

Localização de sítios para captação de água subterrânea no município de Passo Fundo, RS: controles hidrogeológicos, geológicos e morfoestruturais

Location of sites for groundwater extraction in the municipality of Passo Fundo, RS: hydrogeological, geological, and morphostructural controls

Nelson Amoretti Lisboa¹ , Norberto Dani¹ , Pedro Antônio Roehe Reginato² , Marcus Vinicius Dorneles Remus¹ , Luiz Paulo Fragomeni³  & Rafael da Rocha Ribeiro¹ 

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, Brasil. E-mail: nelamorettisboa@gmail.com; norberto.dani@ufrgs.br; marcus.remus@ufrgs.br; r.ribeiro@ufrgs.br;

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, Brasil. E-mail: pedro.reginato@ufrgs.br;

³Gema/Geologia de Engenharia e Meio Ambiente, Passo Fundo, Brasil. E-mail: LPFragomeni@gmail.com.

Resumo: O avanço das técnicas de sensoriamento remoto tornou possível sua aplicação em diversas áreas. Neste estudo, explora-se o potencial do sensoriamento remoto na hidrogeologia, por meio de uma metodologia que busca prever, a partir de elementos superficiais do terreno, a capacidade produtiva de poços em aquíferos fraturados, como os basaltos do Grupo Serra Geral, no município de Passo Fundo. As descontinuidades presentes em rochas maciças, responsáveis por criar espaços de acumulação de água subterrânea, estão relacionadas às deformações e esforços rúpteis. Em superfície, esses esforços aparecem na forma de morfoestruturas, que podem ser identificadas em imagens de satélite, especialmente quando analisadas com recursos tridimensionais de visualização. Para validar o método, foram utilizados parâmetros hidrológicos como capacidade específica e vazões de estabilização de 150 poços cadastrados no município de Passo Fundo. O objetivo é descrever a tectônica rúptil que afeta a área, por meio da identificação de morfoestruturas anelares e lineamentos. Os resultados indicam que os locais mais favoráveis à captação de água subterrânea estão associados a blocos morfoestruturais poligonais, classificados como estruturas-em-flor. A locação e perfuração dos poços devem ser preferencialmente realizadas nas bordas dessas estruturas e, de forma complementar, nas descontinuidades lineares que as interceptam.

Palavras-chave: Grupo Serra Geral; Sensoriamento Remoto; locação de poços; prospecção de água.

Abstract: Advances in remote sensing techniques have enabled their application across multiple fields. This study explores the potential of remote sensing in hydrogeology through a methodology that predicts, based on surface terrain features, the productive capacity of wells in fractured aquifers such as the basalts of the Serra Geral Group in the municipality of Passo Fundo. Discontinuities in massive rock units, which create voids for

groundwater storage, are associated with brittle deformation and stress regimes. At the surface, these stresses manifest as morphostructures identifiable in satellite imagery, particularly when analyzed with three-dimensional visualization tools. To validate the method, we used hydrological parameters such as specific capacity and stabilized discharge rates from 150 registered wells in Passo Fundo. The objective is to characterize the brittle tectonics affecting the area by identifying annular morphostructures and linear features. The results indicate that the most favorable locations for groundwater extraction are associated with polygonal morphostructural blocks classified as flower structures. Well siting and drilling should preferably be carried out along the edges of these structures and, complementarily, along the linear discontinuities that intersect them.

Keywords: Serra Geral Group; Remote Sensing; Well Siting; Water Exploration.

1. Introdução

O município de Passo Fundo está localizado na borda sul do Planalto Meridional (PM), considerado por Almeida (1956) o maior planalto vulcânico do planeta. Décimo município mais populoso do Rio Grande do Sul, com 206.224 habitantes (BRASIL, 2022), a sua sede, a cidade de Passo Fundo, destaca-se como principal centro urbano do Planalto Meridional gaúcho (Figura 1). O desenvolvimento econômico e populacional do município tem ampliado o consumo de água e imposto aos administradores o desafio de aumentar a oferta de água. Esta preocupação é evidente no Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB, 2014) que propõe o aproveitamento dos rios da região por meio de um sistema composto por duas barragens de acumulação (Arroio Miranda e Fazenda da Brigada) e duas de nível (Passo Fundo Velho e Captação da Perimetral).

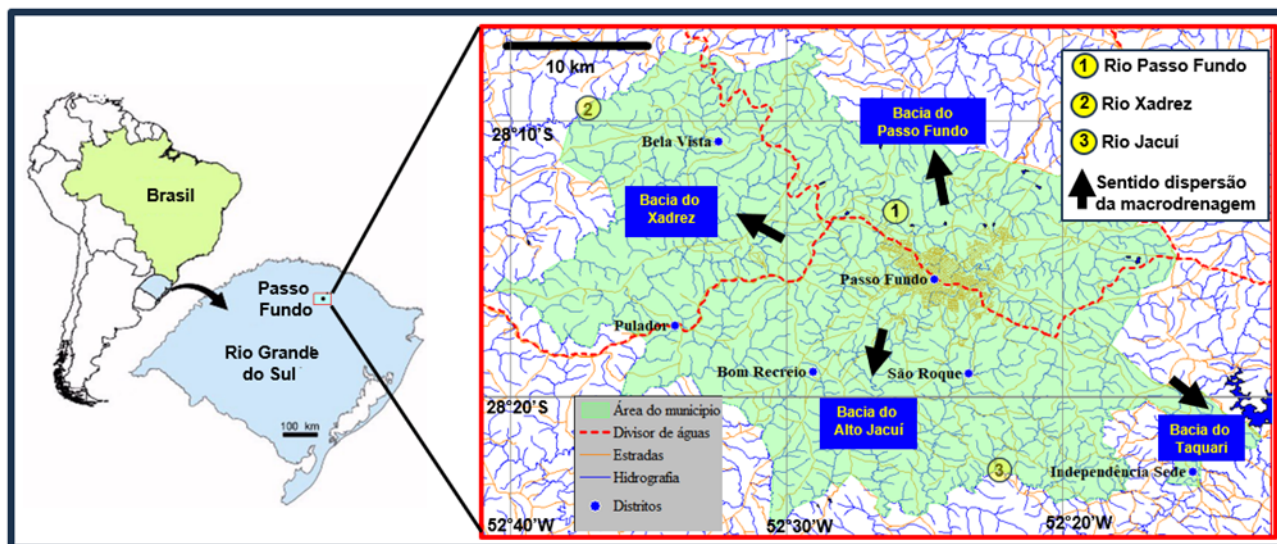


Figura 1. Localização do município de Passo Fundo destacando os distritos mencionados neste trabalho e a distribuição da rede de drenagem. Observar o posicionamento da cidade de Passo Fundo no divisor de águas, onde se localizam as nascentes das bacias hidrográficas do Alto Jacuí, Xadrez, Passo Fundo e parte do Taquari, e o sentido radial centrífugo da dispersão da macrodrenagem. Rede de drenagem extraída da base vetorial contínua (Hasenack & Weber, 2010) disponível em <https://www.ufrgs.br/labgeo/>.

Figure 1. Location of the municipality of Passo Fundo highlighting the districts mentioned in this work and the distribution of the drainage network. Note the positioning of the city of Passo Fundo on the watershed divide, where the headwaters of the hydrographic basins of Alto Jacuí, Xadrez, Passo Fundo, and part of the Taquari are located, as well as the centrifugal radial pattern of macrodrainage dispersion. The drainage network was extracted from the continuous vector base (Hasenack & Weber, 2010) available at <https://www.ufrgs.br/labgeo/>.

As dificuldades para suprir a demanda do município apenas com recursos hídricos superficiais decorrem de sua localização desfavorável no divisor de águas. Embora possuam as nascentes dos rios que compõem as bacias do Passo Fundo, Alto Jacuí, Xadrez e parte do Taquari (Figura 1), as drenagens caracterizam-se por canais de ordem inferior e por baixas vazões. As mudanças climáticas em curso constituem outro problema, pois os períodos de estiagem cíclicos na região estão se intensificando, reduzindo a oferta de água.

No abastecimento da área urbana do município, a principal fonte de captação provém de barramentos nas drenagens das nascentes do Rio Passo Fundo. O sistema é complementado pela água subterrânea, cuja importância para o município pode ser medida pela existência de mais de 150 poços cadastrados no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil - SIAGAS (CPRM, 2026). Os poços, além de suprir a demanda por água potável, são essenciais para o desenvolvimento das atividades comerciais, industriais e agrícolas da região (Fragomeni *et al.*, 2006).

O município está sob o domínio do Aquífero fraturado Serra Geral (SASG), formado por rochas vulcânicas e controlado por estruturas tectônicas que seccionam os derrames basálticos (Lisboa *et al.*, 2004; Reginato, 2003; Rossetti *et al.*, 2018; Viero *et al.*, 2021). Na região, a eficiência na produção de água subterrânea depende de um planejamento prévio integrado na região de perfuração do poço, fundamentado em conhecimento geológico e hidrogeológico. No planejamento de uma campanha de perfuração no contexto de Passo Fundo, as informações necessárias são obtidas a partir da interpretação sistemática do terreno por técnicas de sensoriamento remoto, conforme estabelecido por Yao *et al.* (2012). Nesta etapa de um projeto de captação de água subterrânea, são identificadas em superfície estruturas favoráveis, denominadas morfoestruturas, controladoras do condicionamento estrutural dos aquíferos fraturados. O passo inicial para o sucesso na estimativa da produção de água de um poço é a identificação das morfoestruturas que se manifestam em forma de lineamentos e blocos geralmente anelares, detectadas por meio da análise de produtos de sensoriamento remoto, como proposto neste artigo.

O objetivo deste estudo é aplicar metodologias de sensoriamento remoto para identificar morfoestruturas e locais estratégicos para perfuração de poços, contribuindo para a exploração racional e sustentável da água subterrânea. Os resultados mostram que os pontos mais promissores se concentram em blocos poligonais gerados pela tectônica rúptil, cujas bordas favorecem a recarga, a circulação e o acúmulo de água.

2. Área de Estudo

2.1 Contexto morfotectônico e geomorfológico e o comportamento hidrológico da área de estudo

O município de Passo Fundo está situado no setor nordeste do Domo Uruguai-Sudoeste da África (Potter, 1997) (Figura 2A) e na borda sul do Planalto Meridional, na Região Geomorfológica Planalto Médio, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 2B). O Planalto Meridional é subdividido em cinco regiões geomorfológicas (Justus *et al.*, 1986): Planalto dos Campos Gerais (1), Planalto de Soledade (2), Alto Uruguai (3), Planalto Médio (4) e Planalto de Uruguiana (5). Com base em critérios geológicos, as regiões geomorfológicas são blocos morfotectônicos delimitados por falhas, expressas por lineamentos de grande porte, identificáveis em imagens de sensoriamento remoto (Lisboa *et al.*, 2025). Assim, a delimitação entre o Planalto dos Campos Gerais, o Alto Uruguai e o Planalto de Soledade é estabelecida pelo lineamento, que apresenta orientação da Zona

de Falha Dorsal de Canguçu (ZFDC). O Planalto de Soledade é delimitado do Alto Uruguai pelo lineamento tipo Zona de Falha Ibaré (ZFI), com direção noroeste, aqui individualizado pelo Lineamento de Passo Fundo (LPF). O Planalto Médio é delimitado do Alto Uruguai e do Planalto de Soledade pelo lineamento tipo Zona de Falha Açotea-Pedras Altas (ZFAPA), com direção nordeste, e do Planalto de Uruguiana pelo lineamento tipo Zona de Falha Ibaré (ZFI), com direção noroeste.

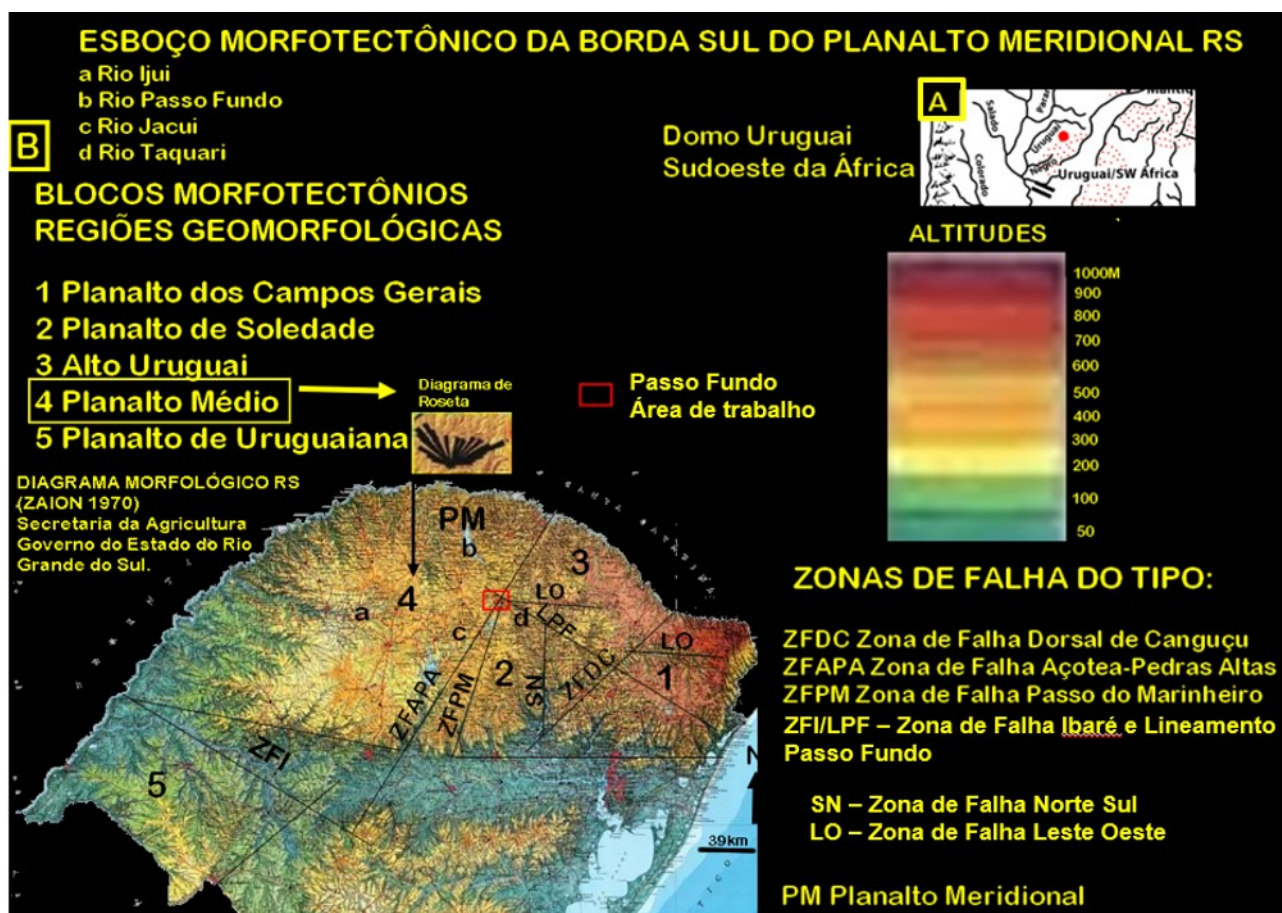


Figura 2. Município de Passo Fundo no contexto (A) geotectônico e (B) morfotectônico do Rio Grande do Sul.

Figure 2. Municipality of Passo Fundo in the (A) geotectonic and (B) morphotectonic context of Rio Grande do Sul.

O controle tectônico dessas regiões geomorfológicas verifica-se nos seus limites, mas também no seu interior, pelas orientações dos lineamentos em cada região, bem como pelo grau de dissecação do relevo e pelas diferentes associações litológicas (Lisboa, 1996). No município de Passo Fundo, regionalmente convergem quatro lineamentos de grande porte: dois com direção nordeste (ZFAPA e ZFPM), um com direção noroeste (Lineamento de Passo Fundo (LPF), com orientação do tipo ZFI) e um com direção Leste-Oeste (LO) (Figura 2). Essa situação coloca o município como um alto estrutural ou estrutura-em-flor positiva (Zalán, 1986), funcionando como um dispersor da macrodrenagem radial centrífuga (Figuras 1 e 2), formando um divisor de águas com orientação geral Leste-Oeste, onde ocorrem as nascentes a norte-noroeste do Rio Xadrez (sub-bacia do Rio Ijuí) e, a sul-sudeste, as nascentes dos rios Jacuí e de contribuintes do Rio Guaporé (sub-bacia do Rio Taquari). A macrodrenagem radial centrífuga indica importante inversão do relevo (Ruppel et al., 2023), no intervalo do Cretáceo ao Recente, já que o registro sedimentar da

Formação Tupanciretã, que ocorre neste divisor de águas, se depositou em um baixo estrutural ou em uma estrutura-em-flor negativa.

2.2 Contexto geológico da área de estudo

O município de Passo Fundo possui um substrato em que se dispõem duas unidades geológicas: a Formação Tupanciretã, que constitui uma cobertura de sedimentos em estágio avançado de erosão, que encobre parcialmente as rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral, formado principalmente por basaltos e, subordinadamente, por rochas riodacíticas (Figura 3).

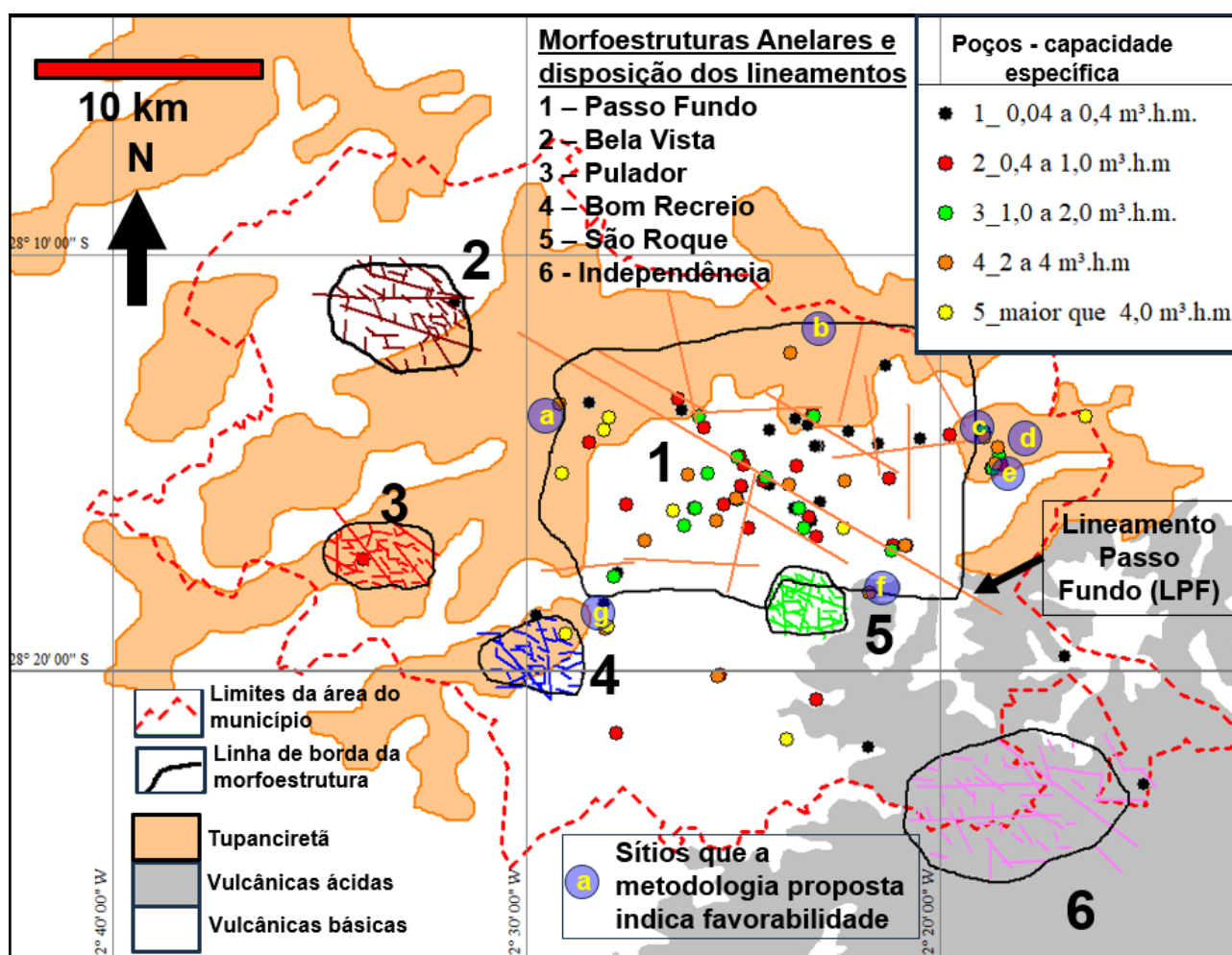


Figura 3. Geologia do Município de Passo Fundo, modificada de Menegotto *et al.* (1968) e Wildner *et al.* (2006), composta por rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral, encobertas em alguns setores por sedimentos da Formação Tupanciretã. Localização das áreas detalhadas e dos poços cadastrados, divididos em classes de vazões específicas. Salientam-se as morfoestruturas anelares identificadas nos distritos e as principais descontinuidades estruturais em seu interior, por meio do traçado dos lineamentos de médio e pequeno porte, conforme Gold (1980).

Figure 3. Geology of the Municipality of Passo Fundo, modified from Menegotto *et al.* (1968) and Wildner *et al.* (2006), composed of volcanic rocks of the Serra Geral Group partially covered in some sectors by sediments of the Tupanciretã Formation. Location of the detailed areas and registered wells, divided into classes of specific yields. Annular morphostructures identified in the districts are highlighted, as well as the main structural discontinuities within them through the tracing of medium- and small-scale lineaments according to Gold (1980).

A Formação Tupanciretã (Menegotto *et al.*, 1968) aflora nas partes norte, central e sudoeste do município, encobrendo principalmente os basaltos do Grupo Serra Geral (Formação Vale do Sol). Apenas a leste há uma ocorrência da formação que encobre riolitos e riodacitos do Grupo Serra Geral (Formação Palmas). A Formação Tupanciretã é composta por sedimentos, em geral friáveis e de cores avermelhadas, mas podem ocorrer níveis endurecidos por ferrificação ou silicificação, por processos epigenéticos. Na sequência, predominam areias mal classificadas com granulação fina a média, compostas por quartzo e feldspatos, em sua maioria caulinizados. Geralmente, apresentam-se como sedimentos maciços, mas, em alguns afloramentos, identificam-se estratificações plano-paralelas e cruzadas acanaladas (Ruppel, 2023). Associam-se horizontes de areia conglomerática e delgados níveis de argila.

Na parte sudeste do município, predominam rochas vulcânicas da Formação Palmas do Grupo Serra Geral, dispostas em derrames de composição ácida a intermediária, representadas por riodacitos e riolitos, microgranulares a vitrofíricos, com textura esferulítica, descritas informalmente como “carijó” ou “sal e pimenta” em amostras macroscópicas. Os derrames possuem topo e base com disposição tabular, com a parte central maciça, contendo vesículas preenchidas por calcedônia/ágata e, frequentemente, dobras de fluxo e auto-brechas (Wildner *et al.*, 2006).

2. Materiais e Métodos

O estudo foi desenvolvido a partir da integração de produtos de sensoriamento remoto, informações locais e dados de poços tubulares obtidos em bases públicas do SIAGAS (CPRM, 2026), além de referências bibliográficas especializadas. Inicialmente, analisaram-se parâmetros hidrogeológicos de 150 poços existentes na área de estudo, incluindo as coordenadas de localização, a capacidade específica (vazão específica) e a vazão de estabilização. Esses dados foram submetidos a uma análise estatística descritiva (valores máximos e mínimos, média, mediana e desvio padrão) e à classificação da produtividade dos poços conforme os critérios de Diniz *et al.* (2014), apresentados na Tabela 1.

Para a análise morfotectônica regional e morfoestrutural em semidetalhe, utilizaram-se imagens do Google Earth®, com resolução espacial mínima de 25 m em áreas rurais e máxima de 0,3 m em áreas urbanas, convertidas em modelos estereoscópicos (Silva *et al.*, 2017) por meio do software StereoPhoto Maker®. Detalhes do terreno foram obtidos a partir de Modelos Numéricos do Terreno (MNT) derivados dos dados SRTM (NASA JPL, 2025), com resolução espacial de 30 m. A manipulação das imagens e dos modelos estereoscópicos foi realizada em ambiente georreferenciado, utilizando os programas Global Mapper® e QGIS®.

Os modelos estereoscópicos foram observados com a técnica do anaglifo, utilizando filtros de absorção de cores complementares (vermelho para o ciano, azul para o magenta). Nesses produtos, foram identificados e traçados lineamentos e delimitados blocos poligonais e morfoestruturas anelares, com apoio do software Photofiltre®. Considerou-se lineamento qualquer feição linear, retilínea ou curvilínea, contínua ou descontínua, identificável em imagens de sensoriamento remoto e representativa da interseção de uma descontinuidade planar com a superfície terrestre (O’Leary *et al.*, 1976).

Tabela 1. Classes de produtividade de poços (Diniz *et al.*, 2014).

Table 1. Well productivity classes (Diniz *et al.*, 2014).

Capacidade Específica (Q/s) - (m ³ /h/m)	Vazão de Estabilização (Q) - (m ³ /h)	Produtividade, Classes e Aplicações
≥ 4,0	≥ 100	Muito Alta (Classe 1) – fornecimento de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes irrigações).
2,0 a 4,0	50 e 100	Alta (Classe 2) – também de importância regional e dentro da média nacional de bons aquíferos.
1,0 a 2,0	25 a 50	Moderada (Classe 3) – importante para o abastecimento local em pequenas comunidades e para a irrigação em áreas restritas.
0,4 a 1,0	10 a 25	Geralmente baixa, mas localmente moderada (Classe 4) – de importância para o fornecimento de água a comunidades ou para consumo privado.
0,04 a 0,4	1 a 10	Geralmente, muito baixa a localmente baixa (Classe 5) – dificuldade em manter fornecimento contínuo de água.
<0,04	<1	Pouco produtiva ou não aquífera (Classe 6). Indica abastecimentos restritos e fornecimentos insignificantes de água

Os lineamentos foram categorizados segundo sua extensão, conforme estabelecido por Gold (1980): grande porte (>100 km); médio porte (10–100 km); pequeno porte (1–10 km); e traços de fratura (<1 km). A partir da análise do MNT e dos modelos tridimensionais do terreno, os lineamentos foram divididos em tipo negativo (associados a segmentos retilíneos ou curvos da rede de drenagem) ou tipo positivo, caracterizados por altos topográficos alinhados no terreno. Da mesma forma, por meio da observação estereoscópica e do comportamento da drenagem (padrão radial-anelar), os limites dos blocos poligonais-morfoestruturas anelares foram identificados e traçados diretamente em uma base georreferenciada.

Utilizando modelos estereoscópicos e baseados na integração dos dados e das estruturas identificados, foram analisados os blocos de morfoestruturas anelares e delineados sítios de interesse para projetos de perfuração. A Tabela 2 resume as principais condições observadas na análise das morfoestruturas quanto à favorabilidade de sítios para locação de poços com produção superior à classe 3 (1 a 2 m³/h/m ou 25 a 50 m³/h), estabelecida por Diniz *et al.* (2014).

Tabela 2. Condições de favorabilidade à locação de poços com capacidade de produção acima da classe 3 (Diniz *et al.*, 2014) na região de Passo Fundo.

Table 2. Favorability conditions for locating wells with production capacity above class 3 (Diniz *et al.*, 2014) in the Passo Fundo region.

 Aumenta a favorabilidade	Morfoestrutura	Tipo	Regiões de interesse
	Anelar	Com centro deprimido (estrutura em-flor-negativa)	Regiões de borda
			Região central
		Com centro elevado (estrutura em-flor-positiva)	Região de borda
	Lineamento	Em vale	Região de borda circundando morfoestrutura anelar
		Em vale de grande porte (extensão maior que 100 km)	Em qualquer ponto da morfoestrutura
		Em vale de médio porte (extensão entre 10 e 100 km)	Em qualquer ponto da morfoestrutura

O principal aquífero do município de Passo Fundo é o Aquífero Serra Geral (ASG), caracterizado por um sistema fraturado no qual a circulação da água é controlada por descontinuidades estruturais. A identificação das descontinuidades inicia-se pela análise morfoestrutural regional (Tabela 2), por meio da visualização de produtos de sensoriamento remoto, em especial de lineamentos de grande porte, correlacionáveis com falhamentos (Salamuni *et al.*, 2021). Associados aos lineamentos de grande porte ocorrem blocos poligonais ou morfoestruturas anelares, cuja ocorrência na Bacia do Paraná foi inicialmente reconhecida por Soares (1991). Essas estruturas, caracterizadas por quatro fechamentos, originam domos, bacias, braquianticlinais e braquissinclinais. No Grupo Serra Geral e na Formação Botucatu, foram identificadas na região de Quaraí (Lisboa & Schuck, 1988; Lisboa & Reginato, 2021). Estruturas análogas foram descritas em diferentes unidades da Bacia do Paraná, frequentemente interpretadas como estruturas-em-flor (Rostirolla *et al.*, 2003; Arthur & Soares, 2002; Araújo *et al.*, 2003; Ricomini *et al.*, 2016; Lisboa *et al.*, 2022; 2025).

A gênese das morfoestruturas anelares no Grupo Serra Geral, a partir do Jurássico, está associada à reativação de falhas transcorrentes do embasamento (Strieder *et al.*, 2015). Os autores distinguem duas fases de reativação das paleotensões, identificáveis pela orientação das morfoestruturas anelares e por indicadores cinemáticos em planos de falhas. A fase mais antiga apresentaria estruturas orientadas nas direções N–S e E–W, enquanto a fase mais recente seria caracterizada por morfoestruturas NE–SW e NW–SE, relevantes para a acumulação de água subterrânea e de hidrocarbonetos (Arthur & Soares, 2002; Lisboa *et al.*, 2022). Blocos estruturais constituem elementos essenciais no estudo e na gestão de aquíferos fraturados em rochas duras (Yao *et al.*, 2012).

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise dos Parâmetros Hidrogeológicos e Produtividade dos Poços

A análise dos 150 poços tubulares cadastrados no SIAGAS (CPRM, 2026) para o município de Passo Fundo indica que 100 apresentam dados de capacidade específica e 133 possuem registros de vazão de estabilização. A estatística descritiva desses parâmetros (Tabela 3) evidencia ampla variabilidade entre os valores mínimos e máximos, refletida nas diferenças entre a média e a mediana e no elevado desvio-padrão.

Tabela 3. Resultados da análise estatística dos parâmetros considerados e número de amostras de cada parâmetro

Table 3. Results of the statistical analysis of the parameters considered and number of samples for each parameter.

	Capacidade Específica (m ³ /h/m)	Vazão (m ³ /h)
Máximo	9,296	67,14
Mínimo	0,001	0,10
Média	1,404	13,33
Mediana	0,711	7,20
Desvio Padrão	1,741	14,02
Total de poços investigados	150	
Número de dados nos poços	100	133

Com base na vazão média dos poços (13,325 m³/h), estes se enquadram na categoria de muito baixa produtividade, conforme a classificação de Diniz *et al.* (2014). De modo semelhante, considerando apenas a capacidade específica média (1,404 m³/h/m), os poços situam-se na classe de produtividade moderada (Figura 4).

Apesar da predominância de poços com muito baixa produtividade (1 a 10 m³/h), foram identificados exemplares com vazões significativamente superiores, variando de 50 a 100 m³/h. De forma análoga, a distribuição da capacidade específica revela um aumento na frequência de poços classificados como moderados (1 a 2 m³/h/m) e altos (2 a 4 m³/h/m). Os resultados demonstram uma grande variação nos poços entre os valores máximos e mínimos de ambos os parâmetros, o que se reflete no desvio padrão, bem como nas diferenças observadas entre os parâmetros de média e mediana.

Esses resultados apontam para heterogeneidades hidrogeológicas e para a existência de áreas com maior potencial de produção, capazes de contribuir de forma relevante para o atendimento da crescente demanda hídrica do município. Assim, reforça-se a importância de estudos geológicos e hidrogeológicos prévios como os desenvolvidos nesta pesquisa, voltados à identificação e delimitação das zonas mais favoráveis à captação de água subterrânea em Passo Fundo.

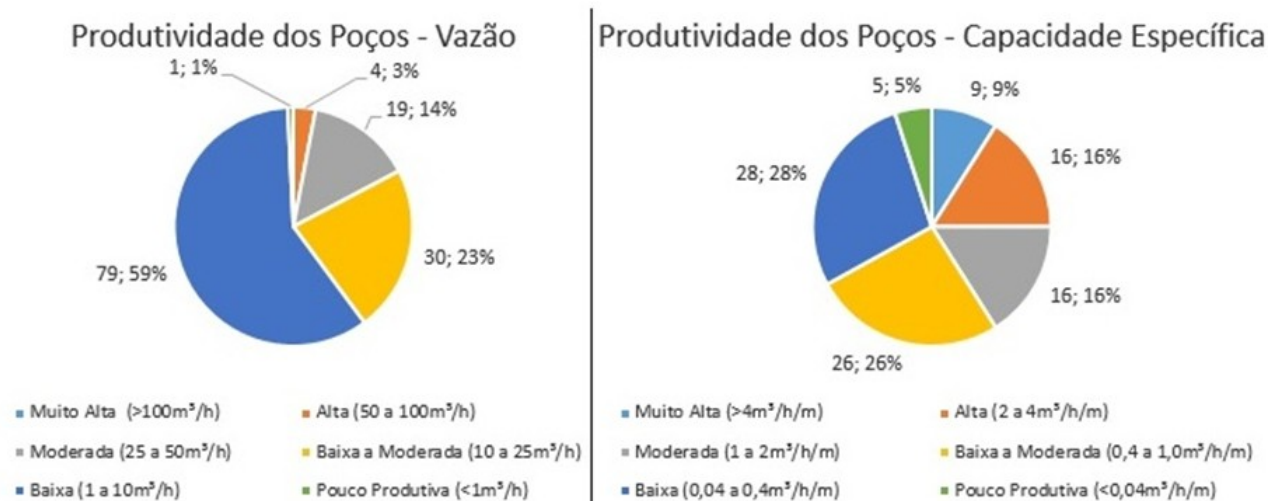


Figura 4. Classes de produtividade dos poços com base nos parâmetros de vazão e de capacidade específica.

Figure 4. Productivity classes of wells based on flow rate and specific capacity parameters.

3.2 Análise Morfoestrutural Regional

A Figura 5(A) abrange a área do município de Passo Fundo, onde foram identificados três lineamentos de grande porte (A, B e C), interpretados como falhas transcorrentes rasas com direção predominante noroeste (tipo Ibaré) e provável movimento sinistral (Figura 5B), compatível com o modelo de cisalhamento simples (Silvester, 1988). O Lineamento Passo Fundo (LPF), designado como lineamento A (Figura 5A), é o mais expressivo e, conforme Wildner *et al.* (2006), estende-se por aproximadamente 110 km na direção noroeste. Compartimenta o município nos setores Nordeste e Sudoeste. Ao sul do LPF, ocorre o Lineamento B denominado Pulador/Independência Sede (LPI), subparalelo ao primeiro, enquanto, ao norte, encontra-se o lineamento C, também subparalelo, porém fora da área de estudo.

Esses lineamentos delimitam quatro blocos morfotectônicos (I, II, III e IV), subdivididos por lineamentos de médio porte, predominantemente transversais aos de maior extensão. Ao sul do LPF e nos blocos III e IV foram identificadas seis morfoestruturas anelares. Todas se apresentam com centro soerguido, caracterizando estruturas do tipo flor positiva ou “palmeira”.

As morfoestruturas anelares são frequentemente seccionadas por lineamentos escalonados transversais à direção de encurtamento (Lisboa *et al.*, 2022; 2025). No modelo cinemático adotado (Figura 5B), esses lineamentos são interpretados como falhas diretas transtensivas, paralelas ou aproximadamente paralelas ao esforço máximo σ_1 , constituindo sistemas de fraturamento abertos e potenciais reservatórios de água subterrânea.

A análise do diagrama de roseta (Figura 5A) evidencia a direção NW como predominante, seguida pelas direções NNW e ENE. Essa distribuição demonstra que os lineamentos NW, atribuídos à segunda fase de deformação, interceptam aqueles orientados aproximadamente N-S e E-W, associados à primeira fase, corroborando o modelo de evolução tectônica pós-jurássica proposto para o Grupo Serra Geral (Strieder *et al.*, 2015).

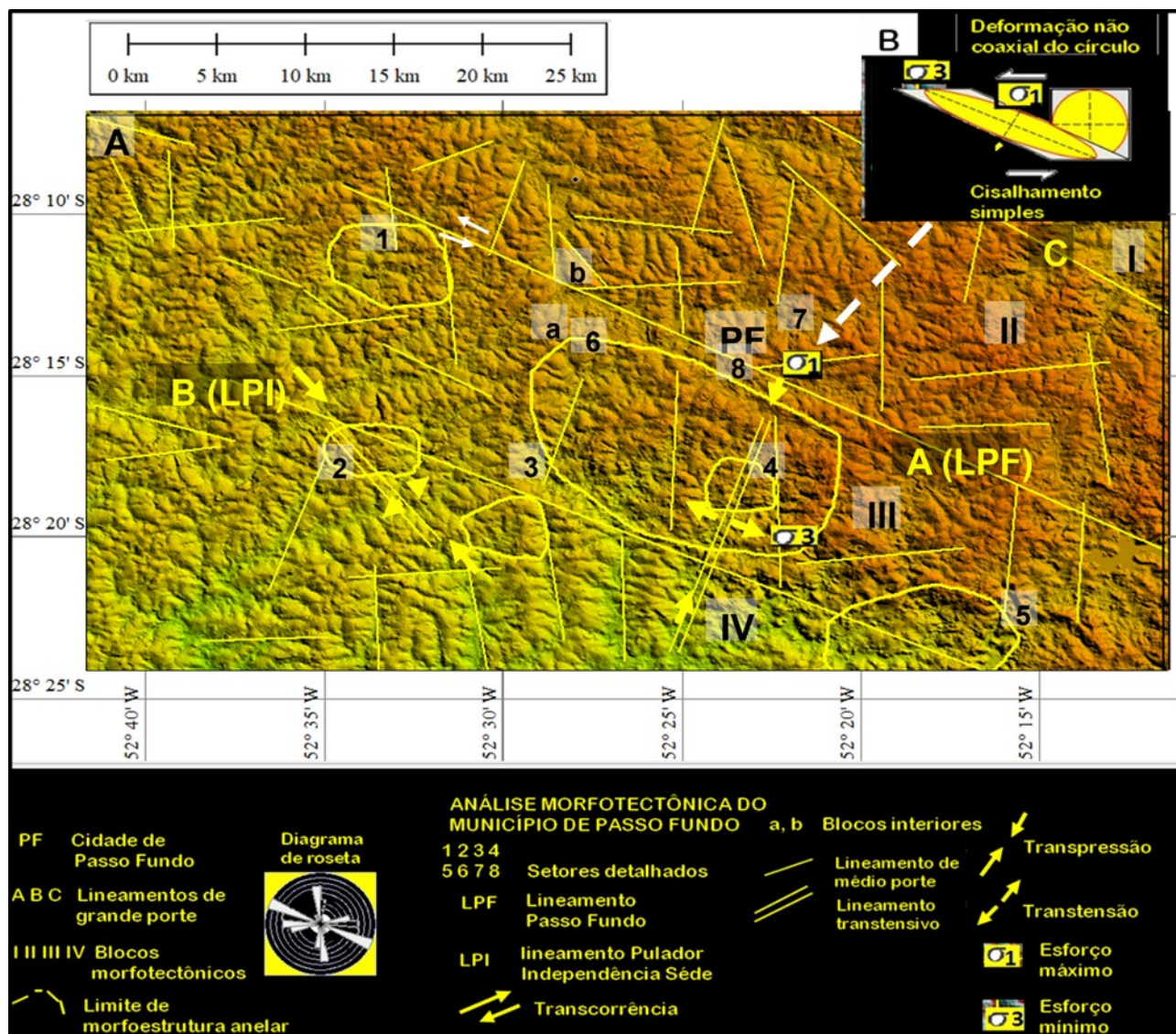


Figura 5. Interpretação morfoestrutural regional na região de Passo Fundo, utilizando a imagem SRTM, com os lineamentos de grande e médio porte e as morfoestruturas anelares. Comportamento dos lineamentos no diagrama de roseta e no modelo cinemático dos esforços que influenciaram o padrão de tectonismo rígido que afetou a área.

Figure 5. Regional morphostructural interpretation in the Passo Fundo region using the SRTM image with major and medium-scale lineaments and ring-shaped morphostructures. Behavior of the lineaments in the rose diagram and kinematic model of the stresses that influenced the rigid tectonism pattern affecting the area.

3.3 Análise Morfoestrutural de Semi Detalhe

Após o estabelecimento do arcabouço regional, com base na geologia da área e na análise morfoestrutural, iniciou-se o estudo em escala semidetalhada nas porções do município que concentram a maior parte da população (Figura 3): a cidade de Passo Fundo e os distritos de Bela Vista, Pulador, Bom Recreio, São Roque e Independência Sede.

O estudo resultou na sugestão de seis sítios adequados para perfuração em cada distrito e de trinta sítios na cidade de Passo Fundo, com expectativa de obtenção de poços classificados como de produção moderada, com vazões entre 25 e 50 m³/h e capacidade específica entre 1 e 2 m³/h/m.

Também foram consideradas as potencialidades de água subterrânea associadas a lineamentos negativos de grande e médio porte (Tabela 2), provavelmente de natureza transtensiva, bem como as interseções entre lineamentos e as interseções destes com as bordas das morfoestruturas anelares.

Os sítios sugeridos têm caráter preliminar, compatível com a escala de semidetalhe na qual a análise morfoestrutural foi conduzida. Assim, durante a locação definitiva em campo, o ponto poderá ser deslocado por distâncias significativas, considerando as condições geológicas e geomorfológicas locais, bem como outros fatores ambientais do terreno.

3.3.1 Cidade de Passo Fundo

Na análise morfoestrutural do sítio que abrange a cidade de Passo Fundo e seus arredores, foram identificadas cinco feições fundamentais (Figura 6): o Lineamento Passo Fundo (LPF), a Morfoestrutura Anelar Passo Fundo (MPF), a Morfoestrutura Anelar Arroio Miranda (MAM), a Morfoestrutura Anelar Integração (MI) e os lineamentos transtensivos de médio porte (T).

O LPF, de direção noroeste, é uma estrutura de grande porte que atravessa aproximadamente o centro da cidade, dividindo-a em duas porções: nordeste e sudoeste. Trata-se de uma crista isoclinal suave, também orientada para noroeste, que constitui a principal feição estrutural positiva do município. No trecho que corta a área urbana, comporta-se como zona desfavorável à acumulação de água subterrânea. O LPF corresponde a uma falha transcorrente rasa, com estiramento regional NW e provável movimento sinistral, inferido a partir do encurtamento preferencial NW das morfoestruturas anelares associadas, evidência de rotação de blocos para a esquerda, conforme o modelo cinemático da Figura 5B.

Na borda nordeste do LPF observam-se linhas de drenagem e lineamentos negativos de médio porte, também orientados NW, que favorecem a acumulação de água subterrânea. Nesses lineamentos foram sugeridos cinco sítios de perfuração com potencial para vazões de estabilização moderadas.

A Morfoestrutura Passo Fundo (MPF) tem seu centro na porção mediana ao longo do LPF e aproximadamente na parte central da Figura 6A, configurando um alto topográfico que a caracteriza como bloco elevado ou morfoestrutura em flor positiva (Figura 6A). Possui forma aproximadamente retangular, com eixo maior E–W, com cerca de 12 km de comprimento, apresentando encurtamento nessa direção. Divide-se em dois setores: o Nordeste, correspondente ao Bloco II da análise regional, e o Sudoeste, pertencente ao Bloco III (Figura 6A). O LPF, com orientação NW–SE, trunca os lineamentos N–S e E–W da MPF, confirmando a hipótese de Strieder *et al.* (2015; 2019) de que o LPF representa uma fase deformacional posterior. Os diagramas de roseta das figuras 5 e 6 ilustram essa relação.

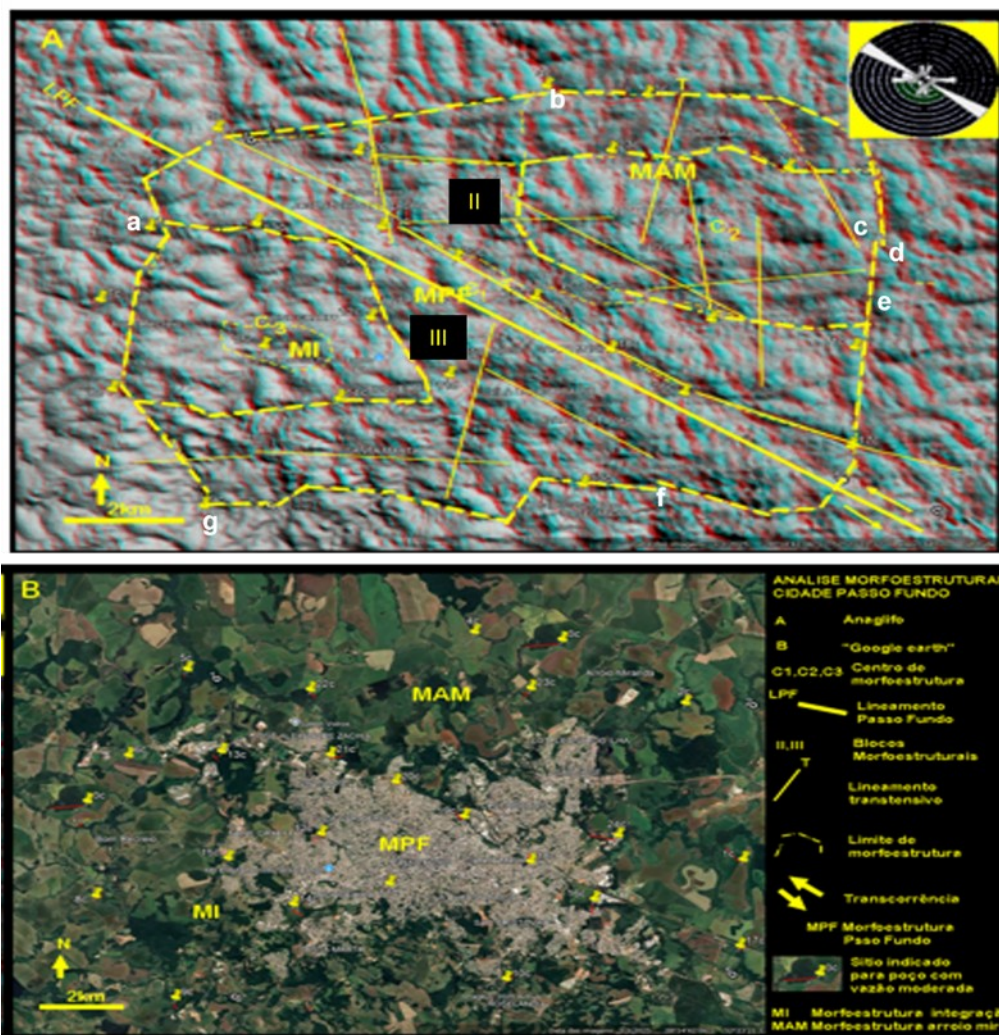


Figura 6. (A) Análise morfoestrutural da cidade de Passo Fundo em a, b, c, d, e, f e g, com poços nas bordas da morfoestrutura que apresentam vazões na classe 3 (entre 50 e 100 m³/h). Os resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta coincidem com os poços cadastrados que apresentam vazões moderadas a elevadas (ver Figura 3). (B) Locação dos sítios sugeridos no terreno. Fonte da imagem: Google Earth Pro (2025).

Figure 6. (A) Morphostructural analysis of the city of Passo Fundo at points a, b, c, d, e, f, g, and wells located at the edges of the morfoestrutura that present flow rates in class 3 (between 50 and 100 m³/h). The results obtained using the proposed methodology coincide with registered wells showing moderate to high flow rates (see Figure 3). (B) Location of the suggested sites in the field. Image source: Google Earth Pro (2025).

A análise do relevo evidencia diferenças marcantes entre os setores: o Sudoeste (Bloco III) apresenta textura mais fina e maior fragmentação em pequenos blocos poligonais; o Nordeste (Bloco II) exibe textura mais grossa, menor fragmentação e blocos poligonais maiores. Além disso, no setor Nordeste aflora a Formação Tupanciretã (Figura 4), que oferece melhores condições de recarga das fraturas do que os alteritos que recobrem diretamente as rochas vulcânicas do setor sudoeste. Essas características tornam este setor o mais favorável à acumulação de água subterrânea e sugerem que o bloco Sudoeste foi o mais ativo no movimento transcorrente. Nesta morfoestrutura, confirma-se a eficácia da locação de poços nas bordas de feições anelares, pela situação dos poços a, b, c, d, e, f e g próximos às suas bordas, com vazões específicas na ordem de 0,4 a 1 m³/h/m (Figuras 3 e 6).

Foram indicados dez sítios para perfuração de novos poços nas bordas da MPF (Figura 6B). Embora mais afastados da zona central, esses locais provavelmente apresentam maior potencial para vazões moderadas, devido às dimensões da morfoestrutura. As demais morfoestruturas identificadas encontram-se contidas dentro da MPF.

A Morfoestrutura Arroio Miranda (MAM), situada no Bloco II, possui eixo maior levemente orientado para noroeste, com cerca de 8 km de extensão. Seu centro corresponde a um alto topográfico, caracterizando-o como um bloco elevado ou morfoestrutura em flor positiva. É cortada transversalmente por lineamentos de médio porte com direção N-S e discreta oscilação para NE, interpretados como transtensivos (T) segundo o modelo cinemático aplicado. Esses lineamentos favorecem a acumulação de água subterrânea. Após as bordas da MPF, as bordas da MAM constituem as áreas mais promissoras para perfuração de poços com vazões moderadas. Foram sugeridos seis sítios de perfuração (Figura 6B).

A Morfoestrutura Integração (MI), por sua vez, apresenta menor potencial hidrogeológico do que a MAM, devido à sua localização no Bloco III e às dimensões reduzidas. É quase circular, com eixo maior NW e extensão de aproximadamente 5 km. Seu centro corresponde a um baixo topográfico, caracterizando-o como um bloco rebaixado ou uma estrutura em flor negativa, com condições favoráveis à acumulação de água subterrânea. Foram sugeridos oito sítios de perfuração em suas bordas e um em seu centro (Figura 6B).

Os lineamentos transtensivos de médio porte (T) também constituem alvos adequados para locação de poços com expectativa de vazões moderadas. A escolha dos pontos deve privilegiar as interseções entre esses lineamentos e as bordas das morfoestruturas anelares. O diagrama de roseta da Figura 6A reforça os padrões já descritos em todo o município, em concordância com a Figura 5A.

3.3.2 Distrito Bela Vista: Morfoestrutura Bela Vista (MBV)

O Distrito Bela Vista localiza-se na borda nordeste de um bloco poligonal. A análise do sítio evidencia a morfoestrutura anelar Bela Vista (MBV), levemente alongada na direção Noroeste-Sudeste, com eixo maior de aproximadamente 4 km (Figura 7A). Predominam basaltos da Formação Vale do Sol, do Grupo Serra Geral, enquanto, na borda sudeste, afloram rochas sedimentares da Formação Tupanciretã (Figura 4).

O centro da MBV é soerguido (C), caracterizando um bloco alto ou uma estrutura em flor positiva, com canais de drenagem em padrão radial/anelar. No interior, ocorrem blocos menores delimitados por lineamentos e fraturas de pequeno porte. Destacam-se os lineamentos L1 (E-W) e L2 (setor NW-W), que ultrapassam os limites da morfoestrutura e podem ser de médio porte. Como não são transversais ao encurtamento do bloco, provavelmente não apresentam caráter transtensivo. O diagrama de roseta (Figura 7A) evidencia a predominância de lineamentos mais extensos nas direções Leste-Oeste e no setor W-NW.

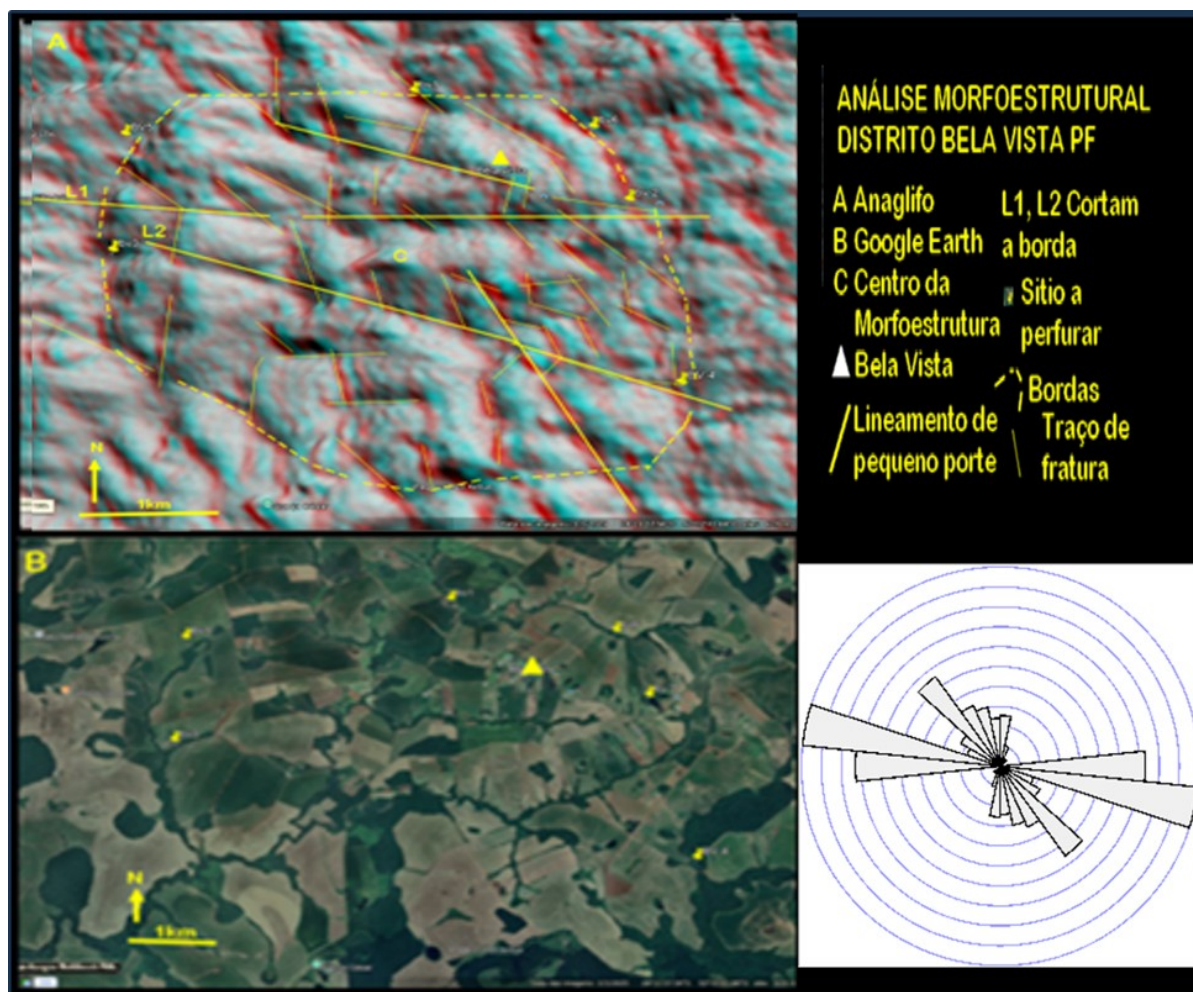


Figura 7. Contexto morfoestrutural do Distrito Bela Vista (A) e localização dos sítios a perfurar no terreno (B). Fonte da imagem: Google Earth Pro (2025). Como locais preferenciais para sítios a perfurar, na expectativa de se obter vazões moderadas, devem ser selecionadas as bordas da MBV, em particular a borda Leste, onde foram definidos 4 sítios (Figura 6B) para perfuração de poços (mais próximos do Distrito). Também foram locados 2 sítios (Figura 6B) na borda oeste, mais distantes do distrito, com o objetivo de comparar a produtividade de poços perfurados nas duas bordas. Os lineamentos L1 e L2 também têm potencial para a locação de sítios para poços com produtividade de classe moderada.

Figure 7. Morphostructural context of the Bela Vista District (A) and location of the sites to be drilled in the field (B), image source: Google Earth Pro (2025). As preferential drilling sites, with the expectation of moderate flow rates, the edges of the MBV should be selected, particularly the eastern edge, where 4 sites (Figure 6B) were defined for well drilling (closer to the district). Two sites (Figure 6B) were also located on the western edge, farther from the district, to compare the productivity of wells drilled on both edges. Lineaments L1 and L2 also have potential for locating sites for wells with moderate productivity.

3.3.3 Distrito de Pulador: Morfoestrutura Pulador (MP)

O Distrito Pulador localiza-se na porção sudoeste de um bloco poligonal, com morfoestrutura anelar orientada no eixo Leste-Oeste e comprimento aproximado de 3 km (Figura 8). Toda a área do MP encontra-se nos sedimentos da Formação Tupanciretã (Figura 4), condição favorável à recarga do aquífero basáltico fraturado subjacente, o que contribui para a expectativa de vazões de classe moderada a alta. O centro da estrutura situa-se em alto topográfico (C), caracterizando um bloco poligonal elevado ou morfoestrutura em flor positiva. A área é atravessada transversalmente por um lineamento de médio porte (L1), com direção noroeste, provavelmente de natureza transtensiva.

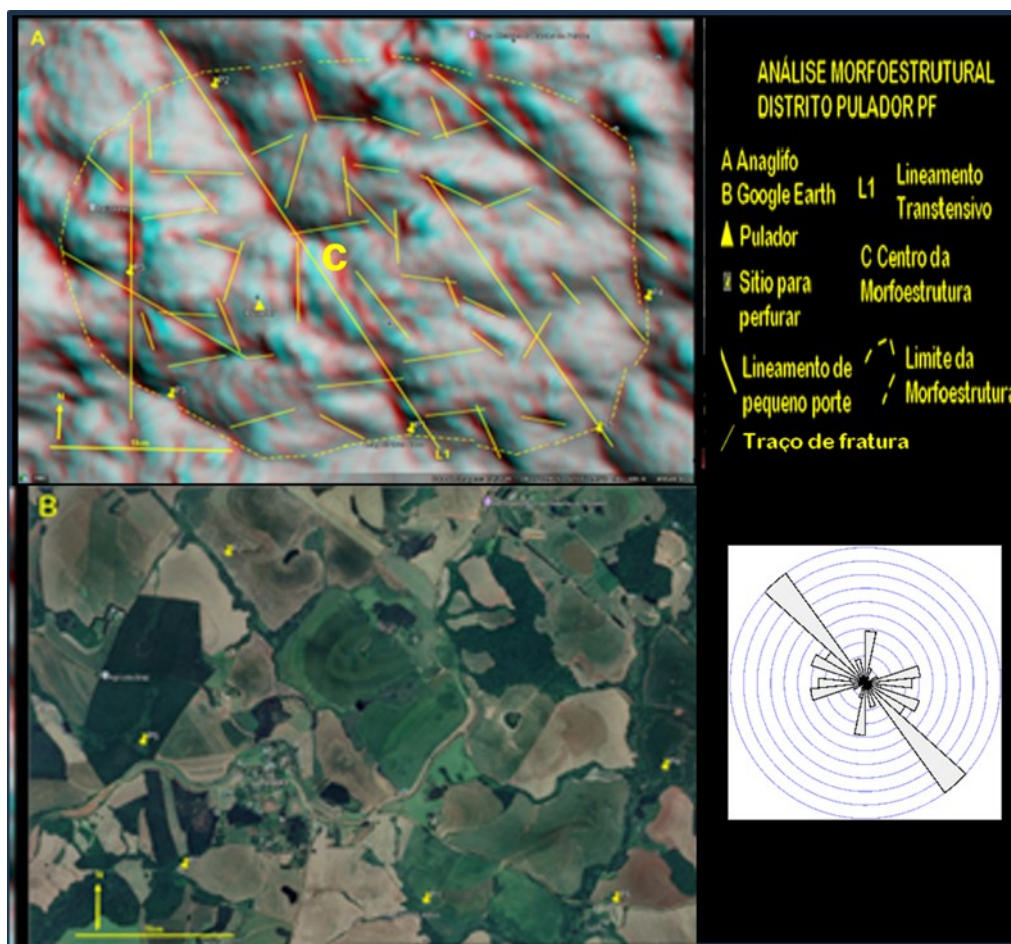


Figura 8. Contexto morfoestrutural do Distrito Pulador (A) e localização dos sítios a perfurar no terreno (B), fonte: Google Earth Pro (2025). O diagrama de roseta ilustra a predominância dos comprimentos de direção NW, W-NW e em menor quantidade, das direções N-S e E-W. Foram sugeridos 4 sítios (Figura 8B) no setor oeste mais próximos do distrito, sendo dois na intersecção da borda da morfoestrutura com o lineamento L1 e dois na borda leste, mais afastados.

Figure 8. Morphostructural context of the Pulador District (A) and location of the sites to be drilled in the field (B), source: Google Earth Pro (2025). The rose diagram shows the predominance of NW and W-NW directional lengths, and, to a lesser extent, the N-S and E-W directions. Four sites (Figure 8B) were suggested in the western sector, closer to the district, two at the intersection of the morfostructure edge with lineament L1 and two on the eastern edge, farther away.

3.3.4 Distrito Bom Recreio: Morfoestrutura Bom Recreio (MBR)

A Morfoestrutura Bom Recreio (MBR), localizada no distrito de Bom Recreio, corresponde a um bloco situado na extremidade nordeste de uma ampla morfoestrutura anelar, cujo eixo se estende na direção sudoeste-nordeste. A MBR possui cerca de 4 km de diâmetro e apresenta o centro (C) elevado em relação às bordas, enquadrando-se no modelo de bloco poligonal alto, característico de uma morfoestrutura anelar em flor positiva (Figura 9).

Na MBR afloram sedimentos da Formação Tupanciretã e, em um pequeno setor ao sudeste, basaltos da Formação Vale do Sol, ambos pertencentes ao Grupo Serra Geral (Figura 4). A presença de sedimentos que recobrem o aquífero basáltico fraturado subjacente favorece a recarga, criando boas condições para a perfuração de poços, com expectativa de vazões moderadas a elevadas.

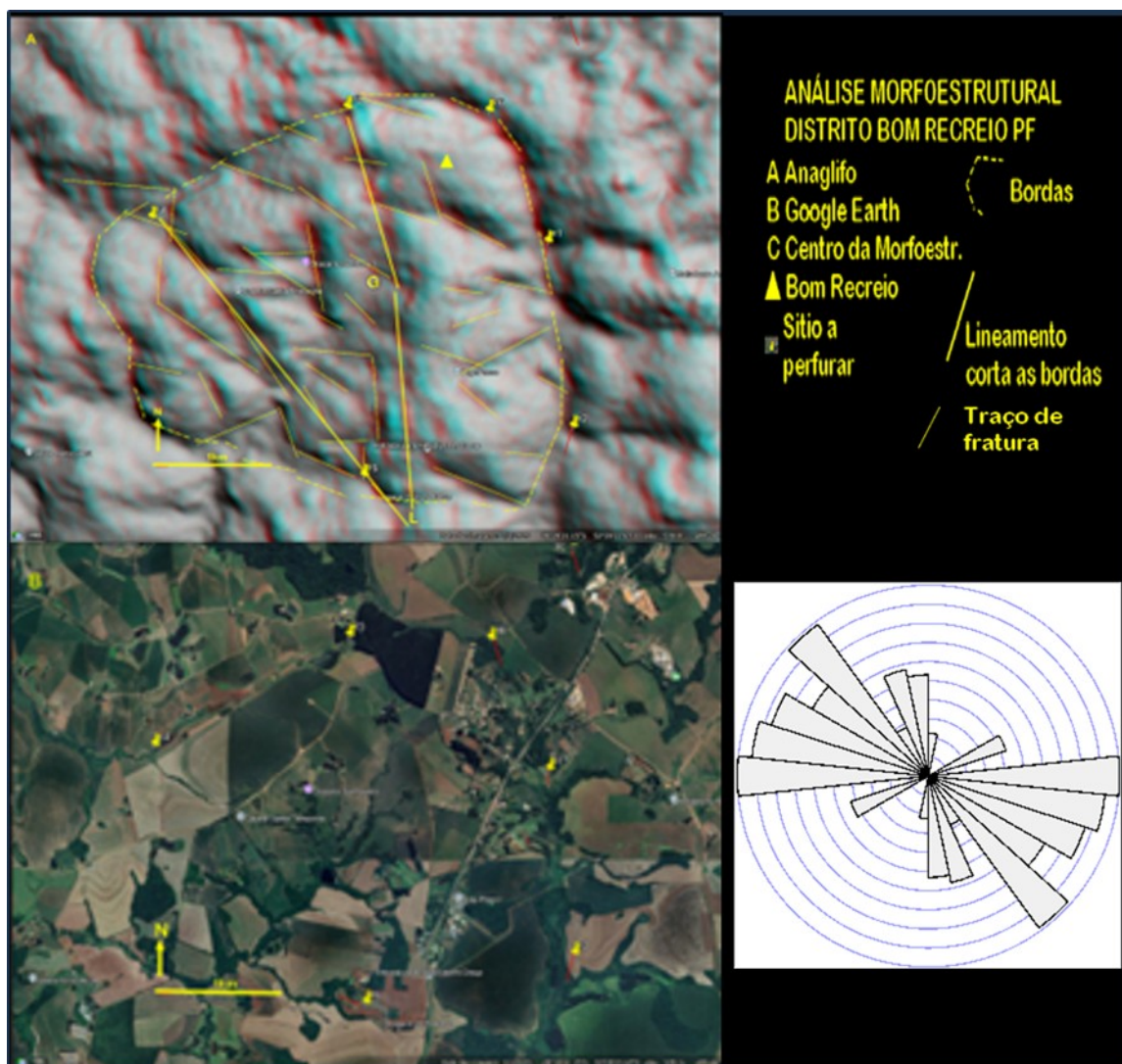


Figura 9. Contexto morfoestrutural do Distrito Bom Recreio (A) e localização dos sítios sugeridos para perfuração no terreno (B). Fonte da imagem: Google Earth Pro (2025).

Figure 9. Morphostructural context of the Bom Recreio District (A) and location of the suggested sites to be drilled in the field (B). Image source: Google Earth Pro (2025).

A estrutura é cortada transversalmente por dois lineamentos de pequeno porte (L), provavelmente transtensivos, que constituem zonas favoráveis à acumulação de água subterrânea. O diagrama de roseta evidencia a predominância de lineamentos significativos nas direções W-NW e E-W.

Foram definidos três sítios (Figura 9B) no limite leste da MBR, próximos a sede do distrito de Bom Recreio, e outros três nas bordas norte e sul, localizados na intersecção da morfoestrutura com os lineamentos transtensivos. Nos sítios selecionados, a configuração dos poços indica expectativas de produção com vazões moderadas.

3.3.5 Distrito São Roque: Morfoestrutura São Roque (MSR)

A Morfoestrutura São Roque (MSR) corresponde a um bloco quase circular, levemente alongado na direção noroeste (Figura 10). Seu centro é mais elevado que as bordas, o que caracteriza a MSR como um bloco alto ou uma morfoestrutura em flor positiva.

Na área da MSR afloram basaltos do Grupo Serra Geral, da Formação Vale do Sol. Há também a possibilidade de ocorrência de riolitos e riodacitos da Formação Palmas (Grupo Serra Geral) na borda leste (Figura 4).

O eixo maior da MSR orienta-se NW-SE e é cortado transversalmente por dois lineamentos (L1 e L2), com direção aproximada de N-S. Esses lineamentos de médio porte possuem características distintas, sendo o L1 localizado em condição de vale do tipo transtensivo, com bom potencial para a acumulação de água subterrânea. O L2 está na condição de crista, podendo ser transpressivo e apresentar menor potencial de acumulação de água subterrânea. O diagrama de roseta indica predominância de fraturas nas direções NW e no setor W-NW, com menor expressão nas direções N-S e E-W.

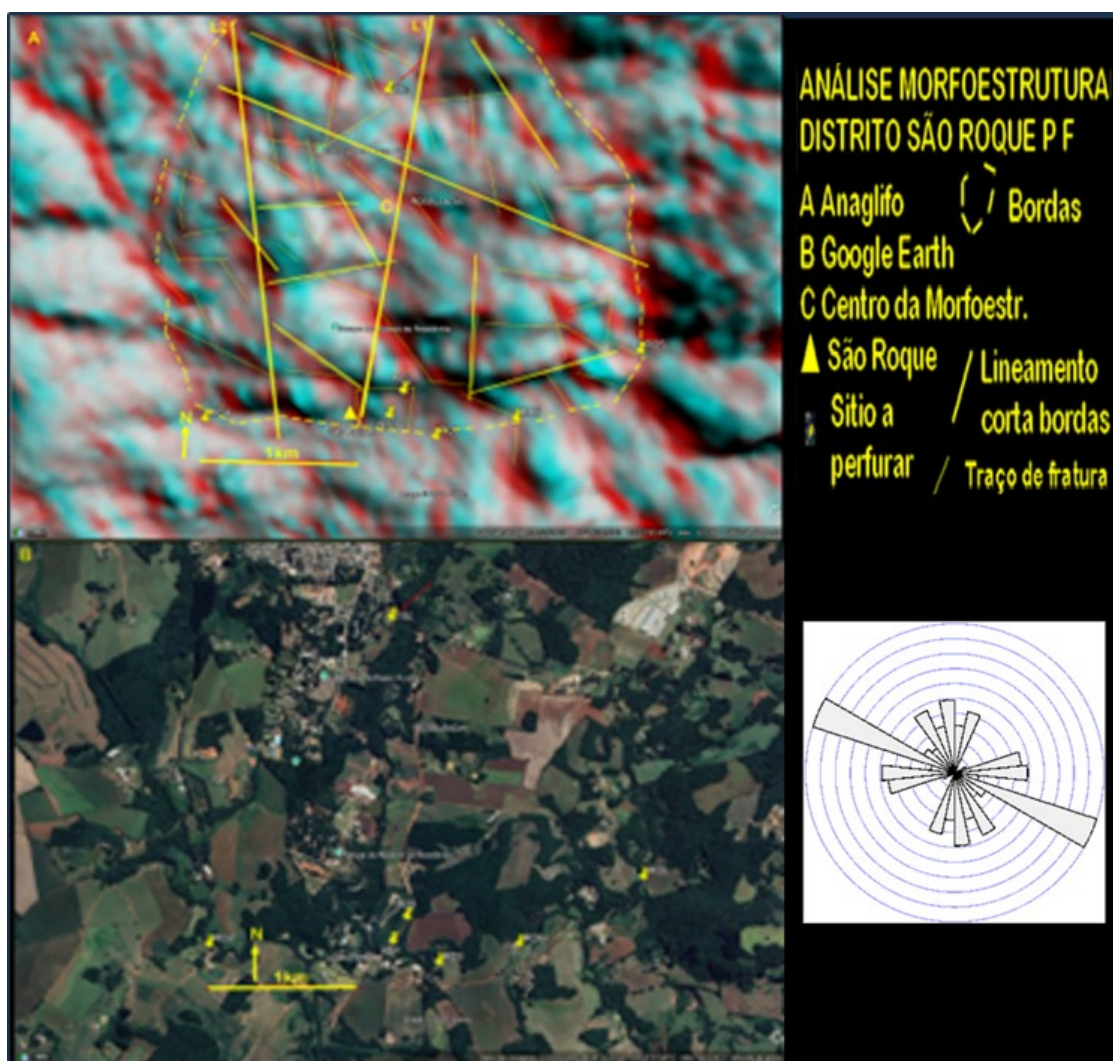


Figura 10. Contexto morfoestrutural do Distrito São Roque (A) e localização dos sítios sugeridos para perfuração no terreno (B). Fonte da imagem: Google Earth Pro (2025).

Figure 10. Morphostructural context of the São Roque District (A) and location of the suggested sites to be drilled in the field (B). Image source: Google Earth Pro (2025).

A Morfoestrutura São Roque (MSR) constitui-se num bloco dentro da área de influência da Morfoestrutura Passo Fundo (MPF). Considerando apenas o MSR, foram indicados cinco sítios de perfuração (Figura 10B), plotados na região de borda do bloco. Além disso, foi sugerido um sítio no lineamento L1, próximo à borda norte da morfoestrutura, para avaliar o potencial hídrico desse setor.

3.3.6 Distrito Independência Sede: Morfoestrutura Independência (MI)

O Distrito Independência localiza-se na borda nordeste de um bloco poligonal denominado Morfoestrutura Anelar Independência (MI), de forma elíptica alongada na direção nordeste, com diâmetro maior de aproximadamente 7 km (Figura 11). O centro da MI corresponde a um alto topográfico, o que a caracteriza como um bloco poligonal elevado, uma morfoestrutura anelar em flor positiva.

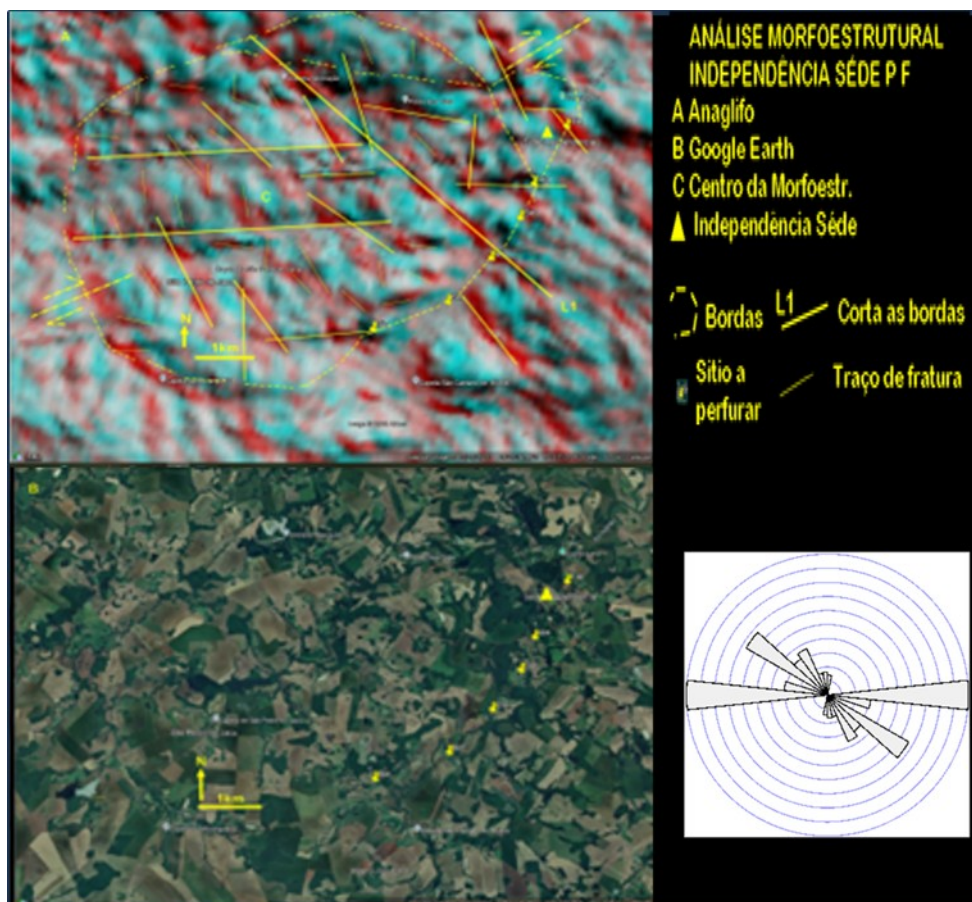


Figura 11. Morfoestrutura Anelar Independência (A) e localização dos sítios a perfurar no terreno (B). Fonte da imagem: Google Earth Pro (2025).

Figure 11. Independência Ring Morphostructure (A) and location of the sites to be drilled in the field (B). Image source: Google Earth Pro (2025).

O substrato da MI é constituído por rochas vulcânicas da Formação Palmas (Grupo Serra Geral), representadas por riolitos e riodacitos (Figura 4).

A MI distingue-se das demais já descritas por apresentar eixo maior orientado na direção nordeste, quase leste-oeste. Essa orientação sugere rotação dextral do bloco, provocada por movimento transcorrente de uma falha profunda não aflorante, uma vez que não foram identificados lineamentos de grande porte que indiquem falha transcorrente rasa nas imagens analisadas.

Nessa nova configuração, os lineamentos transtensivos tendem a ocorrer na direção noroeste, como exemplificado pelo lineamento L1 (Figura 10). O diagrama de roseta evidencia que os lineamentos de maior comprimento se concentram nas direções E–W e no setor W–NW.

Foram sugeridos seis sítios na borda nordeste da MI (Figura 11B), a mais próxima do Distrito Independência Sede, incluindo um localizado na intersecção da borda com o lineamento interpretado como transtensivo.

4. Conclusões

Os resultados de vazão de estabilização mostram que, embora a maior parte dos poços avaliados em Passo Fundo apresente baixa produtividade (entre 1 e 10 m³/h), existem setores pontuais capazes de fornecer vazões significativamente mais altas (50 a 100 m³/h) e com capacidade para atender à demanda por água potável do município. Essa variabilidade é típica de aquíferos fraturados como o SASG, nos quais a ocorrência e a conectividade das descontinuidades estruturais — falhas e fraturas — controlam diretamente o potencial hidrogeológico.

Diante disso, torna-se essencial empregar técnicas de análise morfoestrutural e hidrogeológica que permitam identificar previamente as áreas mais favoráveis à locação de poços. A integração dessas informações aumenta a probabilidade de encontrar sítios com maior capacidade de produção. No conjunto de poços cadastrados no SIAGAS (CPRM, 2026), observou-se que os de maior produtividade estão localizados nas áreas definidas neste trabalho como de maior favorabilidade.

Na região de Passo Fundo, a Formação Tupanciretã recobre parcialmente os basaltos do Grupo Serra Geral, aflorando principalmente nos setores noroeste e central do município. Esses sedimentos friáveis atuam como zonas preferenciais de recarga, favorecendo o abastecimento das fraturas subjacentes. Assim, apresentam melhores condições hidrogeológicas do que as áreas onde os vulcanitos estão cobertos apenas por regolito de alteração.

A metodologia adotada destaca a presença de grandes lineamentos estruturais, interpretados como falhas transcorrentes rasas, conectadas a estruturas profundas do embasamento e reativadas após o vulcanismo da Serra Geral. O modelo de blocos morfoestruturais (Yao *et al.*, 2012) mostra que essas unidades poligonais formam padrões anelares de drenagem, cujas bordas, mais fraturadas e situadas em cotas mais baixas, constituem zonas preferenciais de acumulação de água subterrânea e, portanto, locais promissores para perfuração de poços com vazões moderadas a altas.

Em Passo Fundo predominam blocos altos, associados a esforços transpressivos e à provável transcorrência sinistral do Lineamento Passo Fundo (LPF). Esse lineamento, de grande porte e direção noroeste, atravessa o município dividindo-o em duas porções e formando uma crista estrutural que, no trecho urbano, não favorece a acumulação de água subterrânea. Entretanto, lineamentos transversais escalonados que cortam esses blocos podem representar falhas diretas transtensivas, alinhadas ao esforço máximo σ_1 , constituindo alvos potenciais para exploração hídrica.

Por fim, os distritos de Pulador e Bom Recreio, onde afloram os sedimentos da Formação Tupanciretã, apresentam as condições mais favoráveis para a seleção de novos sítios de perfuração. Já os distritos Bela Vista, São Roque e Independência Sede, onde os basaltos estão recobertos apenas por regolito, tendem a apresentar menor potencial hidrogeológico.

Conclui-se que a integração entre as análises estrutural e morfoestrutural e os dados hidrogeológicos é decisiva para otimizar a locação de poços no município de Passo Fundo. A identificação de setores favoráveis, especialmente as bordas de blocos morfoestruturais

e as áreas de recarga associadas à Formação Tupanciretã, permite direcionar as perfurações para zonas com maior potencial de produtividade. Em um contexto de crescente demanda por água subterrânea, a aplicação desse modelo reduz incertezas, minimiza custos operacionais e aumenta a eficiência da exploração, constituindo uma base técnica sólida para o planejamento e a gestão sustentáveis dos recursos hídricos locais.

Agradecimentos: Os autores agradecem a disponibilidade da infraestrutura da UFRGS.

Contribuições dos Autores: Concepção, N.A.L. e N.D.; metodologia, N.A.L., P.A.R.R. e N.D.; software, R.R.R., N.A.L.; validação, P.A.R.R., M.V.D.R. e L.P.F.; análise formal, N.D. e R.R.R.; pesquisa, N.A.L., P.A.R.R. e N.D.; recursos, N.A.L.; preparação de dados, N.A.L., N.D. e P.A.R.R.; escrita do artigo, N.A.L. e N.D.; revisão, M.V.D.R., L.P.F., R.R.R.; supervisão, N.D.; aquisição de financiamento, N.A.L., N.D. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

- Almeida, F.F.M. 1956. O planalto basáltico da Bacia do Paraná. *Boletim Paulista de Geografia*, 24: 34 p.
- Araújo, C.C.; Yamamoto, J.K.; Madrucci, V. 2003. Análise morfoestrutural em área de ocorrência de arenito asfáltico, Bacia do Paraná, São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 24(1-2): 25-41.
- Arthur, P.C. & Soares, P.C. 2002. Paleoestruturas e petróleo na Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(4): 433-448. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2002324433448>
- Brasil. 2022. *Censo demográfico 2022: população e domicílios: primeiros resultados*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2026. *Sistema de informações de águas subterrâneas (SIAGAS)*. Disponível em: <<https://siagasweb.cprm.gov.br/PortoAlegre>>.
- Diniz, J.A.O.; Monteiro, A.B.; Silva, R.C.; Paula, T.I.F. 2014. *Manual de cartografia hidrogeológica*. Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.
- Fragomeni, L.P.; Fhynbeen, C.A.; Escosteguy, P.A.V. 2006. Estimativa de uso da água dos poços tubulares profundos da área urbana de Passo Fundo, RS. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, XIV. *Anais...* 10 p.
- Gold, D.P. 1980. Structural geology. In: Siegal, B.S. & Gillespie, A.R. (Eds.). *Remote Sensing in Geology*. New York: John Wiley & Sons. cap. 14, p. 461-466.
- Google Earth Pro. 2025. *Google Earth website*. Disponível em: <<https://earth.google.com>>.
- Hasenack, H.; Weber, E. 2010. *Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul: escala 1:50.000*. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Ecologia. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento, n. 3). Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/labgeo/>>.
- Justus, J.O.; Machado, M.L.A.; Franco, M.S. Moreira. 1986. Geomorfologia. In: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Levantamento de recursos naturais*, 33: 313-404.
- Lisboa, N.A. 1996. *Fácies e estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral, na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 135 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lisboa, N.A. & Schuck, M.T.O. 1988. Caracterização de formas e padrões estruturais no Grupo São Bento da Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul, em imagens orbitais e suborbitais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba. *Anais...*
- Lisboa, N.A. & Reginato, P.A.R. 2021. Avaliação de locais para a perfuração de poços tubulares no Sistema Aquífero Serra Geral no estado do Rio Grande do Sul por meio da análise dos fatores condicionantes e uso de técnicas de sensoriamento remoto. *Águas Subterrâneas*, 35(1): 1-19. <https://doi.org/10.14295/ras.v35i1.30001>

Lisboa, N.A.; Dani, N.; Castro, J.W.; Reginato, P.A.R.; Remus, M.V.D. 2004. Síntese da ocorrência geológica das águas subterrâneas do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, XIII. *Anais...* 25 p.

Lisboa, N.A.; Dani, N.; Reginato, P.A.R. 2022. Prospecção de águas subterrâneas em morfoestruturas anelares que controlam os sistemas aquíferos da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. *Águas Subterrâneas*, 36(2): e-30174. <https://doi.org/10.14295/ras.v36i2.30174>

Lisboa, N.A.; Dani, N.; Reginato, P.A.R.; Remus, M.V.D. 2025. Análise de morfoestruturas na análise do potencial de áreas para a água subterrânea no Sistema Aquífero Serra Geral. *Águas Subterrâneas*, 39(2): 1-14. <https://doi.org/10.14295/ras.v39i2.30331>

Menegotto, E.; Sartori, P.L.; Maciel Filho, C.I. 1968. Nova sequência sedimentar sobre a Serra Geral no Rio Grande do Sul. *Instituto de Solos e Cultura da Universidade Federal de Santa Maria, Seção de Geologia, Publicação Especial*, 1: 1-19.

NASA JPL. 2025. *NASA Shuttle Radar Topography Mission global 1 arc second [conjunto de dados]*. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Acesso em: 3 fev. 2025. <https://doi.org/10.5067/MEaSURES/SRTM/SRTMGL1.003>.

O'Leary, D.W.; Friedman, J.D.; Pohn, H.A. 1976. Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, 87(10): 1463-1469. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1976\)87%3C1463:LLLSPN%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1976)87%3C1463:LLLSPN%3E2.0.CO;2)

Potter, P.E. 1997. The Mesozoic and Cenozoic paleodrainage of South America: A natural history. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(5-6): 331-344. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(97\)00031-X](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(97)00031-X)

Reginato, P.A.R. 2003. *Integração de dados para a prospecção de aquíferos fraturados em trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS)*. Porto Alegre, 254 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ricomini, C.; Santanna, L.G.; Fambrini, G.L. 2016. The Early Cretaceous Jacuí Group, a newly discovered volcanoclastic-epiclastic accumulation at the top of the Paraná Basin, Southern Brazil. *Cretaceous Research*, 59: 111-128. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2015.10.020>

Rossetti, L.; Lima, E.F.; Waichel, B.L.; Hole, M.J.; Simões, M.S.; Scherer, C.M.S. 2018. Litostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework. *Journal of Volcanology and Thermal Research*, 355: 98-114. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008>.

Rostirolla, S.P.; Mancini, F.; Rigoti, A.; Kraft, R.P. 2003. Structural styles of the intracratonic reactivation of the Perimbó fault zone, Paraná Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(4): 287-300. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00065-8](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00065-8).

Ruppel, K.M.V. 2023. *Geologia das formações pós-gondwânicas Santa Tecla e Tupanciretã – RS*. Porto Alegre, 235 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ruppel, K.M.V.; Dani, N.; Lisboa, N.A. 2023. Evolução morfotectônica e megageomorfológica das formações pós-gondwânicas Santa Tecla e Tupanciretã no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24(1): 1-24. <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i1.2181>.

Salamuni, E.; Silva, C.L.; Nascimento, E.R.; Santos, J.M.; Peyerl, W.R.L.; Gimenez, V.B. 2021. Morphometric and structural diagnosis of fault reactivation in the Cenozoic: A case study of the Blumenau-Soledade Lineament in southern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 51(3): 1-20. <https://doi.org/10.1590/2317-4889202120200080>

Silva, A.Q.; Domingos, F.H.G.; Silva Junior, A.G.; Conceição, A.; Souza, J.J. 2017. Uso de estereoscopia digital no ensino de mapeamento geológico nos cursos de formação em geociências. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVIII, Santos. *Anais...* Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr/trabalhos/uso-de-estereoscopia-digital-no-ensino-de-mapeamento-geologico-nos-cursos-de-for?lang=pt-br>>.

Silvester, A.G. 1988. Strike-slip faults. *Geological Society of America Bulletin*, 100(11): 1666-1703. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1988\)100%3C1666:SSF%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1988)100%3C1666:SSF%3E2.3.CO;2)

Soares, P.C. 1991. *Tectônica sinsedimentar cíclica na Bacia do Paraná: controles*. Curitiba. 141 p. Tese para concurso ao cargo de professor titular – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná.

Strieder, A.J.; Heemann, R.; Reginato, P.A.R.; Acauan, R.B.; Amorim, V.A.; Remde, M.Z. 2016. Jurassic-Cretaceous deformational phases in the Paraná intracratonic basin, Southern Brazil. *Solid Earth Discussions*, 7, 1263–1314. <https://doi.org/10.5194/sed-7-1263-2015>

Strieder, A.J.; Buffon, S.A.; Strieder, T.D. 2019. Structural analysis of magnetic lineaments in Central-West Paraná Basin (RS, SC, PR). In: International Congress of the Brazilian Geophysical Society, XVI. *Anais...* 6 p.

Viero, A.P.; Roisenberg, A.; Freitas, M.A.F.; Reginato, P.A.R. 2021. O Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. In: Jelinek, A.R. & Sommer, C.A. (Eds.). *Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2021. p. 469-485. <http://hdl.handle.net/10183/221962>

Wildner, W.; Ramgrab, G.E.; Lopes, R.C.; Iglesias, C.M.F. 2006. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000*. Porto Alegre: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil.

Yao, K.T.; Fouché, O.; Oga, M.S.; Ferriere, G.; Baka, D. 2012. A new concept for hard rock aquifers survey and management: Individual blocks approach. *American Journal of Scientific and Industrial Research*, 3(4): 208-220. <https://doi.org/10.5251/ajsir.2012.3.4.208.220>

Zalán, P.V. 1986. Identificação de falhas transcorrentes em seções sísmicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(3): 258-265. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1986258265>