

Avaliação de perímetros de proteção microbiológica em poços tubulares e ponteira utilizados para abastecimento no sistema aquífero costeiro do Rio Grande do Sul

Evaluation of microbiological protection perimeters in tubular and tip wells used for supply in the coastal aquifer system of Rio Grande do Sul

Suzy Darley de Lima¹, Pedro Antonio Roehe Reginato², Alfonso Risso³,
Aron Jonatã Funke⁴

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, suzyd.lima@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, pedro.reginato@ufrgs.br

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, alfonso.risso@ufrgs.br

⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, aron.funke@ufrgs.br

Recebido:

19 de outubro de 2025

Recebido no formato de revisão:

12 de dezembro de 2025

Aceito:

12 de dezembro de 2026

Disponível online:

05 de março de 2026

Seção:

Artigos

Palavras-chave:

Perímetro mínimo de proteção.

Contaminação.

Água subterrânea.

Hidrogeologia.

Gestão.

Keywords:

Minimum protection perimeter.

Contamination.

Groundwater.

Hydrogeology.

Management.

<https://doi.org/10.14295/ras.v40i1.30374>



RESUMO

A água subterrânea é essencial ao abastecimento em regiões costeiras, garantindo segurança hídrica e desenvolvimento socioeconômico. Na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), o Sistema Aquífero Costeiro (SAC) representa manancial estratégico para consumo humano. Este estudo propôs critérios para delimitar Perímetros de Proteção Microbiológica de 36 poços tubulares e 17 ponteira instalados na área do SAC, destinados ao abastecimento público e doméstico. Foram analisados dados de poços do SIAGAS (CPRM/SGB), complementados por revisão bibliográfica e avaliação de perfis geológicos e construtivos. Aplicou-se o Método do Raio Fixo Calculado para estimar o perímetro de proteção. Os poços tubulares apresentaram raios entre 18,73 m e 176,2 m (média 74 m). Cerca de 81% dos poços exibiram raios >50 m, associados a vazões médias de 1559 m³/d, enquanto 19% apresentaram vazões geralmente ≤ 266 m³/d. Observou-se correlação direta entre vazão e raio até aproximadamente 1500 m³/d, com tendência de estabilização em valores superiores. A espessura saturada teve influência secundária, contribuindo para pequenas variações. Para poços ponteira, comuns em uso doméstico, consideraram-se tempo de bombeamento entre 0,5 e 2 h/d, vazões entre 0,3 e 4 m³/d e espessura saturada média de 2 m. Os perímetros estimados variaram entre 3 e 11 m. Em áreas com alta densidade de poços e ausência de redes de esgoto, mesmo pequenas captações podem gerar zonas de influência relevantes, ampliando o risco de contaminação microbiológica. Recomenda-se adotar perímetros mínimos de 50 m para poços tubulares com vazões até 360 m³/d e 8 m para poços ponteira com vazões até 2 m³/d. Conclui-se que o método aplicado é adequado como ferramenta preventiva na gestão e proteção de captações subterrâneas em áreas costeiras vulneráveis.

ABSTRACT

Groundwater is an essential source of supply in coastal regions, ensuring water security and local socioeconomic development. In the Coastal Plain of Rio Grande do Sul (CPRGS), the Coastal Aquifer System (CAS) represents a strategic water source. Given its importance for human water supply, this study aimed to propose criteria for delimiting the Microbiological Protection Perimeters of 36 tubular wells and 17 tip wells installed in the SAC area, intended for public and domestic water supply. Well data obtained from SIAGAS (CPRM/SGB) were analyzed, supplemented by a literature review and analysis of geological and construction profiles. The Calculated Fixed Radius Method was applied to estimate the protection perimeter. The results showed radii between 18.73 m and 176.2 m (average 74 m) for tubular wells. Approximately 81% of the wells had radii >50 m, associated with average flow rates of 1,559 m³/d, while 19% had lower flows, generally ≤ 266 m³/d. A direct correlation was observed between flow rate and the protection radius up to approximately 1,500 m³/d, with a tendency to stabilize at higher flow rates. The saturated thickness had a secondary influence, but contributed to small variations in the estimated perimeters. For the tip wells, widely used for domestic use, the estimates were made considering a pumping time between 0.5 and 2 h/d, flow rates between 0.3 and 4 m³/d, and an average saturated depth of 2 m. The results indicated perimeters between 3 and 11 m. The study showed that, in areas with a high well density and lack of sewage networks, even small intakes can generate significant zones of influence, increasing the risk of microbiological contamination. It is recommended to adopt minimum perimeters of 50 m for tubular wells with flow rates up to 360 m³/d and 8 m for tip wells with flow rates up to 2 m³/d. The conclusion is that the applied method is suitable as a preventive tool for the management and protection of groundwater intakes in vulnerable coastal areas.

1. INTRODUÇÃO

A água subterrânea constitui um recurso essencial para o abastecimento em regiões costeiras, desempenhando papel estratégico no fornecimento de água para consumo humano e atividades econômicas. Contudo, a crescente exploração e exploração, o uso inadequado do solo e a carência ou ineficiência de sistema de saneamento básico têm aumentado a suscetibilidade desse recurso à contaminação (Zoby, 2008).

Neste cenário de vulnerabilidade, a proteção microbiológica das captações emerge como a prioridade em saúde pública, focando na prevenção da chagada de patógenos (vírus, bactérias e protozoários) ao poço. A estratégia para essa finalidade é a delimitação das Zonas de Proteção nas Captações, onde a Zona de Proteção Microbiológica é definida através do tempo de trânsito do contaminante. Este tempo estabelece o período necessário para que um patógeno se desloque até a captação, adotando geralmente entre 50 e 100 dias, antes que atinja a fonte de água captada (Goldscheider, 2010; Paris *et al.*, 2019).

A definição desses perímetros pode ser realizada por diferentes metodologias, incluindo abordagens simplificadas baseadas em raios fixos ou em cálculos do raio de influência. Guedes Junior (2005), por exemplo, sugere o uso do método do Raio de Influência para aquíferos costeiros arenosos, calculando um raio de 279 m para um poço com vazão de 34,41 m³/h. Iritani e Ezaki (2010) propuseram um raio de proteção de 30 m para poços no aquífero sedimentar litorâneo de São Paulo, considerando vazões de aproximadamente 360 m³/d e bombeamento contínuo.

Na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), região que se estende por aproximadamente 620 km entre os municípios de Chuí (ao Sul) até Torres (ao Norte), há alta probabilidade de ocorrência de água subterrânea (Machado; Freitas, 2005) e constitui uma reserva hídrica de grande relevância para toda a faixa litorânea do Estado, sendo fundamental para o abastecimento público e privado.

Ao longo dos anos, esse sistema aquífero recebeu diferentes denominações, como "Sistema Aquífero Cenozóico" (Lisboa *et al.*, 2004), "Sistemas Aquíferos Quaternário Costeiro I e II" (Machado; Freitas, 2005) e, mais recentemente, "Sistema Aquífero Costeiro (SAC)" (Troian, 2021). As águas do SAC são amplamente utilizadas para o consumo humano e sustentam atividades econômicas fundamentais, como a irrigação, a dessedentação de animais e uso industrial, evidenciando a forte dependência da população em relação a esse recurso e a necessidade de uma gestão sustentável diante de sua vulnerabilidade natural e antrópica (Camargo, 2016; Troian *et al.*, 2020; Trindade 2022).

Fora dos centros urbanos, essa dependência torna-se ainda mais evidente, uma vez que o abastecimento da população da planície costeira é frequentemente realizado por poços ponteira, construídos de forma artesanal, sem controle técnico ou sanitário, e muitas vezes próximos a fossas sépticas construídas fora das especificações técnicas (Troian, 2021). Essa realidade pode alterar a composição das águas subterrâneas, agravando a sua poluição (Paim, 2017; Reginato *et al.*, 2008; Reginato; Michalski, 2013;).

Corroborando com essa preocupação, Drage (2022) identificou que os poços domésticos geralmente estão situados próximos a fontes potenciais de contaminação, como sistemas sépticos, áreas de disposição de resíduos, criações de animais, postos de combustíveis e lavanderias, ampliando a vulnerabilidade das captações. Esses estudos reforçam a necessidade de adoção de medidas preventivas que assegurem a proteção das captações destinadas ao abastecimento humano.

No estado Rio Grande do Sul, a proteção dos poços é regulamentada pelo Decreto Estadual nº 52.035/2014, que estabelece o Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (PIPS) e prevê a possibilidade de delimitação de um Perímetro de Alerta (PA), definido com base em estudos hidrogeológicos e no tempo de trânsito de poluentes. Entretanto, observa-se a ausência de parâmetros técnicos específicos para a definição desses perímetros, especialmente em áreas onde predominam poços de pequeno porte e de uso doméstico.

Somente o Perímetro Imediato de Proteção Sanitária é definido por um raio arbitrário, sem considerar as condições locais de vulnerabilidade, o tipo de aquífero ou as características construtivas e operacionais dos poços.

Além disso, não há definição normativa para perímetros de proteção microbiológica em nenhum tipo de poço, o que resulta em lacunas na aplicação de medidas efetivas de prevenção à contaminação.

Diante desse contexto, o presente estudo propõe critérios mínimos para a definição de perímetros de proteção microbiológica em poços tubulares e ponteira, com o intuito de subsidiar a gestão sustentável e a segurança da água subterrânea utilizada na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS). Esses critérios visam complementar o marco legal existente, oferecendo uma base técnica que permita a adoção de distâncias de proteção mais adequadas às condições hidrogeológicas locais e ao risco potencial de contaminação microbiológica, especialmente em áreas de maior vulnerabilidade e alta densidade de ocupação humana.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está situada na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), com incidência de depósitos de sedimentos (areias, siltes, argilas) e de matéria orgânica (turfas), sendo caracterizada como uma região de terras baixas e ocorrências de depressões formadas por água doce localizadas na borda litorânea, conhecidas como ambientes lagunares (Villwock; Tomazelli, 1995). A PCRS é formada por sedimentos cenozóicos e quaternários de origem eólica, marinha e lagunar, estando associado às camadas de sedimentos depositadas quando do desenvolvimento dos sistemas laguna-barreira I, II, III e IV (Villwock; Tomazelli, 1995).

O clima predominante é o subtropical úmido (Cfa), caracterizado por chuvas bem distribuídas ao longo do ano e temperaturas amenas (Kuinchtner; Buriol, 2001).

Do ponto de vista hidrogeológico, o Sistema Aquífero Costeiro (SAC), inserido na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, é constituído por aquíferos porosos, com comportamento livre, semi-confinado e confinado, localizados em diferentes camadas arenosas intercaladas por sedimentos silteosos, argilosos e orgânicos (Machado; Freitas, 2005; Troian, 2021). A hidroquímica dessas águas é geralmente de baixo teor salino, evidenciando a existência de três grupos de águas: bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, bicarbonatadas sódicas e águas sulfatadas ou cloretadas sódicas, mas apresenta riscos potenciais de salinização (intrusão marinha, devido à superexploração) e de contaminação por nitrato e patógenos, especialmente em áreas com alta dependência (parcial ou total) do recurso para o abastecimento público (municípios como Capivari do Sul, Tramandaí etc.) e atividades econômicas essenciais, como a irrigação de lavouras e o uso industrial (Camargo, 2016; Reginato *et al.*, 2009; Troian *et al.*, 2020; Trindade, 2022).

A pesquisa ocorre, especificamente, na porção do Sistema Aquífero Costeiro (SAC) localizada na região do litoral médio e norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS). Esta área de estudo abrange a faixa entre os municípios de São José do Norte e Torres, estendendo-se por aproximadamente 406 km de extensão, com uma área total de 7.738,655 km². Esta delimitação geográfica inclui a seção do SAC com maior adensamento urbano e atividade econômica, o que resulta em maior pressão sobre o recurso hídrico subterrâneo. A análise é direcionada aos poços que captam água deste sistema, visto sua importância estratégica para o abastecimento público e privado da região (Figura 1).

Inicialmente, foi realizado o levantamento das informações referentes aos poços de abastecimento público existentes na área de estudo. Essa etapa incluiu a revisão de trabalhos anteriores desenvolvidos na região, com o objetivo de promover a familiarização com o tema, compreender as características hidrogeológicas locais e reunir subsídios técnicos que contribuíssem para o desenvolvimento da pesquisa.

Em seguida, foram reunidos dados provenientes de diversas fontes, incluindo a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), a Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA) e o banco de dados de projetos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisas Águas Subterrâneas do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH).

Além disso, foram consultadas empresas de perfuração que disponibilizaram informações hidrogeológicas, bem como perfis geológicos e construtivos de poços ponteira. Também foi realizado um levantamento com essas empresas para obter detalhes sobre a forma tradicional de construção desse tipo de poço, como a espessura dos filtros utilizados, as vazões típicas e outros parâmetros técnicos relevantes.

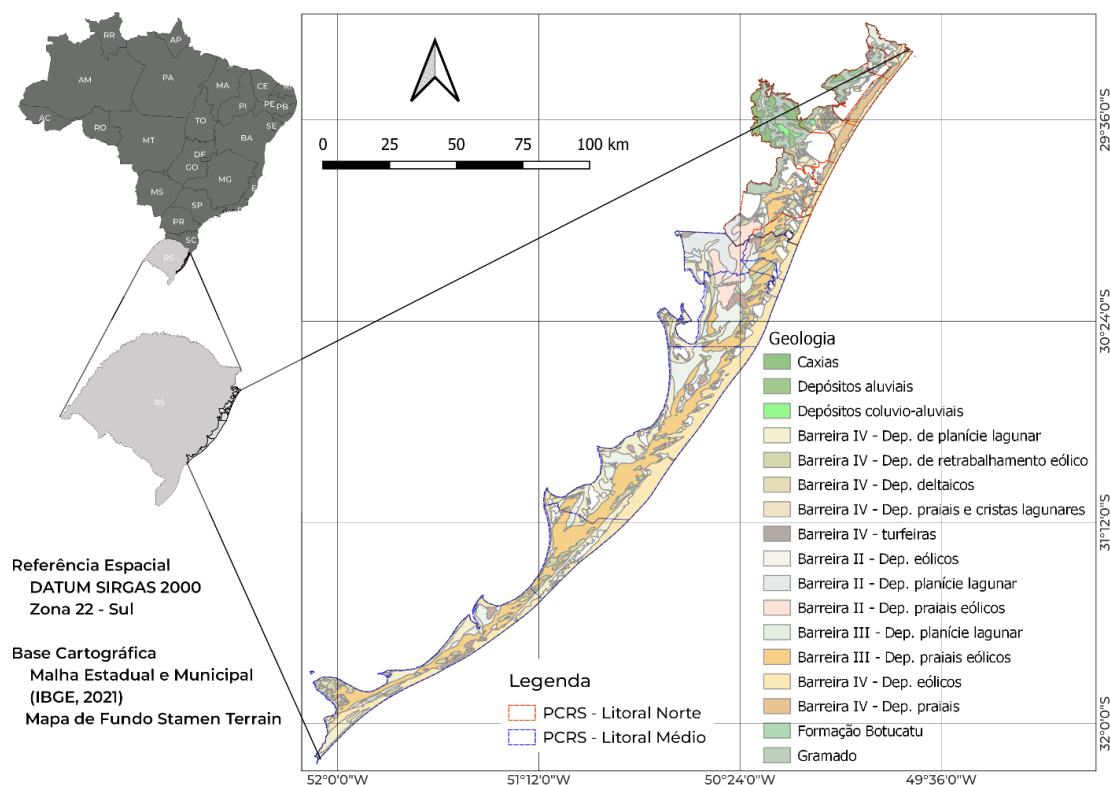


Figura 1. Localização da área de estudo e geologia

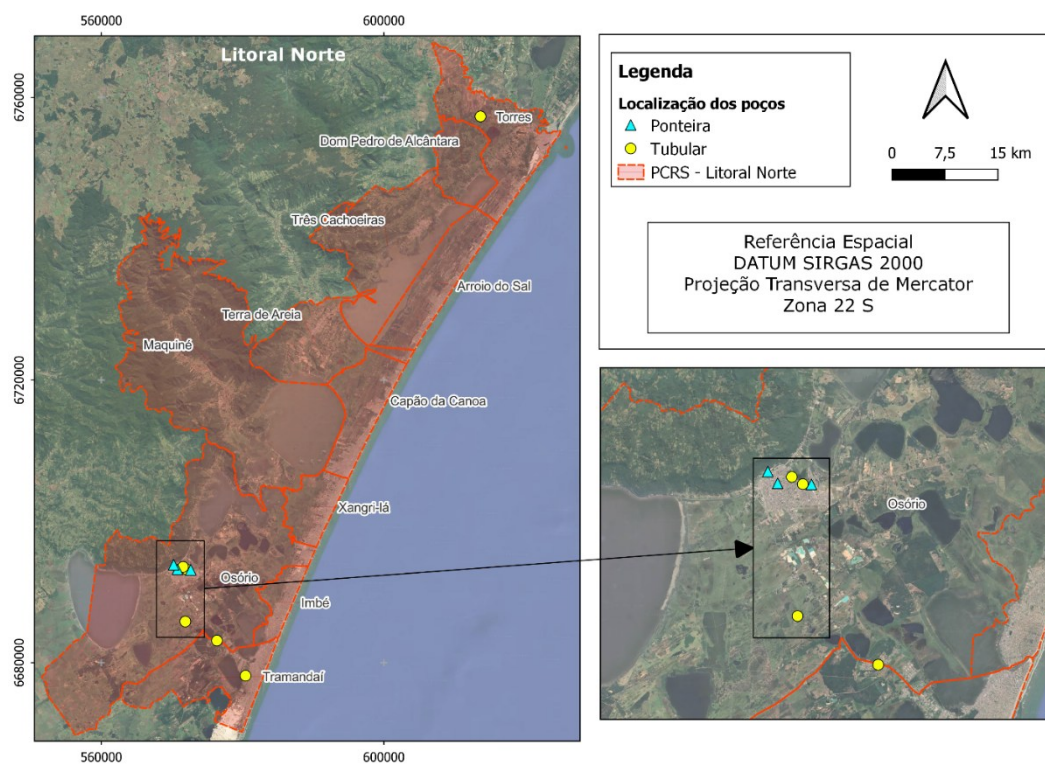


Figura 2. Distribuição espacial dos poços selecionados no Litoral Norte da PCRS

A partir dessa base, foi elaborado um banco de dados específico dos poços que captam água no Sistema Aquífero Costeiro (SAC), sendo excluídos aqueles associados a outros sistemas aquíferos, como Serra Geral e Guarani.

Durante o processo de organização dos dados, registros duplicados foram consolidados em um único poço, priorizando-se as informações mais recentes. O banco de dados final contemplou as seguintes variáveis: coordenadas geográficas para localização dos poços; natureza da captação; uso da água subterrânea; situação dos poços

(ativo, inativo, abandonado etc.); dados construtivos e litológicos; informações hidrogeológicas e resultados de análises de água, quando disponíveis.

Com base nesse conjunto de informações, foram selecionados 53 poços para delimitação dos perímetros mínimos de proteção microbiológica dos poços, sendo 36 do tipo tubular e 17 ponteira, onde todos são utilizados para o abastecimento público e doméstico. No Litoral Norte, os poços estão concentrados nos municípios de Torres, Osório e Tramandaí (Figura 2).

As imagens ampliadas apresentadas nas Figuras 2 e 3 permitem melhor visualização da distribuição dos poços nas respectivas áreas, destacando regiões onde a proximidade entre as captações resulta em sobreposição na imagem geral de localização.

No Litoral Médio, os poços estão concentrados nos municípios de Cidreira, Balneário Pinhal, Capivari do Sul, Palmares do Sul, Mostardas, Tavares e São José do Norte (Figura 3).

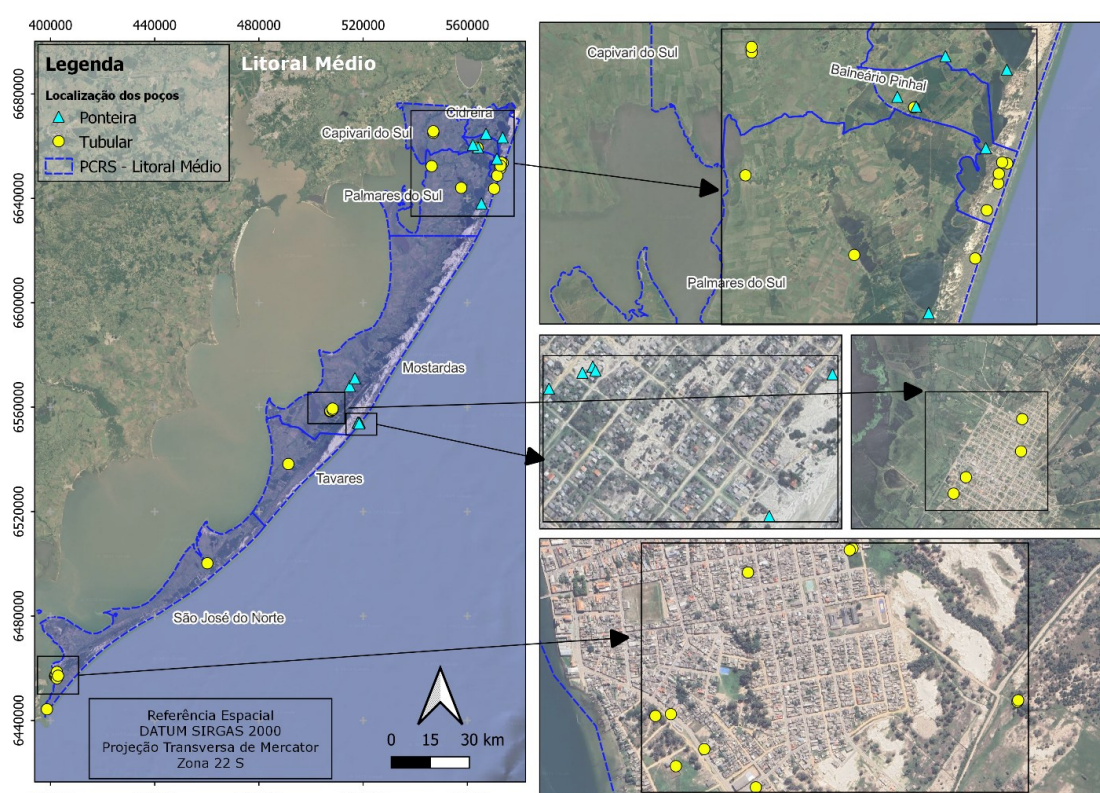


Figura 3. Distribuição espacial dos poços selecionados no Litoral Médio da PCRS

Nesse estudo optou-se por delimitar o perímetro de proteção microbiológica do poço aplicando o método de Raio Fixo Calculado – RFC (USEPA, 1987). Onde o raio ao redor poço foi definido através da aplicação da equação volumétrica.

$$r = \sqrt{\frac{Q t}{\pi n_e b}} \quad (1)$$

Sendo: r = raio do perímetro de proteção (m); Q = vazão de exploração (m^3/dia); t = tempo de trânsito (dias), n_e = porosidade efetiva; b = espessura saturada (m), sendo a seção filtrante de bombeamento da água do aquífero; $\pi = 3,1416$.

Para os poços tubulares, a vazão de exploração diária foi obtida dos projetos de bombeamento. O tempo de trânsito (t) adotado para todos os poços foi de 50 dias, correspondente ao período necessário para a proteção microbiológica, ou seja, o tempo máximo para que uma partícula de água situada no limite do perímetro alcance o poço (Iritani; Ezaki, 2012).

O valor da porosidade efetiva (n_e) do aquífero foi estimado com base nas informações das camadas correspondentes à seção filtrante de cada poço, utilizando os dados de perfilagem apresentados por Funke (2025). A espessura da seção filtrante (b) foi definida individualmente a partir da análise dos perfis construtivos disponíveis. Para os poços que não apresentaram informações específicas de bombeamento, foi considerado um tempo médio de operação diária de 18 horas, refletindo uma condição típica de uso contínuo em sistemas de abastecimento público.

No caso dos poços ponteira, amplamente utilizados para abastecimento doméstico na Planície Costeira, a metodologia foi adaptada em função da ausência de perfis geológicos e construtivos. Assim, foram definidos quatro cenários de bombeamento representativos, com vazões $Q1 = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$; $Q2 = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$; $Q3 = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ e $Q4 = 2,0 \text{ m}^3/\text{h}$, e tempos de bombeamento correspondentes de 0,5h; 1,0h; 1,5h e 2,0h por dia. Esses valores refletem as condições típicas de uso doméstico, caracterizadas por curtos períodos de operação e baixas vazões. O tempo de trânsito (t) adotado foi de 50 dias.

A porosidade efetiva (n_e) média adotada foi de 27%, considerando estudos regionais que indicam valores entre 20% para camadas arenosas de aquíferos livres (Funke, 2025) e até 35% encontrados na unidade estratigráfica 1 (UH1) determinado nos estudos realizados no SAC por Troian (2021). A espessura da seção filtrante (b) foi fixada em 2 metros, correspondente ao padrão construtivo mais comum em poços ponteira do litoral do Rio Grande do Sul.

Os dados obtidos para os poços tubulares e ponteira foram organizados em planilhas e submetidos a análises estatísticas descritivas e de correlação entre as variáveis hidrogeológicas e construtivas (vazão e espessura da seção filtrante) e os raios de proteção calculados. Essa abordagem permitiu estabelecer faixas de vazão e valores médios de raios que serviram de base para a proposição dos perímetros mínimos de proteção microbiológica recomendados neste estudo, diferenciados para poços tubulares e ponteira, conforme as condições hidrogeológicas típicas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Perímetro de Alerta (PA) foi determinado para os 36 poços tubulares destinados à captação de água subterrânea utilizada no abastecimento urbano e doméstico. Os valores dos raios calculados apresentaram variação entre 18,73 e 176,17 m com base nas características hidrogeológicas descritas nos perfis construtivos e geológicos de cada poço, conforme indicado na Tabela 1.

Observou-se que a média do perímetro de alerta na área de interesse foi de aproximadamente 74 m, para os poços tubulares (Tabela 2), sendo que 81% dos poços analisados apresentaram PA superior a 50 m, associados a vazões médias de $1559 \text{ m}^3/\text{d}$, o que demandou maiores áreas de proteção. Em contrapartida, 19% dos poços apresentaram PA inferiores a 50 m, caracterizados por vazões reduzidas ($< 266 \text{ m}^3/\text{d}$) e, em alguns casos, maior espessura saturada.

Para a região costeira do estado de São Paulo, Iritani e Ezaki (2010) sugerem a aplicação de raios de proteção de 30 m para poços instalados em regiões do aquífero sedimentar litorâneo, considerando vazões em torno de $360 \text{ m}^3/\text{d}$ e tempo de bombeamento de 24 horas.

Nos estudos feitos por Guedes Junior (2005), o autor propõe uma alternativa para o cálculo do raio de proteção baseada no método do Raio de Influência, especialmente aplicável a aquíferos costeiros compostos por depósitos arenosos homogêneos e com nível freático raso, condições que favorecem maior precisão e menor custo na instalação e monitoramento dos poços. Na pesquisa o raio de influência calculado pelo autor foi de 279 m, para um poço com bombeamento aproximado de 24 h a uma vazão de $34,41 \text{ m}^3/\text{h}$ em uma região de aquífero heterogêneo.

Os resultados obtidos no SAC indicam valores de PA superiores aos observados na região costeira de São Paulo, o que pode estar relacionado às maiores vazões médias e à heterogeneidade dos depósitos arenosos que compõem a planície litorânea. Essa variação reflete as diferenças nas condições hidrogeológicas locais,

como espessura saturada e regime de exploração dos poços, reforçando a importância de critérios regionais específicos para a delimitação de perímetros de proteção adequados a realidade do SAC.

Tabela 1 – Poços tubulares selecionados para avaliação dos Perímetros de Alerta e resultados dos Perímetros Estimados

POÇOS TUBULARES – METODO RFC (tempo de trânsito = 50 dias)								
Poço	Q (m³/h)	T (h)	Q (m³/d)	n_e (%)	b (m)	Raio (m)	PA (m)	Uso
2950	60	18	1080	27,2	16	62,85	63	Abs. Urbano
8557	80	18	1440	25,9	12	85,77	86	Abs. Domést.
8558	133,8	18	2408	27,2	15	96,93	97	Abs. Urbano
8560	150	18	2700	27,0	16	99,70	100	Abs. Urbano
8561	128,57	18	2314	27,2	16	92,00	92	Abs. Domést.
9515	35	18	630	26,8	6	78,97	79	Abs. Urbano
9520	100	18	1800	25,8	8	117,81	118	Abs. Urbano
9522	15,32	18	275,7	28,8	7	46,66	47	Abs. Urbano
9523	10	18	180	28,8	8	35,26	36	Abs. Urbano
9527	14	18	252	28,8	10	37,32	38	Abs. Urbano
9529	14,2	18	255,6	28,8	4	59,42	60	Abs. Urbano
9532	60	18	1080	23,3	7	102,66	103	Abs. Urbano
9533	150	18	2700	23,3	15	110,88	111	Abs. Urbano
9556	30	18	540	28,8	4	86,37	87	Abs. Domést.
9557	30	18	540	28,8	8	61,08	62	Abs. Domést.
9558	60	18	1080	28,8	8	86,37	87	Abs. Domést.
9559	10,3	18	185,4	28,8	5	45,27	46	Abs. Domést.
9560	27,8	18	500,4	28,8	12	48,00	49	Abs. Urbano
17379	150	18	2700	21,8	16	111,00	111	Abs. Urbano
20637	5	10	50	28,8	3	30,35	31	Abs. Urbano
21195	25	16	400	28,8	4	74,34	75	Abs. Urbano
21247	100	18	1800	27,0	20	72,77	73	Abs. Urbano
21249	60	16	960	26,8	20	53,39	54	Abs. Urbano
21251	55	18	990	28,8	8	82,70	83	Abs. Urbano
21252	50	18	900	28,8	4	111,51	112	Abs. Urbano
21899	6,5	18	117	26,5	20	18,73	19	Abs. Urbano
25118	200	18	3600	28,1	21	98,54	99	Abs. Urbano
25398	200	18	3600	24,8	28	90,87	91	Abs. Urbano
26471	200	16	3200	28,1	25	85,15	86	Abs. Urbano
27005	10	16	160	28,8	5	42,05	43	Abs. Urbano
27399	15	14	210	28,8	8	38,09	39	Abs. Urbano
27400	80	18	1440	28,8	8	99,74	100	Abs. Urbano
27401	45	14	630	28,8	15	48,18	49	Abs. Urbano
27403	30	18	540	28,8	4	86,37	87	Abs. Urbano
27405	20	18	360	28,8	8	49,87	50	Abs. Urbano
28460	15	18	270	28,4	2	86,98	87	Abs. Urbano

Tabela 2 – Análise estatística dos perímetros de proteção dos poços tubulares

	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
PA	74	81	26,8	19	118,00
Q (m³/d)	1164	765	1068	50	3600
Q (m³/h)	66	48	60,3	5	200

A relação entre a vazão dos poços e o perímetro de proteção, apresentada no gráfico de dispersão da Figura 4, evidencia uma tendência positiva, indicando que poços com maiores vazões demandam perímetros de proteção mais amplos. Esse comportamento pode ser explicado pela maior área de influência gerada pelo bombeamento, o que amplia o cone de rebaixamento e, conseqüentemente, o raio de captação de água subterrânea.

Observa-se no gráfico que os poços com vazões acima de 128 m³/h (> 2000 m³/d) apresentam PPP superiores a 80 m, enquanto aqueles com vazões entre 5,0 m³/h e 20 m³/h (≤ 360 m³/d), tendem a ter variação no PPP de 19 m até aproximadamente 87 m, com perímetro médio de 45 m.

Essa correlação positiva indica que a vazão atua como um fator determinante na definição da área de proteção até certo ponto, uma vez que o aumento da vazão está associado à ampliação proporcional do raio de proteção até cerca de aproximadamente 80 m³/h (1500 m³/d). Esse comportamento é esperado, pois poços que captam maiores volumes de água demandam uma maior área de proteção para minimizar o risco de contaminação a água subterrânea.

Contudo, para vazões elevadas superiores a 128 m³/h (> 2000 m³/d), observa-se uma tendência de estabilização do raio do perímetro entre 86 e 111 m, indicando que o aumento do PPP não ocorre de forma linear com a vazão. Essa estabilização sugere que outros fatores hidrogeológicos acabam tendo influência no dimensionamento do perímetro.

Assim, a relação entre PPP mostra-se mais complexa em poços de maior capacidade, refletindo o efeito combinado das condições construtivas e das características hidráulicas locais do aquífero.

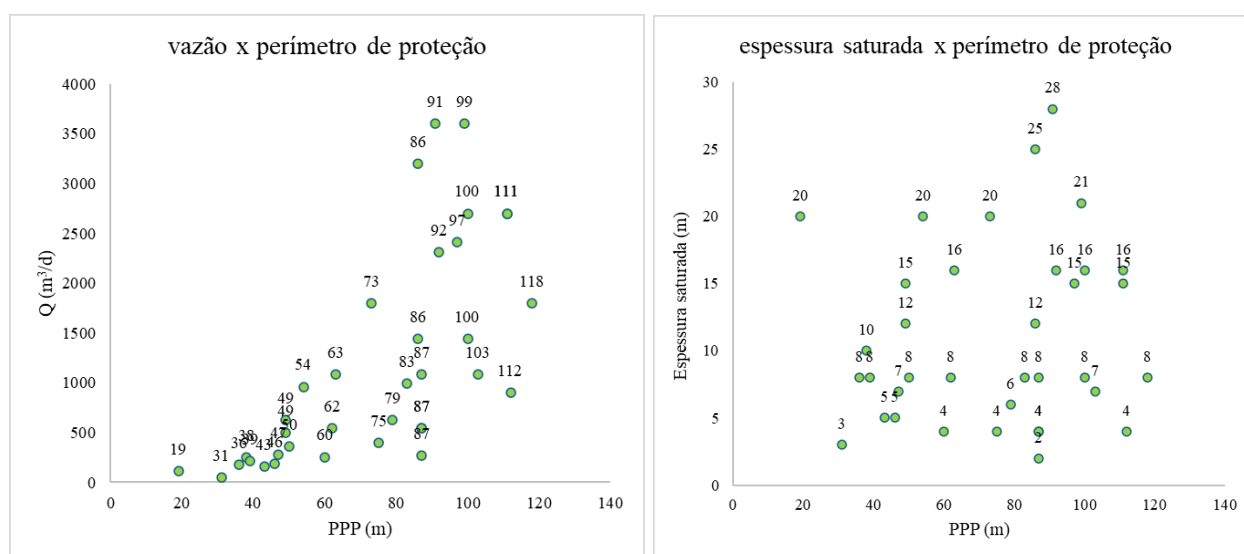


Figura 4. Correlação entre o perímetro de proteção dos poços tubulares e a vazão e espessura saturada

Comportamento semelhante foi encontrado no trabalho de Bofill (2021), onde o autor conclui que alguns poços, analisados no aquífero costeiro no município de Jaguaruna SC, apresentaram perímetros de proteção consideravelmente maiores, mesmo que suas vazões sejam as mesmas da maioria dos demais poços e em alguns casos a vazão chega a ser até menor.

Por outro lado, a correlação entre a espessura saturada e o perímetro de proteção mostra-se menos evidente, com distribuição mais dispersa dos dados. Embora poços com maiores espessuras saturadas (>20 m) apresentem PPP ligeiramente superiores, não se observa uma relação linear clara entre essas variáveis. Isso sugere que a espessura saturada exerce influência secundária na definição do perímetro de proteção quando comparada a vazão.

De forma geral, esse conjunto de dados indica que a vazão é o principal parâmetro hidrogeológico associado ao dimensionamento do perímetro de proteção, enquanto a espessura saturada pode contribuir para pequenas variações, mas não define isoladamente os limites de proteção. Essa constatação reforça a importância de se considerar a dinâmica de fluxo e as características operacionais do poço, como o regime de bombeamento, no processo de delimitação de áreas de proteção de poços de abastecimento.

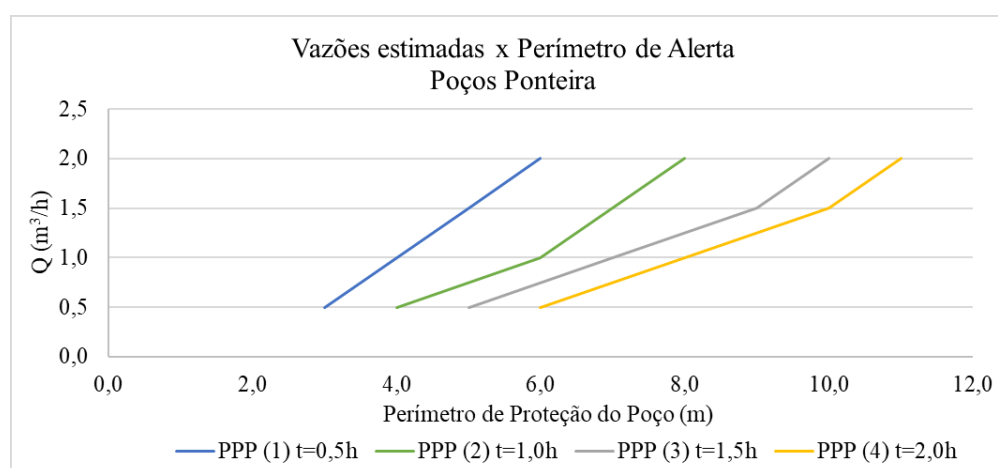
Para avaliação dos perímetros mínimos de proteção microbiológica para os 17 poços ponteira, foram adotados alguns cenários como sugestão no caso de ausência de informações suficientes para aplicação da metodologia (Tabela 3).

Tabela 3 – Cenários para avaliação do Perímetro de Proteção Microbiológica do Poço Ponteira para uso Doméstico

POÇOS PONTEIRA – METODO RFC (tempo de trânsito = 50 dias)					
Cenário 1 $Q^* = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}; b = 2 \text{ m}; n_e = 27\%$			Cenário 2 $Q^* = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}; b = 2 \text{ m}; n_e = 27\%$		
Tempo de bombeamento (h)	Q (m ³ /d)	PA-1 (m)	Tempo de bombeamento (h)	Q (m ³ /d)	PA-2 (m)
0,5	0,3	3,0	0,5	0,5	4,0
1,0	0,5	4,0	1,0	1,0	6,0
1,5	0,8	5,0	1,5	1,5	7,0
2,0	1,0	6,0	2,0	2,0	8,0
Cenário 3 $Q^* = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}; b = 2 \text{ m}; n_e = 27\%$			Cenário 4 $Q^* = 2,0 \text{ m}^3/\text{h}; b = 2 \text{ m}; n_e = 27\%$		
Tempo de bombeamento (h)	Q (m ³ /d)	PA-3 (m)	Tempo de bombeamento (h)	Q (m ³ /d)	PA-4 (m)
0,5	0,8	5,0	0,5	1,0	6,0
1,0	1,5	7,0	1,0	2,0	8,0
1,5	2,3	9,0	1,5	3,0	10,0
2,0	3,0	10,0	2,0	4,0	11,0

*Vazão estimada para cada cenário.

Os poços ponteira, amplamente utilizados em áreas costeiras para consumo doméstico, operam com menores tempos de bombeamento em relação aos poços de uso urbano ou industrial. Neste estudo, foram considerados tempos entre 0,5 e 2,0 horas diárias, resultando em perímetros de proteção variando de 3,0 a 11 m e vazões estimadas entre 0,3 e 4 m³/d. Observa-se que os cenários de maior vazão (3 e 4) apresentam tendência semelhante na variação dos perímetros (Figura 5).

**Figura 5.** Diferentes cenários de perímetro de alerta para os poços ponteira

As curvas obtidas indicam uma relação direta entre a vazão diária e o perímetro de proteção, demonstrando que poços com maiores demandas de bombeamento requerem áreas de proteção mais amplas para assegurar a qualidade da água subterrânea.

Nos poços tipo ponteira, essa relação é ainda mais evidente, já que a espessura da seção filtrante (2 m) foi mantida constante neste estudo, tornando a vazão o principal parâmetro que influencia o dimensionamento do perímetro. Caso fossem utilizadas seções filtrantes mais extensas, os perímetros tenderiam a ser menores, porém os valores adotados refletem as condições mais utilizadas nos poços ponteira da PCRS.

Estudos recentes indicam que bombeamentos de baixa vazão (0,5 m³/h) e curta duração podem gerar raios de influência significativos (~21 m), o que reforça a necessidade de manter distância mínima de fontes contaminantes, como fossas sépticas, áreas de descarte de resíduos, criações de animais e tanques de combustíveis (Lima et al., 2024).

As legislações estaduais também reconhecem essa importância. Em São Paulo, a Instrução Técnica DR nº 10/2017, atualizada em 2024, exige distância mínima de 30 m entre poços e fossas, laje de proteção mínima de 1 m² (podendo chegar a 3 m²) e cercamento da área do PIPS. Já o Decreto nº 52.035/2014 do Rio Grande do Sul define laje mínima de 1 m², com área cercada de pelo menos 4 m². Em Santa Catarina, a Resolução nº 02/2014 determina que o raio do PIPS seja definido conforme testes de bombeamento e características do solo.

Esses dispositivos reforçam que o perímetro de proteção atua como uma zona de controle sanitário e hidrogeológico, permitindo tempo suficiente (~50 dias) para detecção e resposta frente a possíveis contaminantes antes que atinjam a área onde a água é captada pelo poço. Assim, os resultados deste estudo evidenciam que a delimitação de perímetros de proteção é uma ferramenta indispensável de gestão de risco e segurança hídrica, especialmente em áreas onde poços do tipo tubular e ponteira são amplamente utilizados sem controle técnico.

3.1. Proposição de perímetros mínimos de proteção para os poços na área de estudo

Com base nas características hidrogeológicas da área de estudo, na tipologia dos poços avaliados e no uso predominante da água subterrânea, foi possível propor perímetros mínimos de proteção adequados às condições locais onde os poços estão instalados. A adoção desses perímetros é fundamental para preservar a qualidade da água captada e reduzir o risco de contaminação, especialmente em áreas costeiras, onde os aquíferos tendem a ser livres, com alta recarga e maior vulnerabilidade à poluição difusa.

Nos poços tubulares, utilizados principalmente para o abastecimento público no litoral do Rio Grande do Sul, observou-se uma tendência de ampliação do perímetro de proteção proporcional ao aumento da vazão de bombeamento. Entretanto, essa relação não é linear, pois outros fatores, como a porosidade efetiva e a espessura da seção filtrante, também influenciam diretamente o dimensionamento do perímetro, conforme indicado na Figura 4, que apresenta o gráfico de dispersão entre vazão e perímetro calculado.

Na Tabela 4 é sintetizado as principais faixas de vazão e os respectivos PA estimados a partir do método do Raio Fixo Calculado, representando valores médios observados para poços tubulares na região.

Tabela 4 – Faixas de vazão e Perímetros de Proteção para poços tubulares

Faixa de Vazão		PPP (m)		
m ³ /h	m ³ /d	Observado	Média	Mínimo sugerido
≤ 24 m ³ /h	≤ 360	19 – 87	45	50 m
25 – 59 m ³ /h	361 – 1000	49 – 112	74	75 m
60 – 100 m ³ /h	1001 – 2000	63 – 118	90	90 m
Q ≥ 101 m ³ /h	≥ 2001	86 – 111	98	100 m

Esses resultados evidenciam que o aumento da vazão está associado à ampliação do raio de influência dos poços, reforçando a necessidade de definir perímetros mínimos de proteção compatíveis com as condições de captação e o tipo de uso da água subterrânea.

Observa-se na Figura 6 que, mesmo para poços com vazões < 360 m³/d, diversos PPP calculados ultrapassam o raio mínimo de 30 m recomendados pelo Estado de São Paulo. No intervalo de vazões entre 100 e 360 m³/d, por exemplo, os perímetros variam de 19 a 87 m, sendo que os maiores valores se aproximam de 87 m. Esse resultado indica que o critério adotado em São Paulo pode ser insuficiente para assegurar a proteção da qualidade da água subterrânea na área de estudo, sobretudo em aquíferos mais vulneráveis ou em áreas com maior potencial de contaminação.

O estado de São Paulo constitui uma referência nacional na definição de critérios técnicos para a delimitação dos perímetros de proteção de poços, adotando não apenas o perímetro imediato de proteção sanitária, mas também o conceito de perímetro de alerta, definido com base no tempo de trânsito dos contaminantes. De forma semelhante, outros estados têm reconhecido a importância de estabelecer zonas de proteção adicionais, como Santa Catarina, através da Resolução CERH nº 02/2014, e o Rio Grande do Sul, através do Decreto nº 52.035/2014.

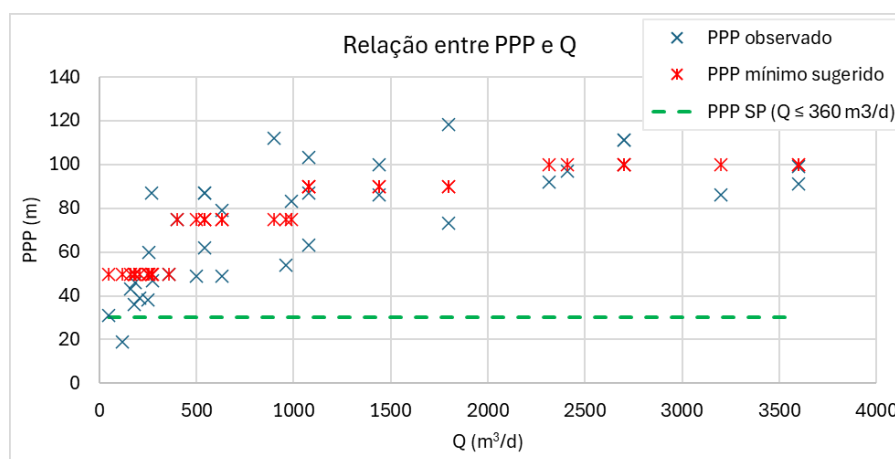


Figura 6. Relação entre vazão e perimetro de proteção proposto para poços tubulares

No caso dos poços ponteira, recomenda-se que o raio do Perímetro de Proteção Microbiológica seja calculado com base em dados específicos de cada captação, refletindo suas condições hidrogeológicas e operacionais. As sugestões apresentadas na Tabela 3 aplicam-se a situações em que não há disponibilidade de informações detalhadas do poço, servindo como referência técnica para o dimensionamento do perímetro de proteção. Os raios obtidos nos quatro cenários simulados apresentaram variações significativas, contudo, para fins de abastecimento doméstico, recomenda-se a adoção de um valor médio representativo.

Na Tabela 5 é apresentada as faixas de vazão e respectivos PPP estimados para poços ponteira, calculados considerando um tempo de trânsito de 50 dias, espessura saturada de 2 m e porosidade efetiva de 27%, além de propor um perímetro mínimo de proteção com base nas condições médias observadas na área de estudo.

Tabela 5 – Faixas de vazão e Perímetros de Proteção para poços ponteira

Faixa de Vazão m³/d	PPP (m)		
	Observado*	Média	Mínimo sugerido
$Q \leq 0,5$	4,0	7,5	8,0
$0,5 < Q \leq 1,0$	6,0		
$1,0 < Q \leq 1,5$	7,0		
$1,5 < Q \leq 2,0$	8,0		
$2,0 < Q \leq 2,5$	9,0		
$2,5 < Q \leq 4,0$	11,0		

*Valores analisados nos 4 cenários apresentados na Tabela 3

Essa definição é especialmente relevante no contexto da PCRS devido ao uso elevado de poços ponteira para abastecimento doméstico, especialmente em áreas urbanas. Nesses locais, a proximidade com fontes de contaminação (como fossas sépticas e sumidouros) é comum, tornando o perímetro mínimo de proteção de 8 m essencial para mitigar o risco de comprometer a qualidade da água captada.

Observa-se na Figura 7 a relação entre a vazão captada por poços ponteira e os respectivos PPP propostos.

A linha que representa o PPP mínimo sugerido (8 m), evidencia que poços com vazões $< 2\text{ m}^3/\text{d}$, apresentam PPP observados menores do que esse valor. Essa diferença mostra a importância de sugerir um valor mínimo de proteção padronizado, uma vez que esses poços tendem a não terem um cadastro com informações mais detalhadas e podem estar expostos a riscos significativos, principalmente devido à proximidade de fontes potenciais de contaminação como fossas sépticas.

A linha pontilhada indica o limite da vazão para dispensa de outorga ($Q < 2\text{ m}^3/\text{d}$), definida no estado do Rio Grande do Sul, onde considera-se que a água captada pelo usuário é destinada para necessidades básicas, em áreas sem acesso ao sistema público de abastecimento. No entanto, é importante destacar que todos os usuários devem solicitar a outorga, sendo a dispensa uma exceção aplicada apenas quando atendidos os critérios definidos pela legislação.

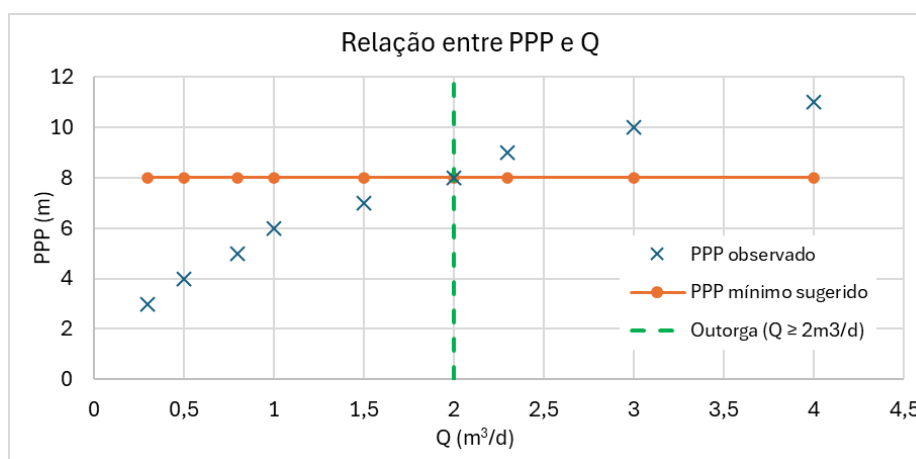


Figura 7. Relação entre vazão e perímetro de proteção proposto para poços ponteira

A partir desse ponto ($Q > 2 \text{ m}^3/\text{d}$), ressalta-se que os PPP observados tendem a ser superiores ao mínimo sugerido (8 m), o que está coerente com a exigência de estudos técnicos mais detalhados para obtenção da autorização de uso da água, como prevê a legislação.

A delimitação definitiva dos perímetros deve ser apoiada por estudos hidrogeológicos detalhados, considerando o nível estático, a porosidade efetiva, a espessura da seção filtrante, a vazão captada, o tempo de bombeamento praticado e o tempo considerado que um poluente leva até atingir o aquífero. Sendo que para a determinação dos perímetros de proteção microbiológica esse tempo deve ser de 50 dias (Iritani; Ezaki, 2012).

Assim seria necessário que o requerente ou o usuário realize o cálculo do perímetro de proteção microbiológica para cada poço, conforme apresentado na metodologia deste trabalho, porém quando o valor calculado resultar em raio menor que o mínimo sugerido neste trabalho, deve ser adotado o mínimo de 50 m para poços tubulares, especialmente aqueles com vazões até $360 \text{ m}^3/\text{d}$, e para os poços ponteira o perímetro mínimo de proteção de 8 m com vazões até $2 \text{ m}^3/\text{d}$. Com base no perímetro de proteção é possível nortear uma gestão mais adequada das áreas de captação, onde os usuários de poços devem instalá-los o mais longe das fossas, com base na distância do raio, bem como na parte mais alta do terreno.

Considerando a importância da proteção das áreas de captação de água subterrânea e a vulnerabilidade do Sistema Aquífero Costeiro (SAC), recomenda-se a adoção de medidas de controle e monitoramento dos empreendimentos já instalados no interior do perímetro de alerta dos poços, sugeridos neste trabalho, bem como a restrição a novas atividades potencialmente poluidoras, respeitando a fragilidade ambiental da região costeira.

4. CONCLUSÕES

O estudo permitiu estabelecer parâmetros técnicos para a delimitação dos perímetros de proteção dos poços tubulares e ponteira utilizados no abastecimento público e doméstico, considerando as condições construtivas e hidrogeológicas específicas de cada captação. A aplicação da metodologia possibilitou determinar, de forma consistente, os raios de proteção adequados para diferentes cenários de uso e vazão, contribuindo para a padronização de critérios técnicos voltados à proteção da qualidade da água subterrânea.

Entre os 36 poços tubulares avaliados, os raios calculados variaram de 18,73 m a 176,17 m, com média de 74 m. A maioria (81%) apresentou perímetros superiores a 50 m, associados a vazões médias de $1559 \text{ m}^3/\text{d}$, indicando relação direta entre o aumento da vazão e a ampliação da área de proteção até o limite aproximado de $1500 \text{ m}^3/\text{d}$, a partir do qual a variação tende à estabilização. Poços com menores vazões ($\leq 266 \text{ m}^3/\text{d}$) apresentaram raios inferiores a 50 m, além de, em alguns casos, maior espessura saturada, evidenciando que outros fatores também influenciam o dimensionamento do perímetro.

Nos poços ponteira, voltados predominantemente ao consumo doméstico, os raios variaram entre 3 m e 11 m, com vazões entre $0,3 \text{ m}^3/\text{d}$ e $4 \text{ m}^3/\text{d}$, o que reflete a menor escala de exploração e a simplicidade construtiva desse tipo de captação.

Os resultados reforçam a importância de calcular o raio de proteção de forma individualizada para cada poço, utilizando a metodologia apresentada, a fim de garantir condições adequadas de segurança sanitária e de prevenção à contaminação das águas subterrâneas. Quando o valor calculado resultar inferior aos limites mínimos propostos, recomenda-se adotar os perímetros mínimos de proteção microbiológica, definidos como 50 m para os poços tubulares com vazões até 360 m³/d e 8 m para poços ponteira com vazões até 2 m³/d.

Dessa forma, o estudo contribui com subsídios técnicos para o planejamento e gestão da proteção de poços, favorecendo práticas mais seguras e sustentáveis no uso dos recursos hídricos subterrâneos.

REFERÊNCIAS

- BOFILL, L. M. **Análise de métodos para delimitação de Perímetros de Proteção de Poços, com aplicação no aquífero costeiro em Jaguaruna/SC**. 2021. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2021.
- CAMARGO, P. S. S. **Avaliação da vulnerabilidade do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro na região de Palmares do Sul (RS)**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- CPRM/SGB. **Plano estratégico 2022-2026 CPRM/SGB**. Brasília DF, 2022.
- DUDGEON, J. **Domestic Wells**: introduction and overview. Guelph: The Groundwater Project, 2022.
- FUNKE, A. J. **Avaliação das Porosidades Total e Efetiva de Camadas Aquíferas do Sistema Aquífero Costeiro no Litoral Norte do Rio Grande do Sul**. 2025. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Programa de Pós – Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2025.
- GOLDSCHIEDER, N. Delineation of spring protection zones. In: KRESIC, N.; STEVANOVIC, Z. **Groundwater Hydrology of Springs: engineering, theory, management, and sustainability**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2010. *E-book*. p. 305-338. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-502-9.00008-6>.
- GUEDES JUNIOR, A. **Áreas de proteção ambiental para poços de abastecimento público em aquíferos costeiros**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- IRITANI, M. A. **Modelação matemática tridimensional para proteção das captações de água subterrânea**. 1998. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Programa de Pós-graduação em recursos minerais e hidrogeologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **Roteiro orientativo para delimitação de área de proteção de poço**, 2. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012.
- KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática Deköppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia. Ciências Naturais e Tecnológicas*, Santa Maria, v.2, n.1, p.171-182, 2001.
- LIMA, S. D.; REGINATO, P. A. R.; CARLOS, F. S.; VARGAS, T.; FUNKE, A. J. Avaliação do Raio de Influência em Poços rasos que captam água do Sistema Aquífero Costeiro no Litoral do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 23., São Paulo, 2024. **Anais [...]**. São Paulo: ABAS, 2024.
- LISBOA, N. A.; DANI, N.; REMUS, M. V. D.; CASTRO, J. 2004. Síntese da Ocorrência Geológica das Águas Subterrâneas do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. **Anais [...]**. Cuiabá: ABAS, 2004.
- MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. de. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**: relatório final. Porto Alegre: CPRM, 2005.
- PAIM, R. A. **Avaliação da qualidade da água subterrânea de poços ponteira no município de Osório/RS**. 2018. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.
- PARIS, M. del. C.; D'ELÍA, M.; PÉREZ, M.; PACINI, J. Wellhead protection zones for sustainable groundwater supply. **Sustainable Water Resources Management**, [s. l.], v. 5, p. 161–174., 2019. DOI: 10.1007/s40899-017-0156-x.

- REGINATO, P. A. R.; MICHALSKI, E. Z. Águas Subterrâneas na Região do Balneário Pinhal, Cidreira e Palmares do Sul. In: LANZER, Rosane; SCHÄFER, Alois; JAHN, Matheus Parmegiani (org.). **Gestão dos recursos hídricos dos municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul: recursos hídricos e toxicologia**. Caxias do Sul: Educs, 2013. v. 1, p. 38-72.
- REGINATO, P. A. R.; SCHAFER, A. E.; BRANCHER, L.; LANZER, R. M. Poços como vetores de contaminação: O caso dos aquíferos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. **Revista Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, sup., p. 1-11, 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23805>. Acesso em: 24 fev. 2026.
- TRINDADE, S. **Análise da vulnerabilidade e do risco potencial de contaminação das águas subterrâneas do sistema aquífero costeiro na região de Cidreira e Balneário Pinhal, RS**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento de Geologia, 2022.
- TROIAN, G. C.; REGINATO, P. A. R.; MARQUEZAN, R. G.; KIRCHHEIM, R. Modelo conceitual hidroestratigráfico do sistema aquífero costeiro no litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 34, n. 3, p. 264-274, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i3.29883>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29883/19322>. Acesso em: 24 fev. 2026.
- TROIAN G. C. **Compartimentação hidroestratigráfica do sistema aquífero costeiro no estado do Rio Grande do Sul**. 2021. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.
- USEPA. **Guidelines for Delineation of Wellhead Protection Areas**. Washington: Office Ground-Water Protection, 1987.
- VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas do CECO-IG-UFRGS**, Porto Alegre, v. 8, p. 1-45, 1995.
- ZOBY, J. L. G. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, supl., p. 1-20, 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23802>. Acesso em: 24 fev. 2026