REVISTA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Análise de morfoestruturas na avaliação do potencial de áreas para a água subterrânea no Sistema Aquífero Serra Geral

Analysis of morphostructures in the evaluation of the potential of areas for groundwater in the Serra Geral Aquifer System

Nelson Amoretti Lisboa[1], Norberto Danni[2], Pedro Antonio Roehe Reginato[3], Marcus Vinícius Dorneles Remus[4]

[1]Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul - Brasil, nelamorettilisboa@gmail.com
[2]Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul - Brasil, norberto.dani3@ufrgs.br
[3]Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul - Brasil, pedro.reginato@ufrgs.br
[4]Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul - Brasil, marcus.remus@ufrgs.br

Recebido:
10 de junho de 2025
Recebido no formato de revisão:
24 de junho de 2025
Aceito:
24 de junho de 2025
Disponível online:
08 de agosto de 2025
Seção:
Artigos

Palavras-chave:
Locação de poços.
Imagens orbitais.
SASG.
Bacia do Alto Rio Jacuí.

Keywords:
Well location.
Orbital imagens.
SAGS.
Upper Jacuí River Basin.

https://doi.org/10.14295/ras.v39i2.30331

RESUMO

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) possui grande importância no estado do Rio Grande do Sul, sendo o sistema mais utilizado para atender as demandas por água subterrânea, que crescem a cada ano. Este artigo apresenta o estudo de uma área com alto potencial hidrogeológico no domínio fraturado do SASG, localizada na Bacia hidrográfica do alto Rio Jacuí, visando avaliar áreas mais favoráveis para a perfuração de novos poços. O estudo envolveu o uso de imagens estereoscópicas de sensoriamento remoto, análise e interpretação da rede de drenagem, da tectônica rúptil e de dados hidrogeológicos de poços da CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento) extraídos do banco de dados SIAGAS (SGB-CPRM). Foi identificado um baixo estrutural circular, denominada de Bloco Tapera, sendo que dentro desse bloco foram avaliadas três morfoestruturas anelares, denominadas de Ibirubá (MAI), Não Me Toque (MANMT) e Tapera Cidade (MATC). A região abrangida pela MAI foi a área de maior potencial hidrogeológico, pois consiste num baixo estrutural que é uma feição favorável para a água subterrânea na sua parte central, bem como nas bordas onde há ocorrência de descontinuidades estruturais abertas por esforços de distensão. Em áreas de ocorrências de morfoestruturas geradas por transtensão e transpressão, baixos e altos estruturais, respectivamente, a locação de poços deve ser feita na parte interior da morfoestrutura, a uma determinada distância do lineamento que deve variar com o grau de inclinação da estrutura.

ABSTRACT

The Serra Geral Aquifer System (SGAS) is of great importance in the state of Rio Grande do Sul, being the most widely used system to meet the demands for groundwater, which are growing every year. This article presents the study of an area with high hydrogeological potential in the fractured domain of the SGAS, located in the upper Jacui river basin, aiming to evaluate the most favorable areas for drilling new wells. The study involved the use of stereoscopic remote sensing images, analysis and interpretation of drainage networks, brittle tectonics and hydrogeological data from CORSAN (Rio Grande do Sul Sanitation Company) wells extracted from the SIAGAS (SGB-CPRM) database. A ring structural unit was identified, called the Tapera Block, and within this block three ring morphostructures were evaluated, called Ibirubá (MAI), Não Me Toque (MANMT) and Tapera City. The region covered by the MAI was the area with the greatest hydrogeological potential, as it consists of a structural low that is a positive feature for groundwater in its central part, as well as on the edges where there are open structural discontinuities due to extension efforts. In areas where morphostructures generated by transtension and transpression occur, low and high structural, wells should be in the interior part of the morphostructure, at a determinated distance from the lineament that should vary with the degree of inclination of the structure.

1. INTRODUÇÃO

A terceira revolução industrial se instaurou no Brasil a partir de 1940 e desde então a demanda por recursos hídricos cresce a cada ano, para atender as necessidades geradas pelo abastecimento urbano e doméstico, na indústria e no comércio, bem como em atividades agrícolas e da pecuária (REBOUÇAS, 2004). De acordo com Hirata et al. (2019), 52% dos municípios do Brasil são abastecidos totalmente ou parcialmente por águas subterrâneas, sendo que o setor privado é responsável por explotar mais de 17,6 bilhões de m^3/ano, por meio de mais de 2,5 milhões de poços tubulares.

Para atender essa demanda crescente, novos poços são perfurados a cada ano, sendo que a perfuração deve ser feita num local mais favorável que deve ser definido por um estudo hidrogeológico de locação de poços. No entanto a locação em regiões de ocorrência de aquíferos fraturados é mais complexa, visto que esses aquíferos são anisotrópicos e heterogêneos e são condicionados, principalmente, pelas estruturas tectônicas.

No Rio Grande do Sul o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) é um dos principais sistemas do estado, sendo captado por milhares de poços que explotam mais de 1,02 bilhões de m^3 (Viero et al., 2021). Embora o SASG se caracterize como meio fraturado com porosidade secundária e possa ser menos produtivo que sistemas associados ao meio poroso primário, como o Sistema Aquífero Guarani (SAG), o SASG tem grande importância, pois ocupa mais de 50% da área do estado do RS, apresentando vazões médias em torno de 14m^3/h com água de boa qualidade (VIERO *et al*. 2021; LISBOA e REGINATO, 2021).

No estudo desenvolvido por Lisboa e Reginato (2021) o SASG no estado do Rio Grande do Sul, foi dividido em seis áreas aquíferas sendo que a região do Planalto Médio foi considerada como a melhor área aquífera, seguida pelas áreas do Planalto dos Campos Gerais, Planalto de Soledade, Alto Uruguai, Serra Geral e Planalto de Uruguaiana.

Com o objetivo de aprofundar o conhecimento das áreas de alto potencial e fornecer dados para a melhoria dos estudos de locação, visando a obtenção de poços com maior produtividade, foi desenvolvido esse estudo, na região da bacia hidrográfica do alto Rio Jacuí, que está localizada no Planalto Médio.

2. LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO MORFOTECTÔNICO REGIONAL

A área de estudo situa-se no Bloco Morfotectônico do Planalto Médio, na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Jacuí (RS) e abrange os municípios de Ibirubá, Não Me Toque, Colorado, Victor Graef, Espumoso, Alto Alegre, Selbach, Tapera e Lagoa dos Três Cantos (Figuras 1 e 2).

Três grandes paleoestruturas, definidas pelas zonas de falhas transcorrentes com mais de 100 km de comprimento, que são a Zona de Falha Dorsal de Canguçu (ZFDC), a Zona de Falha Açotea-Pedras Altas (ZFAPA), a Zona de Falha Ibaré (ZFI), cortam o SASG no Rio Grande do Sul e têm continuidade nas demais formações da Bacia do Paraná e no Escudo Sul-rio-grandense.

Estes sistemas de falhas subdividem o SASG em cinco blocos morfotectônicos diferentes que coincidem com as unidades geomorfológicas do Planalto das Araucárias no Rio Grande do Sul (JUSTUS e MACHADO, 1986): Planalto dos Campos Gerais, Planalto de Soledade, Alto Uruguai, Planalto Médio, Planalto de Uruguaiana (LISBOA *et al*. 2022). Também são encontradas áreas onde ocorre forte controle estrutural pela direção N20^{0}E, representada pela paleoestrutura Zona de Falha Passo do Marinheiro (ZFPM), e pelas direções Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (EW).

Na Figura 2, também pode-se observar o diagrama de roseta com as principais direções dos lineamentos no Planalto Médio (LISBOA 1996), onde há relativo equilíbrio entre as direções nordeste e noroeste, as quais refletem igual influência dos movimentos ocorridos nas zonas de falha ZFAPA, ZFDC e ZFI.

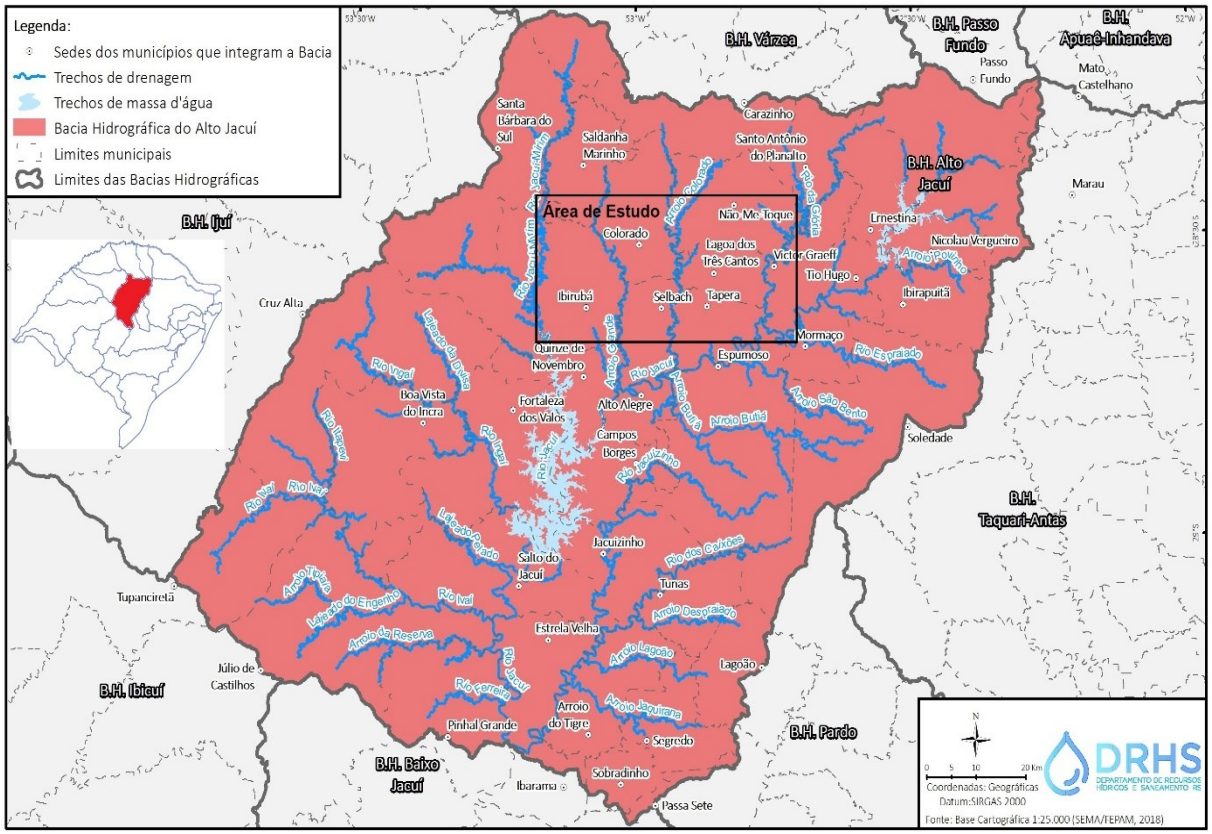
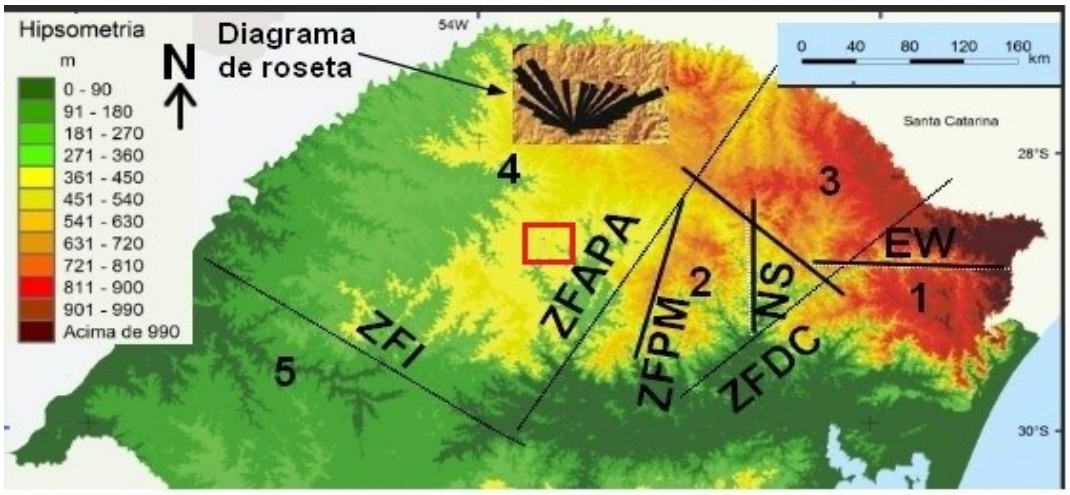


Figura 1. Localização da área de estudo (modificado de SEMA, 2025)



BLOCOS MORFOTECTÔNICOS
1. Planalto dos Campos Gerais
2. Planalto de Soledade
3. Alto Uruguai
4. Planalto Médio
5. Planalto de Uruguaiana
A - Área de Estudo

ZONAS DE FALHAS TIPO
ZFDC - Zona de Falha Dorsal de Canguçu
ZFAPA - Zona de Falha Açotea-Pedras Altas
ZFPM - Zona de Falha Passo do Marinheiro
ZFI - Zona de Falha Ibaré
NS - Zona de Falhas Norte-Sul
EW- Zona de Falhas EW
Área de Estudo

Figura 2. Contexto morfotectônico do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do estudo envolveu atividades relacionadas à identificação de áreas com características morfoestruturais favoráveis a acumulação de água subterrânea, na área de ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral no RS, avaliação de estruturas em imagens de sensoriamento remoto e avaliação de dados de poços tubulares.

3.1. Concepção de altos e baixos estruturais, acumulação de água subterrânea e escolha da área de estudo

A deformação que prevalece na parte superficial da crosta é a deformação rúptil e a rede de drenagem se adapta as estruturas geradas por estes últimos eventos deformacionais das rochas em superfície (ZERNITZ, 1932).

Os deslocamentos em uma zona de transcorrência aparecem em imagens de sensoriamento remoto realçados pela rede de drenagem e em mapas, como blocos formados progressivamente pela rotação dextral ou sinistral de um volume de rocha, em torno de um eixo vertical por cisalhamento simples, conforme pode ser observado na Figura 3 (PLUGIN e MARSHAK, 2004). Este modelo também foi assinalado e estudado concretamente na Zona de Falha Liquiño-Ofqui, com movimentação dextral e que apresenta aproximadamente 100 km de comprimento (MORENO et al. 2014). Nos estudos realizados por Soares (1991), Arthur e Soares (2002) também foram identificados blocos movimentados por transcorrência profunda em rochas da Bacia do Paraná, sendo que os autores classificaram esses blocos como paleoestruturas, que podem estar associadas a ocorrências de petróleo nesta Bacia, mas que também podem ser responsáveis pela ocorrência de aquíferos.

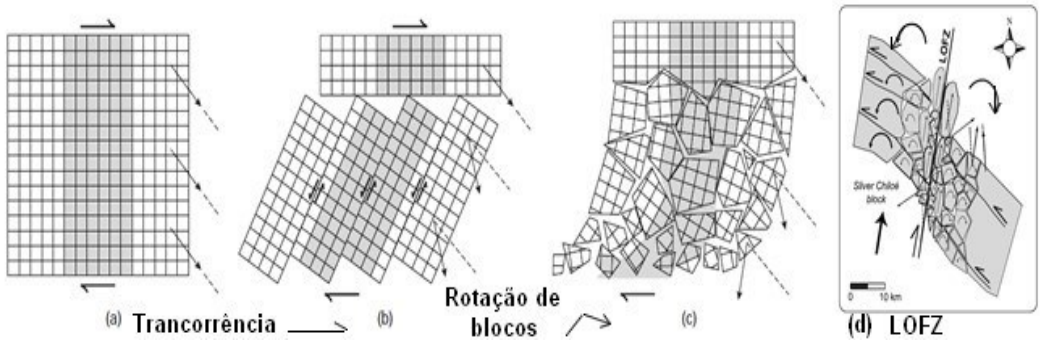


Figura 3. Modelo de blocos rotacionados (movimento dextral) vistos em planta (em (a, b e c) - modificado de PLUGIN e MARSHAK (2004)) e a representação da Zona de Falha Liquiñe-Ofqui (LOFZ – em (d) - MORENO *et al*. 2014).

Estes modelos geométricos são identificados e descritos em imagens orbitais estereoscópicas de sensoriamento para a maioria das formações da Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul (LISBOA *et al*. 2022). O critério geomorfológico utilizado para o reconhecimento destas feições foi a análise dos padrões de drenagem.

Uma vez que os padrões de drenagem refletem as feições relacionadas acima eles têm significado estrutural definido, que pode ser entendido pelo reconhecimento, análise e interpretação das orientações das drenagens (HOWARD, 1967).

Na área de estudo, foram identificadas e estudadas morfoestruturas que se apresentam conformadas segundo características de geometrias opostas onde se reconhecem dois padrões de drenagem, um o reverso do outro, radial centrífugo-anelar e radial centrípeto-anelar. Selecionou-se duas morfoestruturas da área de estudo, para ilustrar feições que se configuram como originadas por esforços transpressionais (combinação de transcorrência com compressão) e transtensionais (combinação de transcorrência com distensão) que apresentam as características geomorfológicas distintas acima mencionadas. As morfoestruturas escolhidas foram Tapera e Não Me Toque (Figura 4).

A região de Não Me Toque com padrão de drenagem radial centrífugo-anelar apresenta-se como alto estrutural na imagem, indicando a predominância de movimento de blocos por transpressão, com encurtamento crustal e prováveis falhas inversas em profundidade. Já a região de Tapera com padrão de drenagem radial centrípeto-anelar apresenta-se como baixo estrutural na imagem indicando a predominância de movimento de blocos por transtensão com extensão crustal e abatimento de blocos com falhas diretas em profundidade.

As unidades morfotectônicas e morfoestruturais identificadas que representam a predominância de blocos abatidos são as maiores acumuladoras de água subterrânea em toda a sua área, mas especialmente nas suas bordas.

O centro das unidades morfotectônicas e morfoestruturais que representam a predominância de blocos soerguidos é potencialmente negativo, mas as suas bordas apresentam potencial positivo para a acumulação de água subterrânea (LISBOA *et al.* 2022).

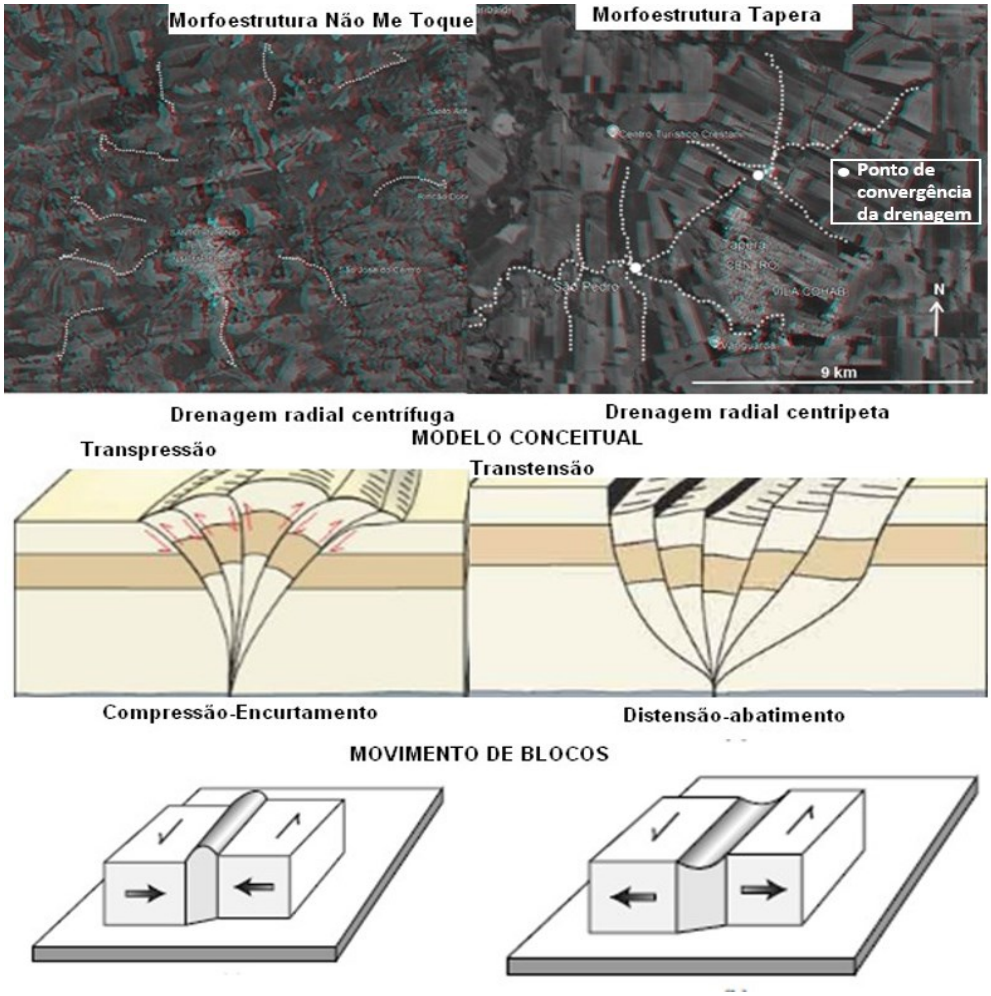


Figura 4. Anaglifos das morfoestruturas Não Me Toque e Tapera, esquema geral da tectônica de reativação e modelo conceitual com movimentos de blocos.

Falhas representadas por lineamentos de médio e grande porte nas imagens são também grandes acumuladoras de água subterrânea e apresentam elevada hierarquia no estudo de sistemas fraturados. Sabe-se ainda que o armazenamento da água subterrânea é diretamente proporcional ao comprimento da fratura acumuladora, bem como ao número de intersecção de fraturas que também são sítios de concentração de água subterrânea (LISBOA e REGINATO, 2021).

Levando em conta estes critérios identificou-se uma unidade morfoestrutural anelar com o centro abatido (baixo estrutural) onde se situa o município de Tapera, na Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí (Figura 5).

Esta morfoestrutura (Bloco Tapera) com características favoráveis para a acumulação de água subterrânea, foi estudada com o objetivo de determinar os principais condicionantes da ocorrência de aquíferos fraturados e o potencial hidrogeológico.

3.2. Imagens de sensoriamento remoto utilizadas e critérios de análise das imagens

Na avaliação preliminar do potencial de águas subterrâneas da área de estudo foram usadas imagens estereoscópicas obtidas a partir de imagens Google Earth Pro, opção 3 D (modelo tridimensional) e do Modelo Numérico do Terreno (MNT) SRTM (Shuttle Topography Radar Mission). Essas imagens foram utilizadas na elaboração de anaglifos (apresentados nas Figuras desse artigo), que foram gerados com uso do programa Anamaker.

Posteriormente as imagens foram analisadas e interpretadas visando a identificação de morfoestruturas, sendo que o traçado de lineamentos foi realizado no programa Photofiltre. A interpretação de imagens baseou-se no traçado de lineamentos materializados pelo alinhamento de formas do relevo e da drenagem, e na análise dos padrões de drenagem e de relevo.

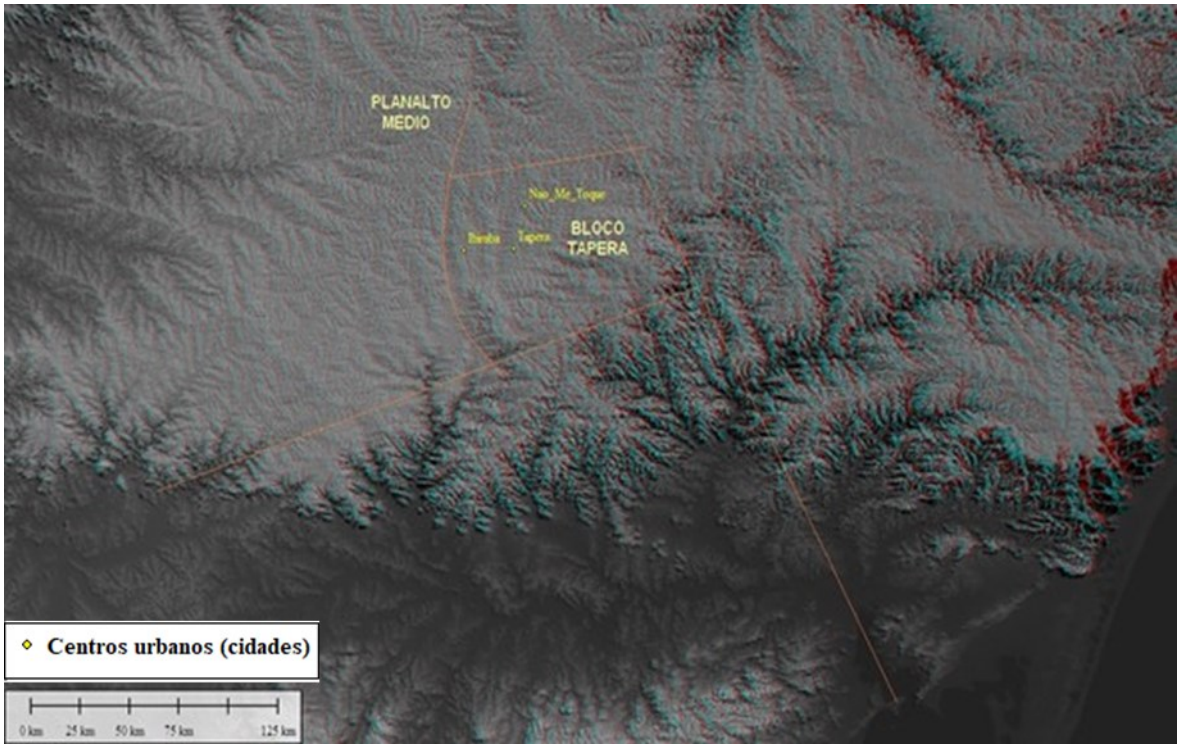


Figura 5. Anaglifo com a localização do Bloco Tapera e municípios (em amarelo), no Planalto Médio do Rio Grande do Sul.

As imagens foram georreferenciadas usando o programa QGIS, sendo que nessas imagens foram locados poços perfurados pela CORSAN, que foram obtidos no banco de dados SIAGAS (SGB-CPRM - https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/index.php). Os dados dos poços foram utilizados na avaliação da relação existente entre a produtividade dos mesmos e as feições estruturais existentes na área onde o poço foi perfurado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Morfoestrutura anelar Tapera (MAT)

O Bloco Tapera (Figura 6) é balizado por lineamentos de médio porte que configuram um polígono irregular de quatro lados, com os de maior comprimento orientados segundo a direção nordeste. O provável movimento de blocos é dextral ao longo dos lineamentos de médio porte com orientação nordeste, que correspondem ao movimento relativo de prováveis falhas antigas (lineamentos maiores do que 10 km). Estes lineamentos são paralelos à ZFDC.

A erosão mais intensa nos vértices do Bloco Tapera desenvolve internamente padrão de drenagem anelar, a qual geomorfologicamente configura uma morfoestrutura anelar alongada segundo a direção nordeste e com centro rebaixado, aqui denominada Morfoestrutura Anelar Tapera (MAT).

A configuração anelar com centro rebaixado lhe confere alto potencial hidrogeológico, tanto no seu centro como em suas bordas, conforme critérios estabelecidos por Lisboa *et al.* (2022). O interior da MAT é segmentado por lineamentos de pequeno porte segundo as seis direções detectadas na Formação Serra Geral (Figura 2). O conjunto destes lineamentos configura blocos menores, provavelmente rotados no sentido dextral em conformação semelhante ao modelo conceitual da Figura 3.

A morfoestrutura é cortada diametralmente por lineamento de médio porte com direção NW, onde o bloco está morfologicamente soerguido a nordeste e rebaixado a sudoeste. Na imagem pode-se observar que o bloco nordeste é mais dissecado que o sudoeste.

O perfil da Figura 7 ilustra a provável linha do fluxo regional da água subterrânea e variações locais na MAT, obedecendo o caimento da superfície topográfica de nordeste para sudoeste.

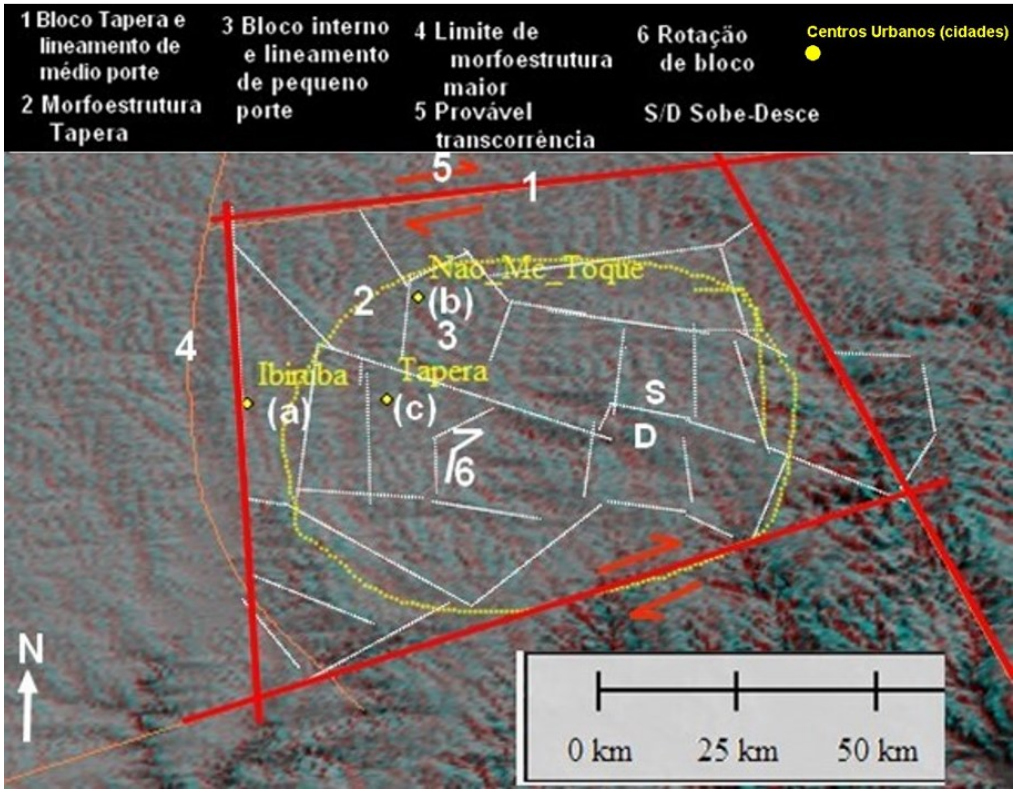


Figura 6. Anaglifo com avaliação da Morfoestrutura Anelar Tapera (MAT).

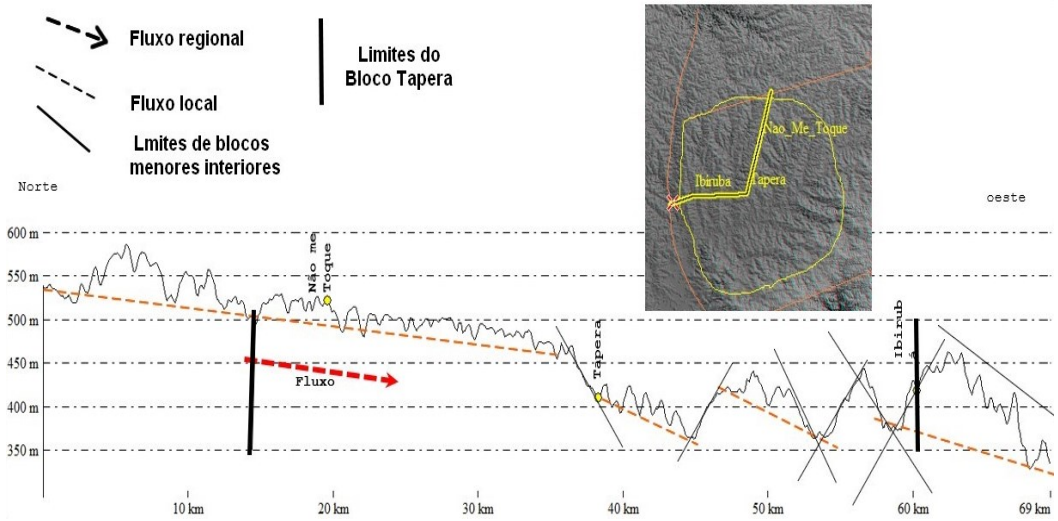


Figura 7. Modelo Conceitual da direção regional e local do fluxo da água subterrânea na área de estudo.

4.2. Estudo de Municípios com Alto Potencial Hidrogeológico no Bloco Tapera: Ibirubá, Não me Toque, Tapera

O alto potencial hidrogeológico do Bloco Tapera, sugerido pela sua disposição em baixo estrutural com estruturas rúpteis distensivas é comprovado pela comparação da vazão dos 13 poços utilizados neste estudo com valor médio de 53,51m^3/h, em relação ao valor médio da vazão dos poços da Bacia do Alto Jacuí, que é de 17,68m^3/h (KIRCHHEIM e AGRA 2011).

A seguir descreve-se aspectos morfoestruturais e hidrogeológicos dos municípios de Ibirubá, Não Me Toque e Tapera, tomados como áreas tipo onde o estudo se desenvolveu.

4.2.1. Morfoestrutura anelar Ibirubá

A Morfoestrutura Anelar Ibirubá (MAI) é uma feição alongada segundo o eixo NW-SE, com aproximadamente 12 km de comprimento nesta direção, (Figura 8). A cidade de Ibirubá está aproximadamente no centro da morfoestrutura que é configurada por padrão de drenagem anelar nas bordas e radial centrípeto em seu interior. Tal situação caracteriza um baixo estrutural e indica predominância de esforços de distensão, falhas normais e abatimento de blocos conforme o modelo conceitual da Figura 4.

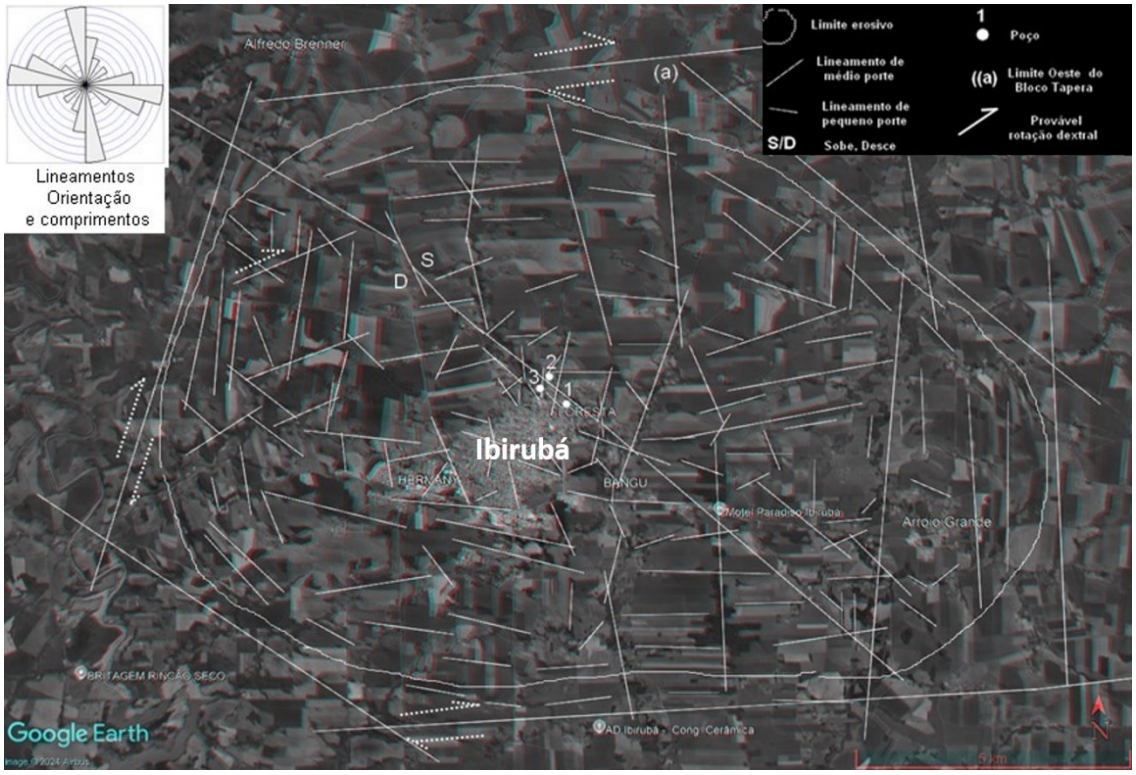


Figura 8. Anaglifo com a avaliação da Morfoestrutura Anelar Ibirubá, mostrando os vários elementos estruturais.

A feição anelar resulta de intemperismo e erosão fluvial mais pronunciados nos vértices de um bloco poligonal com seis lados os quais correspondem a lineamentos de médio porte.

Em seu interior a MAI é seccionada por lineamentos de pequeno e médio porte que a fragmentam em blocos menores. Em (a) da Figura 8 é possível identificar um lineamento de médio porte com direção aproximada NS que corresponde ao limite oeste do Bloco Tapera (Figura 6). Predominam duas direções na (MAI), NS-NW e EW-NW conforme ilustra o diagrama de rosetas da Figura 8.

A MAI, no contexto estrutural regional do Bloco Tapera, provavelmente foi movimentada no sentido dextral, e da mesma forma os blocos menores no seu interior. Um lineamento de médio porte diametral com direção NW divide a MAI em dois blocos, NE morfologicamente alto e SW baixo, o qual pode ser aventado como provável falha normal de acordo com o modelo conceitual da Figura 4.

Os poços 1, 2 estão locados aproximadamente na linha desta provável falha e o 3 um pouco afastado, em torno de 250m para SW, no bloco morfologicamente abatido indicando que o principal reservatório do qual estes 3 poços extraem água é a provável falha com direção NW.

O poço 1 à jusante do fluxo superficial da drenagem é o mais produtivo. O poço 2, a montante do fluxo superficial, é o segundo em produtividade. O poço 3 perfurado a 250m da linha da provável falha é o de menor potencial.

Os dados de produtividade dos três poços podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de profundidade e da capacidade específica de produção de poços localizados no município de Ibirubá

Poço	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Vazão (m^3/h)	Vazão Específica ($m^3/h/m$)
1	-28º37'25''	-53º05'08''	122	73,2	27,62
2	-28º37'12''	-53º05'22''	96,5	85,7	6,53
3	-28º37'16''	-53º05'24''	90	81,8	4,21

O alto potencial hidrogeológico da cidade de Ibirubá explica-se por estar aproximadamente no centro de uma morfoestrutura anelar onde predominam abatimento de blocos (baixo estrutural) e pela ocorrência de uma provável falha direta com direção NW que secciona diametralmente a MAI.

4.2.2. Morfoestrutura Anelar Não Me Toque

A morfoestrutura Anelar Não Me Toque (MANMT) é uma feição alongada na direção nordeste, com aproximadamente 10 km segundo seu diâmetro maior. A cidade de Não Me Toque está aproximadamente no seu centro, em um bloco morfologicamente alto, a partir do qual se desenvolve padrão de drenagem radial centrífugo, passando a anelar nas bordas, Figura 9.

Esta configuração morfológica da MANMT sugere esforços de transpressão, com predominância de soerguimento de blocos e desenvolvimento de falhas inversas com encurtamento crustal na sua área de abrangência, conforme modelo conceitual da Figura 4.

É delimitada externamente por lineamentos de médio porte que no conjunto formam um polígono de cinco lados. Maior intemperismo e erosão nos vértices do bloco leva à formação de padrão de drenagem anelar interno que configura a MANMT. No contexto maior do Bloco Tapera a MANMT foi provavelmente girada no sentido dextral. O lineamento (b) da Figura 9 assinala o limite norte do Bloco Tapera.

A parte interna da MANMT é fragmentada por lineamentos de pequeno porte que configuram blocos menores também provavelmente girados no sentido dextral. As orientações principais ilustradas no diagrama de rosetas são NS-NE e EW-NE (Figura 9). Um lineamento de médio porte com direção NE (tipo ZFDC) divide a morfoestrutura em dois blocos, NW morfologicamente alto e SE baixo.

A Tabela 2 apresenta os dados de cinco poços perfurados pela CORSAN, que são utilizados para o abastecimento público da cidade.

Os poços 1 e 5 foram perfurados na borda inferior oeste do bloco central delimitado por drenagem anelar. Tais poços estão localizados próximos a um lineamento de pequeno porte com direção nordeste. Sua boa produtividade está associada à drenagem anelar da borda inferior do bloco central e subsidiariamente ao lineamento NE de pequeno porte associado.

Os poços 3 e 4 estão localizados em um lineamento com direção NW, quase E-W que intercepta a drenagem anelar de borda do bloco central e do limite externo da MANMT a oeste. A leste este lineamento NW intercepta a provável falha tipo Dorsal de Canguçu (ZFDC). Tais junções de descontinuidades são compatíveis com a alta produtividade dos dois poços. O poço 2 está localizado próximo à borda externa da MANMT, a aproximadamente 1,2 km desta, em um pequeno lineamento com direção NE, quase NS. Este poço apresenta produtividade menor do que os demais descritos. Para maior produtividade este poço deveria ser localizado para sul mais próximo da borda da MANMT como é sinalizado na Figura 9.

O maior potencial hidrogeológico da área situa-se no bloco morfologicamente baixo especialmente próximo à provável linha de falha ou às drenagens anelares que circundam o bloco central e o limite externo da morfoestrutura.

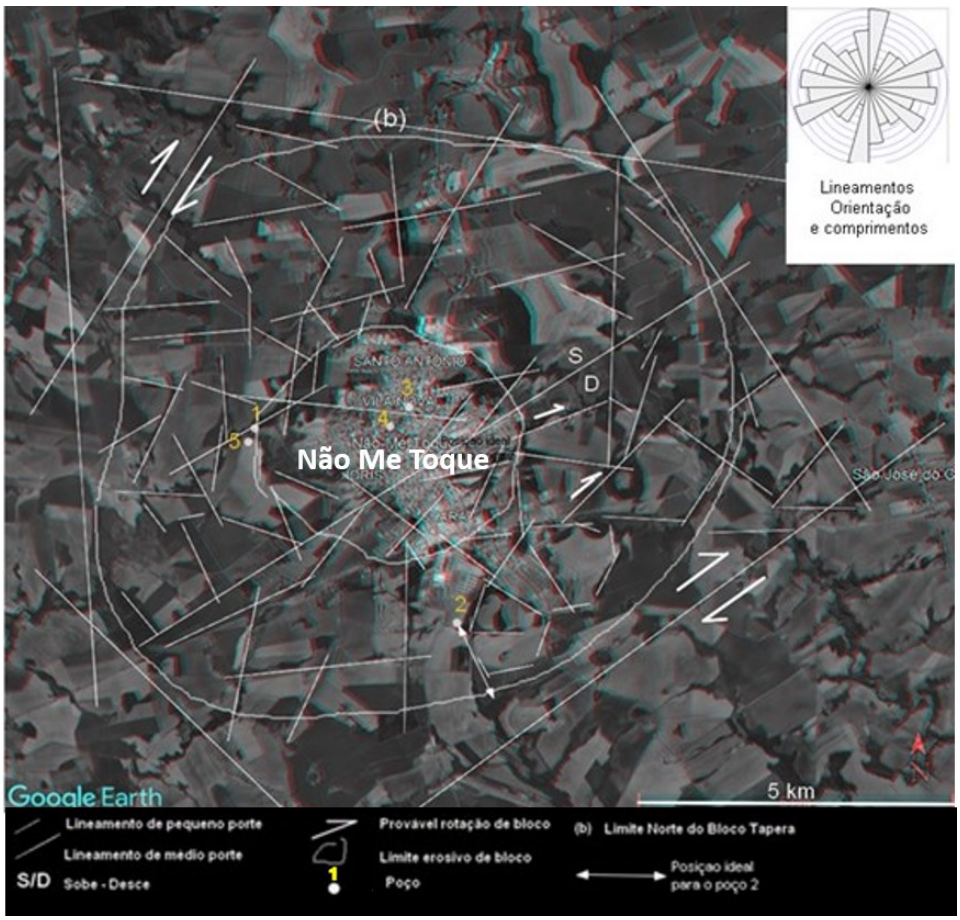


Figura 9. Anaglifo com a avaliação da Morfoestrutura Anelar Não Me Toque, mostrando os vários elementos estruturais.

Tabela 2 – Dados de profundidade e da capacidade específica de produção de poços localizados no município de Não Me Toque

Poço	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Vazão (m^3/h)	Vazão Específica ($m^3/h/m$)
1	-28°27'28''	-52°50'40''	114	63,7	8,989
2	-28°29'03''	-52°48'40''	192	32,0	1,590
3	-28°27'17''	-52°49'14''	92	57,3	1,603
4	-28°27'26''	-52°49'23''	160	67,5	4,639
5	-28°27'31''	-52°50'42''	100	60,6	3,351

4.2.3 Morfoestrutura anelar Tapera cidade

A Morfoestrutura Anelar Tapera Cidade (MATC) é uma feição alongada segundo a direção nordeste, com aproximadamente 8 km no seu diâmetro maior. A cidade de Tapera está situada na sua borda sudoeste. A parte central da MATC é abatida, ocupada por rede de drenagem em padrão radial centrípeto e delimitada nas bordas por padrão de drenagem anelar, Figura 10.

Esta configuração morfológica da MATC, sugere esforços de transtensão, abatimento de blocos desenvolvimento de falhas direta e extensão crustal na sua área de abrangência, conforme modelo conceitual da Figura 4.

É delimitada externamente por lineamentos de médio porte que no conjunto formam polígono ou bloco de sete lados. Maior intemperismo e erosão nos vértices do bloco leva à formação de padrão de drenagem anelar interno ao bloco, que configura a MATC. No contexto geral do bloco a MATC provavelmente foi gerada por movimentos dextrais ao longo das descontinuidades expressas por lineamentos de médio e pequeno porte na imagem anaglifo, conforme modelo conceitual da Figura 4.

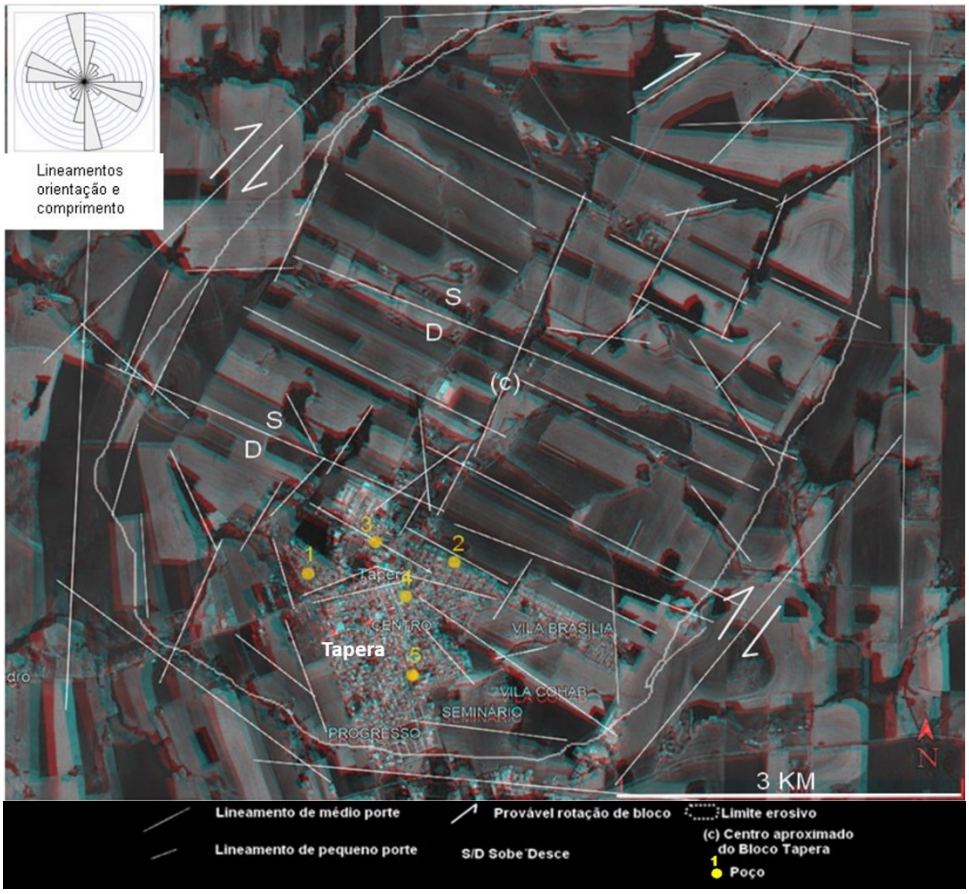


Figura 10. Anaglifo com a avaliação da Morfoestrutura Anelar Tapera Cidade, mostrando os vários elementos estruturais.

Conforme pode ser visualizado no diagrama de rosetas da Figura 10, predominam as direções NS-NW e EW-NW. A área interna da MATC está fragmentada por lineamentos de pequeno porte que configuram blocos menores também provavelmente movimentados no sentido dextral. Lineamentos com direção NW determinam blocos escalonados abatidos de NE para SW (Figura 10).

A Tabela 3 apresenta dados de cinco poços perfurados pela CORSAN que são utilizados no abastecimento público da cidade.

Tabela 3 – Dados de profundidade e da capacidade específica de produção de poços localizados no município de Tapera

Poço	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Vazão (m^3/h)	Vazão Específica (m^3/h/m)
1	-28º37'23''	-52º52'41''	192	32,4	5,201
2	-28º37'19''	-52º51'52''	102	38,3	3,791
3	-28º37'14''	-52º52'11''	50	39,4	3,792
4	-28º37'28''	-52º52'08''	112	40,0	15,504
5	-28º37'55''	-52º52'05''	69	25,0	2,518

Chama a atenção a relativa uniformidade da capacidade produtiva dos poços. Isto se deve provavelmente ao fato de todos terem sido perfurados em um baixo estrutural que coincide aproximadamente com o centro da Morfoestrutura Anela Tapera (ver Figura 6 em (c)). A diferença entre o poço mais produtivo 4 e menos produtivo 5 deve-se provavelmente ao fato de o poço quatro ter sido localizado próximo à intersecção de lineamentos e o cinco estar localizado em uma área deprimida mas aparentemente sem controle estrutural local.

4.2.4. Comparação entre as três áreas estudadas

A área com menor profundidade média dos poços e com maior potencial hidrogeológico corresponde ao município de Ibirubá, profundidade média 102 m, vazão média de 80,23 m^3/h e capacidade específica média de 12,76 m^3/h/m. Estes dados são justificados estruturalmente pela situação, na borda sudoeste do Bloco Tapera e a

sua conformação como baixo estrutural, favorável para água subterrânea no centro e bordas com descontinuidades estruturais abertas por esforços de distensão.

A área com maior profundidade média dos poços e com menor potencial hidrogeológico corresponde ao município de Não Me Toque, profundidade média de 131m. Embora a média das vazões dos poços seja maior do que a média das vazões dos poços do município de Tapera (56,12 m^3/h contra 35,18 m^3/h), as vazões específicas da área de Tapera são maiores (6,03 m^3/h/m contra 4,04 m^3/h/m). A profundidade média dos poços também é menor em Tapera (105m contra 131m).

Embora o contexto hidrogeológico do município de Não Me Toque, por um lado seja positivo por situar-se na borda Norte do Bloco Tapera, por outro lado configura-se como bloco estrutural soerguido com área desfavorável em seu centro. Também há tendência de as fraturas serem mais fechadas pois as condições de alto estrutural definem esforços de transpressão de acordo com o modelo conceitual apresentado na Figura 4.

A Morfoestrutura Anelar Tapera (MAT) a mais próxima do centro do Bloco Tapera tem conformação de abatimento, extensão e descontinuidades abertas, sendo positiva para água subterrânea tanto no seu centro como nas suas bordas.

4.3. Implicações da concepção de blocos transpressionais e transtensionais na locação final dos poços no campo

É muito difundido o modelo gráfico conceitual onde a atitude das fraturas é concebida como vertical nos aquíferos fraturados, por exemplo como o apresentado por SCHRADER (1992) e representado na Figura 11 (A).

Nas condições de fraturas verticais o sítio ideal para a locação do poço é o traço da fratura, ou o mais próximo deste sem levar em conta o sentido do deslocamento da locação em relação ao traço da fratura.

Na concepção de morfoestruturas geradas por transtensão e transpressão, conforme o modelo conceitual aqui proposto, onde as fraturas coalescem em profundidade para uma falha transcorrente, as fraturas estão inclinadas como mostra a Figura 11B, sendo que nesse caso o poço deve ser locado para o interior da morfoestrutura, a uma distância do traço de fratura que varia com o grau de inclinação da mesma.

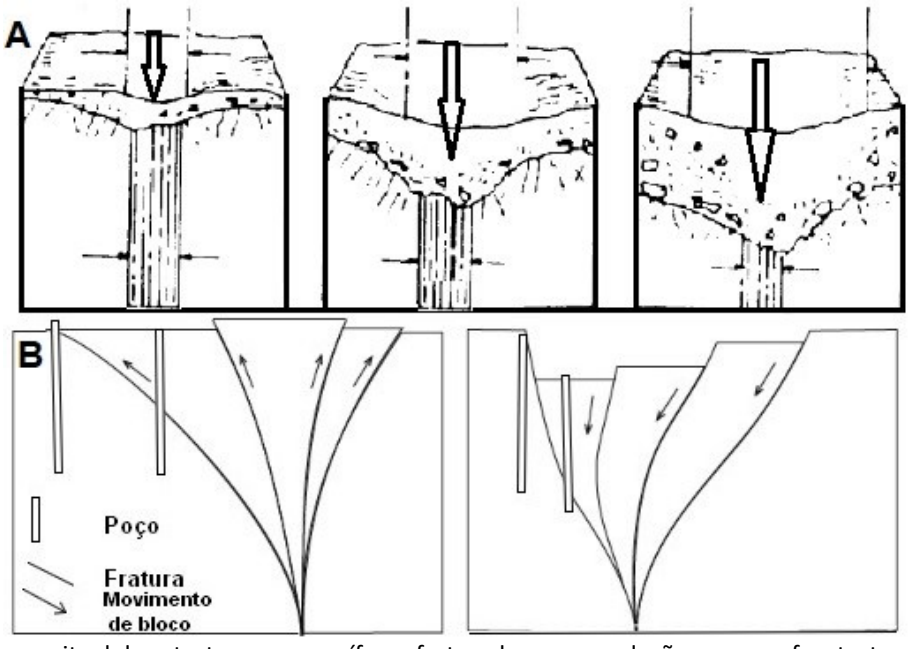


Figura 11. Modelo conceitual de estruturas em aquíferos fraturadoss e sua relação com morfoestruturas geradas por transtensão e transpressão (adaptado de SCHRADER, 1992).

5. CONCLUSÕES

A predominância de esforços transpressionais ocasiona encurtamento, soerguimento de blocos deslocados por falhas inversas e altos estruturais, enquanto a predominância de esforços transtensionais leva a extensão, abatimento de blocos deslocados por falhas diretas e baixos estruturais.

A identificação desses blocos pode ser feita com uso de imagens estereoscópicas de sensoriamento remoto, sendo que a avaliação do padrão de drenagem tem papel importante para a análise da tectônica rúptil. No entanto, a resolução das imagens e a escala escolhida para a análise, têm influência na delimitação dos blocos e no traçado de lineamentos. Por isso os resultados obtidos devem ser cruzados com dados de produtividade dos poços tubulares, visando com isso validar os resultados obtidos e o modelo de blocos proposto.

O sítio de Não Me Toque com padrão de drenagem radial centrífugo-anelar apresenta-se como alto estrutural na imagem indicando a predominância de movimento de blocos por transpressão, com encurtamento crustal e prováveis falhas inversas em profundidade. A região de Tapera com padrão de drenagem radial centrípeto-anelar apresenta-se como baixo estrutural na imagem, indicando a predominância de movimento de blocos por transtensão com extensão crustal e abatimento de blocos com falhas diretas em profundidade.

A direção regional do fluxo subterrâneo é influenciada pela conformação alongada da Morfoestrutura Tapera, segundo NE-SW, bem como pela geometria dos dois blocos em que é segmentada por lineamento de médio porte com direção NW, sendo o bloco nordeste morfologicamente soerguido e o sudoeste abatido.

A área com menor profundidade média dos poços e com maior potencial hidrogeológico corresponde ao município de Ibirubá, que apresenta profundidade média de 102 m, vazão média de 80,23 m^3/h e capacidade específica média 12,79 m^3/h/m. Estes dados são justificados estruturalmente pela situação, na borda sudoeste do Bloco Tapera e a sua conformação como baixo estrutural, positiva para água subterrânea no centro e bordas com descontinuidades abertas por esforços de distensão.

A área com maior profundidade média dos poços e com menor potencial hidrogeológico corresponde ao município de Não Me Toque, profundidade média de 131m. Embora a média das vazões dos poços seja maior do que a média das vazões dos poços do município de Tapera, 56,12 m^3/h contra 35,18 m^3/h, as vazões específicas da área de Tapera são maiores, 6,03 m^3/h/m contra 4,04 m^3/h/m. A profundidade média dos poços também é menor em Tapera, 105m contra 131m.

Levando em conta o modelo conceitual proposto nesse trabalho, a melhor locação de poços deve ser feita afastada do traço de fratura em direação ao interior das morfoestruturas, de acordo com o grau de inclinaçao da descontinuidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTHUR, P. C.; SOARES, P. C. Paleoestruturas e petróleo na Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 433–448, 2002. DOI: https://doi.org/10.25249/0375-7536.2002324433448

HIRATA, R. *et al. As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil.* São Paulo: Universidade de São Paulo, 2019. Disponível em: https://repositorio.usp.br/item/003000444. Acesso em: 19 jul. 2025.

HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. *AAPG Bulletin*, Tulsa, v. 51, n. 11, p. 2246–2259, 1967. DOI: https://doi.org/10.1306/5d25c26d-16c1-11d7-8645000102c1865d

JUSTUS, O. J.; MACHADO, M. L. *Geomorfologia.* Folha SH 22 Porto Alegre e parte da folha SH 21 Uruguaiana e SH 22 Lagoa Mirim. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. p. 29–312. DOI: https://doi.org/10.2307/1795315

KIRCHHEIN, R.; AGRA, S. Diagnóstico hidrogeológico do Estado do RS: uma ferramenta para o Plano Nacional de Recursos Hídricos. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., v. 19, p. 27, 2011. Maceió: Associação Brasileira de Recursos Híbridos, 2011. DOI: https://doi.org/10.21168/rbrh.v8n2.p19-29

LISBOA, N. A. Fácies e estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral, na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul. 1996. 135 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 1996.

LISBOA, N. A.; DANI, N.; REGINATO, P. A. R. Prospecção de águas subterrâneas em Morfoestruturas Anelares que controlam os Sistemas Aquíferos da Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul (RS). *Águas Subterrâneas*, São Paulo, v. 36, n. 2, 2022. DOI: https://doi.org/10.14295/ras.v36i2.30174

LISBOA, N. A.; REGINATO, P. A. R. 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*, São Paulo, v. 35, n. 1, 2022. DOI: https://doi.org/10.14295/ras.v35i1.30001

MORENO, C. H.; SPERANZA, F.; DI CHIARA, A. Understanding kinematics of intra-arc transcurrent deformation: Paleomagnetic evidence from the Liquiñe-Ofqui fault zone (Chile, 38–41° S). *Tectonics*, Washington, v. 33, n. 10, p. 1964-1988, 2014. DOI: https://doi.org/10.1002/2014tc003622

PLUGIN, B. A.; MARSHAK, S. *Earth structure*. New York: Norton Company, 2004. 656 p.

REBOUÇAS, A. *Uso inteligente da água*. São Paulo: Escrituras Editora, 2004. 207 p.

SCHRADER, G. O. *Traços de fratura:* uma técnica de análise aplicada à hidrogeologia e geotecnia. Fortaleza: Imprensa Universitária, 1992.

SEMA. *Mapa da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí.* Rio Grande do Sul: Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul, 2025. DOI: https://doi.org/10.22239/2317-269x.01822

SEMA. *Relatório de síntese:* elaboração de serviço de consultoria relativo ao processo de planejamento dos usos da água na bacia hidrográfica do Alto Jacuí – Etapas A e B. Rio Grande do Sul: Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul, 2012. 131 p.

SOARES, P. C. *Tectônica sinsedimentar cíclica na Bacia do Paraná – Controles.* 1991. Tese (Doutorado em Geologia) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991. DOI: https://doi.org/10.36229/978-65-86127-83-6.cap.11

VIERO, A. P. *et al.* O Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. In: JELINEK, A. R.; SOMMER, C. A. (org.). *Contribuições à geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia; Compasso Lugar-Cultura, 2021. p. 504. DOI: https://doi.org/10.29327/537860.1-28

ZERNITZ, E. R. Drainage patterns and their significance. *The Journal of Geology,* Chicago, v. 40, n. 6, p. 498–521, 1932. DOI: https://doi.org/10.1086/623976