	Na porção oeste Q/s muito baixas; na planície costeira Q/s variando de médias a altas; ao longo do Camaquã Quaternário Indiferenciado com Q/s altas
Mirim – São Gonçalo (L40)	Aquitardos Permeanos Embasamento Cristalino I Embasamento Cristalino II Embasamento Cristalino III Aquiclude Eo-Paleozóico Palermo/ Rio Bonito Quaternário Costeiro I Quaternário Costeiro II	9.39 13.26 17.27 14.64 0.13 2.38 16.56 26.36	4 m³/h 6.4 m³/h 21.2 m³/h	Na porção oeste Q/s muito baixas; na planície costeira Q/s variando de médias a altas
Mampituba (L50)	Botucatu Quaternário Costeiro I Quaternário Costeiro II Serra Geral II Serra Geral III	2.41 4.50 31.11 43.12 18.86	9 m³/h	Em geral muito baixas; Quaternário Costeiro com Q/s altas

(1)– Informação extraída do Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul, CPRM 2005.

(2)– Estimativa extraída a partir de análise do banco de dados SIAGAS

Fonte: Plano Estadual de Recursos Hídricos. Relatório da Atividade A.1 – Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas. Ecoplan, 2006.

Este quadro permite reconhecer bacias que apresentam semelhanças do ponto de vista de composição de sistemas aquíferos, como é o caso das bacias da Região Hidrográfica do Uruguai, ou mesmo as da Região Hidrográfica do Litoral. De forma semelhante pode-se reconhecer bacias com maior complexidade hidrogeológica, dada pela larga lista de sistemas aquíferos aflorantes, como é o caso das Bacias do Gravataí, Sinos, Taquari-Antas, Vacacaí, Baixo Jacuí. Ibicuí e Santa Maria.

3. Disponibilidades Hídricas Subterrâneas

Todo aquífero é considerado um reservatório de água subterrânea, isto é, unidades/formações hidrogeológicas caracterizadas por parâmetros dimensionais (extensão,

espessura e geometria) que são impostos pela geologia estratigráfica e estrutural (arcabouço geológico), por parâmetros hidrodinâmicos (transmissividade, armazenamento ou porosidade efetiva) e que dependem de padrões faciológicos, de condições de recarga e descarga e de variáveis de estado que descrevam a situação do aquífero em cada instante (superfície piezométrica, importância das reservas, aspectos da qualidade, condições de exploração, etc). Devido às lacunas no conhecimento das dinâmicas de fluxo e geometria da maioria dos corpos aquíferos, da falta de monitoramento de níveis e inexistência de séries históricas, a determinação de disponibilidades hídricas subterrâneas torna-se complexa. Se para as águas superficiais existem postos fluviométricos e pluviométricos com fontes de informação sistemática e confiável, são raros os poços tubulares dos quais se possui monitoramento sistemático de vazões extraídas e níveis (estáticos e dinâmicos), e, ainda assim quando disponíveis, tratam-se de séries históricas recentes e ou pontos muito esparsos, que não permitem análises que não sejam locais. Assumindo que os valores anuais da recarga dos aquíferos, presentes em cada uma das bacias hidrográficas, equivalem aos valores anuais das respectivas descargas naturais, e, sendo estes possíveis de determinação por separação de hidrogramas, chegou-se a valores denominados de reservas reguladoras. Salienta-se desde já que se trata de uma primeira estimativa que não contempla os grandes volumes armazenados nos aquíferos (confinados e não-confinados) sob a forma de reservas permanentes. A determinação segura das reservas permanentes implica em uma série de informações, todavia não disponível.

4. Metodologia para determinação das reservas reguladoras

Dentre as metodologias consagradas optou-se em adotar a separação de hidrogramas para determinar as reservas reguladoras. Partindo da equação da continuidade, que afirma que a variação no armazenamento de um reservatório é igual a diferença entre a soma das entradas e a soma das saídas. Para o caso de um sistema aquífero em equilíbrio, sabe-se que o somatório das entradas corresponde à recarga dos aquíferos (recarga a partir da infiltração efetiva + recarga a partir da drenagem de outro corpo aquoso superficial ou subterrâneo). Sabe-se ainda, que o somatório das saídas do aquífero corresponde as suas descargas naturais (na forma de escoamento basal nas drenagens e rios principais + retiradas de água subterrânea por bombeamento a partir dos poços tubulares). Quando analisado em um grande intervalo de tempo, por exemplo, anual, em escala de bacia sem grande variabilidade climática ou modificação do uso do solo, com extrações consideradas pequenas, o aquífero encontra-se em estado permanente.

Admitindo que a recarga constitui-se numa boa estimativa de reserva reguladora de água subterrânea, importa agora conhecer a descarga do aquífero para o rio como forma de estimar o indicador desejado.

Para tanto é possível lançar mão do procedimento de separação do escoamento, a partir das séries de vazões registradas nos postos fluviométricos que integram a rede de monitoramento do Sistema Nacional de Informações Hidrológicas, o HIDROWEB, da ANA. Em seguida, nas demais bacias foram estimadas as Q_{85} nas estações de referência (utilizadas para a caracterização das disponibilidades superficiais) e os valores foram também extrapolados para cada uma das bacias hidrográficas do RS.

Salienta-se uma vez mais que estes valores devem ser interpretados como uma primeira referência e devem ser confrontados com estimações obtidas a partir de metodologias baseadas nas informações dos aquíferos. Bacias que apresentam regularização de suas vazões a montante do posto fluvial adotado, podem estar superestimando as contribuições subterrâneas, como por exemplo, no caso das Bacias do Alto e Baixo Jacuí.

Estes valores são confrontados com os cenários de extração de água subterrânea para cada Bacia, obtidos através da análise do SIAGAS.

Quadro 3 – Estimativa das reservas reguladoras de águas subterrâneas e extrações.

Bacia Hidrográfica	Reservas Reguladoras (hm ³ /ano)	Vazões Totais (hm ³ /ano)	Vazões Totais Corrigidas (hm ³ /ano) (1)	Vazões Totais com Clandestinidade (hm ³ /ano) (2)
G010 – GRAVATAÍ	214.07	4.32744	8.65488	86.55
G020 – SINOS	558.17	14.86572	29.73144	297.31
G030 – CAÍ	518.79	22.13652	44.27304	442.73
G040 – TAQUARI – ANTAS	3388.47	134.58864	269.1773	2691.77
GO50 – ALTO JACUÍ	2022.7	49.11951	98.23902	982.39
G060 – VACACAÍ – VACACAÍ-MIRIM	568.17	15.70668	31.41336	314.13
G070 – BAIXO JACUÍ	1741.33	11.000808	22.00162	220.02
G080 – LAGO GUAÍBA	651.46	6.7014	13.4028	134.03
G090 – PARDO	464.9	5.50128	11.00256	110.03
REGIÃO HIDROGRÁFICA DO GUAÍBA	10128.06	263.947998	527.896	5278.96
L010 – TRAMANDAÍ	827.54	18.63252	37.26504	372.65
L020 – LITORAL MÉDIO	1946.28	13.49916	26.99832	269.98

Bacia Hidrográfica	Reservas Reguladoras (hm ³ /ano)	Vazões Totais (hm ³ /ano)	Vazões Totais Corrigidas (hm ³ /ano) (1)	Vazões Totais com Clandestinidade (hm ³ /ano) (2)
L030 – CAMAQUÃ	2045.69	7.13064	14.26128	142.61
L040 – MIRIM – SÃO GONÇALO	1445.48	14.66424	29.32848	293.28
L050 - MAMPITUBA	206.08	1.8396	3.6792	36.79
REGIÃO HIDROGRÁFICA DAS BACIAS LITORÂNEAS	6471.07	55.76616	111.5323	1115.32
U010 – APUAË – INHANDAVA	2168.08	42.85392	85.70784	857.08
U020 – PASSO FUNDO	1006.32	16.76664	33.53328	335.33
U030 – TURVO – SANTA ROSA – SANTO CRISTO	1977.16	29.98548	59.97096	599.71
U040 – PIRATINIM	1039.55	4.71288	9.42576	94.26
U050 – IBICUI	2973.88	50.6328	101.2656	1012.66
U060 – QUARAÍ	881.91	7.69128	15.38256	153.83
U070 – SANTA MARIA	1476.28	28.39116	56.78232	567.82
U080 – NEGRO	134.58	2.69808	5.39616	53.96
U090 – IJUÍ	2662.13	12.67572	25.35144	253.51
U100 – VÁRZEA	1976.92	25.404	50.808	508.08
U110 – BUTUÍ - ICAMAQUÃ	1369.97	5.42244	10.84488	108.45
REGIÃO HIDROGRÁFICA DO URUGUAI	17666.78	227.2344	454.4688	4544.69

Fonte: SIAGAS, consulta gerada em Novembro de 2006.

- (1) Vazões Totais multiplicadas por 2 considerando os poços tubulares sem informação de vazão no SIAGAS.
- (2) Vazões completas (registrado + não registrado) multiplicado por 10, ou seja assumindo que para cada poço registrado no SIAGAS, existem 10 clandestinos ao mesmo nível de vazão de extração.

Considerando os valores de clandestinidade adotados no quadro acima, apenas as Bacias do Sinos, Caí, Taquari-Antas e Vacacaí estariam utilizando > de 50% das reservas reguladoras de água subterrânea.

A consideração do estado de equilíbrio dos aquíferos refere-se a uma estratégia metodológica de obtenção de um valor de referência para as reservas reguladoras. De maneira geral na escala da bacia as extrações ainda podem ser consideradas pequenas, o que não significa dizer que não existem conflitos de uso e sobre-exploração em certas porções de aquíferos. Muitos destes aquíferos possuem dinâmicas de fluxo locais sendo os efeitos destas retiradas somente perceptíveis a esta escala. A perda deste equilíbrio gera um regime transitório, onde a retirada poderá ser

compensada, após transcorrido um tempo por: (i) uma variação no armazenamento; (ii) um incremento de recarga ou, (iii) uma diminuição de descarga. Após alguns meses ou anos, dependendo dos valores envolvidos, a descarga do aquífero, que é proporcional ao volume armazenado, se reduz e uma nova situação de equilíbrio pode ser atingida. Entretanto, caso esta situação de equilíbrio não seja encontrada em função de taxas de retirada muito grandes, a depleção do aquífero e a perda subsequente do armazenamento é inevitável, conforme mostra a parte esquerda da Figura 2.

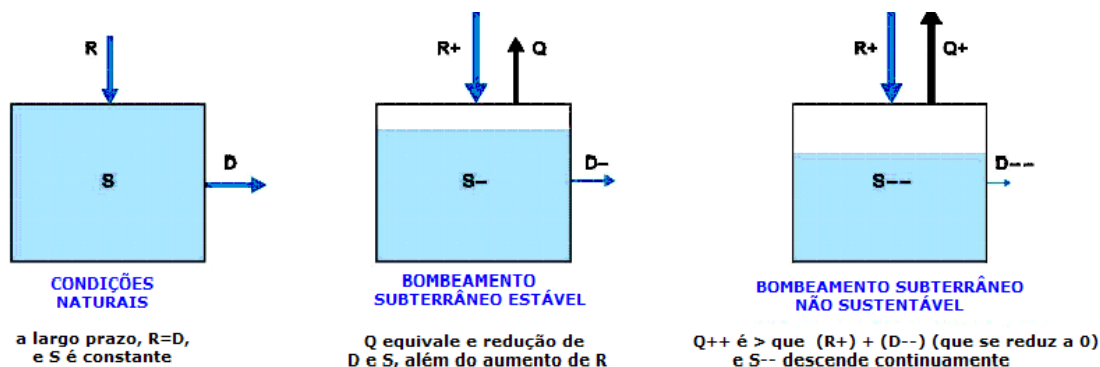


Figura 2 - Esquema conceitual do aquífero, situação modificada pela retirada de água subterrânea (modificado de Briefing Note Series- Banco Mundial/GWMate).

Durante este processo de busca de equilíbrio, ao longo de todo o corpo aquífero, muito provavelmente corpos de água superficial como nascentes, açudes podem vir a sofrer efeitos de recarga induzida ou perda dos aportes de descarga, tendo suas vazões e volumes diminuídos. A escala de informação retrabalhada neste diagnóstico e o nível de informações disponível não permite a identificação de onde tais efeitos seriam mais perceptíveis, muito menos sua magnitude. Muito provavelmente locais de menor espessura saturada de aquífero, ou regiões onde o mesmo possui comportamento livre típico seriam áreas mais vulneráveis. Da mesma forma a perda do artesianismo nas regiões de descarga seria esperada.

5. Avaliação Quantitativa dos Bancos de Dados

O SIAGAS (Sistema de Gestão de Águas Subterrâneas), sob a responsabilidade da CPRM, constitui-se no mais importante instrumento de análise, sendo praticamente o único banco de dados disponível com abrangência regional (cobrindo todo o Estado) incluindo poços tubulares públicos e privados. A partir da efetivação do licenciamento e outorga de poços, o SIAGAS passa a ser

alimentado diretamente pelos dados necessários a este trâmite, o que lhe confere maior robustez e consistência. Algumas conclusões importantes podem ser traçadas:

- Constata-se um grande número de poços fora de operação, consequência da falta de sistematização hidrogeológica conforme mencionado no início do capítulo, representa perdas econômicas importantes e desnecessárias.
- Apesar de sua abrangência, enquanto cadastro, são várias as lacunas de informação, como por exemplo, os 52% de poços do total operante sem informação de vazão. Trata-se de uma informação fundamental na composição dos balanços de disponibilidade e demanda.
- A grande maioria dos poços tubulares é utilizada para suprir demandas de abastecimento de água potável em meio urbano e rural, sendo comum o aspecto multi-uso das fontes subterrâneas. O uso da água subterrânea para fins industriais é uma realidade bastante comum no RS e encontra-se em franco crescimento fruto de benefícios econômicos pela isenção de pagamento pelo uso da água e o barateamento dos custos de perfuração e completação de poços.
- Ao contrário do que se poderia supor, a julgar por sua ampla cobertura midiática, o sistema aquífero mais utilizado no RS não é o Sistema Aquífero Guarani, mas sim o Sistema(s) Aquífero(s) Serra Geral, detentor de 39% dos registros dos poços operantes. Ressalta-se novamente a omissão do aquífero explorado em 48% dos poços operantes.
- A cobertura do SIAGAS no Estado não é homogênea. As forças tarefas de inventário desenvolvidas pela CPRM não chegaram a cobrir o estado inteiro, resultando em maior densidade de informação nas áreas visitadas se comparadas a outras regiões.

As Figuras 3 e 4 apresentam as proporções totais de uso e principais aquíferos exploradas respectivamente.

O Quadro 4 demonstra a magnitude dos registros e dos volumes extraídos por bacia. Destacam-se as Bacias do Taquari-Antas e Alto Jacuí na RH do Guaíba, as Bacias do Mirim-São Gonçalo e Tramandaí na RH do Litoral e, finalmente as Bacias do Ibucuí e Apuaê na RH do Uruguai. As vazões expressam médias a partir do somatório de todos os poços em funcionamento independente do sistema aquífero.

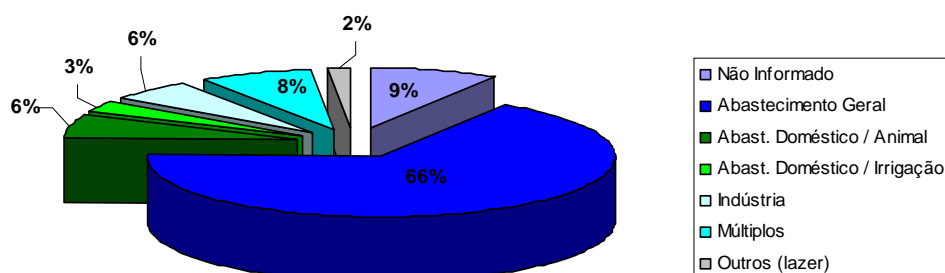


Figura 3 – Avaliação da vazão dos poços operantes segundo usos.

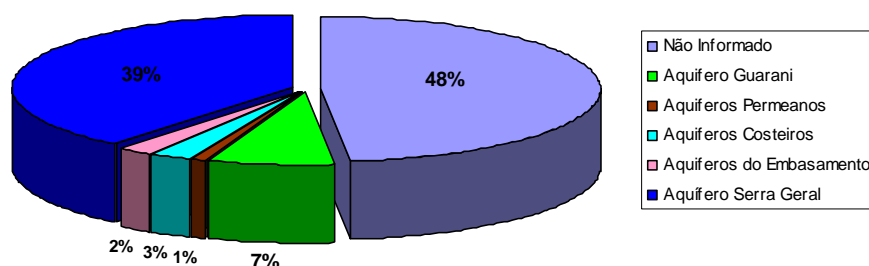


Figura 4 – Avaliação do conjunto total de poços segundo aquífero explotado.

Ainda assim observa-se a tendência de maiores vazões nas bacias que possuem maior representação em área de sistemas aquíferos considerados produtivos (conforme Mapa Hidrogeológico), como por exemplo, as médias de vazões maiores nas Bacias do Alto Jacuí e Ijuí em função da ocorrência do sistema aquífero serra geral I, ou mesmo nas Bacias do Litoral Médio e Tramandaí, onde ocorrem os sistemas aquíferos quaternários costeiros I e barreira marinha. Adicionalmente se estima o perfil de uso de água subterrânea para cada bacia e região hidrográfica. Conforme já havia sido apontado o uso de água subterrânea para fins de abastecimento é preponderante com exceção da Bacia do Lago Guaíba, onde o uso na indústria acaba superando-o. Nesta Região Hidrográfica os usos na indústria vêm em segundo plano, com exceção das Bacias do Vacacaí e Baixo Jacuí, onde o uso de água subterrânea para irrigação é bastante representativo. Distribuição de uso semelhante ocorre nas Bacias que pertencem a Região Hidrográfica do Litoral. Interessante observar o intenso uso para fins de lazer na Bacia do Tramandaí. Para a Região Hidrográfica do Uruguai observa-se um incremento de uso para fins de dessedentação animal,

coerente com o perfil agroindustrial da maioria de suas Bacias. Valores representativos de irrigação ocorrem nas Bacias do Várzea e Ibicuí. Nesta Região as vazões para usos múltiplos (abastecimento, dessedentação animal e irrigação) são bastante expressivos, coerentes com o uso de poços tubulares dentro de pequenas a médias propriedades rurais, típicas para a região.

6. Indicadores de Água Subterrânea

A partir das informações disponíveis podem-se determinar alguns indicadores da situação das águas subterrâneas para cada Bacia Hidrográfica, segundo metodologia apresentada por Hirata et al. no Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, 2005. Serão aplicados os seguintes indicadores:

Indicadores de Dependência

DEP1 - Abastecimento Público por água subterrânea / População Total da BH – fornece uma dimensão da importância das águas subterrâneas no contexto do abastecimento populacional de cada bacia.

DEP2 - Demanda Total de água subterrânea (todos usos) / Demanda Total de Recursos Hídricos – fornece uma dimensão da importância geral das águas subterrâneas no contexto das demandas totais de água em cada bacia.

Indicadores de Disponibilidade

DISP1 - Estimativa de Reservas Reguladoras / População Total da BH – fornece uma estimativa da quantidade de água subterrânea que potencialmente pode ser utilizada por habitante na bacia.

DISP2 - Demanda Total de água subterrânea (todos os usos) / Estimativa de Reservas Reguladoras – fornece uma idéia sobre potencial de exploração excessiva das águas subterrâneas em cada bacia.

Indicadores de Qualidade

QUAL1 - Área total de alta vulnerabilidade à contaminação / Área Total da BH – fornece uma estimativa da proporção de áreas mais sensíveis à contaminação (genérica) em cada bacia.

O Quadro 5 resume os resultados dos indicadores considerados e apresenta para cada Região Hidrográfica os maiores valores, ou seja, as duas bacias mais sensíveis para cada indicador.

Quadro 4 – Síntese das informações de usos dos poços em funcionamento do SIAGAS por Bacia Hidrográfica– (ressalta-se para cada Bacia os dois maiores valores de extrações para cada tipo de uso)

Bacia Hidrográfica	Não Informado (m ³ /h)	Abastecimento Geral (m ³ /h)	Abastecimento Doméstico / Animal (m ³ /h)	Abastecimento Doméstico / Irrigação (m ³ /h)	Indústria (m ³ /h)	Múltiplo (*) (m ³ /h)	Outros (lazer) (m ³ /h)	TOTAL (m ³ /h)
G010 – GRAVATAÍ	25	374			71	21	3	494
G020 – SINOS	373	827		5	430	32	30	1697
G030 – CAÍ	301	1751	46	53	264	96	16	2527
G040 – TAQUARI – ANTAS	1443	9105	2555	171	968	910	212	15364
GO50 – ALTO JACUÍ	200	3983.25	539	332	21	421	111	5607.25
G060 – VACACAÍ – VACACAÍ- MIRIM	24	1030	2	544	48	99	46	1793
G070 – BAIXO JACUÍ	83	740	4	120	65	211.8	32	1255.8
G080 – LAGO GUAÍBA	23	237		22	424	55	4	765
G090 – PARDO	77	383	18	21	106	23	0	628
REGIÃO HIDROGRÁFICA DO GUAÍBA	2549	18430.25	3164	1268	2397	1868.8	454	30131.05
L010 – TRAMANDAÍ	355	1733			3		36	2127
L020 – LITORAL MÉDIO	339	1063			111	21	7	1541
L030 – CAMAQUÃ	16	778			8	6	6	814
L040 – MIRIM – SÃO GONÇALO	149	1199	46	8	91	97	84	1674
L050 - MAMPITUBA	120	72			13		5	210
REGIÃO HIDROGRÁFICA DAS BACIAS LITORÂNEAS	979	4845	46	8	226	124	138	6366

Bacia Hidrográfica	Não Informado (m ³ /h)	Abastecimento Geral (m ³ /h)	Abastecimento Doméstico / Animal (m ³ /h)	Abastecimento Doméstico / Irrigação (m ³ /h)	Indústria (m ³ /h)	Múltiplo (*) (m ³ /h)	Outros (lazer) (m ³ /h)	TOTAL (m ³ /h)
U010 – APUAË – INHANDAVA	464	2990	225	33	104	914	162	4892
U020 – PASSO FUNDO	85	1553	33	9		198	36	1914
U030 – TURVO – SANTA ROSA – SANTO CRISTO	203	3170	24		13	11	2	3423
U040 – PIRATINIM	116	395	21	6				538
U050 – IBICUI	375	3505	126	491	350	853	80	5780
U060 – QUARAÍ	90	156	57	28	8	539		878
U070 – SANTA MARIA	82	2527			383	66	183	3241
U080 – NEGRO	60	43	62	1	82	28	32	308
U090 – IJUÍ	140	1195	15		78	19		1447
U100 – VÁRZEA	444	2350		53	5	48		2900
U110 – BUTUÍ - ICAMAQUÃ	18	355	146	13	25	22	40	619
REGIÃO HIDROGRÁFICA DO URUGUAI	2077	18239	709	634	1048	2698	535	25940
TOTAL NO ESTADO	5605	41514.25	3919	1910	3671	4690.8	1127	62437.05
TOTAL NO ESTADO (m³/s)	1.5569	11.5317	1.0886	0.5306	1.0197	1.3030	0.3131	17.3436
TOTAL GERAL (m³/s)	34.6873							

Fonte: SIAGAS.

(*) Uso Múltiplo refere-se a um poço multifuncional usado para abastecimento doméstico, dessedentação animal e irrigação.

Quadro 5- Indicadores de Recursos Hídricos Subterrâneos

INDICADORES	Dependência		Disponibilidade		Qualidade
	DEP1(%)	DEP2(%)	DISP1(%)	DISP2(%)	QUAL1(1)(%)
Bacia Hidrográfica					
G010 – GRAVATAÍ	12.36	1.14	430.89	2.02	0.50
G020 – SINOS	21.08	4.92	1156.39	2.66	0.41
G030 – CAÍ	25.44	17.03	2852.62	4.27	0.18
G040 – TAQUARI – ANTAS	20.14	41.93	7426.57	3.97	0.06
GO50 – ALTO JACUÍ	23.84	53.39	14747.59	2.43	0.00
G060 – VACACAÍ – VACACAÍ-MIRIM	11.50	1.35	3819.64	2.76	0.54
G070 – BAIXO JACUÍ	25.47	0.69	12174.67	0.63	0.40
G080 – LAGO GUAÍBA	2.67	1.36	1388.30	1.03	0.47
G090 – PARDO	21.34	3.29	5898.99	1.18	0.35
REGIÃO HIDROGRÁFICA DO GUAÍBA	15.36	5.68	3903.50	2.61	0.24
L010 – TRAMANDAÍ	22.89	13.50	5781.35	2.25	0.43
L020 – LITORAL MÉDIO	59.87	0.93	28608.92	0.69	0.91
L030 – CAMAQUÃ	41.71	0.51	15011.13	0.35	0.18
L040 – MIRIM – SÃO GONÇALO	10.28	0.51	43342.19	1.01	0.43
L050 - MAMPITUBA	81.76	2.39	1268.62	0.89	0.34
REGIÃO HIDROGRÁFICA DAS BACIAS LITORÂNEAS	20.00	0.94	526863.56	0.86	0.39
U010 – APUAÊ – INHANDAVA	28.17	79.36	30273.10	1.98	0.00
U020 – PASSO FUNDO	19.69	62.10	23959.27	1.67	0.00
U030 – TURVO – SANTA ROSA – SANTO CRISTO	24.19	39.45	15626.94	1.52	0.00
U040 – PIRATINIM	30.74	2.63	9184.16	0.45	0.00
U050 – IBICUÍ	15.64	1.57	92243.78	1.70	0.30

INDICADORES	Dependência		Disponibilidade		Qualidade
	DEP1(%)	DEP2(%)	DISP1(%)	DISP2(%)	QUAL1(1)(%)
Bacia Hidrográfica					
U060 – QUARAÍ	16.62	1.12	937.11	0.87	0.07
U070 – SANTA MARIA	9.55	2.11	26223.13	1.92	0.56
U080 – NEGRO	4.65	1.38	4306.08	2.00	0.07
U090 – IJUÍ	14.43	14.40	28718.10	0.48	0.00
U100 – VÁRZEA	38.64	52.93	7318.30	1.29	0.00
U110 – BUTUÍ - ICAMAQUÃ	19.75	0.32	330225.45	0.40	0.00
REGIÃO HIDROGRÁFICA DO URUGUAI	20.67	2.98	38868.10	1.29	0.16

OBS: (1) Somatório das Classes de Vulnerabilidade de classe média/alta a alta.

8. Conclusões

Em um momento no qual as políticas públicas de gestão de água subterrânea encontram-se em pleno desenvolvimento e formulação, as informações sistematizadas neste diagnóstico tem sua importância amplificada. A partir dos balanços entre entradas e saídas para cada uma das várias bacias hidrográficas do Estado, pode-se estabelecer uma ordem de hierarquia em termos de prioridade de ação. Programas e critérios específicos de outorga podem ser desenvolvidos para grupos de bacias com diagnósticos semelhantes. Por outro lado, fica evidente a necessidade de investir-se em informação primária de caráter hidrogeológico e fortalecer a atual política estadual de gestão.

BIBLIOGRAFIA

- Abreu I. B. 1981. *Estudo hidrogeoquímico das águas subterrâneas no estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 145 p.
- Dewes R.. 1980. *Características hidrodinâmicas dos aquíferos basálticos do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 145 p.
- Hausman A. 1965. Esboço Hidrogeológico do Rio Grande do Sul. In: *Semana de Debates geológicos*. Porto Alegre, RS. Centro Acad. Est. Geol, UFRGS. P.37 –71.
- Hausman A. 1995. Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul. Acta Geologica Leopoldensia. Série Mapas. São Leopoldo, RS.
- Lisboa N.A. 1996. *Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral, na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul*. Curso de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. 135 p.
- Machado J.L.F. 1994 Mapa Hidrogeológico da Folha de Santa Maria, RS. Escala 1:100.000. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos. Projeto Mapas de Previsão de Recursos Hídricos Subterrâneos. CPRM. SUREG/PA.
- Martins J. C. S. 1979. *Pesquisa sobre o aquífero basáltico da região sudoeste do Rio Grande do Sul* Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1 v.
- Pessôa M. S. 1982. *Banco de dados hidrogeológicos e análise estatística da vazão dos poços do estado do Rio Grande*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1 v.
- Presotto C. A.; Dias A. de A.; Kirchner C. A.; Garcia P. F. 1973 *Projeto Hidrogeologia da Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul* : relatório final. Porto Alegre, DNPM/CPRM. 3 v. (Inédito)
- Reginato P. A . R.. 2003. *Integração de dados geológicos para prospecção de aquíferos fraturados em trecho da bacia hidrográfica Taquari-Antas, RS*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 254 p.
- Sanberg J. R. D. 1980. *Estudo hidrogeológico nas províncias litológicas do estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1 v.