



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E  
SANEAMENTO AMBIENTAL**

**ANÁLISE MULTIESCALA DO POTENCIAL HÍDRICO SUBTERRÂNEO NA  
BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS (RS)**

**TUANE DE OLIVEIRA DUTRA**

Porto alegre, 2020.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E  
SANEAMENTO AMBIENTAL**

**ANALISE MULTIESCALA DO POTENCIAL HÍDRICO SUBTERRÂNEO NA  
BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS (RS)**

TUANE DE OLIVEIRA DUTRA

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

### CIP - Catalogação na Publicação

Dutra, Tuane Oliveira  
ANÁLISE MULTIESCALA DO POTENCIAL HÍDRICO  
SUBTERRÂNEO NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS (RS) /  
Tuane Oliveira Dutra. -- 2020.  
174 f.  
Orientador: Pedro Antonio Roehe Reginato.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2020.

1. Gestão das águas subterrâneas. 2. Recarga. 3. Disponibilidade hídrica instalada. I. Antonio Roehe Reginato, Pedro, orient. II. Título.

TUANE DE OLIVEIRA DUTRA

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Aprovado em 07 de Julho de 2020.

BANCA EXAMINADORA

---

Dra. Franciéle Schwanck Carlos  
Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS

---

Dr. Taison Anderson Bortolin  
Universidade de Caxias do Sul - UCS

---

Dr. Tiago de Vargas  
Centro Universitário da Serra Gaúcha - FSG)  
Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE)

Dedico este trabalho, com imenso carinho e gratidão, ao meu pai Jorge Luiz de Oliveira Dutra, minha mãe Sandra Mara Soares de Oliveira e a luz da minha vida, minha filha Maria Flor.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por toda força para eu enfrentar os desafios que surgiram ao longo dessa caminhada e me mostrar que tudo é possível, quando se tem fé e dedicação.

Aos meus pais, por todo o amor, carinho e dedicação e por sempre estarem ao meu lado e serem minha fonte de motivação contínua.

A minha avó Maria da Graça, meu avô João e meus tios: Maria Helena, João Gladimir e Elezer, que sempre regaram minha vida com todo o afeto do mundo.

Aos meus irmãos Estefânia, Kalieu, Lois e Loren e aos meus primos Helen, Liriã e Rian por sempre me lembrarem do meu potencial e me incentivarem a nunca desistir dos meus sonhos.

Ao meu esposo Éverton Luz, por toda a paciência e amor, sendo o meu porto seguro nos momentos de insegurança.

A minha filha Maria Flor, que me mostrou que eu sou muito mais forte e capaz do que eu pensava e por me motivar a seguir em frente com o seu sorriso lindo.

Aos meus sogros João e Gessi, por todo o suporte e apoio dedicados a mim ao longo dessa trajetória.

As minhas grandes amigas Emanuele, Priscila e Rosana, por sempre me auxiliarem nos momentos mais difíceis e tornarem essa caminhada mais “leve” e Feliz.

Ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas e aos meus professores da pós pela excelente qualidade de ensino disponibilizada.

Ao meu orientador, por ser essa pessoa incrível, que para mim se tornou um exemplo de ser humano e profissional a ser seguido, por sempre me proporcionar todo o suporte para o desenvolvimento do trabalho, por toda paciência ao longo dessa caminhada e por todos os seus ensinamentos.

“Uma pessoa inteligente resolve um problema, um sábio o previne” (Albert Einstein).

## RESUMO

A bacia hidrográfica Taquari-Antas, possui cerca de 70% de seus municípios abastecidos exclusivamente por água subterrânea, sendo que o principal sistema aquífero é o Serra Geral, que ocupa mais de 90% da bacia. Segundo o plano de bacia, a recarga que ocorre em toda a região foi estimada em 8% da precipitação. A questão central do trabalho foi analisar se os estudos de potencial hídrico subterrâneo realizados em escala de bacia podem ser utilizados para a avaliação de diferentes unidades que formam a bacia (unidades de gestão, sub-bacias, municípios). Para tanto, foram selecionadas áreas na bacia que possuissem a maior quantidade de poços e tivessem sua área inserida, em sua maioria, no sistema aquífero fraturado. Logo, foram selecionadas a Unidade Carreiro (UC), Unidade Guaporé (UG), Sub-bacia do Alto Rio Carreiro(SARC), Sub-bacia do Alto Rio Guaporé (SARG) e os municípios de David Canabarro e Vila Maria. Desta forma, foi estimada, através do método do balanço hídrico, o percentual de recarga das áreas selecionadas e da bacia como um todo. Além disso, foi estimado o potencial hídrico subterrâneo das áreas mencionadas, para os cenários de 15, 25, 50, 75 e 100% da recarga e a disponibilidade hídrica instalada (Di), considerando os tempos de bombeamento médio, 18 e 24h. Os dados de recarga das escalas menores, foram utilizados para a estimativa do potencial e do comprometimento do mesmo nas escalas maiores e comparados com os resultados oriundos dos estudos locais. Os resultados demonstraram que não necessariamente os dados de recarga das escalas de maior detalhe são os que originam os resultados mais próximos do potencial estimado localmente. Isso ocorreu somente ao aplicar os dados de recarga de UG em SARG e de SARC no Município de David Canabarro, sendo que, ambas as situações representam os melhores resultados encontrados. Somente nos cenários de 15 e 25% da recarga ocorreram as discordâncias mais frequente entre os graus de comprometimento local e os estimados com os dados das demais escalas, na aplicação dos demais % o mesmo foi predominantemente baixo. De todas as escalas estudadas, a aplicação do dado de recarga de TA\_Plano foi a que mais se distanciou dos % de comprometimento estimados localmente. Desta forma, em bacias tão dependentes dos recursos hídricos subterrâneos é importante e necessário, que a análise da recarga nos planos de bacia, seja realizada com maior detalhamento, principalmente nas regiões com maior adensamento de poços. Logo, a ferramenta desenvolvida neste trabalho se demonstrou de grande valia para o auxiliada gestão dos recursos hídricos subterrâneos, permitindo a estimativa do potencial hídrico subterrâneo e o comprometimento do mesmo, frente a diferentes dados de recarga e de Di. Sendo que, a mesma pode ser aplicada para outras áreas além das analisadas neste trabalho.

**Palavras Chaves:** Gestão das águas subterrâneas, Recarga, disponibilidade hídrica instalada.

## ABSTRACT

The Taquari-Antas hydrographic basin has about 70% of its municipalities supplied exclusively by groundwater, the main aquifer system is Serra Geral, which occupies more than 90% of the basin. According to the basin plan, the recharge that occurs throughout the region was estimated at 8% of the precipitation. The central question of the research was to analyze whether the studies of underground water potential carried out on a basin scale can be used for the evaluation of different units that form the basin (management units, sub-basins, City). For that, were selected areas in the basin that had the largest number of wells and had their area inserted, in their majority, in the fractured aquifer system. Therefore, the Carreiro Unit (UC), Guaporé Unit (UG), Alto Rio Carreiro Sub-basin (SARC), Alto Rio Guaporé Sub-basin (SARG) and the municipalities of David Canabarro and Vila Maria were selected. Thus, it was estimated, using the water balance method, the % of recharge of the selected areas and the basin as a whole. In addition, the underground water potential of the mentioned areas was estimated for the scenarios of 15%, 25%, 50%, 75%, and 100% of the recharge and their installed water availability ( $D_i$ ), considering the average pumping times of 18h and 24h. The recharge data from the smaller scales were used to estimate the potential and its commitment in the larger scales and were compared with the results from local studies. The results demonstrated that not necessarily the recharge data of the scales of greater detail are the ones that originate the results closer to the locally estimated potential. This occurred only when applying the UG recharge data in SARG and SARC in the municipality of David Canabarro, and both situations represent the best results found. Only in the scenarios of 15% and 25% of the recharge did the most frequent disagreements occur between the degrees of local commitment and those estimated with data from the other scales; in the application of the other % it was predominantly low. Of all the scales studied, the application of the TA\_Plano recharge data was the one that most distanced from the % of commitment estimated locally. Thus, in basins so dependent on underground water resources, it is important and necessary that the analysis of the recharge in the basin plans be carried out in greater detail, especially in regions with greater density of wells. Therefore, the tool developed in this research proved to be of great value to assist in the management of underground water resources, allowing the estimation of underground water potential and its commitment, in view of different recharge and  $D_i$  data. Being that, it can be applied to other areas beyond those analyzed in this research.

**Key words:** Groundwater management; Recharge; Installed water availability

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
3.1	A importância dos recursos hídricos subterrâneos .....	4
3.2	Gestão dos recursos hídricos subterrâneos a nível nacional, estadual e municipal.....	5
3.2.1	Gestão dos recursos hídricos subterrâneos no estado do Rio Grande do Sul.....	9
3.3	Medidas de gestão dos recursos hídricos subterrâneos.....	14
3.3.1	Medidas de gestão qualitativas .....	14
3.3.1.1	Vulnerabilidade de aquíferos.....	15
3.3.1.2	Perímetro de proteção de poços.....	15
3.3.2	Medidas de gestão quantitativas .....	17
3.3.2.1	Monitoramento .....	19
3.4	Reservas hídricas subterrâneas .....	21
3.4.1	Métodos de estimativa da recarga subterrânea .....	24
3.4.1.1	Variação do nível da água (VNA) .....	25
3.4.1.2	Métodos baseados em dados de águas superficiais (Filtros digitais) .....	26
3.4.1.3	Balanço hídrico.....	27
3.4.2	Utilização da Reserva Renovável .....	32
3.4.3	Disponibilidade hídrica subterrânea .....	35
3.5	Caracterização da bacia Taquari-Antas .....	<b>37</b>
3.5.1	Aspectos gerais .....	38
3.5.2	Gestão .....	41
3.5.3	Geomorfologia, tipo e uso do solo.....	42
3.5.4	Hidrogeologia .....	46
3.5.5	Hidrologia e aspectos climáticos .....	52
3.5.6	Recarga, Potencial hídrico subterrâneo e Disponibilidade instalada.....	54

3.5.7	Considerações finais .....	55
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>57</b>
4.1	Gestão dos recursos hídricos na bacia Taquari-Antas .....	58
4.2	Avaliação das Captações de Águas Subterrânea na Bacia e nas demais escalas.....	59
4.3	Análise estatística.....	60
4.4	Seleção das áreas de estudos.....	60
4.5	Estimativa da disponibilidade hídrica instalada (Di).....	60
4.6	Estimativa das demandas futuras para abastecimento público .....	61
4.7	Estimativa da recarga .....	66
4.7.1	Precipitação (P).....	67
4.7.2	Escoamento superficial (Roff).....	69
4.7.3	Evapotranspiração (ET).....	70
4.8	Potencial hídrico subterrâneo (Po)	72
4.9	Análise do comprometimento do potencial hídrico subterrâneo (C). .....	78
4.10	Comparação com os dados do Plano de bacia Taquari-Antas.....	78
4.11	Ferramenta de cálculo do potencial hídrico subterrâneo e do comprometimento(CALPOHID) .....	79
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>82</b>
5.1	Áreas selecionadas .....	82
5.1.1	Unidades de gestão selecionadas .....	82
5.1.2	Sub-bacias selecionadas .....	83
5.1.3	Municípios selecionados.....	84
5.2	Gestão dos recursos hídricos na Bacia Taquari-Antas.....	85
5.2.1	Banco de dados do SIOUT .....	88
5.3	Caracterização hidrogeológica.....	89
5.3.1	Distribuição espacial dos poços.....	90

5.3.2	Situação e tipo de uso das águas subterrâneas.....	91
5.3.3	Vazão.....	93
5.3.4	Nível estático.....	94
5.3.5	Tempo de bombeamento.....	95
5.4	Disponibilidade hídrica instalada.....	96
5.5	Demandas futuras para abastecimento.....	97
5.6	Estimativa da recarga.....	98
5.6.1	Precipitação média.....	98
5.6.2	Evapotranspiração.....	100
5.6.3	Escoamento superficial.....	102
5.6.4	Recarga.....	107
5.7	Potencial hídrico subterrâneo.....	109
5.7.1	Comparação dos potenciais hídricos subterrâneos locais com os estimados a partir dos dados do Plano de bacia Taquari-Antas e através do balanço hídrico.....	109
5.7.2	Comparação dos potenciais hídricos subterrâneos locais com os estimados a partir dos dados das unidades de gestão e sub-bacias.....	113
5.7.3	Considerações sobre os resultados do Potencial Hídrico Subterrâneo.....	116
5.8	Comprometimento do potencial hídrico subterrâneo.....	117
5.8.1	Comparação do comprometimento hídrico subterrâneo local com os gerados pelos dados de recarga das demais escalas.....	120
5.8.2	Comparação do comprometimento hídrico subterrâneo local com os gerados pelos dados de recarga das demais escalas nos cenários de 100, 75 e 50% da recarga.....	120
5.8.3	Comprometimento superiores ao local estimado para os cenários de 15 e 25%.....	122
5.8.4	Comprometimento inferiores ao local estimado para os cenários de 15 e 25%.....	126
5.8.5	Considerações Sobre os Resultados do Comprometimento do Potencial Hídrico Subterrâneo.....	130
5.9	Ferramenta de cálculo do potencial hídrico subterrâneo e do comprometimento (CALPOHID).....	134

5.9.1	Utilização da ferramenta em outra área de estudo.....	139
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>145</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>148</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>149</b>
<b>9.</b>	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>158</b>
<b>10.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>171</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Área de Restrição e Controle Temporários para Captação e Uso das Águas Subterrâneas no Município de Ribeirão Preto.....	21
<b>Figura 2:</b> Área do estudo realizado por Bortolin.....	31
<b>Figura 3:</b> Perfil esquemático de um sistema de reservatório de um aquífero..	36
<b>Figura 4:</b> Mapa de localização da área de estudo.....	37
<b>Figura 5:</b> Bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do sul. ....	38
<b>Figura 6:</b> % de área dos municípios inseridos na bacia Taquari Antas.....	39
<b>Figura 7:</b> Tipo de manancial que abastece cada município.....	40
<b>Figura 8:</b> % da população abastecida por cada tipo de manancial na bacia Taquari-Antas....	40
<b>Figura 9:</b> Unidades de gestão da bacia Taquari-Antas.....	42
<b>Figura 10:</b> Geomorfologia da bacia Taquari-Antas.....	43
<b>Figura 11:</b> Mapa de solos da bacia Taquari-Antas.....	45
<b>Figura 12:</b> Mapa hidrogeológico da bacia Taquari-Antas.....	47
<b>Figura 13:</b> Diagrama de frequências de vazões de poços.....	50
<b>Figura 14:</b> Potencial hídrico subterrâneo da bacia Taquari-Antas..	51
<b>Figura 15:</b> Relevo e principais rios da bacia Taquari-Antas. ....	52
<b>Figura 16:</b> Hidrograma do rio Taquari, na confluência com o rio Jacuí, conforme a origem do escoamento. ....	53
<b>Figura 17:</b> Escalas de estudo. ....	57
<b>Figura 18:</b> Fluxograma de aplicação da metodologia. ....	58
<b>Figura 19:</b> Tipo de forma utilizada para obter a informação em cada município. ....	59
<b>Figura 20:</b> Distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas.....	68
<b>Figura 21:</b> Estações climatológicas utilizadas no cálculo da evapotranspiração potencial....	72
<b>Figura 22:</b> Fluxograma da sequência de aplicação do cálculo do potencial hídrico subterrâneo. ....	77
<b>Figura 23:</b> Sub-bacias das unidades de gestão UG e UC. ....	83
<b>Figura 24:</b> Localização dos municípios inseridos integralmente nas unidades de gestão.....	84
<b>Figura 25:</b> Distribuição espacial dos municípios com legislação específica para águas subterrâneas. ....	85
<b>Figura 26:</b> Distribuição espacial dos poços do SIOU na bacia Taquari-Antas.....	88
<b>Figura 27:</b> Distribuição espacial dos poços.....	91
<b>Figura 28:</b> Tipos de usos na bacia TA.....	92

<b>Figura 29:</b> Tipos de usos nas demais escalas. ....	92
<b>Figura 30:</b> Distribuição espacial da precipitação média anual na bacia.....	99
<b>Figura 31:</b> Distribuição espacial da precipitação média anual nas demais escalas. ....	100
<b>Figura 32:</b> Distribuição espacial da evapotranspiração.....	101
<b>Figura 33:</b> Tipo de solos nas demais escalas.....	103
<b>Figura 34:</b> Mapa declividade da bacia.....	104
<b>Figura 35:</b> Mapa de declividade nas escalas de unidade de gestão.....	105
<b>Figura 36:</b> Potencial hídrico subterrâneo estimado nas escalas de unidade de gestão, sub-baciae municípios, através dos dados locais, TA_Plano e TA_BH.....	110
<b>Figura 37:</b> Potencial hídrico subterrâneo estimado nas escalas de sub-baciae municípios, através dos locais e de: (A) UC em SARC; (B) UC em David Canabarro; (C) UG em SARG; (D) UG em Vila Maria; (E) SARG em Vila Maria e (F) SARC em David Canabarro.....	114
<b>Figura 38:</b> Gráfico do volume restante do potencial em UC, com o dado de R1, apresentado no módulo 5.....	137
<b>Figura 39:</b> Gráfico do volume restante de potencialna bacia do Rio Conceição, com o dado de R1, apresentado no módulo 5. ....	143

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Status dos processos dos poços iniciados no SIOUT até 12 de março de 2020. ....	11
<b>Tabela 2:</b> Valores de C e a em função do tipo de solo, declividade e estação do ano. ....	29
<b>Tabela 3:</b> resultados de % de recarga, estimados por Bortolin (2018), em duas sub-bacias da bacia Taquari Antas. ....	32
<b>Tabela 4:</b> % de utilização das reservas reguladoras nas bacias do rio Piracicaba e Capivari. ....	34
<b>Tabela 5:</b> Classes de uso do solo da bacia. ....	45
<b>Tabela 6:</b> Classes de uso do solo da bacia. ....	46
<b>Tabela 7:</b> Recarga e potenciais calculados para cada unidade de gestão na Bacia Taquari-Antas. ....	54
<b>Tabela 8:</b> Municípios sem informação no censo de 1992. ....	64
<b>Tabela 9:</b> Percentuais aplicados sobre a Rr para o cálculo do Potencial hídrico subterrâneo. ....	73
<b>Tabela 10:</b> Dados das unidades de gestão para o enquadramento aos critérios. ....	82
<b>Tabela 11:</b> Quantidade de poços por sub-bacia. ....	83
<b>Tabela 12:</b> Municípios inseridos integralmente da sub-bacias. ....	84
<b>Tabela 13:</b> Classificação dos poços junto ao SIOUT. ....	89
<b>Tabela 14:</b> Quantidade de poços por informação. ....	90
<b>Tabela 15:</b> Caracterização da vazão na Bacia TA. ....	93
<b>Tabela 16:</b> Caracterização da vazão nas demais escalas. ....	94
<b>Tabela 17:</b> Caracterização do NE na Bacia TA. ....	94
<b>Tabela 18:</b> Caracterização do NE nas demais escalas. ....	95
<b>Tabela 19:</b> Caracterização do Tb na Bacia TA. ....	95
<b>Tabela 20:</b> Caracterização do Tb nas demais escalas. ....	95
<b>Tabela 21:</b> Disponibilidades hídricas instaladas. ....	96
<b>Tabela 22:</b> Precipitação média anual da bacia e das demais escalas. ....	98
<b>Tabela 23:</b> Evapotranspiração média anual da bacia e das demais escalas. ....	101
<b>Tabela 24:</b> % de área inserida em cada tipo de solo de cada escala. ....	103
<b>Tabela 25:</b> % de área inserida em cada intervalo de declividade na bacia e nas demais escalas. ....	106
<b>Tabela 26:</b> Coeficiente de escoamento e escoamento superficial de cada escala. ....	107
<b>Tabela 27:</b> Recarga média anual na bacia e nas demais escalas. ....	108
<b>Tabela 28:</b> Diferença do potencial hídrico subterrâneo estimado localmente e através dos dados de unidade de TA_Plano e TA_BH. ....	112

<b>Tabela 29:</b> Diferença do potencial hídrico subterrâneo estimado localmente e através dos dados de unidade de gestão e sub-bacia.....	115
<b>Tabela 30:</b> % e grau de comprometimento estimados com o dado local nos cenários de 15 e 25% da recarga. ....	118
<b>Tabela 31:</b> % e grau de comprometimento na UC, utilizando 75% da recarga, no cenário de Di (Tb 24h). ....	121
<b>Tabela 32:</b> % e grau de comprometimento em UC, SARG, SARC e DC, utilizando 50% da recarga, no cenário de Di (Tb 24h). ....	121
<b>Tabela 33:</b> % e grau de comprometimento em UC, utilizando 50% da recarga, no cenário de Di (Tb 18h). ....	122
<b>Tabela 34:</b> Percentuais de comprometimento superiores aos locais, no cenário de 15% da recarga. ....	123
<b>Tabela 35:</b> Percentuais de comprometimento superiores aos locais, no cenário de 25% da recarga. ....	125
<b>Tabela 36:</b> Percentuais de comprometimento inferiores aos locais, no cenário de 15% da recarga. ....	127
<b>Tabela 37:</b> Percentuais de comprometimento inferiores aos locais, no cenário de 25% da recarga. ....	129
<b>Tabela 38:</b> Diferenças entre as estimativas de Di, realizadas pela ferramenta, frente a diferentes dados de vazão. ....	138

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Principais legislações, em nível nacional, das águas subterrâneas. ....	7
<b>Quadro 2:</b> Atribuição dos órgãos estaduais estabelecida no Decreto n° 42.047/2002.....	10
<b>Quadro 3:</b> Situações dos planos de bacias no estado do Rio Grande do Sul. ....	12
<b>Quadro 4:</b> Programas previstos no PERH.....	13
<b>Quadro 5:</b> Textos legais que preveem a proteção das águas subterrâneas em nível nacional. ....	16
<b>Quadro 6:</b> Equações de cálculo para reservas permanentes para alguns tipos de aquíferos... ..	22
<b>Quadro 7:</b> Equações de cálculo para reservas renováveis para alguns tipos de aquíferos.....	23
<b>Quadro 8:</b> Percentual passível de utilização para alguns tipos de aquífero. ....	33
<b>Quadro 9:</b> Unidades geomorfológicas da bacia Taquari-Antas. ....	44
<b>Quadro 10:</b> Descrição dos sistemas aquíferos situados ao sul da bacia Taquari-Antas.....	48
<b>Quadro 11:</b> Relação entre a potencialidade do sistema aquífero fraturado e as diferentes regiões.....	51
<b>Quadro 12:</b> Cálculo das disponibilidades hídricas totais para cada escala estudada. ....	61
<b>Quadro 13:</b> Municípios abastecidos por manancial misto e superficial.....	63
<b>Quadro 14:</b> Estação pluviométricas utilizadas. ....	67
<b>Quadro 15:</b> Estações pluviométricas utilizada nas escalas de UG, sub-bacia e municípios. ..	69
<b>Quadro 16:</b> Classificação do escoamento superficial. ....	70
<b>Quadro 17:</b> Equações do potencial hídrico subterrâneo calculado a partir de Rr estimado para bacia TA. ....	73
<b>Quadro 18:</b> Equações do potencial hídrico subterrâneo calculado a partir de Rr estimado para UG e UC. ....	75
<b>Quadro 19:</b> Equações do potencial hídrico subterrâneo calculado a partir de Rr estimado para SARG e SARC. ....	76
<b>Quadro 20:</b> Equações do potencial hídrico subterrâneo para os municípios de Vila Maria e David Canabarro.....	76
<b>Quadro 21:</b> Classificação do comprometimento do Potencial hídrico subterrâneo. ....	78
<b>Quadro 22:</b> Descrição dos módulos da ferramenta de cálculo.....	81
<b>Quadro 23:</b> Legislações municipais existentes na Bacia Taquari Antas.....	86
<b>Quadro 24:</b> Reclassificação dos solos.....	102
<b>Quadro 25:</b> Ordem de aproximação dos resultados de comprometimento local .....	131
<b>Quadro 26:</b> Análise do comprometimento simulado pela ferramenta em UC, apresentada no módulo 2.....	135

<b>Quadro 27:</b> Análise do volume restante simulado pela ferramenta em UC, apresentada no módulo 3.....	136
<b>Quadro 28:</b> Identificação e caracterização da Bacia do rio Conceição e cálculo do potencial realizados no módulo 1.....	140
<b>Quadro 29:</b> Estimativa da disponibilidade hídrica instalada na Bacia do rio Conceição, realizada no módulo 1.....	141
<b>Quadro 30:</b> Análise do comprometimento simulado pela ferramenta na Bacia do Rio Conceição, apresentada no módulo 2. ....	142

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

$\langle \rangle$	Maior que
$\times$	Menor que
°	Grau
°C	Grau Celsius
ANA	Agência Nacional das Águas
Art	Artigo
BFImax	Valor máximo do índice de fluxo de base
BH	Balanço Hídrico
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CF	Constituição Federal
Cm	Centímetro
CN	Número da Curva
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRH-RS	Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DC	David Canabarro
Di	Disponibilidade hídrica instalada
Di (Tb médio)	Disponibilidade hídrica instalada no cenário de tempo de bombeamento médio
Di (Tb 18h)	Disponibilidade hídrica instalada no cenário de tempo de bombeamento de 18h
Di (Tb 24h)	Disponibilidade hídrica instalada no cenário de tempo de bombeamento de 24h
Dif	Disponibilidade hídrica instalada futura
Dit	Disponibilidade hídrica instalada total
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRH	Departamento de Recursos Hídricos
Eq	Equação
Esc	Escala
ET	Evapotranspiração
ETR	Evapotranspiração real
ETP	Evapotranspiração potencial
EX	Excedente de água
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
FEPAGRO	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária
H	Horas
Hab	Habitantes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
km <sup>3</sup>	Quilômetro cúbico
M	Metro
Mm	Milímetro
n.	Número

NA	Nível de água
NE	Nordeste
NE	Nível Estático
P	Precipitação
PAP	Programa de Perfuração de Poços Artesianos
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PIB	Produto Interno Bruto
Po	Potencial hídrico subterrâneo
Q	Vazão
RIMAS	Rede integrada de monitoramento de águas subterrâneas
Roff	Escoamento superficial
Rp	Reserva permanente
Rr	Reserva renovável
RS	Estado do Rio Grande do Sul
SARC	Sub-bacia Alto rio Carreiros
SARG	Sub-bacia Alto rio Guaporé
SASG	Sistema aquífero Serra Geral
SAG	Sistema aquífero Guarani
SEMA	Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIAGAS	Sistema de Informações de Água Subterrânea
SIGAS	Sistema Integrado de Gestão de Águas Subterrâneas
SIGRH	Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SIOUT	Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
STE	Serviços Técnicos de Engenharia
SW	Sudoeste
TA	Taquari – Antas
TA_BH	Recarga estimada para a bacia Taquari-Antas utilizando o método de Balanço Hídrico
TA_Plano	Recarga estimada pelo Plano de bacia da Taquari-Antas
Tb	Tempo de bombeamento
UATA	Unidade Alto Taquari-Antas
UBTA	Unidade Baixo Taquari-Antas
UC	Unidade Carreiros
UF	Unidade Forquena
UG	Unidade Guaporé
UMTA	Unidade Médio Taquari-Antas
Uni	Unidade
UP	Unidade Prata
VM	Vila Maria
VNA	Variação do Nível de Água

## 1. INTRODUÇÃO

Para o gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos, sejam eles superficiais e/ou subterrâneos, é preciso inicialmente delimitar a área que será administrada. Contudo, há diversos interesses que envolvem o uso dos recursos hídricos, o que torna a delimitação da área uma tarefa mais complexa do que se apresenta (LIMA et al, 2016).

O Art. I, V. da Lei nº 9433/97, em seus fundamentos, institui a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Segundo Coelho (2006), a bacia hidrográfica é um ambiente onde sua área pode ser definida como uma superfície terrestre delimitada topograficamente que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum em um determinado ponto de um canal fluvial. Logo, a Bacia Hidrográfica tornou-se uma das referências espaciais mais comuns nos estudos e projetos, por estar presente em grande parte da legislação vigente no que diz respeito ao meio ambiente (RODRIGUES & ADADI, 2005).

Sendo assim, os planos de bacia, os quais são um dos instrumentos da política nacional de recursos hídricos, são desenvolvidos tendo como área de atuação e planejamento de gestão a bacia hidrográfica. Nos planos, entre os vários diagnósticos e prognósticos realizados, é feita a estimativa da recarga e potenciais hídricos subterrâneos da bacia, assim como as disponibilidades hídricas instaladas na mesma, para estimar os recursos ainda disponíveis e que estão sendo utilizados na bacia.

Contudo, em bacias hidrográficas onde estão inseridos aquíferos fraturados (caso da bacia Taquari-Antas), que são anisotrópicos e apresentam variações significativas das características hidrodinâmicas, se faz necessário o desenvolvimento de estudos em escalas mais detalhadas, para se ter uma estimativa mais real dos recursos hídricos subterrâneos disponíveis e suas variações no espaço.

Na bacia Taquari-Antas os recursos hídricos subterrâneos tem grande importância, pois quase 70% de seus municípios são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas, os quais juntos reúnem quase 27% da população da bacia.

A estimativa da recarga é o primeiro passo para se quantificar as águas subterrâneas existentes na bacia, sendo que a mesma pode ser considerada como a reserva renovável do sistema aquífero. Já os recursos hídricos subterrâneos disponíveis podem ser estimados através de um percentual que varia entre os autores de 15 a 100% da

recarga(CONEJO, 1994; REBOUÇAS et al 1994; COSTA, 1998; KIANG et al ,2003; ANA, 2005; HEINE, 2008; DAEE 2009). Tal volume representaria o valor sustentável a ser utilizado para exploração do sistema aquífero, sem trazer prejuízo as demais funções ambientais do mesmo. Para a bacia hidrográfica Taquari-Antas,o plano de bacia estimou um valor de recarga, em 8% da precipitação média anual (STE, 2011). Com base na determinação desse percentual, foram estimados os potenciais hídricos subterrâneos da bacia e das sete unidades de gestão que a compõe. Contudo, o estudo realizado porBortolin et al (2016) em uma sub-bacia do Rio da Prata na bacia em questão, estimou uma recarga de 18%.Logo, no estudo realizado em uma escala maior(sub-bacia), já foi verificadauma diferença significativa em relação ao valor de recarga estimado para uma escala menor (a bacia hidrográfica). As diferenças que podem ocorrer entre as estimativas de recarga realizadas em escala de bacia hidrográfica em relação as existentes nas unidades que a compõem, como por exemplo sub-bacia e municípios, tem reflexo direto nas avaliações de potencial hídrico subterrâneo e conseqüentemente no % de comprometimento do mesmo nessas regiões. Também deve-se ressaltar que, nas menores áreas, como nos municípios, os quais em sua maioria, na bacia Taquari-Antas, dependem exclusivamente da água subterrânea, com o dado de recarga estimado para a bacia hidrográfica como um todo, não é possível avaliar a situação do mesmo, sendo que isso pode acarretar em problemas futuros de falta de disponibilidade.

Frente a este cenário, o presente estudo tem como objetivo analisar se os dados de recarga estimados para a escala de bacia, pode ser utilizado para a estimativa do potencial hídrico subterrâneo para unidades menores, que formam esta bacia (unidades de gestão, sub-bacias, municípios) e, por fim, elaborar uma ferramenta de avaliação do potencial hídrico subterrâneo e do comprometimento do mesmo, a qual possa ser utilizada na gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo geral desse trabalho é analisar se os estudos de potencial hídrico subterrâneo realizados com o dado de recarga estimado em escala de bacia, podem ser utilizados para a avaliação de diferentes unidades que formam a mesma (unidades de gestão, sub-bacias, municípios), bem como elaborar uma ferramenta de avaliação do potencial hídrico subterrâneo e do comprometimento do mesmo, que possa ser utilizada na gestão desses recursos.

Os objetivos específicos contemplam:

- Simular diferentes cenários de potencial hídrico subterrâneo para as diferentes escalas, considerando porcentagens diferentes das reservas renováveis (15, 25, 50, 75 e 100%);
- Estimar a disponibilidade hídrica instalada considerando tempo de bombeamento projetado, 18 e 24h;
- Analisar o percentual e grau de comprometimento do potencial hídrico subterrâneo estimado com os dados de recargas estimados em diferentes escalas e compara-los com o estimado localmente.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Nos itens a seguir foram abordados questões e conceitos importantes referentes a gestão, reservas, disponibilidade instalada e potenciais hídricos subterrâneos. Sendo apresentado também características da área de estudo. Logo, os itens apresentados serviram para definição da metodologia e embasamentos dos resultados.

#### **3.1 A importância dos recursos hídricos subterrâneos**

Os recursos hídricos subterrâneos, estocados em sistemas aquíferos pelo mundo, representam a maior reserva de água doce, na forma líquida, disponível no planeta Terra. Conforme Rebouças (2008), globalmente o volume de água doce existente é de 10,3 milhões de km<sup>3</sup>, frente a apenas cerca de 104 mil km<sup>3</sup> acumulados em rios e lagos. Rebouças et al (1999) expressam este volume em porcentagem, com 97% da água doce líquida, passível de ser explorada nos continentes, situada no subsolo.

O Brasil possui uma reserva total de águas subterrâneas da ordem de 122 mil km<sup>3</sup> (REBOUÇAS, 2008), tal valor supera o volume de água doce estimado para os rios e lagos globalmente. As águas subterrâneas no país desempenham importante alicerce para a manutenção da economia, qualidade de vida e para a promoção do desenvolvimento social. Conforme ANA(2009), cerca de 39% dos municípios são abastecidos exclusivamente por água subterrânea e 14% de forma mista. Vale destacar que os estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Paraná possuem mais de 50% de seus municípios abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas (ANA, 2010). Em 2013, esses três estados estavam entre os cinco que mais contribuíram para o Produto Interno Bruto-PIB, concentrando, somente os três, 44,6% do mesmo, sendo o maior contribuinte o estado de São Paulo (32,1%), seguido pelos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, com contribuições de, respectivamente, 6,3 e 6,2 %.

Somente os dados apresentados até o presentemomento bastariam para expressar a importância das águas subterrâneas no Brasil e no mundo. Contudo, o foco dado até aqui foi em apenas uma das funções dos sistemas aquíferos: a de armazenamento. As demais funções exercidas pelos sistemas aquíferos são de suma importância para a manutenção do meio ambiente e dos cursos de águas superficiais e tendem a assumir uma posição de maior importância na medida em que as mesmas têm a sua qualidade degradada. Essas funções são apresentadas a seguir, de forma sucinta, baseada na descrição realizada por Rebouças (2008):

- Função de produção – consiste na perfuração de poços para extração de águas subterrâneas;
- Função de transporte –consiste na condução das águas depositadas nas zonas de recarga para as áreas de bombeamento, onde o uso da água subterrânea é mais intensivo;
- Função Filtro – os aquíferos atuam como filtros naturais, reduzindo os custos de tratamento da água para consumo;
- Função energética – a água quente do aquífero pode ser utilizada como fonte de energia geotermal. O Brasil tem um grande potencial de águas quentes de baixa entalpia em suas bacias sedimentares (REBOUÇAS, 2008);
- Função de estocagem e regularização –permite o armazenamento de água oriundo de excedentes sazonais de água de enchente dos rios, de estações de tratamento de água e de reuso não potável.

Mesmo frente ao exposto, conforme Rebouças (2008), as águas subterrâneas têm sido amplamente ignoradas, sendo que Hirata et al (2010) definem a gestão das águas subterrâneas no Brasil como incipiente, não refletindo a sua importância. A seguir será descrito o que há no Brasil, em relação a legislação, para os recursos hídricos, dando ênfase aos recursos hídricos subterrâneos.

### **3.2 Gestão dos recursos hídricos subterrâneos a nível nacional, estadual e municipal**

Para propor medidas e modelos de gestão para as águas subterrâneas é necessário, primeiramente, entender a dinâmica da legislação existente para a mesma.

Conforme previsto no Art. 20, III.da CF/88, a águaé um bem da união quando situada em terrenos de seu domínio ou quando banham mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham. A mesma constituição, em seu Art. 26, I., define como bem do estado as águas que residam dentro dos limites territoriais do mesmo, com exceção das decorrentes de obras da União. Desta forma, dependendo de sua localização, as águas podem ser de domínio da União ou dos Estados.Os municípios não dispõem de águas de seu domínio, contudo, conforme Pompeu (2008),devidoàs atividades voltadas ao uso do solo, os municípios acabam desenvolvendo importante papel na proteção ambiental e no desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos.

Conforme o Art. 23, VI e XI da CF/88 é comum à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios praticarem ações no sentido de proteger o meio ambiente, combater a poluição, em qualquer de suas formas, e registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de recursos hídricos e minerais em seus territórios.

Para os recursos hídricos, há a Lei federal 9.433/1997, a qual institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sendo a bacia hidrográfica a unidade territorial para a implementação e atuação de ambos.

Os instrumentos existentes para a implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos são: os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da mesma; a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (Art 5 da Lei 9.433/1997).

Tanto a Política Nacional dos Recursos Hídricos como o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, possuem duas ferramentas importantes com abrangência nacional para recursos hídricos subterrâneos que são: o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e a Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS), ambos operados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). O SIAGAS consiste no cadastro nacional de poços e foi desenvolvido em 1997, conforme Viero et.al (2002), “O mesmo visa reunir os dados e informações dispersas em bancos regionais e particulares, antes de difícil acesso aos usuários”. O SIAGAS não abrange o universo total de poços existentes no Brasil, sendo realizada uma estimativa com base na taxa de crescimento linear anual de 10.800 poços, conforme estimado por Cardoso et al. (2008).

Pompeu (2008), salienta que o código brasileiro de águas é considerado, mundialmente, como uma das leis mais completas em relação a este elemento. Contudo, para Hager & Almeida (2008) “O arcabouço legal brasileiro para gestão de recursos hídricos foi construído com base nos aspectos ligados às águas superficiais”. Na mesma linha de pensamento Conicelli & Hirata (2016), destacam que “Ações de controle adotadas para a gestão da água superficial têm sido, quando aplicadas para as águas subterrâneas, pouco efetivas no mundo inteiro”. Segundo Rebouças (1998), em relação as águas subterrâneas, o código das águas não obteve a complementação e regulamentação necessárias e previstas no mesmo, viabilizando o uso descontrolado das águas

subterrâneas. Freire (2002), apud Silva et. al, (2008), partilham do mesmo pensamento dos autores anteriormente citados, contudo, salienta a preocupação que leis específicas voltadas para o tema de águas subterrâneas aumentassem, no ponto de vista legal e administrativo, a necessidade de uma gestão integrada de ambos os recursos superficial e subterrâneo.

A necessidade de normativas e orientações gerais sobre as águas subterrâneas, em nível nacional, iniciaram em 1999, devido às discussões sobre o Projeto Aquífero Guarani (HAGER & ALMEIDA, 2008).

Conforme Granziera & Granziera (2014), as resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH progrediram em relação às águas subterrâneas, estabelecendo as diretrizes básicas para a sua gestão. Desta forma, no quadro 1, são apresentadas as principais resoluções, em nível nacional, relacionadas as águas subterrâneas.

Quadro 1: Principais legislações, em nível nacional, das águas subterrâneas.

<b>Resolução</b>	<b>Descrição</b>
CNRH n. 9, de 2000	Institui a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas
CNRH n. 15, de 2001	Estabelece diretrizes gerais para a gestão das águas subterrâneas
CNRH n. 22, de 2002	Estabelece diretrizes para a inserção das águas subterrâneas no plano de recursos hídricos
CONAMA n. 396, de 2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento de águas subterrâneas
CNRH n. 107, de 2010	Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para planejamento, implantação e operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.

Fonte: elaborado pelo autor.

As resoluções do CNRH n. 22 e do CONAMA n. 396, citadas no quadro 1, servem para estabelecer diretrizes complementares para aplicação dos instrumentos para a implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos, previstos na Lei 9.433/1997.

As águas subterrâneas são de domínio dos Estados, conforme CF/88. Desta forma, cabe aos órgãos competentes de cada estado a guarda e proteção das águas subterrâneas e, no âmbito administrativo, a aplicação dos instrumentos de gestão previstos nas políticas de recursos hídricos.

A outorga é um dos instrumentos de gestão previstos nas políticas de recursos hídricos e conforme a Lei 9.433/1997, possui o nobre objetivo de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à mesma.

Conforme os dados da ANA (2013), o número de outorgas emitidas para os recursos hídricos subterrâneos é crescente, sendo sempre a quantidade de outorgas emitidas para os recursos superficiais superiores as dos recursos subterrâneos.

A pouca aplicabilidade dos instrumentos de gestão previstos na Lei 9.433/1997, em relação as águas subterrâneas, pode ser melhor entendida levando em consideração as constatações apresentadas por Hirata et. al, (2010) e Conicelli & Hirata (2016):

- falta de informações sobre o potencial e o estágio de exploração dos aquíferos no país;
- não há um entendimento por parte dos usuários e da sociedade em geral sobre o funcionamento dos aquíferos. Além disso, o fato de os impactos sofridos pelas águas subterrâneas não serem visíveis, dificultando correlação entre causa e efeito no espaço e no tempo, bem como a percepção dos impactos por parte do usuário, da sociedade e dos órgãos de governo;
- usuários e tomadores de decisão não veem consequências na falta de cumprimento da lei, originando a grande quantidade de poços ilegais, aliado ao fato dos usuários considerarem o processo de autorização moroso, custoso e com retorno duvidoso.

Logo, conforme constatado por Rebouças em 1998, a atuação dos órgãos responsáveis pelo uso e proteção das águas subterrâneas, nos três níveis de governo, ainda segue insuficiente.

Contudo, o arcabouço legal em relação aos recursos hídricos subterrâneos está evoluindo ao longo do tempo, conforme foi apresentado. Os aspectos gerais para a proteção e utilização das águas subterrâneas já estão abordados na lei 9.433/1997 e nas resoluções específicas do CNRH. Para se ter um avanço na questão da gestão das águas subterrâneas é necessário inserir os usuários em uma gestão participativa da mesma, e conscientizar em relação ao funcionamento dos aquíferos e os impactos relacionados a sua exploração incorreta. Desta forma, os comitês de bacias, os quais incluem a participação dos usuários, poderiam atuar de forma mais eficiente nas questões voltadas aos recursos hídricos subterrâneos.

No item a seguir será abordada a gestão das águas subterrâneas no estado do Rio Grande do Sul, onde está inserida a área de estudo desta pesquisa. Ao contrário dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Norte e Distrito Federal, o estado do Rio Grande do Sul não possui uma rede de monitoramento regional, apenas a rede nacional do RIMAS, fato que já ocasiona dificuldades nas questões relacionadas a gestão dos recursos hídricos subterrâneos neste estado, conforme será apresentado a seguir.

### **3.2.1 Gestão dos recursos hídricos subterrâneos no estado do Rio Grande do Sul**

O estado do Rio Grande do Sul foi um dos primeiros a criar uma legislação sobre a Política Estadual de Recursos hídricos (RODRIGUES & ADADI, 2005). Assim como o Rio Grande do Sul, os estados de Santa Catarina, Bahia, Paraíba e Rio Grande do Norte também aprovaram suas leis estaduais antes da Lei Federal 9.433/97, sendo o Estado de São Paulo o pioneiro no país na criação da Política Estadual de Recursos hídricos (SILVA et al, 2008).

No estado do Rio Grande do Sul, o Sistema Estadual dos Recursos Hídricos é instituído pela Lei Estadual 10.350/94. Conforme Silva et al (2008), a criação de um sistema estadual de recursos hídricos era um anseio da sociedade, o qual se fundamentou na Constituição Estadual de 1989, sendo definido em seu Art. 171 a criação do Sistema Estadual de Recursos Hídricos. Conforme Brinckmann (1999), a Política Estadual de Recursos Hídricos (LEI 10.350/94), permite a realização de uma gestão integrada com a participação da sociedade inserida na bacia hidrográfica.

Especificamente para as águas subterrâneas, o estado do Rio Grande do Sul possui Decreto n° 42.047/2002, o qual regulamenta o gerenciamento e a conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no estado, sendo que, em novembro 2014 entrou em vigor o decreto n° 52.035, o qual alterou partes do texto do decreto de 2002. A resolução 255/2017 estabelece critérios gerais de outorga das captações de águas subterrâneas: usos permitidos e valores de referência das vazões a serem outorgadas. A resolução 302/2018, estabelece prazo para regularização da captação de água subterrânea por poços existentes na área rural e urbana mediante cadastro no Sistemas de Outorga de águas do Rio Grande do Sul - SIOUT. Vale salientar, que a resolução 302/2018 teve dois artigos alterados pela resolução 333/2019.

O Decreto n° 42.047/2002 define diretrizes para a emissão da outorga, cadastramento dos poços, manutenção e operação dos mesmos, sendo a outorga para o

uso da água subterrânea, no estado, emitida pelo Departamento de Recursos Hídricos - DRH.

Além disso, no decreto em questão estão previstos:

- programas permanentes de pesquisa, conservação e proteção;
- avaliação dos recursos hídricos subterrâneos e o planejamento do seu uso racional;
- aplicação de medidas relativas a proteção e conservação dos recursos hídricos subterrâneos;
- áreas e perímetros de proteção dos poços.

No quadro 2, são apresentadas as atribuições de cada órgão público estadual em relação ao gerenciamento das águas subterrâneas.

Quadro 2: Atribuição dos órgãos estaduais estabelecida no Decreto n° 42.047/2002.

<b>Órgãos estaduais</b>	<b>Atribuições</b>
Departamento de Recursos Hídricos – DRH	Administração das águas subterrâneas do Estado, nos campos de pesquisa, captação, fiscalização, extração e acompanhamento de sua interação com ciclo hidrológico.
Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – FEPAM	Normatização dos procedimentos de prevenção, controle e fiscalização da qualidade das águas subterrâneas.
Secretaria Estadual da Saúde em articulação com os municípios	Fiscalização da qualidade das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano, quanto ao atendimento do padrão de potabilidade, estabelecido por legislação específica.

Fonte: elaborado pelo autor.

“O processo de gestão das águas requer um conjunto de instrumentos capazes de viabilizar as ações necessárias ao gerenciamento integrado das bacias hidrográficas” (SEMA, 2012). Para o Rio Grande do Sul a legislação estabeleceu instrumentos de planejamento: tais como Plano Estadual de Recursos Hídricos e Planos de Bacias, e de controle: tais como a outorga e a cobrança pelo uso da água. A situação de implementação desses instrumentos no estado do Rio Grande do Sul será abordada a seguir.

A outorga é um instrumento de controle, o qual objetiva regularizar a utilização dos recursos hídricos, visando o uso múltiplo dos mesmos. No estado do Rio Grande do Sul, conforme SEMA (2012), o início da emissão de outorgas pelo DRH foi no ano de 2003, nas modalidades autorização e concessão.

A autorização é concedida nos casos em que não há definição das condições de disponibilidade quali-quantitativa, sendo concedida em caráter precário, podendo ser

revogada a qualquer momento e a concessão é para os casos de utilidade pública de abastecimento doméstico pelo prazo máximo de 10 anos (Decreto Estadual nº 37033/96).

Até dezembro de 2006 haviam 6.633 processos cadastrados, dos quais cerca de 65% eram referentes as águas superficiais e do total de processos, foram emitidas 4.040 outorgas (SEMA, 2007). Em 2009 foram concedidas somente 899 outorgas, sendo 345 para as águas subterrâneas e 554 para as águas superficiais (SEMA, 2012). Em 2010 a quantidade de outorgas reduziu, sendo o total concedido de 650 outorgas, sendo 172 para águas subterrâneas e 478 para águas superficiais (SEMA, 2012).

O SIOUT é uma ferramenta desenvolvida recentemente pelo corpo técnico do DRH em conjunto com a Universidade Federal de Lavras. Conforme SEMA (2017), o SIOUT tem o intuito de aprimorar o gerenciamento das concessões e administração das outorgas de uso de água, através da aquisição de informações relativas aos recursos hídricos de forma eletrônica. O cadastro de uso e usuários de águas subterrâneas teve início no SIOUT em agosto de 2016 (SEMA, 2016), e até 12 de março de 2020 já haviam 11.022 poços cadastros e 2.932 com autorização prévia, sendo os status dos processos iniciados no sistema apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Status dos processos dos poços iniciados no SIOUT até 12 de março de 2020.

<b>Status</b>	<b>Cadastro</b>	<b>Autorização Prévia</b>
Concedidas	....	2.620
Em andamento	439	208
Concluída	9.043	....
Concluída - Aguardando aprovação	10	1
Aguardando o pagamento da guia	....	58
Aguardando formalização de documentos	64	....
Aguardando análise	728	....
Em análise	31	....
Aguardando alteração de dados inconsistentes	292	....
Desativadas	415	45
<b>Total</b>	<b>11.022</b>	<b>2.932</b>

Fonte: SIOUT, 2020.

Comparado aos dados de outorga para águas subterrâneas em 2009 e 2010, mesmo considerando somente os cadastros concluídos e as autorizações prévias concedidas, nota-se um aumento significativo do controle da utilização dos recursos hídricos subterrâneos com a utilização do SIOUT.

Conforme SEMA (2012), o instrumento de cobrança ainda não foi implantado no estado do Rio Grande do Sul. Contudo, no estado, estão sendo realizados estudos visando a aplicação deste instrumento, sendo que já há um estudo de simulação realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, na Região Hidrográfica do Uruguai. A cobrança pelo uso de recursos hídricos tem o objetivo de: I) reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor; II) incentivar a racionalização do uso da água; III) obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos (Art 19 da Lei 9.433/1997).

O Estado do Rio Grande do Sul é constituído por 25 bacias hidrográficas, as quais integram três regiões hidrográficas de nosso Estado: Guaíba (9 bacias), Uruguai (11 bacias) e Bacias Litorâneas (5 bacias). Todas as 25 bacias hidrográficas já possuem seus respectivos comitês instalados. No quadro 3 é apresentada a situação das bacias mencionadas em relação aos seus planos de bacias, sendo que a etapa A: abordagem diagnóstica da bacia hidrográfica, a etapa B: cenários futuros e enquadramento, e a etapa C: o programa de ações. Das 25 bacias, 8 possuem as 3 etapas concluídas, 6 apenas as etapas A e B concluídas, sendo uma delas a bacia Taquari-Antas, e apenas 1 bacia está somente com a etapa A concluída (SEMA, 2020). Contudo, quase um terço das bacias ainda não possuem plano, a maioria delas estão inseridas na região hidrográfica do Uruguai.

Quadro 3: Situações dos planos de bacias no estado do Rio Grande do Sul.

<b>Bacia</b>		<b>Fases e Status</b>		
<b>Cód.</b>	<b>Nome</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
G010	Gravataí	Concluída	Concluída	Concluída
G020	Sinos	Concluída	Concluída	Concluída
G030	Caí	Concluída	Concluída	Concluída
G040	Taquari-Antas	Concluída	Concluída	
G050	Alto Jacuí	Concluída	Concluída	
G060	Vacacaí-Vacacaí Mirim			
G070	Baixo Jacuí	Concluída	Concluída	Concluída
G080	Lago Guaíba	Concluída	Concluída	Concluída

<b>Bacia</b>		<b>Fases e Status</b>		
<b>Cód.</b>	<b>Nome</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
G090	Pardo	Concluída	Concluída	Concluída
L010	Tramandaí	Concluída	Concluída	Em elaboração
L020	Litoral Médio			
L030	Camaquã	Concluída	Concluída	Concluída
L040	Mirim-São Gonçalo			
L050	Mampituba	Concluída		
U010	Apuaê-Inhandava	Em elaboração	Em elaboração	Em elaboração
U020	Passo Fundo	Concluída	Concluída	
U030	Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo	Concluída	Concluída	
U040	Piratinim			
U050	Ibicuí	Concluída	Concluída	
U060	Quaraí			
U070	Santa Maria	Concluída	Concluída	Concluída
U080	Negro			
U090	Ijuí	Concluída	Concluída	
U100	Várzea			
U110	Butuí-Icamaquã			

Fonte: Divisão de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do DRH (2020).

Em relação às águas subterrâneas foram calculados, no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), as disponibilidades, demandas e consumos de cada uma das 25 bacias, sendo apresentados também os aspectos qualitativos das mesmas. No quadro 4, constam os seis programas previstos no PERH, os quais são compostos por sub-projetos, onde estão previstos o monitoramento e a estimativa da disponibilidade hídrica subterrânea no estado.

Quadro 4: Programas previstos no PERH.

<b>Programas</b>	
1	Articulação institucional
2	Instrumentos de gestão
3	Aumento do conhecimento
4	Intervenções estratégicas
5	Capacitação e comunicação
6	Gerenciamento da implantação do PERH

A análise de cenários futuros de demandas e consumos de recursos hídricos subterrâneos no estado não foi efetuada de forma separada dos recursos hídricos superficiais. Desta forma, é difícil estimar, através do plano, a taxa de crescimento do volume hídrico subterrâneo demandado.

A Agência de bacia é um órgão técnico do estado, a serviço do Sistema Estadual de Recursos Hídricos, dos comitês e do DRH. Conforme Cánepa et al. (2017), estão previstas apenas três agências para o estado do Rio Grande do Sul, uma para cada região hidrográfica, devido a questões econômicas, no entanto, nenhuma está implementada ainda. Conforme Ecoplan (2007), estudos estavam sendo desenvolvidos para melhor definição do perfil institucional para as Agências de Região Hidrográfica, bem como as suas personalidades jurídicas. Na ausência das Agências de Região Hidrográfica, o Sistema Estadual de Recursos Hídricos tem contratado serviços e estudos terceirizados, para suprir a lacuna operacional (ECOPLAN, 2007).

### **3.3 Medidas de gestão dos recursos hídricos subterrâneos**

O aumento da utilização das águas subterrâneas devido a constante redução da qualidade e quantidade de recursos hídricos superficiais configura a mesma como uma fonte de recursos atuais e estratégicos para o desenvolvimento social e econômico. Frente a isso, medidas de gestão quantitativas e qualitativas visando a proteção desses sistemas aquíferos e das captações já existentes e futuras se fazem necessárias.

As medidas quantitativas e qualitativas se complementam e devem ser aplicadas de forma coordenada e conjunta. A seguir são descritas as medidas de gestão qualitativa e quantitativa geralmente utilizadas.

#### **3.3.1 Medidas de gestão qualitativas**

As medidas de gestão qualitativas são voltadas para a restrição do uso do solo ao redor da captação e zoneamento das regiões mais vulneráveis a contaminação, caso haja uma fonte para a mesma. Desta forma, a proposição de perímetros de proteção se torna imprescindível em qualquer plano de proteção de poços, sendo necessário também o ordenamento do uso do solo no meio urbano, em especial nas áreas onde ocorrem poços para o abastecimento público (TOSCANO & SILVA, 2012).

Carvalho e Hirata (2012), defendem que a proteção dos recursos hídricos subterrâneos deve ter como base o controle da ocupação do solo e das atividades potencialmente contaminantes, sendo feito a partir de zoneamento do terreno, com uso de duas técnicas separadas: cartografia da vulnerabilidade de aquíferos à contaminação,

voltada para a proteção geral do aquífero, e perímetros de proteção de poços, voltados às fontes de captação de águas subterrâneas, sendo esta última uma medida pontual. A seguir são descritas, de forma geral, ambas as medidas: vulnerabilidade de aquíferos e perímetro de proteção.

### **3.3.1.1 Vulnerabilidade de aquíferos**

O mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação normalmente é o primeiro passo na avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea e na proteção de sua qualidade, em escala municipal ou estadual (FOSTER et al, 2006). Conforme Foster et al. (2002), a vulnerabilidade à contaminação de um aquífero é o conjunto de características intrínsecas do mesmo, que determinam a sua suscetibilidade a ser eventualmente afetado por uma carga contaminante.

Para a determinação da vulnerabilidade das águas subterrâneas, diversos métodos são empregados, sendo alguns deles para contaminantes específicos e outros para contaminação em geral (BORGES, 2017). A escolha do método está relacionada à disponibilidade de informações e/ou dados necessários para a aplicação do mesmo (BORGES, 2017). Na existência de poucos dados, opta-se pela adoção de métodos mais simples e amplos, que podem ser aplicados de forma mais rápida e menos custosa (MENESES et al., 2009). Este é o caso dos métodos GOD e DRASTIC, ambos aplicados para uma avaliação geral da vulnerabilidade (FEITOSA et al, 2008), sendo os mais utilizados.

Conforme Foster et. al (2002), os mapas de vulnerabilidade devem ser elaborados apenas para avaliar o perigo de contaminação da água subterrânea associado às descargas de substâncias que ocorrem na superfície do terreno em fase líquida dissolvida. Não são úteis para avaliação de contaminantes despejados abaixo do subsolo e derramamento de solventes orgânicos sintéticos imiscíveis.

### **3.3.1.2 Perímetro de proteção de poços**

Esta estratégia teve início com os programas governamentais da Europa e Estados Unidos, na década de 1980, com a finalidade de proteger as fontes de captação destinadas ao abastecimento de atividades potencialmente contaminantes, pelo controle e restrição do uso e ocupação do solo no seu entorno (IRITANI & EZAKI, 2010). Conforme Carvalho e Hirata (2012), as primeiras experiências com os perímetros de proteção de poços ocorreram na década de 1930 em países europeus. Segundo Barbosa (2007), delimitação de áreas de proteção de poços visa a adoção de medidas mais rígidas de

controle e prevenção da poluição nas porções mais próximas das captações, com o intuito de otimizar os esforços e os custos de fiscalização.

Os perímetros de proteção de poços devem ser protegidos contracontaminantes que se degradam com o tempo e contaminantes não degradáveis, sendo que neste último caso deve-se providenciar uma diluição. As duas medidas são necessárias para uma proteção completa (FOSTER et. al, 2002).

Por meio de dados e hipóteses sobre as condições hidrogeológicas locais e as características da própria fonte de abastecimento de água subterrânea, podem ser definidas zonas, de áreas geralmente concêntricas, na superfície do terreno ao redor da fonte, sendo as três mais importantes (FOSTER et. al, 2002):

- Zona de Captura Total da Fonte: área de proteção mais afastada da captação, sendo em seu interior toda a recarga do aquífero captada na fonte de abastecimento em questão;
- Zona de Proteção Microbiológica: área projetada para prevenir a ingestão de água subterrânea contaminada por bactérias, vírus e parasitas patogênicos;
- Zona Operacional de Captação: é a mais próxima da captação, sendo indicado que essa área seja de propriedade e controle do extrator de água subterrânea. Nessa zona não é permitida nenhuma atividade que não esteja relacionada com a própria extração da água.

Em nível nacional, os aspectos de proteção das águas subterrâneas foram abordados pelos textos legais citados no quadro 5.

Quadro 5: Textos legais que preveem a proteção das águas subterrâneas em nível nacional.

Resolução/ Portaria	Descrição
Portaria DNPM N° 231 de 31 de julho de 1998	Regulamenta as áreas de proteção das fontes de águas minerais
Resolução CNRH N° 22 de 2002	Dispõe que os planos de bacia devem explicitar medidas de prevenção, proteção, conservação e recuperação dos aquíferos, sendo que a criação de áreas de uso restritivo poderá ser adotada como medida para alcance dos objetivos propostos
Resolução CONAMA N° 396 de 2008	Estabelece que os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos deverão promover a implementação de áreas de proteção de aquíferos e perímetros de proteção de poços de abastecimento, objetivando a proteção da qualidade da água subterrânea.

Fonte: Adaptado de Toscano et al, 2008.

Segundo Toscano et al (2008), apenas os estados citados a seguir regulamentavam, através de Leis e Decretos, a administração, proteção e conservação das águas subterrâneas: São Paulo (Decreto Nº 32.955, 1991), Pernambuco (Lei 11.427, 1997), Pará (Lei 6.105, 1998), Minas Gerais (Lei 13.771, 2000), Goiás (Lei Nº 13.583, 2000), Rio Grande do Sul (Decreto Nº 42.047, 2002), Mato Grosso (Lei Nº 8.97, 2004), Mato Grosso do Sul (Lei Nº 3.183, 2006), e o Distrito Federal (Decreto Nº 22.358, 2001). Ainda segundo este autor, os estados que especificam valores de perímetros de proteção sanitária nas áreas de proteção de poços e outrocaptações de acordo com os seguintes raios a partir do ponto de captação são: Distrito Federal (30 metros), Mato Grosso (maior que 3 metros), Pará (10 metros), Pernambuco (10 metros), Piauí (10 metros), Rio Grande do Sul (10 metros), Roraima (10 metros), São Paulo (10 metros) e Tocantins (50 metros).

No estado do Rio Grande do Sul, além do Decreto Nº 42.047/2002, há o decreto 52.035/2014 que altera os artigos 30 e 31, os quais abordavam o perímetro de proteção no decreto de 2002.

### **3.3.2 Medidas de gestão quantitativas**

As medidas quantitativas são voltadas para que não ocorra desabastecimento dos poços e para garantir o uso sustentável das águas subterrâneas para que, desta forma, as mesmas sigam prestando os seus serviços ambientais e sociais.

Como já mencionado anteriormente, a outorga é o instrumento previsto na legislação responsável pelo controle qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos, sejam eles superficiais ou subterrâneos. Logo, a outorga é o único caminho legal para se assegurar o controle da exploração de águas subterrâneas.

Conforme Campos & Correa(2013), a definição da vazão a ser outorgada para as águas subterrâneas é algo complexo de ser realizado, frente as dificuldades de se determinar os volumes existentes no sistema aquífero e a abrangência da área de contribuição do mesmo. Frente a este fato, Campos & Correa (2013) propuseram alguns critérios para a determinação da vazão outorgável, sendo eles: vazão média do aquífero, percentual da vazão do poço, vazão de base da drenagem superficial, análise qualitativa dos dados de ensaios de bombeamento, rebaixamento disponível e vazão de segurança. Os mesmos serão descritos sucintamente a seguir:

- **Percentual da Vazão Média dos Poços do Aquífero:** essa vazão é obtida a partir de uma população de dados de poços com diferentes características construtivas, através da média aritmética simples ou a partir da média ponderada pelos

parâmetros construtivos do poço. O percentual é determinado com base nos parâmetros hidráulicos e dimensionais dos aquíferos como condutividade hidráulica, espessura saturada, porosidade eficaz e coeficiente de armazenamento. Esse critério é mais recomendado para aquíferos isotrópicos e homogêneos e apresenta limitações para sistemas aquíferos pouco conhecidos;

- **Percentual da Vazão do Poço:** nesse critério é utilizada uma fração da vazão obtida a partir da estabilização do nível dinâmico após ensaio de bombeamento contínuo de 24 horas. O percentual é definido com base no grau de comprometimento da região onde foi solicitada a outorga e do grau de recarga e descarga do aquífero para cada região em estudo. Esse critério é indicado para áreas onde os sistemas aquíferos sejam fortemente anisotrópicos ou muito heterogêneos. Para a adequada aplicação desse critério é necessário uma avaliação qualitativa dos dados dos ensaios de bombeamento;
- **Vazão de Base da Drenagem Superficial:** nesse critério é considerado que todo o fluxo de água em cursos superficiais nos períodos de recessão de chuvas seja fluxo subterrâneo, sendo o volume outorgado oriundo de um percentual da vazão de base. Esse critério é válido para os casos em que há uma forte relação entre a descarga de base com o potencial do aquífero, sendo que as vazões outorgáveis podem alcançar até 30% da vazão de base de longo período. Este critério não pode ser utilizado em regiões semi-áridas com rios intermitentes, uma vez que o fluxo de base é nulo e em regiões onde não existam dados históricos de vazões para compor o hidrograma na seção de interesse;
- **Rebaixamento Disponível:** para esse critério é necessário realizar uma análise matemática sobre dados de ensaios de bombeamento escalonados, com no mínimo três estágios com vazões crescentes. Para a determinação do rebaixamento disponível deve-se construir a equação característica do poço. O rebaixamento disponível pode ser utilizado como indicador para o valor máximo a ser atingido pelo nível dinâmico, independentemente da vazão do ensaio;
- **Vazão de Segurança:** esse critério corresponde à espacialização das reservas explotáveis por unidade de área. Nesse caso, a vazão outorgável será função da área do aquífero a que cada usuário tem disponível. Esse critério pode ser utilizado de forma complementar aos demais critérios e servir de valor limite para a concessão de outorgas em regiões submetidas a altas taxas de bombeamento;

- **Análise Qualitativa dos Dados de Ensaio de Bombeamento** nesse critério utilizam-se os dados de ensaios de bombeamento, principalmente a capacidade específica do poço. A razão da vazão pelo rebaixamento pode ser utilizada como critério relativo. Logo, quando a razão resultar em valores baixos, a vazão a ser outorgada deve ser muito inferior a vazão do ensaio. Entretanto, quando o valor for alto, a vazão outorgada pode ser próxima à vazão do ensaio de bombeamento. Esse critério pode ser usado em apoio aos demais propostos.

Por fim, Campos & Correa (2013) destacam que “A vazão de outorga deve ser inferior a qualquer valor máximo obtido por qualquer técnica, de forma a se compor um cenário conservador”.

Mas para se ter uma gestão efetiva, além de definir de forma sustentável a vazão a ser outorgada, é necessário avaliar a ação da operação do conjunto de poços nas características hidrodinâmicas do aquífero, por isso é necessário realizar o monitoramento dos poços, conforme será descrito no item a seguir.

### **3.3.2.1 Monitoramento**

O monitoramento proporciona a reunião de informações qualitativas e quantitativas e permite avaliar os impactos das atividades antrópicas nos sistemas aquíferos, servindo de suporte às medidas de proteção e conservação das águas subterrâneas (MOURÃO, 2009).

Segundo Feitosa et al (2008), o monitoramento quantitativo consiste na medida dos níveis de água, em uma rede de poços, os quais estejam em repouso, sem influência do bombeamento, localizados em áreas de descarga. Ainda segundo este autor, a rede de monitoramento é essencial para acompanhar as variações do rebaixamento e recuperação dos níveis de água nos poços, estabelecer vazões máximas de exploração e na modelagem numérica e conceitual do aquífero. A mesma é aplicada nas situações a seguir (FEITOSA et al, 2008):

- áreas com poços destinados ao abastecimento público;
- em regiões com grande densidades de poços;
- áreas de interesse hidrogeológico.

Em nível nacional há a Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), que é uma rede de monitoramento quantitativa, ou seja, com a finalidade de registrar as variações de níveis de água. Para alocação desta rede de monitoramento foi considerada a grande variedade hidrogeológica do país e as diferenças sociais e

econômicas que resultam em diferentes demandas. Atualmente, a rede conta com 408 poços, 46 localizados no estado do Rio Grande do Sul, compondo a única rede de monitoramento existente. Desses 44, apenas 2 estão inseridos na formação Serra Geral, um no município de São Jorge e outro no município Ibiraiaras, tendo em vista que os aquíferos sedimentares foram os preferencialmente selecionados para alocação dos poços de monitoramento. Contudo o SASG (inserido na formação Serra Geral), conforme Mourão (2009), é o mais explorado nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Em escala regional, no Brasil, Mourão (2009) cita a rede de monitoramento de São Paulo e Minas Gerais. No estado de São Paulo, é realizado o monitoramento qualitativo, sob responsabilidade da CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e teve início em 1990, sendo a rede composta por 184 poços. Em Minas Gerais, a responsável pelo monitoramento das águas subterrâneas é a Companhia de Saneamento do estado de Minas Gerais – COPASA. A rede de monitoramento mineira possui 600 poços, nos quais são monitorados vazão, níveis dinâmicos e tempo de operação. Em relação ao monitoramento qualitativo, em 2005 foi instalada uma rede de monitoramento na porção norte do estado.

No município de Carlos Barbosa, o qual possui mais de 50% de sua área na bacia Taquari-Antas, foi instalado o SIGAS, que é um sistema de monitoramento totalmente automatizado e com envio de dados por telemetria. O SIGAS foi instalado em 12 dos 15 poços atualmente utilizados para o abastecimento do município e monitora volume e corrente de 15 em 15 minutos e nível de água de 1 em 1 minuto (DUTRA, 2016).

Em casos onde o monitoramento detectar rebaixamentos contínuos do nível de água, os quais poderiam vir a prejudicar os poços já existentes, pode ser adotada pelos órgãos gestores a medida de restrição de perfuração de novos poços. Segundo Dias et al (2006), o rebaixamento do nível de água aumenta a vulnerabilidade dos poços à contaminação, causa inversões na direção de fluxo da água subterrânea e, em alguns casos, causa a mudança de comportamento do aquífero de confinado para livre.

Essa restrição já foi efetivamente realizada no município de Ribeirão Preto, no estado de São Paulo (DAEE, 2013). Em 2005, o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Pardo instituiu um grupo técnico de águas subterrâneas o qual detectou superexploração do Sistema Aquífero Guarani no perímetro urbano de Ribeirão Preto. Desta forma, o Conselho de Bacia hidrográficado Pardo instituiu área de restrição e controle temporário, por meio da Deliberação nº 004/2006, homologada pelo Conselho Estadual de Recursos

Hídricos (Deliberação CRH nº 64 de 04/09/2006) (DAEE, 2013). A medida estabelece critérios que restringem a perfuração de poços, para cada zona definida, conforme figura 1.

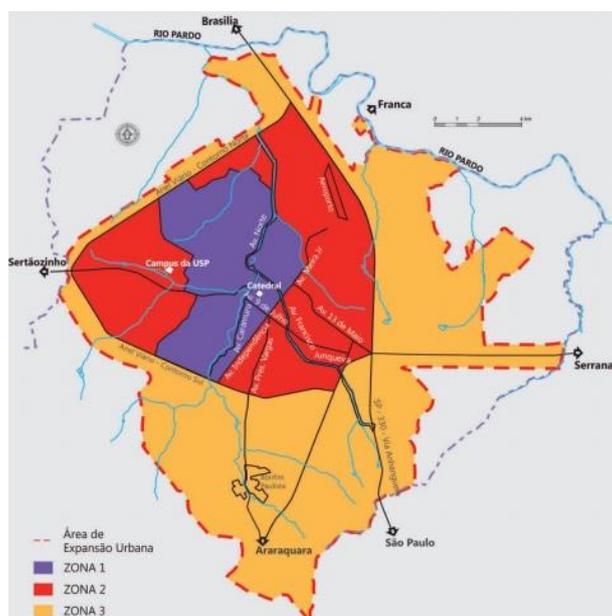


Figura 1: Área de Restrição e Controle Temporários para Captação e Uso das Águas Subterrâneas no Município de Ribeirão Preto. Fonte: DAEE (2013).

Segundo DAEE (2013), na zona 1 serão permitidas novas perfurações de poços tubulares profundos somente para substituição de poços existentes destinados ao abastecimento público do município. Na zona 2 serão permitidas novas perfurações de poços tubulares profundos destinados ao abastecimento público municipal, localizados a uma distância mínima de 1 quilômetro de poços existentes. Na zona 3 serão permitidas novas perfurações de poços tubulares profundos, destinados somente ao abastecimento público e particular, também com uma distância mínima de 1 quilômetro de poços existentes.

A seguir serão abordados conceitos e formas de quantificação dos recursos hídricos subterrâneos, fundamentais para implementar um plano de gestão consciente e responsável, além de nortear as medidas de gestão necessárias.

### 3.4 Reservas hídricas subterrâneas

Conforme Feitosa et al (2008), os sistemas aquíferos possuem uma geologia complexa a qual está associada a dificuldades de uma compreensão satisfatória de suas geometrias e características hidrodinâmicas. Por este motivo, ainda segundo estes autores, não é correto se falar em cálculo de reservas, mas sim em avaliação das mesmas, sendo que, nos meios fraturados, a imprecisão desta avaliação é maior, comparado ao meio granular, devido a sua anisotropia. Segundo Kiang et al (2003), nos aquíferos fraturados,

com circulação e armazenamento de água somente nas discontinuidades das rochas, é praticamente impossível se estimar as reservas hídricas permanentes. Contudo, a estimativa da reserva renovável é viável e deve ser feita, levando em consideração as funções de produção, transporte, filtro, energética, de estocagem e regularização já descritas anteriormente, sendo esta informação indispensável para uma adequada gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Costa (1998), com o intuito de uniformizar a terminologia e a metodologia de avaliação de valores quantitativos de águas subterrâneas entre hidrogeólogos e hidrólogos, propôs a classificação a seguir:

- Reserva permanente ( $R_p$ ): volume hídrico acumulado no meio aquífero, não variável em decorrência da variação sazonal da superfície potenciométrica, em função da porosidade eficaz e do coeficiente de armazenamento;
- Reserva reguladora ou renovável ( $R_r$ ): volume de água acumulado no meio aquífero, em função da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento, e variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais de água superficial, do escoamento subterrâneo e dos exutórios.

As equações propostas por Costa (1998) para o cálculo da reserva permanente e renovável em diferentes tipos de aquíferos estão apresentadas nos quadros 6 e 7.

Quadro 6: Equações de cálculo para reservas permanentes para alguns tipos de aquíferos.

<b>Tipo de aquífero</b>	<b>Equações</b>
Intersticial em bacias sedimentares	Eq.1 $R_p = A.b.\mu$
Intersticial em bacias sedimentares confinados ou semi-confinados	Eq.2 $R_p = (A.h.S) + (A.b.\mu)$
Aquífero intersticial aluvial (inclui eventuais colúvios)	Eq.3 $R_p = A.b.\mu$
Aquífero fissural (não abrangendo o aquífero cárstico-fissural)	Não avaliável

Fonte: Costa, 1998.

Onde:

$R_p$  = Reserva permanente no aquífero ( $m^3$ );

$A$  = Área da bacia hidrográfica ( $m^2$ );

$b$  = Espessura saturada do aquífero livre ou confinado (m);

$\mu$  = Porosidade eficaz do aquífero (adimensional);

$S$  = Coeficiente de armazenamento do aquífero confinado (adm);

$h$  = Carga potenciométrica do aquífero confinado (m).

Quadro 7: Equações de cálculo para reservas renováveis para alguns tipos de aquíferos.

<b>Tipo de aquífero</b>	<b>Dados disponíveis</b>	<b>Equações</b>
Intersticial em bacias sedimentares	Mapa potenciométrico e condutividade hidráulica	Eq.4 $R_r = VEN = k.b.I.i$
Intersticial em bacias sedimentares	Varição da superfície potenciométrica e medidas inter- anuais da variação do nível estático da água nos poços da região	Eq.5 $R_r = A.\Delta s.\mu$
Intersticial em bacias sedimentares	Dados de infiltrômetros instalados na área	Eq.6 $R_r = A_i.h'$
Intersticial em bacias sedimentares	Taxa de infiltração	Eq.7 $R_r = A.P.I_x$
Intersticial aluvial	Escoamento de base do rio na curva de recessão, a contribuição de água subterrânea corresponde à reserva reguladora e variação de níveis de poços rasos no depósito aluvial e da área aluvial.	Eq.8 $R_r = VEN$
Fissural*		Eq.9 $R_r = P. 0,0015. A$

\*0,15% da precipitação é uma taxa compatível com as avaliações realizadas pelo método de “balanço de cloretos” na região do Pajeu.Fonte:Costa, 1998.

Onde:

$R_r$  = Reserva renovável no aquífero ( $m^3$ );

$k$  = Condutividades hidráulicas (m/ano);

$A$  = Área da bacia hidrográfica ( $m^2$ );

$b$  = Espessura saturada do aquífero (m);

$I$  = Largura da frente de escoamento (m);

$i$  = Gradiente hidráulico medido entre curvas potenciométricas (adimensional);

$\Delta s$  = rebaixamento médio anual da água no poço (m);

$\mu$  = Porosidade efetiva do aquífero (adimensional);

$A_i$  = Área do infiltrômetro ( $m^2$ );

$h$  = altura da coluna d'água medida no infiltrômetro (m);

$P$  = precipitação pluviométrica média anual na área (m/ano);

$I_x$  = Taxa de infiltração;

$VEN$  = Vazão de escoamento natural.

As reservas permanentes também são chamadas de reservas geológicas por Feitosa et al, (2008). E segundo ANA (2005), as reservas permanentes estão armazenadas abaixo da variação anual do nível freático e as renováveis armazenadas acima do nível mínimo do mesmo e correspondem ao escoamento de base dos rios.

Conforme Costa (1998), a reserva permanente em sistemas aquíferos fraturados geralmente não é avaliada devido à variação de profundidade da zona fraturada, da heterogeneidade na distribuição das fraturas e do nível de conhecimento existente.

Segundo Feitosa et al, (2008), as reservas reguladoras mudam de um ano para outro, conforme as variações do ciclo hidrológico. Conforme Gonçalves et al (2008), quantificar as reservas renováveis é importante para condicionar o dimensionamento da capacidade de exploração dos aquíferos.

Feitosa et al (2008), aborda mais dois conceitos de reservas, as reservas naturais e as de exploração. As reservas naturais são a soma das reservas permanentes e renovável, ou seja, seriam as reservas totais existentes no aquífero ou em um sistema aquífero. As reservas de exploração são definidas por *safe yield* (descarga segura), que é um conceito americano, atribuído originalmente por Meinzer em 1920. O conceito de *safe yield* aborda as águas subterrâneas como um recurso hídrico passível de ser utilizado nas inúmeras atividades econômicas e principalmente para consumo humano, desta forma foi discutido posteriormente, no item (3.4.2). Cabe salientar que neste estudo foi abordada apenas as reservas renováveis devido às dificuldades já mencionadas em se estimar as reservas permanentes em aquíferos fraturados.

### **3.4.1 Métodos de estimativa da recarga subterrânea**

Nos itens anteriores foram descritos os tipos de reservas, sendo que para a estimativa das reservas renováveis, as quais estão associadas principalmente com a precipitação, é necessário se estimar a entrada de volume de água que ocorre no aquífero, ou seja, a recarga. Conforme Vasconcelos (2005), a recarga é considerada como o fluxo

de água que é transportado para a zona saturada através de forças gravitacionais em uma direção específica por condicionamento hidráulico.

Existem muitas técnicas para avaliar a recarga, sendo que cada método possui características e aplicações distintas. Para a escolha da melhor técnica se faz necessário considerar as escalas de tempo e espaço envolvidas, objetivo da estimativa, clima, geologia e geomorfologia (SCANLON *et al.* 2002). Ainda segundo estes autores, as técnicas geralmente são classificadas em abordagens de modelagem física, traçadora ou numérica.

Embora nesta pesquisa a estimativa da recarga aquífera foi realizada por meio da aplicação do método do balanço, são apresentados, a seguir, também os métodos mais amplamente utilizados para a estimativa das mesmas, sendo eles: variação do nível da água, técnica de traçadores e filtros digitais.

#### **3.4.1.1 Variação do nível da água (VNA)**

O método da VNA parte da premissa de que o aumento no nível de água (NA) é oriundo da chegada da recarga à zona saturada do aquífero (HEALY & COOK, 2002). Logo, a recarga é calculada pela diferença de altura entre o pico da curva de ascensão e o ponto mais baixo da curva de recessão antecedente.

Este método só pode ser aplicado em aquíferos não confinados, e os seus benefícios residem na simplicidade e representatividade espacial (HEALY & COOK, 2002; WAHNFRIED & HIRATA, 2005). A simplicidade é devido à desconsideração dos mecanismos de transporte que regem a passagem de água na zona não saturada, permitindo, por exemplo, não levar em conta a existência de caminhos preferenciais de fluxo (HEALY & COOK, 2002; WAHNFRIED & HIRATA, 2005). A representatividade reside no fato de que uma observação realizada em um poço abrange uma área de dezenas de metros quadrados em torno do mesmo.

As limitações deste método estão relacionadas a medições realizadas em aquíferos profundos e variações oriundas de precipitação de longa duração e baixa intensidade. Nos dois casos há uma variação do nível de água inferior a esperada, influenciando de forma significativa o dado coletado. No caso de recargas contínuas, por exemplo, as fugas das redes de abastecimento, pelo fato de não provocarem variações no nível de água, acabam não sendo registradas através deste método (HEALY & COOK, 2002; WAHNFRIED & HIRATA, 2005). Logo, este método é indicado para variações mais bruscas, ocasionadas geralmente, por exemplo, por tempestades e em áreas com níveis de água rasos. Neste

método deve haver cuidados em relação a coleta dos dados e ao local de posicionamento dos poços de observação. No primeiro caso, está relacionado a variações de níveis, geralmente pouco expressivas, e no segundo caso, os poços devem ser situados em locais que representem o NA das captações como um todo, para evitar que alterações na geologia, gradiente topográfico e vegetação façam variar as medidas numa determinada área (HEALY & COOK, 2002; WAHNFRIED & HIRATA, 2005).

Brears & Post (2014), aplicaram o método do VNA em três poços situados na província de Ontário no Canadá e comparam os valores obtidos com as taxas de recargas estimadas com base no tipo de solo da região realizada pelo Ministério do Meio Ambiente do Canadá. Neste estudo, em apenas um dos poços foi observada uma recarga dentro da variação prevista pelo Ministério do Meio Ambiente. As diferenças observadas nos outros poços foram atreladas as limitações do método de VNA.

#### **3.4.1.2 Métodos baseados em dados de águas superficiais (Filtros digitais)**

Os filtros digitais consistem em rotinas computacionais que são repetidas durante o processamento dos dados de vazão formando as curvas de separação do escoamento superficial direto do subterrâneo (MIRANDA, 2012). Ainda segundo este autor, no método são aplicadas equações contendo um, dois ou três parâmetros que são ajustados com o intuito de estimar o escoamento subterrâneo a cada dia, formando as curvas de separação. Conforme Dora (2013), os filtros digitais de separação de escoamento são algoritmos utilizados para calcular o fluxo de base de cursos d'água, separando a vazão de um rio em duas componentes, escoamento superficial e de base. A filtragem digital recursiva de hidrogramas é um método de separação de fluxo básico, facilmente automatizada e recomendada para fornecer resultados reprodutíveis (ECKHARDT, 2005).

No passado eram propostos tipos de filtros mais simples, chamado filtro de um parâmetro (ECKHARDT, 2005). Contudo, no trabalho realizado por Eckhardt (2005), foi demonstrado que os filtros de um parâmetro que descrevem uma recessão exponencial do fluxo de base são todos casos especiais de um filtro de dois parâmetros: a constante de recessão e o BFI<sub>max</sub>, sendo este último o valor máximo do índice de fluxo de base que pode ser modelado pelo algoritmo. O BFI<sub>max</sub>, proposto por Eckhardt (2005), depende de valores previamente determinados, baseado em características geológicas predominantes. Collischon & Fan (2013) propuseram um método de estimativa do BFI<sub>max</sub> inteiramente baseado em dados de vazão através da aplicação de uma filtro recursivo, utilizando um

parâmetro de recessão previamente calculado. Este método apresenta resultados mais confiáveis de BFI<sub>max</sub>.

Dora (2013), aplicou o filtro numérico de Eckhardt (2005), aliado à metodologia de estimativa do parâmetro BFI<sub>max</sub>, proposto por Collischonn & Fan (2013) em quatro bacias inseridas na região hidrográfica do rio Uruguai, no estado do RS e obteve resultados condizentes com as realidades locais.

Mattiuzi (2013), em estudo na Bacia do Rio Ibicuí (RS), concluiu que o método do Filtro de Eckhardt associado a metodologia proposta por Collischonn & Fan (2013) é uma metodologia eficaz e rápida para o dimensionamento das taxas de recarga aquíferas.

Arnold & Allen (1999) compararam técnicas automatizadas para separação do escoamento de hidrogramas de fluxo diário com estimativas de medidas em campo. O estudo foi realizado em seis bacias hidrográficas no oeste e leste dos Estados Unidos. Neste trabalho foi utilizado o filtro de um parâmetro e o mesmo demonstrou resultados satisfatórios em relação as medidas realizadas em campo nas seis bacias, com uma correlação de 0,86.

#### **3.4.1.3 Balanço hídrico**

O balanço hídrico consiste na aplicação do princípio da conservação de massa. Logo, no período de tempo analisado, a diferença entre os volumes de entradas e saídas deve ser igual à mudança da quantidade de água armazenada sendo, portanto, necessário conhecer cada um dos componentes do balanço para a determinação da recarga (WAHNFRIED & HIRATA, 2005). Conforme Bertol et al (2006), o balanço hídrico inclui um grupo de métodos estimativos, cujo princípio é que os outros fluxos podem ser medidos ou estimados mais facilmente do que a própria recarga, que constitui no residual de todos os outros fluxos.

O método do balanço hídrico é amplamente utilizado porque exige dados facilmente disponíveis, considera apenas a recarga direta e estima a água que infiltra, necessitando determinar a quantidade de água que efetivamente atravessa a zona não saturada (VASCONCELOS, 2005).

O balanço hídrico climatológico foi desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo, tendo por objetivo identificar uma relação entre precipitação e evaporação real e potencial. O método é aplicado para um intervalo mensal do balanço e necessita de dados de temperatura do ar e precipitação conforme equação 10 a seguir.

$$P = Q_{off} + ET_{real} + \Delta_{Suz} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

P = precipitação (L);

Q<sub>off</sub> = Soma do escoamento superficial e de base (L);

ET<sub>real</sub> = evapotranspiração real (L);

Δ<sub>Suz</sub> = variação na armazenagem de água na zona não saturada (L);

Custódio & Llamas (1976) propuseram o balanço hídrico com o objetivo de subsidiar o planejamento agrícola na análise das deficiências hídricas dos cultivos mediante a avaliação da evapotranspiração real, conforme equação 11. Este método é processado para um intervalo mensal e tem como base física um reservatório que contempla parte do solo não saturado.

$$P = ET_{real} + EX + \Delta R \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

P = precipitação (L);

ET<sub>real</sub> = evapotranspiração real (L);

EX = excedente de água (escoamento superficial e infiltração) (L);

DR = variação da reserva de água utilizada pelas plantas (L).

A dificuldade do método do balanço hídrico para a avaliação da recarga está na separação das componentes da variável excedente (EX) e do Q<sub>off</sub> de ambos os métodos. Wanfried e Hirata (2005) apresentaram uma metodologia para definir a variável de escoamento superficial (R<sub>off</sub>), baseada nos estudos de Fenn et al. (1975). Neste método, os autores aplicam um coeficiente à precipitação mensal que depende do tipo de solo e declividade topográfica da bacia, conforme equações 12 e tabela 2.

$$R_{off} = C'P \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

C' = α C

Tabela 2: Valores de C e a em função do tipo de solo, declividade e estação do ano.

Tipo de solo	Capacidade de campo	Estação seca	Estação úmida
Arenoso C=0,30	0 a 2	0,17	0,34
	2 a 7	0,34	0,5
Argiloso C=0,40	0 a 2	0,33	0,43
	2 a 7	0,45	0,55

Fonte: Adaptado de Wanfried e Hirata , 2005.

Outro método utilizado para estimar o escoamento superficial é o método do número da curva (CN) do US Soil Conservation Service (NRCS, 2004), conforme apresentado da equação 13. O valor de CN é determinado com base no tipo de solo, uso da terra, e o conteúdo de água no solo antecedente.

$$R_{off} = (P - 0,2S)^2 / (P + 0,8S) \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

P = Precipitação (L);

S = calculado conforme equação 14 abaixo.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 14}$$

Conforme De Vries & Simmers (2002), a estimativa pelo balanço hídrico em zonas de climas úmidos é confiável, sendo a incerteza em relação ao mesmo pequena, devido ao total da recarga. A principal limitação do método do balanço hídrico, por se tratar de uma abordagem residual, é que a precisão na estimativa da recarga depende da precisão com que os outros componentes da equação são medidos. Esta limitação é crítica quando a magnitude da taxa de recarga é pequena em relação à das outras variáveis, em particular a ET real. Nestas situações, pequenas imprecisões nos valores dessas variáveis comumente resultam em grandes incertezas na taxa de recarga (SCANLON *et al.* 2002).

O método do balanço hídrico é amplamente utilizado em diferentes escalas de espaço e tempo. Peixoto et al (2017), utilizaram o método do balanço hídrico para realizarem estudos em bairros localizados em sub-bacias urbanas na cidade de Fortaleza – Ceará, com o intuito de quantificar a recarga potencial de água subterrânea nestas regiões. A recarga total foi estimada em 12,3 milhões de m<sup>3</sup>/ano, sendo que a Recarga Hídrica Artificial Involuntária, esta proveniente dos vazamentos na rede de abastecimento

e dos Sistemas Estáticos de Esgotamento Sanitário, é responsável por 20,9% da recarga potencial total.

Pessina et al (2008), realizaram um estudo, através do método do balanço hídrico, no aquífero de Cuchujaqui em Álamos, Sonora México, com o objetivo principal de avaliar a disponibilidade de água para abastecimento público. Foi estimado pelos autores que a recarga do aquífero corresponde a 3,2% da precipitação anual e que o aquífero Cuchujaqui encontra-se sub-explotado. Ainda segundo esses autores, o estudo em questão demonstrou que o cálculo do balanço hídrico pode ser questionável, quando utilizadas fórmulas ou métodos empíricos ao invés de dados reais.

Melo et al (2013), utilizaram 3 métodos para a estimativa da recarga (balanço hídrico; método hidrológico e lei de Darcy) no Aquífero Barreiras, no curso inferior da bacia hidrográfica do Rio Maxaranguape. O balanço hídrico foi o que estimou o menor percentual de recarga frente ao valor da precipitação média, sendo que um dos motivos indicado pelos autores para isso, foi os dados das estações meteorológicas utilizadas, as quais possuíam um caráter de semi-aridez mais elevado do que a área de estudo. Logo, a estimativa de recarga potencial poderia ter sido superior ao valor obtido, que foi de 4% e 1,6% inferiores aos valores obtidos pelos métodos hidrológico e lei de Darcy, respectivamente.

Na área de estudo foi realizada uma pesquisa por Bortolin (2018), em duas sub-bacias do Rio da Prata, com áreas de 317 e 1.330 km<sup>2</sup>, conforme a figura 2.

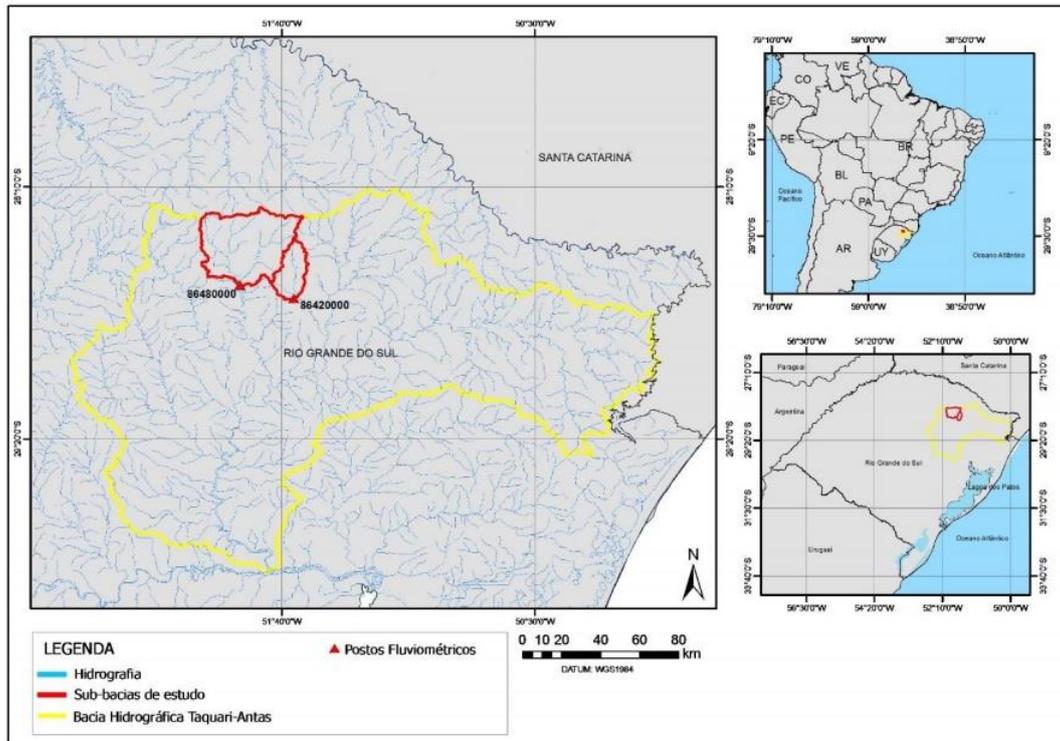


Figura 2: Área do estudo realizado por Bortolin. Fonte: Bortolin, 2018.

Em ambas as áreas o autor aplicou 4 variações do método do balanço hídrico, sendo:

- BH1: primeiro método, baseado nos estudos de Wanfried e Hirata (2005);
- BH2: segundo método, baseado nos estudos de Castany (1975) e Steehenius (1985), levando em consideração o termo de infiltração eficaz;
- BH3: terceiro método, o qual associa o balanço hídrico a um índice de fluxo basal;
- BH4: quarto método, o qual utilizou o valor do CN para estimar o escoamento superficial (NRCS, 2004).

Conforme apresentado na tabela 3, as quatro variações do método do balanço hídrico resultaram em percentuais de recarga variando de 22,8 a 55,3% na sub-bacia 8648000 e de 27 a 55,2% na sub-bacia 86420000.

Tabela 3: resultados de % de recarga, estimados por Bortolin (2018), em duas sub-bacias da bacia Taquari Antas.

% sobre de recarga em relação a precipitação		
Sub-bacia	86480000 (1.330 km <sup>2</sup> )	86420000 (317 km <sup>2</sup> )
BH1	24,9	27
BH2	55,3	55,2
BH3	22,8	27,5
BH4	36,8	34,7

Fonte: Adaptado de Bortolin, 2018.

O estudo de Bortolin (2018), demonstrou a grande variação que os resultados podem apresentar, frente a variações na metodologia do balanço hídrico aplicadas. No entanto, os trabalhos citados demonstram a grande utilização deste método para diferentes fins, principalmente para obtenção da recarga subterrânea, de suma importância social e econômica para regiões que possuem apenas as águas subterrâneas como recurso hídrico.

Por fim, vale salientar, que a utilização de diferentes métodos para a estimativa da recarga, podem ocasionar diferenças relevantes nos % de recarga. Além das 4 variações de métodos de balanço hídrico para a estimativa da recarga, Bortolin (2018), aplicou 12 métodos baseados em águas superficiais, 2 modelos de simulação de bacia, técnicas de regressão múltipla e o método de variação dos níveis de água com diferentes abordagens. Logo, com a aplicação dos mesmos, as estimativas de recarga variaram em torno de 12 a 55% da precipitação da região, com a ocorrência de diferenças estatísticas significativas (BORTOLIN, 2018).

### 3.4.2 Utilização da Reserva Renovável

Quando as reservas de águas subterrâneas são utilizadas para diferentes fins (uso industrial, agrícola, abastecimento público e doméstico, etc...), esse volume retirado do aquífero passa a ser denominado de recurso hídrico subterrâneo. Conforme defendido por todos os autores que tratam do tema, esse volume não deve afetar de forma negativa as funções dos aquíferos, sendo abordado a seguir três conceitos que tratam do tema, sendo eles: *safe yield*, potencial do aquífero e disponibilidade virtual.

Segundo Meinzer (1920) apud Feitosa et al (2008) *safe yield* é a descarga de extração do aquífero, a qual pode ser mantida com segurança. No Brasil, segundo Feitosa et al (2008), para se referir a *safe yield* norte-americana, são utilizados os termos como: reservas exploráveis, vazão de exploração, vazão explorável e descarga explorável. Contudo, Heine (2008), define a *safe yield* como uma vazão segura ou de uso sustentável,

a qual não causaria efeitos indesejados no aquífero, sendo a avaliação destes efeitos o grande problema na aplicação deste conceito. Sophocleous (1997 e 2000), define a *safe yield* como insustentável, devido ao fato de a mesma permitir o bombeamento de água subterrânea até o limite do volume recarregado naturalmente por recarga direta ou indireta, desconsiderando os efeitos de longo prazo nas demais função do aquífero e a interação existentes entre aquíferos.

O potencial do aquífero, conforme Costa (1998), consiste na soma das reservas reguladoras com um percentual das reservas permanentes contudo, segundo o autor, a utilização da parcela das reservas permanentes deve ser eventual e durante um determinado período de tempo. No quadro 8 é apresentado o percentual de utilização recomendado pelo autor para alguns tipos de aquífero, levando em consideração o conceito de potencialidade definido pelo mesmo anteriormente.

Quadro 8: Percentual passível de utilização para alguns tipos de aquífero.

<b>Aquífero</b>	<b>Percentual</b>
Intersticial em bacias sedimentares	0,2% da Rp + Rr
Intersticial aluvial	20% Potencial*
Fissural	15% da Rr

Rp: Reserva permanente/ Rr: Reserva renovável. Fonte: Costa, 1998.

Já Todd (1959), apud Feitosa et al (2008), define o potencial do aquífero de forma mais restritiva, como sendo a vazão anual que pode ser explorada do aquífero sem que se produza um efeito indesejável, o que corresponde ao conceito de *safe yield*. Segundo Rebouças e Fraga (1988), a potencialidade não é um valor fixo, podendo variar com: desenvolvimento dos meios técnicos e financeiros da exploração, mudanças no balanço hídrico e das condições econômicas do projeto. Ainda segundo este autor “O potencial de água subterrânea de uma região é definida como a quantidade disponível para utilização, em forma de exploração racional”.

Heine (2008), menciona que ataxa de bombeamento sustentável do sistema aquífero, geralmente aceita, é resultante de uma parcela da reserva renovável. Ainda não há um valor fixo de percentual das reservas renováveis utilizado pelos autores para se obter o volume de água disponível para consumo. Conforme ANA (2005), tal dificuldade é devido à dinâmica de fluxo e a resposta de cada aquífero à exploração. Ainda segundo a agência, a mesma pode ser maior ou menor em relação ao nível de conhecimento sobre o sistema aquífero e dos fatores ambientais, climáticos e locais envolvendo o mesmo.

ANA (2005) utilizou o valor de 20% do volume das reservas reguladoras, sendo considerada pela mesma uma porcentagem conservadora, que não utiliza as reservas permanentes. Rebouças et al (1994), na realização do diagnóstico hidrogeológico da Região Metropolitana de São Paulo, utilizaram 25% das reservas reguladoras, devido a descontinuidade da zona aquífera e a grande heterogeneidade dos sedimentos. DAEE (2009), em estudo para a elaboração do plano diretor de aproveitamento de recursos hídricos para a macrometrópole paulista, utilizou o percentual de 50% das reservas reguladoras. Já Kiang et al (2003), em pesquisa nos aquíferos que ocorrem nos domínios de Itapira, Mogi Mirim e Mogi Guaçu, no estado de São Paulo, utilizaram 1/3 das reservas reguladoras para estimar o potencial hídrico subterrâneo. Conejo (1994), em estudo nas bacias do rio Piracicaba e Capivari no estado de São Paulo, utilizou as porcentagens das reservas reguladoras apresentadas na tabela 4, para os diferentes sistemas aquíferos presentes nas bacias, levando em consideração a porosidade e a hidráulica dos mesmos e as técnicas disponíveis para extração de águas subterrâneas.

Tabela 4: % de utilização das reservas reguladoras nas bacias do rio Piracicaba e Capivari.

<b>Sistemas aquíferos</b>	<b>% utilizadas das reservas reguladoras</b>
Cristalino, Diabásio e Serra Geral	20
Itararé, Bauru e Cenozóico	25
Passa Dois	15
Botucatu	30

Fonte: Conejo, 1994.

Segundo Oliva et al (2010) é possível se dispor de uma parcela das reservas permanentes em casos extremos, sendo que o valor desta parcela é divergente entre os autores. Contudo, Costa (1998) apud DAEE (2009), aborda a utilização das reservas permanentes, utilizando cenários de exploração, sendo proposto por este autor a utilização de 10% das reservas permanentes ao longo de 50 anos de exploração contínua. Já Mace et al (2001) apud DAEE (2009), propôs volumes utilizados da reserva permanente mais elevados ao longo de 50 e 100 anos de exploração contínua de 50 e 75 % respectivamente.

Conforme apresentado é possível observar que há uma variação significativa na % das reservas renováveis adotada por cada autor, a qual varia de local para local frente as diferentes características do sistema aquífero e nível de conhecimento em relação ao mesmo. Outro fator que deve ser considerado nesta tomada de decisão, para concessão de novas outorgas, é o valor já utilizado do potencial existente, o qual será abordado no item a seguir.

### 3.4.3 Disponibilidade hídrica subterrânea

Para Costa, 1998, a disponibilidade hídrica subterrânea, está associada ao de água passível de ser consumido através das captações de água já existentes. Já para Mace et al. (2001), a disponibilidade hídrica subterrânea é definida como a quantidade de água disponível para uso armazenada nos aquíferos. No entanto, neste trabalho será adotado o conceito de Costa (1998), o qual sugeriu os dois conceitos de disponibilidades descritos abaixo:

- Disponibilidade efetiva instalada: volume anual passível de ser explorado através das obras de captação existentes, com base na vazão máxima de exploração considerando o tempo de bombeamento de 24 horas diárias, em todos os dias do ano;
- Disponibilidade efetiva atual: volume anual efetivamente explorado nas obras de captação existentes, geralmente inferior à disponibilidade efetiva instalada. Isso ocorre porque geralmente, sobretudo em obras privadas, as vazões captadas são inferiores à vazão ótima e o tempo de bombeamento é inferior a 24h, ocorrendo até mesmo uso descontínuo.

Para Feitosa et al (2008), a Disponibilidade Efetiva e a instalada seriam, respectivamente, equivalentes as disponibilidade efetiva atual e virtual conceituadas anteriormente por Costa (1998).

Conforme Feitosa et al (2008), a diferença entre o potencial do aquífero e as disponibilidades existentes resulta nos recursos hídricos disponíveis para consumo, denominado pelo mesmo, de recursos exploráveis. Os recursos exploráveis podem ser igual ao potencial em regiões ainda sem captações existentes ou nulo em locais em que a disponibilidade já atingiu o valor máximo da potencialidade. Na figura 3 são exemplificados os conceitos de reservas, potencial, disponibilidades e recursos exploráveis, já apresentados.

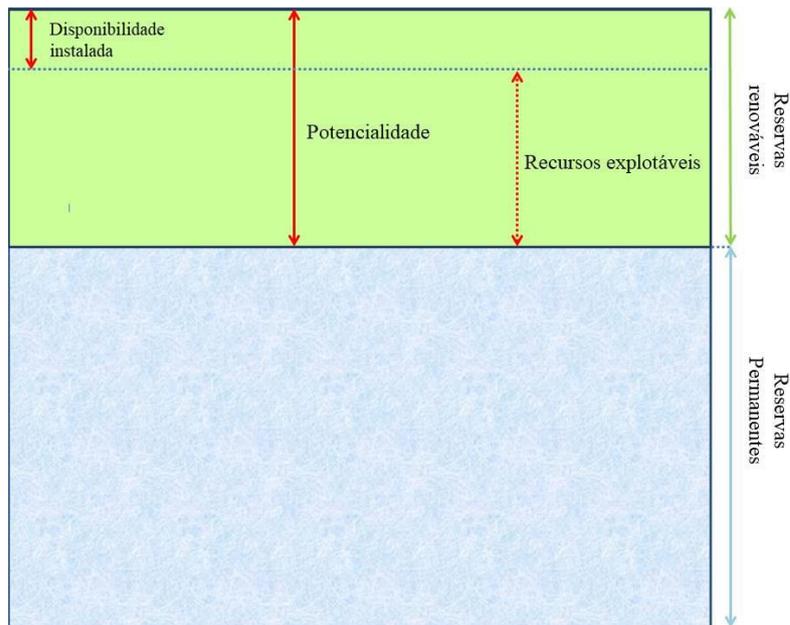


Figura 3: Perfil esquemático de um sistema de reservatório de um aquífero. Adaptado de Feitosa et.al, 2008.

Heine (2008), em estudo no Sistema Aquífero Guarani em Ivoti (RS), verificou que considerando o potencial do aquífero igual a 25% das reservas reguladoras, a disponibilidade hídrica instalada estaria 2,5 superior a mesma. Ainda segundo este autor, tal situação pode afetar os ecossistemas superficiais e ao levar em conta também as descargas básicas do aquífero, ocasionar a redução das reservas permanentes, diminuindo o nível de água no aquífero.

Dora (2013), em estudo na sub-bacia do rio Comandai, localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, na região hidrográfica do rio Uruguai, fez o cálculo da disponibilidade hídrica instalada na mesma, sendo que esta já dispunha de 13,5% do potencial do aquífero que, neste estudo, foi considerado igual ao valor da recarga anual, ou seja, 100% das reservas renováveis.

Viana & Celligoi (2002), em estudo no Sistema Aquífero Serra Geral na região urbano-industrial da cidade de Londrina, estimaram uma reserva renovável de 66 milhões de m<sup>3</sup>/ano. Em 2001, a disponibilidade instalada dos poços consumia 14,8% do potencial do aquífero nessa região, considerado igual ao volume das reservas renováveis, sendo adotado neste estudo o tempo de bombeamento diário de 18 horas.

Os autores adotam diferentes percentuais para obter o valor do potencial hídrico do aquífero, conforme pode ser observado ao longo dos trabalhos citados. Esses percentuais levam em conta geralmente as características hidrogeológicas e estruturais do aquífero. Os potenciais resultantes dessa percentuais norteiam a tomada de decisão dos

gestores responsáveis, os quais devem agir com “cautela”, porque conforme já observado, o potencial do aquífero, quando estimado igual as reservas renováveis, é considerado arriscado, por não considerar os outros ecossistemas dependentes do mesmo.

### 3.1 Caracterização da bacia Taquari-Antas

A área de estudo está inserida na porção nordeste do estado do Rio Grande do Sul, na região hidrográfica do Guaíba. A bacia do rio Taquari-Antas está localizada, aproximadamente, entre os paralelos 28° e 30° Sul e entre os meridianos 50° e 52° 30' Oeste (Figura 4).

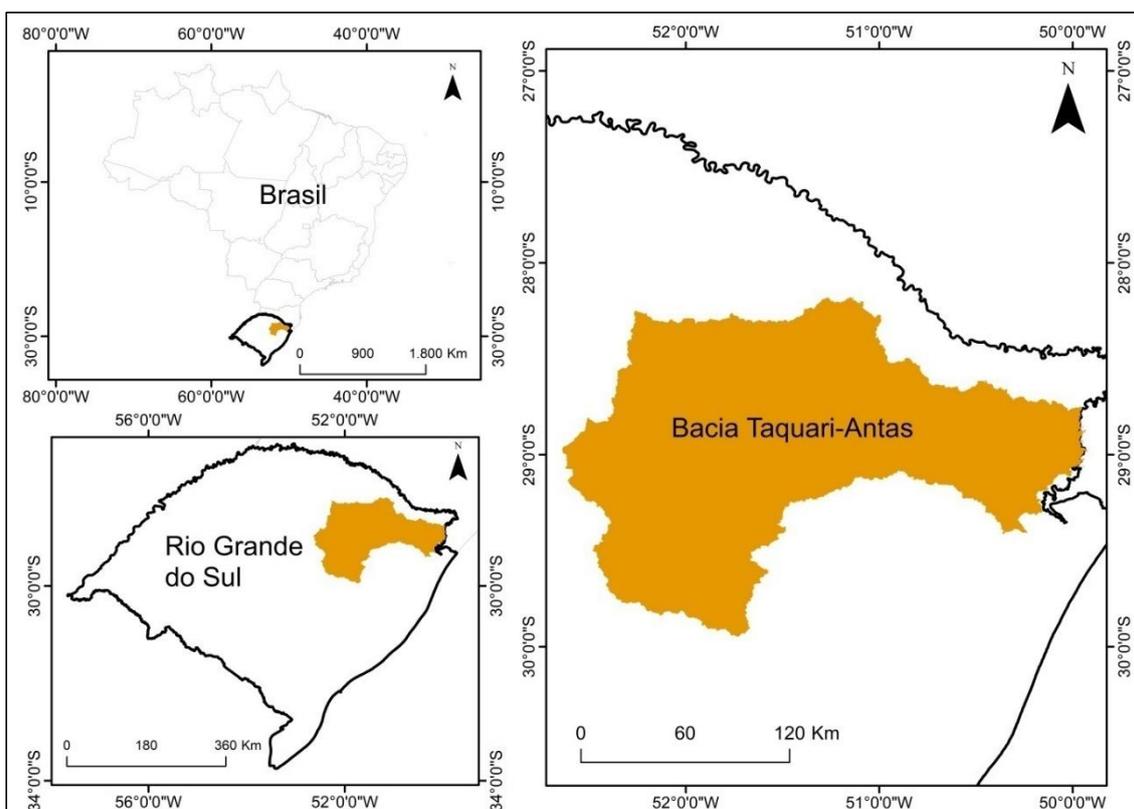


Figura 4: Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta bacia, conforme foi detalhado a seguir, possui grandes dimensões, sendo composta por uma grande quantidade de municípios, dos quais mais da metade são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas. Além disso, a bacia é intensamente urbanizada e possui uma presença significativa de indústrias, atividades agrícolas e criação intensiva de animais, as quais demandam uma grande quantidade de recursos hídricos. Em contra partida a grande demanda existente, mais de 90% da área da bacia está situada no sistema aquífero fraturado Serra Geral, o qual é caracterizado por possuir uma grande anisotropia e baixa capacidade de armazenamento e produção. Devido a essas características, a bacia Taquari-Antas foi selecionada como área de estudo.

### 3.5.1 Aspectos gerais

Das 25 unidades de gestão inseridas no estado do Rio Grande do Sul, a bacia Taquari-Antas, em termos de área, é a segunda maior com 26.491,82 Km<sup>2</sup> (Figura 5), abrangendo 9% da área do RS (SANTOS, 2008). A bacia hidrográfica Taquari-Antas situa-se na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, na região hidrográfíca do Guaíba. Esta, por sua vez, é composta por outras 8 bacias hidrográficas, as quais drenam direta ou indiretamente para o Lago Guaíba. Conforme Sirangelo et al (2015), a bacia em estudo é a maior contribuinte do rio Jacuí, maior formador do lago Guaíba. A bacia Taquari-Antas possui limites ao norte, com a bacia Apuaê-Inhandava, ao oeste, com as bacias do Alto Jacuí Pardo, ao sul, com as bacias Baixo Jacuí Cai e a sudeste, com a bacia do Mampituba (Figura 5).

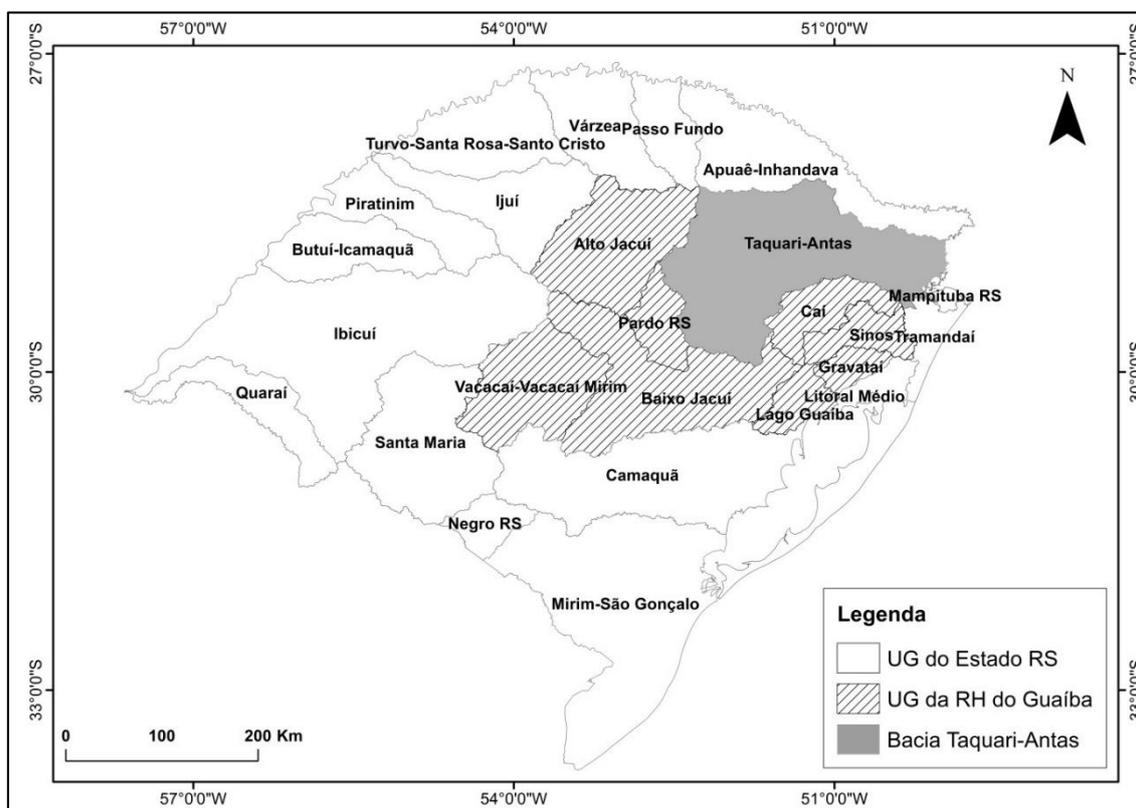


Figura 5: Bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Adaptado de ECOPLAN, 2007.

Na região hidrográfica do Guaíba estão inseridos total ou parcialmente 257 municípios, dos quais cerca de 46% estão localizados na bacia Taquari-Antas (119 municípios). Os intervalos de % de área dos municípios dentro da bacia podem ser visualizados no gráfico da figura 6, onde é possível observar que mais 60% dos municípios possuem suas áreas integralmente na bacia, sendo que cerca de 18% dos municípios possuem menos de 40% de seu território localizado na bacia.

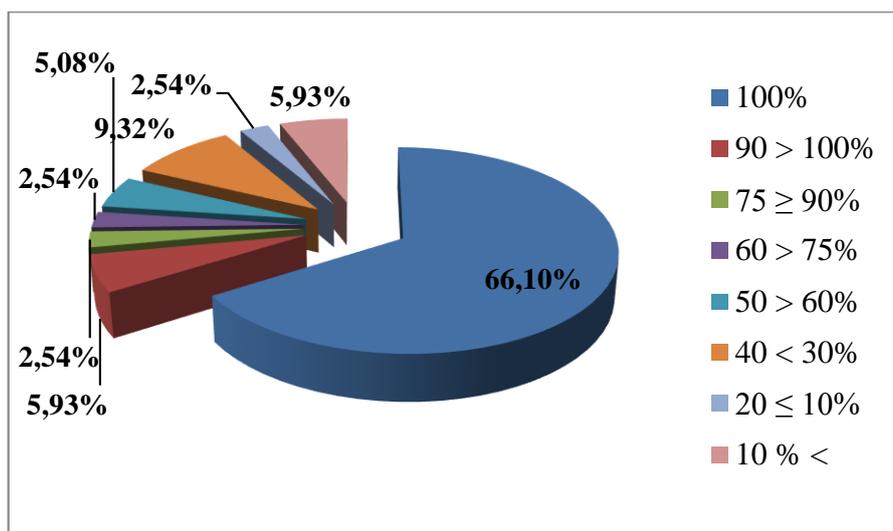


Figura 6: % de área dos municípios inseridos na bacia Taquari Antas. Fonte: Adaptado de STE, 2011.

Conforme dados da FEPAM (2018), a bacia possui áreas de alto índice de industrialização, áreas com predomínio de produção primária e zonas intensamente urbanizadas, sendo que, uma das regiões mais desenvolvidas do Estado, o Aglomerado Urbano do Nordeste, está situado na bacia. Ainda segundo a FEPAM (2018), os municípios inseridos na bacia concentram 20% do PIB estadual, com uma base econômica voltada para um setor industrial. Conforme a FEPAM (2018), em 1993, foram identificadas 8.123 indústrias na bacia; já em 2011, no plano de bacia, este número já evoluiu para 10.447 indústrias licenciadas.

A população total dos municípios inseridos na bacia é de 2.015.156 habitantes, conforme dados do censo (2010), o que representa cerca de 18% do total do estado do RS. Contudo, conforme o plano de bacia, o número de habitantes decaiu para 1.181.866, levando em consideração a % dos municípios dentro da bacia o que representa cerca de 12% da população total do estado. Segundo a FEPAM (2018), os municípios inseridos na bacia Taquari-Antas caracterizam-se por um elevado grau de urbanização e por uma densidade demográfica de 40 hab/km<sup>2</sup>.

Conforme dados do Plano de Bacia, o abastecimento público urbano em 81 dos municípios (69,83% do total) é realizado exclusivamente por águas subterrâneas, em 25 por manancial superficial (17,24% do total) e 15 (12,93% do total) utilizam captação de manancial subterrâneo e superficial simultaneamente, ou seja, captação mista (Figura 7) (STE, 2011).

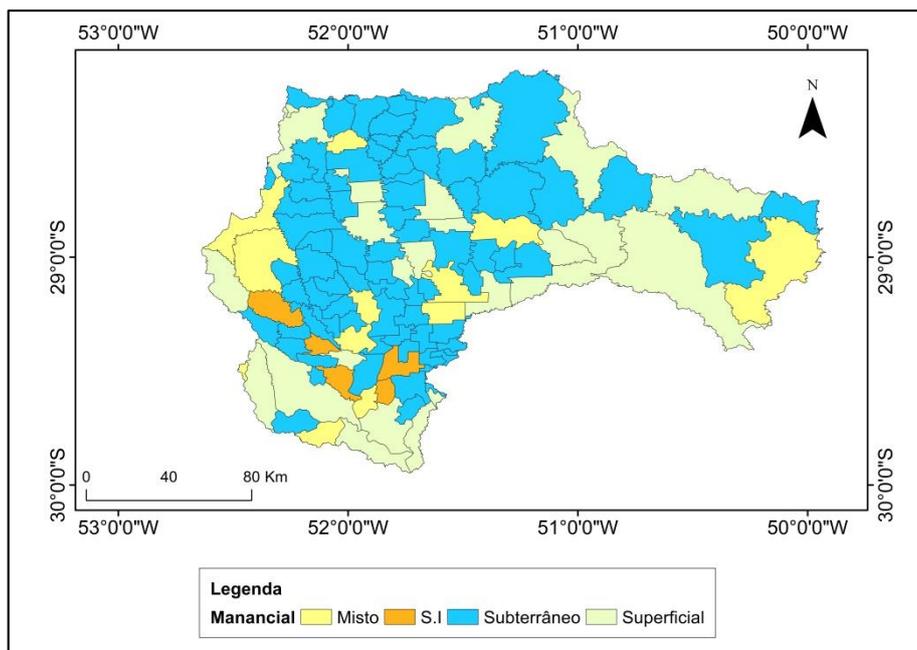


Figura 7: Tipo de manancial que abastece cada município. Fonte: Adaptado de STE, 2011.

Mesmo com grande número de municípios abastecidos exclusivamente por manancial subterrâneo, conforme o plano de bacia, a quantidade de habitantes que se abastecem deste tipo de manancial é inferior a abastecida exclusivamente por águas superficiais, conforme o gráfico apresentado na figura 8 (STE, 2011). Em relação ao percentual misto, o mesmo composto por 14,76% de habitantes abastecidos por manancial superficial e 4,48% por águas subterrâneas.

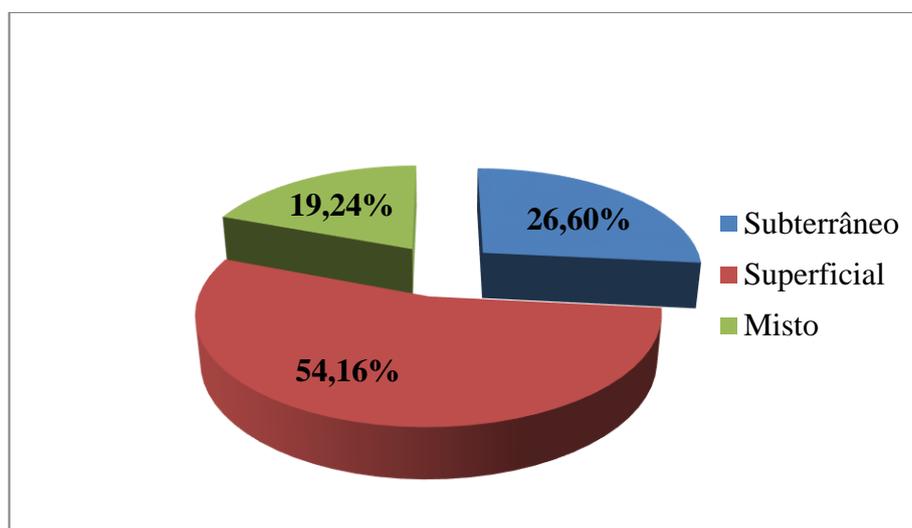


Figura 8: % da população abastecida por cada tipo de manancial na bacia Taquari-Antas. Fonte: Adaptado de STE, 2011.

Segundo aSTE (2011), isso ocorre porque os municípios abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas geralmente possuem populações inferiores a 30 mil habitantes. Os municípios mais populosos são abastecidos por águas superficiais, como é o caso de Bento Gonçalves e Caxias do Sul, que juntos, representam 30% do total de habitantes urbanos e apresentam população acima de 100 mil. Os mesmos são seguidos pelos municípios de Estrela, Farroupilha, Garibaldi, Lajeado, Marau e Venâncio Aires com população entre 30 mil e 100 mil habitantes. Contudo, vale salientar que nas zonas rurais de todos os municípios da bacia a água subterrânea é a única fonte de recursos hídricos, devido as redes de abastecimento público não abrangerem estas áreas.

### **3.5.2 Gestão**

A Bacia Hidrográfica Taquari-Antas foi a primeira a criar o seu Comitê seguindo os parâmetros da Lei Estadual 10.350/94, sendo o mesmo criado pelo Decreto nº 38.558, de 08/06/1998, e vinculado ao CRH-RS e DRH/SEMA. O comitê de Bacia possui poderes para decidir sobre questões relacionadas ao uso dos recursos hídricos e atualmente conta com 50 membros, possuindo representantes dos usuários, da população e do estado.

Após 12 anos de criação do comitê foi realizado o plano de bacia, que teve início em outubro de 2010, sendo o mesmo coordenado pelo DRH/SEMA. Em dezembro de 2012 foi decretada pelo CRH-RS a Resolução N°121 que aprovou o enquadramento das águas superficiais na bacia Taquari-Antas. Merece destaque que para se atingir as metas de enquadramento intermediário, no período de 10 anos, uma das sugestões do plano era o acompanhamento e controle de perfuração de poços para evitar a superexploração das águas subterrâneas e propor uma parceria com os municípios para a proteção de mananciais locais de abastecimento urbano.

O Plano de gestão dividiu a bacia Taquari-Antas em 7 unidades de gestão, devido a sua grande extensão territorial e conforme solicitação feita no termo de referência do mesmo. Para tal divisão foram avaliados diversos aspectos, como a hidrografia, a densidade populacional, produto interno bruto, produção industrial/agropecuária, organização social, entre outros. As unidades estão apresentadas na figura 9, sendo elas: Unidade Alto Taquari-Antas (UATA), Unidade Médio Taquari-Antas (UMTA), Unidade Prata (UP), Unidade Carreiro (UC), Unidade Guaporé (UG), Unidade Forqueta (UF) e Unidade Baixo Taquari-Antas (UBTA).

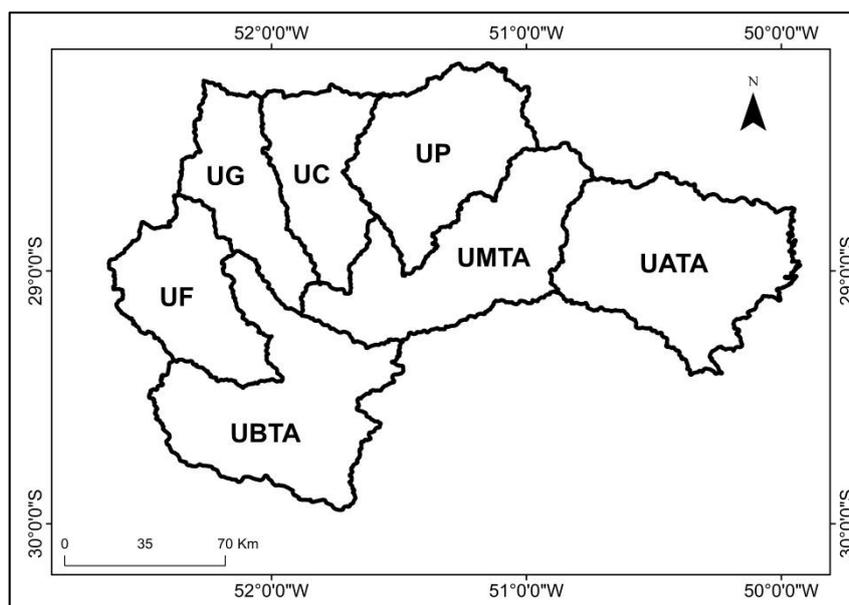


Figura 9: Unidades de gestão da bacia Taquari-Antas. Fonte: Adaptado de STE, 2011.

Em relação ao planejamento e gestão das águas subterrâneas o plano de bacia chegou a seguinte conclusão:

Os sistemas aquíferos constituintes da Bacia Hidrográfica apresentam zonas com aumento de salinidade e restrição de circulação da água subterrânea, as quais, condicionam a taxa de produção e a qualidade da água subterrânea. Não há informação geológica adequada para avaliação e transformação deste condicionamento em critério de planejamento e gestão. Poços inadequadamente localizados, ou mesmo mal dimensionados, induzem variações hidroquímicas significativas na água subterrânea. As bases de dados hidrogeológicos disponíveis apresentam falhas, inconsistências e não incluem dados importantes para planejamento e gestão das águas subterrâneas. (Fase A – Diagnóstico e Prognóstico/Etapa A.3 Relatório Técnico 03Tomo I, 2012).

### 3.5.3 Geomorfologia, tipo e uso do solo

A geomorfologia é uma peça importante para que se entenda melhor o comportamento dos recursos hídricos subterrâneos, porque a mesma tem influência nos processos de recarga e descarga dos aquíferos. Na bacia estão presentes 6 unidades geomorfológicas, conforme apresentado na figura 10. As unidades do Planalto dos Campos Gerais e Serra Geral são as que abrangem a maior parte da área da bacia. No noroeste da bacia ocorre também a unidade do Planalto de Santo Ângelo e ao sul da bacia se encontram as unidades da Planície Alúvio-Coluvionar, Patamares do Serra Geral e Depressão do Rio Jacuí.

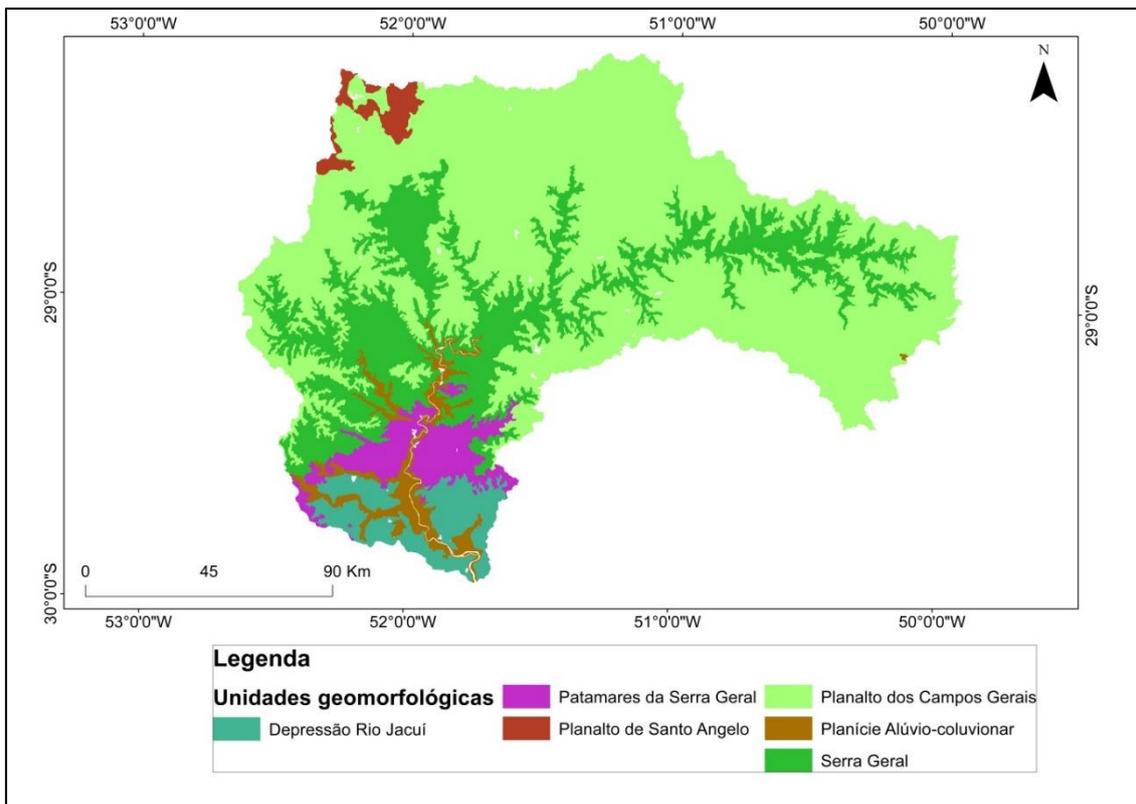


Figura 10: Geomorfologia da bacia Taquari-Antas. Fonte: Adaptado de IBGE, 1986.

A Unidade Geomorfológica Planalto dos Campos Gerais está inserida especialmente em rochas efusivas de composição ácida, que normalmente recobrem as efusivas básicas, pertencentes à Formação Serra Geral (RADAM, 1986). Os padrões de relevo dominantes consistem de antigas superfícies de aplainamento, que demarcam o topo do Planalto dos Campos Gerais. Apresentam topografia plana à levemente ondulada, com desníveis inferiores a 20 m (VIERO& SILVA, 2010).

A Unidade Geomorfológica Serra Geral foi desenvolvida sobre rochas efusivas básicas (RADAM, 1986). É um relevo montanhoso, muito acidentado, com vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. A amplitude de relevo é superior a 300 m e a inclinação das vertentes se situa entre 25 e 45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60-90°) (VIERO& SILVA, 2010).

No quadro 9 são descritas sucintamente as demais unidades geomorfológicas, as quais abrangem uma menor área da bacia, conforme RADAM (1986).

Quadro 9: Unidades geomorfológicas da bacia Taquari-Antas.

<b>Unidade Geomorfológica</b>	<b>Descrição</b>
Planalto de Santo Ângelo	Relevo de dissecação homogênea, traduzido por formas em colinas rasas, regionalmente conhecidas por coxilhas
Planície Alúvio-Coluvionar	Relevo caracterizado por superfície plana, rampeada suavemente para leste.
Patamares da Serra Geral	Relevo com formas em colinas com pequeno aprofundamento dos vales fluviais, localizadamente, ocorrem formas planares.
Depressão do Rio Jacuí	Relevo sem grandes variações altimétricas onde dominam formas alongadas de topo convexo, conhecidas como coxilhas.

Conforme Collischonn (2001), o solo é predominantemente argiloso. Os solos presentes na bacia podem ser observados na figura 11, conforme o mapa exploratório do estado do Rio Grande do Sul na escala 1:1.000.000. Segundo o mapa, na bacia estão presentes, de forma geral, as seguintes classes de solos: Argissolos, Cambissolo, Latossolo, Luvisolo, Neossolo, Nitossolo e Planossolo. Os solos mais profundos são os Latossolos vermelhos e Nitossolo com profundidade > 250 cm, seguido pelos Argissolos Vermelho-amarelo e planossolo (>200 cm) e Cambissolo, Nitossolo, Argissolo Bruno e Latossolo Bruno (>150 cm). Os solos mais rasos são os Neossolos (<50 cm), seguido pelo Argissolo Amarelo (<100 cm). Os demais solos possuem profundidades inferiores a 150 cm.

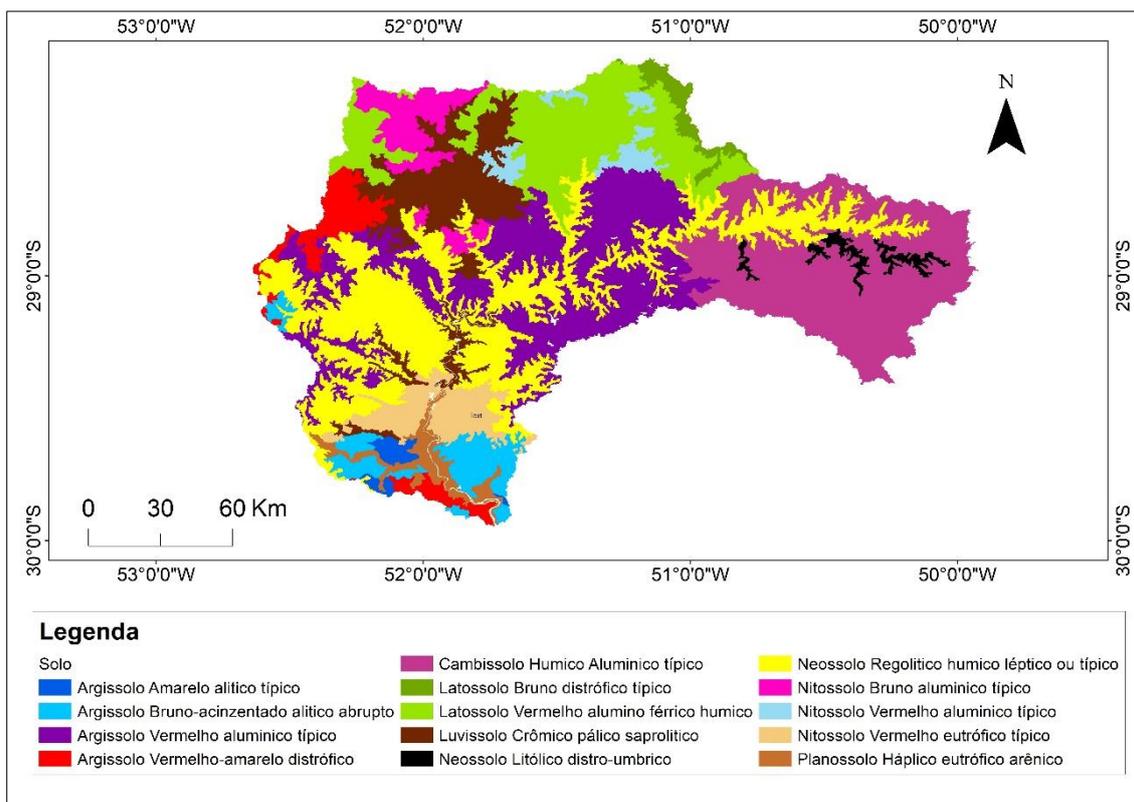


Figura 11: Mapa de solos da bacia Taquari-Antas. Fonte: Adaptado de IBGE, 1986.

Conforme Collischonn (2001), a vegetação de origem na bacia era de florestas, salvo nas regiões mais altas onde se localizavam campos. Ainda segundo este autor, a maioria das áreas ocupadas por florestas foi substituída por lavouras desde a metade do século XIX até a década de 80, aproximadamente. Collischonn (2001) classificou o uso do solo, conforme apresentado no tabela 5, sendo que a bacia está quase igualmente dividida em florestas, pastagens e lavouras.

Tabela 5: Classes de uso do solo da bacia.

Classe de Uso	% Área abrangida
Floresta	37,6
Pastagem	30
Agricultura	32,1
Urbano	0,2
Água	0,1

Fonte: Collischonn (2001)

Já aSTE (2011), classificou as classes de uso do solo conforme o tabela 6 a seguir, sendo que as áreas úmidas correspondem a banhados, várzeas, cursos de água intermitentes e a hidrografia compreende os corpos d'água da Bacia, naturais e artificiais.

Tabela 6: Classes de uso do solo da bacia.

<b>Classe de Uso</b>	<b>% Área abrangida</b>
Área urbana ou edificação	1,7
Área úmida	2,9
Vegetação de campos ou pastagens	16,67
Área agropecuária	30,37
Solo exposto	2,86
Vegetação arbórea	36,2
Hidrografia	1,17
Cultura irrigada	1,36
Sivicultura	6,72
Área degradada	0,03
Área de mineração	0,03

Fonte: Plano de Bacia (2011).

Comparando os dois estudos, as classes de floresta/vegetação arbórea apresentam frequências quase iguais, assim como agricultura/área agropecuária. Observa-se diferença significativa nas classes de pastagem/vegetação de campos ou pastagens, onde há uma redução significativa da mesma no estudo realizado pelo Plano de Bacia (2011). Já em relação a área urbana, a mesma teve um aumento considerável no estudo daSTE (2011), contudo segue abrangendo menos de 2%.

#### **3.5.4 Hidrogeologia**

A área de estudo está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, onde os reservatórios de água subterrânea estão associados às rochas sedimentares e vulcânicas. Os sistemas aquíferos e aquíferos que estão presentes na área de estudo estão apresentados na figura 12, onde é possível observar que os sistemas aquíferos Serra Geral I e II abrangem juntos a maior parte da bacia. Conforme dados do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado (2007), 88,14% da bacia está incluída no sistema aquífero Serra Geral II e 4,88% no Serra Geral I, totalizando 93,02% da área da bacia. O restante deste percentual (7,98%) é abrangida principalmente pelo sistema aquífero Santa Maria (4,06%).

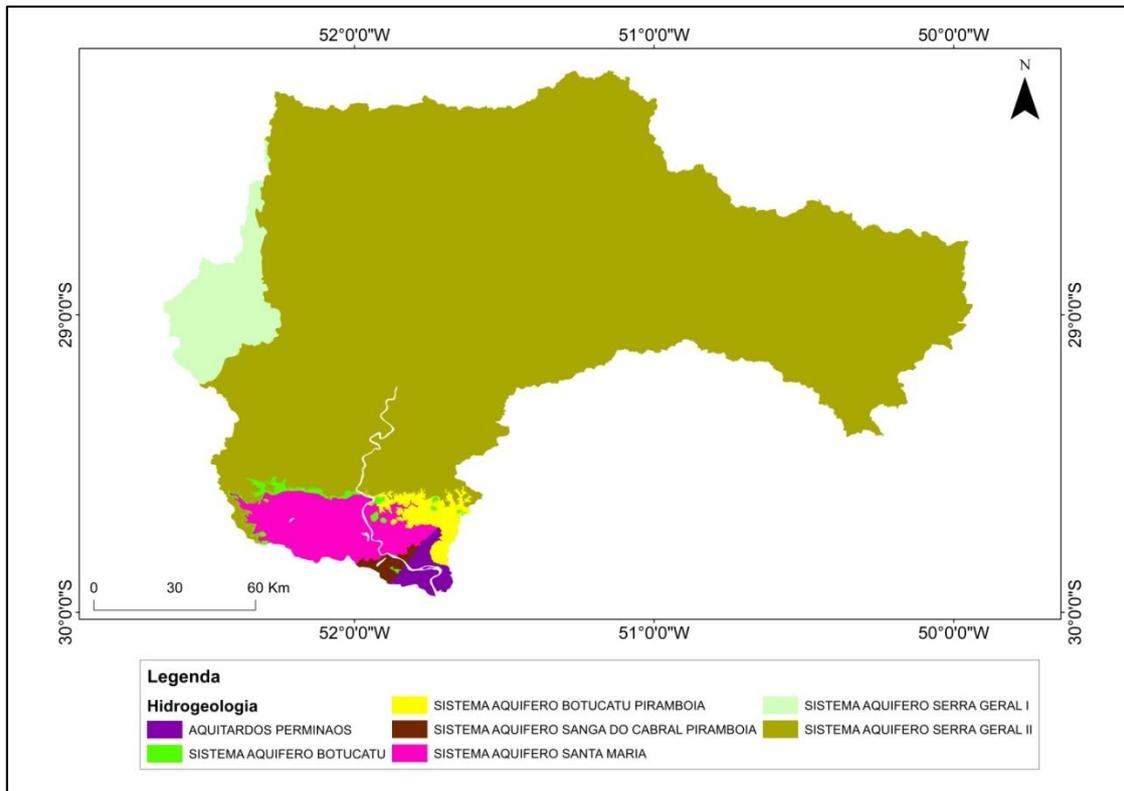


Figura 12: Mapa hidrogeológico da bacia Taquari-Antas. Adaptado de Machado & Freitas, 2005

Os sistemas aquíferos localizados ao sul da bacia Taquari-Antas estão caracterizados sucintamente na quadro 10, conforme Machado & Freitas (2005). Os sistemas aquíferos Serra geral I e II, por abranger quase que a totalidade da bacia, serão descritos posteriormente de forma mais detalhada.

Quadro 10: Descrição dos sistemas aquíferos situados ao sul da bacia Taquari-Antas.

<b>Sistema aquífero</b>	<b>capacidade específica m<sup>3</sup>/h/m</b>	<b>Descrição</b>
Santa Maria	0,5 a 1 nas áreas aflorantes e até 4 nas áreas confinadas.	Aquífero com porosidade intergranular, com possibilidade alta a média de ocorrência de água subterrânea.
Sanga do Cabral/Pirambóia	Em geral entre 0,5 e 1,5	Aquífero com porosidade intergranular, com possibilidade média a baixa de ocorrência de água subterrânea.
Botucatu Pirambóia	Raramente excedem 0,5.	Aquífero com porosidade intergranular, com possibilidade média a baixa de ocorrência de água subterrânea.
Aquitardos Permianos	Geralmente inferiores a 0,1.	Aquífero porosidade intergranular ou por fraturas, com baixa possibilidade de haver água.
Botucatu	Geralmente inferiores a 0,5.	Aquífero porosidade intergranular, com possibilidade média a baixa de haver água.

Fonte: Adaptado de Machado & Freitas, 2005.

Conforme apresentado na quadro 10 acima, há uma variação significativa entre as capacidade específicas de cada sistema aquífero (0,1 a 4 m<sup>3</sup>/h/m), sendo que o sistema aquífero com maior possibilidade de ocorrência e produção de água é o de Santa Maria.

Os sistemas aquíferos Serra Geral I e II estão situados nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, que conforme Pessoa et al. (1980) comportam-se como um aquífero fraturado ou fissural, sendo o armazenamento de água subterrânea restrito às regiões mais intensamente fraturadas.

Conforme Reginato *et al.* (2006), a Formação Serra Geral no estado do Rio Grande do Sul, associada à sequência de rochas vulcânicas ácidas e básicas, é caracterizada pela presença de dois tipos de aquíferos, um granular livre e outro fraturado.

O aquífero granular livre está localizado no manto de alteração existente sobre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e possui como principais fatores condicionantes: solo (tipo e espessura), revelo e litologia (tipo e estruturação primária) e clima (REGINATO, *et al.*, 2006). Em função dos condicionantes citados, o aquífero livre se comporta de forma heterogênea, possui dimensões reduzidas e circulação localizada. Em relação ao aquífero fraturado, o aquífero livre possui menor capacidade de produção, apresenta uma zona saturada com espessura inferior a 1,7 m, níveis estáticos variando entre 0 e 1 m e vazões baixas (<0,5 m<sup>3</sup>/h). Esse aquífero é mais utilizado pela população

rural, sendo captado por meio de poços tipo cacimba ou nascentes (REGINATO *et al.*, 2012). Já o aquífero fraturado, ainda segundo esses autores, ocorre associado às rochas vulcânicas e apresenta águas de boa qualidade utilizadas para abastecimento urbano e rural, sendo que sua captação é feita através de poços tubulares.

As principais estruturas que viabilizam a circulação de água no SASG são de origem tectônica, contudo, conforme Reginato *et al.* (2007), existem aquíferos na Formação Serra Geral produtivos, os quais estão relacionados com as estruturas primárias de resfriamento de rochas vulcânicas. Segundo estes autores, as estruturas primárias que condicionam o SASG, em ordem de importância são: contato entre rochas vulcânicas e zonas vesiculares a amigdalóides e/ou brechadas, rochas vulcânicas fortemente vesiculares a amigdaloides e disjunções horizontais dos riodacitos.

Conforme Reginato e Strieder (2004), as características hidrodinâmicas do SASG evidenciam um comportamento fortemente anisotrópico, em função disso a potencialidade do aquífero é intensamente variada. Tal constatação vai de encontro ao observado por Machado & Freitas (2005), no estado do Rio Grande do Sul, que classifica o Sistema Aquífero Serra Geral I com possibilidade alta a média de haver água, apresentando capacidades específicas muito variáveis, sendo observado poços não produtivos próximos de outros com excelentes vazões. Além disso, predominam poços com capacidades específicas entre 1 e 4 m<sup>3</sup>/h/m, e excepcionalmente podem ser observadas captações com valores superiores a 4 m<sup>3</sup>/h/m. Ainda segundo esses autores, o Sistema aquífero Serra Geral II é menos produtivo, comparado ao Serra Geral I, com capacidades específicas inferiores a 0,5 m<sup>3</sup>/h/m, podendo ser encontrado, em áreas mais fraturadas ou com arenitos na base do sistema, valores superiores a 2 m<sup>3</sup>/h/m, sendo classificado como um aquífero com possibilidade de média a baixa de haver água.

Betiollo (2006), em estudo nas bacias Taquari-Antas, do Rio Caí e do Rio dos Sinos, através de uma amostra de 166 poços, estimou o valor médio de capacidade específica de 0,7212 m<sup>3</sup>/h/m, sendo o quartil médio variável entre 0,1536 e 0,8482 m<sup>3</sup>/h/m. Já Reginato e Strieder (2004), em estudo na região nordeste da bacia Taquari-Antas, apresentaram valores médios de capacidade específica de 0,3954 m<sup>3</sup>/h/m, sendo os valores mínimos iguais a 0,106 m<sup>3</sup>/h/m e os máximos igual a 1,1663 m<sup>3</sup>/h/m.

Leão *et al* (1998), em estudo na bacia Taquari-Antas, na unidade hidrogeológica das rochas efusivas ácidas da Formação Serra Geral, no planalto, identificaram lineamentos de médio e pequeno porte, orientados principalmente na direção nordeste.

Ainda segundo estes autores, nesta unidade há um bom potencial aquífero nos lineamentos de médio porte, regular nos lineamentos de pequeno porte e baixo fora destas duas condições. Conforme amostra de 227 poços pertencentes a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) e ao Programa de Perfuração de Poços Artesianos (PAP), Leão et al (1998) identificaram uma variação significativa da produtividade, conforme apresentado na figura 13. Na bacia foram observados poços com vazões superiores a 50m<sup>3</sup>/h, contudo a média dos mesmos se encontra próxima a 15m<sup>3</sup>/h e a maioria dos poços possuem vazões inferiores a 10m<sup>3</sup>/h, sendo possível observar poços produtivos próximo a poços pouco produtivos. Os autores relacionaram tal fato à localização dos poços com relação às falhas e fraturas.

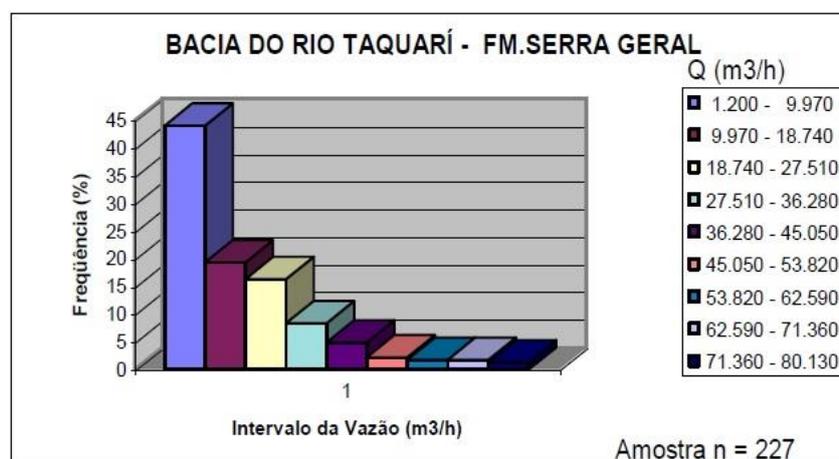


Figura 13: Diagrama de frequências de vazões de poços. Fonte: Leão et al (1998).

Os valores de vazão analisados por Leão et al (1998) são semelhantes aos verificados por Reginato e Strieder (2004) em estudo nos municípios de Veranópolis, Cotiporã, Bento Gonçalves, Farroupilha, Caxias do Sul, Flores da Cunha, São Marcos, Nova Pádua, Nova Roma do Sul, Monte Belo do Sul e Antônio Prado, todos inseridos na bacia em estudo. Conforme esses autores, 72,1% dos poços, de uma amostra de 283 poços, apresentaram vazão inferior a 10 m<sup>3</sup>/h e apenas 9,3% de vazões acima de 20m<sup>3</sup>/h.

Segundo Leão et al (1998), na Formação Serra Geral, os potenciais aquíferos são em função da envergadura da zona fraturada, que foi gerada por efeitos tectônicos, e de características geomorfológicas. Conforme esses autores, os poços com maior potencial são os mais profundos, situados em áreas com morfologia menos escarpada, em cruzamentos de lineamentos, com comprimento superior a 10 km. Os poços situados fora da influência das fraturas dificilmente excedem a vazão de 0,5 m<sup>3</sup>/h, sendo geralmente secos.

Na figura 14 é apresentado o mapa de potencial hídrico da bacia Taquari-Antas, onde o aquífero Serra Geral é dividido em 3 intervalos de vazão, sendo as regiões mais produtivas localizadas ao nordeste e norte da bacia, com vazões de até 12 m<sup>3</sup>/h.

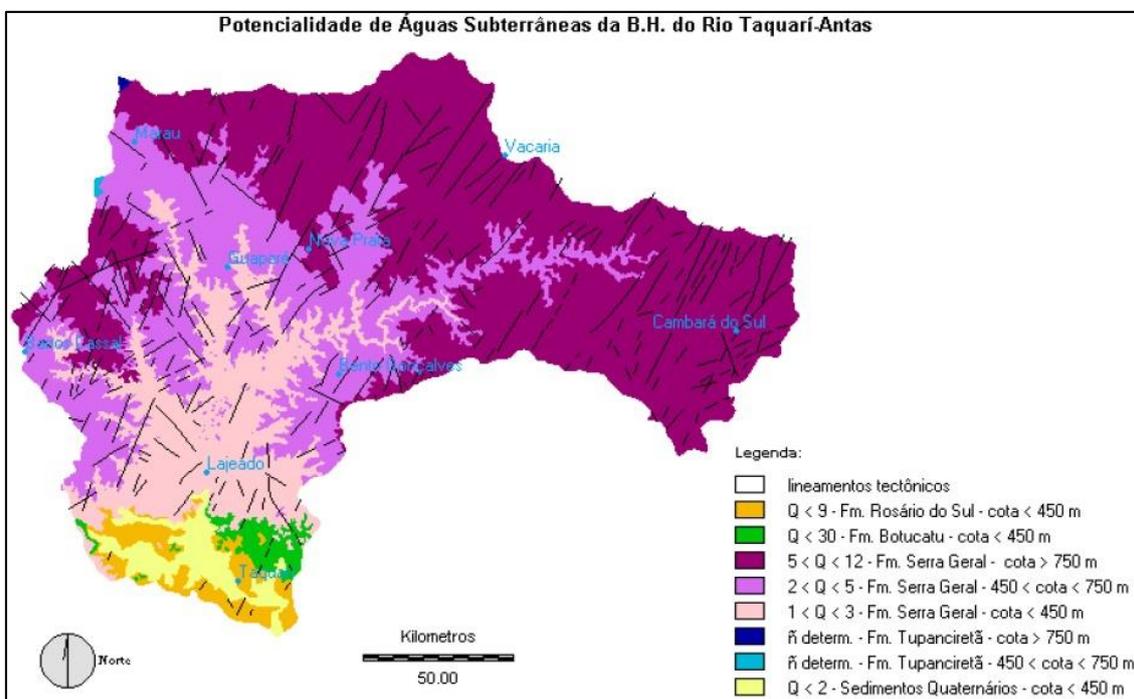


Figura 14: Potencial hídrico subterrâneo da bacia Taquari-Antas. Fonte: Leão et al, 1998.

Em um estudo mais local na bacia Taquari-Antas, Reginato e Strieder (2004) estimaram o potencial dos municípios, apresentado no quadro 11 e associaram as variações de potencial encontradas com os fatores condicionantes dos aquíferos fraturados, sendo eles tipo de estrutura e orientação, litologia, relevo e solos.

Quadro 11: Relação entre a potencialidade do sistema aquífero fraturado e as diferentes regiões.

POTENCIALIDADES	REGIÕES
Alta	Farroupilha, Flores da Cunha, Antônio Prado e Bento Gonçalves
Média	Caxias do Sul e São Marcos
Baixa	Cotiporã, Monte Belo do Sul, Nova Pádua, Nova Roma do Sul e Veranópolis

Fonte: Reginato e Strieder, 2004.

Em relação ao sentido do fluxo de água subterrâneo na bacia, aSTE (2011)descreve que o mesmo apresenta um sentido predominante da unidade de gestão Alto para o baixo vale Taquari-Antas. Nas unidades de gestão Forqueta e Prata, o fluxo subterrâneo converge para as unidades de gestão Carreiro e Guaporé, transcendendo, portanto, os limites hidrográficos superficiais destas unidades de gestão. Ainda segundo aSTE (2011), o gradiente hidráulico se demonstrou homogêneo ao longo do arcabouço geológico da bacia, com predominância de mais 75% de gradientes baixos (<0,01).

### 3.5.5 Hidrologia e aspectos climáticos

O rio das Antas nasce na região da serra do nordeste, no Estado do Rio Grande do Sul, e corre no sentido Oeste até encontrar o rio Guaporé, quando muda a direção e passa a correr no sentido Sul, até a confluência com o rio Jacuí (Figura 15) (COLLISCHONN, 2001). Ainda segundo este autor, as nascentes do rio das Antas estão localizadas em uma região de campos a uma altitude que chega a mais de 1000 m, e a confluência dos rios Taquari e Jacuí está a uma altitude inferior a 20 m. Conforme STE (2011), o rio Taquari-Antas nasce no extremo leste da bacia com a denominação de rio das Antas até a foz do rio Carreiro, quando passa a se denominar Taquari, com uma extensão total de 546 km desde a nascente até a foz, sendo que por 359 km é denominado rio das Antas e por 187 km rio Taquari. Além do rio das Antas e do Taquari, os principais rios da bacia são: Tainhas, da Prata, Carreiro, Guaporé e Forqueta (Figura 15) (COLLISCHONN, 2001).

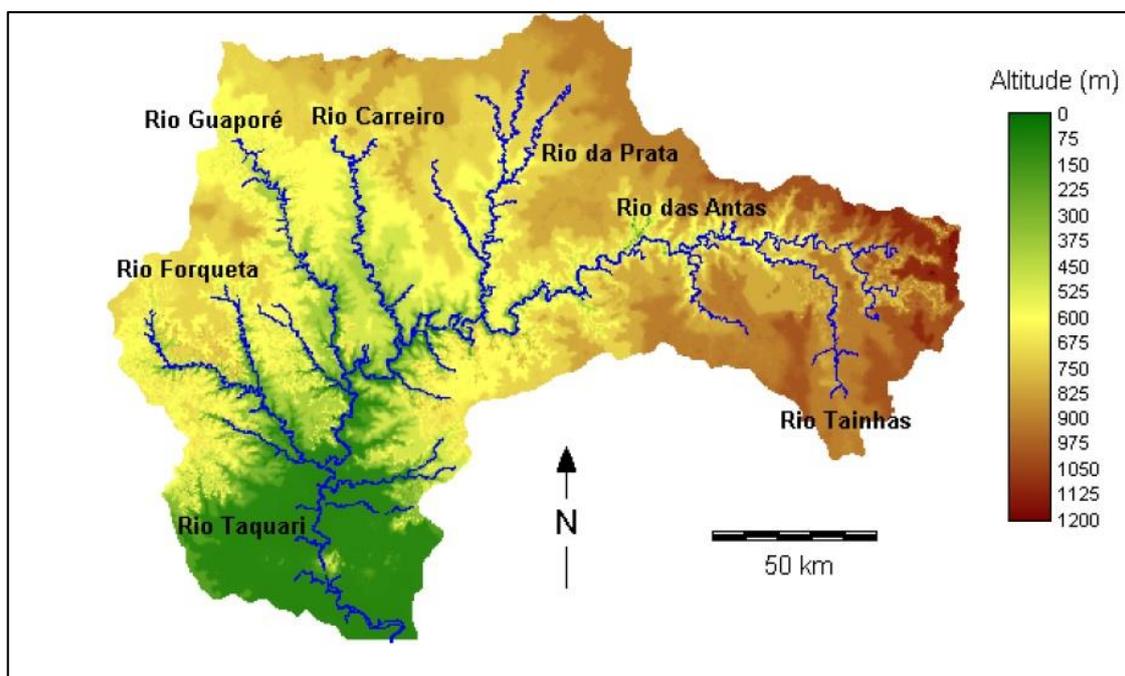


Figura 15: Relevo e principais rios da bacia Taquari-Antas. Fonte: Collischonn, 2001.

Conforme STE (2011), a precipitação média anual na bacia varia de 1432,5 a 1700 mm. Segundo Collischonn (2001), a precipitação anual média varia de aproximadamente 1600 mm a 1800 mm. Já para Rossato (2011), a precipitação anual na bacia varia de 1700 a 2000 mm. Segundo Rossato (2011) e Collischonn (2001), a precipitação média anual é relativamente bem distribuída ao longo do ano na bacia.

Segundo Collischonn (2001), o escoamento subterrâneo, no ponto em que ocorre a confluência com o rio Jacuí, apresenta pouca variação ao longo do período analisado, que foi de 1970 a 1980, enquanto o escoamento superficial se modifica significativamente durante as cheias, e é nulo durante as estiagens (Figura 16). O escoamento sub-superficial varia menos e somente se reduz a zero durante as estiagens mais prolongadas. Ainda segundo este autor, o escoamento subterrâneo é responsável por apenas 17% da vazão do rio, enquanto a maior parte da vazão é originada por escoamento superficial (56%), seguida pelo escoamento sub-superficial (27%).

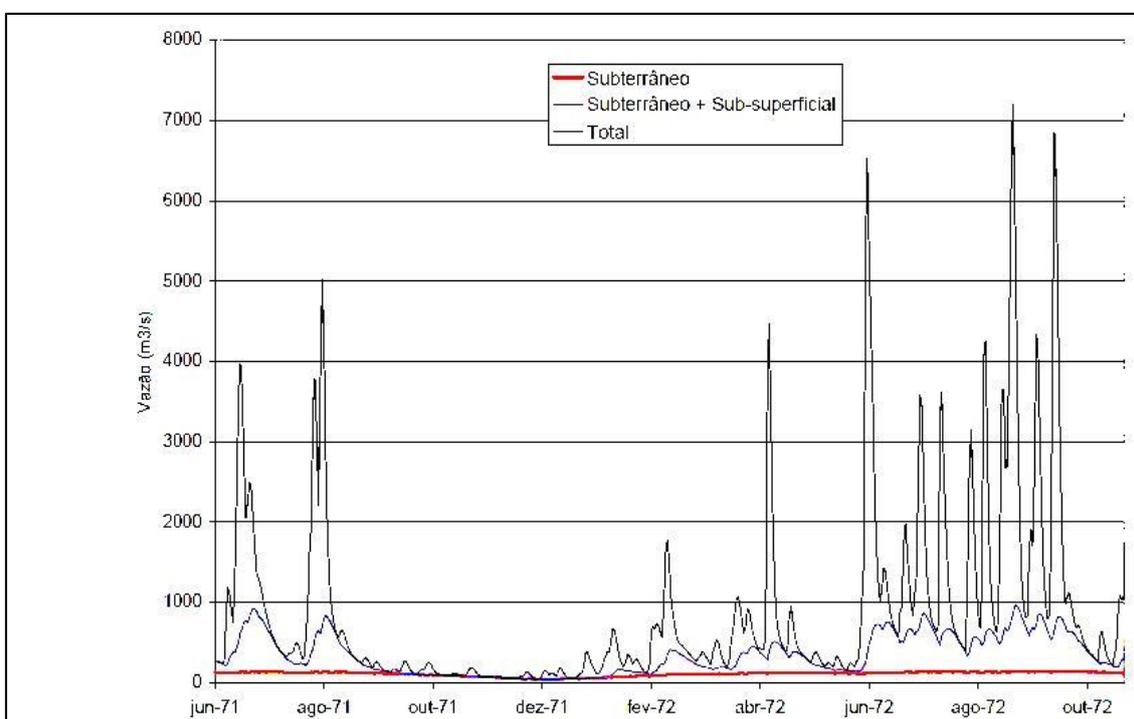


Figura 16: Hidrograma do rio Taquari, na confluência com o rio Jacuí, conforme a origem do escoamento. Fonte: Collischonn, 2001.

Conforme Collischonn (2001), a bacia possui uma disposição radial da rede de drenagem que, associada a alta declividade e ao tipo de solo na bacia do rio Taquari-Antas favorecem a geração rápida de grandes cheias. Ainda segundo este autor, as enchentes são muito rápidas, com variações de 440 a 4100 m<sup>3</sup>/s ou de 4400 a 7400 m<sup>3</sup>/s de um dia

para o outro, observadas no rio Taquari em Muçum (localizada entre a unidade de gestão Guaporé e Médio Taquari Antas).

Conforme classificação de Rossato (2011), a bacia está situada na região Subtropical IV de clima muito úmido a qual é subdividida nas regiões Subtropical IVa e IVb, ambas abrangem a área de estudo e são descritas a seguir:

- Subtropical IVa: clima muito úmido com inverno fresco e verão quente, com temperaturas médias anuais variando entre 20-30°C. É a região com o conjunto de médias de temperaturas mais alta do estado do RS;
- Subtropical IVb: clima muito úmido com inverno frio e verão fresco, com temperaturas médias anuais variando entre 14-17°C. É a região com o conjunto de médias de temperaturas mais baixa do estado do RS.

### 3.5.6 Recarga, Potencial hídrico subterrâneo e Disponibilidade instalada

ASTE (2011) estimou a recarga anual, no plano de bacia, como sendo de 8% da precipitação total anual média, sendo a mesma igual a 3.297 hm<sup>3</sup>/ano, valor este semelhante ao estimado pelo plano estadual de recursos hídricos do Rio Grande do Sul por Kirchheim & Agra (2011), de 3.388 hm<sup>3</sup>/ano.

No plano de bacia, foram calculados a recarga e os potenciais hídricos para cada unidade de gestão conforme apresentado na tabela 7, considerando os mesmos iguais a 25% da recarga anual (STE, 2011).

Tabela 7: Recarga e potenciais calculados para cada unidade de gestão na Bacia Taquari-Antas.

Unidade de gestão	Recarga (hm <sup>3</sup> /ano)	Potencial hídrico subterrâneo (hm <sup>3</sup> /ano)
Forqueta	377,01	94,25
Guaporé	328,11	82,03
Carreiro	334,73	83,68
Prata	478,22	119,56
Baixo Taquari-Antas	613,43	153,36
Médio Taquari-Antas	563,03	140,76
Alto Taquari-Antas	602,75	150,69

Fonte: Adaptado de STE, 2011.

A disponibilidade hídrica instalada, estimada no plano de bacia, de acordo com 1638 registros originais de poços cadastrados, foi de 25.841 m<sup>3</sup>/h (STE, 2011). Entretanto, o mesmo considerou os poços não cadastrados e estimou a disponibilidade hídrica instalada como sendo quase que o dobro da calculada na ordem de 50.000 m<sup>3</sup>/h. A

estimativa da exploração total anual foi realizada considerando um tempo de bombeamento igual a 12 h/dia, chegando-se a uma vazão anual de 219 hm<sup>3</sup>/ano, o que já significaria uma utilização de cerca de 26% do potencial hídrico calculado. Atualmente, esse percentual é superior levando em conta o aumento de poços perfurados na bacia e de poços antigos que foram identificados e cadastrados na bacia, mas que não estavam registrados quando da elaboração do plano. Kirchheim & Agra (2011), a partir de dados do SIAGAS, levando em consideração os poços sem informação de vazão e os clandestinos, através da aplicação de indicadores sobre o valor total, estimaram um volume anual explorado de 2.691,77 hm<sup>3</sup>/ano. Este valor representaria mais de 50% da recarga estimada para a bacia. ECOPLAN(2007), através de dados de diversos setores nos anos de 2003 a 2007, estimaram uma disponibilidade hídrica instalada de 10,21 m<sup>3</sup>/s (321,98 hm<sup>3</sup>/ano).

Apartir de dados de 1048 poços, perfurados no período de 1955-2008, aSTE (2011) estimou uma taxa de incremento da vazão instalada da ordem de 5% a cada 4 anos, reduzindo-se para 3 anos na década de 1990 e, finalmente, atingindo apenas 1 a 2 anos na década 2000. Levando em conta que a vazão total instalada em 2008 era da ordem de 50.000 m<sup>3</sup>/ano, bem como uma taxa de evolução constante de 5% da mesma a cada dois anos, o potencial hídrico estimado para bacia seria atingido em 2064, podendo ser atingido antes deste ano devido a aceleração das taxas de instalação de poços e incremento da vazão instalada.

### **3.5.7 Considerações finais**

A gestão dos recursos hídricos evoluiu no Rio Grande do Sul, sendo tal evolução, significativa nos últimos 4 anos, com a alteração do decreto 42.047/2002 revisto pelo decreto 52.035/2014. Outro marco importante para os recursos hídricos subterrâneos foi a resolução 255/2017, a qual aborda os critérios gerais de outorga para captações de águas subterrânea e o SIOUT, ferramenta de grande valia para o maior controle e gestão das disponibilidades hídricas instaladas, não só na bacia em questão, mas no estado como um todo.

Conforme apresentado, a bacia Taquari-Antas possui uma grande dependência dos recursos hídricos subterrâneos, os quais abastecem grande parte das suas indústrias e municípios, assim como atividades comerciais e agrícolas principalmente. Mesmo nos casos em que os recursos subterrâneos não representam o manancial principal de abastecimento, os mesmos complementam os sistemas de abastecimento de água

superficial, o qual não chega até as zonas rurais, representando grande importância para a manutenção desses núcleos rurais e economias locais.

O sistema aquífero Serra Geral, o qual abrange o maior percentual de área da bacia, é heterogêneo e anisotrópico, logo, suas características hidrodinâmicas possuem uma variação espacial muito significativa, que associado a falta de dados, dificulta consideravelmente o planejamento e gestão das águas subterrâneas na rede de poços inseridas nesse sistema.

O STE (2011) estimou os potenciais hídricos subterrâneos, onde foi indicado, pelo plano, que o mesmo seria atingido em menos de 46 anos a contar de 2018. Contudo, Kirchheim & Agra (2011) estimaram uma disponibilidade hídrica instalada significativamente maior que a do plano, a qual atingiria em menor tempo o potencial hídrico subterrâneo que, segundo esses autores, em 2011, já tinha mais de 50% de seu volume comprometido.

A Formação Serra Geral, no estado do RS, além do aquífero fraturado possui o aquífero granular (REGINATO *et al*, 2006), o qual armazena parte de água oriunda da recarga, mas que não acaba sendo coletada pelos poços tubulares, por apresentarem uma zona saturada pouco espessa (<1,7m). O volume armazenado neste aquífero é de difícil avaliação, mas representam uma redução no potencial hídrico estimado, o que abreviaria ainda mais o tempo que o plano de bacia estimou para se atingir o mesmo.

Estas informações trazem preocupação, frente a grande importância deste recurso para a bacia, sendo necessária uma análise mais detalhada desses potenciais em diferentes escalas que compõem a bacia, através da metodologia apresentada a seguir.

#### 4. METODOLOGIA

A avaliação do potencial hídrico subterrâneo, nesse estudo, foi realizado para diferentes escalas, sendo elas: a bacia Taquari-Antas como um todo, as unidades de gestão, as sub-bacias e os municípios, conforme apresentado na figura 17. As unidades de gestão e sub-bacias foram delimitadas e propostas no plano de bacia (STE, 2011).

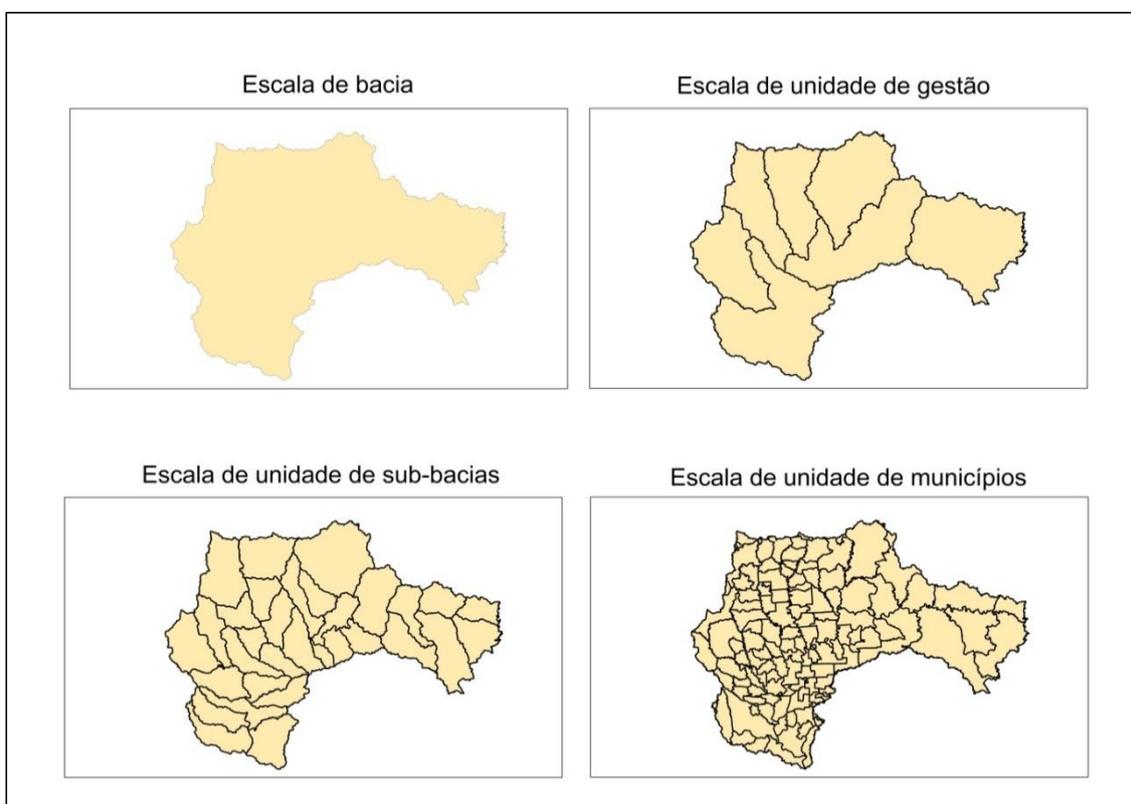


Figura 17: Escalas de estudo. Fonte: Adaptado de STE, 2011.

Desta forma, a metodologia descrita a seguir foi aplicada para todas as escalas selecionadas, conforme o fluxograma apresentado na figura 18.

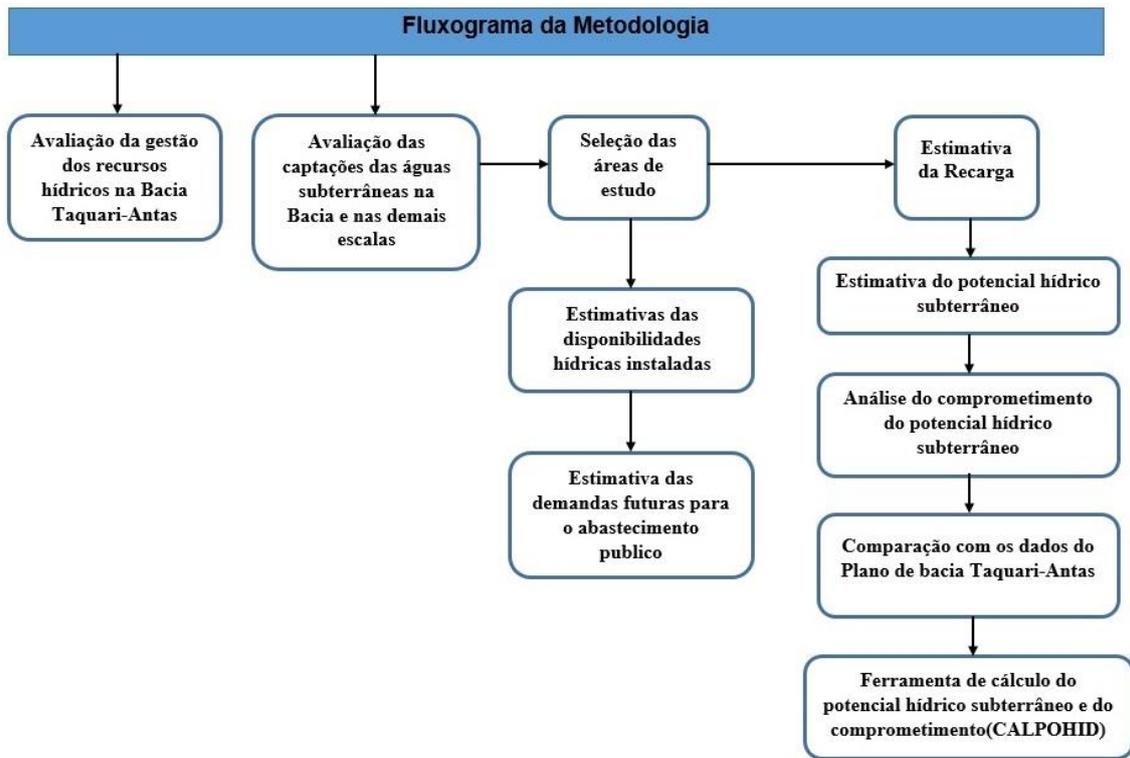


Figura 18: Fluxograma de aplicação da metodologia.

#### 4.1 Gestão dos recursos hídricos na bacia Taquari-Antas

Nesta etapa foi verificada a atuação dos municípios em relação aos recursos hídricos subterrâneos, através de legislações municipais existentes nos mesmos voltada para este tema. Logo, foram realizadas buscas nos sites das prefeituras dos municípios localizados de forma total e parcial dentro da Bacia Taquari-Antas. Nas prefeituras em que os sites não apresentavam ferramentas de buscas que propiciassem uma pesquisa rápida e objetiva das legislações específicas para a gestão das águas subterrâneas, foi realizado o contato telefônico com a prefeitura para obter a informação.

Foram obtidas informações de 109 municípios dos 119 existentes; na figura 19 é possível visualizar como foi obtida a informação em cada município. Os 11 municípios em que não foi possível se obter informações foram: Imigrante, Nova Araçá, Nova Roma do Sul, Santa Cruz do Sul, São José do Herval, Travesseiro, União da Serra, Vacaria, Veranópolis, Vespasiano Correa e Vila Flores.

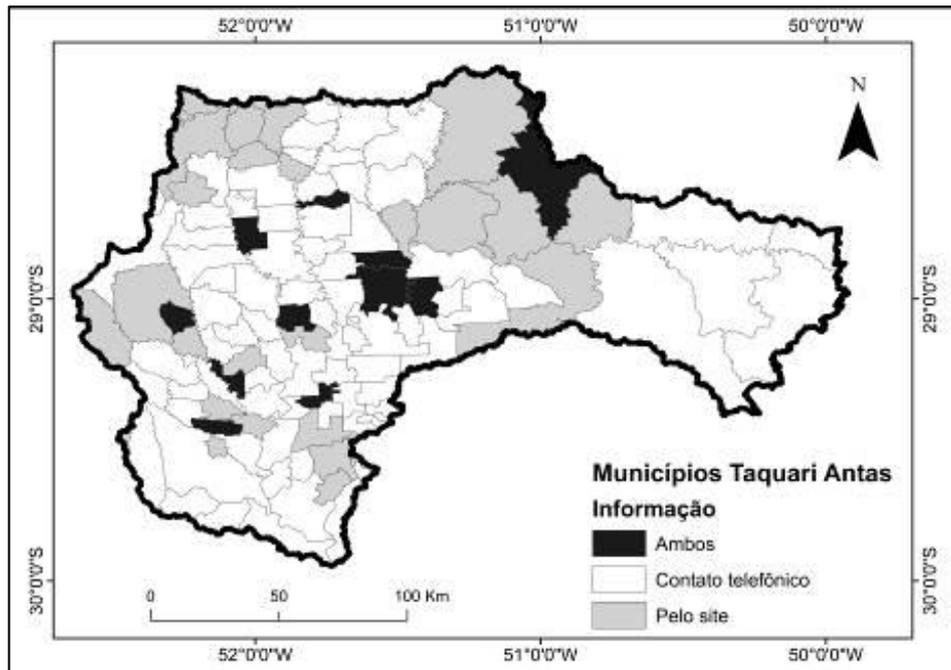


Figura 19: Tipo de forma utilizada para obter a informação em cada município.

Também foi analisada a situação dos poços cadastrados no SIOUT na bacia Taquari-Antas, através de pesquisa realizada no sistema no dia 21/11/2018, a qual resultou em 2051 poços.

#### 4.2 Avaliação das Captações de Águas Subterrânea na Bacia e nas demais escalas

O objetivo desta etapa foi caracterizar os poços que estão inseridos na bacia e nas demais escalas. O banco de dados construído para a realização desta etapa do trabalho foi elaborado a partir da coleta de informações realizada junto ao SIAGAS, SIOUT, CORSAN, PAP/RS, prefeituras e empresas de perfuração. Como são bancos de dados distintos que abrangem uma mesma região, esses dados foram verificados para que não houvesse duplicidade, utilizando para isso o software Excel.

O banco de dados em questão é constituído pelas seguintes informações: localização e quantidade de poços, vazão, tempo de bombeamento, nível estático, uso dos recursos hídricos subterrâneos.

A compreensão dessas grandezas, dados espaciais e informações dos poços foram importantes para determinar as regiões em que há maior dependência dos recursos hídricos subterrâneos e os principais tipos de demandas das mesmas (se industrial, doméstico, para abastecimento, etc.). Logo, esses dados foram utilizadas para a seleção dos locais de estudo.

### 4.3 Análise estatística

As análises estatísticas foram aplicadas apenas para os dados de vazão, tempo de bombeamento e nível estático, envolvendo:

- medidas de tendência central: média e mediana, esta última aplicada apenas para os dados de vazão (frente a maior variação);
- medida de dispersão: desvio padrão;
- máximos e mínimos.

### 4.4 Seleção das áreas de estudos

Não foram trabalhadas todas as unidades de gestão, sub-bacias e municípios inseridos na bacia, somente as áreas que atenderam aos seguintes critérios:

- Sub-bacias e Unidades de Gestão: estar inserida completamente no Sistema aquífero fraturado, ser abastecida exclusivamente por águas subterrâneas (na maior parte de sua área) e ter uma quantidade de poços significativa (no mínimo 1 poço a cada 5 km<sup>2</sup>);
- Municípios: estar inserido completamente no Sistema aquífero fraturado; ser abastecido exclusivamente por águas subterrâneas; estar inserido completamente na área da sub-bacia;

A seleção de áreas de aquíferos fraturados é justificada por sua descontinuidade, anisotropia, menor área de armazenamento de água e reservas e poços com menor capacidade de produção (baixas capacidades específicas). Assim, o estudo de disponibilidade nessas regiões é imprescindível para que a gestão desses recursos possa ocorrer com maior eficiência.

### 4.5 Estimativa da disponibilidade hídrica instalada (Di)

Para esta etapa foram utilizados os dados obtidos no item 4.2 e o cálculo foi realizado para cada poço conforme a equação 15, 16 e 17 considerando:

- o tempo de bombeamento como sendo de 24 h (Equação 15);
- o tempo de bombeamento projetado (Equação 16);
- o tempo máximo permitido de 18 h (Equação 17).

$$D_{i_{24h}} = Q_m \cdot 24h \cdot 365/10^6 \quad \text{Equação 15}$$

$$D_{i_{tbp}} = Q_m \cdot t_{bp} \cdot 365/10^6 \quad \text{Equação 16}$$

$$D_{i_{18h}} = Q_m \cdot 18h \cdot 365/10^6 \quad \text{Equação 17}$$

Onde:

$D_i$  = Disponibilidade hídrica instalada ( $\text{hm}^3$ );

$Q_m$  = Vazão média ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$T_{bp}$  = Tempo de bombeamento projetado (h).

Nos casos dos poços que não possuem dados de vazão foi utilizada a vazão mediana estimada na escala onde o mesmo se encontra. Por exemplo, para os poços sem dados inseridos no município de Vila Maria, foi admitida a vazão mediana calculada para o município. O valor mediano de vazão foi utilizado devido aos valores elevados de desvio padrão observados em todas as escalas. O mesmo não ocorreu com os dados de tempo de bombeamento, sendo utilizado o tempo de bombeamento médio de cada escala para os poços sem essa informação.

Os valores totais de disponibilidade hídrica instalada ( $D_i$ ), para cada escala analisada, nos três cenários propostos, foram obtidos através da soma das disponibilidades hídricas instaladas individuais dos poços inseridos na área em questão.

Levando em consideração a parcela de poços não cadastrados na bacia, o Plano de Bacia (2011), aplicou um percentual de 50% de aumento sobre o valor da  $D_i$  calculada, para que a mesma se aproximasse de volumes mais realistas. Sendo assim, neste estudo também foi admitido o valor de 50% sobre o valor total calculado, para a estimativa do  $D_i$  da bacia Taquari Antas (bacia TA) e das demais escalas analisadas, conforme apresentado na quadro 12.

Quadro 12: Cálculo das disponibilidades hídricas totais para cada escala estudada.

<b>Bacia Taquari-Antas</b>	<b>Unidades de gestão</b>	<b>Sub-bacias e municípios</b>
$D_{i(24h)} = [\Sigma(Q_m.24h.365).1,5]/10^6$	$D_{i(24h)} = [\Sigma(Q_m.24h.365).1,5]/10^6$	$D_{i(24h)} = [\Sigma(Q_m.24h.365).1,5]/10^6$
$D_{i(18h)} = [\Sigma(Q_m.18h.365).1,5]/10^6$	$D_{i(18h)} = [\Sigma(Q_m.18h.365).1,5]/10^6$	$D_{i(18h)} = [\Sigma(Q_m.18h.365).1,5]/10^6$
$D_{i(tbp)} = [\Sigma(Q_m.tbp.365).1,5]/10^6$	$D_{i(tbp)} = [\Sigma(Q_m.tbp.365).1,5]/10^6$	$D_{i(tbp)} = [\Sigma(Q_m.tbp.365).1,5]/10^6$

#### **4.6 Estimativa das demandas futuras para abastecimento público**

As estimativas das demandas futuras por recursos hídricos subterrâneos foram aplicados para as escalas de municípios e a partir dos mesmos, calculados para a escala de bacia.

Para esta análise foram utilizados os dados de população rural e urbana dos censos de 2000 e 2010 do IBGE. Além dos dados dos censos mencionados foram utilizadas as estimativas realizadas pelo IBGE de população nos anos de 1992 e 2012, para estimar a população em 2032. A estimativa para o ano de 2032 foi escolhida para posteriormente se comparar com os dados do plano de bacia, que projetaram o seus cenários futuros para o ano de 2030.

Para obter o aumento e/ou redução da população dependente de recursos hídricos subterrâneos em 2032 foram feitas as considerações descritas a seguir.

Foram adotados os valores de percentuais de população residente dentro dos limites da bacia indicados pela STE (2011), os quais variam conforme a % de inserção dos territórios dos municípios dentro da mesma, conforme anexo A. Logo, a população estimada para 2032 foi multiplicada por esse valor %. Desta forma, somente os municípios inseridos 100% na bacia tiveram o número de habitantes total estimado em 2032, em seu total, pertencente a bacia.

Mesmo nos municípios abastecidos exclusivamente por água superficial, no meio rural são utilizados poços para o abastecimento, devido à rede de abastecimento não abranger estas regiões. Desta forma, para estimar a quantidade de habitantes residente na zona rural nestes municípios, foi utilizado o valor médio da % de população rural, em cada município, observada nos censos de 2000 e 2010. A população estimada em 2032 para esses municípios foi multiplicada por essa %, para se estimar apenas a população rural.

Nos municípios abastecidos de forma mista, a quantidade de habitantes estimada para 2032 foi multiplicada apenas pela % de abastecimento realizado por manancial subterrâneo, conforme indicado por ANA (2009).

No quadro 13 estão apresentados os municípios abastecidos em suas zonas urbanas exclusivamente por água superficial e os abastecidos de forma mista. Nos municípios de abastecimento misto é apresentado o % utilizado de cada manancial.

Quadro 13: Municípios abastecidos por manancial misto e superficial.

<b>Município</b>	<b>Manancial de abastecimento</b>	<b>% Subterrâneo</b>	<b>% Superficial</b>
Antônio Prado	Misto	0,51	0,49
Arroio do Meio	Misto	0,42	0,58
Bento Gonçalves	Misto	0,03	0,97
Bom Retiro do Sul	Misto	0,06	0,94
Cambará do Sul	Misto	0,21	0,79
Encantado	Misto	0,53	0,47
Fontoura Xavier	Misto	0,17	0,83
Garibaldi	Misto	0,62	0,38
Santo Antônio do Palma	Misto	0,69	0,31
Sinimbu	Misto	0,93	0,07
Soledade	Misto	0,08	0,92
Antônio Prado	Misto	0,51	0,49
Barros Cassal	Superficial		
Bom Jesus	Superficial		
Caxias do Sul	Superficial		
Cotiporã	Superficial		
Farroupilha	Superficial		
General Câmara	Superficial		
Guaporé	Superficial		
Lagoa Vermelha	Superficial		
Lajeado	Superficial		
Marau	Superficial		
Montenegro	Superficial		
Nova Prata	Superficial		
Passo Fundo	Superficial		
Santa Cruz do Sul	Superficial		
São Francisco de Paula	Superficial		
São Marcos	Superficial		
São Valentim do Sul	Superficial		
Serafina Correa	Superficial		
Tabaí	Superficial		
Travesseiro	Superficial		
União da Serra	Superficial		
Vacaria	Superficial		
Vanini	Superficial		
Vespasiano Correa	Superficial		

Cruzeiro do Sul	Superficial		
Taquari	Superficial		

Fonte: Adaptado de ANA, 2009.

Em 1992, 16 municípios, apresentados na tabela 8, não tiveram suas populações estimadas, desta forma, não foi possível avaliar a evolução das mesmas em 2032. Em 2010, a soma da população de todos esses municípios foi de 50.330 habitantes, os quais representam apenas 2,49% do total de habitantes na bacia observado no mesmo ano. Logo, o aumento e/ou redução da população nesses municípios não irá acarretar em diferenças significativas na estimativa da população da bacia em 2032.

Tabela 8: Municípios sem informação no censo de 1992.

<b>Municípios</b>	<b>População 2010</b>
Arvorezinha	10225
Boa Vista do Sul	2776
Canudos do Vale	1807
Capão Bonito do Sul	1754
Coqueiro Baixo	1528
Coronel Pilar	1725
Doutor Ricardo	2030
Fazenda Vilanova	3697
Forquetinha	2479
Marques de Souza	4068
Monte Alegre dos Campos	3102
Muitos Capões	2988
Tabaí	4131
Vale Verde	3253
Vespasiano Corrêa	1974
Westfália	2793

Já nas escalas de unidades de gestão selecionadas, somente 3 dos 16 municípios estão presentes. Na unidade de gestão UC estão inseridos menos de 2% da área do município de Vespasiano Corrêa e na Unidade de gestão UG estão inseridos os municípios de Arvorezinha e Doutor Ricardo, com respectivamente 48,5 e 60,1 % de suas áreas inseridas nesta unidade de gestão. A ausência desses municípios nas unidades de gestão também não acarretariam em diferenças significativas, pois de 2000 a 2010 a soma

da variação de habitantes dos dois municípios juntos foi negativa de -124 habitantes. Nas sub-bacia selecionadas nenhum desses municípios estão inseridos.

Para as estimativas foram utilizadas o método da projeção aritmética (Equações 18 e 19), sendo que o método de projeção geométrica remete a estimativas de valores muito superiores em relação ao primeiro método de projeção. Conforme o IBGE, a taxa de crescimento da população de 1991 a 2000 foi de apenas 1,5 % para municípios com populações de 20 a 50 mil habitantes, que é a situação de cerca de 97% dos municípios que tem suas áreas 100% inseridas dentro da bacia.

$$K_a = (P_2 - P_0)/(t_2 - t_0) \quad \text{Equação 18}$$

$$P_t = P_0 + k_a \cdot (t - t_0) \quad \text{Equação 19}$$

Onde:

$P_2$  = população final;

$P_0$  = população inicial;

$t_2$  = Tempo final;

$t_0$  = Tempo inicial.;

$K_a$  = Taxa de crescimento aritmética.

A disponibilidade hídrica instalada total foi estimada levando em consideração os poços cadastrados até 2018 para suprir a população existente até este período. Desta forma, foi realizada a diferença entre a população estimada para o ano de 2032 para cada município, com a população estimada pelo IBGE em 1º de julho de 2018, obtendo assim, o aumento/redução da população em relação ao ano em questão, conforme equação 20.

$$D_{p_{2032}} = P_{t_{2032}} - P_{2018} \quad \text{Equação 20}$$

Onde:

$D_p$  = diferença da população;

$P_t$  = projeção da população municipal para o ano de 2032;

$P_{2018}$  = População municipal estimada para 2018.

Os resultados obtidos na equação 20, para cada município foram multiplicados pelo valor de 158,2 l/hab.dia que é a média de consumo per capita de água dos anos de 2013, 2014 e 2015 estimada para o Rio Grande do Sul no diagnóstico dos serviços de

água e esgoto do BRASIL (2016), assim foi possível calcular o volume, conforme equação 21.

$$Vol_{2032} = Dp_{2032} \times (158,2/1000) \quad \text{Equação 21}$$

O volume de água adicional, oriundo do crescimento populacional, foi somado aos valores de disponibilidade hídrica instalada total para o tempo de bombeamento de 24 e 18 h, calculados conforme descrito no item 4.5. Através dessa soma foi estimada a disponibilidade hídrica futura (Dif), conforme as equações 22 e 23 a seguir.

$$Dif_{(24h)2032} = Dit_{(24h)} + Vol_{2032} \quad \text{Equação 22}$$

$$Dif_{(18h)2032} = Dit_{(18h)} + Vol_{2032} \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

$Dit_{(24h)}$  = Disponibilidade hídrica instalada total para um tempo de bombeamento de 24h;

$Dit_{(18h)}$  = Disponibilidade hídrica instalada total para um tempo de bombeamento de 18h;

$Vol_{2032}$  = volume adicional anual estimado para suprir o crescimento da população em 2032;

#### **4.7 Estimativa da recarga**

A estimativa da recarga foi aplicada nas diferentes escalas selecionadas: na bacia como um todo, nas unidades de gestão UG e UC, nas sub-bacias alto rio Guaporé - SARG e alto rio Carreiros -SARC e nos municípios de David Canabarro e Vila Maria.

Como é difícil a existência de estações fluviométricas nas escalas de municípios e sub-bacias, o método selecionado para a estimativa da recarga foi o balanço hídrico anual, o qual é amplamente utilizado em diferentes escalas. Para estimativa da recarga foi utilizada uma abordagem residual que, conforme Healy (2010), é quando as demais variáveis do balanço são medidas ou calculadas, exceto a Recarga, sendo desconsiderada a variação do armazenamento de água, conforme apresentado na equação 24 .

$$R = P - ETR - R_{off} \quad \text{Equação 24}$$

Onde:

R = recarga (mm);

P = precipitação (mm);

ETR = evapotranspiração real (mm);

Roff = Escoamento superficial (mm).

Para o cálculo da recarga neste trabalho foi considerada toda a área das escalas analisadas. No entanto, em função de diversos fatores que influenciam o processo de recarga, tais como: cobertura solo, altitude, topografia, temperatura, tipo do solo e geologia, a mesma ocorre em áreas menores e específicas, as quais são de difícil determinação. Além disso, em aquíferos fraturados, o processo também é condicionado pela presença de fraturas. Contudo, vale salientar que para uma avaliação mais precisa do potencial a determinação dessas áreas devem ser realizadas.

A seguir será descrito como foi estimado cada componente do balanço hídrico para a obtenção da recarga.

#### 4.1.1 Precipitação (P)

A precipitação média anual foi obtida através das estações apresentadas no quadro 14, pelo método da média aritmética. No Plano de Bacia foram identificadas 51 estações pluviométricas, contudo, neste estudo foram utilizadas 34 estações, as quais possuem no mínimo 15 anos de observação, para o cálculo desta variável para a bacia TA.

Quadro 14: Estação pluviométricas utilizadas.

<b>Código</b>	<b>Latitude (S)</b>	<b>Longitude (W)</b>	<b>Código</b>	<b>Latitude (S)</b>	<b>Longitude (W)</b>
2850002	-28,73	-50,07	2852003	-28,87	-52,18
2850013	-28,77	-51,00	2852004	-28,80	-52,37
2851001	-28,80	-51,78	2852005	-28,35	-52,22
2851004	-28,67	-51,77	2852014	-28,92	-52,12
2851005	-28,55	-51,97	2852016	-28,45	-52,20
2851006	-28,98	-51,83	2852017	-28,78	-52,17
2851007	-28,23	-51,55	2852028	-28,38	-52,26
2851008	-28,55	-51,35	2950007	-29,05	-50,15
2851009	-28,88	-51,70	2950008	-29,10	-50,17
2851010	-28,67	-51,13	2950014	-29,10	-50,42
2851018	-28,98	-51,40	2950019	-29,08	-50,62
2851026	-28,77	-51,37	2950033	-29,07	-50,97

Código	Latitude (S)	Longitude (W)	Código	Latitude (S)	Longitude (W)
2851027	-28,70	-51,93	2950035	-29,27	-50,30
2851028	-28,38	-51,83	2951042	-29,12	-52,00
2851032	-28,62	-51,35	2952002	-29,08	-52,58
2851033	-28,93	-51,55	2952006	-29,32	-52,08
2851037	-29,00	-51,70	2952029	-29,17	-52,17

A distribuição espacial de todas as estações pluviométricas que foram utilizadas pode ser visualizadas na figura 20. Para o cálculo da precipitação média através do método da média aritmética nas demais escalas, foram utilizadas somente as estações pluviométricas listadas no quadro 15.

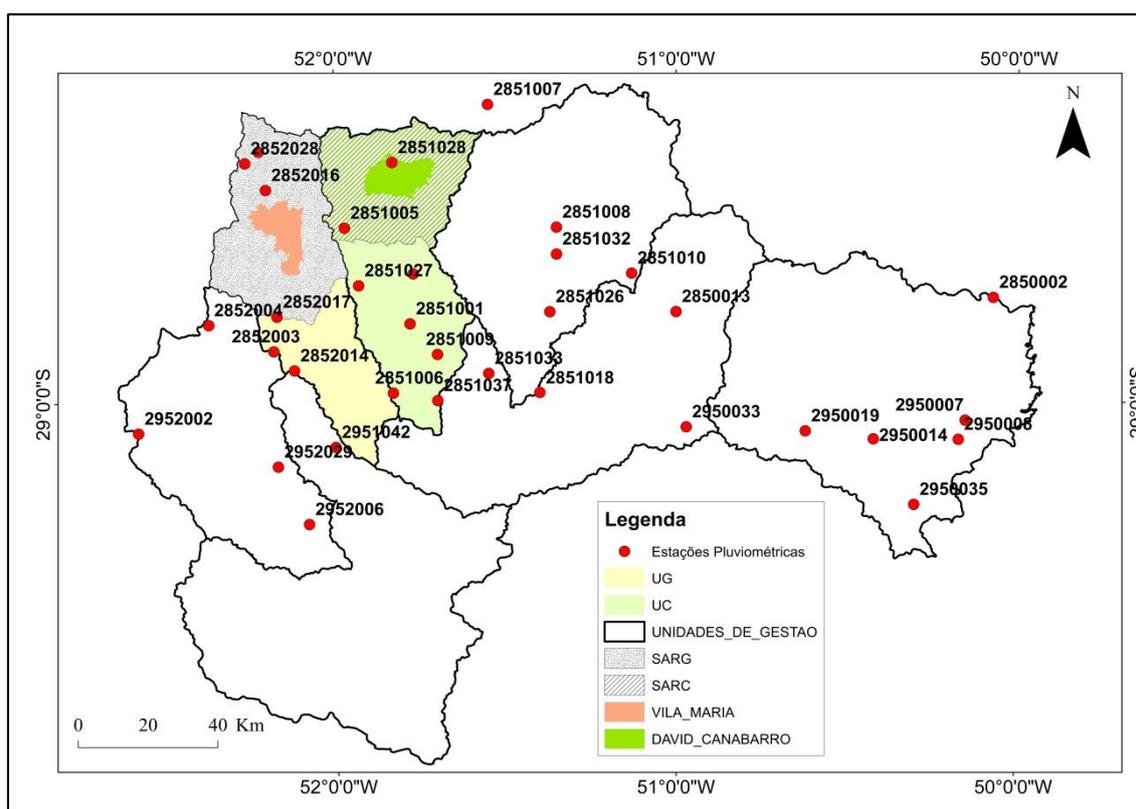


Figura 20: Distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas.

Quadro 15: Estações pluviométricas utilizada nas escalas de UG, sub-bacia e municípios.

<b>Unidade de Gestão</b>	<b>Código da estação</b>
UG	2851005
	2851006
	2851027
	2852003
	2852005
	2852014
	2852016
	2852017
	2852028
	2951042
UC	2851001
	2851004
	2851005
	2851006
	2851009
	2851027
	2851028
	2851037
<b>Sub-bacias</b>	<b>Código da estação</b>
SARG	2851005
	2852005
	2852016
	2852017
	2852028
SARC	2851005
	2851028
<b>Muncípios</b>	<b>Código da estação</b>
Vila maria	2852016
David Canabarro	2851028

#### 4.7.2 Escoamento superficial ( $R_{off}$ )

O escoamento superficial foi calculado conforme equações 25 e 26 abaixo:

$$R_{off} = C' . P \quad \text{Equação 25}$$

$$C' = \alpha . C \quad \text{Equação 26}$$

Onde:

Roff = Escoamento superficial (mm);

P = precipitação (mm);

C = coeficiente de escoamento;

$\alpha$  = coeficiente que varia em função da declividade e estação seca ou úmida.

Os valores de coeficiente de escoamento superficial foram estimados conforme valores já tabelados, apresentada nos estudos de Carvalho (2013) adaptado de Fenn et al. (1975), apresentado na quadro 16. O mesmo foi selecionado por se tratar de uma metodologia que necessita de dados de fácil obtenção e rápida classificação.

Quadro 16: Classificação do escoamento superficial.

Tipo de solo	Declividade (%)	Coeficiente $\alpha$	
		Estação seca	Estação úmida
Arenoso (C=0,35)	< 3	0,43	0,65
	3 a 7	0,54	0,7
	>7	0,6	0,7
Argiloso (C=0,45)	<3	0,53	0,63
	3 a 7	0,75	0,65
	>7	0,90	0,85

Fonte: CARVALHO (2013)

Para a classificação do tipo de solo, se arenoso ou argiloso, foi utilizado o mapa de solos do estado do Rio Grande do Sul na escala 1:1.000.000, o qual já foi apresentado anteriormente no item 3.5.3 na figura 11. Vale salientar, que para toda a área da bacia essa é a escala de mapa de solo disponível, contudo, é importante destacar que mapas mais detalhados também alterariam os resultados de recarga.

O mapa de declividade foi realizado no ArcGIS a partir do modelo digital de elevação (MDE) da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução de 30 m.

#### 4.7.3 Evapotranspiração (ET)

O mapa de evapotranspiração foi elaborado através dos dados de evapotranspiração potencial do Atlas Climático do Rio Grande do Sul, elaborado por Wrege et al (2011), o qual se utilizou da rede de estações meteorológicas da FEPAGRO, do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8º DISME/INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA). O período considerado nos

cálculos da evapotranspiração potencial foi de 1976-2005, sendo utilizada para a estimativa da mesma a equação de Thornthwaite (1948), conforme as equações 27, 28, 29 e 30 abaixo, para um intervalo mensal, sendo computado posteriormente o valor anual.

$$ETP = 16b \left(10 \frac{T}{I}\right)^a, 0^\circ\text{C} \leq T \leq 26^\circ\text{C} \quad \text{Equação 27}$$

$$I = \sum_{j=1}^{12} [T_j/5]^{1,514} \quad \text{Equação 28}$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239 \quad \text{Equação 29}$$

$$b = (ND/30) \cdot (N/12) \quad \text{Equação 30}$$

Onde:

T = Temperatura média mensal do ar (°C);

I = Índice de calor anual;

a = Função cúbica de I;

b = Fator de correção referente ao período de insolação, varia em função da latitude do local de estudo;

ND = É o numero de dias do mês;

N = Fotoperíodo em Horas.

A evapotranspiração real (ETR) foi considerada como sendo igual a evapotranspiração potencial(ETP), porque a mesma é inferior aos valores médios anuais de precipitação. A distribuição espacial das estações climatológicas utilizadas pode ser observada na figura 21.

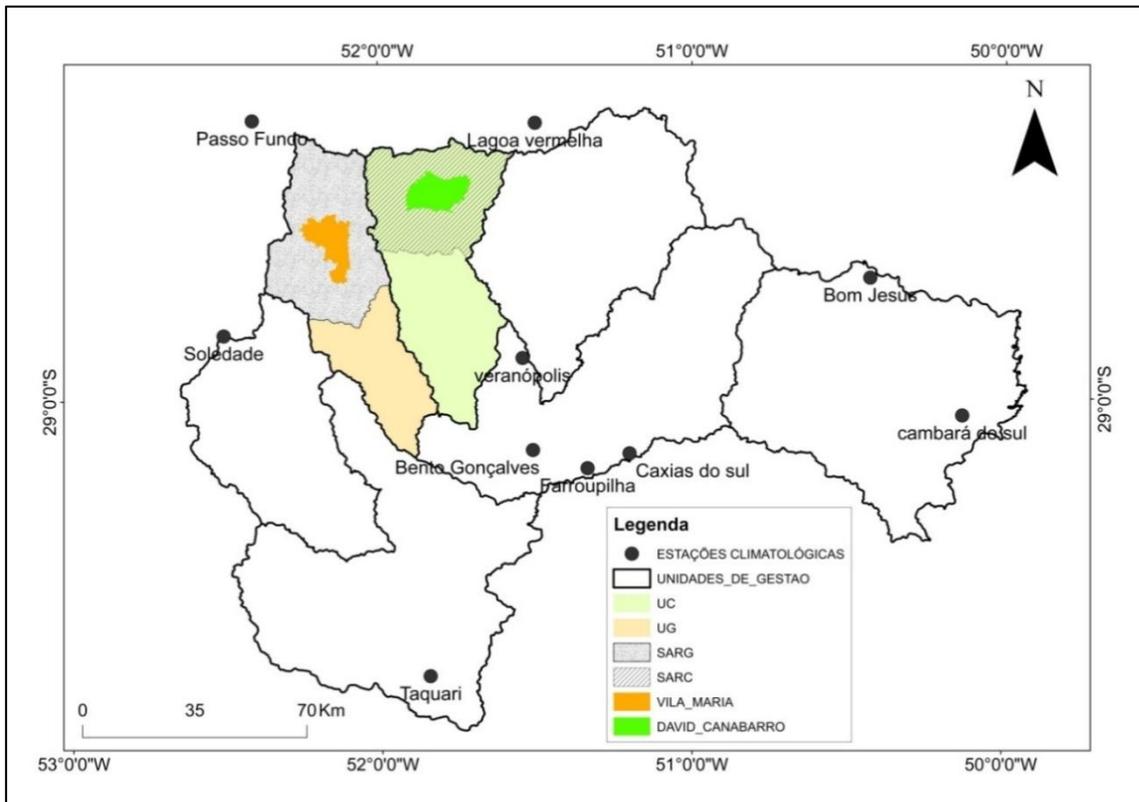


Figura 21: Estações climatológicas utilizadas no cálculo da evapotranspiração potencial.

#### 4.8 Potencial hídrico subterrâneo (Po)

Com a definição da recarga e sua relação com o percentual de precipitação, é possível estimar o potencial hídrico das áreas de estudo, lembrando que o valor da recarga pode ser considerado igual a Reserva renovável (Rr) (Equação 31). O potencial hídrico subterrâneo foicalculado conforme a equação 32.

$$Rr = (R \cdot P) / 1000 \quad \text{Equação 31}$$

Onde:

Rr = Reserva renovável (m);

R = Recarga (%);

P = Precipitação média da área em questão (mm).

$$Po = (Rr \cdot \%).A \quad \text{Equação 32}$$

Onde:

Po = Potencial hídrico subterrâneo (m<sup>3</sup>);

Rr = Reserva renovável (m);

% = É a % que foi utilizado da Rr;

A = Área estudada (m<sup>2</sup>).

Para este estudo foram simulados 5 cenários para as diferentes escalas estudadas, a partir da aplicação de um percentual sobre a reserva renovável, variáveis de 15 a 100% da mesma (Tabela 9). Esse intervalo foi escolhido por abranger a maioria das indicações dos autores no cálculo de potencial hídrico subterrâneo.

Tabela 9 : Percentuais aplicados sobre a Rr para o cálculo do Potencial hídrico subterrâneo.

% da Rr				
15	25	50	75	100

O cálculo do potencial hídrico subterrâneo utilizando o valor estimado de Rr da bacia como um todo foi realizado para todas as demais escalas, conforme as equações (33 a 44) do quadro 17.

Quadro 17: Equações do potencial hídrico subterrâneo calculado a partir de Rr estimado para bacia TA.

Escalas	Equações	
UG	$Rr_{(ta \rightarrow UG)} = (R_{ta} \cdot P_{(UG)})/1000$	Eq.33
	$Po_{(ta \rightarrow UG)} = (Rr_{(ta \rightarrow UG)} \cdot \%) \cdot A_{(UG)}$	Eq.34
UC	$Rr_{(ta \rightarrow UC)} = (R_{ta} \cdot P_{(UC)})/1000$	Eq.35
	$Po_{(ta \rightarrow UC)} = (Rr_{(ta \rightarrow UC)} \cdot \%) \cdot A_{(UC)}$	Eq.36
SARG	$Rr_{(ta \rightarrow SARG)} = (R_{ta} \cdot P_{(SARG)})/1000$	Eq.37
	$Po_{(ta \rightarrow SARG)} = (Rr_{(ta \rightarrow SARG)} \cdot \%) \cdot A_{(SARG)}$	Eq.38
SARC	$Rr_{(ta \rightarrow SARC)} = (R_{ta} \cdot P_{(SARC)})/1000$	Eq.39
	$Po_{(ta \rightarrow SARC)} = (Rr_{(ta \rightarrow SARC)} \cdot \%) \cdot A_{(SARC)}$	Eq.40
Vila Maria	$Rr_{(ta \rightarrow VM)} = (R_{ta} \cdot P_{(VM)})/1000$	Eq.41
	$Po_{(ta \rightarrow VM)} = (Rr_{(ta \rightarrow VM)} \cdot \%) \cdot A_{(VM)}$	Eq.42
David Canabarro	$Rr_{(ta \rightarrow DC)} = (R_{ta} \cdot P_{(DC)})/1000$	Eq.43
	$Po_{(ta \rightarrow DC)} = (Rr_{(ta \rightarrow DC)} \cdot \%) \cdot A_{(DC)}$	Eq.44

\*As % vão variar de 15 a 100%, conforme cenários mencionados anteriormente.

Onde:

R<sub>ta</sub> = Recarga estimada para bacia TA (%);

P<sub>(UG)</sub> = Precipitação média anual da UG (mm);

P<sub>(UC)</sub> = Precipitação média anual da UC (mm);

$P_{(SARG)}$  = Precipitação média anual da SARG (mm);  
 $P_{(SARC)}$  = Precipitação média anual da SARC (mm);  
 $P_{(VM)}$  = Precipitação média anual de VM (mm);  
 $P_{(DC)}$  = Precipitação média anual de DC (mm);  
 $A_{(UG)}$  = Área da UG (m<sup>2</sup>)  
 $A_{(UC)}$  = Área da UC (m<sup>2</sup>)  
 $A_{(SARG)}$  = Área da SARG (m<sup>2</sup>)  
 $A_{(SARC)}$  = Área da SARC (m<sup>2</sup>)  
 $A_{(VM)}$  = Área de VM (m<sup>2</sup>)  
 $A_{(DC)}$  = Área de DC (m<sup>2</sup>)  
 $Rr_{(ta \rightarrow UG)}$  = Rr estimada para UG a partir do valor da  $R_{ta}$  (m);  
 $Rr_{(ta \rightarrow UC)}$  = Rr estimada para UC a partir do valor da  $R_{ta}$  (m);  
 $Rr_{(ta \rightarrow SARG)}$  = Rr estimada para SARG a partir do valor da  $R_{ta}$  (m);  
 $Rr_{(ta \rightarrow SARC)}$  = Rr estimada para SARC a partir do valor da  $R_{ta}$  (m);  
 $Rr_{(ta \rightarrow VM)}$  = Rr estimada para VM a partir do valor da  $R_{ta}$  (m);  
 $Rr_{(ta \rightarrow DC)}$  = Rr estimada para DC a partir do valor da  $R_{ta}$  (m);  
 $Po_{(ta \rightarrow UG)}$  = Po estimada para UG a partir do valor da  $Rr_{(ta \rightarrow UG)}$  (m<sup>3</sup>);  
 $Po_{(ta \rightarrow UC)}$  = Po estimada para UC a partir do valor da  $Rr_{(ta \rightarrow UC)}$  (m<sup>3</sup>);  
 $Po_{(ta \rightarrow SARG)}$  = Po estimada para SARG a partir do valor da  $Rr_{(ta \rightarrow SARG)}$  (m<sup>3</sup>);  
 $Po_{(ta \rightarrow SARC)}$  = Po estimada para SARC a partir do valor da  $Rr_{(ta \rightarrow SARC)}$  (m<sup>3</sup>);  
 $Po_{(ta \rightarrow VM)}$  = Po estimada para VM a partir do valor da  $Rr_{(ta \rightarrow VM)}$  (m<sup>3</sup>);  
 $Po_{(ta \rightarrow DC)}$  = Po estimada para DC a partir do valor da  $Rr_{(ta \rightarrow DC)}$  (m<sup>3</sup>);

Na escala de unidades de gestão (UG e UC), os valores de Rr estimados em suas respectivas áreas foram utilizados para calcular o potencial hídrico subterrâneo nas mesmas e nas sub-bacias e municípios abrangidos por estas, conforme as equações (45 a 56) apresentadas no quadro 18.

Quadro 18: Equações do potencial hídrico subterrâneo calculado a partir de Rr estimado para UG e UC.

Escalas	Equações	
UG	$Rr_{(UG \rightarrow UG)} = (R_{UG} \cdot P_{(UG)})/1000$	Eq.45
	$Po_{(UG \rightarrow UG)} = (Rr_{(UG \rightarrow UG)} \cdot \%).A_{(UG)}$	Eq.46
UC	$Rr_{(UC \rightarrow UC)} = (R_{UC} \cdot P_{(UC)})/1000$	Eq.47
	$Po_{(UC \rightarrow UC)} = (Rr_{(UC \rightarrow UC)} \cdot \%).A_{(UC)}$	Eq.48
SARG	$Rr_{(UG \rightarrow SARG)} = (R_{UG} \cdot P_{(SARG)})/1000$	Eq.49
	$Po_{(UG \rightarrow SARG)} = (Rr_{(UG \rightarrow SARG)} \cdot \%).A_{(SARG)}$	Eq.50
SARC	$Rr_{(UC \rightarrow SARC)} = (R_{UC} \cdot P_{(SARC)})/1000$	Eq.51
	$Po_{(UC \rightarrow SARC)} = (Rr_{(UC \rightarrow SARC)} \cdot \%).A_{(SARC)}$	Eq.52
Vila Maria	$Rr_{(UG \rightarrow VM)} = (R_{UG} \cdot P_{(VM)})/1000$	Eq.53
	$Po_{(UG \rightarrow VM)} = (Rr_{(UG \rightarrow VM)} \cdot \%).A_{(VM)}$	Eq.54
David Canabarro	$Rr_{(UC \rightarrow DC)} = (R_{UC} \cdot P_{(DC)})/1000$	Eq.55
	$Po_{(UC \rightarrow DC)} = (Rr_{(UC \rightarrow DC)} \cdot \%).A_{(DC)}$	Eq.56

\*As % vão variar de 15 a 100%, conforme cenários mencionados anteriormente.

Onde:

$R_{UG}$ = Recarga estimada para bacia UG (%);

$R_{UC}$ = Recarga estimada para bacia UC (%);

$Rr_{(UG \rightarrow UG)}$ = Rr estimada para UG a partir do valor da  $R_{UG}$  (m);

$Rr_{(UC \rightarrow UC)}$ = Rr estimada para UC a partir do valor da  $R_{UC}$ (m);

$Rr_{(UG \rightarrow SARG)}$ = Rr estimada para SARG a partir do valor da  $R_{UG}$ (m);

$Rr_{(UC \rightarrow SARC)}$  = Rr estimada para SARC a partir do valor da  $R_{UC}$  (m);

$Rr_{(UG \rightarrow VM)}$  = Rr estimada para VM a partir do valor da  $R_{UG}$ (m);

$Rr_{(UC \rightarrow DC)}$  = Rr estimada para DC a partir do valor da  $R_{UC}$  (m);

$Po_{(UG \rightarrow UG)}$  = Po estimada para UG a partir do valor da  $Rr_{(UG \rightarrow UG)}$ (m<sup>3</sup>);

$Po_{(UC \rightarrow UC)}$  = Po estimada para UC a partir do valor da  $Rr_{(UC \rightarrow UC)}$ (m<sup>3</sup>);

$Po_{(UG \rightarrow SARG)}$  = Po estimada para SARG a partir do valor da  $Rr_{(UG \rightarrow SARG)}$ (m<sup>3</sup>);

$Po_{(UC \rightarrow SARC)}$  = Po estimada para SARC a partir do valor da  $Rr_{(UC \rightarrow SARC)}$  (m<sup>3</sup>);

$Po_{(UG \rightarrow VM)}$  = Po estimada para SARC a partir do valor da  $Rr_{(UG \rightarrow VM)}$  (m<sup>3</sup>);

$Po_{(UC \rightarrow DC)}$  = Po estimada para SARC a partir do valor da  $Rr_{(UC \rightarrow DC)}$  (m<sup>3</sup>);

Na escala de sub-bacias (SARG e SARC), os valores de Rr estimados em suas respectivas áreas foram utilizados para calcular o potencial hídrico subterrâneo nas mesmas e nos municípios de Vila Maria e David Canabarro, situados respectivamente na SARG e SARC, conforme as equações (57 a 64), apresentadas no quadro 19.

Quadro 19: Equações do potencial hídrico subterrâneo calculado a partir de Rr estimado para SARG e SARC.

Escalas	Equações	
SARG	$Rr_{(SARG \rightarrow SARG)} = (R_{SARG} \cdot P_{(SARG)}) / 1000$	Eq. 57
	$PO_{(SARG \rightarrow SARG)} = (Rr_{(SARG \rightarrow SARG)} \cdot \%) \cdot A_{(SARG)}$	Eq. 58
SARC	$Rr_{(SARC \rightarrow SARC)} = (R_{SARC} \cdot P_{(SARC)}) / 1000$	Eq. 59
	$PO_{(SARC \rightarrow SARC)} = (Rr_{(SARC \rightarrow SARC)} \cdot \%) \cdot A_{(SARC)}$	Eq. 60
VM	$Rr_{(SARG \rightarrow VM)} = (R_{SARG} \cdot P_{(VM)}) / 1000$	Eq. 61
	$PO_{(SARG \rightarrow VM)} = (Rr_{(SARG \rightarrow VM)} \cdot \%) \cdot A_{(VM)}$	Eq. 62
DC	$Rr_{(SARC \rightarrow DC)} = (R_{SARC} \cdot P_{(DC)}) / 1000$	Eq. 63
	$PO_{(SARC \rightarrow DC)} = (Rr_{(SARC \rightarrow DC)} \cdot \%) \cdot A_{(DC)}$	Eq. 64

\*As % vão variar de 15 a 100%, conforme cenários mencionados anteriormente.

Onde:

$R_{SARG}$  = Recarga estimada para bacia SARG (%);

$R_{SARC}$  = Recarga estimada para bacia SARC (%);

$Rr_{(SARG \rightarrow SARG)}$  = Rr estimada para SARG a partir do valor da  $R_{SARG}$  (m);

$Rr_{(SARC \rightarrow SARC)}$  = Rr estimada para SARC a partir do valor da  $R_{SARC}$  (m);

$Rr_{(SARG \rightarrow VM)}$  = Rr estimada para VM a partir do valor da  $R_{SARG}$  (m);

$Rr_{(SARC \rightarrow DC)}$  = Rr estimada para DC a partir do valor da  $R_{SARC}$  (m);

$PO_{(SARG \rightarrow SARG)}$  = Po estimada para SARG a partir do valor da  $Rr_{(SARG \rightarrow SARG)}$  (m<sup>3</sup>);

$PO_{(SARC \rightarrow SARC)}$  = Po estimada para SARC a partir do valor da  $Rr_{(SARC \rightarrow SARC)}$  (m<sup>3</sup>);

$PO_{(SARG \rightarrow VM)}$  = Po estimada para VM a partir do valor da  $Rr_{(SARG \rightarrow SARG)}$  (m<sup>3</sup>);

$PO_{(SARC \rightarrow DC)}$  = Po estimada para DC a partir do valor da  $Rr_{(SARC \rightarrow SARC)}$  (m<sup>3</sup>);

Na escala de municípios, os valores de Rr estimados em Vila Maria e David Canabarro, foram utilizados para calcular o potencial hídrico subterrâneo somente em suas respectivas áreas, conforme as equações apresentadas no quadro 20.

Quadro 20: Equações do potencial hídrico subterrâneo para os municípios de Vila Maria e David Canabarro.

Escalas	Equações	
Vila Maria	$Rr_{(VM \rightarrow VM)} = (R_{VM} \cdot P_{(VM)}) / 1000$	Eq.65
	$PO_{(VM \rightarrow VM)} = (Rr_{(VM \rightarrow VM)} \cdot \%) \cdot A_{(VM)}$	Eq.64
David Canabarro	$Rr_{(DC \rightarrow DC)} = (R_{DC} \cdot P_{(DC)}) / 1000$	Eq.66
	$PO_{(DC \rightarrow DC)} = (Rr_{(DC \rightarrow DC)} \cdot \%) \cdot A_{(DC)}$	Eq.66

\*As % vão variar de 15 a 100%, conforme cenários mencionados anteriormente.

Onde:

$R_{VM}$  = Recarga estimada para o município de Vila Maria (%);

$R_{DC}$  = Recarga estimada para o município de David Canabarro(%);

$Rr_{(VM \rightarrow VM)}$  = Rr estimada para Vila Maria a partir do valor da  $R_{VM}$  (m);

$Rr_{(DC \rightarrow DC)}$  = Rr estimada para David Canabarro a partir do valor da  $R_{DC}$  (m);

$Po_{(VM \rightarrow VM)}$  = Po estimada para Vila Maria a partir do valor da  $Rr_{(VM \rightarrow VM)}$  (m<sup>3</sup>);

$Po_{(DC \rightarrow DC)}$  = Po estimada para David Canabarro a partir do valor da  $Rr_{(DC \rightarrow DC)}$  (m<sup>3</sup>);

O fluxograma apresentado na figura 22 resume a sequência em que foram aplicados os cálculos de estimativa do potencial hídrico subterrâneo, conforme as equações apresentadas anteriormente nos quadros 17, 18, 19 e 20.

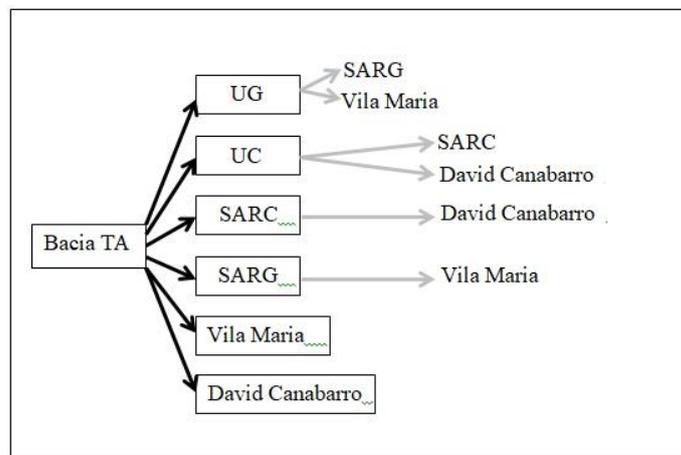


Figura 22: Fluxograma da sequência de aplicação do cálculo do potencial hídrico subterrâneo.

Essa etapa é de suma importância, pois com a mesma foi possível observar a diferença dos potenciais hídricos subterrâneo calculados a partir de um valor de Rr estimada para uma escala de menor detalhe, aplicado em escalas de maior detalhe. A aplicação dos cenários poderá ser utilizada nas tomadas de decisões em torno da gestão desse recurso, podendo ser a mesma mais rigorosa ao adotar os cenários de 15% das Rr, mais conservadora ao adotar os cenários de 25% das Rr e pouco restritiva ao adotar os cenários de 100% das Rr. Mas tal decisão só será melhor embasada ao fazer a análise do comprometimento do potencial hídrico, conforme detalhado no item a seguir.

#### 4.9 Análise do comprometimento do potencial hídrico subterrâneo (C).

A análise do comprometimento dos recursos hídricos subterrâneos consiste em avaliar quanto do potencial hídrico subterrâneo já está sendo utilizado através da disponibilidade hídrica instalada.

Essa análise utilizou os dados de potencial e disponibilidade hídrica instalada e foi realizada para todas as escalas, seguindo a lógica apresentada na figura 22, no item 4.8.

A Deliberação CRH N° 52/2005 institui, no âmbito do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH, diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas no estado do São Paulo. Conforme esta deliberação, quando a relação Consumo (C)/disponibilidade (D), denominados respectivamente neste estudo de Disponibilidade hídrica Instalada total (Di) e Potencial hídrico subterrâneo (Po), for maior ou igual a 75%, a área será definida como crítica e pode ser classificada como “área confirmada de restrição e controle à captação e uso das águas subterrâneas”. Baseado nisso, o nível de comprometimento do potencial hídrico será classificado conforme apresentado no quadro 21, tendo como classificações extremas os níveis de comprometimento crítico e baixo, respectivamente, quando a disponibilidade instalada total for superior a 75% do potencial hídrico subterrâneo e quando a disponibilidade instalada total for inferior a 50% do valor do mesmo.

Quadro 21: Classificação do comprometimento do Potencial hídrico subterrâneo.

Nível de comprometimento		
$50% > (Di/Po)$	$50\% \leq (Di/Po) < 75\%$	$(Di/Po) \geq 75\%$
Baixo	Médio	Crítico

#### 4.10 Comparação com os dados do Plano de bacia Taquari-Antas

Conforme já apresentado anteriormente no item 3.5.6, a STE (2011) estimou no plano de bacia a reserva renovável como sendo 8% da precipitação total anual. Logo, o valor de recarga prevista no plano, foi aplicado nas escalas analisadas para a estimativa do potencial hídrico subterrâneo e comprometimento do mesmo frente aos diferentes cenários (15, 25, 50, 75 e 100%). Posteriormente, os dados de potencial e comprometimento estimados com o dado de recarga do plano, foram comparados aos estimados com o dado de recarga local de cada escala de estudo. Dessa forma, foi possível

analisar a diferença, em termos quantitativos, da adoção de uma  $R_r$  estimada em uma escala menor aplicada em uma escala maior. Além disso, analisar a influência das diferenças de potencial encontradas na adoção de medidas de gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

#### **4.11 Ferramenta de cálculo do potencial hídrico subterrâneo e do comprometimento(CALPOHID)**

A ferramenta CALPOHID foi desenvolvida em planilha eletrônica, no software Excel. Logo, a mesma tem como finalidade auxiliar o gestor na tomada de decisão frente a questões envolvendo os recursos hídricos subterrâneos. Sendo assim, a mesma propicia, de forma rápida e fácil, o cálculo do potencial hídrico subterrâneo, disponibilidade hídrica instalada e o % de comprometimento dos recursos hídricos subterrâneos.

Com a ferramenta CALPOHID é possível:

- Realizar a análise para outras áreas de estudo, além das selecionados no trabalho;
- Simular até 5 cenários de potencial. Neste estudo foram considerados 15,25, 50, 75 e 100% da recarga;
- Simular até 3 cenários de  $D_i$ . Neste estudo foram considerados  $T_b$  médio, 18 e 24h;
- Verificar o volume restante do potencial hídrico subterrâneo frente a cada cenário;
- Realizar as análises mencionadas para um período anual e mensal.

A ferramenta é amplamente aberta, desta forma, a mesma permite que seja realizada alterações nos valores de % utilizados para a estimativa do potencial hídrico subterrâneo e também nos tempos de bombeamento utilizados para o cálculo da  $D_i$ .

Cabe salientar que em relação ao cálculo da  $D_i$ , a única diferença em comparação ao trabalho é que na ferramenta é feita multiplicando a quantidade total de poços pela vazão média dos mesmos e pelo tempo de bombeamento médio. No trabalho, a  $D_i$  foi calculada de forma individual em cada poço, considerando a vazão e o  $T_b$  do mesmo, quando o dado existia e ao final foi somada a  $D_i$  de todos os poços, resultando na  $D_i$  total. Logo, no trabalho só foi utilizado valores médios e medianos quando os dados de vazão e/ou  $T_b$  não eram disponibilizados. Tal medida foi adotada para viabilizar o cálculo da  $D_i$  sem a inserção dos dados individuais de cada poço, o que demandaria maior tempo para análise.No entanto, a ferramenta possibilita a inserção de dados de  $D_i$  calculados conforme realizado no trabalho em questão. Ao gestor cabe a decisão de aplicar ou não

um % sobre o volume de Di estimado, neste trabalho o % adotado foi o mesmo do plano de bacia, de 50%.

Levando em consideração que a recarga pode ser calculada por diferentes métodos, conforme apresentado no item 3.4.1 e também considerando diferentes escalas, conforme a metodologia proposta nesta pesquisa, a ferramenta CALPOHID não realiza a estimativa da recarga. O dado em questão deve ser estimado utilizando a metodologia e a escala que melhor se adéque a área de estudo ou aos dados disponíveis na mesma e inserido na ferramenta. Além da recarga, para utilizar a ferramenta CALPOHID é necessário os dados citados a seguir:

- Tamanho da área de estudo (Km<sup>2</sup>);
- Precipitação média anual e/ou mensal (mm/ano ou mês);
- % de recarga em relação a precipitação;
- Quantidade de poços existentes na área de estudo;
- Tempo de bombeamento médio (h);
- Vazão média ou mediana (m<sup>3</sup>/h);

Para que o gestor tenha uma visão mais ampla da variação dos cenários de comprometimento, frente as diversas formas de se estimar a recarga, a ferramenta CALPOHID possibilita a inserção de até 5 dados de recarga.

A ferramenta CALPOHID possibilita também a inserção de novos volumes demandados a Di, referentes as solicitações de outorga. Basta inserir a quantidade de novos poços, a vazão média dos mesmos e tempo de bombeamento.

Para facilitar a inserção dos dados e visualização dos resultados a ferramenta foi dividida em 5 módulos, conforme apresentado no quadro 22 abaixo. Vale salientar que somente no módulo 1 é feita a inserção dos dados, sendo que nos demais é realizado a análise dos resultados frente aos diferentes cenários simulados.

Quadro 22: Descrição dos módulos da ferramenta de cálculo.

<b>Módulo</b>	<b>Descrição</b>
Módulo 1	*Identificação da área simulada; *Inserção dos dados necessários; *Estimativas dos volumes de Potencial e Di.
Módulo 2	Resultado dos % e graus de comprometimento referentes aos diversos cenários.
Módulo 3	Volumes restante dos potenciais hídricos subterrâneos.
Módulo 4	Aplicação de um condicional para confecção dos gráficos de volume restante.
Módulo 5	Apresentação dos 5 gráficos de volume restante.

No módulo 4 é aplicado um condicional para que somente os valores de volume restante que foram inferiores a zero fiquem com a cor vermelha nos gráficos do módulo 5. A ferramenta também conta com instruções de uso, as quais orientam o usuário como preencher de forma correta o módulo 1 e a interpretar a legenda de cores do módulo 2 e lista de abreviaturas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos itens a seguir serão apresentados os resultados, oriundos da aplicação da metodologia apresentada anteriormente, os quais permitiram atingir os objetivos do estudo desenvolvido, possibilitando a conclusão do mesmo.

### 5.1 Áreas selecionadas

Conforme os critérios citados no item 4.4 foram selecionadas as unidades de gestão UG e UC, as sub-bacias SARG e SARC e os municípios de David Canabarro e Vila Maria, a seguir comentado.

#### 5.1.1 Unidades de gestão selecionadas

Conforme os dados apresentados na tabela 10, a UBTA possui uma quantidade significativa de poços, contudo não está integralmente inserida em um aquífero fraturado e não possui a maior parte de sua área abastecida exclusivamente por águas subterrâneas. Já Guaporé e Carreiro (UG e UC) atendem a todos os critérios e ainda, abrangem integralmente ou de forma parcial 38%, dos municípios inseridos na bacia.

Tabela 10: Dados das unidades de gestão para o enquadramento aos critérios.

Unidades	Qtd* de poços	A (km <sup>2</sup> )	D** (Poços/km <sup>2</sup> )	Tipo de aquífero	% De área abastecida exclusivamente por água subterrânea
UBTA	2363	5094,02	0,31	Fraturado /Poroso	41,9
UATA	119	5168,46	0,02	Fraturado	27,47
UP	264	3778,71	0,05	Fraturado	70,48
UF	541	2848,99	0,13	Fraturado	40,47
UMTA	1349	4478,96	0,22	Fraturado	44,91
UG	816	2484,91	0,21	Fraturado	70,87
UC	1025	2561,44	0,29	Fraturado	76,66

\*Qtd: Quantidade/ D\*\*: Densidade.

A UP não foi selecionada por não atender ao critério de ter uma quantidade de poços significativa, mesmo que a maior parte de sua área seja abastecida exclusivamente por recursos hídricos subterrâneos, a mesma possui menos de 300 poços cadastrados, possuindo a segunda menor densidade de poços/km<sup>2</sup> das sete unidades. UF e UMTA não foram selecionadas por não possuir a maior parte de suas áreas atendida exclusivamente por águas subterrâneas. Já UATA, além de não possuir uma quantidade significativa de poços, também não possui a maior parte da sua área abastecida exclusivamente por água subterrânea.

### 5.1.2 Sub-bacias selecionadas

A delimitação das áreas das sub-bacias analisadas foram determinadas no plano de bacia, pela STE (2011). Ambas as unidades selecionadas foram divididas em 3 sub-bacias sendo elas: Alto Rio Carreiro (SARC), Médio Rio Carreiro (SMRC), Baixo Rio Carreiro (SBRC), Alto Rio Guaporé (SARG), Médio Rio Guaporé (SMRG) e Baixo Rio Guaporé (SBRG). Na unidade Carreiro (UC), a sub-bacia selecionada foi a SARC, a qual atende a todos os critérios, conforme pode ser observado na tabela 11 e na figura 23. Na unidade de gestão Guaporé (UG) a sub-bacia selecionada foi a SARG, que é a única que possui municípios inseridos integralmente na mesma (Figura 23).

Tabela 11: Quantidade de poços por sub-bacia.

Sub-bacia	Quantidade de poços	Área (km <sup>2</sup> )
SARC	344	1247,64
SMRC	201	603,792
SBRC	193	638,003
SARG	521	1537,94
SMRG	110	559,133
SBRG	99	387,837

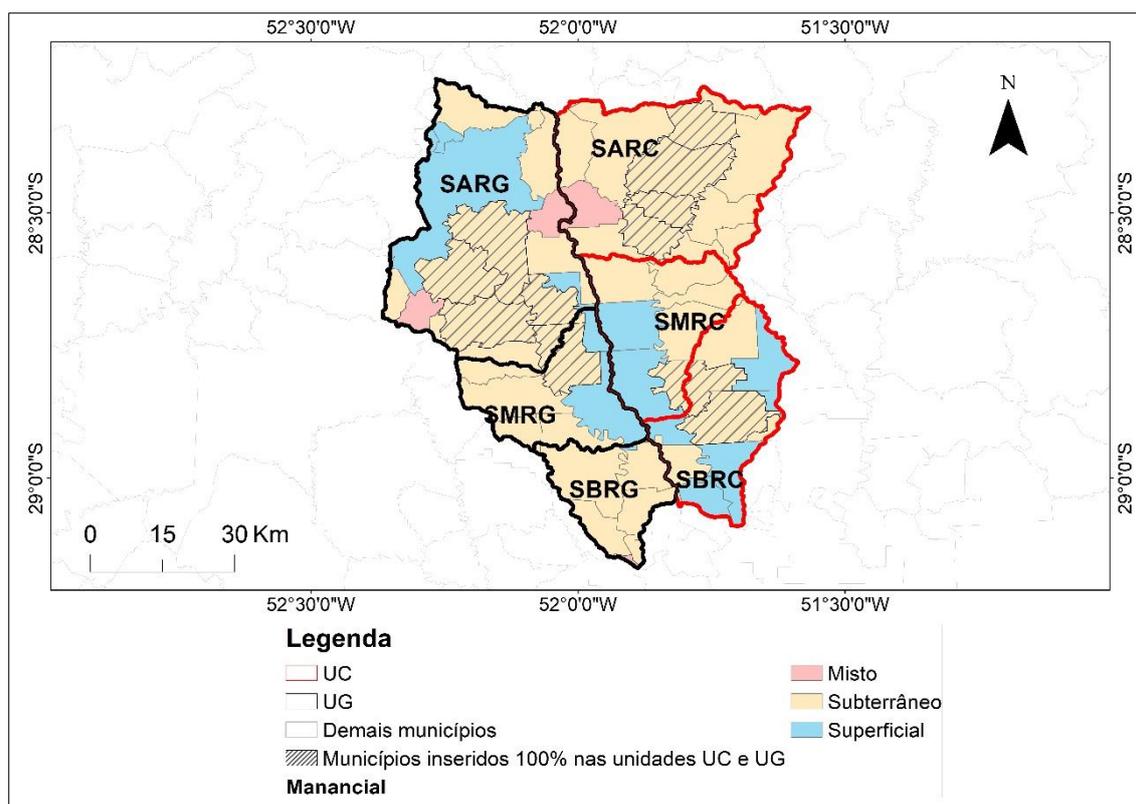


Figura 23: Sub-bacias das unidades de gestão UG e UC.

### 5.1.3 Municípios selecionados

Todos os municípios inseridos integralmente nas sub-bacias selecionadas estão apresentadas na tabela 12 e podem ser visualizados na figura 24. Todos atendem aos critérios estipulados, desta forma os municípios selecionados foram os que apresentaram a maior quantidade de poços, sendo esses o município de David Canabarro na UC e Vila Maria na UG.

Tabela 12: Municípios inseridos integralmente da sub-bacias.

Municípios	Quantidade de poços
Camargo	31
David Canabarro	50
Muliterno	15
Nova Alvorada	34
São Domingos do Sul	20
Vanini	8
Vila Maria	68

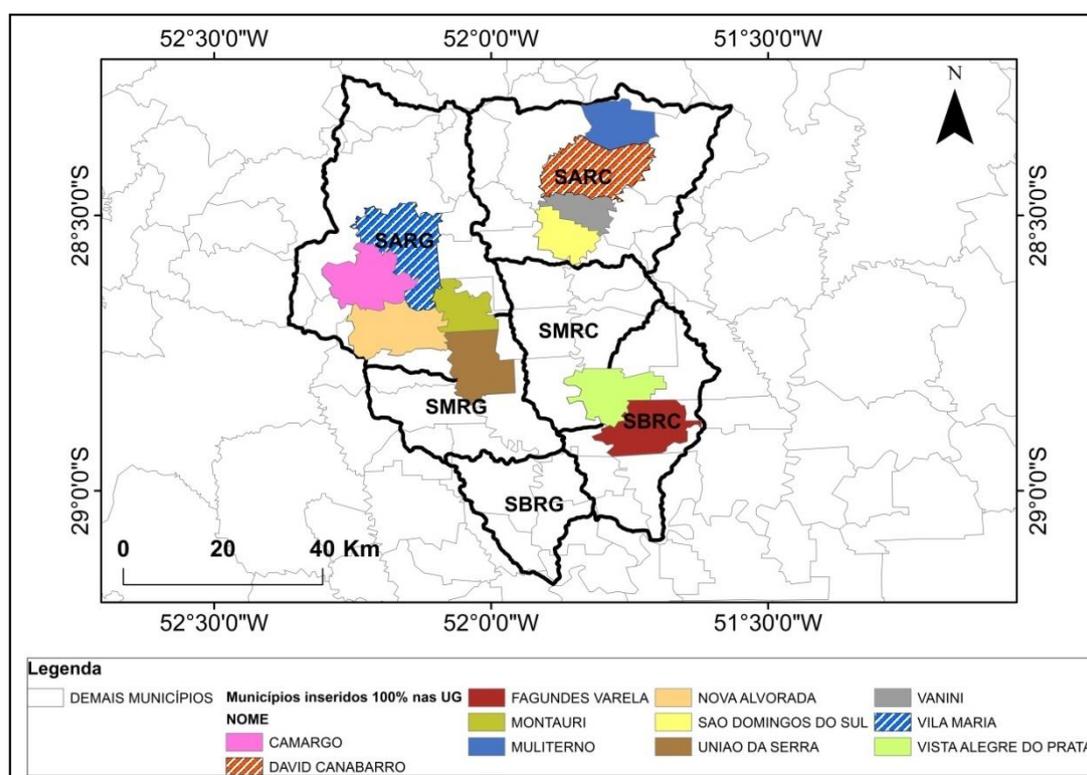


Figura 24: Localização dos municípios inseridos integralmente nas unidades de gestão.

## 5.2 Gestão dos recursos hídricos na Bacia Taquari-Antas

Na bacia Taquari-Antas foram identificados dez municípios que possuem legislação específica para águas subterrâneas, dos 109 em que foram obtidas informações. Sendo esses, os municípios de Bom Retiro do Sul, Paraí, Guaporé, Estrela, Garibaldi, Lajeado e Mato Leão estão inseridos integralmente na bacia e os municípios de Gentil, Capão Bonito do Sul e Caxias do Sul, inseridos de forma parcial com 99,10%; 6,20%; e 52,70% de seus territórios, respectivamente, dentro da bacia (Figura 25).

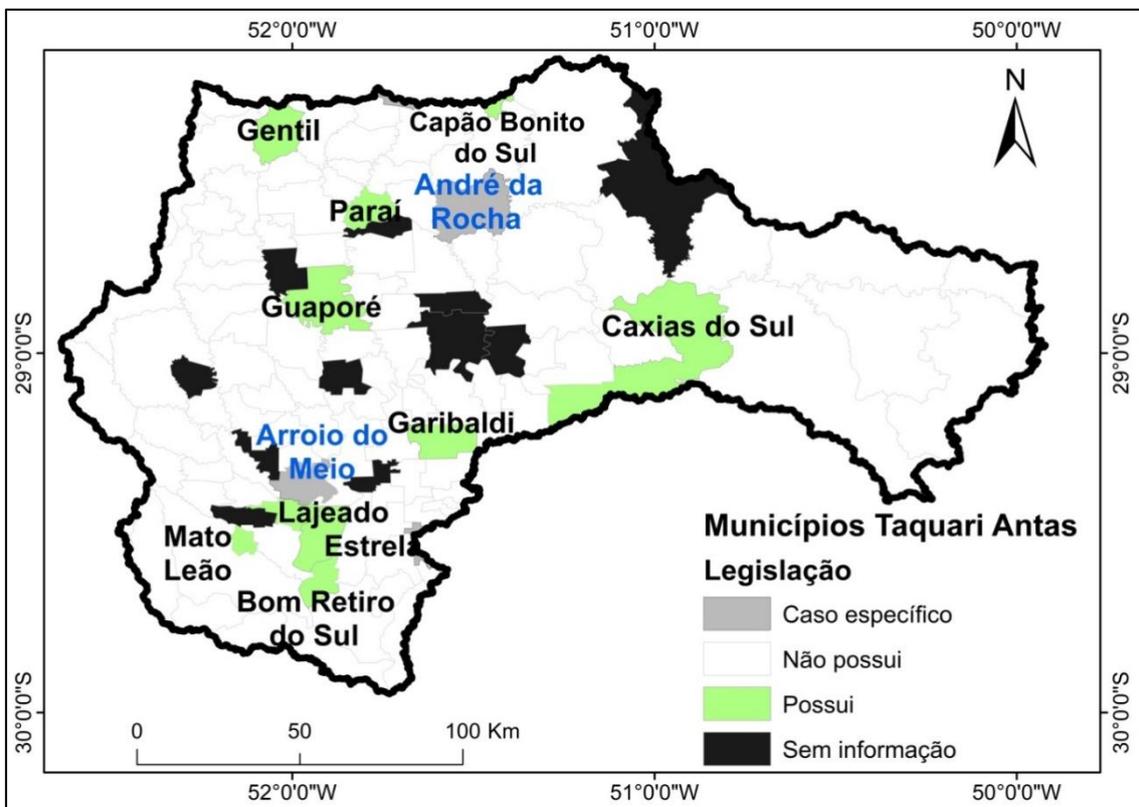


Figura 25: Distribuição espacial dos municípios com legislação específica para águas subterrâneas.

No município de André da Rocha e Arroio do Meio, situados conforme apresentado na figura 25 acima, ocorreram situações específicas.

- em André da Rocha foi informado que há o cadastro de poços tubulares, mas somente dos que pertencem ao município, não abrangendo os poços particulares, sendo que este cadastro não é regido por nenhuma legislação;
- em Arroio do meio, só há o cadastro dos poços, sem legislação específica para o mesmo;

Dos dez municípios que possuem legislação para águas subterrâneas, três são abastecidos exclusivamente por águas superficiais (Lajeado, Caxias do Sul e Guaporé), dois são abastecidos de forma mista (Bom Retiro do Sul e Garibaldi) e os demais

municípios são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas (Mato Leitão, Paraí, Capão Bonito do Sul, Estrela e Gentil). No Quadro 23, podem ser visualizadas as legislações específicas para águas subterrâneas encontradas nos dez municípios e a quantidade dos poços existentes em cada município. Vale salientar, que a quantidade de poços é referente aos cadastrados no SIAGAS em maio de 2020, como o mesmo não abrange o universo total de poços existentes, tal valor pode ser superior.

Quadro 23 : Legislações municipais existentes na Bacia Taquari Antas.

<b>Município</b>	<b>Nº de poços</b>	<b>Legislação</b>	<b>Descrição</b>
Bom Retiro do Sul	40	Lei Nº 1892/1998	Institui o cadastro municipal de poços tubulares profundos e dá outras providências
Caxias do Sul	201	Lei Nº 5885/2002	Cria o cadastro municipal de poços tubulares profundos.
Caxias do Sul		Decreto Nº 11.334/2003	Regulamenta a Lei Municipal nº 5.885, de 2002, que cria o cadastro municipal de poços tubulares profundos, dispõe sobre a proteção e a conservação das águas subterrâneas no município.
Caxias do Sul		Lei Complementar Nº 117/2000	Acresce artigos ao capítulo IV, título VII, da Lei Nº 3.165, 1987 a qual reformula o código de posturas do município.
Lajeado	178	Lei Nº 6684/2001	Cria o cadastro municipal de poços tubulares profundos e dá outras providências.
Lajeado		Lei Nº 7079/2003	Dá nova redação a Lei 6.684/01 e dá outras providências.
Lajeado		Lei Nº 7710/2006	Altera a redação da lei que cria o cadastro municipal de poços tubulares profundos e dá outras providências.
Guaporé	40	Lei Nº 2695/2006	Disciplina a utilização de águas subterrâneas no município e dá outras providências.
Guaporé		Decreto Nº 3782/2006	Regulamenta a aplicação da Lei Nº 2695/2006 e dá outras providências.
Garibaldi	127	LEI Nº 2600/2002	Cria o sistema municipal de informações sobre águas subterrâneas e dá outras providências.
Estrela	134	Lei N.º 3943/2004	Cria o cadastro municipal de poços tubulares e dá outras providências.
Capão Bonito do Sul	40	Lei Nº 041/2001	Cria o cadastro municipal de poços tubulares profundos (artesianos).
Gentil	20	LEI ORDINARIA Nº 180/1995	Institui programa de incentivo a perfuração de mini poços artesianos no município e dá outras providências.

Mato Leitão	22	Lei N°. 2.059/2013	Autoriza o município a disponibilizar serviços para buscar outorga do uso de água dos poços artesianos utilizados para abastecimento da população de Mato Leitão e dá outras providências.
Paraí	60	Lei n° 1933/2001	Autoriza o município a realizar a fiscalização das fontes alternativas de águas (poços artesianos) existentes no território do município de Paraí e dá outras providências.

Dos 10 municípios analisados, três possuem legislações com finalidades diferentes, sendo esses os municípios de Mato Leitão, Paraí (inserido na unidade de gestão UC) e Gentil (inserido na unidade de gestão UC e UG), conforme descrito a seguir:

- no município de Mato Leitão a finalidade da lei é disponibilizar amparo técnico para a obtenção da outorga de poços utilizados para abastecimento público junto ao DRH – Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria Estadual de Meio Ambiente;
- no município de Paraí a finalidade da lei é fiscalizar, semestralmente, a potabilidade das águas providas pelos poços artesianos inseridos no mesmo;
- no município de Gentil é incentivado, com o pagamento de 50% dos custos, a perfuração de poços.

O município de Caxias do Sul é o que possui o conjunto de Leis e Decretos mais completos em relação ao tema de águas subterrâneas dos 10 municípios, sendo o único a exigir a instalação de hidrômetros nos poços e relatório mensal dos volumes explorados dos mesmos. Além disso, no município está prevista a vistoria prévia, por parte dos órgãos ambientais e da vigilância sanitária, à área proposta para perfuração do poço. Há também no município medidas para a prevenção de contaminação do aquífero através dos poços, as quais estão relacionadas a aspectos construtivos dos mesmos e restrições de perfuração próximas a fontes potenciais de poluição. Em relação aos aspectos qualitativos, o município de Caxias do Sul exige dos usuários considerados de médio e grande porte, que utilizam a água para fins de processo produtivo asséptico ou para consumo final, certificado de potabilidade, o qual deverá ser realizado anualmente.

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos na Bacia Taquari-Antas ainda é relativamente recente, conforme pode ser observado nas datas das leis e decretos (Quadro 23). Dos 10 municípios que abordam o tema dos recursos hídricos subterrâneos, os quais representam apenas 9% do total analisado, somente o município de Caxias do Sul, no seu

conjunto de leis e decretos tem o objetivo de registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de recursos hídricos em seus territórios, conforme previsto na CF/88.

Os municípios que não possuem legislação própria para recursos hídricos subterrâneos, seguem somente a legislação estadual.

### 5.2.1 Banco de dados do SIOUT

Até março de 2020 tinham sido cadastrados na bacia Taquari-Antas 3.895 poços, os quais tem como fonte de captação as águas subterrâneas. A distribuição espacial desses poços pode ser observada na figura 26, onde é possível notar uma grande concentração de poços nas unidades de gestão: UG, UC, UMTA, UBTA e ao sul da UF.

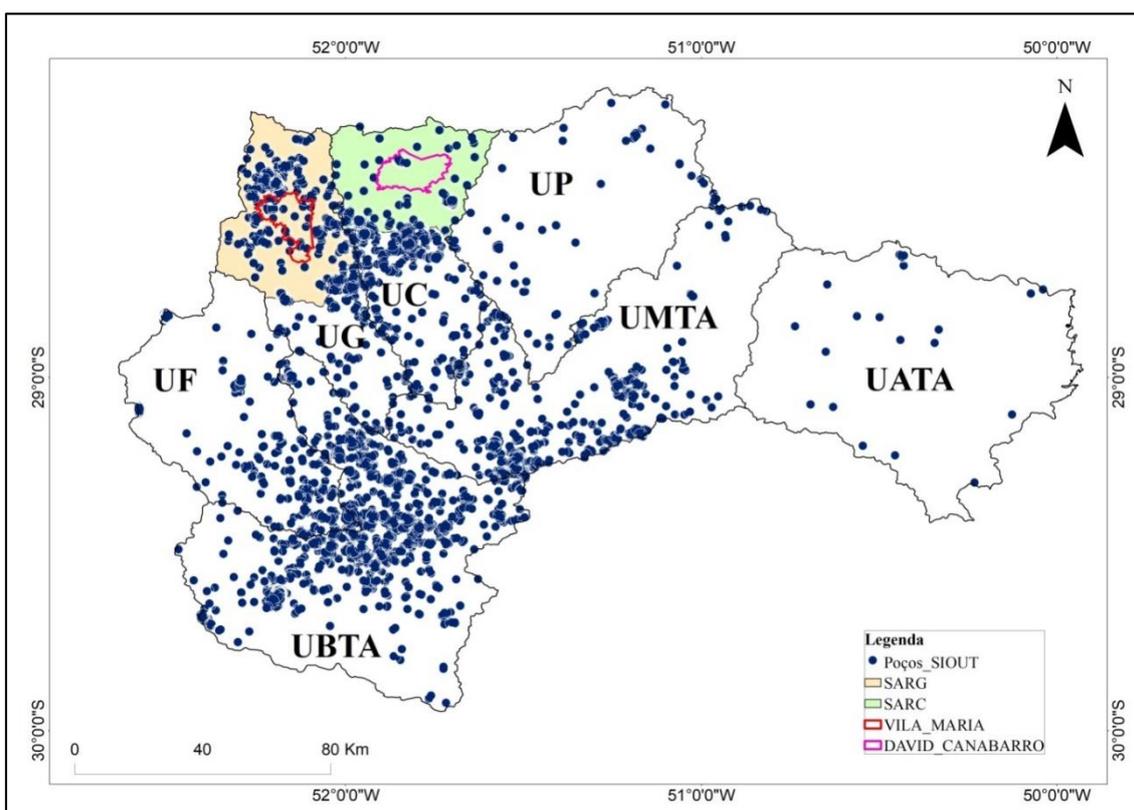


Figura 26: Distribuição espacial dos poços do SIOUT na bacia Taquari-Antas.

Predominantemente, os poços do SIOUT na bacia Taquari-Antas estão classificados como em fase de cadastro, seguido pelas fases de autorização prévia e tamponamento, respectivamente (Tabela 13). Ao realizar o cadastro o usuário de água obtém um comprovante de cadastro, gerado automaticamente pelo SIOUT, o qual não permite ao mesmo a outorga da água ou dispensa da mesma. Apenas reúne as informações do usuário e dos tipos de uso, vazão e localização dos poços cadastrados. Já as autorizações prévias tem validade de um ano e permitem apenas a perfuração do poço e

não autorizam a captação de água, a qual só pode ser feita através do processo de outorga. Logo após a perfuração, os responsáveis técnicos devem cadastrar o poço no SIOUT.

Tabela 13: Classificação dos poços junto ao SIOUT.

<b>Classificação</b>	<b>Quantidade de poços</b>
Aut. Prévia	672
Cadastro	2847
Tamponamento	138

### **5.9 Caracterização hidrogeológica**

No banco de dados elaborado a partir de informações do SIAGAS, SIOUT, CORSAN, PAP/RS, prefeituras e empresas de perfuração foram registrados 7098 poços, já excluindo as duplicatas. Nem todos possuíam informações completas de coordenadas geográficas, vazão, nível estático, tempo de bombeamento, situação e tipo de uso, conforme apresentado na tabela 14. Apenas 20 poços na bacia TA possuem todas as informações (0,3% do total), conforme indicado na tabela 14, e nenhum deles está inserido nas unidades de gestão, sub-bacias e municípios estudados. Os dados de tempo de bombeamento são os mais escassos, sendo que apenas cerca de 5% dos poços na bacia TA possuem este dado. O mesmo é mais frequente na unidade de gestão UC, onde cerca de 9,5% dos poços possuem esta informação. Isso ocorreu porque a maioria dos poços pertencem ao banco de dados do SIAGAS, o qual não possui esse dado. Além dos dados de tempo de bombeamento, apenas os dados de nível estático no município de Vila Maria possuem informações inferiores a 50% do total. Nos demais casos, a quantidade de informações é  $\geq 50\%$  do total, atingindo em muitos casos valores acima dos 80%.

Tabela 14: Quantidade de poços por informação.

Dados	Quantidade de poços com informação						
	Bacia TA	UG	UC	SARG	SARC	VM	DC
C. G	6657 (94%)	780 (96%)	907 (88%)	495 (95%)	297 (86%)	67 (99%)	46 (92%)
Q	5771 (81%)	720 (88%)	956 (93%)	511 (98%)	227 (66%)	51 (75%)	38 (76%)
NE	4394 (62%)	440 (54%)	597 (58%)	277 (53%)	295 (86%)	24 (35%)	34 (68%)
Uso da água	4793 (68%)	642 (79%)	599 (58%)	422 (81%)	212 (62%)	58 (85%)	33 (66%)
Situação	4414 (62%)	483 (59%)	641 (63%)	290 (56%)	231 (67%)	37 (54%)	45 (90%)
T.B	272 (4%)	15 (2%)	72 (7%)	16 (3%)	17 (5%)	0	1 (2%)
T.I	20 (0,3%)	0	0	0	0	0	0
<b>Total de poços cadastrados</b>	<b>7098</b>	<b>816</b>	<b>1025</b>	<b>521</b>	<b>344</b>	<b>68</b>	<b>50</b>

C.G: Coordenadas geográficas/ Q: Vazão/ T.B: Tempo de bombeamento/ T.I: Todas as informações.

Os dados de vazão, localização (coordenadas) e do tipo de uso da água são os mais completos porque estão presentes no SIAGAS e no SIOUT.

### 5.3.1 Distribuição espacial dos poços

A distribuição espacial dos poços dentro da bacia TA como um todo ocorre de forma heterogênea, levando em consideração que, principalmente na região nordeste, há um número expressivamente reduzido de poços, conforme apresentado na figura 27. A distribuição espacial heterogênea também ocorre nas demais unidades de gestão, com exceção das UG e UC, que possuem uma distribuição relativamente uniforme ao longo de suas áreas.

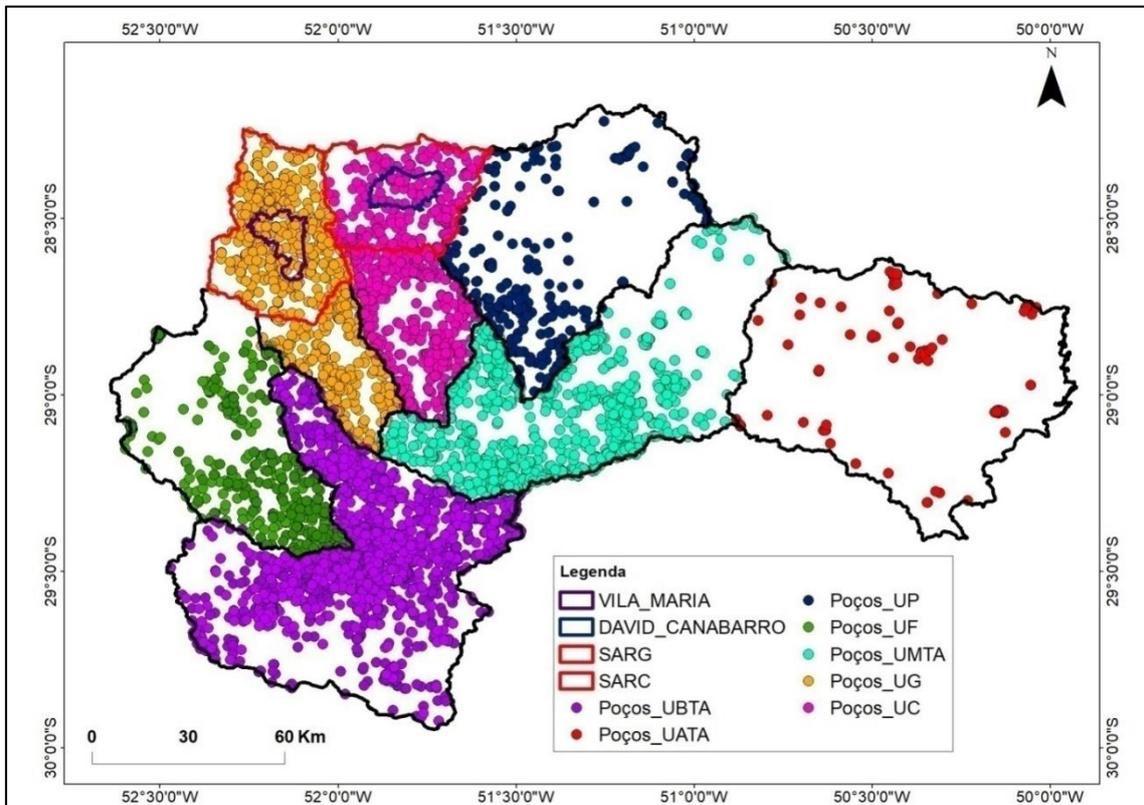


Figura 27: Distribuição espacial dos poços.

### 5.3.2 Situação e tipo de uso das águas subterrâneas

As águas subterrâneas na bacia TA são destinadas principalmente para o abastecimento humano, sendo o mesmo doméstico e urbano (Figura 28). Tal situação reflete a grande dependência e importância dos recursos hídricos subterrâneos na bacia, sendo que poços identificados como sem utilização não atingem 0,5%. Há também um percentual de quase 30% de poços que são destinados para mais de uma finalidade: abastecimento doméstico associado a dessedentação animal e/ou irrigação. Isso demonstra a importância das águas subterrâneas na zona rural, onde a mesma geralmente é a única opção. Os poços destinados exclusivamente para pecuária e irrigação abrangem cerca de 1% do total. Os poços destinados a usos múltiplos atingem cerca de 13% dos poços e o abastecimento industrial cerca de 8%.

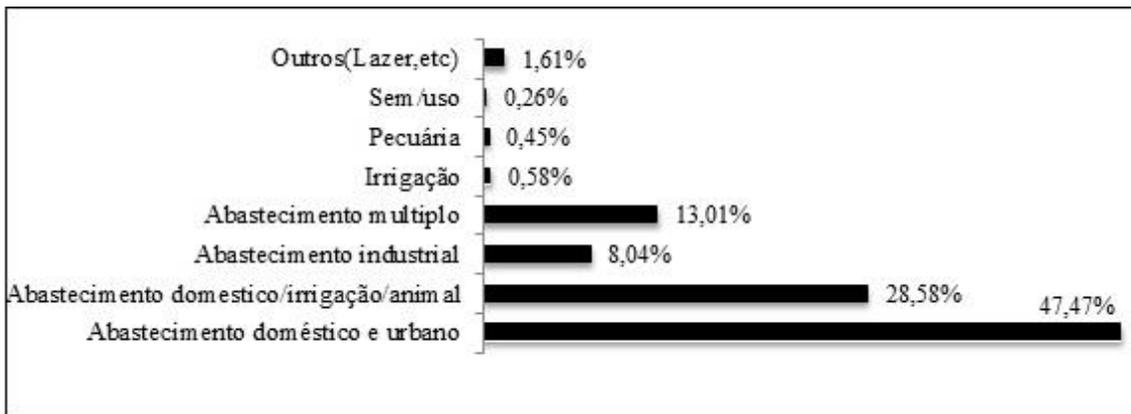


Figura 28: Tipos de usos na bacia TA.

Nas demais escalas as principais finalidades do uso dos recursos hídricos subterrâneos foram bem semelhantes as observadas na bacia como um todo.

Na unidades de gestão UG mais de 60% dos poços são destinados para o abastecimento doméstico, irrigação e dessedentação animal, sendo que quase 30% dos poços é destinado exclusivamente para o abastecimento doméstico e urbano (Figura 29).

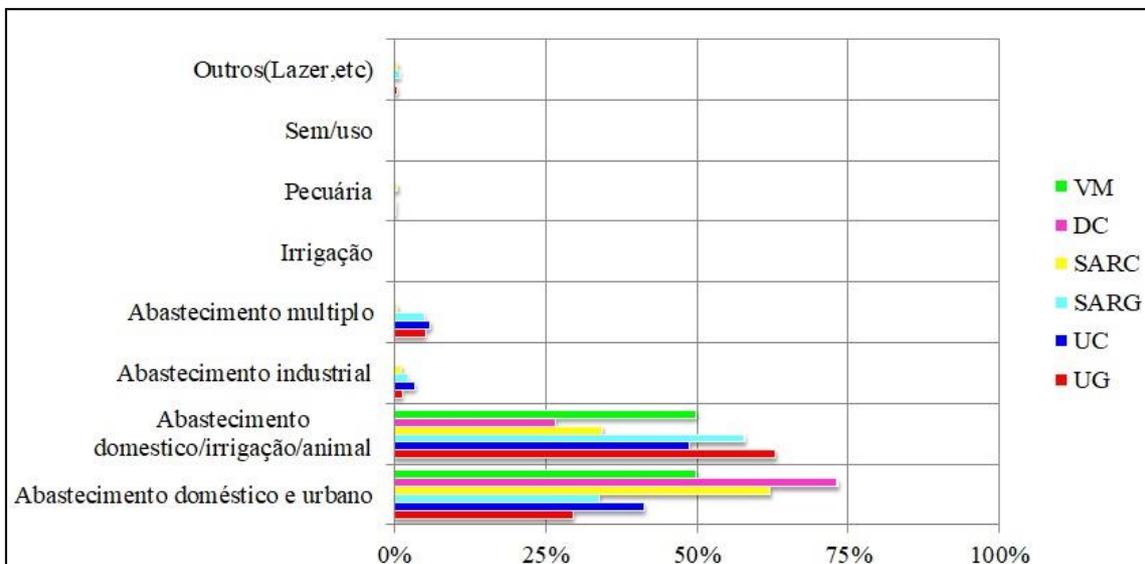


Figura 29: Tipos de usos nas demais escalas.

A unidade UC apresentou as mesmas preponderâncias nas finalidades de uso dos recursos hídricos observadas na unidade UG. Contudo, os percentuais de poços utilizados para abastecimento doméstico, irrigação e dessedentação animal foram mais equilibrados com o percentual de poços utilizados exclusivamente para abastecimento doméstico e urbano.

Na sub-bacia SARC, a maior parte dos poços é destinada ao abastecimento doméstico e urbano (62,2%), seguido pelo abastecimento doméstico, irrigação e dessedentação animal (34,5%). Já na sub-bacia SARG o cenário de tipo de uso se inverte,

a maior parte dos poços é destinada ao abastecimento doméstico, irrigação e dessedentação animal (57,9%), seguido pelo abastecimento doméstico e urbano (33,9%).

No município de Vila Maria (VM), metade dos poços cadastrados é utilizada para abastecimento doméstico, irrigação e dessedentação animal e a outra metade para abastecimento doméstico e urbano. Já no município de David Canabarro (DC), a grande maioria dos poços (73,3%) é utilizada para abastecimento doméstico e urbano, seguida pelo abastecimento doméstico, irrigação e dessedentação animal (26,7%).

### 5.3.3 Vazão

A partir dos dados de 4078 poços foram realizadas as estatísticas apresentadas na tabela 15. Em média, a vazão na bacia é de 12,20 m<sup>3</sup>/h, contudo há uma variação significativa em torno desse valor, conforme pode ser observado através do desvio padrão. Essa variação se justifica ao se observar os valores máximos e mínimos existentes na bacia de 142,4 e 0,02 m<sup>3</sup>/h, respectivamente, no município de Sininbu e de Camargo.

Tabela 15: Caracterização da vazão na Bacia TA.

<b>Bacia TA</b>	
<b>Análise estatística</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>
Média	12,2
Mediana	8
Desvio padrão	12,68
Mínimo	0,02
Máximo	142,4

Devido a grande variação apresentada pelos dados, nos poços em que não há dados de vazão, a análise de disponibilidade hídrica instalada para toda a bacia utilizou o valor mediano de 8m<sup>3</sup>/h.

A média das vazões nas demais escalas estudadas permaneceu relativamente próxima ao valor de 12,20 m<sup>3</sup>/h estimado para a bacia como um todo (Tabela 16). A variação dos valores de vazão em torno da média permaneceu significativa, sendo que, na unidade de gestão UC e na sub-bacia SARC, os valores dos desvios superaram suas respectivas médias calculadas. O menor desvio padrão foi observado na unidade de gestão UG, tendo em vista seus valores máximos e mínimos, com uma diferença bem inferior a observada nas demais escalas.

Tabela 16: Caracterização da vazão nas demais escalas.

Escalas	Análise estatística (m <sup>3</sup> /h)				
	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
UG	8,45	6,27	6,88	10	36,9
SARG	9,56	7,2	8,6	0,02	60
Vila Maria	12,79	11,69	9,26	2,9	36,5
UC	10,51	6,8	11,19	0,5	69,23
SARC	11,9	7,8	12,84	1,2	66
David Canabarro	13,89	9,21	12,85	1,6	56,25

Devido aos valores calculados de desvio padrão, nos poços em que não há dados de vazão nas escalas apresentadas na tabela 16, foi adotado o mesmo procedimento para a bacia como um todo, onde o valor mediano foi utilizado.

### 5.3.4 Nível estático

O nível estático dos poços na bacia TA também apresentou grande variação, com um valor de desvio padrão superior ao valor médio (18,58m). Os valores mínimos e máximos demonstram a grande variação observada, conforme apresentado na tabela 17.

Tabela 17: Caracterização do NE na Bacia TA.

Bacia TA	
Análise estatística	Ne (m)
Média	18,58
Mediana	12,4
Desvio padrão	19,9
Mínimo	0
Máximo	146,25

Os valores médios observados nas demais escalas foram relativamente próximos aos valores observados na bacia TA como um todo, com exceção dos municípios de Vila Maria e David Canabarro, que demonstraram valores médios superior e inferior, respectivamente, a média da bacia (Tabela 18).

Os dados de NE também demonstraram grande variação em torno da média, nas demais escalas estudadas, conforme pode ser observado na tabela 18. Esta variação foi maior na unidade de gestão UC e nas demais escalas que a compõem, onde o desvio padrão foi superior ao valor da média. Contudo, isso se justifica pela maior diferença existente entre os valores mínimo e máximo cadastrados. Na escala de gestão UG e nas demais unidades que a compõem, todos os valores máximos foram iguais, porque o poço que possui o NE de 82m está situado no município de Vila Maria.

Tabela 18: Caracterização do NE nas demais escalas.

Escalas	Análise estatística (m)				
	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
UG	17,05	13,3	16,24	0	82
SARG	19,17	15,49	15,99	0	82
Vila Maria	25,39	17,72	23,26	1,45	82
UC	18,69	11,1	19,66	0	126,81
SARC	15,85	9,01	17,7	0,22	102,37
David Canabarro	13,8	7,7	16,41	0,42	68,61

### 5.3.5 Tempo de bombeamento

Os dados de Tempo de bombeamento demonstraram pouca variação ao longo de toda a bacia, o que pode ser observado através do valor mediano e do desvio padrão, sendo em média, aproximadamente, 13h (Tabela 19).

Tabela 19: Caracterização do Tb na Bacia TA.

Bacia TA	
Análise estatística	Tb (h)
Média	12,87
Mediana	12
Desvio padrão	2,81
Mínimo	8
Máximo	24

Nas demais escalas em que haviam dados, os valores médios calculados ficaram muito próximo ao valor de Tb médio da Bacia TA (Tabela 20), sendo que a mediana calculada foi a mesma em todas as escalas, de 12h, igual a observada na Bacia TA. A variação média dos valores em torno da média também foi baixa nas demais escalas, sendo o menor valor observada na unidade de gestão UG e na sua Sub-bacia.

Tabela 20: Caracterização do Tb nas demais escalas.

Escalas	Análise estatística (h)				
	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
UG	12	12	1,85	10	16
SARG	12,63	12	2,16	10	16
UC	12,04	12	2,38	8	18
SARC	12,24	12	2,63	8	18

Os dados médios de valores de Tb apresentados na tabela 19 e 20 demonstraram pouca variação, desta forma, os mesmos foram utilizados para o cálculo da

disponibilidade hídrica instalada nos poços em que não possuem dados de Tb. Nas escalas de município onde não há dados de Tb foi utilizado o valor médio calculado na Sub-bacia em que o mesmo está inserido. Logo, o tempo de bombeamento dos poços em David Canabarro foi de 12,63h e em Vila Maria de 12,24h.

#### 5.4 Disponibilidade hídrica instalada

A disponibilidade instalada na bacia TA, calculada com base no tempo de bombeamento projetado, foi de 386,07 hm<sup>3</sup>/ano (Tabela 21). Tal valor é semelhante ao estimado pela STE (2011), no plano de bacia, de 219 hm<sup>3</sup>/ano, sendo este já acrescido em 50%, porcentagem utilizada para aproximar a estimativa de valores mais reais, com a finalidade de abranger os poços não cadastrados. A diferença existente é oriunda do número menor de poços utilizados na análise, que foi de 1.638 (poços cadastrados até 2011), e do tempo de bombeamento fixo adotado para todos os poços, de 12 horas. A disponibilidade hídrica instalada na bacia (386,07 hm<sup>3</sup>/ano) é superior ao valor da demanda total de 321,98 hm<sup>3</sup>/ano (10,21 m<sup>3</sup>/s), estimada no plano estadual de recursos hídricos em 2007 (ECLOPLAN, 2007).

Tabela 21: Disponibilidades hídricas instaladas.

Escalas	Di (hm <sup>3</sup> /ano)			Di . 1,5 (hm <sup>3</sup> /ano)		
	Tb médio	Tb 24h	Tb 18h	Tb médio	Tb 18h	Tb 24h
Bacia TA	386,07	531,59	708,78	579,11	797,38	1063,18
UC	43,94	65,37	87,15	65,9	98,05	130,73
SARC	15,46	22,49	29,98	23,18	33,73	44,97
David Canabarro	2,54	4,98	3,74	3,81	5,61	7,47
UG	24,55	36,78	49,04	36,83	55,17	73,56
SARG	19,3	27,3	36,43	28,95	40,94	54,64
Vila Maria	1,66	2,36	3,15	2,49	3,54	4,73

Entre as unidades de gestão UC e UG foi observada uma diferença significativa dos valores de disponibilidade hídrica instalada. Na unidade de gestão UC verificou-se 11,38% da disponibilidade instalada para toda bacia e na UG, 6,36% (Tabela 21). Isso ocorreu pelo número maior de poços existente na UC e pela vazão mediana e tempo de bombeamento médio serem superiores nesta unidade também.

As sub-bacias apresentaram valores próximos de Di, sendo que os poços inseridos na SARC correspondem a 4% da Di total da bacia e na SARG, a 5%. A SARC possui 177

poços a menos que a SARG, contudo essa diferença foi compensada pelo valor de vazão mediano, que é maior nesta sub-bacia. O mesmo ocorre nos municípios Vila Maria e David Canabarro, ambos com disponibilidades instaladas inferiores a 1%, as quais representam 0,43% e 0,66%, respectivamente, da Di total da bacia. Os 18 poços a menos no município de David Canabarro foram compensados pelo valor de vazão mediana superior ao de Vila Maria.

Na tabela 21 acima, também é possível observar os valores de Di calculados para os tempos de bombeamento médio, 18h e 24h acrescidos em 50%, sendo esse o percentual utilizado no plano de bacia, conforme mencionado anteriormente. Estes foram os valores de Di utilizados posteriormente para os cálculos de comprometimento hídrico subterrâneo.

### **5.5 Demandas futuras para abastecimento**

A demanda futura para abastecimento, a partir de manancial hídrico subterrâneo, se demonstrou pouco representativa em toda a bacia. O aumento da demanda em 2032 em relação ao ano de 2018 foi de apenas 2,50 hm<sup>3</sup>/ano, conforme apresentado no apêndice A, levando em consideração o % de população inseridos na bacia, % de abastecimento subterrâneo, quando o manancial de abastecimento é misto e o % de população na zona rural, quando o manancial de abastecimento é superficial, apresentados no apêndice B.

O baixo crescimento da demanda ocorreu porque 45 municípios demonstraram reduções em suas populações para o ano de 2032, somando menos de 15.349 habitantes na bacia TA. Todos esses municípios tiveram população estimada, em 2032, inferior a 30.000 habitantes, possuindo, em média, uma população de 3.970 habitantes, sendo que, em sua maioria, são abastecidos por águas subterrâneas. Contudo, 8 municípios, desses 45, são abastecidos em suas zonas urbanas exclusivamente por águas superficiais e 5 por manancial misto. Nesses 8 municípios estão situadas as maiores populações estimadas entre os 45 municípios que demonstraram redução nas mesmas em 2032, fato esse que reduziu ainda mais a dependência por águas subterrâneas nesses municípios.

O aumento da população foi observado em 57 municípios que, juntos, representaram um aumento de 43.283 habitantes na bacia. Logo, a taxa de crescimento observada foi de 201 habitantes, com desvio padrão de 810 habitantes. O desvio padrão significativo ocorreu devido a grande variação de taxa calculada, sendo o valor máximo de 7522 habitantes (Caxias do Sul) e -203 (Sinimbu). Logo, a taxa de crescimento mediana foi de 9 habitantes, bem abaixo do valor médio.

Considerando que a demanda futura estimada para o abastecimento urbano, que é um dos principais tipos de uso das águas subterrâneas na bacia, possui um valor pouco expressivo para toda a bacia, a mesma não foi estimada para as escalas de Unidade de gestão, Sub-bacia e municípios. Contudo, como a estimativa foi realizada por municípios, foram estimadas as demandas futuras de Vila Maria e David Canabarro, as quais demonstraram uma variação insignificante de 0,001 e 0,002 hm<sup>3</sup>/ano respectivamente. No entanto, vale salientar que, não foram levados em conta na análise cenários econômicos, políticos e sociais, os quais podem alterar os valores projetados.

## 5.6 Estimativa da recarga

Para a estimativa da recarga através do balanço hídrico foi necessário, primeiramente, estimar a precipitação média, evapotranspiração e escoamento superficial nas diferentes escalas de estudo.

### 5.6.1 Precipitação média

As precipitações médias observadas em cada escala estudada não apresentaram grandes diferenças entre si. A precipitação média anual na bacia como um todo varia de 1377,45 a 1732,84 mm, sendo em média de 1576,53, conforme apresentado na tabela 22. Os valores de precipitação estimados na bacia foram semelhantes aos observados em outros trabalhos, como Collischonn (2001), STE (2011), Rossato (2011) e Capalonga (2017).

Tabela 22: Precipitação média anual da bacia e das demais escalas.

<b>P média (mm)</b>	
Bacia TA	1576,53
UG	1637,59
UC	1602,22
SARG	1629,68
SARC	1647,95
Vila Maria	1595,48
David Canabarro	1658,08

Na tabela 22 também estão apresentados os valores de precipitação média anuais nas demais escalas estudadas. A variação da precipitação na bacia pode ser observada na figura 30, onde é possível visualizar que as menores precipitações médias mensais estão situadas na região nordeste e sul da bacia. Na região noroeste, onde estão situadas as unidades de gestão estudadas, ocorrem os valores mais elevados da precipitação média anual.

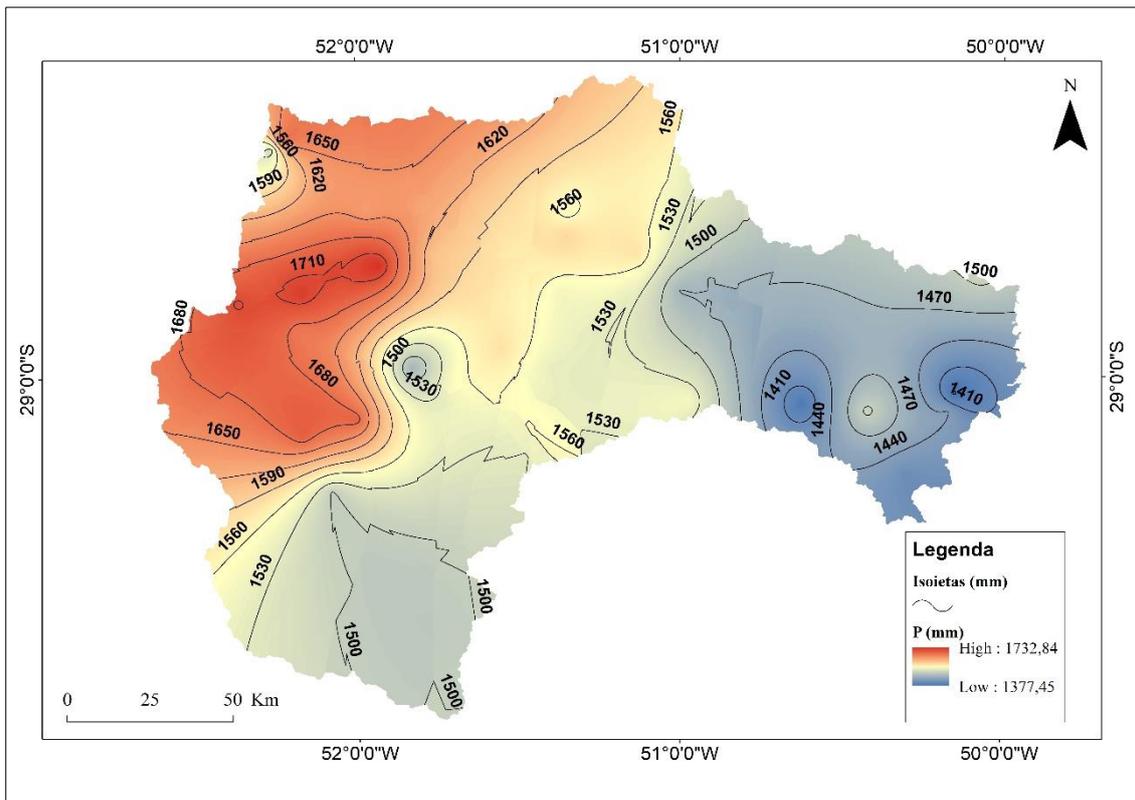


Figura 30: Distribuição espacial da precipitação média anual na bacia.

Observando com maior detalhe a variação da precipitação nas duas unidades de gestão estudadas (Figura 31), nota-se que em ambas a precipitação média anual é menor no sul do que nas demais localidades da unidade, salvo em uma pequena área localizada ao noroeste na sub-bacia UG. A variação da precipitação média anual da unidade de gestão UC é maior, variando de 1470 a 1732 mm. Contudo, a sub-bacia SARC situada nesta unidade possui uma distribuição mais homogênea em relação as precipitações médias anuais estimadas. O contrário ocorre na SARG, situada na unidade de gestão UG que possui valores de precipitação média anual variando de 1512 a 1704 mm. Nesta sub-bacia ocorre uma maior variação dos valores de precipitação média anual, os quais diminuem gradualmente, sendo mais elevados ao sul da mesma e atingindo seus menores valores ao noroeste.

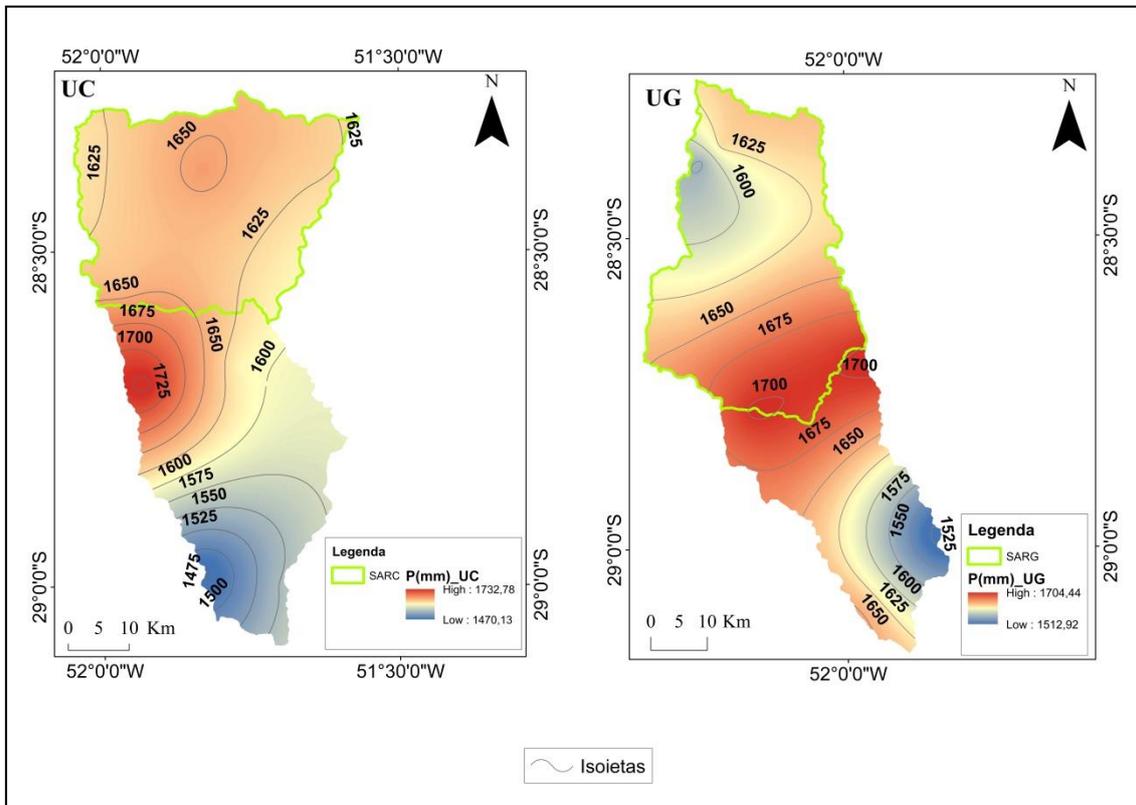


Figura 31: Distribuição espacial da precipitação média anual nas demais escalas.

A variação da precipitação no município não foi apresentada porque para estas escalas foi utilizada apenas uma estação para a estimativa da precipitação média. Contudo é possível observar que o município de Vila Maria, entre todas as escalas estudadas, teve a precipitação média anual mais próxima a média observada na bacia como todo. Já o município de David Canabarro teve a precipitação média anual superior a precipitação média da unidade de gestão UC, onde está inserido.

### 5.6.2 Evapotranspiração

A variação espacial da evapotranspiração média anual na bacia pode ser observada na figura 32, onde é possível visualizar que a mesma varia de 715 a 933 mm. Os valores mais acentuados de evapotranspiração estão situados ao sul e os mais baixos na região nordeste da mesma.

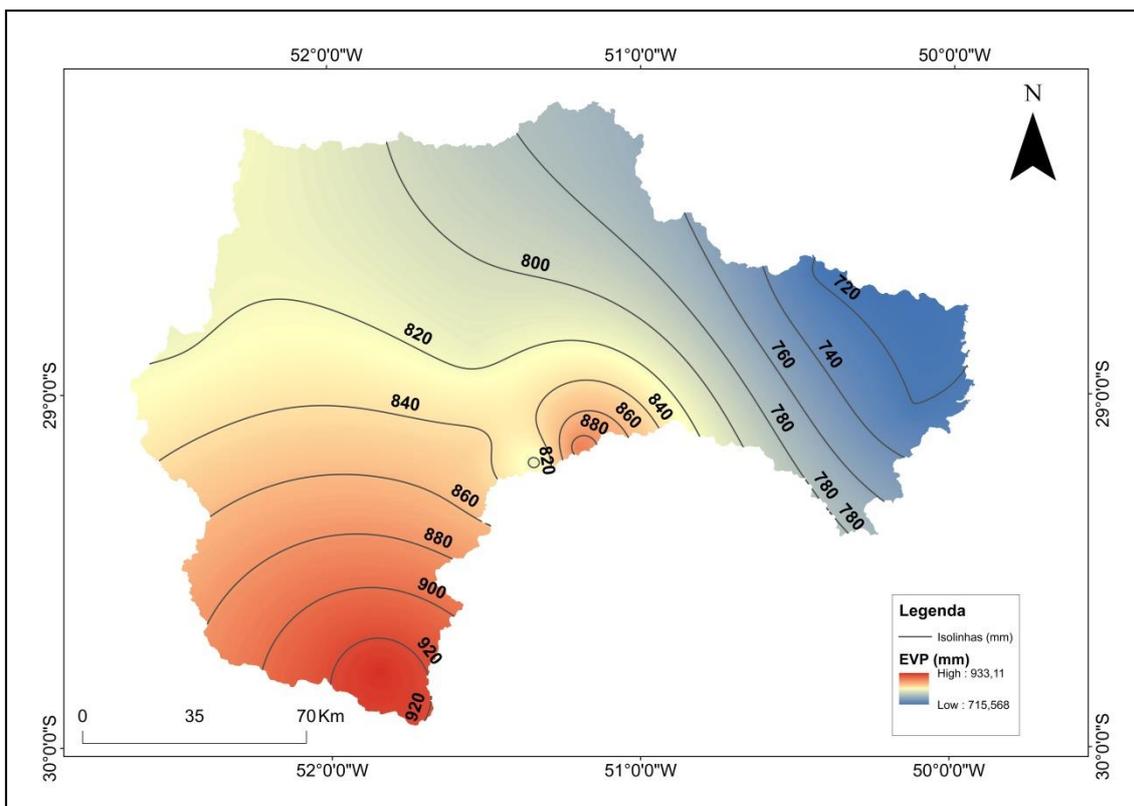


Figura 32: Distribuição espacial da evapotranspiração.

As demais escalas de estudo estão situadas entre as isolinhas de 860 e 780 mm por isso, os valores médios anuais da evapotranspiração, na maioria dessas regiões, foram inferiores ao observado na bacia, de 828,8 mm (Tabela 23). A exceção é a unidade de gestão UG, que possui mais da metade de sua área inserida acima da curva de 820 mm.

Tabela 23: Evapotranspiração média anual da bacia e das demais escalas.

<b>EVP (mm)</b>	
Bacia TA	828,8
UG	832,5
UC	815,0
SARG	817,5
SARC	800,0
Vila Maria	815,0
David Canabarro	802,5

O valor estimado de evapotranspiração média anual da bacia como um todo foi semelhante ao observado por Capalonga (2017), de 760 mm, e por Collischonn e Tucci (2001), os quais estimaram o valor de 872 mm.

### 5.6.3 Escoamento superficial

Para a estimativa do escoamento superficial os solos presentes na bacia foram classificados em argilosos ou arenosos, conforme a textura indicada no mapa de solos do estado do Rio Grande do Sul, apresentada no quadro 24. A maioria dos solos presentes na bacia são argilosos, conforme já indicado por Collischonn e Tucci (2001).

Quadro 24: Reclassificação dos solos.

<b>Solos</b>	<b>Tipo de solo</b>
Cambissolo Húmico Alumínico típico	Solo argiloso
Latossolo Bruno distrófico típico	Solo argiloso
Latossolo Vermelho aluminoférrico húmico	Solo argiloso
Latossolo Vermelho aluminoférrico húmico	Solo argiloso
Argissolo Amarelo alítico típico	solo arenoso
Argissolo Vermelho-amarelo distrófico	Solo argiloso
Argissolo Vermelho alumínico típico	Solo argiloso
Nitossolo Bruno alumínico típico	Solo argiloso
Nitossolo Vermelho alumínico típico	Solo argiloso
Nitossolo Vermelho eutrófico típico	Solo argiloso
Luvisso Crômico pálico saprolítico	Solo argiloso
Planossolo Háptico Eutrófico arênico	solo arenoso
Argissolo Bruno-Acinzentado alítico abrupto	Solo argiloso
Argissolo Bruno-acinzentado alítico abrupto	Solo argiloso
Neossolo Regolítico húmico léptico ou típico	solo arenoso
Neossolo Litólico distro-umbrico	solo arenoso

A espacialização dos tipos de solos na bacia como um todo já foi apresentada no item 3.5.3. A distribuição dos solos nas demais escalas estão presentes na figura 33 abaixo.

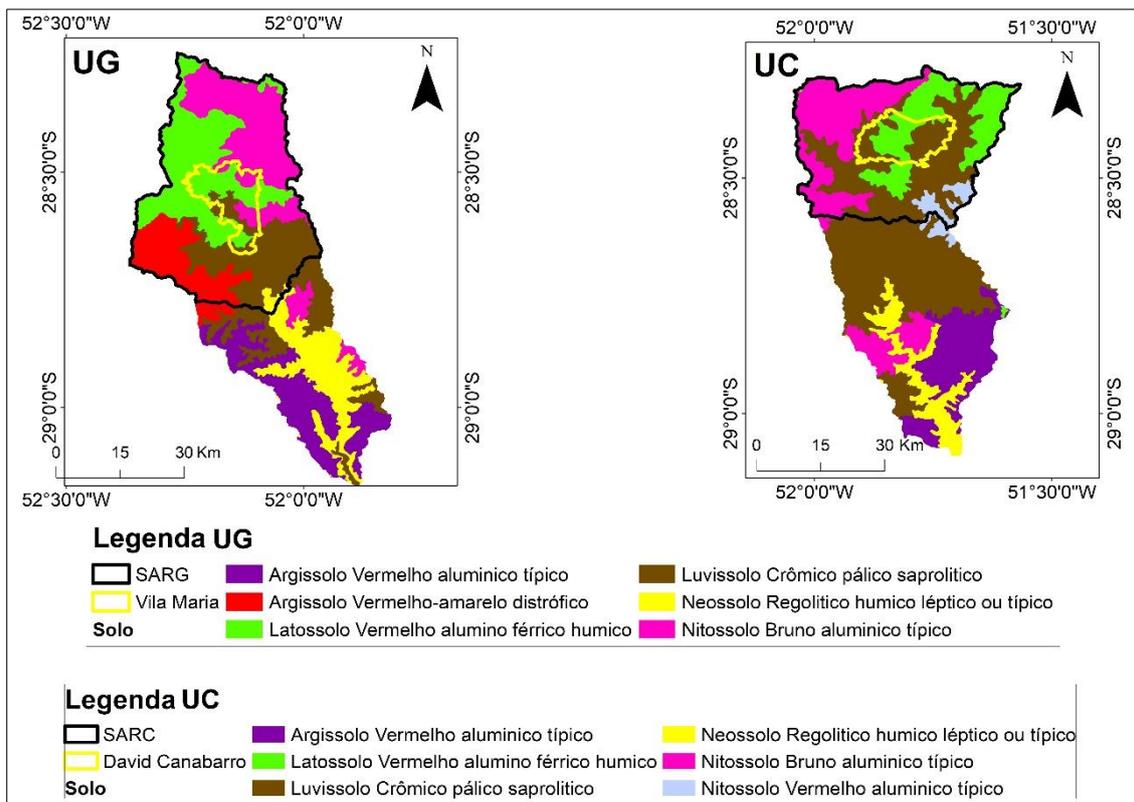


Figura 33: Tipo de solos nas demais escalas. Fonte: Adaptado de IBGE, 1986.

Na bacia Taquari Antas, assim como, nas unidades de gestão UC e UG e na sub-bacia SARG estão presentes solos argilosos e arenosos (Tabela 24), sendo que em todas as escalas mencionadas prevalecem os solos argilosos. Os municípios são abrangidos totalmente por solos argilosos, assim como a Sub-bacia SARC.

Tabela 24: % de área inserida em cada tipo de solo de cada escala.

Escala	Tipo de solo	% A
Bacia TA	Argiloso	71,66%
	Arenoso	28,34%
UC	Argiloso	93,41%
	Arenoso	6,59%
UG	Argiloso	88,32%
	Arenoso	11,68%
SARC	Argiloso	100,00%
SARG	Argiloso	99,05%
	Arenoso	0,95%
VM	Argiloso	100,00%
DC	Argiloso	100,00%

A declividade na bacia varia de 0 a 82%, sendo que, os valores mais acentuados de declividades estão associados aos principais cursos de água da bacia, conforme pode ser observado na figura 34.

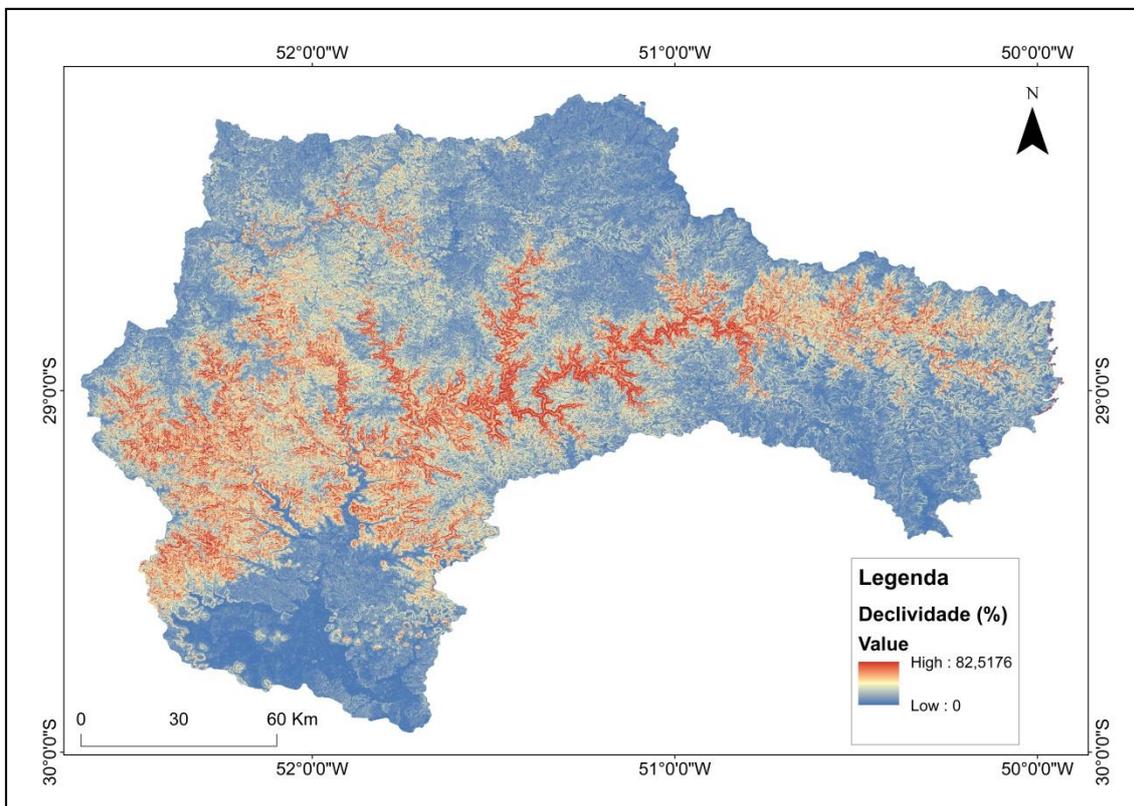


Figura 34: Mapa declividade da bacia.

Na unidade de gestão UC a declividade varia de 0 a 47,76% e na UG, de 0 a 45,73% (Figura 35). Nas sub-bacias a variação da declividade foi muito semelhante, de 0 a 39,8% em ambas, com diferença a partir da segunda casa após a vírgula. Nas escalas de municípios a variação da declividade foi menor, sendo de 0 a 33,36% em David Canabarro e de 0 a 36,52% em Vila Maria.

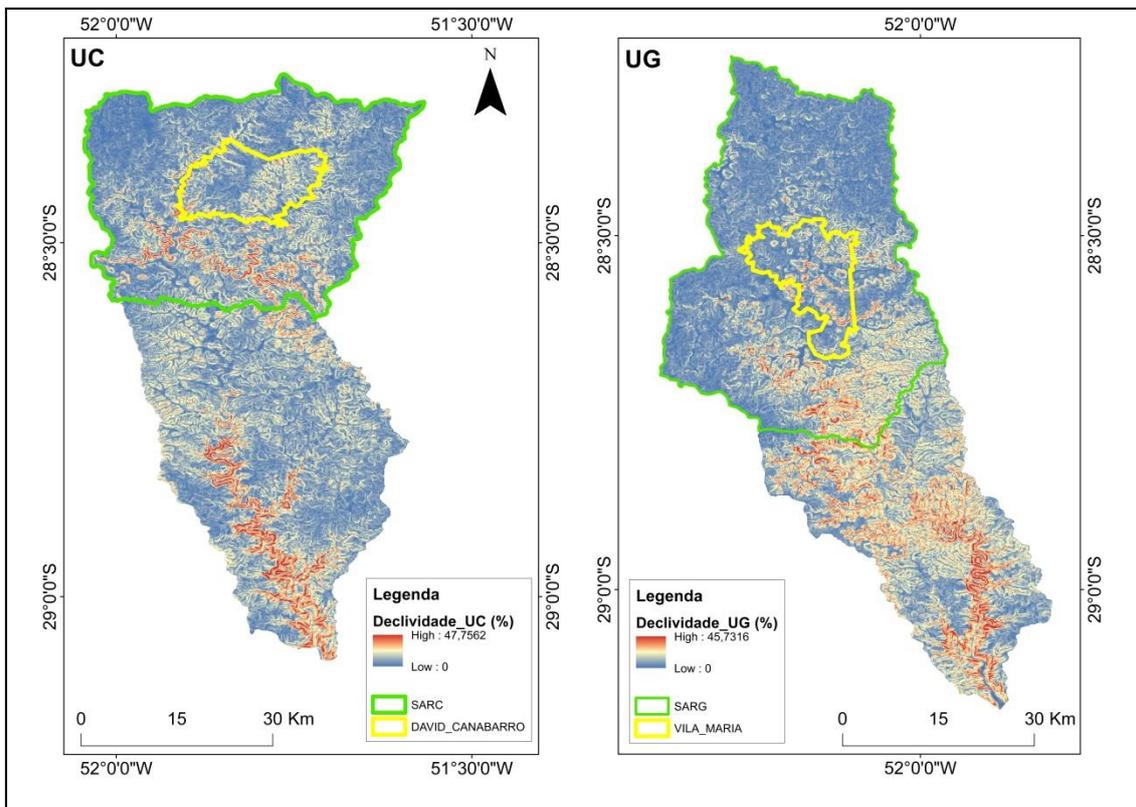


Figura 35: Mapa de declividade nas escalas de unidade de gestão.

Na tabela 25 é apresentada uma relação do tipo de solo inseridos em três intervalos de declividade, quase todas as escalas apresentadas, a maior parte de suas áreas possui declividade maior que 7%, tanto nos solos argilosos e arenosos. O restante da área dessas escalas está inserido no intervalo de declividade maior que 3 e igual 7% e o menor percentual de área está inserido em declividades iguais e/ou inferiores a 3%. Nos solos argilosos, os quais possuem o maior % de área, essas regiões mais planas, de 0 a 3% de declividade, foram relativamente representativas, atingindo no mínimo 17,11% no município de David Canabarro e no máximo 24,21% na sub-bacia SARG. A exceção observada foi na bacia Taquari Antas como um todo, a qual, para os solos argilosos, apresentaram a maior % de área inserida em áreas mais planas, com declividades de 0 a 3%.

Tabela 25: % de área inserida em cada intervalo de declividade na bacia e nas demais escalas.

Escalas	Tipo de solo	Declividades		
		%A 0-3%	%A 3-7%	%A>7%
Bacia TA	Argiloso	42,30%	21,00%	36,71%
	Arenoso	19,58%	11,60%	68,82%
UC	Argiloso	17,02%	31,36%	51,62%
	Arenoso	4,59%	11,87%	83,54%
UG	Argiloso	20,25%	32,91%	46,84%
	Arenoso	3,25%	10,38%	86,38%
SARC	Argiloso	22,38%	34,94%	42,68%
SARG	Argiloso	24,21%	35,27%	40,52%
	Arenoso	2,78%	9,20%	95,06%
VM	Argiloso	19,02%	31,97%	49,01%
DC	Argiloso	17,11%	34,97%	47,92%

O escoamento superficial apresentou resultados coerentes com os dados apresentados na tabela 25. As áreas que apresentaram maior escoamento superficial foram as que possuem suas áreas totalmente abrangidas por solos argilosos, sendo elas o município de Vila Maria (602,01 mm/ano), David Canabarro (585,79 mm/ano) e SARC (581,12 mm/ano) (Tabela 26). A unidade de gestão UG teve o valor de escoamento muito próximo ao da unidade UC, contudo, superior. O que pode justificar a pequena diferença de 0,3 mm/ano é o fato de a precipitação média na UG ser superior a da UC, conforme apresentado anteriormente, sendo respectivamente de 1637,59 e 1602,22 mm/ano (Tabela 26). A bacia Taquari Antas apresentou o menor valor de escoamento superficial, pelo fato de apresentar, em relação as demais escalas estudadas, um % maior de área inserido em solo arenoso (quase 30%), sendo que, no % de área abrangida por solo argiloso (mais de 70%), cerca de 42 % está inserida em região plana, com declividade de no máximo 3%, favorecendo a infiltração.

Tabela 26: Coeficiente de escoamento e escoamento superficial de cada escala.

Escalas	C		ESC (mm/ano)
	Meses úmidos	Meses secos	
Bacia TA	0,299	0,287	477,10
UC	0,331	0,346	559,15
UG	0,323	0,332	562,65
SARC	0,329	0,344	581,12
SARG	0,326	0,340	567,32
Vila Maria	0,335	0,352	602,01
David Canabarro	0,334	0,353	585,79

Os valores de escoamento observados na tabela 26, em sua maioria, se encontram dentro do intervalo predominante de escoamento de 501 a 600 mm/ano, estimado por Capalonga (2017) para bacia Taquari-Antas. Contudo, estão um pouco abaixo do valor observado por Collischonn & Tucci (2001) para a mesma. Isso ocorreu porque o coeficiente de escoamento calculado por esses autores para toda a bacia foi superior aos calculados neste estudo, sendo o mesmo de 0,47.

#### 5.6.4 Recarga

A recarga nas unidades de gestão, sub-bacias e municípios está apresentada na tabela 27, onde é possível observar que ocorreram valores de recarga em quase todas as áreas estudadas, em torno de 15% da precipitação. A exceção observada foi no município de Vila Maria, onde reside o menor valor de recarga, sendo a mesma de 11,19% da precipitação. Isso ocorreu devido ao fato de nesta região ser estimado o maior valor de escoamento superficial e o menor valor de precipitação média anual.

Os maiores valores de recarga foram estimados para o município de David Canabarro e SARC, de respectivamente 16,27 e 16,19% da precipitação. As duas áreas em questão não apresentam os menores valores de escoamento superficial, contudo, possuem os maiores valores de precipitação média anual associados aos menores valores de evapotranspiração.

Tabela 27: Recarga média anual na bacia e nas demais escalas.

<b>Escalas</b>	<b>P (mm/ano)</b>	<b>EVP (mm/ano)</b>	<b>ESC (mm/ano)</b>	<b>R (mm/ano)</b>	<b>%P</b>
Bacia TA	1576,53	828,8	477,1	270,63	17,17%
UG	1637,59	832,5	562,65	242,44	14,80%
UC	1602,22	815	559,15	228,07	14,23%
SARG	1629,68	817,5	567,32	244,86	15,03%
SARC	1647,95	800	581,12	266,83	16,19%
Vila Maria	1595,48	815	602,01	178,47	11,19%
David	1658,08	802,5	585,79	269,79	16,27%
Canabarro					

Na bacia Taquari Antas, conforme apresentado na tabela 27, o % de recarga foi superior ao observado nas demais escalas, de 17,17% da precipitação, devido ao valor de escoamento superficial inferior ao observado nas demais escalas, principalmente devido a maior área abrangida por solos arenosos.

Com exceção da recarga do município de Vila Maria, as demais escalas apresentaram valores próximos ao valor médio de 293 mm/ano estimado por Capalonga (2017) para a bacia Taquari-Antas. Os valores ficaram abaixo dos observados por Bortolin (2018), ao utilizar as 4 variações do método do balanço hídrico na bacia Taquari Antas, o qual estimou para as sub-bacias em seu estudo, um % sobre a recarga de no mínimo 22,8 e 27 %.

Os valores estimados de todas as variáveis (precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e recarga) foram, no geral, condizentes com os valores encontrados por outros autores em estudo na bacia Taquari-Antas. A bacia Taquari-Antas demonstrou ter uma precipitação relativamente homogênea, com precipitações médias anuais mais acentuadas na região noroeste. A evapotranspiração decresce gradualmente, sendo os maiores valores observados ao sul da bacia e os menores na região nordeste. A bacia e as demais escalas possuem solos predominantemente argilosos, com declividades predominantes acima de 7%, os quais propiciam um escoamento superficial nas escalas de unidade de gestão, sub-bacias e municípios de, em média, 33% da precipitação.

Em todas as áreas estudadas os valores de recarga estimados através do método do balanço hídrico foram superiores ao valor previsto pela STE (2011), no plano de bacia, de 8% da precipitação média anual. O valor mais próximo ao estimado pela STE (2011),

foi no município de Vila Maria (11,19%), contudo, através do balanço hídrico, para a bacia como um todo, foi mais que o dobro do previsto no plano (17,17%).

O valor da recarga estimado para as escalas de unidade de gestão, sub-bacias e municípios pode ser considerado como a reserva renovável existente em cada escala, a qual foi utilizada nos itens a seguir para o cálculo do potencial hídrico subterrâneo.

## **5.7 Potencial hídrico subterrâneo**

Nos itens a seguir serão comparados os potenciais hídricos subterrâneos calculados com dados de escalas menores aplicados em escalas maiores, com os valores de potenciais calculados a partir de estudos locais.

Conforme apresentado anteriormente a STE (2011) previu uma recarga de 8% da precipitação média anual (TA\_Plano) e através do balanço hídrico estimou-se 17,17% da mesma (TA\_BH). Todos os estudos locais estimaram valores de recarga inferiores ao TA\_BH e superiores TA\_Plano. Desta forma, os valores de potencial para todos os cenários simulados, foram inferiores aos locais quando comparados aos estimados através do TA\_BH e superiores aos mesmos quando comparados aos resultante dos dados de TA\_Plano.

Com esta etapa, foi possível verificar as diferenças existentes entre os valores de potencial hídrico subterrâneo estimados a partir dos dados de recarga de diferentes escalas.

### **5.7.1 Comparação dos potenciais hídricos subterrâneos locais com os estimados a partir dos dados do Plano de bacia Taquari-Antas e através do balanço hídrico.**

Neste item é apresentado as estimativas dos potenciais a partir de dados locais das unidades de gestão, sub-bacias e dos municípios analisados, em comparação com a estimativa realizada através dos dados de recarga estimado no Plano (TA\_Plano) e com o balanço hídrico (TA\_BH) para a escala de bacia como um todo, (Figura, 36).

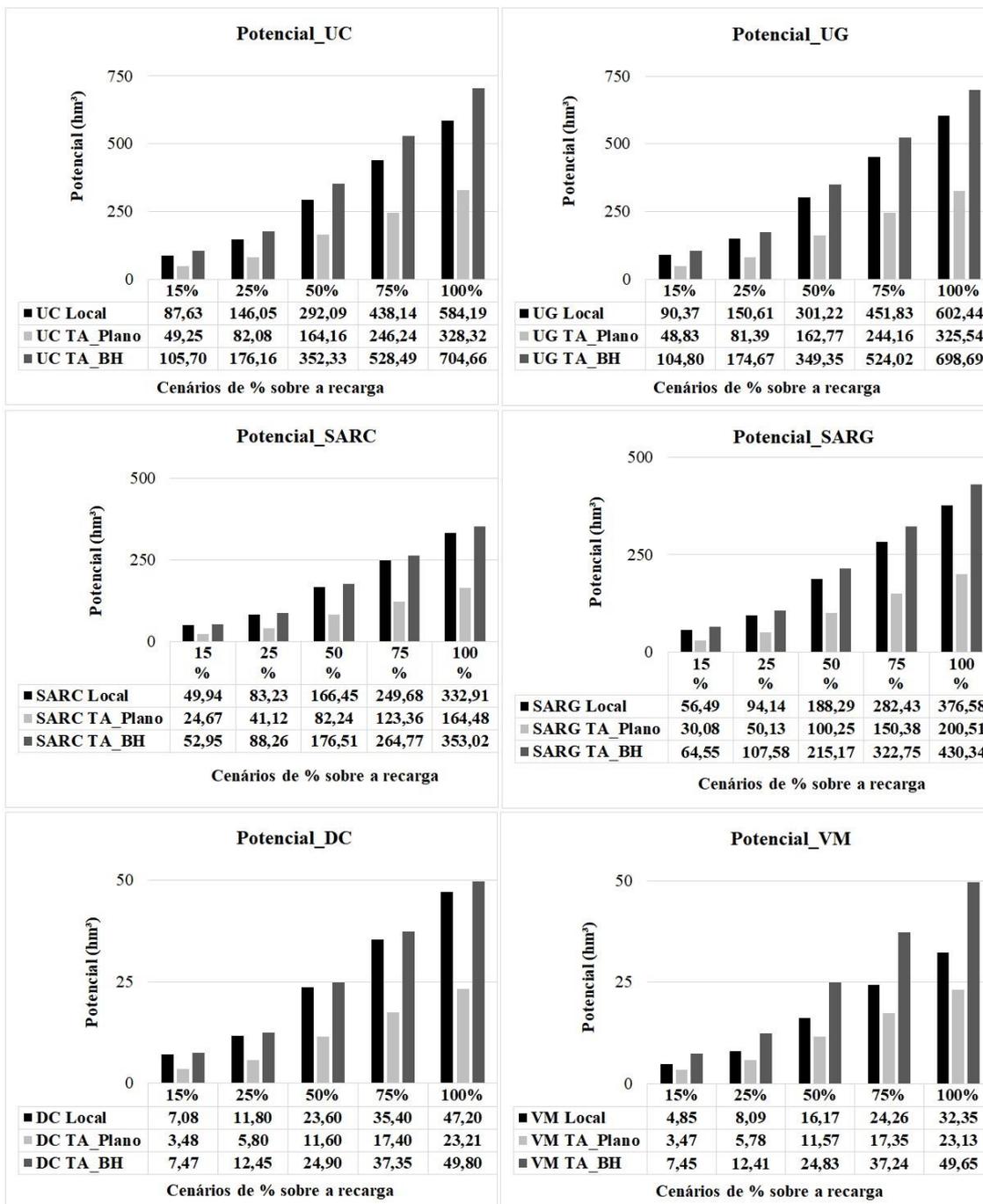


Figura 36: Potencial hídrico subterrâneo estimado nas escalas de unidade de gestão, sub-baciae municípios, através dos dados locais, TA\_Plano e TA\_BH.

Os valores totais de potencial hídrico subterrâneo, em todas as escalas estudadas, pode ser observado no cenário de 100% da recarga, os quais reduzem conforme se aplicam % menores sobre a recarga (Figura 36).

No geral, o potencial hídrico subterrâneo estimado com o dado local nas escalas estudadas, foram mais próximos aos estimados com os dados de TA\_BH e mais distantes dos originados com os dados de TA\_Plano, conforme apresentado na figura 36. Isso

ocorreu devido aos % de recarga das escalas estudadas serem mais próximos do percentual de recarga estimado com o balanço hídrico para a bacia como um todo (TA\_BH), de 17,17% e mais distantes do estimado pelo plano de bacia (TA\_Plano), de 8%. A única exceção foi no município de Vila Maria, em que o potencial estimado com o dado de recarga local, foi mais próximo do potencial estimado com o dado de recarga do plano.

Os valores máximos de potencial estimados localmente em UC e UG foram de respectivamente 584,19 e 602,44 hm<sup>3</sup>. O volume de potencial superior observado na UG em relação a UC, são devidos ao maior valor de precipitação média anual (1637,59 na UG e 1602,22 na UC) e maior percentual de recarga (14,80% da precipitação na UG e 14,23% na UC).

Nas sub-bacias os valores de potencial estimados com os dados locais foram relativamente próximos, de no máximo 332,91 hm<sup>3</sup> em SARC e de 376,58 hm<sup>3</sup> em SARG. O valor de potencial superior em SARG, se justifica pela maior área da mesma de 1537,94 km<sup>2</sup>, frente a 1247,64 km<sup>2</sup> em SARC.

O volume de potencial estimado com o dado de recarga local, em ambos os municípios, não ultrapassou 50 hm<sup>3</sup>, sendo de no máximo 47,20 hm<sup>3</sup> em David Canabarro e 32,35 hm<sup>3</sup> em Vila Maria. Nos municípios analisados encontram-se os extremos dos % de recarga em relação a precipitação, considerando apenas as escalas de unidades de gestão e sub-bacias. O valor superior em David Canabarro, se da pelo maior % de recarga em relação a precipitação de 16,27% frente a 11,19% em Vila Maria.

Na tabela 28, é apresentada as diferenças existentes entre o potencial local e o estimado com os dados de recarga de TA\_Plano e TA\_BH. Além disso, na tabela em questão é apresentado também a relação da diferença existente com o atendimento da Di em seu cenário mais crítico de Tb 24h, já acrescido em 50%.

Tabela 28: Diferença do potencial hídrico subterrâneo estimado localmente e através dos dados de unidade de TA\_Plano e TA\_BH

Esc	Di (Tb 24h) hm <sup>3</sup>	Diferença de potencial (hm <sup>3</sup> ) (Local - TA_Plano/TA_BH)				Relação entre a diferença existente de Po eo atendimento da Di (Tb 24h)			
		15%		100%		15%		100%	
		TA_Plano	TA_BH	TA_Plano	TA_BH	TA_Plano	TA_BH	TA_Plano	TA_BH
UG	73,56	41,54	-14,44	276,9	-96,25	0,56	-0,19	3,76	-1,31
UC	130,73	38,38	-18,07	255,87	-120,47	0,29	-0,14	1,96	-0,92
SARG	54,64	26,41	-8,06	176,07	-53,76	0,48	-0,15	3,22	-0,98
SARC	44,97	25,26	-3,02	168,42	-20,12	0,56	-0,07	3,75	-0,45
VM	4,73	1,38	-2,6	9,21	-17,3	0,29	-0,55	1,95	-3,66
DC	7,47	3,6	-0,4	23,99	-2,61	0,48	-0,05	3,21	-0,35

No geral, os valores de potenciais calculado com o dado de recarga de TA\_Plano, foram os que mais se afastaram dos volumes calculados com o dado de recarga local (Tabela 28). A exceção ocorreu no município de Vila Maria, onde a maior diferença ocorreu frente ao potencial estimado com o dado de recarga de TA\_BH.

A diferença ocasionada frente ao potencial estimado com o dado de TA\_Plano, atenderia, no cenário de 100%, a mais de 3 vezes a Di (Tb 24h) estimada na maioria das áreas analisadas. As exceções ocorreram na UC e no município de Vila Maria, onde a diferença existente em relação a TA\_Plano atenderia a quase 2 vezes a Di (Tb 24h) estimada em ambas as regiões. Já no cenário de 15%, a diferença em relação a TA\_Plano, atenderia, no mínimo, a quase 30% da Di (Tb 24h) na UC e em Vila Maria. Na SARG e no município de David Canabarro, a diferença existente em relação a TA\_Plano atenderia a quase 50% da Di (Tb 24h) estimada em ambas as áreas e atenderia a cerca de 56% da mesma estimada na UG e na SARG.

As diferenças entre os valores de potencial local e os estimados através dos dados de recarga de TA\_BH foram negativas, devido os volumes estimados pelo mesmo serem superiores aos locais. Em termos absolutos, as diferenças existentes, no cenário de 100%, atenderiam a quase toda a Di (Tb 24h) estimadas na UC e SARG. Na SARC e no município de David Canabarro as diferenças atenderiam a menos de 50% a Di (Tb 24h) estimada em ambas as áreas. Na UG e no município de Vila Maria as diferenças foram maiores, atendendo em mais de uma vez a Di (Tb 24h) estimada em UG e a mais de 3 vezes a mesma estimada para o município de Vila Maria. No cenário de 15%, as diferenças existentes atenderiam, na maioria das escalas analisadas, a menos de 20% da

Di (Tb 24h) estimadas para as mesmas. A exceção foi no município de Vila Maria, o qual teria mais de 50% da Di (Tb 24h) atendida com a diferença existente. Contudo, na SARC e no município de David Canabarro a diferença de potencial existente atenderia a menos de 10% da Di (Tb 24h) de ambas as áreas.

Vale salientar que, a menor diferença observada de 14,44 hm<sup>3</sup>/ano na UG em relação a TA\_BH, é superior a demanda da pecuária, que conforme a STE (2011), é a atividade que mais demanda água nesta região, sendo a mesma de 10 hm<sup>3</sup>/ano (0,32 m<sup>3</sup>/s), este valor considera tanto os recursos superficiais como os subterrâneos. STE (2011), também indica como sendo a atividade com maior demanda por água (superficial e subterrânea) na UC a pecuária, sendo a mesma de 13,47 hm<sup>3</sup> (0,43 m<sup>3</sup>/s), ou seja, também inferior a menor diferença calculada entre o potencial estimado localmente nesta escala, em relação a estimada com o dado de recarga de TA\_BH de -18,07 hm<sup>3</sup>.

#### **5.7.2 Comparação dos potenciais hídricos subterrâneos locais com os estimados a partir dos dados das unidades de gestão e sub-bacias.**

Na figura 37 é apresentada a comparação dos potenciais hídricos subterrâneos locais com os estimados a partir dos dados das unidades de gestão e sub-bacias.

Na figura 37 A e B, são apresentados os valores de potencial hídrico subterrâneo estimados localmente em SARC e David Canabarro e a partir dos dados de recarga da UC. Em ambos os casos o potencial estimado localmente foi superior ao estimado através de UC, devido ao fato do % de recarga estimado para UC (14,24%) ser inferior aos estimados localmente para SARC (16,19%) e DC (16,27%). Logo, com o dado local, o potencial hídrico subterrâneo máximo foi de 410,37 hm<sup>3</sup> em SARC e de 48,86 hm<sup>3</sup> em David Canabarro.

Na figura 37 C e D, são apresentados os valores de potencial hídrico subterrâneo estimados localmente em SARG e Vila Maria e a partir dos dados de recarga da UG. Os potenciais locais de SARG foram muito próximos dos estimados com os dados de UG, isso ocorreu devido aos % de recarga serem muito próximos, de 14,8% em UG e 15,03% em SARG. Já os valores de potencial estimados localmente em Vila Maria foram mais distantes dos estimados com os dados de recarga de UG, devido a recarga local ser cerca de 4% inferior a estimada em UG.

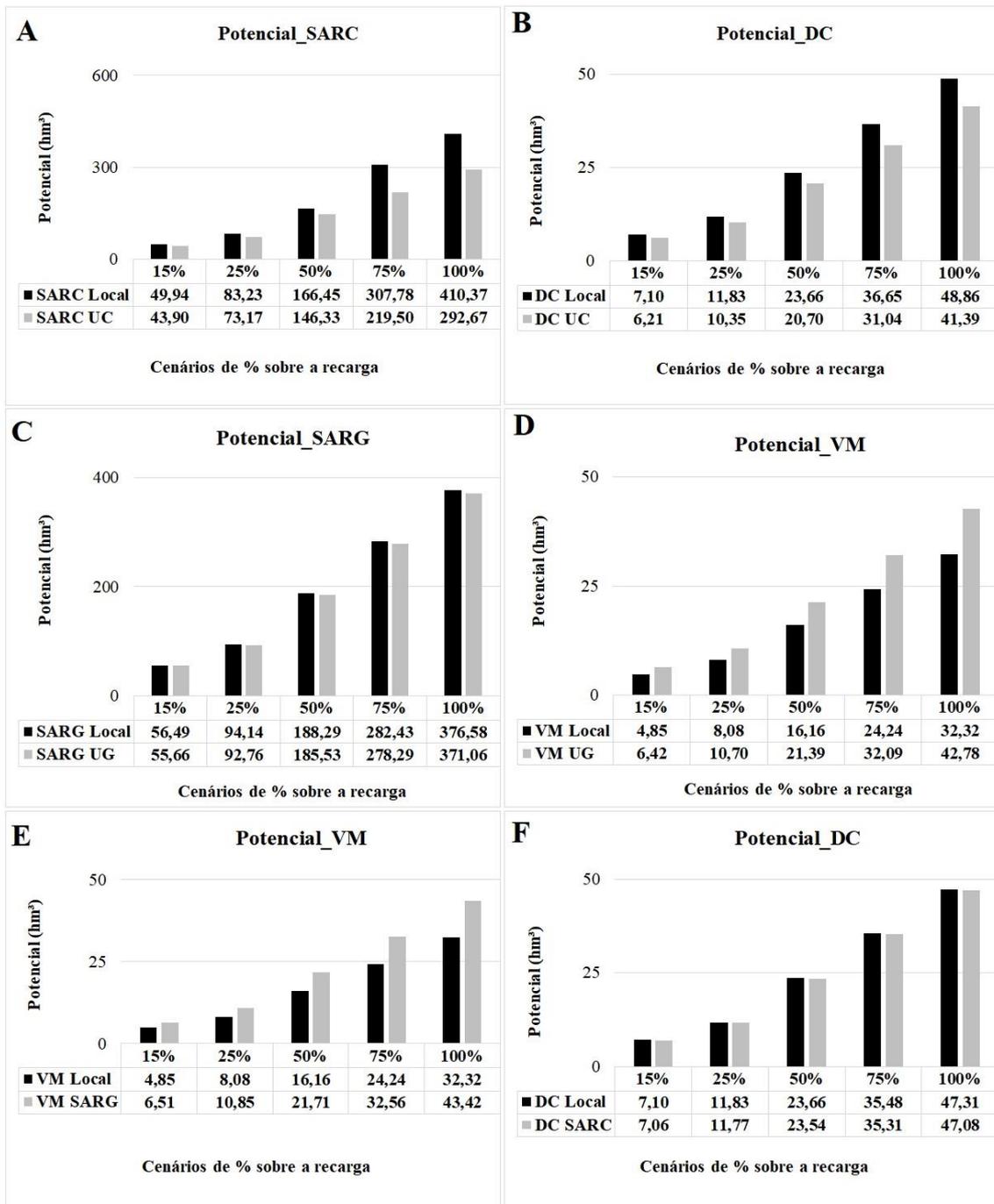


Figura 37: Potencial hídrico subterrâneo estimado nas escalas de sub-baciae municípios, através dos locais e de: (A) UC em SARC; (B) UC em David Canabarro; (C) UG em SARG; (D) UG em Vila Maria; (E) SARG em Vila Maria e (F) SARC em David Canabarro.

Na figura 37 E e D, são apresentadas as estimativas dos potenciais a partir de dados locais do município de Vila Maria e David Canabarro, em comparação com a estimativa realizada através dos dados das sub-bacias SARG e SARC, respectivamente. No município de Vila Maria, devido o % de recarga ser quase 4% inferior ao estimado em SARG, resultou em potenciais neste ultimo superiores ao local neste município. No município de David Canabarro, os valores de potenciais estimados localmente e através

dos dados de recarga de SARG, foram muito próximos, devido a diferença da recarga entre ambos ser inferior a 0,1%.

Na tabela 29, é apresentada as diferenças existentes entre o potencial local e os estimados com os dados de recarga de UG, UC, SARG e SARC. Além disso, na tabela em questão é apresentado também a relação da diferença existente com o atendimento da Di em seu cenário mais crítico, de Tb 24h, já acrescido em 50%.

Tabela 29: Diferença do potencial hídrico subterrâneo estimado localmente e através dos dados de unidade de gestão e sub-bacia

Esc		Diferença em hm <sup>3</sup> (Local - Unidade)							
		15%				100%			
		UG	UC	SARG	SARC	UG	UC	SARG	SARC
SARG		0,83	.....	.....	.....	5,52	.....	.....	.....
SARC		.....	6,04	.....	.....	.....	117,7	.....	.....
VM		-1,57	.....	-1,66	.....	-10,46	.....	-11,09	.....
DC		.....	0,89	.....	0,03	.....	7,47	.....	0,23
Esc	Di (Tb 24h) hm <sup>3</sup>	Relação entre a diferença existente de Po eo atendimento da Di (Tb 24h)							
		15%				100%			
		UG	UC	SARG	SARC	UG	UC	SARG	SARC
SARG	54,64	0,02	.....	.....	.....	0,10	.....	.....	.....
SARC	44,97	.....	0,13	.....	.....	.....	2,62	.....	.....
VM	4,73	-0,33	.....	-0,35	.....	-2,21	.....	-2,34	.....
DC	7,47	.....	0,12	.....	0,004	.....	1,00	.....	0,03

O dado de recarga de UG, originou uma diferença de potencial inferior a 6hm<sup>3</sup> em relação a local em SARG. No cenário de 100%, a diferença em questão atenderia a 10% da Di (Tb 24h) estimada para esta sub-bacia. Já no cenário de 15%, tal diferença atenderia a apenas 2% da mesma.

As diferenças entre os potenciais estimados com os dados de recarga de UC e localmente em SARC foram mais significativas. Logo, no cenário de 100%, a diferença de potencial foi superior a 117hm<sup>3</sup>, a qual atenderia em mais de 2 vezes a Di (Tb 24h) estimada para a sub-bacia. No cenário de 15%, a diferença de potencial é inferior a 10 hm<sup>3</sup>, atendendo a menos de 15% da Di (Tb 24h).

O potencial estimado com o dado de recarga de Vila Maria foi inferior ao estimado com o dado de regarca de UG e SARG, por isso o valor de diferença ficou negativa

(Tabela 29). A diferença entre o valor de potencial estimado com o dado local e o estimado com o dado de UG e SARG foi significativa. Logo, tais diferenças atenderiam em mais de 2 vezes a Di (Tb 24h) estimada para o município no cenário de 100% e em mais de 30% da mesma no cenário de 15%. Vale salientar, que tais diferenças foram levemente superiores em relação aos potenciais estimado com o dado de recarga de SARG, pelo mesmo apresentar uma maior diferença em relação ao percentual de recarga estimado em Vila Maria. As diferenças calculadas só não foram maiores que as calculadas em relação aos dados de TA\_BH, de -17,29 hm<sup>3</sup>.

As diferenças entre os valores de potencial estimado localmente no município de David Canabarro e com o dado de recarga de SARC, foi inferior a 0,25 hm<sup>3</sup>, no cenário de 100%, o qual atenderia a cerca de 3% da Di (Tb 24h), estimada para o município. No cenário de 15%, a diferença existente foi inferior a 0,1 hm<sup>3</sup>, a qual atenderia a menos de 0,5% da Di (Tb 24h). Cabe salientar que, estas diferenças foram as menores observadas, em relação aos estudos locais, utilizando dados de recarga de uma escala menor. Já as diferenças existentes em relação aos valores de potencial estimados com os dados de UC, no município de David Canabarro, foram maiores, sendo de quase 8 hm<sup>3</sup> no cenário de 100% e de quase 1 hm<sup>3</sup> no cenário de 15%. Tais diferenças atenderiam, respectivamente, a 100 e a 12% da Di (Tb 24h) estimada para o município.

### **5.7.3 Considerações sobre os resultados do Potencial Hídrico Subterrâneo**

As maiores diferenças comparando os estudos locais de potencial com a aplicação dos dados de recarga das demais escalas foi em relação a TA\_Plano. A única exceção foi no município de Vila Maria, em que a maior diferença dos potenciais estimados foi calculada aplicando o dado de recarga de TA\_BH.

As menores diferenças em relação as estimativas locais de potencial em SARC, SARG, David Canabarro e Vila Maria foram em relação aos dados de TA\_BH, UG, SARC e TA\_Plano, respectivamente. Os fatores preponderantes para a aproximação maior das estimativas de potencial local das escalas mencionadas são apresentadas a seguir:

SARC:TA\_BH não possui o valor mais próximo da SARC em relação aos parâmetros de precipitação, evapotranspiração e escoamento superficial. Contudo, o baixo valor de escoamento superficial estimado para TA\_BH (477,10 mm/ano) e o valor mais elevado de precipitação média anual em SARC (1647,95 mm/ano), resultaram em % de recarga sobre a precipitação próximos (17,17 % em TA\_BH e 16,19% em SARC).

SARG: UG possui todos os parâmetros analisados (P, ESC, R), próximos ao estimado em SARG. A única exceção é em relação a evapotranspiração, que foi mais próxima do estimado em TA\_BH. Contudo, a diferença é muito pequena, sendo em TA\_BH e UG, de respectivamente, -11,3 e -15 mm/ano. Tal diferença é compensada pela aproximação da precipitação média anual em SARG e UG, de respectivamente, 1629,68 e 1637,59 mm/ano, frente a 1576,53 mm TA\_BH.

David Canabarro: todos os valores dos parâmetros de P, EVP e ESC de SARC foram muito próximos aos estimados em DC. Devido a isso os % de recarga sobre a P foram semelhantes de 16,27 em DC e 16,19 em SARC.

Vila Maria: foi a área analisada que obteve o maior valor de escoamento superficial, reduzindo a recarga e aproximando o % sobre a precipitação, que foi de 11,19%, do % estimado no plano de bacia.

Ao comparar os potenciais estimados com os dados de recarga local em relação aos originados com a aplicação dos dados das demais escalas, foram calculadas tanto diferenças positivas como negativas. É importante salientar que tais diferenças podem resultar em efeitos distintos na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Quando se trata de diferenças positivas, há uma superestimativa dos recursos existentes e quando são negativas uma subestimativa.

O efeito desses cenários distintos de potencial, podem ser melhores definidos quando comparados com os cenários de disponibilidade hídrica instalada e estimados os graus de comprometimento do aquífero. Ao analisar o comprometimento frente a cada cenário de potencial estimado com os dados das diferentes escalas, será possível indicar de forma mais clara os efeitos das diferenças observadas na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. A análise do comprometimento é apresentada no item a seguir.

## **5.8 Comprometimento do potencial hídrico subterrâneo**

O comprometimento do potencial hídrico subterrâneo foi analisado frente aos três cenários de disponibilidade hídrica instalada (Tb médio, Tb 18h e Tb 24h). Vale a pena lembrar que os graus de comprometimento foram classificados em baixo, médio e crítico, conforme os intervalos de % de comprometimento descritos no quadro 21 rerepresentado abaixo.

Quadro 21: Classificação do comprometimento do Potencial hídrico subterrâneo.

<b>Nível de comprometimento</b>		
$50% > (Di/Po)$	$50% \leq (Di/Po) < 75%$	$(Di/Po) \geq 75%$
Baixo	Médio	Crítico

Os dados de recarga locais para os cenários de 100, 75 e 50% da mesma, geraram graus de comprometimento baixo em todas as escalas analisadas, conforme pode ser observado nos apêndices C, D e E. No entanto, para os cenários mais restritivos de potencial de 15 e 25%, as variações de potencial foram mais frequentes, conforme apresentado na tabela 30. Desta forma, os cenários de 15 e 25% serão discutidos de forma mais detalhada.

Tabela 30: % e grau de comprometimento estimados com o dado local nos cenários de 15 e 25% da recarga.

<b>Cenário de 15%</b>			
<b>Esc</b>	<b>Comp_Tb médio</b>	<b>Comp_Tb 18h</b>	<b>Comp_Tb 24h</b>
UG	40,76%	61,05%	81,40%
UC	75,20%	111,89%	149,19%
SARG	51,25%	72,48%	96,73%
SARC	46,42%	67,55%	90,06%
Vila Maria	51,32%	72,96%	97,48%
David Canabarro	53,82%	79,24%	105,52%
<b>Cenário de 25%</b>			
<b>Esc</b>	<b>Comp_Tb médio</b>	<b>Comp_Tb 18h</b>	<b>Comp_Tb 24h</b>
UG	24,45%	36,63%	48,84%
UC	45,12%	67,14%	89,51%
SARG	30,75%	43,49%	58,04%
SARC	27,85%	40,53%	54,03%
Vila Maria	30,79%	43,77%	58,49%
David Canabarro	32,29%	47,55%	63,31%

Ao observar os graus e percentuais de comprometimento estimados com os dados locais na UG, para o cenário de 25% da recarga, a mesma ainda estaria atendendo com certa tranquilidade a todos os cenários de Di (Tabela 30). Contudo, quando utilizado apenas 15% da recarga, dependendo do cenário adotado para a gestão, o atendimento em questão ocorreria em uma situação menos favorável, exigindo maior cautela por parte dos gestores.

A UC, a partir dos resultados apresentados com os dados locais, foi classificada com grau crítico para todos os cenários de Di simulados, quando utilizado 15% da recarga (Tabela 30). Além disso, para a maioria dos cenários mencionados, já estaria se

removendo do aquífero valores superiores aos dos potenciais estimados, com percentual de comprometimento acima dos 100%. O panorama dos recursos hídricos subterrâneos resultantes da utilização de 25% da recarga, mesmo sendo menos agravante que o originado com o cenário de 15% da mesma, demanda atenção. O grau de comprometimento foi baixo apenas no cenário menos crítico de Di, no entanto, com percentual de comprometimento a menos de 5% para o enquadramento em grau médio, o qual ocorreu no cenário de Di(Tb 18h). Vale salientar que, na maioria dos cenários em que o grau de comprometimento é crítico o percentual de comprometimento foi superior a 100%, o que indica a utilização demasiada dos recursos hídricos.

Em ambas as sub-bacias analisadas e no município de Vila Maria, o quadro de comprometimento foi semelhante, conforme apresentado na tabela 30. Logo, quando utilizado 25% da recarga, os dados locais apresentaram um bom panorama dos recursos hídricos subterrâneos, com % de comprometimento acima dos 50% apenas para o cenário mais crítico de Di, onde o grau de comprometimento foi classificado em médio. Logo as medidas de gestão seriam voltadas para a manutenção do quadro atual, não evoluindo o mesmo para graus mais críticos. No entanto, quando utilizado 15% da recarga o quadro se inverte, se tornando mais preocupante. Logo, as três áreas apresentaram grau de comprometimento crítico para o cenário de Di (Tb 24h) e médio para o cenário de Di (Tb 18h), sendo que, neste último cenário, o percentual de comprometimento na SARG e no município Vila Maria ficaram a menos de 3% para o enquadramento em grau crítico (Tabela 30). No cenário menos crítico de Di, os dados locais de recarga na SARG e no município de Vila Maria resultaram em grau de comprometimento médio também. No entanto, na sub-bacia SARC, ocorreu grau de comprometimento baixo, contudo, o percentual de comprometimento ficou a menos de 4% para o enquadramento em grau médio também.

O panorama dos recursos hídricos subterrâneo resultante dos dados locais em David Canabarro, quando utilizado 15% da recarga, é preocupante. Logo, para o panorama menos crítico de Di o % de comprometimento já se encontra acima de 50%, sendo enquadrado em grau médio (Tabela 30). Já para os demais cenários de Di, o grau de comprometimento foi classificado em grau crítico, sendo que, para o cenário de Di(Tb 24h), já estaria ocorrendo retiradas de águas acima do volume de potencial estimado. Já quando utilizado 25% da recarga, o panorama se altera significativamente, apresentando grau de comprometimento médio apenas para o cenário mais crítico de Di. Contudo, o %

de comprometimento no cenário de Di(Tb 18h), está a menos de 3% do enquadramento em grau médio também (Tabela 30).

Frente aos dados de comprometimento local apresentado na tabela 30, foi possível observar que a UC e o município de David Canabarro são as duas regiões que demandam maior atenção, frente aos % de comprometimento apresentados, os quais se demonstraram sempre superiores aos originados nas demais áreas. Isso ocorreu devido os volumes de disponibilidade hídrica instalada serem maiores, frente aos potenciais hídricos estimados para cada área.

Alem do quadro de comprometimento local, uma grande quantidade de dados foi gerado utilizando os dados de recarga das demais escalas, conforme será discutido nos itens a seguir.

### **5.8.1 Comparação do comprometimento hídrico subterrâneo local com os gerados pelos dados de recarga das demais escalas**

Como os dados de recarga de TA\_Plano resultaram nos menores volumes de potencial hídrico subterrâneo, os % de comprometimento gerados com o mesmo foram maiores que os % calculados com os dados locais e com os das demais escalas. O contrário ocorreu com o % de comprometimento gerado com os dados de recarga de TA\_BH, que foram todos inferiores ao local. Isso ocorreu devido ao fato do % de recarga para o mesmo ser maior e resultar em volumes superiores de potencial.

Uma grande quantidade de dados foi gerado, contudo, nem todos os cenários analisados de disponibilidade versus potencial hídrico subterrâneo, utilizando os dados de recarga de diferentes escalas, resultaram em diferenças frequentes nos graus de comprometimento. Tal situação ocorreu para os % sobre a recarga de 100, 75 e 50, sendo assim, os resultados referentes a esses % foram descritos no sub item abaixo e discutidos de forma geral, com suas respectivas apresentadas no Apêndice C, D e E.

### **5.8.2 Comparação do comprometimento hídrico subterrâneo local com os gerados pelos dados de recarga das demais escalas nos cenários de 100, 75 e 50% da recarga**

O cenário de 100 % representa o valor máximo de potencial hídrico subterrâneo, sendo o mesmo igual ao valor estimado de recarga. Desta forma, mesmo com a aplicação de dados de recarga de diferentes escalas para a estimativa local de potencial, os valores resultantes foram superiores aos estimados para os três cenários de Di. Logo, o máximo % utilizado do potencial, para o cenário de 100%, foi de 40%, pela Di (Tb 24h), na unidade

de gestão UC, aplicando os dados de recarga do TA\_Plano. Desta forma, o grau de comprometimento foi baixo para todos os cenários, conforme apresentado no Apêndice C. O maior valor de % de comprometimento estimado em UC para a cenário de 100%, é devido ao maior valor de disponibilidade hídrica instalada, possibilitando graus de comprometimento mais elevados.

Vale salientar que as únicas diferenças de grau de comprometimento para os % de 50 e 75, foram calculados frente ao potencial hídrico estimado com o dado de recarga de TA\_Plano. Além disso, as diferenças foram encontradas principalmente frente ao cenário de Di (Tb 24h), ocorrendo de forma pontual, no cenário de Di (Tb 18h), na unidade UC.

No cenário de 75%, em quase toda a sua totalidade, resultou em um grau de comprometimento baixo (Apêndice B). A única exceção foi na unidade de gestão UC, a qual resultou em um grau de comprometimento médio, frente a Di (Tb 24h), estimado com os dados de TA\_Plano, conforme apresentado na tabela 31.

Tabela 31: % e grau de comprometimento na UC, utilizando 75% da recarga, no cenário de Di (Tb 24h).

Esc	%	Comp_Tb 24h		
		Local	TA_Plano	TA_BH
UC	75%	30%	53%	25%

Para o cenário de 50% da recarga, o grau de comprometimento para quase todos os cenários foi baixa. As diferenças de grau de comprometimento estimados, em relação ao estudo local, foi para a Di (Tb 24h), utilizando os dados de TA\_Plano (Tabela 32). Em ambas as sub-bacias analisadas e no município de David Canabarro o grau de comprometimento foi médio, contudo, para UC, o grau de comprometimento foi crítico (Tabela 32).

Tabela 32: % e grau de comprometimento em UC, SARG, SARC e DC, utilizando 50% da recarga, no cenário de Di (Tb 24h).

Esc	%	Comp_Tb 24h		
		Local	TA_Plano	TA_BH
UC	50%	45%	80%	37%
SARG	50%	29%	55%	25%
SARC	50%	27%	55%	25%
DC	50%	32%	64%	30%

Ainda considerando 50% da recarga, no cenário de Di (Tb 18h), o grau de comprometimento em UC, para Tb de 18h, foi médio, diferente do estimado com os dados de recarga Local e TA\_BH, conforme apresentado na tabela 33.

Tabela 33: % e grau de comprometimento em UC, utilizando 50% da recarga, no cenário de Di (Tb 18h).

Esc	%	Comp_Tb 18h		
		Local	TA_Plano	TA_BH
UC	50%	34%	60%	28%

A situação mencionada, assim como no quadro de comprometimento local, se agrava para os cenários de 15 e 25% , os quais resultam em menores valores de potencial hídrico subterrâneo, elevando os percentuais de comprometimento. Além disso, ambos os cenários apresentam as diferenças mais frequentes e significativas no grau de comprometimento, frente aos dados locais. Desta forma, os resultados desses % foram descritos com maior detalhamento nos próximos sub itens.

### 5.8.3 Comprometimento superiores ao local estimado para os cenários de 15 e 25%.

Os dados de recarga de TA\_Plano resultaram em graus de comprometimento, no geral, sempre superiores aos estimados localmente, devido ao seu percentual de recarga ser inferior ao de todas as escalas analisadas. Quando considerado 15% da recarga, a única exceção ocorreu no município de Vila Maria, no cenário menos crítico de Di, em que com ambos os dados de recarga, local e do TA\_Plano, o grau de comprometimento foi médio (Tabela 34). No entanto, vale salientar que para a situação descrita, o percentual de comprometimento estimado com o dado de TA\_Plano ficou a menos de 4% para o enquadramento em grau crítico. Outra situação observada em relação ao grau de comprometimento estimado com o dado de TA\_Plano, é que o mesmo foi igual ao local sempre que o mesmo foi crítico, no entanto, com percentual de comprometimento significativamente superior (Tabela 34).

Tabela 34: Percentuais de comprometimento superiores aos locais, no cenário de 15% da recarga.

<b>UG</b>			
<b>Esc</b>	<b>Comp_Tb médio</b>	<b>Comp_Tb 18h</b>	<b>Comp_Tb 24h</b>
Local	40,76%	61,05%	81,40%
TA_Plano	75,42% (-34,66)	112,98% (-51,93)	150,64% (-69,24)
<b>UC</b>			
<b>Esc</b>	<b>Comp_Tb médio</b>	<b>Comp_Tb 18h</b>	<b>Comp_Tb 24h</b>
Local	75,20%	111,89%	149,19%
TA_Plano	133,81% (-58,61)	199,09% (-87,20)	265,45% (-116,26)
<b>SARG</b>			
<b>Esc</b>	<b>Comp_Tb médio</b>	<b>Comp_Tb 18h</b>	<b>Comp_Tb 24h</b>
Local	51,25%	72,48%	96,73%
UG	52,01% (-0,01)	73,56% (-1,08)	98,17% (-1,44)
TA_Plano	96,26% (-45,01)	136,12% (-63,64)	181,67% (-84,94)
<b>SARC</b>			
<b>Esc</b>	<b>Comp_Tb médio</b>	<b>Comp_Tb 18h</b>	<b>Comp_Tb 24h</b>
Local	46,42%	67,55%	90,06%
UC	52,80% (-6,38)	76,83% (-9,28)	102,44% (-12,38)
TA_Plano	93,95% (-47,53)	136,71% (-69,16)	182,27% (-92,21)
<b>VILA MARIA</b>			
<b>Esc</b>	<b>Comp_Tb médio</b>	<b>Comp_Tb 18h</b>	<b>Comp_Tb 24h</b>
Local	51,32%	72,96%	97,48%
TA_Plano	71,75% (-20,43)	102,01% (-29,05)	136,30% (-38,82)
<b>DAVID CANABARRO</b>			
<b>Esc</b>	<b>Comp_Tb médio</b>	<b>Comp_Tb 18h</b>	<b>Comp_Tb 24h</b>
Local	53,82%	79,24%	105,52%
SARC	53,95% (-0,13)	79,44% (-0,20)	105,77% (-0,25)
UC	61,37% (-7,55)	90,36% (-11,12)	120,32% (-14,80)
TA_Plano	109,46% (-55,64)	161,17% (-81,93)	214,61% (-109,09)

\* Entre parênteses é a diferença em relação ao dado local

O dado de recarga da UC, também resultaram em percentuais de comprometimento superiores aos estimados localmente nas escalas que a compõem (SARC e David Canabarro). Mesmo frente a isso, o dado de recarga da UC só resultou em grau de comprometimento diferente do local na SARC, para os dois cenários menos críticos de Di (Tb médio e 18h), conforme apresentado na tabela 34.

O dado de recarga de UG e SARC, também resultaram em percentuais de comprometimento levemente superiores aos estimados localmente na SARG e no município de David Canabarro, respectivamente. No entanto, tal situação não resultou em diferença entre os graus de comprometimento estimado com o dado de recarga local.

As diferenças entre os % de comprometimento estimado com os dados locais e com os dados do TA\_Plano foram negativas, devido o percentual de comprometimento estimado ser maior com os dados mesmo. Na maioria das escalas analisadas, as diferenças mínimas entre os percentuais de comprometimento, as quais ocorreram no cenário de Di (Tb médio), foram superiores a - 45%. Sendo que, no cenário de Di (Tb 24h), no geral, as diferenças foram superiores a -84%, atingindo valores superiores a - 100% na UC e no município de David Canabarro. As exceções ocorreram no município de Vila Maria e na UG, em que as diferenças mínimas foram de respectivamente cerca de -20 e -35% e as máximas de cerca de -39 e -69% (Tabela 39).

As diferenças dos percentuais de comprometimento locais de SARC e David Canabarro em relação aos estimados com os dados de UC, foram consideravelmente inferiores as calculados em relação ao dado de TA\_Plano, atingindo em ambas as áreas diferenças máximas inferiores a -15%, no cenário mais crítico de Di (Tabela 34).

Já a diferença existente entre o percentual de comprometimento local e o estimado com o dado de recarga de SARC foi praticamente ínfima (Tabela 34), atingindo valores máximos, no cenário de Di (Tb 24h), inferiores a -0,3%. Vale salientar que o dado de recarga de SARC ao ser aplicado para estimar o percentual de comprometimento no município de David Canabarro, foi a que apresentou a menor diferença de % de comprometimento em relação ao dado local. A segunda menor diferença foi estimada entre o percentual de comprometimento estimado com o dado de UG e o estimado localmente em SARG, o qual atingiu o valor máximo de -1,44%.

Considerando 25% da recarga, as situações observadas comparando o comprometimento do potencial originado com os dados de TA\_Plano e os dados locais foram as mesmas do cenário de 15% (Tabela 35). No entanto, com % de comprometimento menores, frente ao maior volume de potencial disponível para este cenário.

Tabela 35: Percentuais de comprometimento superiores aos locais, no cenário de 25% da recarga.

UG			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	24,45%	36,63%	48,84%
TA_Plano	45,25% (-20,80)	67,79% (-31,16)	90,38% (-41,54)
UC			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	45,12%	67,14%	89,51%
TA_Plano	80,29% (-35,17)	119,46% (-52,32)	159,27% (-69,76)
SARG			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	30,75%	43,49%	58,04%
UG	31,21% (-0,46)	44,13% (-0,64)	58,9% (-0,86)
TA_Plano	57,75% (-27,00)	81,67% (-38,18)	109,00% (-50,96)
SARC			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	27,85%	40,53%	54,03%
UC	31,68% (-3,83)	46,10% (-5,57)	61,46% (-7,43)
TA_Plano	56,37% (-28,52)	82,03% (-41,50)	109,36% (-55,33)
VILA MARIA			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	30,79%	43,77%	58,49%
TA_Plano	43,05% (-12,26)	61,21% (-17,44)	81,78% (-23,29)
DAVID CANABARRO			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	32,29%	47,55%	63,31%
SARC	32,37% (-0,08)	47,66% (-0,11)	63,46% (-0,15)
UC	36,82% (-4,53)	54,21% (-6,66)	72,19% (-8,88)
TA_Plano	65,68% (-33,39)	96,7% (-49,15)	128,76% (-65,45)

\* Entre parênteses é a diferença em relação ao dado local

No cenário de 25% o grau de comprometimento estimado com o dado de recarga de UC, só divergiu do local uma única vez, no município de David Canabarro. Tal situação ocorreu frente ao cenário de Di (Tb 18h), em que o grau estimado com o dado local foi baixo e com o dado da UC foi médio (Tabela 35).

As diferenças máximas, em relação ao dado de TA\_Plano, no cenário de 25% da recarga, no geral, foram superiores a -50% e não ultrapassaram -70%, no cenário de Di (Tb 24h), conforme apresentado na tabela 35. A exceção foi no município de Vila Maria, em que a diferença máxima foi de cerca de -23%. Já as diferenças mínimas, as quais

ocorreram no cenário de Di (Tb médio), não ultrapassaram -30%. As exceções ocorreram na UC e no município de David Canabarro, em que as mesmas foram, respectivamente, de cerca -35 e -33%.

A diferença máxima entre o percentual de comprometimento estimado com o dado de recarga de UC e o estimado com os dados de recarga local de SARC e David Canabarro, quando considerado 25% da recarga, foi, em ambas as áreas, inferiores a -10%. Sendo a mesma ligeiramente maior em relação ao percentual de comprometimento estimado localmente em David Canabarro. Já as diferenças entre os percentuais de comprometimento estimados com o dado de UG e localmente na SARG foram de no máximo -0,86%. Diferenças inferiores a 1% também ocorreram entre os percentuais de comprometimento estimados com o dado de SARC e localmente em David Canabarro, de no máximo -0,15%.

Logo, os panoramas originados com os dados de TA\_Plano, apresentados nas tabelas 34 e 35, enquadrariam as áreas analisadas em uma situação mais crítica, do que a originada com os dados locais. Desta forma, os gestores adotariam medidas mais cautelosas e restritivas do que as necessárias referente aos panoramas resultantes do dado local. Além disso, com os dados de TA\_Plano, dependendo do cenário adotado de Di, considerando ambos os percentuais de 15 e 25% da recarga, a exploração nas áreas analisadas já estaria ocorrendo de forma insustentável, com valores acima dos potenciais hídricos existentes. A maior cautela adotada pelo gestor, também ocorreria ao adotar o dado de recarga de UC para gerir os recursos hídricos subterrâneos das unidades analisadas que a compõem, no entanto de forma menos intensa e frequente do que ao adotar o dado de TA\_Plano. Já a adoção dos dados de recarga de SARC em David Canabarro e de UG na SARG, devido a baixa diferença apresentada, os panoramas gerados não demandariam medidas de gestão diferentes das adotadas caso fossem considerados os dados locais. No entanto, no caso da adoção do dado de UG em SARG, tais diferenças podem se tornar mais relevantes em cenários como o de Di (Tb 18h), quando considerado 15% da recarga, o qual já possui valores de % próximos ao limite para o enquadramento em grau crítico, podendo levar o gestor a uma maior cautela.

#### **5.8.4 Comprometimento inferiores ao local estimado para os cenários de 15 e 25%.**

Ao contrário do que ocorreu com o dado de recarga do TA\_Plano, o dados de recarga do TA\_BH, originou, no geral, grau de comprometimento igual ao estimado com o dado de recarga local. Nos cenários em que tal situação não ocorreu, o grau de

comprometimento estimado com o dado de TA\_BH foi sempre inferior ao local. Situação semelhante também ocorreu ao aplicar os dados de recarga de UG e SARG em Vila Maria. Isso ocorreu devido ao percentual de recarga em TA\_BH, UG, SARG serem superiores ao das unidades que a compõem.

No cenário de 15% da recarga, o grau de comprometimento originado com o dado de recarga de TA\_BH não discordou do originado com o dado de recarga local na SARC e no município de David Canabarro (Tabela 36).

Tabela 36: Percentuais de comprometimento inferiores aos locais, no cenário de 15% da recarga.

UG			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	40,76%	61,05%	81,40%
TA_BH	35,14% (5,62)	52,64% (8,41)	70,19% (11,21)
UC			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	75,20%	111,89%	149,19%
TA_BH	62,35% (12,85)	92,76% (19,13)	123,68% (25,51)
SARG			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	51,25%	72,48%	96,73%
TA_BH	44,85% (6,40)	63,42% (9,06)	84,65% (12,08)
SARC			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	46,42%	67,55%	90,06%
TA_BH	43,77% (2,65)	63,70% (3,85)	84,92% (5,14)
VILA MARIA			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	51,32%	72,96%	97,48%
SARG	38,23% (13,09)	54,35% (18,61)	72,63% (24,85)
UG	38,8% (12,52)	55,16% (17,80)	73,71% (23,77)
TA_BH	33,43% (17,89)	47,53% (25,43)	63,51% (33,97)
DAVID CANABARRO			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	53,82%	79,24%	105,52%
TA_BH	51% (2,82)	75,09% (4,15)	99,99% (5,53)

\* Entre parênteses é a diferença em relação ao dado local

Nas escalas de unidade de gestão, o dado de TA\_BH, só discordou do grau de comprometimento estimado com o dado local em apenas um cenário: no Di (Tb 24h) na

UG e no Di (Tb médio) na UC. Contudo, no município de Vila Maria o dado de recarga de TA\_BH originou grau de comprometimento diferente de todos os estimados com o dado local. Já os dados de recarga de UG e SARG, só geraram grau de comprometimento igual ao local em Vila Maria, no cenário de Di (Tb 18h).

Os percentuais de comprometimento originados com o dado de recarga de TA\_BH, resultaram em diferenças em relação aos estimados localmente inferiores as originadas com o dado de recarga de TA\_Plano. No entanto, as diferenças existentes, pelo fato de as mesmas serem positivas devido ao maior comprometimento estimado com o dado local, podem resultar em situações que não foram constatadas com o dado de recarga de TA\_Plano. Logo, ao somar as diferenças existentes ao % de comprometimento local, ocorreria intensificação de cenários já críticos, possibilitando, por exemplo, que o percentual de comprometimento no cenário mais crítico de Di, na SARG e em Vila Maria, ultrapasse os 100%, quando considerado 15% da recarga. Tal soma, também aproximaria os % de comprometimento estimados com os dados de recarga local, do limite para o enquadramento em um grau superior, conforme ocorreu em UG e SARG, nos cenários menos críticos de Di (Tb médio e 18h) e em ambos os municípios, somente no cenário menos crítico de Di. Além disso, quando considerado 15% da recarga, as diferenças existentes ao serem somadas com o % de comprometimento local no cenário de Di (Tb 18h), elevaria o grau do mesmo de médio para crítico, na SARG e no município de Vila Maria.

Os dados da SARG e da UG, resultaram em diferenças em relação ao dado local no município de Vila Maria próximas, sendo as mesmas ligeiramente superiores em relação aos dados de SARG (Tabela 36). Os efeitos de tais diferenças somadas ao percentual de comprometimento estimado com o dado local no município, resultaria nas mesmas situações mencionadas com os dados de TA\_BH. No entanto, de forma menos intensa, pelo fato das diferenças em relação aos dados de SARG e UG serem inferiores as originadas com de TA\_BH.

Considerando 25% da recarga, o grau de comprometimento oriundo do dado de recarga de TA\_BH, só discordaram do local na UC e no município de Vila Maria e em ambos os locais no cenário mais crítico de Di (Tb 24h). No entanto, cabe salientar, que na UC o percentual de comprometimento estimado com o dado de TA\_BH ficou a menos de 1% do limite para o enquadramento também em grau crítico (Tabela 37). O grau de

comprometimento gerado com o dado de recarga da UG e da SARG, também só discordou do gerado com o dado local em Vila Maria no cenário mais crítico de Di.

Tabela 37: Percentuais de comprometimento inferiores aos locais, no cenário de 25% da recarga.

UG			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	24,45%	36,63%	48,84%
TA_BH	21,09% (3,36)	31,58% (5,05)	42,11% (6,73)
UC			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	45,12%	67,14%	89,51%
TA_BH	37,41% (7,71)	55,66% (11,48)	74,21% (15,30)
SARG			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	30,75%	43,49%	58,04%
TA_BH	26,91% (3,84)	38,05% (5,44)	50,79% (7,25)
SARC			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	27,85%	40,53%	54,03%
TA_BH	26,26% (1,59)	38,22% (2,31)	50,95% (3,08)
VILA MARIA			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	30,79%	43,77%	58,49%
SARG	22,94% (7,85)	32,61% (11,16)	43,58% (14,91)
UG	23,28% (7,51)	33,10% (10,67)	44,22% (14,27)
TA_BH	20,06% (10,73)	28,52% (15,25)	38,1% (20,39)
DAVID CANABARRO			
Esc	Comp_Tb médio	Comp_Tb 18h	Comp_Tb 24h
Local	32,29%	47,55%	63,31%
TA_BH	30,6% (1,69)	45,06% (2,49)	60% (3,31)

\* Entre parênteses é a diferença em relação ao dado local

As diferenças entre os % de comprometimento estimados localmente e o estimado com o dado de recarga de TA\_BH, quando considerado 25% da recarga, ocasionaram as mesmas situações observadas de quando utilizado 15% da mesma (Tabela 37), contudo, no geral, de forma menos frequente devido o maior volume de potencial disponível. Logo, a intensificação de cenário já crítico, só ocorreu na UC, no cenário de Di (Tb 24h), em que a diferença existe ao ser somada com o % de comprometimento local, elevaria o mesmo para percentual além dos 100%. A soma das diferenças existentes ao % de comprometimento local, aproximaria o mesmo do limite para o enquadramento em um

grau superior somente na SARG, para os cenários de Di Tb (18 e 24h). Já as diferenças em relação ao TA\_BH, que somadas ao percentual de comprometimento local conseguiriam alterar o grau de comprometimento do mesmos, ocorreram em 6 cenários: 1 na UG, no cenário mais críticos de Di; 2 na UC, nos cenários de Di (Tb médio e 18h); 2 em Vila Maria, nos cenários de Di (Tb 18 e 24h) e 1 em David Canabarro, no cenário de Di Tb (18h). Vale salientar, que mesmas diferenças pequenas, como a que ocorreu no cenário citado em David Canabarro, a qual foi inferior a 2,5%, podem se tornar relevantes quando o % de comprometimento local já se encontra próximo do limite para o enquadramento em grau superior.

A diferença dos percentuais de comprometimento estimados com os dados da SARG e da UG em relação ao estimado localmente em Vila Maria, somadas ao mesmo, conseguiriam elevar o grau de comprometimento de baixo para médio, no cenário de Di (Tb 18h). Além disso, as mesmas aproximariam o % de comprometimento local do limite para o enquadramento em grau crítico, no cenário de Di (Tb 24h).

Os dados de SARG, UG e TA\_BH, em ambos os cenários de 15 e 25% da recarga, indicaram ao gestor uma margem maior de recursos hídricos disponíveis do que a estimada com os dados locais, e de maneira geral, as diferenças existentes viabilizam a evolução e/ou alteração do quadro de comprometimento local. No entanto, nos casos em que o dado da TA\_BH, UG e SARG, originaram graus de comprometimento igual ao local, e não resultaram nas situações mencionadas acima, as medidas de gestão seriam as mesmas adotadas frente ao panorama resultante dos dados locais.

### **5.8.5 Considerações Sobre os Resultados do Comprometimento do Potencial Hídrico Subterrâneo**

Foram simulados 5 cenários de % de recarga frente a 3 cenários de Di, sendo que as variações de grau de comprometimento mais frequentes, frente a aplicação dos dados das diferentes escalas, só começaram a ocorrer nos cenários mais restritos de potencial hídrico subterrâneo de 15 e 25%. Para os demais % de 50, 75 e 100, o grau de comprometimento foi predominantemente baixo.

O panorama de comprometimento, originado com os dados locais, utilizando 15% da recarga, foi o que gerou mais cenários que demandariam maior atenção por parte do gestor, por resultar, com mais frequência, em grau crítico de comprometimento. Quando utilizado 25% da recarga, tal preocupação seria mais frequente para o cenário de Di (Tb 24h).

No quadro 25 é apresentada, por ordem de aproximação, as escalas que mais se aproximaram dos resultados locais. Ficou claro que, ao aplicar os dados de % de recarga das escalas mais próximas do local, as mesmas não necessariamente foram as que resultaram nos valores mais próximos de % de comprometimento dos estudos locais. Tal situação ocorreu apenas na SARG e no município de David Canabarro em que as escalas que mais se aproximaram foram UG e SARC respectivamente. Contudo tal situação não se manteve em David Canabarro, o qual teve como a segunda escala com o resultado mais próximo do estudo local a TA\_BH.

Cabe salientar que os dados de recarga de UG foram os que mais se aproximaram dos estudos locais das áreas estudadas que a compõem. O mesmo não ocorreu com os dados de recarga de UC, os quais geraram resultados que foram o 2º mais próximo dos locais na SARC e o 3º no município de David Canabarro (Quadro 25).

Quadro 25: Ordem de aproximação dos resultados de comprometimento local

Escala	Ordem das escalas que resultaram nas menores diferenças			
	1º	2º	3º	4º
<b>UG</b>	TA_BH	TA_Plano	.....	.....
<b>UC</b>	TA_BH	TA_Plano	.....	.....
<b>SARG</b>	UG	TA_BH	TA_Plano	.....
<b>SARC</b>	TA_BH	UC	TA_Plano	.....
<b>VM</b>	UG	SARG	TA_BH	TA_Plano
<b>DC</b>	SARC	TA_BH	UC	TA_Plano

Em ambas as unidades de gestão os dados de recarga de TA\_BH foi o que originou o resultado mais próximo do estudo local, o mesmo ocorreu na SARC. O % de recarga de TA\_Plano foi a que apresentou o resultado mais distante do estudo local para todas as áreas estudadas. A justificativa para a ordem de aproximação apresentada no quadro 25, é o % de recarga estimado em cada escala, sendo que, as escalas que apresentaram os quadros de comprometimento mais próximos dos originados com os estudos locais, foram as que possuem o % de recarga mais próximo dos mesmos.

Os dados de TA\_BH resultaram em % de comprometimento inferior ao local em todas as áreas estudadas. Logo, as diferenças existentes, somadas ao % de comprometimento local existentes, no geral, resultaram nas situações mencionadas abaixo:

- Intensificação dos cenários locais que já se encontram em grau crítico. Sendo que, nos casos em que o % de comprometimento já estava próximo ao valor total de potencial, tais diferenças viabilizavam que o mesmo atingi-se e/ou supera-se os 100%;
- Elevação no grau de comprometimento local. A qual ocorreu em 8 cenários, sendo 6 deles quando considerado 25% da recarga e 2 quando considerado 15% da mesma. Sendo que, a SARC foi a única área a não ter elevação do grau de comprometimento com a soma das diferenças existentes;
- Aproximação dos % de comprometimento locais dos valores limites para o enquadramento em um grau superior.

Os dados de UG e SARG também resultaram em % de comprometimento inferiores ao local no município de Vila Maria. Logo, as diferenças resultantes da utilização destes dados em relação ao estudo local, também ocasionaram as situações mencionadas acima. Desta forma, os dados de TA\_BH, UG e SARG, sendo esses dois últimos quando aplicados em Vila Maria, ao serem utilizados para gerir as áreas estudadas que os compõem, tendem a indicar ao gestor uma situação de disponibilidade de recursos mais favorável do que a estimada com os estudos locais. Desta forma, os dados em questão viabilizam a evolução dos quadros de comprometimento, sem a adoção das medidas necessárias para a manutenção do uso sustentável e racional por parte dos usuários.

Os dados de TA\_Plano, por considerar um % menor sobre a recarga, de apenas 8%, resultou em % de comprometimento muito superiores aos locais, ocorrendo as seguintes situações:

- O grau de comprometimento foi igual ao local em todas os cenários em que o mesmo foi crítico. Contudo com % de comprometimento significativamente mais elevados, tornando o panorama dos recursos hídricos subterrâneos mais desfavorável;
- O grau de comprometimento originado com os dados em questão só não foram superiores ao estimado localmente em 3 cenários, sendo dois no município de Vila Maria e um na UG;
- Dos 18 cenários simulados, quando utilizado 15% da recarga, 17 resultaram em grau de comprometimento crítico, e desses, 13 com % de comprometimento

superior a 100%. Sendo que, com os dados locais isso ocorreu somente em 3 cenários, 2 em UC e 1 em DC;

- Dos 18 cenários simulados, quando utilizado 25% da recarga, 12 resultaram em grau de comprometimento crítico e desses 6 com % de comprometimento superior a 100%. No entanto, com os dados locais isso não ocorreu em nenhum cenário, sendo que apenas na UC ocorreu grau crítico, mas com % de comprometimento abaixo dos 100%.

Desta forma, ao adotar os dados de TA\_Plano para a gestão das áreas estudadas que a compõem, resultariam em medidas de gestão mais restritivas e severas do que as demandadas frente ao panorama local. Logo, tais medidas poderiam resultar em conflitos desnecessários pelos recursos hídricos, impedindo o desenvolvimento social e econômico das regiões estudadas.

Os dados de UC também resultaram % de comprometimento superiores aos locais, resultando em um panorama dos recursos hídricos mais desfavorável que o originado com dados locais. No entanto, de uma forma menos intensa que os dados de TA\_Plano, gerando divergência em relação ao grau de comprometimento local em apenas duas situações, uma em David Canabarro e outra na SARC.

Os melhores resultados ocorreram na aplicação dos dados de SARC em David Canabarro o qual apresentou uma diferença máxima de -0,25%, seguido pela aplicação dos dados de UG em SARG, em que a diferença máxima foi de -1,44%. No entanto, vale salientar que as diferenças, mesmo sendo aparentemente baixas, ganham maior relevância quando os % de comprometimento estão próximos dos limites para o enquadramento em um grau superior. Logo, diferenças inferiores a 2,5% são capazes de alterar o grau de comprometimento, conforme aconteceu em David Canabarro.

Os cenários de comprometimento podem ser alterados de forma significativa, frente a diferentes metodologias utilizadas para a estimativa da recarga. Logo, o dado de comprometimento sozinho, sem o auxílio de uma rede de monitoramento para a avaliação dos níveis de água, se torna pouco efetivo para a tomada de decisão. No entanto, o mesmo pode servir de alerta para regiões que seriam mais interessantes para se instalar uma rede de monitoramento e ampliar os estudos, com vista a monitorar situações previstas nos cenários de comprometimento. Desta forma, os resultados aqui apresentados não podem servir de base única para a tomada de decisão do gestor frente a solicitações de uso dos recursos hídricos subterrâneos. Contudo, é de suma importância para indicar para o

mesmo, que em áreas que possuem total dependência das águas subterrâneas, o dado de recarga estimado em uma escala menor, pode não refletir a realidade de uma escala local, favorecendo a tomada de decisões que podem não ser as mais corretas.

A aplicação de dados de diferentes escalas para o auxílio da gestão dos recursos hídricos subterrâneos locais, resultou em panoramas mais e menos favoráveis, conforme foi apresentado. Além disso, tal panorama, conforme mencionado, pode ser alterado com a variação da metodologia de estimativa da recarga aplicada. Mesmo, essa última situação não sendo estudada no trabalho em questão e com o intuito de viabilizar que o gestor consiga ter uma visão mais global dos diferentes quadros de comprometimento que podem ser gerados e ter maior auxílio na tomada de decisão, se torna interessante o desenvolvimento de uma ferramenta de gestão, conforme a apresentada no item a seguir.

### **5.9 Ferramenta de cálculo do potencial hídrico subterrâneo e do comprometimento (CALPOHID).**

A ferramenta proposta CALPOHID, desempenhou de forma satisfatória os cálculos de potencial hídrico, % e grau de comprometimento simulados na mesma. Logo, ao inserir os dados de entrada das áreas estudadas (A, P, %R e Di), a ferramenta calculou quase os mesmos valores de potencial e % de comprometimento apresentados no trabalho. Contudo, a mesma apresentou uma diferença ínfima, a qual está relacionada ao número de casas após a vírgula utilizado, que no trabalho se utilizou todas as casas e na ferramenta somente duas. No quadro 26, são apresentados os quadros de comprometimento gerados pela ferramenta, para UC, considerando três cenários de recarga: R1 (recarga local de 14,23%), R2 (recarga de TA\_Plano de 8%) e R3 (recarga de TA\_BH de 17,17%).

Quadro 26: Análise do comprometimento simulado pela ferramenta em UC, apresentada no módulo 2.

<b>Módulo 2</b>					
<b>Comprometimento (%)</b>					
<b>15%</b>					
<b>Cenários</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>
Di (1)	75,23%	133,81%	62,35%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)	111,93%	199,09%	92,76%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)	149,24%	265,45%	123,68%	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>25%</b>					
Di (1)	45,14%	80,29%	37,41%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)	67,16%	119,46%	55,66%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)	89,54%	159,27%	74,21%	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>50%</b>					
Di (1)	22,57%	40,14%	18,70%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)	33,58%	59,73%	27,83%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)	44,77%	79,64%	37,10%	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>75%</b>					
Di (1)	15,05%	26,76%	12,47%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)	22,39%	39,82%	18,55%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)	29,85%	53,09%	24,74%	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>100%</b>					
Di (1)	11,28%	20,07%	9,35%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)	16,79%	29,86%	13,91%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)	22,39%	39,82%	18,55%	#DIV/0!	#DIV/0!

Vale ressaltar que a ferramenta permite a simulação de até 3 cenários de Di, para o trabalho em questão Di (1) representa os cálculos com Tb médio, Di (2) representa os cálculos com Tb 18h e Di (3) representa os cálculos com Tb 24h. O usuário pode utilizar tempos de bombeamento diferentes dos adotados no trabalho, por isso os mesmos não ficaram com a mesma nomenclatura do estudo na ferramenta.

Conforme mencionado no item 4.11, a ferramenta realiza o cálculo de volume restante do potencial hídrico subterrâneo frente a cada cenário. Tal informação não foi discutida no trabalho em questão, contudo a mesma foi inserida para melhor auxiliar o gestor em relação aos saldos de volume resultantes de cada cenário. O volume resultante

dos % de comprometimento do módulo 2, apresentados no quadro 27, pode ser visualizado no módulo 3.

Quadro 27: Análise do volume restante simulado pela ferramenta em UC, apresentada no módulo 3.

<b>Módulo 3</b>					
<b>Volume restante (hm<sup>3</sup>/ano)</b>					
<b>15%</b>					
<b>Cenários</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>
Di (1)	21,70	-16,65	39,80	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)	-10,45	-48,80	7,65	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)	-43,13	-81,48	-25,03	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>25%</b>					
Di (1)	80,10	16,18	110,26	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)	47,95	-15,97	78,11	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)	15,27	-48,65	45,43	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>50%</b>					
Di (1)	226,10	98,26	286,43	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)	193,95	66,11	254,28	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)	161,27	33,43	221,60	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>75%</b>					
Di (1)	372,10	180,34	462,59	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)	339,95	148,19	430,44	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)	307,27	115,51	397,76	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>100%</b>					
Di (1)	518,10	262,42	638,76	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)	485,95	230,27	606,61	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)	453,27	197,59	573,93	#DIV/0!	#DIV/0!

No módulo 4 é aplicado um condicional aos valores de volume restante calculados no módulo 3. O mesmo faz com que os volumes que foram inferiores a zero fiquem com a cor vermelha nos gráficos gerados no módulo 5, conforme apresentado no gráfico da figura 38, o qual é referente aos volumes restantes quando utilizado R1. Com a mudança de coloração fica mais claro para o usuário os cenários que resultaram em % de comprometimento acima do volume de potencial hídrico subterrâneo estimado. Para o

exemplo indicado na figura 38, isso ocorreu apenas quando utilizado 15% da recarga, para os cenários de Di de 18 e 24h.

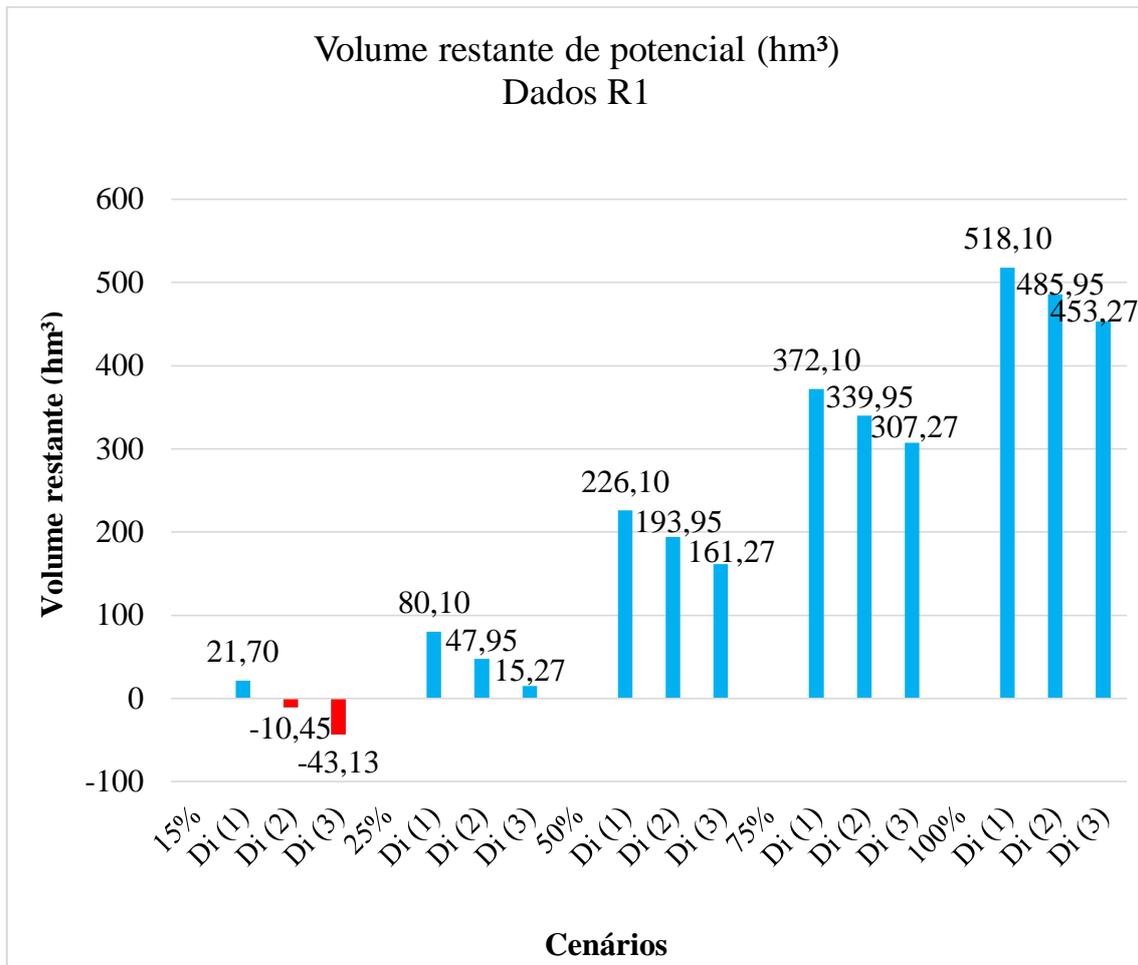


Figura 38: Gráfico do volume restante do potencial em UC, com o dado de R1, apresentado no módulo 5.

Outro ponto que deve ser levado em consideração ao se utilizar a ferramenta é que dependendo a forma que é calculada a Di, irão ocorrer diferenças no volume da mesma, o que vai influenciar diretamente na estimativa dos graus e % de comprometimento. A situação mencionada pode ser visualizada na tabela 38, onde são apresentados os volumes de Di calculados pela ferramenta, para todas as áreas estudadas, utilizando a vazão média e mediana, considerando o tempo de bombeamento médio e os dados de Di calculados no trabalho, utilizando os dados individuais de cada poço para a estimativa do Di total. Em todas as áreas estudadas a situação foi a mesma, ao comparar com o volume de Di estimado com os dados individuais, o valor médio de vazão resultou em volumes superiores ao mesmo e o valor de vazão mediano a volume inferiores. Desta forma, o usuário ao utilizar a ferramenta deve estar ciente das alterações que podem

ocorrer, frente aos dados que são utilizados para a estimativa do cálculo de Di. O ideal é utilizar os dados individuais de cada poço para o cálculo da Di, caso não seja possível, o usuário deve levar em consideração que o valor médio de vazão pode elevar os graus de comprometimento e os medianos reduzi-los.

Tabela 38: Diferenças entre as estimativas de Di, realizadas pela ferramenta, frente a diferentes dados de vazão.

<b>UC</b>			
<b>Cálculo de Di (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Di (1)</b>	<b>Di (2)</b>	<b>Di (3)</b>
Média	71,01	106,17	141,55
Mediana	45,95	68,69	91,59
Soma de Di individual	65,90	98,05	130,73
<b>UG</b>			
<b>Cálculo de Di (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Di (1)</b>	<b>Di (2)</b>	<b>Di (3)</b>
Média	45,30	67,95	90,60
Mediana	33,61	50,42	67,23
Soma de Di individual	36,83	55,17	73,56
<b>SARC</b>			
<b>Cálculo de Di (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Di (1)</b>	<b>Di (2)</b>	<b>Di (3)</b>
Média	27,43	40,34	53,79
Mediana	17,98	26,44	35,26
Soma de Di individual	23,18	33,73	44,97
<b>SARG</b>			
<b>Cálculo de Di (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Di (1)</b>	<b>Di (2)</b>	<b>Di (3)</b>
Média	34,44	49,09	65,45
Mediana	25,94	36,97	49,29
Soma de Di individual	28,95	40,94	54,64
<b>DC</b>			
<b>Cálculo de Di (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Di (1)</b>	<b>Di (2)</b>	<b>Di (3)</b>
Média	4,65	6,84	9,13
Mediana	3,09	4,54	6,05
Soma de Di individual	3,81	5,61	7,47
<b>VM</b>			
<b>Cálculo de Di (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Di (1)</b>	<b>Di (2)</b>	<b>Di (3)</b>
Média	6,01	8,57	11,43
Mediana	5,50	7,83	10,45
Soma de Di individual	2,49	3,54	4,73

### **5.9.1 Utilização da ferramenta em outra área de estudo**

A ferramenta não foi desenvolvida para ser aplicada exclusivamente na área de estudo do trabalho e nem para os % de recarga estimado no mesmo. Logo, para demonstrar a utilização da ferramenta em outra área de estudo, foi utilizado os dados de DORA (2013), na bacia do rio Conceição. A bacia em questão, está localizada no estado do Rio Grande do Sul, na região hidrográfica do rio Uruguai, sendo que, o rio Conceição é um dos afluentes do rio Ijuí. No módulo 1, apresentado no quadro 28, pode ser visualizado os dados de área, precipitação média anual e de recarga, estimados pelo autor, bem como os volumes de potencial hídrico subterrâneo originados com os dados do mesmo. A metodologia de estimativa da recarga utilizada pelo mesmo, consiste na separação de escoamento, utilizando filtro numérico. Logo, foram utilizadas três formas distintas de estimar o principal parâmetro do filtro, o BFI<sub>max</sub> (valor máximo do índice de escoamento de base) uma proposta por Eckhardt (2005) e as duas outras por Collischonn & Fan (2012), sendo estas, respectivamente, denominadas: Filtro de Eckhardt (% de recarga de 9,90%), Filtro de relação de vazões (Q<sub>90</sub>/Q<sub>50</sub>) com % de recarga de 18,90% e Filtro Inverso (com % de recarga de 18,30%).

Quadro 28: Identificação e caracterização da Bacia do rio Conceição e cálculo do potencial realizados no módulo 1.

<b>Módulo 1</b>					
<b>Dados da área estudada</b>					
<b>Área de estudo</b>	Bacia do Rio Conceição				
<b>R1</b>	Eckhardt				
<b>R2</b>	Relação de Vazões				
<b>R3</b>	Inverso				
<b>R4</b>					
<b>R5</b>					
<b>A (Km<sup>2</sup>)</b>	808,5				
<b>P (mm/ano)</b>	1850				
<b>Estimativa da Recarga</b>					
	R1	R2	R3	R4	R5
R (%)	9,90%	18,90%	18,30%		
R (mm/ano)	183,15	349,65	338,55	0,00	0,00
<b>Estimativa do Potencial hídrico Subterrâneo (hm<sup>3</sup>/ano)</b>					
Cenários	Po 1	Po 2	Po 3	Po 4	Po 5
15%	22,21	42,40	41,06	0,00	0,00
25%	37,02	70,67	68,43	0,00	0,00
50%	74,04	141,35	136,86	0,00	0,00
75%	111,06	212,02	205,29	0,00	0,00
100%	148,08	282,69	273,72	0,00	0,00

Pela grande extensão do módulo 1, o mesmo foi apresentado em duas partes, a primeira no quadro 28 e a segunda no quadro 29. Neste último é apresentado o cálculo da Di, como a mesma foi informada pelo autor de 36,30 hm<sup>3</sup>/ano, contudo a mesma foi calculada somente com os dados de 460 poços cadastrados no SIAGAS. Logo, como esta base de dados não abrange o número total de poços existentes, para esta simulação na CALPOHID, a mesma foi acrescida em 50%, atingindo o valor de 54,45 hm<sup>3</sup>/ano.

Quadro 29: Estimativa da disponibilidade hídrica instalada na Bacia do rio Conceição, realizada no módulo 1.

<b>Estimativa da Disponibilidade Hídrica Subterrâneo (hm<sup>3</sup>/ano)</b>					
<b>Tb (h)</b>	<b>Di (1)</b>		<b>Di (2)</b>		<b>Di (3)</b>
<b>Qta de poços existentes</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>		<b>Di (1)</b>	<b>Di (2)</b>	<b>Di (3)</b>
			0,00	0,00	0,00
<b>Di + % (hm<sup>3</sup>/ano)</b>		<b>% =</b>	<b>50%</b>	<b>1,5</b>	
<b>Di (1)</b>		<b>Di (2)</b>		<b>Di (3)</b>	
0,00		0,00		0,00	
<b>Dados de Di total resultante de outras formas de cálculo</b>			<b>Di (1)</b>	<b>Di (2)</b>	<b>Di (3)</b>
			36,30		
<b>Volume solicitado (hm<sup>3</sup>/ano)</b>					
<b>Qta de poços</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Tb méd (h)</b>	<b>Di (1)</b>	<b>Di (2)</b>	<b>Di (3)</b>
0	0	0	0,0	0,0	0,0
<b>Di atualizada (hm<sup>3</sup>/ano)</b>					
<b>Di (1)</b>		<b>Di (2)</b>		<b>Di (3)</b>	
54,45		0,00		0,00	

No quadro 30, é apresentado os % e graus de comprometimento gerados pela ferramenta frente aos dados de recarga mencionados, os quais se demonstram menos favoráveis quando considerado o Filtro de Eckhardt. Sendo que, os Filtros inversos e de relações entre vazões, pela proximidade de % de recarga, resultaram em % de comprometimento semelhantes.

Quadro 30: Análise do comprometimento simulado pela ferramenta na Bacia do Rio Conceição, apresentada no módulo 2.

<b>Módulo 2</b>					
<b>Comprometimento (%)</b>					
<b>15%</b>					
<b>Cenários</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>
Di (1)	245,14%	128,41%	132,62%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)				#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)				#DIV/0!	#DIV/0!
<b>25%</b>					
Di (1)	147,09%	77,04%	79,57%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)				#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)				#DIV/0!	#DIV/0!
<b>50%</b>					
Di (1)	73,54%	38,52%	39,79%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)				#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)				#DIV/0!	#DIV/0!
<b>75%</b>					
Di (1)	49,03%	25,68%	26,52%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)				#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)				#DIV/0!	#DIV/0!
<b>100%</b>					
Di (1)	36,77%	19,26%	19,89%	#DIV/0!	#DIV/0!
Di (2)				#DIV/0!	#DIV/0!
Di (3)				#DIV/0!	#DIV/0!

No gráfico da figura 39, gerado no modulo 5, é apresentado os resultados dos volumes restantes do dado de recarga de R1 (Filtro de Eckhardt). Logo é possível

visualizar que nos cenários de 15 e 25% da recarga, os % de comprometimento foram superiores ao volume de potencial estimado.

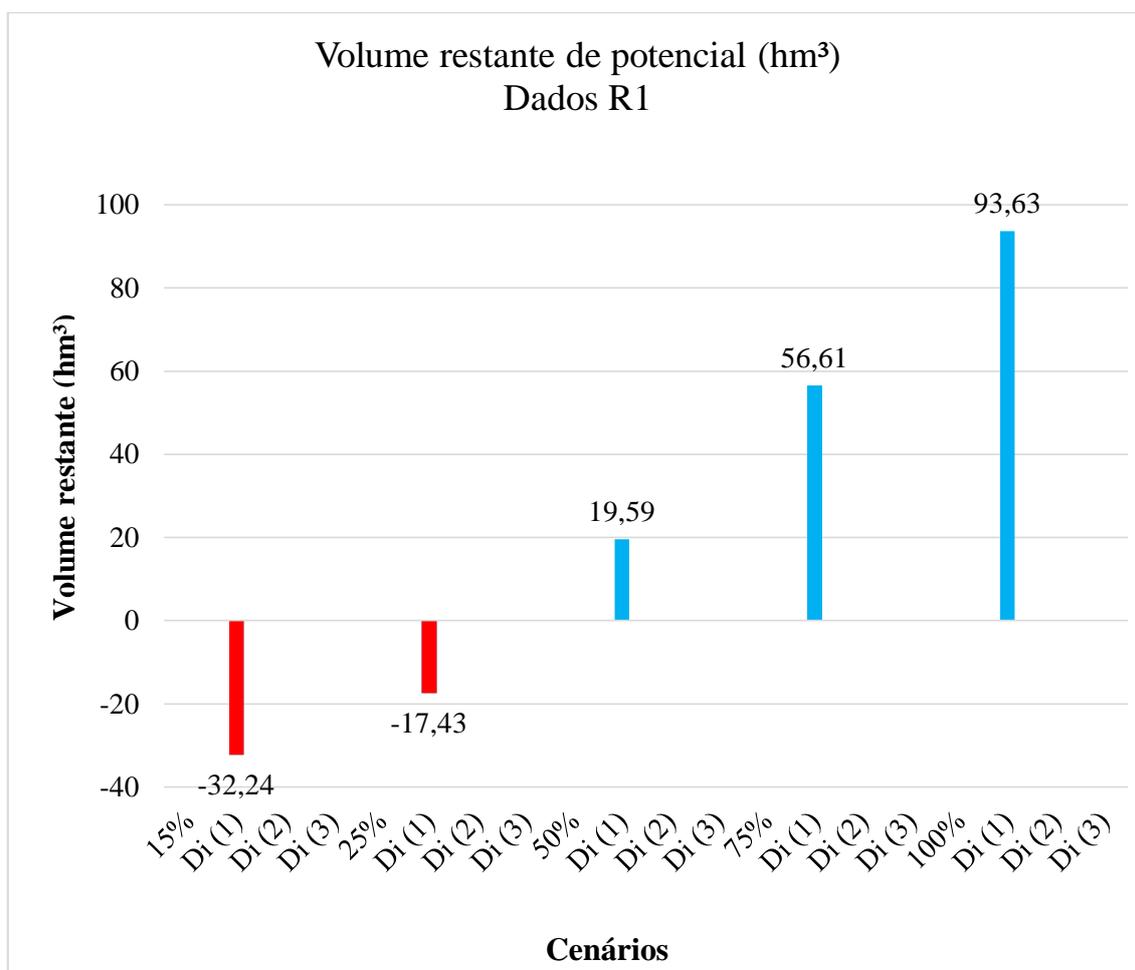


Figura 39: Gráfico do volume restante de potencial na bacia do Rio Conceição, com o dado de R1, apresentado no módulo 5.

Essa ferramenta realiza o cálculo de potencial e comprometimento, o qual depende diretamente dos dados que são inseridos na mesma, principalmente de recarga e de disponibilidade hídrica instalada. Logo, a veracidade e a precisão dos resultados gerados pela ferramenta CALPOHID, vão depender diretamente da qualidade dos dados inseridos. Sendo que, a mesma não pode ser considerada como única base de informação para a tomada de decisão frente a novas e atuais captações de água subterrânea. Para tanto, seria necessário a implantação de uma rede de monitoramento para a verificação dos quadros de comprometimento indicados pela ferramenta. No entanto, a CALPOHID se demonstrou eficiente para a comparação de cenários de potencial e comprometimento frente a diferentes dados de recarga e disponibilidade hídrica instalada. Mesmo a ferramenta

necessitando de uma rede de monitoramento para validação dos dados, a mesma pode indicar os locais onde seria mais interessante o desenvolvimento de estudos mais detalhados, frente a % e graus de comprometimento mais críticos.

Para os aquíferos fraturados, onde as incertezas em relação aos potenciais são maiores, a possibilidade de gerar cenários frente a diferentes dados de recarga, estimado por diferentes métodos e em diferentes escalas, viabiliza uma visão mais ampla das situações que podem ocorrer nas áreas estudadas, levando os gestores a agir com prevenção em relação aos possíveis danos e conflitos que poderiam ser gerados.

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados nesse trabalho demonstraram que nem sempre o dado de recarga estimado em escala de bacia hidrográfica, consegue representar a situação do potencial hídrico subterrâneo e comprometimento das unidades que a compõem. Contudo, os resultados também indicaram que não necessariamente as escalas de maior detalhe vão resultar na estimativa de potencial mais aproximada da situação local. Tal situação só ocorreu quando aplicados o dado de recarga de SARC no Município de David Canabarro e de UG em SARG. Já na SARC e no município de Vila Maria, os dados de potencial que mais se aproximaram dos estimados localmente foi da TA\_BH e TA\_Plano, respectivamente.

As diferenças totais entre os potenciais hídricos subterrâneos estimados com os dados das demais escalas em relação aos locais, em sua maioria, corresponderam a % significativos do volume de  $D_i$ , para o pior cenário da mesma, e em alguns casos ultrapassando-a, principalmente quando utilizado o dado de recarga de TA\_Plano. Contudo, as variações dos graus de comprometimento, em relação ao estudo local, só começaram a ocorrer, de forma mais frequente, quando aplicados os menores valores de % sobre a recarga, de 15 e 25%. Quando aplicados os demais %, os cenários, em sua grande maioria, resultaram em grau de comprometimento baixo.

Os dados de recarga de TA\_Plano e TA\_BH resultaram em quadros de comprometimento do potencial hídrico subterrâneos distintos, pelo fato, de o primeiro resultar no menor % de recarga de 8% e o segundo no maior % da mesma de 17,17%. Já nas demais áreas estudadas os % de recarga estimados ficaram entre esses dois valores. Desta forma, os % de comprometimento estimados com os dados de recarga de TA\_Plano resultaram nos quadros de comprometimento menos favoráveis. Logo, dos 18 cenários simulados, quando utilizado 15% da recarga, apenas 1 não foi classificado em grau crítico, que foi no município de Vila Maria, considerando a  $D_i$   $T_b$  médio. Já quando utilizado 25% da recarga, nos 18 cenários simulados, 12 foram enquadrados em grau crítico, 4 em grau médio e apenas 2 em grau baixo de comprometimento. Mesmo quando os dados de TA\_Plano resultavam em graus de comprometimento iguais aos estimados localmente, o % de comprometimento foi superior, atingindo na maioria dos cenários % superiores ao volume existente de potencial. Desta forma, ao ser adotado o dado do plano de bacia para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, o mesmo poderia resultar em conflitos desnecessários por água, induzindo os gestores a tomadas de decisões mais

cautelosas que as necessárias, restringindo o crescimento econômico e conseqüentemente social. Já os dados de TA\_BH, ao serem adotados, por resultarem em um maior volume de potencial, podem gerar a falsa impressão de haver maiores recursos hídricos disponíveis do que os estimados localmente. Sendo que, a diferença existente ao ser somada ao % de comprometimento local, propiciou um aumento do grau de comprometimento, nos casos em que o mesmo já se encontrava próximo do limite superior e também aproximou do limite superior alguns % de comprometimento que estavam mais distantes do mesmo. Logo, o efeito da adoção do dado de recarga de TA\_BH, na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, foi o contrário do gerado com os dados de TA\_Plano, levando o gestor a agir com uma cautela menor que a necessária, viabilizando a evolução dos quadros de comprometimento locais.

Os efeitos na gestão mencionados em relação à adoção dos dados de TA\_BH, o qual resultou em volumes de potencial superiores aos locais, também foram observados ao aplicar os dados de UG e SARG em Vila Maria. Já os efeitos na gestão mencionados com a utilização dos dados de TA\_Plano, o qual resultou em volumes inferiores ao local, também foi observado com a aplicação do dado de recarga de UC nas unidades que a compõem, no entanto, de forma menos intensa, levando em consideração que só ocorreu divergência em relação ao grau de comprometimento local, em apenas duas situações, uma em David Canabarro e outra na SARC.

Já a aplicação dos dados de recarga de SARC em David Canabarro e de UG em SARG, foram os que apresentaram os melhores resultados, sendo a diferença máxima de % de comprometimento de -0,25 e -1,44%, respectivamente. No entanto, vale salientar que, mesmo diferenças pequenas podem ganhar maior relevância, quando são positivas, e ocorrem em cenários em que o % de comprometimento local já está próximo do valor limite para o enquadramento em um grau superior, conforme ocorreu em David Canabarro.

A aleatoriedade em relação às escalas que originaram resultados mais próximos dos estudos locais, torna difícil definir qual é a melhor escala para a estimativa da recarga, quando não é possível a realização de um estudo local. Contudo, em bacias como a Taquari-Antas, a qual possui grande parte de seus municípios abastecidos exclusivamente por água subterrânea e possui grande parte de seu território inserido em um sistema aquífero fraturado, se torna interessante e necessária a realização de estudos mais detalhados de recarga, principalmente em áreas com maior adensamento de poços,

conforme as áreas de estudos selecionados nesse trabalho. Com o maior detalhamento é possível observar as singularidades em relação a situação dos potenciais e o comprometimento do mesmo existente em cada região, e assim realizar uma gestão embasada em estimativas mais próximas da realidade local.

Os resultados do trabalho indicaram a grande influência que a recarga tem na estimativa do potencial hídrico subterrâneo, assim como o dado de  $D_i$  para a estimativa de comprometimento. Contudo, a recarga não varia apenas com a escala, mas também com o método que é utilizado para a sua estimativa. O mesmo ocorre com a estimativa de  $D_i$ , que varia com o tipo de dado de vazão e tempo de bombeamento considerados no cálculo da mesma se médio, mediano ou individual. Logo, a ferramenta CALPOHID desenvolvida nesse trabalho levou em consideração todos esses fatores, se demonstrando uma forte aliada na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, possibilitando a comparação de cenários de potencial e comprometimento frente a diferentes valores de recarga e  $D_i$ . Permitindo também, que a análise realizada neste trabalho possa ser desenvolvida em outras regiões, sendo que a precisão dos resultados gerados pela ferramenta vai sempre depender da qualidade dos dados inseridos.

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos não deve ser embasada apenas na análise de comprometimento do potencial hídrico subterrâneo, a qual é pautada em estimativas, principalmente em regiões abrangidas por sistemas aquíferos fraturados. Logo, os resultados indicados pela ferramenta CALPOHID devem ser validados por uma rede de monitoramento. No entanto, os quadros de comprometimento indicados na ferramenta podem indicar em quais regiões seria mais interessante a instalação dessas redes. No caso do estudo em questão, seria na UC, com maior concentração de poços no município de David Canabarro, ambas as áreas que indicaram os quadros de comprometimento menos favoráveis do trabalho.

## **7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Analisar a variação do potencial e comprometimento frente a aplicação dos dados de recarga de diferentes escalas e utilizando diferentes metodologias;
- Verificar o aumento da demanda, frente a estimativas de populações futuras, levando em considerações aspectos, econômicos, sociais e políticos e soma-las as disponibilidades hídricas atuais para verificar cenários de comprometimento futuros;
- Inserir na ferramenta proposta, análises matemáticas que permitam indicar qual o uso deve-se priorizado na alocação de recursos hídricos subterrâneos frente a cada cenário de comprometimento simulado.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013** / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2013.432 p.

ANA. **Abastecimento urbano de água: panorama nacional/ Agência Nacional de Águas**; Engecorps/Cobrape. – Brasília: ANA : Engecorps/ Cobrape, 2010.

ANA. **Atlas do abastecimento urbano de água**. 2009. Disponível em:<<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>> Acesso em: 12 de dezembro, 2018.

ANA. **Disponibilidades e demandas por recursos hídricos no Brasil**, 2005.

ARNOLD, J.G., ALLEN, P.M. **Validation of automated methods for estimating baseflow and groundwater recharge from stream flow records**. Journal of the American Water Resources Association 35, 411–424, 1999.

BARBOSA, L.K. L. **Zoneamento de aquíferos através da delimitação de perímetros de proteção de poços de abastecimento público de água: o caso da cidade de João Pessoa**. João Pessoa, UFPB, 2007. p.101.

BERTOL, G.A; CAMARGOS, C,C; VELÁSQUEZ, L.N.M; BRANCO, O.E A; COTA, S.D.S. 2006. **Aplicação do método do cálculo do balanço hídrico na avaliação da recarga no aquífero Bauro em Araguari – MG**. In: *XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Curitiba – Paraná.

BETIOLLO, L. M. 2006. **Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidroquímica dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 117 p.

BORGES, V.M.2017. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do sistema aquífero Serra Geral, Estado do Paraná - Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 101 p.

BORTOLIN, T.A. 2018. **Estudo da recarga do Sistema Aquífero Serra Geral na bacia hidrográfica Taquari-Anta**. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.220 p.

BORTOLIN, T.A; REGINATO, P.A.P; SCHNEIDER, V.E. 2016. **Estimativa de recarga pelo método do balanço hídrico em uma bacia hidrográfica com ocorrência de aquíferos fraturados**. In:*XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Campinas-São Paulo.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2016**.Brasília: SNSA/ MCIDADES, 220. 2016.

BREARS, E.; POST, R. **NVCA Water Table Fluctuation Study**. 2014. Disponível em <http://www.nvca.on.ca/Shared%20Documents/NVCA%20Water%20Table%20Fluctuation%20Study.pdf> Acesso em: 30 de março de 2018.

BRINCKMANN, W.E. **Sustentabilidade ambiental e gestão das águas no estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. REDES, v.4, n.2, p. 111-127, maio/ago.1999.

CAMPOS, J.E.G; CORREA, P.M. **Critérios para determinação de vazões outorgáveis em mananciais subterrâneos: aplicação no distrito federal**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 32, n.1, p. 23-32, 2013.

CÁNEPA, E.M; ZORZI, I; GRASSI, L.A.T; NETO, P.S. **Os comitês de bacia no Rio Grande do Sul: Formação, Dinâmica de funcionamento e perspectivas**. 2017. Disponível em <<http://www.abes-rs.org.br/rechid/comites-2.htm>> Acesso em: 09.08.2018.

CAPALONGA, S.2017. **Avaliação do risco de poluição da água subterrânea da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas**. Trabalho de conclusão de curso. Escola de engenharia, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CARDOSO, F. B.F.; OLIVEIRA, F. R.; NASCIMENTO, F.S.; NETO, P.V.; FLORES, P.M. 2008. **Poços Tubulares construídos no Brasil**. In: *Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVI Encontro Nacional de Perfuradores de Poços*. Natal, Rio Grande do Norte.

CARVALHO, A. M. **Modelagem numérica como ferramenta para a gestão das águas subterrâneas em São José do Rio Preto, SP**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CARVALHO, A.M; HIRATA.R. **Avaliação de métodos para a proteção dos poços de abastecimento público do Estado de São Paulo**. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 12, n. 1, p. 5-70, Abril 2012.

CASTANY, G. (1975), “**Prospección y Explotación de las Aguas Subterrâneas**.” Ediciones Omega, S. A. Barcelona.

CENSO DEMOGRÁFICO 2010. **Características da população e dos domicílios: resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

COELHO, A.L.N. **Situação Hídrico-Geomorfológica da Bacia do Rio Doce com base nos dados da série histórica de vazões da estação de Colatina – ES**. Caminhos de Geografia Uberlândia, v. 6, n. 19, p. 56-79, out. 2006.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. Tese de doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, Porto Alegre, 2001. 270p.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. **Defining Parameters for Eckhardt's Digital Base Flow Filter**. Hydrological Processes, v. 27, n, 18, p. 2614-2622, 2013.

COLLISCHONN, W; TUCCI, C.E.M. **Simulação hidrológica de grandes bacias.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V. 6, n.1, p. 95-118, Jan/Mar. 2001.

CONEJO LOPES, M. F. 1994. **Condições de ocorrência de água subterrânea nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari.** Dissertação de Mestrado. Universidade estadual de Campinas. 82 p.

CONICELLI, B.P. & Hirata, R. 2016. **Novos paradigmas na gestão das águas subterrâneas.** In: 19º Congresso Brasileiro de águas subterrâneas, São Paulo, 2016. Anais, Campinas, ABAS, p. 1-18.

COSTA, W. D. **Avaliação das reservas, potencialidades e disponibilidade de aquífero.** Anais do 10 Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo: ABAS. 1998. p. Trabalho 50, p 11.

CUSTODIO, E., LLAMAS, M.R. **Hidrologia subterrânea.** Barcelona: Ediciones Omega S.A., 1976. vol 2. 1157p.

DAEE. **Águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Diretrizes de Utilização e Proteção.** Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geociências e Ciências Exatas. Laboratório de Estudo de Bacias. - São Paulo : DAEE/LEBAC, 2013.

DAEE. **Elaboração do plano diretor de aproveitamento de recursos hídricos para a macrometrópole paulista.** 2009. Disponível em: <[http://www.daee.sp.gov.br/macrometropole/RA04\\_vol2\\_Nota\\_Tecnicas\\_05\\_08\\_09%2809-03-09%29.pdf](http://www.daee.sp.gov.br/macrometropole/RA04_vol2_Nota_Tecnicas_05_08_09%2809-03-09%29.pdf) > Acessado em: 16 de abril de 2017.

DE VRIES, J.J.; SIMMERS, I. 2002. **Groundwater recharge: an overview of processes and challenges.** *Hydrogeology Journal*. vol. 10, nr. 1. February 2002. Springer-Verlag, Berlin. p.5- 17.

DIAS, C.L; IRITANI, M.A; GUILLAUMON, J.R; CASARINI, D.C.P; FERREIRA, L.M.R, FRISCH.H; TROEGER,U; SCHULER.G. **Restrições de uso e ocupação do solo em áreas de proteção de aquíferos: conceitos, legislação e proposta de aplicação no estado de São Paulo.** In: *XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.* Florianópolis, 2006.

DORA, A. S. **Quantificação das Reservas Renováveis de Água Subterrânea em Bacias Hidrográficas a Partir de Séries Históricas de Vazão: Uma Ferramenta para a Gestão de Bacias.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

DUTRA, T. O. **Avaliação da exploração de poços tubulares, no sistema aquífero serra geral, por sistema de monitoramento automatizado.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016, 152 p.

ECLOPAN. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul**. 2007. Disponível em <<https://www.sema.rs.gov.br/plano-estadual-de-recursos-hidricos>>. Acesso em: 25 de Maio de 2018.

ECKHARDT, K. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. **Hydrological Process**, v. 19, n. 2, p. 507–515, 2005.

FEITOSA, Fernando A.C et al. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID-UFPE, 2008. 812 p.

FEPAM .**Qualidade Ambiental – Região Hidrográfica do Guaíba**. 2018. Disponível em <[http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_taquari\\_antas/taquariantas.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_taquari_antas/taquariantas.asp)>. Acesso em: 02 de Fevereiro de 2018.

FENN,D. HANLEY, K., DE GEARE, T. **Use of the Water Balance Method for predicting leachate generation from solid waste disposal sites**. US Environmental Protection Agency Report. 1975.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D’ELIA, M.; PARIS, M. **Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies**. World Bank, GWMate. Washington, 101 p. 2002.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; DÉLIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Washington: Banco Mundial, 2006.

GONÇALVES, J.A.C; SCUDINO, P.C.B; SOBREIRA, F.G. **Avaliação do uso das reservas renováveis das águas subterrâneas no leste da zona da mata de minas gerais**. In: *XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Natal – Rio Grande do Norte. 2008.

GRANZIERA, M.L.M; GRANZIERA, B.M. **Desafios na gestão das águas subterrâneas**. In: *XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas* . Belo Horizonte-Minas Gerais. 2014.

HAGER, F.P.V; ALMEIDA, M.L. **O Direito de águas no Brasil**. In: *XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Natal – Rio Grande do Norte.2008.

HEALY, R. W. **Estimating groundwater recharge**. RU: Cambridge University Press, 2010. 245 p.

HEALY, R.W.; COOK, P.G. **Using groundwater levels to estimate recharge**. *Hydrogeology Journal*. v.10(1). February 2002. Springer-Verlag, Berlin. p. 91-109, 2002.

HEINE, C.A. **Análise de sustentabilidade de uso do Sistema Aquífero Guarani em Ivoti-RS**. Tese de Doutorado em Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 2008.

HIRATA, R. C. A.; Zoby, J. L. G.; Oliveira, F. R. **Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial**. In: BICUDO, Tundisi, Scheuenstuhl (orgs.). *Águas do Brasil: análises estratégicas*. Cap. IX, 2010, p. 149-161.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa exploratório do Estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 1986.

IRITANI, M; EZAKI, S. **Roteiro orientativo para delimitação de área de proteção de poço**. São Paulo: instituto Geológico, 2010. 60 p.: il. – (cadernos do Projeto ambiental estratégico aquíferos; n° 2).

KIANG, C.H; TEIXEIRA, A.J; VIDAL. A.C. **Aspectos hidrogeológicos e hidroquímicos das regiões dos municípios de Mogi Mirim, Mogi Guaçu e Itapira no estado de São Paulo**. Geociências, v. 22, N. Especial, p. 63-73, 2003.

KIRCHHEIM, R. E.; AGRA, S. G.; **Diagnóstico hidrogeológico do Estado do RS: uma ferramenta para o plano estadual de recursos hídricos**. In: *Simpósio brasileiro de recursos hídricos*, 19., 27 nov. - 01 dez. 2011, Maceió. Anais... Maceió: ABRH, dez. 2011.

LEÃO, M.I; CAICEDO, N.O.L; RISSO, A. **Hidrogeologia da bacia do rio Taquari-Antas**. In: *X Congresso brasileiro de águas subterrâneas*. São Paulo, 1998.

LIMA, G.A; GENEROSO, C.M; SANTOS.C.M; SILVA.L.A; SOUSA, R.G. **Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: Estudo de caso ribeirão Isidoro**. In: *VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*. Campina Grande. 2016.

MACE, R. E.; MULLICAN, W. F. & WAY, T. 2001. **Estimating Groundwater Availability in Texas**. Texas Water Development Board – TWDB. Texas. 16 p.

MACHADO, J.L.F.; FREITAS, M.A. de. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final**. Porto Alegre. CPRM. 65p. il. mapa. 2005.

MATTIUZI, C.D.P. 2013. **Estimativa de Recarga a partir da Separação de Escoamento de Base na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí/RS**. 72p. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MELO, J.G.; MORAIS, S.D.O.; SILVA, R.A.; VASCONCELOS, M.B. 2013. **Avaliação dos recursos hídricos do Aquífero Barreiras na bacia do rio Maxaranguape-RN**. *Águas Subterrâneas* (2013) 27(1): 53-64.

MEINZER, O. E. **The occurrence of ground water in the United States**. U.S. Geological Survey. Water Supply Paper, Washington, n. 489, 1920. 321 p

MENESES, L. F; SILVA, T. C; GADÊLHA, C. L. M; FIGUEIREDO, E. C. **Elaboração de Mapa de Vulnerabilidade dos Aquíferos Superiores no Município de João Pessoa – PB, Através de Técnicas de Geoprocessamento**. Revista Tecnológica, Fortaleza, v.30, n.1, p. 123-132, jun. 2009.

MILANI, E.J., RAMOS, V.A. **Orogenias Paleozóicas no Domínio Sul-ocidental do Gondwana e os Ciclos de Subsidência da Bacia do Paraná**. Revista Brasileira de Geociências, v. 28, n. 4, p. 473-484, 1998.

MIRANDA, A. C. R. **Métodos de separação dos escoamentos superficial direto e subterrâneo: estudo de caso para a bacia do Rio das Velhas**. p. 83, 2012.

MOURÃO, M.A.A. **Projeto “Implantação de Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas”**. 2009. Disponível em:<[http://www.cprm.gov.br/publique/media/proposta\\_monitoramento\\_CPRM\\_2009.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/proposta_monitoramento_CPRM_2009.pdf)> Acesso em: 12 de fevereiro, 2018.

MOURÃO, M.A.A. **Projeto “Implantação de Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas”**. 2009. Disponível em:<[http://www.cprm.gov.br/publique/media/proposta\\_monitoramento\\_CPRM\\_2009.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/proposta_monitoramento_CPRM_2009.pdf)> Acesso em: 10 de Março, 2018.

NRCS - Natural Resources Conservation Service (2004). **Chapter 10: Estimation of direct runoff from storm rainfall**, Part 630, National Engineering Handbook. Washington, DC: US Department of Agriculture. Series C 222. Reidel, Dordrecht, pp 223–238.

OLIVA, A; CHANG, H.K, SEIXAS, W. **Cálculo de reservas hídricas subterrâneas do Aquífero Rio Claro utilizando simulação Monte Carlo**. Águas Subterrâneas, v.24, n.01, p.13-30, 2010.

PEIXOTO, F.S; CAVALCANTE, I.N; SILVEIRA, R.N.C.M; ARAÚJO, K.V. **Estimativa de recargas hídricas subterrâneas potenciais voluntárias e involuntárias em áreas urbanas** . Águas Subterrâneas. 31(1):p.104-116. 2017.

PESSINA, G.L; SILVA, D.J; FERREIRA, C.M. **Balanço hídrico do aquífero Cuchujaqui em Álamos, Sonora, México**. In: *XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Natal – Rio Grande do Norte . 2018.

PESSOA, M. D.; MENTE, A.; LEAL, O. 1980. **Províncias Hidrogeológicas Adotadas Para o Mapa Hidrogeológico do Brasil na Escala 1:2.500.000**. In: *Anais do I Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Recife - Minas Gerais.

PHILIPP, R. P. **A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul**. São Paulo, 255 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1998.

POMPEU, C.T. **O Direito de águas no Brasil**. In: *I Congresso Brasileiro de Direito de Águas*, Fortaleza - Ceara. 2008.

RADAM/BRASIL. **Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiiana e SI.22 Lagoa Mirim: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso Potencial da Terra**. 1986. Rio de Janeiro: IBGE 796p. (Levantamento de Recursos Naturais, v.33).

REBOUÇAS, A.C. **Desenvolvimento das águas subterrâneas no Brasil.** In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ABAS. São Paulo. 1998.

REBOUÇAS, A. C.; Riccomini, C.; Ellert, N.; Duarte, U.; Melito, K.M.; Senf, L.A. ; Souza, J.C.S., 1994. **Diagnóstico Hidrogeológico da Região Metropolitana de São Paulo, Uso e Proteção.** Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 8, Recife. Anais... Recife, ABAS/DNPM/CPRM, p. 93-102.

REBOUÇAS, A.C.; FRAGA, C. G. **Hidrogeologia das Rochas Vulcânicas do Brasil.** Revista Águas Subterrâneas, v. 12, n. 1, p. 30-55, 1988.

REBOUÇAS, A.C. **Importância da água subterrânea.** In: REBOUÇAS, A.C. (Org). *Hidrologia: Conceitos e aplicações.* Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p. 13 – 29.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. 1999. **Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação.** Institutos de Estudos Avançados da USP, Academia Brasileira de Ciências, ed. Escrituras, São Paulo, 717p.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S.; GILIOLI, K. C.; CEMIN, G. **Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica do Aquífero Livre Localizado no Manto de Alteração da Formação Serra Geral, na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul.** Revista Ambiente & Água, v. 7, n. 2, p. 143-162, 2012.

REGINATO, P. A. R.; FINOTTI, A. R; MICHELON, C. 2007. **Comportamento Hidrogeológico de Poços Tubulares Associados a Estruturas Primárias das Rochas Vulcânicas da Formação Serra Geral.** In: *Anais do XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sul.* Gramado-RS.

REGINATO, P.A.R.; STRIEDER, A.J. **Caracterização Estrutural dos Aquíferos Fraturados da Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Geociências. 36(1):13-22, 2006.

REGINATO, P.A.R.; STRIEDER, A.J. **Caracterização Hidrogeológica e Potencialidades dos Aquíferos Fraturados da Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul.** In: XIII Congresso Brasileiro de águas subterrâneas. Cuiabá, Anais (CdRoom). 2004.

RODRIGUES, C; ADADI, S. **Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas.** In: VENTURI Luis A. B. *Praticando a Geografia: técnicas de Campo e Laboratório em geografia e análise ambiental.* São Paulo: Oficina de Textos, 2005, pp. 147 -166.

ROSSATO. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia.** Tese Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia. 2011.

SANTOS, E.R.O. **Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul.** DRH, ed 2007/2008. 2008.

SCANLON, B. R.; HEALY, R.; COOK, P. **Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge**. Hydrogeology Journal, v. 10, n. 1, p. 18–39, 2002.

STE - Serviços Técnicos de Engenharia. **Plano da Bacia Hidrográfica Taquari Antas**. 2011. Disponível em <https://www.sema.rs.gov.br/g040-bacia-hidrografica-do-rio-taquari-antas>. Acesso em: 01 de Mar. 2016.

ECOPLAN. **Plano estadual de recursos hídricos do Rio Grande do Sul**. 2007.

SEMA. **Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul 2006.2007**.

SEMA. **Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul**. 2020. Disponível em <<https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>>. Acesso em: 3 de Mar. 2020.

SEMA. **Nova fase do Sistema de Outorga de água (SIOUT)**. 2017. Disponível em <<http://www.sema.rs.gov.br/sema-lanca-nova-fase-do-sistema-de-outorga-de-agua> > Acesso em: 21 de março de 2017.

SEMA. **Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul 2009 – 2010**. 2012.

SEMA. **SIOUT/RS: Uma Mudanças de Paradigmas**, 2016. Disponível em:< [http://www.famurs.com.br/arq\\_upload/20160801103104\\_FAMURS%2027%20de%20julho%20de%202016.pdf](http://www.famurs.com.br/arq_upload/20160801103104_FAMURS%2027%20de%20julho%20de%202016.pdf)>. Acesso em: 10 de Nov. 2018.

SILVA, M.M.A.O; HOLZ,J.; FAIÃO, D.; FREIRE, C.C. **A Outorga de Direito do Uso da Água Subterrânea nos Estados Brasileiros**. In: *XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrânea*, Natal – Rio Grande do Norte. 2008.

SIRANGELO. F.R; GUASSELLI, L.A; OLIVEIRA, G.G. **Análise morfométrica das sub-bacias da bacia hidrográfica do Taquari-Antas/RS, Brasil**. Anais XVII *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa-PB. 2015.

SOPHOCLEOUS, M.A. 1997. **Managing water resources systems: Why safe yield is not sustainable**. Ground Water 35 (4): 561.

SOPHOCLEOUS, M.A. 2000. **From safe yield to sustainable development of water resources – the Kansas experience**. Hydrogeologic Journal. 235 :(27-43)

STRUGALE, M; ROSTIROLLA, S.P; MANCINI, F; FILHO, C.V.P. **Compartimentação estrutural das formações piramboia e Botucatu na região de São Jerônimo da Serra, Estado do Paraná**. Revista Brasileira de Geociências, 34(3):303-316, 2004. Sul, Porto Alegre, 81 p.

THORNTHWAITE, C. W. **An approach toward a rational classification of climate**. Geograph. Rev., 38, 55–94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1).

Todd (1959), **Groundwater hydrology**. New York: John Wiley & Sons, 1959. 319p.

TOSCANO, G.L.G; SANTOS, K.M; ALMEIDA, C.N; SILVA, T.C. **Uma síntese analítica sobre legislação de proteção das águas subterrâneas no Brasil**. In: *XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Natal – Rio Grande do Norte.2008.

TOSCANO, G.L.G; SILVA, T.C. **Uso do solo em zonas de proteção de poços para abastecimento público na cidade de João Pessoa (PB)**. Eng Sanit Ambient .v.17 n.4. p.357-362. 2012 .

VANCONCELOS, S.M.S. **Avaliação da Recarga Subterrânea Através da Variação do Nível Potenciométrico no Aquífero Dunas/Paleodunas, Fortaleza, Ceará** .RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol 10. n.2. p. 49-57. 2005.

VIANA, T.R; CELLIGOI, A. **Análise das reservas de águas subterrâneas do aquífero Serra Geral em Londrina: Recarga e Consumo**. In:*XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Florianópolis, 2002.

VIERO, A.C; FREITAS, M.A; CAYE, B.R. **Estágio atual do SIAGAS no Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. In:*XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Florianópolis, 2002.

VIERO, Ana Cláudia; SILVA, Diogo Rodrigues Andrade da (Orgs.). **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2010. 1 DVD. Programa Geologia do Brasil - PGB. Levantamento da Geodiversidade.

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. **Comparação de Métodos de Estimativa de Recarga de Aquíferos em Uma Planície Aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo)**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 10 n.2 Abr/Jun 2005, 15-25.

WREGGE. et al. **Atlas Climático do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

## 9. APÊNDICES

Apêndice A: Estimativa da demanda por recursos hídricos subterrâneos em 2032 em relação ao ano de 2018.

<b>Município</b>	<b>Pt (2032)</b>	<b>Pt (2018)</b>	<b>Pt (2032-2018)</b>	<b>Acréscimo ou redução Pt (hab)*</b>	<b>Vol. acrescido m<sup>3</sup>/dia</b>
Água santa	3626	3753	-127	-2	-0,32
André da rocha	1420	1324	96	96	15,19
Anta gorda	5143	6003	-860	860	136,05
Antônio prado	14408	13055	1353	690	109,16
Arroio do meio	23056	20637	2419	1016	160,73
Arvorezinha	.....	.....	.....	....	....
Barão	5365	6139	-774	-149	-23,57
Barros cassal	9921	11216	-1295	-470	-74,35
Bento golçalves	138512	119049	19463	584	92,39
Boa vista do sul	.....	.....	.....	....	....
Bom Jesus	9619	11391	-1772	-152	-24,05
Bom retiro do sul	11426	12265	-839	-50	-7,91
Boqueirão do leão	7884	7726	158	49	7,75
Brochier	5405	5043	362	35	5,54
Camargo	2729	2724	5	5	0,79
Cambará do sul	5869	6456	-587	-107	-16,93
Campestre da serra	3444	3380	64	64	10,12
Canudos do vale	.....	.....	.....	....	....
Capão bonito do sul	.....	.....	.....	....	....
Capitão	3054	2750	304	304	48,09
Carlos babosa	35104	29409	5695	1630	257,87
Casca	9401	9010	391	391	61,86
Caseiros	3173	3189	-16	-2	-0,32
Caxias do sul	597346	504069	93277	2754	435,68
Ciríaco	3905	4775	-870	-501	-79,26

Pt: População total/hab: habitantes/Vol: volume.

<b>Município</b>	<b>Pt (2032)</b>	<b>Pt (2018)</b>	<b>Pt (2032-2018)</b>	<b>Acrescimo ou redução P (hab)*</b>	<b>Vol. acrescido m<sup>3</sup>/dia</b>
Colinas	2198	2442	-244	-244	-38,60
Coqueiro baixo	.....	.....	.....	....	....
Coronel pilar	.....	.....	.....	....	....
Cotiporã	3636	3868	-232	-118	-18,67
Cruzeiro do sul	13966	12290	1676	1676	265,14
David canabarro	4698	4744	-46	-46	-7,28
Dois lajeados	3408	3394	14	14	2,21
Doutor ricardo	.....	.....	.....	....	....
Encantado	23062	22520	542	287	45,40
Esmeralda	298	3277	-2979	-17	-2,69
Estrela	37189	33820	3369	3369	532,98
Fagundes varela	2646	2721	-75	-75	-11,87
Farroupilha	83815	71570	12245	1351	213,73
Fazenda vilanova	.....	.....	.....	....	....
Flores da cunha	37419	30430	6989	6989	1105,66
Fontoura xavier	9071	10370	-1299	-221	-34,96
Forquetinha	.....	.....	.....	....	....
Garibaldi	36472	34684	1788	1109	175,44
General câmara	5294	8409	-3115	-705	-111,53
Gentil	1371	1642	-271	-266	-42,08
Guabijú	1443	1516	-73	-73	-11,55
Guaporé	29012	25475	3537	365	57,74
Ibiraiaras	6779	7338	-559	-516	-81,63
Ibirapuitã	2250	4027	-1777	-25	-3,96
Ilópolis	4274	4091	183	183	28,95
Imigrante	2111	3116	-1005	-1005	-158,99
Ipê	6546	6588	-42	-42	-6,64
Itapuca	1742	2125	-383	-383	-60,59
Jaquirana	4127	3773	354	354	56,00

Pt: População total/hab: habitantes/Vol: volume.

<b>Município</b>	<b>Pt (2032)</b>	<b>Pt (2018)</b>	<b>Pt (2032-2018)</b>	<b>Acrescimento ou redução P (hab)*</b>	<b>Vol. acrescido m<sup>3</sup>/dia</b>
Lagoa vermelha	26018	27834	-1816	-133	-21,04
Lajeado	88390	82951	5439	299	47,30
Marau	52851	43435	9416	980	155,04
Marques de souza	.....	.....	.....	....	....
Mato castelhano	2700	2538	162	34	5,38
Mato leitão	5160	4456	704	704	111,37
Montauri	1285	1466	-181	-181	-28,63
Monte alegre dos campos	.....	.....	.....	....	....
Monte belo do sul	2289	2564	-275	-275	-43,51
Montenegro	73320	64788	8532	64	10,12
Muçum	2554	4948	-2394	-2394	-378,73
Muitos capões	.....	.....	.....	....	....
Muliterno	1741	1888	-147	-113	-17,88
Nova alvorada	3879	3586	293	293	46,35
Nova araçá	5308	4690	618	618	97,77
Nova bassano	11190	9824	1366	1366	216,10
Nova bréscia	1724	3321	-1597	-1597	-252,65
Nova pádua	2577	2548	29	29	4,59
Nova prata	31604	26849	4755	943	149,18
Nova roma do sul	3865	3661	204	204	32,27
Paraí	8720	7585	1135	1135	179,56
Passo do sobrado	6687	6493	194	77	12,18
Passo fundo	230596	201767	28829	18	2,85
Paverama	8965	8459	506	505	79,89
Poço das antas	1964	2094	-130	-128	-20,25
Pouso novo	1476	1668	-192	-192	-30,37
Progresso	5456	6249	-793	-793	-125,45
Protásio alves	1666	1957	-291	-291	-46,04
Putinga	3016	3951	-935	-935	-147,92
Relvado	1752	2101	-349	-349	-55,21
Roca sales	11664	11300	364	364	57,58

Pt: População total/hab: habitantes/Vol: volume.

<b>Município</b>	<b>Pt (2032)</b>	<b>Pt (2018)</b>	<b>Pt (2032-2018)</b>	<b>Acrescimo ou redução P (hab)*</b>	<b>Vol. acrescido m<sup>3</sup>/dia</b>
Salvador do sul	7350	7705	-355	-41	-6,49
Santa clara do sul	7476	6522	954	954	150,92
Santa cruz do sul	147552	129427	18125	1021	161,52
Santa tereza	1317	1734	-417	-417	-65,97
Santo antônio do palma	1992	2134	-142	-98	-15,50
São domingos do sul	3303	3065	238	238	37,65
São francisco de paula	22057	21633	424	84	13,29
São jorge	2642	2757	-115	-115	-18,19
São josé do herval	1839	2000	-161	-161	-25,47
São josé dos ausentes	3739	3509	230	13	2,06
São Marcos	24354	21449	2905	431	68,18
São pedro da serra	4614	3758	856	114	18,03
São valentim do sul	1990	2239	-249	-172	-27,21
Serafina correa	21025	17198	3827	730	115,49
Sério	1332	2000	-668	-1	-0,16
Sinimbu	5982	10183	-4201	-1289	-203,92
Soledade	31734	30967	767	61	9,65
Tabaí	.....	.....	.....	....	....
Taquari	27056	26838	218	218	34,49
Teutônia	38433	32676	5757	5757	910,76
Travesseiro	2011	2339	-328	-48	-7,59
Triunfo	34349	29207	5142	5142	813,46
União da serra	346	1192	-846	-239	-37,81
Vacaria	67980	65846	2134	76	12,02
Vale verde	.....	.....	.....	....	....
Vanini	2178	2104	74	38	6,01
Venâncio aires	79221	71117	8104	8104	1282,05
Veranópolis	29345	25936	3409	3409	539,30
Vespasiano correa	.....	.....	.....	....	....
Vila flores	3785	3374	411	411	65,02
Vila maria	4376	4353	23	23	3,64
Vista alegre do prata	1347	1565	-218	-218	-34,49

Westfália	.....	.....	.....	....	....
$\Sigma$ (m <sup>3</sup> /h)					6847,37
$\Sigma$ (m <sup>3</sup> /ano)					2,50

\*O Acréscimo ou redução da população foram calculados considerando o % de população inserido na bacia, a média do % de população rural nos municípios com abastecimento superficial, e o % de abastecimento subterrâneo nos municípios com abastecimento misto.

Apêndice B: % de área população inserida na bacia, da média da população rural e de abastecimento subterrâneo nos casos dos municípios de abastecimento misto, aplicados para a estimativa da demanda furura.

Município	Manancial	% rural			Misto	
		2010	2012	média	% sub	% sup
Água santa	Sub	61%	72%	66%	....	....
André da rocha	Sub	59%	66%	63%	....	....
Anta gorda	Sub	62%	71%	66%	....	....
Antônio prado	Misto	28%	35%	31%	51%	49%
Arroio do meio	Misto	22%	25%	23%	42%	58%
Arvorezinha	Sub	39%	48%	43%	....	....
Barão	Sub	48%	58%	53%	....	....
Barros cassal	Sup	68%	71%	70%	....	....
Bento golçalves	Misto	8%	11%	9%	3%	97%
Boa vista do sul	Sub	86%	89%	87%	....	....
Bom Jesus	Sup	25%	30%	28%	....	....
Bom retiro do sul	Misto	20%	23%	22%	6%	94%
Boqueirão do leão	Sub	78%	81%	79%	....	....
Brochier	Sub	51%	72%	62%	....	....
Camargo	Sub	58%	65%	61%	....	....
Cambará do sul	Misto	54%	55%	54%	21%	79%
Campestre da serra	Sub	62%	67%	65%	....	....
Canudos do vale	Sub	.....	.....	.....	....	....
Capão bonito do sul	Sub	.....	.....	.....	....	....
Capitão	Sub	56%	67%	62%	....	....
Carlos babosa	Sub	21%	26%	23%	....	....
Casca	Sub	41%	51%	46%	....	....
Caseiros	Sub	51%	65%	58%	....	....
Caxias do sul	Sup	4%	7%	6%	....	....

Sub: manancial subterrâneo/Sup: manancial superficial

Município	Manancial	% rural			Misto	
		2010	2012	média	% sub	% sup
Ciríaco	Sub	49%	61%	55%	....	....
Colinas	Sub	54%	58%	56%	....	....
Coqueiro baixo	Sub	.....	.....	.....	....	....
Coronel pilar	Sub	.....	.....	.....	....	....
Cotiporã	Sup	48%	54%	51%	....	....
Cruzeiro do sul	S.I	39%	47%	43%	....	....
David canabarro	Sub	59%	70%	65%	....	....
Dois lajeados	Sub	52%	62%	57%	....	....
Doutor ricardo	Sub	66%	79%	72%	....	....
Encantado	Misto	13%	13%	13%	53%	47%
Esmeralda	Sub	33%	56%	45%	....	....
Estrela	Sub	15%	17%	16%	....	....
Fagundes varela	Sub	50%	56%	53%	....	....
Farroupilha	Sup	13%	23%	18%	....	....
Fazenda vilanova	S.I	46%	57%	52%	....	....
Flores da cunha	Sub	23%	40%	32%	....	....
Fontoura xavier	Misto	62%	71%	66%	17%	83%
Forquetinha	S.I	.....	.....	.....	....	....
Garibaldi	Misto	16%	18%	17%	62%	38%
General câmara	Sup	41%	41%	41%	....	....
Gentil	Sub	57%	73%	65%	....	....
Guabijú	Sub	54%	64%	59%	....	....

Sub: manancial subterrâneo/Sup: manancial superficial

Município	Manancial	% rural			Misto	
		2010	2012	média	% sub	% sup
Guaporé	Sup	9%	12%	10%	....	....
Ibiraiaras	Sub	47%	56%	52%	....	....
Ibirapuitã	Sub	41%	63%	52%	....	....
Ilópolis	Sub	46%	59%	53%	....	....
Imigrante	Sub	50%	68%	59%	....	....
Ipê	Sub	52%	57%	54%	....	....
Itapuca	Sub	76%	83%	80%	....	....
Jaquirana	Sub	42%	42%	42%	....	....
Lagoa vermelha	Sup	16%	21%	18%	....	....
Lajeado	Sup	5%	6%	5%	....	....
Marau	Sup	13%	20%	16%	....	....
Marques de souza	Sub	62%	65%	64%	....	....
Mato castelhano	Sub	79%	84%	81%	....	....
Mato leitão	Sub	58%	60%	59%	....	....
Montauri	Sub	58%	71%	65%	....	....
Monte alegre dos campos	Sub	79%	96%	88%	....	....
Monte belo do sul	Sub	71%	78%	75%	....	....
Montenegro	Sup	10%	11%	10%	....	....
Muçum	Sub	16%	22%	19%	....	....
Muitos capões	Sub	68%	70%	69%	....	....
Muliterno	Sub	72%	77%	74%	....	....
Nova alvorada	Sub	58%	71%	65%	....	....
Nova araçá	Sub	28%	38%	33%	....	....
Nova bassano	Sub	38%	50%	44%	....	....
Nova bréscia	Sub	53%	67%	60%	....	....
Nova pádua	Sub	70%	78%	74%	....	....
Nova prata	Sup	18%	21%	20%	....	....
Nova roma do sul	Sub	53%	61%	57%	....	....
Paraí	Sub	44%	53%	49%	....	....

Sub: manancial subterrâneo/Sup: manancial superficial

Município	Manancial	% rural			Misto	
		2010	2012	média	% sub	% sup
Passo do sobrado	Sub	76%	82%	79%	....	....
Passo fundo	Sup	3%	3%	3%	....	....
Paverama	Sub	49%	53%	51%	....	....
Poço das antas	Sub	57%	62%	60%	....	....
Pouso novo	Sub	66%	71%	69%	....	....
Progresso	S.I	70%	76%	73%	....	....
Protásio alves	Sub	79%	83%	81%	....	....
Putinga	Sub	62%	71%	66%	....	....
Relvado	Sub	72%	72%	72%	....	....
Roca sales	Sub	36%	51%	43%	....	....
Salvador do sul	Sub	41%	54%	47%	....	....
Santa clara do sul	Sub	50%	64%	57%	....	....
Santa cruz do sul	Sup	11%	13%	12%	....	....
Santa tereza	Sub	64%	69%	66%	....	....
Santo antônio do palma	Misto	68%	78%	73%	69%	31%
São domingos do sul	Sub	40%	48%	44%	....	....
São francisco de paula	Sup	37%	38%	37%	....	....
São jorge	Sub	48%	59%	53%	....	....
São josé do herval	Sub	61%	71%	66%	....	....
São josé dos ausentes	Sub	37%	51%	44%	....	....

Sub: manancial subterrâneo/Sup: manancial superficial

Município	Manancial	% rural			Misto	
		2010	2012	média	% sub	% sup
São Marcos	Sup	12%	17%	15%	....	....
São pedro da serra	Sub	57%	58%	57%	....	....
São valentim do sul	Sup	66%	73%	69%	....	....
Serafina correa	Sup	15%	23%	19%	....	....
Sério	Sub	77%	79%	78%	....	....
Sinimbu	Misto	86%	88%	87%	93%	7%
Soledade	Misto	20%	21%	21%	8%	92%
Tabaí	Sup	70%	71%	70%	....	....
Taquari	S.I	16%	20%	18%	....	....
Teutônia	Sub	19%	24%	21%	....	....
Travesseiro	Sup	62%	65%	63%	....	....
Triunfo	Sub	35%	42%	38%	....	....
União da serra	Sup	81%	85%	83%	....	....
Vacaria	Sup	7%	9%	8%	....	....
Vale verde	Sub	73%	78%	75%	....	....
Vanini	Sup	50%	55%	52%	....	....
Venâncio aires	Sub	37%	41%	39%	....	....
Veranópolis	Sub	13%	18%	15%	....	....
Vespasiano correa	Sup	79%	85%	82%	....	....
Vila flores	Sub	58%	66%	62%	....	....
Vila maria	Sub	47%	61%	54%	....	....
Vista alegre do prata	Sub	70%	78%	74%	....	....
Westfália	Sub	.....	.....	.....	....	....

Sub: manancial subterrâneo/Sup: manancial superficial

Apêndice C: % e grau de comprometimento de todas as áreas estudadas, utilizando 100% da recarga.

C1: % e grau de comprometimento de todas as áreas estudadas, utilizando os dados locais, de TA\_Plano e TA\_BH.

Esc	Comp_Tb médio				Comp_Tb 18h			Comp_Tb 24h		
	%	Local	TA_Plano	TA_BH	Local	TA_Plano	TA_BH	Local	TA_Plano	TA_BH
UG	100	6%	11%	5%	9%	17%	8%	12%	23%	11%
UC	100	11%	20%	9%	17%	30%	14%	22%	40%	19%
SARG	100	8%	14%	7%	11%	20%	10%	15%	27%	13%
SARC	100	7%	14%	7%	10%	21%	10%	14%	27%	13%
VM	100	8%	11%	5%	11%	15%	7%	15%	20%	10%
DC	100	8%	16%	8%	12%	24%	11%	16%	32%	15%

C2: % e grau de comprometimento da SARG e de Vila Maria, utilizando os dados locais e de UG.

Esc	Comp_Tb médio			Comp_Tb 18 h		Comp_Tb 24 h	
	%	Local	UG	Local	UG	Local	UG
SARG	100	8%	8%	11%	11%	15%	15%
VM	100	8%	6%	11%	8%	15%	11%

C3: % e grau de comprometimento da SARC e de David Canabarro, utilizando os dados locais e de UC.

Esc	Comp_Tb médio			Comp_Tb 18 h		Comp_Tb 24 h	
	%	Local	UC	Local	UC	Local	UC
SARC	100	6%	8%	8%	12%	11%	15%
DC	100	8%	9%	11%	14%	15%	18%

C4: % e grau de comprometimento de Vila Maria, utilizando os dados locais e de SARG.

Esc	Comp_Tb médio			Comp_Tb 18 h		Comp_Tb 24 h	
	%	Local	SARG	Local	SARG	Local	SARG
VM	100	8%	6%	11%	8%	15%	11%

C5: % e grau de comprometimento de David Canabarro, utilizando os dados locais e de SARC.

Esc	Comp_Tb médio			Comp_Tb 18 h		Comp_Tb 24 h	
	%	Local	SARG	Local	SARC	Local	SARC
DC	100	8%	8%	12%	12%	16%	16%

Apêndice D: % e grau de comprometimento de todas as áreas estudadas, utilizando 75% da recarga.

D1: % e grau de comprometimento de todas as áreas estudadas, utilizando os dados locais, de TA\_Plano e TA\_BH.

Esc	Comp_Tb médio				Comp_Tb 18h			Comp_Tb 24h		
	%	Local	TA_Plano	TA_BH	Local	TA_Plano	TA_BH	Local	TA_Plano	TA_BH
UG	75	8%	15%	7%	12%	23%	11%	16%	30%	14%
UC	75	15%	27%	12%	22%	40%	19%	30%	53%	25%
SARG	75	10%	19%	9%	14%	27%	13%	19%	36%	17%
SARC	75	9%	19%	9%	14%	27%	13%	18%	36%	17%
VM	75	10%	14%	7%	15%	20%	10%	19%	27%	13%
DC	75	11%	22%	10%	16%	32%	15%	21%	43%	20%

D2: % e grau de comprometimento da SARG e de Vila Maria, utilizando os dados locais e de UG.

Esc	Comp_Tb médio			Comp_Tb 18 h		Comp_Tb 24 h	
	%	Local	UG	Local	UG	Local	UG
SARG	75	10%	10%	14%	15%	19%	20%
VM	75	10%	8%	15%	11%	20%	15%

D3: % e grau de comprometimento da SARC e de David Canabarro, utilizando os dados locais e de UC.

Esc	Comp_Tb médio			Comp_Tb 18 h		Comp_Tb 24 h	
	%	Local	UC	Local	UC	Local	UC
SARC	75	8%	11%	11%	15%	15%	20%
DC	75	10%	12%	15%	18%	20%	24%

D4: % e grau de comprometimento de Vila Maria, utilizando os dados locais e de SARG.

Esc	Comp_Tb médio			Comp_Tb 18 h		Comp_Tb 24 h	
	%	Local	SARG	Local	SARG	Local	SARG
VM	75	10%	8%	15%	11%	20%	15%

D5: % e grau de comprometimento de David Canabarro, utilizando os dados locais e de SARC.

Esc	Comp_Tb médio			Comp_Tb 18 h		Comp_Tb 24 h	
	%	Local	SARG	Local	SARG	Local	SARG
DC	75	11%	11%	16%	16%	21%	21%

Apêndice E: % e grau de comprometimento de todas as áreas estudadas, utilizando 50% da recarga.

E1: % e grau de comprometimento de todas as áreas estudadas, utilizando os dados locais, de TA\_Plano e TA\_BH.

Esc	Comp_Tb médio				Comp_Tb 18 h			Comp_Tb 24 h		
	%	Local	TA_Plano	TA_BH	Local	TA_Plano	TA_BH	Local	TA_Plano	TA_BH
UG	50	12%	23%	11%	18%	34%	16%	24%	45%	21%
UC	50	23%	40%	19%	34%	60%	28%	45%	80%	37%
SARG	50	15%	29%	13%	22%	41%	19%	29%	55%	25%
SARC	50	14%	28%	13%	20%	41%	19%	27%	55%	25%
VM	50	15%	22%	10%	22%	31%	14%	29%	41%	19%
DC	50	16%	33%	15%	24%	48%	23%	32%	64%	30%

E2: % e grau de comprometimento da SARG e de Vila Maria, utilizando os dados locais e de UG.

Esc	Comp_Tb médio			Comp_Tb 18 h		Comp_Tb 24 h	
	%	Local	UG	Local	UG	Local	UG
SARG	50	15%	16%	22%	22%	29%	29%
VM	50	15%	12%	22%	17%	29%	22%

E3: % e grau de comprometimento da SARC e de David Canabarro, utilizando os dados locais e de UC.

Esc	Comp_Tb médio			Comp_Tb 18 h		Comp_Tb 24 h	
	%	Local	UG	Local	UC	Local	UC
SARC	50	14%	16%	20%	23%	27%	31%
DC	50	16%	18%	24%	27%	32%	36%

E4: % e grau de comprometimento de Vila Maria, utilizando os dados locais e de SARG.

Esc	Comp_Tb médio			Comp_Tb 18 h		Comp_Tb 24 h	
	%	Local	SARG	Local	SARG	Local	SARG
VM	50	15%	11%	22%	16%	29%	22%

E5: % e grau de comprometimento de David Canabarro, utilizando os dados locais e de SARC.

Esc	Comp_Tb médio			Comp_Tb 18 h		Comp_Tb 24 h	
	%	Local	SARC	Local	SARC	Local	SARC
DC	50	16%	16%	24%	24%	32%	32%

## 10. ANEXOS

Anexo A: : % da população inserida na bacia.

<b>Município</b>	<b>Manancial</b>	<b>% de População residente bacia</b>
Água santa	Subterrâneo	2%
André da rocha	Subterrâneo	100%
Anta gorda	Subterrâneo	100%
Antônio prado	Misto	100%
Arroio do meio	Misto	100%
Arvorezinha	Subterrâneo	100%
Barão	Subterrâneo	44%
Barros cassal	Superficial	52%
Bento golçalves	Misto	100%
Boa vista do sul	Subterrâneo	100%
Bom Jesus	Superficial	31%
Bom retiro do sul	Misto	100%
Boqueirão do leão	Subterrâneo	56%
Brochier	Subterrâneo	31%
Camargo	Subterrâneo	100%
Cambará do sul	Misto	87%
Campestre da serra	Subterrâneo	100%
Canudos do vale	Subterrâneo	100%
Capão bonito do sul	Subterrâneo	6%
Capitão	Subterrâneo	100%
Carlos babosa	Subterrâneo	54%
Casca	Subterrâneo	100%
Caseiros	Subterrâneo	13%
Caxias do sul	Superficial	53%
Ciríaco	Subterrâneo	76%

Fonte: STE, 2011.

<b>Município</b>	<b>Manancial</b>	<b>% de População residente bacia</b>
Colinas	Subterrâneo	100%
Coqueiro baixo	Subterrâneo	100%
Coronel pilar	Subterrâneo	100%
Cotiporã	Superficial	100%
Cruzeiro do sul	S.I	100%
David Canabarro	Subterrâneo	100%
Dois lajeados	Subterrâneo	100%
Doutor Ricardo	Subterrâneo	100%
Encantado	Misto	100%
Esmeralda	Subterrâneo	1%
Estrela	Subterrâneo	100%
Fagundes varela	Subterrâneo	100%
Farroupilha	Superficial	61%
Fazenda vilanova	S.I	100%
Flores da cunha	Subterrâneo	100%
Fontoura xavier	Misto	100%
Forquetinha	S.I	100%
Garibaldi	Misto	100%
General câmara	Superficial	55%
Gentil	Subterrâneo	99%
Guabijú	Subterrâneo	100%
Guaporé	Superficial	100%
Ibiraiaras	Subterrâneo	96%
Ibirapuitã	Subterrâneo	12%
Ilópolis	Subterrâneo	100%
Imigrante	Subterrâneo	100%
Ipê	Subterrâneo	100%
Itapuca	Subterrâneo	100%
Jaquirana	Subterrâneo	100%

Fonte: STE, 2011.

<b>Município</b>	<b>Manancial</b>	<b>% de População residente bacia</b>
Lagoa vermelha	Superficial	40%
Lajeado	Superficial	100%
Marau	Superficial	64%
Marques de souza	Subterrâneo	100%
Mato castelhano	Subterrâneo	46%
Mato leitão	Subterrâneo	100%
Montauri	Subterrâneo	100%
Monte alegre dos campos	Subterrâneo	97%
Monte belo do sul	Subterrâneo	100%
Montenegro	Superficial	7%
Muçum	Subterrâneo	100%
Muitos capões	Subterrâneo	98%
Muliterno	Subterrâneo	88%
Nova alvorada	Subterrâneo	100%
Nova araçá	Subterrâneo	100%
Nova bassano	Subterrâneo	100%
Nova bréscia	Subterrâneo	100%
Nova pádua	Subterrâneo	100%
Nova prata	Superficial	100%
Nova roma do sul	Subterrâneo	100%
Paraí	Subterrâneo	100%
Passo do sobrado	Subterrâneo	63%
Passo fundo	Superficial	2%
Paverama	Subterrâneo	100%
Poço das antas	Subterrâneo	99%
Pouso novo	Subterrâneo	100%
Progresso	S.I	100%
Protásio alves	Subterrâneo	100%
Putinga	Subterrâneo	100%
Relvado	Subterrâneo	100%
Roca sales	Subterrâneo	100%

Fonte: STE, 2011.

<b>Município</b>	<b>Manancial</b>	<b>% de População residente bacia</b>
Salvador do sul	Subterrâneo	34%
Santa clara do sul	Subterrâneo	100%
Santa cruz do sul	Superficial	47%
Santa tereza	Subterrâneo	100%
Santo antônio do palma	Misto	100%
São domingos do sul	Subterrâneo	100%
São francisco de paula	Superficial	53%
São Jorge	Subterrâneo	100%
São josé do herval	Subterrâneo	100%
São josé dos ausentes	Subterrâneo	24%
São Marcos	Superficial	100%
São pedro da serra	Subterrâneo	37%
São valentim do sul	Superficial	100%
Serafina correa	Superficial	100%
Sério	Subterrâneo	4%
Sinimbu	Misto	33%
Soledade	Misto	100%
Tabaí	Superficial	100%
Taquari	S.I	100%
Teutônia	Subterrâneo	100%
Travesseiro	Superficial	23%
Triunfo	Subterrâneo	100%
União da serra	Superficial	34%
Vacaria	Superficial	47%
Vale verde	Subterrâneo	100%
Vanini	Superficial	98%
Venâncio aires	Subterrâneo	100%
Veranópolis	Subterrâneo	100%
Vespasiano correa	Superficial	100%
Vila flores	Subterrâneo	100%
Vila maria	Subterrâneo	100%
Vista alegre do prata	Subterrâneo	100%
Westfália	Subterrâneo	100%

Fonte: STE, 2011.