



Estudos de Caso e Notas Técnicas

Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

Prospecção de águas subterrâneas em Morfoestruturas Anelares que controlam os Sistemas Aquíferos da Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul (RS).

Exploration of groundwater in annular morphostructures that control the occurrence of the aquifer systems at the Paraná Basin Rio Grande do Sul.

Nelson Amoretti Lisboa¹; Norberto Dani¹, Pedro Antonio Roehe Reginato² ✉

¹ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

✉ nelamorettisboa@gmail.com, norberto.dani3@ufrgs.br, pedro.reginato@ufrgs.br

Resumo

A interpretação visual de pares estereoscópicos obtidos a partir da imagem Google Earth Pro, em diferentes escalas, propiciou o reconhecimento de diversas morfoestruturas anelares na Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul cuja geometria é essencial para a locação de sítios favoráveis à captação de água subterrânea. O estudo efetuado resultou no reconhecimento de cinco megadomos e sete morfoestruturas anelares com diâmetros entre 10 e 20km. Estas morfoestruturas foram analisadas em função de padrões de drenagem e mapeamento de "dipslopes", visando a identificação de sítios positivos ou negativos para a acumulação de água subterrânea. A metodologia foi testada através de dados de poços localizados em três morfoestruturas (duas localizadas na região de Quaraí, uma na região de Muitos Capões) para validação da metodologia proposta. Os resultados encontrados indicaram que em domos e antififormes, o centro da estrutura e suas proximidades são negativos para a captação de água subterrânea, enquanto que em bacias e sinclinais o centro e proximidades da estrutura são sítios positivos. Também as bordas das morfoestruturas com padrão de drenagem anelar, tanto domos como bacias, delimitadas por padrão de drenagem anelar, consistem em sítios positivos.

Abstract

The stereoscopic visual interpretation of stereoscopic pairs obtained with the Landsat Google Earth Pro Image at different scales, provided the recognition of several morphostructures in the Paraná Basin, Rio Grande do Sul, whose geometry is essential for the location of favorable sites for ground water exploration. The study carried on different formations of the Paraná Basin, Rio Grande do Sul, resulted in the identification of five mega domic structures and seven annular morphostructures, with diameters between ten and twenty kilometers. These morphostructures were analyzed in terms of drainage patterns and dipslopes mapping, that indicating positive and negative sites for groundwater exploration. The methodology was tested through data from wells located in three morphostructures chosen to validate the proposed methodology. There was agreement between the choice of sites from aerogeological interpretation, with the data provided by the wells. The proposed methodology is applicable and effective, specifically in the Paraná Basin and generally in other intracratonic basins. The results indicated that to domes the center of structure and its surroundings are negatives for groundwater while in basins the center are positive sites. Also the edges of the morphostructures in the annular drainages, both domic and basins, are positive sites for groundwater.

DOI: <http://doi.org/10.14295/ras.v36i2.30174>

Palavras-chave:

Estereoscopia
Padões de drenagem
Dipslopes
Morfoestruturas anelares
Água subterrânea
Locação de poços

Keywords

Stereoscopy
Drainage patterns
Dipslopes
Morphostructures
Groundwater
Well location

1. INTRODUÇÃO

A prospecção de água subterrânea é tarefa complexa, envolve aplicação de diferentes técnicas para definir locais apropriados onde perfurar poços tubulares que alcancem sucesso, em obter reservas de água subterrânea, nas condições de serem disponibilizadas para diversos usos. A locação preliminar de obras de captação de água subterrânea em imagens aéreas e orbitais é o método mais acessível, por isto o mais usado pela alta relação benefício custo.

Lisboa e Reginato (2021) desenvolveram em detalhe aspectos gerais e específicos da locação de poços no meio fraturado, tendo como área de estudo, o Sistema Aquífero Serra Geral, Rio Grande do Sul. Na pesquisa foram utilizadas imagens de sensoriamento remoto livres, disponíveis na INTERNET. Os alvos principais foram os sistemas de falhas e fraturas que condicionam a ocorrência dos reservatórios de água subterrânea nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

Na fase de validação do método constataram que alguns poços com altas vazões não coincidiam com os critérios convencionais associados a lineamentos retilíneos tais como comprimento, intersecção, densidade de lineamentos. A observação de estereomodelos das áreas onde ocorrem estes poços com altas vazões, possibilitou a identificação de morfoestruturas anelares, onde os poços com altas vazões coincidiam principalmente com as bordas e, às vezes, com o centro destas morfoestruturas. Deste modo a identificação de padrões de drenagem anelares e radiais centrífugos ou centrípetos na Bacia do Paraná e provavelmente em outras bacias intracratônicas, assume importância na locação de sítios para perfurar poços com prognóstico de vazões altas.

Lisboa et al., (2006) argumentaram que o fluxo das águas subterrâneas também é fortemente condicionado por estruturas tectônicas dobradas. Em situações de confinamento controlam condições de artesianismo. Estas feições, são particularmente importantes nos sistemas aquíferos mesozoicos e paleozoicos da Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul: Tupaciretã, Serra Geral, Guarani e Rio Bonito.

Na Bacia Intracratônica de Illinois Estados Unidos com características estruturais análogas à da Bacia do Paraná, Nelson (1995) catalogou e descreveu 167 estruturas tipo domo, bacia, anticlinal, sinclinal, identificadas e descritas por diversos autores evidenciando a importância dada a estas feições como acumuladoras de água, óleo e gás naquele país.

Referências sobre uma das possíveis gênese destas feições anelares, associam-nas a reativações de falhas transcorrentes do embasamento Riccomini (1995), Rostirolla et al., (2000), Artur e Soares (2002), Almeida Filho et al., (2010), Strugale et al., (2013). Estas reativações registram nos pacotes vulcano sedimentares das bacias intracratônicas, blocos falhados por esforços transpressivos, domos ou estruturas em flor positiva, transtensivos, bacias ou estruturas em flor negativa, McClay e Bonora (2001), Huang e Liu (2017), Perron et al (2018). Nesse contexto, espera-se que estas feições identificadas em subsuperfície em secções sísmicas, podem também ser detectadas em superfície, por aerointerpretação dos seus registros em imagens de sensoriamento remoto.

Além do interesse prático na prospecção de água subterrânea, óleo e gás a identificação de morfoestruturas anelares com três e quatro fechamentos poderá contribuir para o entendimento das paleotensões pós cretáceas, atuantes na Bacia do Paraná, que produziram o tectonismo que afetou as rochas da Formação Serra Geral e as coberturas sedimentares pós vulcânicas, em especial as formações Caiuá e Bauru, no norte da Bacia e as formações Vista Alegre e Tupaciretã a Sul.

As referências sobre a ocorrência e interpretação de feições dobradas estruturais na Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul, são poucas e esparsas (Lisboa e Schuck, 1988; Strieder et al., 2015). A baixa taxa de identificação e interpretação destas estruturas na Bacia do Paraná, não se deve à escassez das mesmas, mas sim à pouca pesquisa dedicada à sua identificação e descrição, ao contrário do que aconteceu nos Estados Unidos, onde tais feições assumiam grande importância na prospecção de petróleo.

No que se refere à identificação de feições anelares de origem vulcano tectônica, Lisboa e Castro (1998) identificaram a morfoestrutura anelar do Lajeado Grande, como uma provável caldera, associada às rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral no Rio Grande do Sul. Riccomini et al., (2016) identificaram duas morfoestruturas anelares em rochas ácidas da Formação Serra Geral na localidade de Mormaço, Rio Grande do Sul e aventaram a hipótese de serem focos da extrusão das rochas vulcânicas ácidas. Por outro lado, Strat (2017) identificou morfoestruturas circulares nos basaltos da Formação Serra Geral, no Paraná, município de Guarapuava e associou a sua gênese a vulcões do tipo escudo com estruturas vulcânicas de abatimento do tipo Caldera.

O objetivo geral do trabalho é prospectar morfoestruturas indicadoras de dobras, domos bacias e outras feições estruturais anelares associadas a sistemas de falhas e fraturas que cortam as rochas da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, bem como demonstrar a sua importância no condicionamento da ocorrência de aquíferos. As estruturas dobradas e circulares, se bem localizadas e entendidas permitem a escolha de pontos de captação de água subterrânea adequados, objetivo específico deste trabalho.

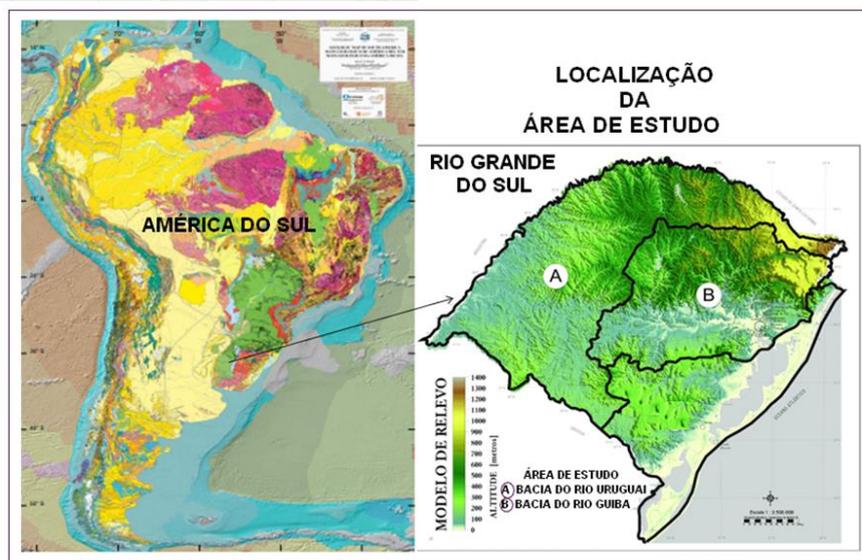
A possibilidade de se obter imagens estereoscópicas tridimensionais pela manipulação da Imagem Google Earth Pro (LANDSAT COPERNICUS), em diversas escalas (Anexo 1) viabilizadas para todos os usuários, possibilita o reconhecimento destas estruturas dobradas -falhadas circulares que, em geral, passam despercebidas em outras imagens bidimensionais de sensoriamento remoto. A técnica de locação envolveu análise e interpretação visual, das imagens estereoscópicas produzidas a partir da imagem digital LANDSAT Google Earth Pro e observadas pelo método de anaglifos em "display" de computador, através de óculos com filtros de absorção de cores complementares.

A partir deste estudo foi possível efetuar a locação preliminar de obras de captação de água subterrânea adequadas. Com o apoio dos dados analisados e interpretados nas imagens, o próximo passo seria o de realizar o levantamento geológico de campo em detalhe e a locação definitiva do sítio para a obra de captação. Os resultados permitiram descartar ou desaconselhar a perfuração de poços em áreas com tendência negativa para a ocorrência de águas subterrâneas em quantidade compatível com as necessidades. A locação preliminar em imagens também é essencial na orientação da prospecção geofísica em detalhe no campo principalmente na escolha de sítios para a execução das secções sísmicas elétricas ou magnéticas, evitando a realização de perfis com pouco interesse hidrogeológico.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLOGÍCO

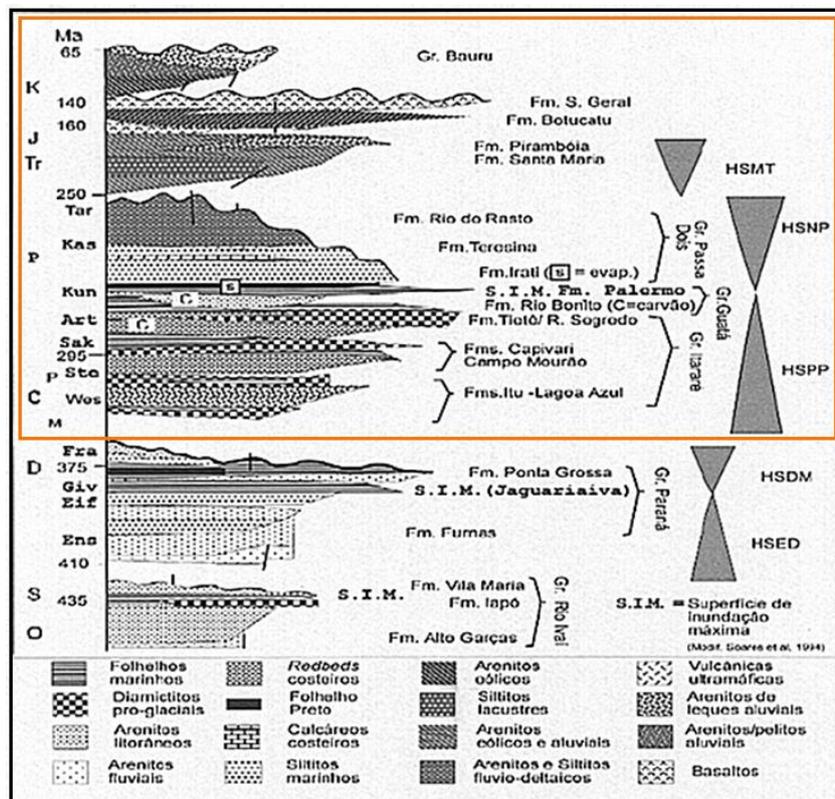
A área de estudo abrange a ocorrência das rochas vulcânicas e sedimentares da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, dissecadas pelos rios das bacias hidrográficas do Uruguai (Figura 1A) e do Guaíba (Figura 1B).

Figura 1 – Localização da área de estudo que abrange as rochas vulcânicas e sedimentares da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul



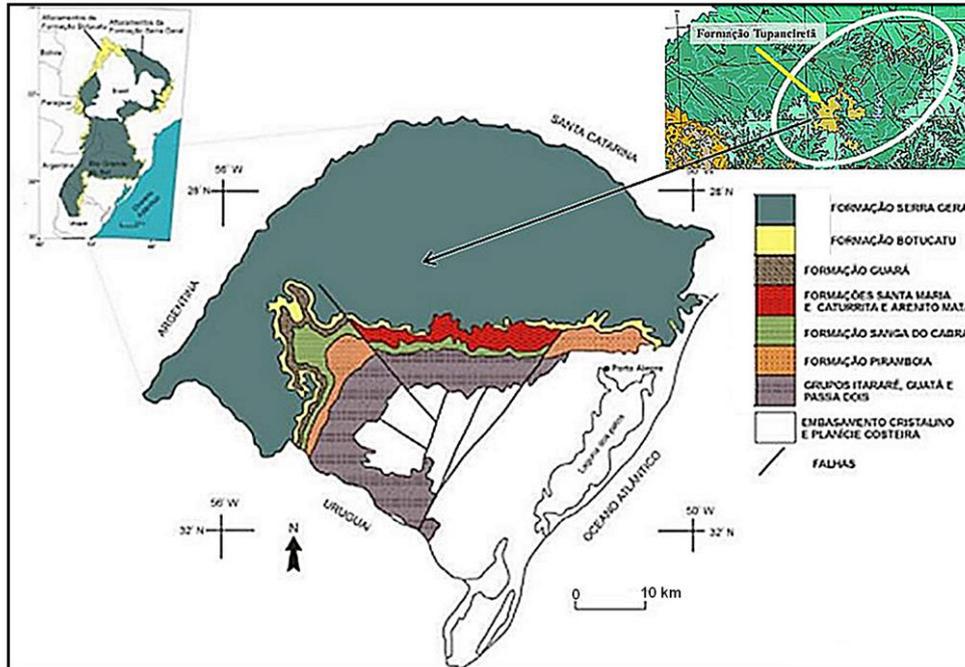
Na área de estudo (Figura 2), ocorrem as super seqüência Gondwana I (GI - Grupo Itararé, Grupo Guatá, Formações Rio Bonito e Palermo), Grupos Passa Dois e Rio do Rastro, Formações Irati, Serra Alta Terezina, Guará, Sanga do Cabral, Santa Maria e Pirambóia); Gondwana II (GII - Grupo São Bento, Formações Botucatu e Serra Geral). A Formação Tupaciretã provavelmente representa a super seqüência Gondwana III no Rio Grande do Sul, equivalente ao Grupo Bauru que ocorre nos estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Paraguiá.

Figura 2 – Unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná, com destaque (quadro vermelho) para as unidades que ocorrem no Rio Grande do Sul (Modificado de Artur e Soares, 2001).



A distribuição espacial das unidades estratigráficas no Rio Grande do Sul é representada na figura 3, onde pode-se observar que ocupam a metade Norte e o centro norte do Estado.

Figura 3 - Distribuição espacial das unidades estratigráficas da área estudada (modificado de Scherer et al. 2000)



Do ponto de vista estrutural, Zalán et al., (1990) definiram o arcabouço estrutural da Bacia do Paraná, e cartografaram 30 megaestruturas fundamentais, ilustradas na figura 4. No Rio Grande do Sul foram registradas seis importantes megaestruturas: Sinclinal de Torres (14), Arco de Rio Grande (15), Zona de Falha da Lancinha (21), Zona de Falha de Blumenau – Soledade (22), Falha do Leão (23), Falha de Açotea (24) Lineamento de Bento Gonçalves (29), figura 4.

Figura 4 – Esboço geotectônico da Bacia do Paraná, segundo Zalan et. al., (1990), com as feições de interesse destacadas.

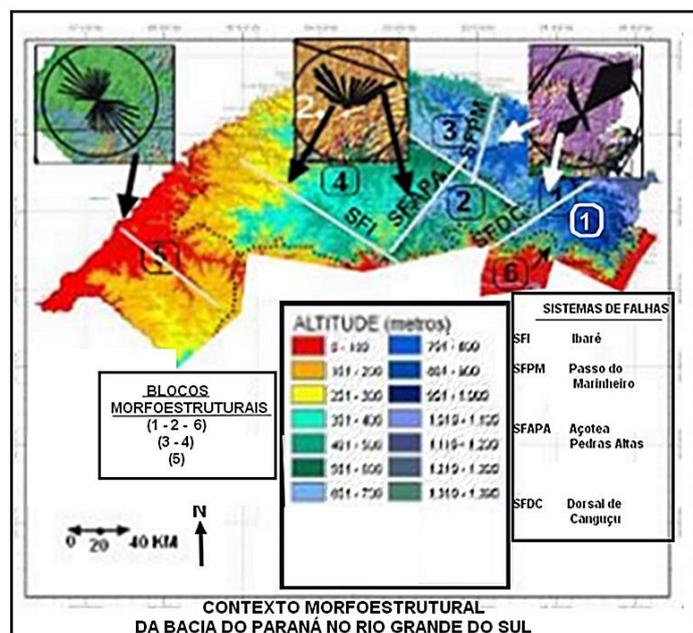


Strieder et al., (2015), registraram seis grandes feições geotectônicas dobradas, na bacia do Paraná, todas com eixo maior orientados para NW, e um campo principal de paleoesforços na direção NE-SW. De SW para NE as feições identificadas são: Sinclinal Durasno, Ilha Cristalina Rivera, Arco de Rio Grande, Sinclinal de Torres, Arco de Ponta Grossa, Sinclinal Bauru e Alto Parnaíba.

Frasca e Lisboa (1991) através do estudo de lineamentos de médio e pequeno porte distinguem a predominância de lineamentos com direção NW no Planalto de Uruguai, região Oeste do Rio Grande do Sul, predominância de lineamentos com direções equitativas para os quadrantes NW e NE nos Planaltos Médio e Alto Uruguai, região norte - central do estado e, lineamentos com predominância da direção NE nos planaltos dos Campos Gerais Soledade e na Serra Geral, no leste-nordeste do Estado (Figura 5), também denominada Fachada Atlântica por, Ab'Saber (1969).

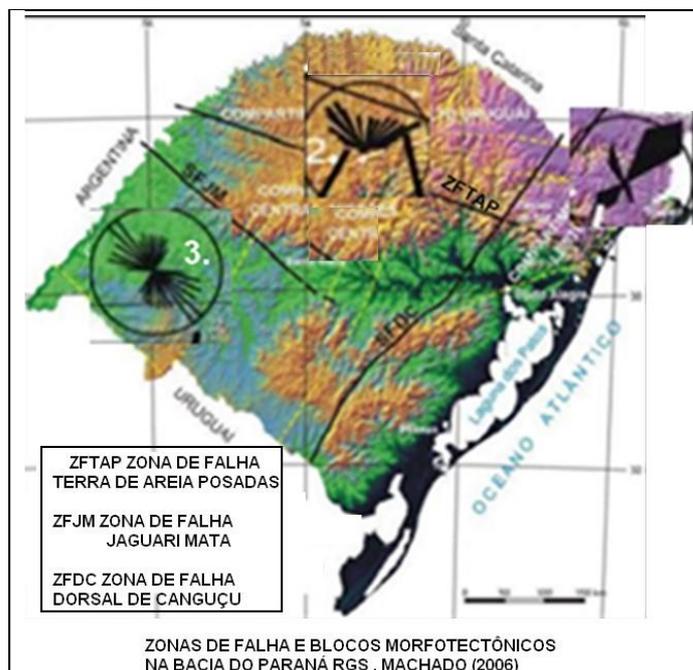
Os sistemas estruturais rúpteis da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, são reativações fanerozóicas das direções pré cambrianas N20°E (Zona de Falha Passo do Marinheiro), N40°E (Zona de Falha Açotea – Pedras Altas), N70°E (Zona de Falha Dorsal de Canguçu) e direção NW (Zona de Falha do Ibaré), conforme estabelecido por Picada (1971) para o Escudo Sul Riograndense.

Figura 5 - Distribuição por direções predominantes, dos lineamentos mapeados na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul e reativação das zonas de cisalhamento do Escudo, modificado de (Frasca e Lisboa, 1991). Blocos morfoestruturais individualizados (1, 2, 3, 4, 5, 6).



Machado (2005) retoma a concepção morfotectônica de Frasca e Lisboa (1991) e subdivide a Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul em quatro blocos morfotectônicos delimitados por três direções tectônicas regionais denominadas Sistema de Falhas Terra da Areia-Posadas, Sistema de Falhas Jaguari-Mata, ambas com direção Noroeste e Sistema de Falhas Dorsal de Canguçu com direção Nordeste (Figura 6).

Figura 6 - Blocos morfotectônicos na Bacia do Paraná Rio Grande do Sul (Machado 2005).

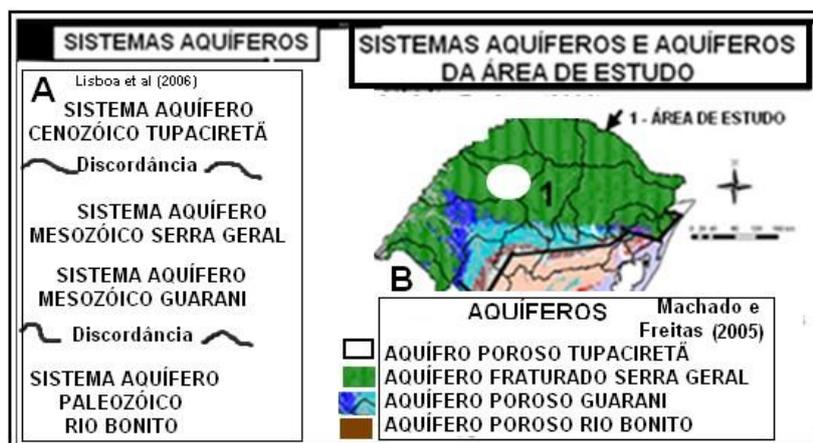


Lisboa et al., (2006), ordenam os principais sistemas aquíferos do Rio Grande do Sul, tendo como chave para a sua separação as principais discordâncias na coluna estratigráfica das unidades geológicas que ocorrem no Rio Grande do Sul, ilustrados na figura 7 (A), apenas para as unidades da Bacia do Paraná.

Machado e Freitas (2005) definem os principais aquíferos do Rio Grande do Sul baseados nas condições de poro-permeabilidade das rochas, figura 7 (B), a qual ilustra apenas aqueles que ocorrem na Bacia do Paraná.

A área de estudo abrange os sistemas aquíferos Cenozóico Tupaciretã (aquíferos cenozoicos porosos), os sistemas aquíferos Mesozóicos Serra Geral (aquíferos cretáceos fissurais) e Guarani (aquíferos porosos eo-cretáceos e porosos triássicos), bem como o Sistema Aquífero neo-paleozoico Rio Bonito (aquíferos porosos permianos). Cabe ressaltar que os aquíferos classificados como porosos são em geral mistos, já que são cortados frequentemente por falhas, diaclases, juntas e outras descontinuidades.

Figura 7 – Sistemas aquíferos e aquíferos que ocorrem na área de estudo. Modificado de Lisboa et al (2006), Machado e Freitas (2005).



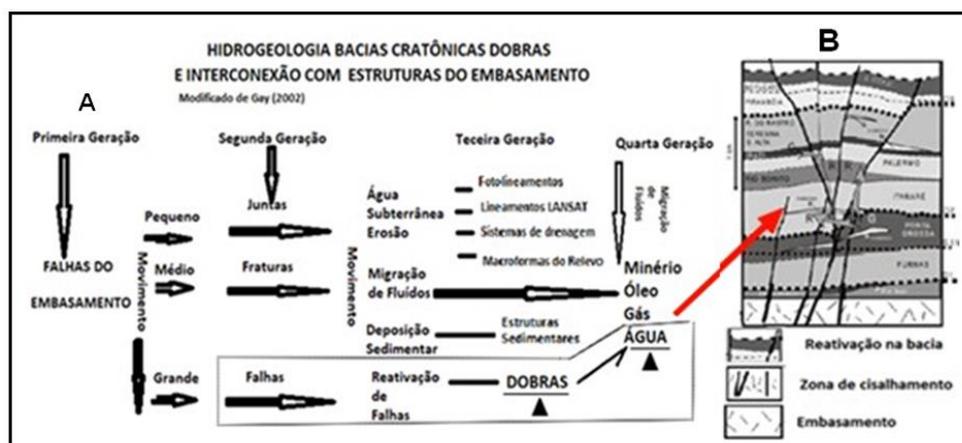
3. PADRÕES DE DOBRAS EM BACIAS INTRACRATÔNICAS E SUAS CONEXÕES COM O EMBASAMENTO

A interconexão da geologia estrutural de bacias intracratônicas, com a reativação de estruturas do seu embasamento é ressaltada por vários autores Zalán (1986), Milani e Davison (1988), Soares (1991), Rostirolla et al., (2000) Artur e Soares (2002), Soares et al., (2007), Gay (2012), Strugale et al., (2013), Perron et al., (2018).

Gay (2012), argumenta que o movimento contínuo de falhas do embasamento resulta em falhamento, dobramento e controle estratigráfico na bacia intracratônica posicionada sobre este assoalho. Depósitos minerais, acumulações de óleo, gás e água e seu posicionamento ficam melhor entendidos se levada em consideração a premissa acima. Especificamente, nas bacias intracratônicas, estruturas dobradas e acumulações de água subterrânea têm relação com a tectônica de reativação de falhas do embasamento.

Quando zonas de falhas do embasamento, em particular zonas de cisalhamento são reativadas, ocorrem movimentos de pequeno porte (produtores de juntas), de médio porte (produtores de fraturas) e de grande porte (produtores de falhas e dobramentos) nas bacias sedimentares cratônicas de cobertura (Figura 8 A). A migração de fluidos é ilustrada no modelo conceitual (Figura 8 B), baseado em secções sísmicas na Bacia do Paraná. No caso, a água subterrânea é controlada pela tectônica de reativação nas bacias sedimentares. Através do conhecimento da locação precisa, das principais zonas de cisalhamento do embasamento, pode-se inferir a ocorrência de estruturas dobradas e falhadas nas bacias sedimentares, associadas a estas zonas de cisalhamento (Artur e Soares, 2002). Estas estruturas dobradas-falhadas também podem ser reconhecidas em superfície por aerogeologia, em imagens de sensoriamento remoto.

Figura 8 – Modelos conceituais das relações das zonas de cisalhamento do embasamento com a tectônica de Bacias intracratônicas (A – Gay, (2012); B - Artur e Soares, (2002).



Almeida Filho et al. (2010) estudando a Bacia sedimentar do Amazonas, através da interpretação morfoestrutural de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), identificaram e relacionaram morfoestruturas anelares provavelmente estruturas dobradas dômicas, com duas zonas de cisalhamento de direção NW, uma falha regional normal e uma zona de charneira. (Figura 9).

A morfoestrutura Mariubá, interpretada como anticlinal ou domo (Figura 9B) foi usada para validar a relação com campos de petróleo. O domo Mariubá, coincide com o campo de petróleo Azulão, com cinco poços produzindo óleo.

No setor gaúcho, Lisboa et al., (1987), Lisboa e Schuk (1987), Takahashi (1992), Strieder et al., (2015) mencionam e identificam feições anelares e dobradas nas sequências de rochas da Bacia do Paraná (Figura 10). Nestes estudos foram definidos o Domo Quarai (Figura 10 (I) - Strieder et al., 2015) e o Domo Boa Vista do Garupá (Figura 10 (II) - Lisboa e Schuck (1987).

Figura 9 – Morfoestruturas anelares associadas a zonas de cisalhamento na Bacia de Solimões (Almeida Filho et. al., 2010).

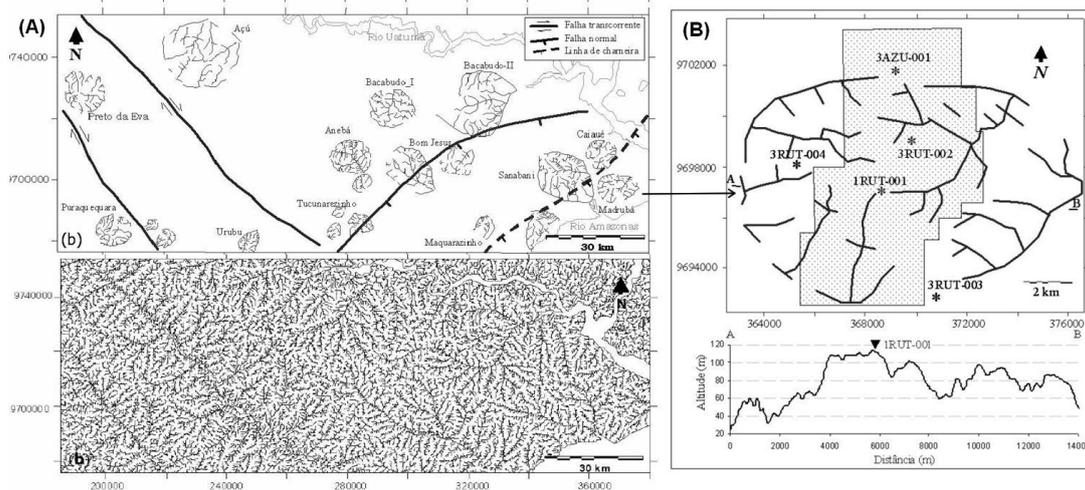
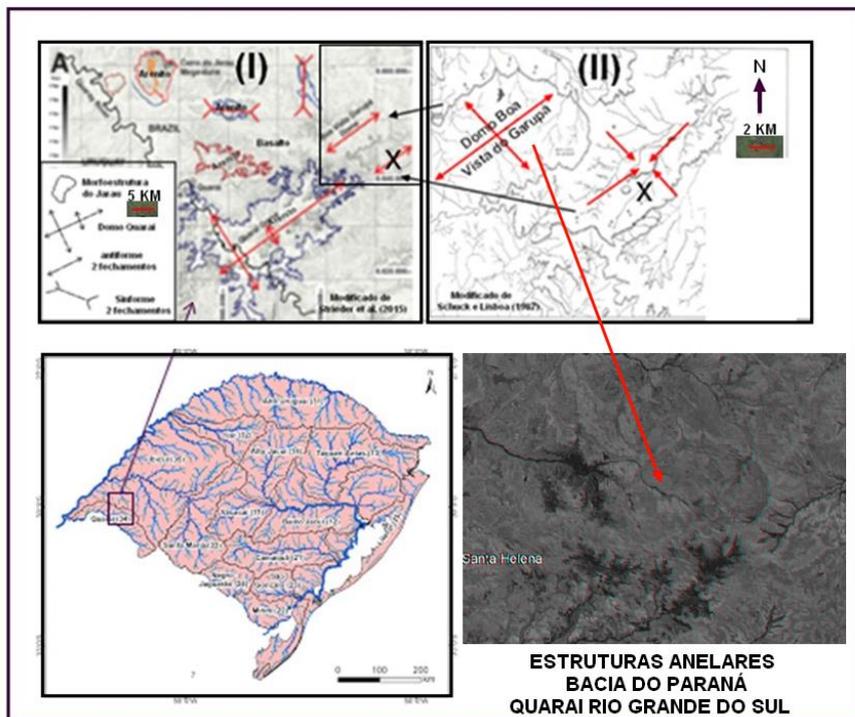


Figura 10 – Morfoestruturas associadas a domos e bacias estruturais no Grupo São Bento, Bacia do Paraná, Quaraí, Rio Grande do Sul. Em X discrepância de interpretação.



4. MATERIAL E MÉTODOS

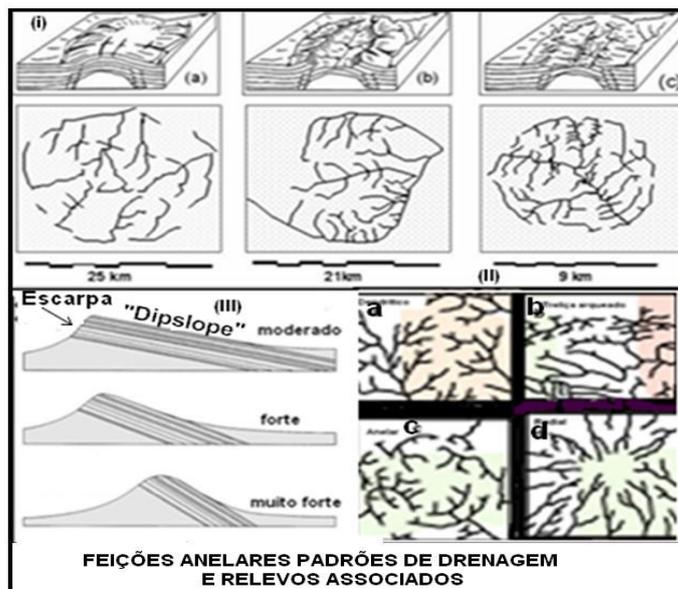
Usando a opção 3d do Google Earth Pro, que permite a confecção de imagens estereoscópicas por anaglifs em várias escalas, efetuou-se a prospecção de morfoestruturas dobradas e anelares nas rochas da Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul, com o intuito de local didaticamente pontos favoráveis à captação de água subterrânea, tendo estas morfoestruturas como referência.

Com os dados obtidos e sua interpretação é possível efetuar a locação de obras de captação de água subterrânea, sendo que a locação definitiva deve ser confirmada ou não, após o estudo geológico de detalhe no campo dos sítios apontados na fase de interpretação.

A possibilidade de efetuar a pesquisa em várias escalas levou à identificação de feições dobradas e anelares com várias dimensões, conforme ilustra a figura 11 (I), modificada de Almeida Filho et al., (2010).

A identificação das morfoestruturas levou em conta a detecção de padrões de drenagem dendríticos, radiais, anelares e treliça arqueada (Figura 11 (II)), sendo que os três últimos são indicadores da existência de estruturas dobradas e anelares. Partiu-se da premissa que áreas onde não ocorre controle estrutural apresentam padrão de drenagem dendrítico, descartando-se estas, (Figura 11II a), enquanto que onde há controle estrutural por estruturas dobradas e circulares ocorrem associados os padrões de drenagem treliça arqueado, radial centrífugo, centrípeto e anelar (Figura 11 II b, c, d). Nestas áreas foi focado o estudo. Outro aspecto morfoestrutural importante analisado, quando existirem, são “dipslopes”, superfícies topográficas que coincidem com a atitude de pacotes, geralmente reversos de “cuestas” e “hogbaks” (Figura 11 (III)).

Figura 11 – Modelos conceituais de morfoestruturas anelares de diversas dimensões (modificado de Almeida Filho et al. 2010, padrões de drenagem associados (Howard, 1968) e formas do relevo com significado estrutural.



Com estes pressupostos em mente, através da observação de anaglifos obtidos pela transformação da imagem Google Earth Pro em imagens estereoscópicas (Anexo I), foi feita a identificação, análise e aero interpretação de áreas selecionadas.

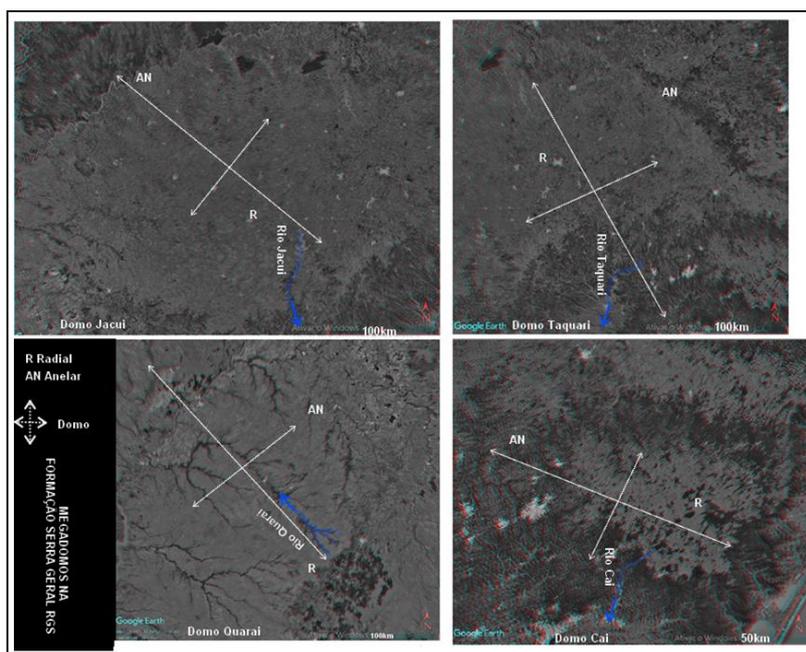
A sistemática de identificação levou em conta a hierarquia das dimensões das morfoestruturas (Figura 11), começando pelas maiores, seguidas pela identificação das morfoestruturas menores inseridas nas maiores.

Com o objetivo de validar o método escolheu-se três morfoestruturas com dados de poços perfurados na área de ocorrência, relacionando a produtividade do poço com o sitio de sua localização na imagem.

5. IDENTIFICAÇÃO DE MEGA DOMOS NA BACIA DO PARANÁ NO RIO GRANDE DO SUL

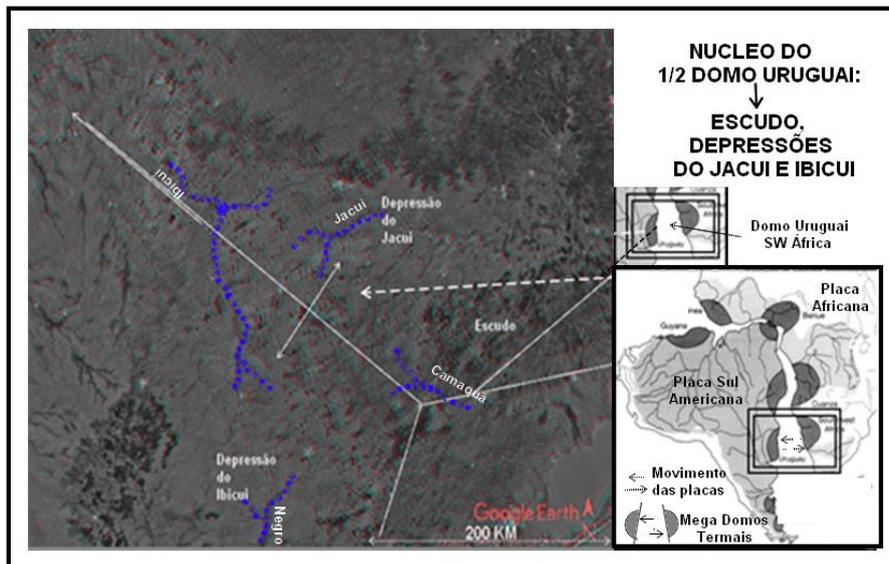
Seguindo a metodologia proposta foram identificadas quatro grandes feições morfotectônicas anelares, na Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul (Figura 12) aqui denominadas: Domo Quarai, Domo Jacui, Domo Taquari e Domo Cai. Todos apresentam eixo maior orientado segundo a direção NW, conferindo com o paleo "stress" Eo Cretáceo NE, aventado por Strieder et al., (2015), para a genese das mega estruturas dobradas da Bacia do Paraná, definidas pelos autor.

Figura 12 - Quatro mega domos identificados no Grupo São Bento da Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul e localização das morfoestruturas no Planalto **R** centro de drenagem radial centrífuga, **AN** drenagem anelar.



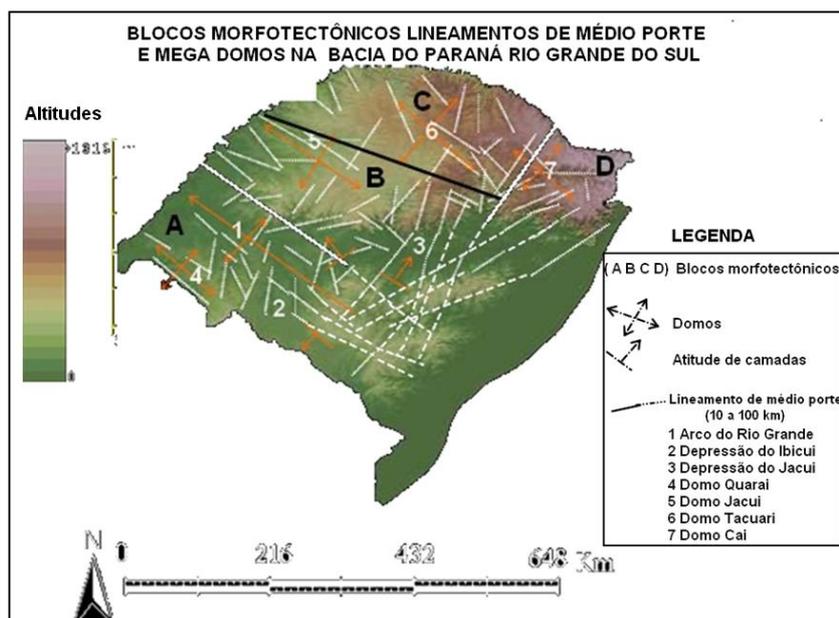
Na figura 13 pode ser visualizada também uma quinta megaestrutura, o meio domo Escudo, com flancos localizados respectivamente na Depressão do Ibicui (flanco oeste-noroeste), Negro (sul-sudoeste), Jacui (nordeste-este). O rio Camaquã, oposto ao Ibicui, escoar para sudeste. O alinhamento dos rios Alto Camaquã e Ibicui materializa o eixo do Arco de Rio Grande cujo núcleo é o escudo Sul Riograndense coincidente também com o núcleo do meio domo Uruguai e sua outra metade no sudeste da África (Pottter e Hamblin, 2006). O aspecto dômico é realçado pelo padrão de drenagem radial centrífugo configurado pelas bacias do Rio Ibicui Negro, Jacui e Camaquã, fato referido por Ab'Saber (1969).

Figura 13. - Meio domo Escudo, com núcleo no Escudo Riograndense e flancos nas depressões do Jacui e Ibicui Negro . A direita localização em relação ao movimento das placas africana e sul americana e relação com o meio domo sudoeste da África, (Potter e Hamblin, 2006).



A figura 14 relaciona as grandes falhas transcorrentes do embasamento com lineamentos de médio e grande porte (10 a 100km, > 100 Km), que têm continuidade nas rochas da Bacia do Paraná. Também são representados os quatro blocos morfotectônicos que subdividem os sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani no Rio Grande do Sul concebidos por Machado (2005), compatíveis com a geometria em blocos associados às grandes zonas de cisalhamento Zalán (1986), bem como os cinco mega domos aqui identificados: Escudo, Quarai, Jacui, Taquari e Cai. Observa-se consistente relação dos mega domos com os mega blocos delimitados por zonas de cisalhamento. Todos os mega domos tem eixo maior com orientação noroeste, o que sugere o esforço maior (sigma 1), com orientação nordeste, paleo esforço associado á deformações post cretáceas na Bacia do Paraná (Strieder et al., 2015)

Figura 14 - Relação entre Blocos Morfotectônicos, Mega Domos e zonas de cisalhamento na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul.



Neste arcabouço tectônico regional foram identificadas morfoestruturas menores representadas por blocos soerguidos (domos horsts), abatidos (bacias, grabens) ou nivelados, associados a cisalhamento oblíquo, em zonas transpressão e transtensão ao longo de falhas transcorrentes, Zalán (1986). A identificação destas estruturas tem importância para a locação de obras de captação de água subterrânea nos sistemas aquíferos Tupaciretã, Serra Geral, Guarani e Rio Bonito.

Abaixo (Quadro 1) são apresentadas a denominação e a localização em coordenadas geográficas das morfoestruturas identificadas, analisadas e interpretadas neste trabalho. Escolheu-se, na medida do possível, morfoestruturas próximas a cidades com boa quantidade de dados de poços, o que permitiu verificar as características geológicas/hidrogeológicas de cada morfoestrutura.

Quadro 1 – Morfoestruturas estudadas e coordenadas geográficas de localização do centro das mesmas.

Morfoestrutura	Coordenadas
Santa Rita	30° 31' 35" 56° 05' 10"
Campo Seco	30° 34' 11" 54° 37' 09"
Quarai Cidade	30° 19' 32" 56° 00' 39"
Estrada do Garupá	30° 12' 36" 56° 8' 09"
Trindade do Sul	27° 37' 38" 52° 55' 23"
Muitos Capões	28° 19' 35" 51° 10' 50"
Jaquirana	28° 51' 22" 50° 22' 11"

6. LOCAÇÃO DE POÇOS NO MEIO DOMO ESCUDO

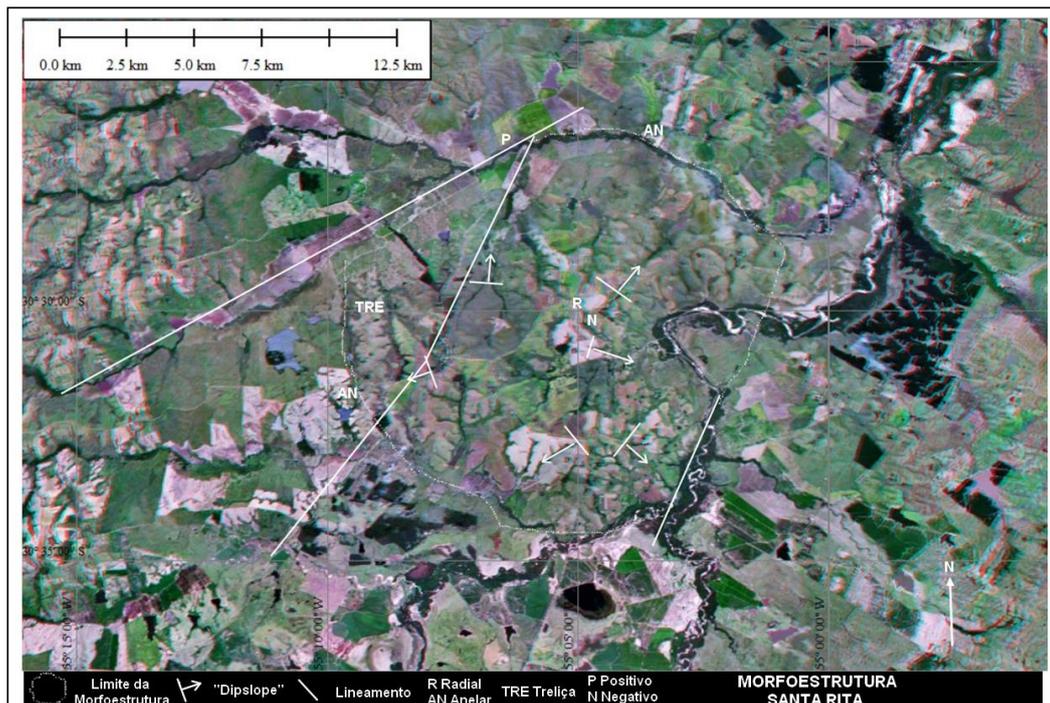
As áreas prospectadas situam-se próximas à cidade de Don Pedrito onde afloram as formações Estrada Nova, Rio do Rastro e Pirambóia CPRM (2005). Foram identificadas duas morfoestruturas anelares: Santa Rita e Campo Seco. Chegou-se à escolha destas áreas pela análise e interpretação de imagens anaglifo produzidos a partir da imagem Google Earth. Esta sistemática foi adotada para as demais áreas investigadas.

A seguir são apresentadas as análises e interpretações das morfoestruturas, bem como as locações preliminares de pontos para perfurar obras de captação de água subterrânea.

6.1 – Morfoestrutura Santa Rita.

A figura 15 é o anaglifo que abrange a área da morfoestrutura Santa Rita com a interpretação aerogeológica e hidrogeológica

Figura 15 – Locação de obra de captação na Morfoestrutura Santa Rita



A morfoestrutura Santa Rita é balizada por três lineamentos de médio porte, maiores do que 10 km (Figura 15). Um apresenta orientação N60°E, coincidente com a zona de cisalhamento Dorsal de Canguçu e dois com direção N30°E, mesma direção da zona de cisalhamento Açotea-Pedras altas. A rede de drenagem de textura fina, configura padrão radial centrífugo (R), treliça (TRE) e anelar (AN). Em torno de (R), área de maior altitude, ocorrem “*dipslopes*” divergentes deste centro. Este condicionamento leva a interpretar a morfoestrutura Santa Rita como um domo estrutural.

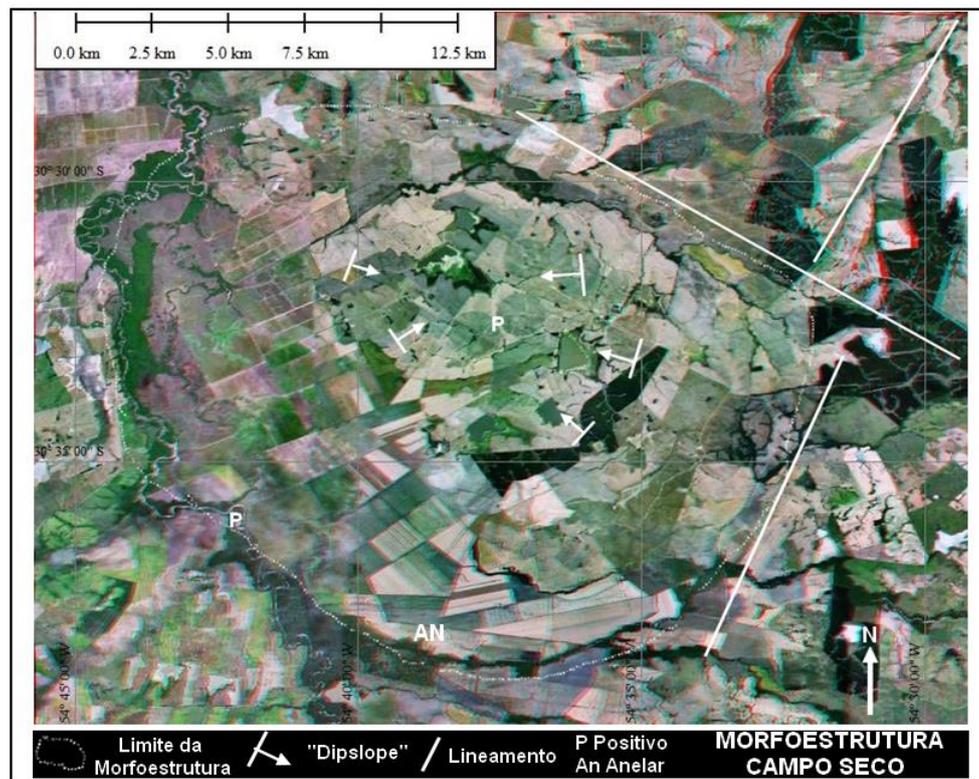
O seu centro R é considerado como área negativa (N), com tendência a baixas vazões e níveis estáticos profundos nos poços a serem perfurados nesta área. O ponto positivo (P) é recomendado para perfurar obra de captação, pois situa-se na área de menor altitude próximo a um dos lineamentos com orientação N60°E e situado na drenagem anelar de borda, provavelmente próximo ao eixo de bacia estrutural. Nessa área os poços tendem a apresentar altas vazões, níveis estáticos altos, artesianismo e possibilidade de surgência. Além do posicionamento topográfico é importante observar que a textura da drenagem é grossa com padrão paralelo, indicadores de maior permeabilidade da rocha neste setor.

De acordo com o contexto geológico, CPRM (2005), na área afloram rochas da Formação Pirambóia arenitos com matriz argilosa e lentes de argilitos. O Sistema Aquífero Rio Bonito sotoposto, confinado é o alvo para obtenção de água nos seus aquíferos porosos (arenitos).

6.2 - Morfoestrutura Campo Seco

A Morfoestrutura Campo Seco é uma feição anelar com aproximadamente 20 km de diâmetro maior, associada a dois lineamentos de médio porte, o maior com direção NW (zona de cisalhamento Ibaré) e o menor com direção N20°E (zona de cisalhamento Passo do Marinheiro (Figura 16).

Figura. 16 – Localização de obra de captação na Morfoestrutura Campo Seco (3).



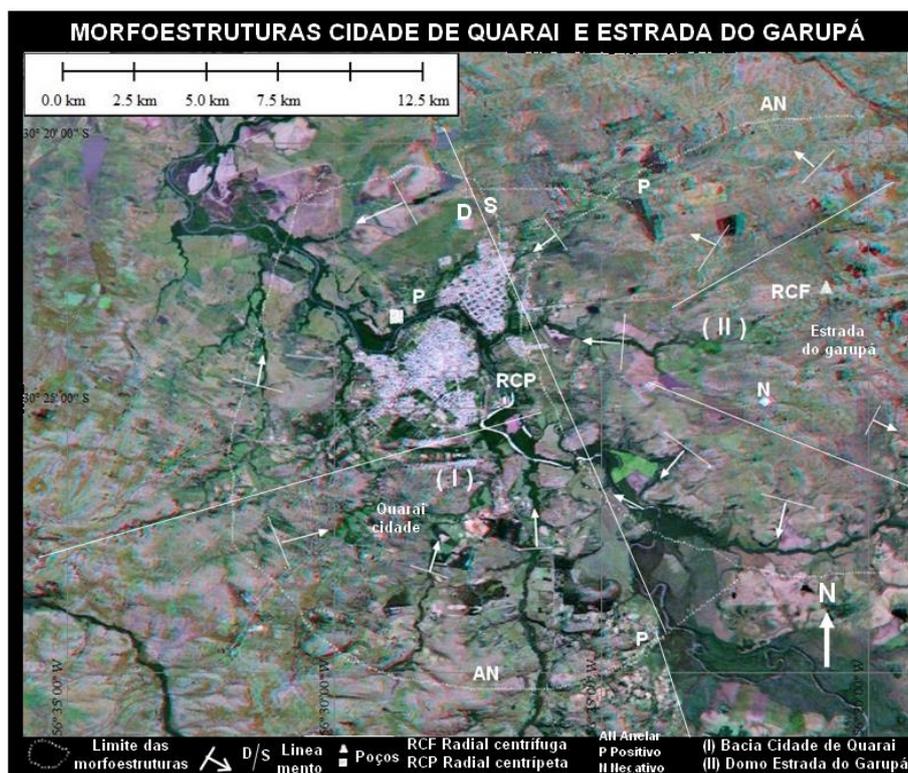
O padrão de drenagem anelar (AN) ocorre nas bordas da morfoestrutura. Os “*dipslopes*” convergem para o centro da morfoestrutura em (P), configurando uma estrutura do tipo bacia. A camada central mais nova, sobreposta à camada periférica corrobora a denominação de bacia para a morfoestrutura. Obras de captação com tendência a vazões altas e níveis estáticos altos devem ser locadas próximo ao centro da morfoestrutura (P), ou em suas bordas na drenagem anelar (P), tal como o assinalado.

De acordo com o contexto geológico CPRM (2005), na área ocorre afloramento da Formação EstradaNova, sendo que o Sistema Aquífero Rio Bonito, que ocorre sotoposto e confinado é o alvo de obtenção de água nos seus aquíferos porosos (arenitos). Na situação de locação (P), centro da morfoestrutura haverá condições de artesianismo.

7. LOCAÇÃO DE POÇOS NO DOMO QUARÁI

Na cidade de Quaraí e proximidades foram identificadas duas morfoestruturas denominadas Quaraí Cidade e Estrada do Garupá (Figura 17).

Figura 17 - Morfoestruturas Quarai Cidade e Estrada do Garupá.



Um lineamento de médio porte com direção NW delimita as duas morfoestruturas, configurando-se dois blocos, situando-se no Oeste a morfoestrutura Quarai Cidade e no Leste a morfoestrutura Estrada do Garupá.

A morfoestrutura Quarai Cidade, com drenagem radial centrípeta (RCP) e anelar (AN) corresponde a um bloco morfologicamente baixo. Nas bordas ocorrem “dipslopes” convergentes para o centro da morfoestrutura, o que lhe dá conformação de bacia estrutural seccionada por provável falha, correspondente ao lineamento com direção noroeste que a delimita da morfoestrutura Estrada do Garupá.

De acordo com CPRM (2005), na área da morfoestrutura Quarai Cidade afloram basaltos da Formação Serra Geral. O aquífero alvo é o arenito Botucatu sotoposto, confinado pelo pacote vulcânico. Em (P) no centro da morfoestrutura há boa condição para locação de poços, com possibilidade de altas vazões em situação de artesianismo. As bordas da morfoestrutura com drenagem anelar, também são favoráveis para altas vazões em poços.

A morfoestrutura Estrada do Garupá situada a Leste do lineamento, provável falha, apresenta a partir do seu centro drenagem radial centrífuga (RCF) e nas bordas drenagem anelar (AN). Os dipslopes são divergentes a partir do centro da morfoestrutura, o que configura provável estrutura do tipo domo.

De acordo com CPRM (2005), no centro da morfoestrutura afloram arenitos da Formação Botucatu e nas bordas basaltos da Formação Serra Geral. Nestas condições o aquífero arenito é livre, sendo que a disposição dômica sugere fluxo do centro para as bordas da morfoestrutura. Tal condição determina baixas vazões e níveis estáticos profundos em poços perfurados na parte central da morfoestrutura. Nas bordas, na drenagem anelar há possibilidade de ocorrerem vazões altas P.

8. LOCAÇÃO DE POÇOS NO DOMO JACUI

A morfoestrutura Trindade do Sul, é uma feição anelar elíptica, com diâmetro maior de aproximadamente nove quilômetros (Figura 18). Têm a sua borda nordeste ocupada pela cidade de Trindade do Sul, no Planalto Médio, onde afloram rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral CPRM (2005). O centro da morfoestrutura é abatido em relação às bordas evidenciado por “dipslopes” de blocos basculados em direção ao centro, delimitados por lineamentos com direção N70°E, (Zona de cisalhamento Dorsal de Canguçu). Na parte central a drenagem é radial centrípeta (RCP) e nas bordas anelar (AN). O conjunto destas características configura a morfoestrutura como uma bacia estrutural.

O centro (c) abatido é positivo (P) para boas vazões em poços a serem perfurados. Na borda da morfoestrutura, onde ocorre drenagem anelar (AN) também existem sítios positivos (P) para a locação de poços. Em (RCF) drenagem radial centrífuga fora da morfoestrutura, ocorrem sítios negativos (N) para a ocorrência de água subterrânea.

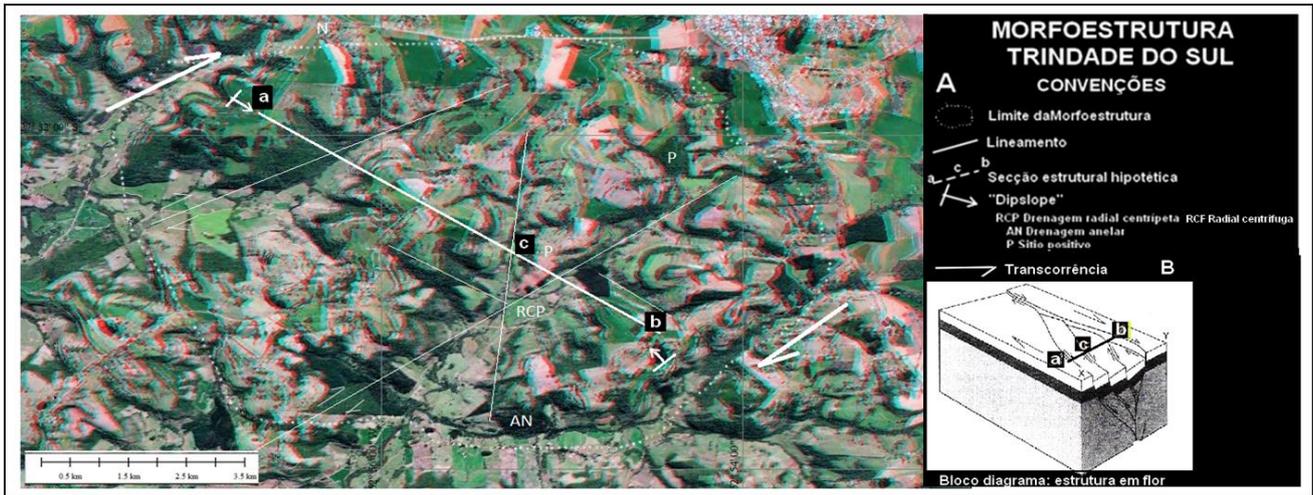
Na figura 18 a linha (a-c-b) é uma secção hipotética e em B, é ilustrado o modelo conceitual que se ajusta à concepção genética da geometria da morfoestrutura em profundidade, tendo como referência o modelo (Figura 8 B) de Artur e Soares (2001), baseado em

secções sísmicas na Bacia do Paraná, concebido como estrutura em flor associada a reativações transcorrentes das falhas do embasamento.

Estruturas em flor são zonas de falha em forma de cunha que se abrem de baixo para cima, situadas acima de uma falha principal sub vertical profunda, e que normalmente afeta o embasamento. Esta zona em cunha é formada por várias falhas subsidiárias que, em perfil, podem apresentar geometria de falhas normais, reversas ou de empurrão. Todas elas convergem para baixo, em direção à falha principal, que no embasamento assume forma linear, enquanto que, para cima, se abrem em leque (Zalán, 1986).

A disposição espacial em blocos falhados abatidos das bordas para o centro na morfoestrutura Trindade do Sul, sugere a sua classificação como estrutura em flor negativa, associada a movimentos de falhas transcorrentes em profundidade (Figura 18 B), associados a esforços transtensivos. A mesma interpretação pode ser dada, para as bacias estruturais Campo Seco, figura 16 e Quarai Cidade, figura 17.

Figura 18 - Localização de poços na Morfoestrutura Trindade do Sul

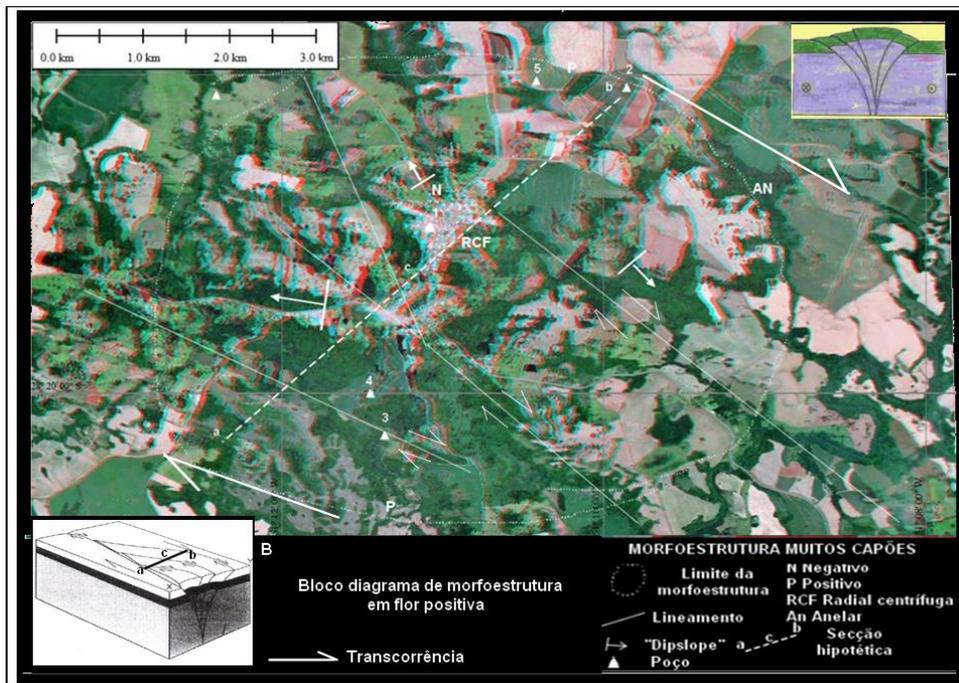


9. LOCAÇÃO DE POÇOS NO DOMO TAQUARI.

Lineamentos com direção predominante noroeste (zona de cisalhamento Ibaré) cortam a morfoestrutura Muitos Capões, individualizando blocos alinhados na mesma direção (Figura 19).

A linha de secção hipotética (a c b), transversal aos blocos é ilustrada no bloco diagrama B, que simula um provável arranjo dos blocos em profundidade como uma estrutura em flor positiva.

Figura 19 - Localização de poços na Morfoestrutura Muitos Capões



A partir do centro da morfoestrutura ocorre padrão de drenagem radial centrífugo (RCF), nas bordas ocorre padrão anelar (AN). Os "Dipslopes", indicadores de basculamento de blocos, assumem também padrão radial centrífugo.

Os elementos descritivos acima qualificam a morfoestrutura como provável domo estrutural. A conformação deste domo, associada a blocos estruturais, soerguidos no seu centro sugere como hipótese genética, movimentos de falhas transcorrentes em profundidade, com regime de esforços transpressivos, gerando estrutura em flor positiva, também ilustrada no alto da figura. Enquadram-se também nesta hipótese genética as morfoestruturas Santa Rita (Figura 15), Estrada do Garupá (Figura 17) e Jaquirana (Figura 20).

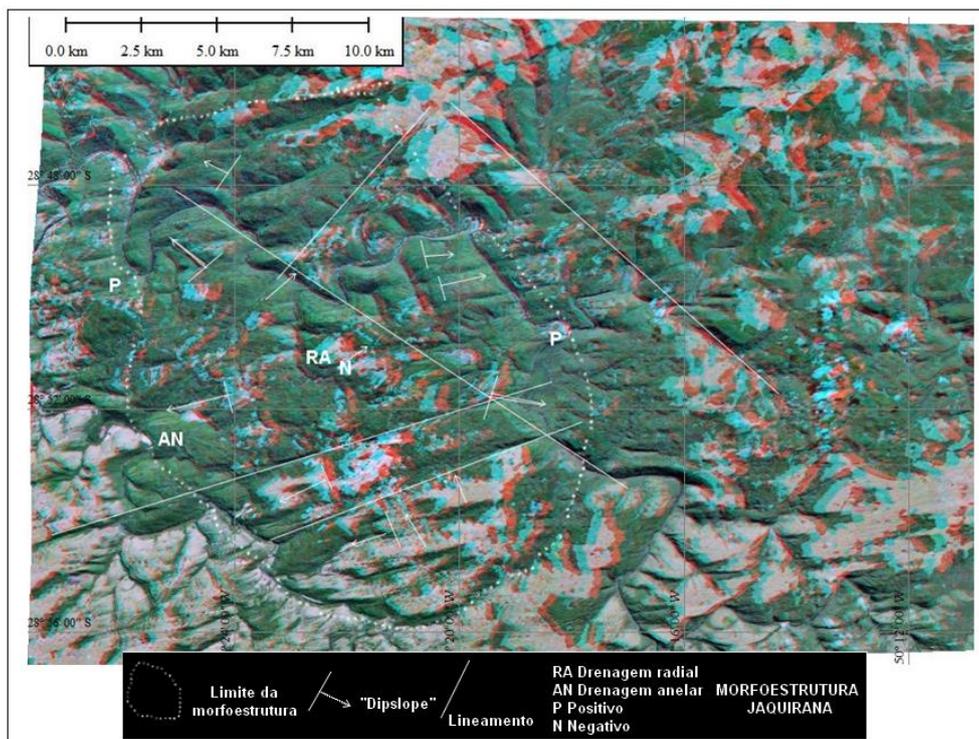
A hipótese genética proposta confere com a interpretação dada para o alto de Quatiguá, em rochas da Bacia do Paraná que ocorrem no Paraná (Rostirolla et al., 2000). Os autores consideram o domo ou horst de Quatiguá como uma estrutura em flor positiva. As características morfoestruturais deste domo são semelhantes às feições dômicas identificadas neste trabalho.

Nestas condições morfoestruturais os sítios positivos para a locação de poços com vazões altas são as bordas onde ocorre o padrão de drenagem anelar. Os sítios negativos no centro relacionado ao padrão de drenagem radial centrífugo. Nos limites entre os blocos, marcados por lineamentos retilíneos ocorrem condições intermediárias para locação de poços.

10. LOCAÇÃO DE POÇOS NO DOMO CAÍ.

A morfoestrutura Jaquirana possui seu eixo maior orientado segundo noroeste, o qual tem aproximadamente 15 km de comprimento. Localiza-se no Planalto dos Campos Gerais onde, segundo CPRM (2005) afloram rochas ácidas riódacíticas da Formação Serra Geral (Figura 20). Tem forma elíptica, cortada por dois lineamentos N70°E (zona de cisalhamento Dorsal de Canguçu) e por mais um com direção N30-40°W (Zona de cisalhamento Ibaré).

Figura 20 - Morfoestrutura Jaquirana



O lineamento NW divide a morfoestrutura em dois blocos, morfologicamente abatido a nordeste e soerguido a sudoeste. A morfoestrutura é fragmentada por blocos basculados com "dipslopes" para nordeste no bloco morfologicamente abatido e para SW no bloco soerguido. Ocorrem neste bloco também sub-blocos basculados para nordeste e noroeste.

Os padrões de drenagem radial centrífugo e anelar indicam a morfoestrutura como sendo um domo estrutural, ou estrutura em flor positiva com sítios positivos P para poços com altas vazões em sua periferia na drenagem anelar e negativos (N) nas áreas centrais da morfoestrutura. Poços locados nos lineamentos retilíneos apresentam condições médias de produtividade.

11. VALIDAÇÃO DO MÉTODO

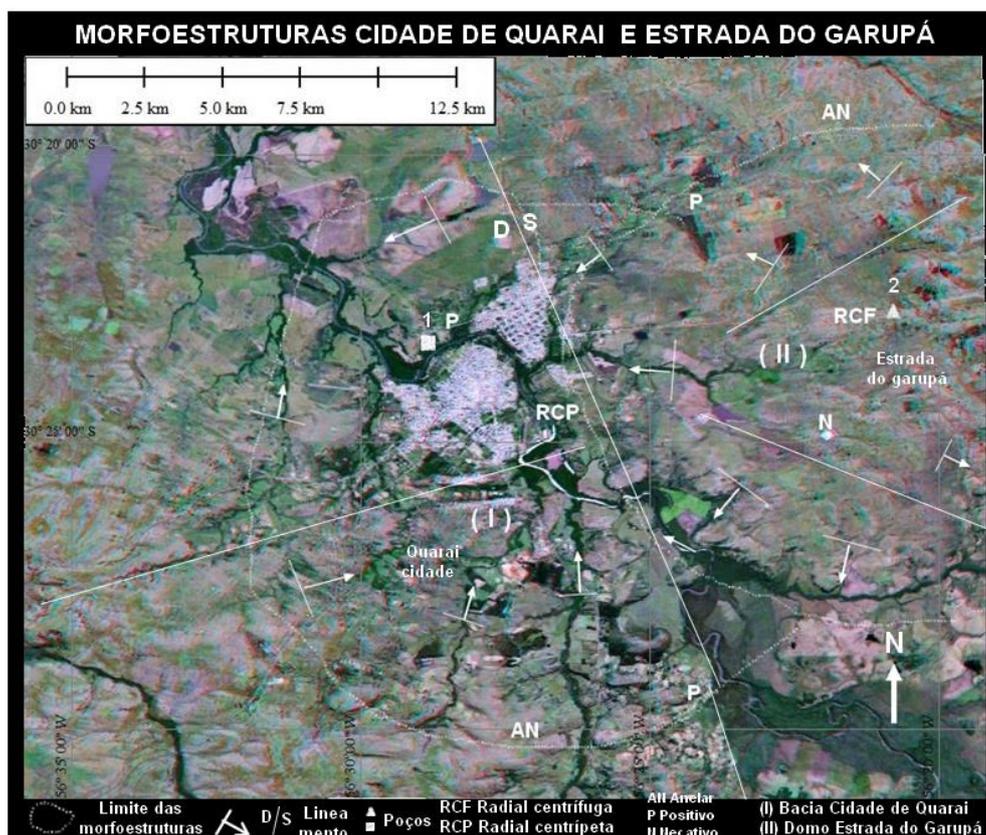
Escolheu-se duas áreas para demonstrar a validação do método de locação de poços em morfoestruturas anelares da Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul: O município de Quaraí que envolve a interação dos sistemas aquíferos Serra Geral – Guarani e o município de Muitos Capões onde há ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral.

A escolha destas áreas foi feita porque as duas cidades ocorrem em morfoestruturas anelares, com boa quantidade de poços e com alguns poços distribuídos pelo município. Os dados dos poços foram obtidos no banco de dados SIAGAS-CPRM (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas, Serviço Geológico do Brasil-CPRM). Foram usadas apenas as fichas de poços perfurados pela CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), pois essas apresentam os dados mais confiáveis e completos do banco de dados.

11. 1 – Município de Quaraí. Bacia Quaraí Cidade.e Domo Estrada do Garupá

A figura 21 contém a interpretação das morfoestruturas bacia Cidade de Quaraí e domo Estrada do Garupá. Nesta área ocorre o Sistema Aquífero Guarani confinado por delgado pacote de rochas vulcânicas do Sistema Aquífero Serra Geral (Siculi, 2018).

Figura 21 - Morfoestruturas Quaraí Cidade e Estrada do Garupá com localização de poços usados para validar a metodologia desenvolvida para locar sítios preliminares para poços com altas vazões.



Escolheu-se o poço Hidráulica do Saladero, (1 - símbolo quadrado) que conforme perfil geológico, interceptou o Sistema Aquífero Serra Geral e parte do Sistema Aquífero Guarani. Este poço localiza-se próximo ao centro da morfoestrutura Bacia Quaraí Cidade.

A configuração em bacia estrutural é justificada por padrão de drenagem anelar (AN), radial centripeto (RCP) e "dipslopes" convergentes para o centro da morfoestrutura. Esta situação geológica aponta a ocorrência de poços com nível estático alto, artesianismo com possibilidade de surgências e altas vazões de estabilização (P).

O poço Hidráulica do Saladero ilustra estas condições hidrogeológicas, com profundidade de 100 metros, nível estático a 10 metros de profundidade, nível dinâmico a 42 metros e vazão de estabilização 14 m³/h, atestando a validade da interpretação morfoestrutural para a locação de poços com vazão alta.

O poço Branquilha (2 - assinalado com um triângulo branco) na área central do domo Estrada do Garupá, que foi perfurado em basalto e parte em arenito, com profundidade 71m, vazão de estabilização 2,4 m³/hora e nível estático a 59 metros de profundidade, confere com a interpretação dada para a área central (negativa para água subterrânea), isto é, poços com baixa vazão e alta profundidade do nível estático. Por sua situação topográfica e relação com a Bacia Quaraí Cidade, o domo Estrada do Garupá é área de recarga desta.

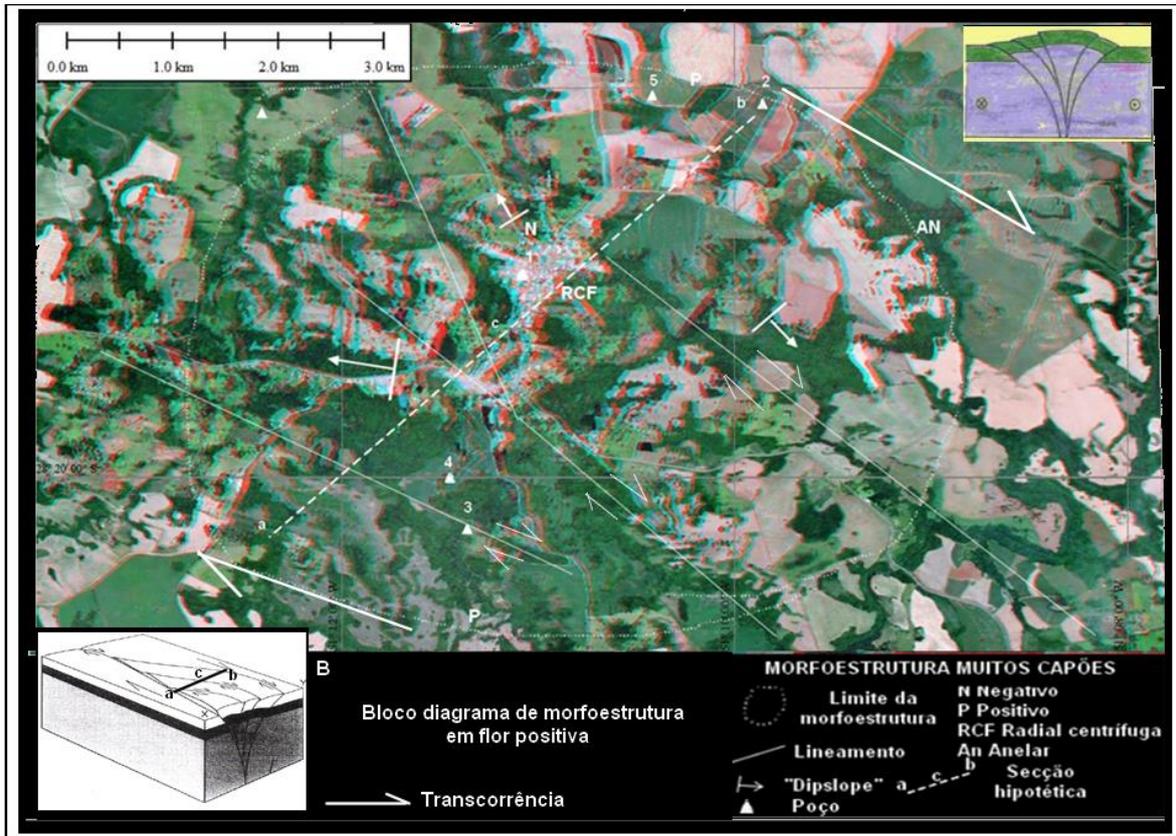
11. 2. Área município de Muitos Capões,

A morfoestrutura Muitos Capões situa-se a noroeste da cidade de Vacaria, com seu centro na cidade Muitos Capões, tendo sido classificada como Domo Estrutural ou estrutura em flor positiva.

É uma feição com aproximadamente 8 km no diâmetro maior, com forma semicircular. De acordo com CPRM (2005), na área afloram basaltos da Formação Serra Geral.

Nela foram localizados cinco poços, numerados de 1 a 5 (Figura 22). O quadro 2 ilustra os dados dos poços (profundidade, nível estático, vazão de estabilização) e as respectivas distâncias das bordas da estrutura.

Figura 22 - Morfoestrutura Muitos Capões com a localização dos poços utilizados para validar a metodologia na escolha preliminar de sítios para perfurar poços com vazões altas.



Quadro 2 - Dados dos cinco poços localizados na estrutura Domo Muitos Capões.

NÚMERO	NOME	PROFUNDIDADE (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	VAZÃO (m ³ /h)	DISTÂNCIA DA BORDA (m)
1	Fazenda Frutini a	172	11,4	20	0
2	Fazenda Frutini b	48	3	18	0
3	Capão Grande	70	1,5	17,3	1000
4	Mata Grande	80	12,2	8,7	1500
5	Rua Glorinha	115	22	4	2000

No caso de estrutura dômica, o centro da estrutura é o ponto mais afastado das bordas da estrutura e deve apresentar poços com baixa vazão e níveis estáticos profundos, variando inversamente estes parâmetros a medida de sua proximidade das bordas da estrutura.

O poço 5, Rua Glorinha, aproximadamente no centro da estrutura, a 2000m das bordas, tem profundidade 115m, nível estático a 22m e vazão de estabilização 4m³/hora. É o poço mais afastado das bordas da estrutura, com nível estático mais profundo e vazão de estabilização mais baixa dos poços considerados na validação.

Os poços 1 e 2, Fazenda Frutini (a), Fazenda Frutini (b), estão localizados nas bordas da morfoestrutura e nesta condição apresentam as vazões mais altas respectivamente 20 m³/h e 18 m³/h, e níveis estáticos altos, entre 11,4m e 3m.

Os poços 3 e 4, Capão Grande e Mata Grande localizados a 1000 e 1500 m das bordas, apresentam vazões intermediárias, 17,5 m³/h e 8.7 m³/h e níveis estáticos altos, 1,5 m e 12, 2m.

O centro da morfoestrutura dômica funciona como área de recarga para as bordas e proximidades destas.

Estas relações comprovam a validade da sistemática aqui desenvolvida para localizar poços em morfoestruturas anelares da Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul.

12. CONCLUSÕES

A Bacia do Paraná, a exemplo de outras bacias intracratônicas, registra em suas rochas falhas, fraturas e dobras geradas por tectônica de reativação de falhas e blocos falhados, do seu assoalho, o embasamento Pré-Cambriano. Estes processos tectônicos foram ativos no Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico (Soares, 1991).

Em todas as formações da Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul foram identificados os mesmos padrões de morfoestruturas anelares. Pelas suas características, as morfoestruturas aqui analisadas podem ser denominadas como morfoestruturas em flor positiva associadas à transpressão; domos ou em flor negativa, ou bacias associadas a transtensão em zonas de cisalhamento. Não se descarta a possível ocorrência de morfoestruturas anelares associadas a outros processos e geometrias que não as descritas acima.

Provavelmente estas morfoestruturas anelares se distribuem no restante da Bacia do Paraná. Morfoestruturas semelhantes já identificadas e interpretadas são o Domo Quatiguá (Rostirolla et al., 2000) e o domo ou anticlinal Barra Bonita (Strugale et al., 2013), ambos no Paraná, sendo a última estrutura sede de exploração de gás pela Petrobrás.

A identificação e caracterização de estruturas resultantes da tectônica de reativação em bacias sedimentares assume importância na prospecção de fluídos, água subterrânea, óleo, gás e outros recursos minerais.

A imagem Google Earth Pro, com o recurso tridimensional estereoscopia, se mostra eficiente no reconhecimento e caracterização de estruturas dobradas com três e quatro fechamentos, mal ou pouco reconhecidas em imagens de sensoriamento remoto bidimensionais. O reconhecimento e caracterização destas estruturas é feito pela análise morfoestrutural visual de estereomodelos em “display” de computador, pelo método dos anaglifos.

A análise visual baseia-se no reconhecimento de três padrões de drenagem associados às morfoestruturas: radial, anelar e treliça arqueado. Quando ocorrem, são também assinalados “*dipslopes*”. O reconhecimento é complementado pelo traçado de lineamentos de médio porte que cortem ou delimitam a morfoestrutura, relacionados a prováveis falhas.

As morfoestruturas anelares têm dimensões variáveis, detectáveis em várias escalas das imagens, as menores contidas nas maiores. Esta situação provavelmente se liga a blocos maiores e menores delimitados por falhas no embasamento da Bacia. No conjunto, as morfoestruturas estão associadas a encurtamento ou extensão dos pacotes de rocha por cisalhamento oblíquo. A direção predominante dos esforços geradores da fase de deformação pós cretácea NW é nordeste – sudoeste, de natureza compressiva (Soares, 1991; Strieder et al., 2005).

Identificou-se quatro megaestruturas dômicas que coincidem com os quatro blocos morfotectônicos definidos por Machado (2005) para o grupo São Bento da Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul e sete morfoestruturas anelares menores inseridas nestas megaestruturas. Independente do tipo de morfoestrutura e de sua escala, a drenagem anelar de suas bordas e proximidades desta, são sítios positivos para a exploração de água subterrânea.

Em se tratando de domo, antiformal, o centro da estrutura e suas proximidades são negativos. Em bacias, sinclinais o centro e proximidades da estrutura são sítios positivos para a exploração de águas subterrâneas. Nesta situação quando há confinamento do aquífero, ocorre artesianismo que, em alguns casos, pode ser surgente. Essas considerações foram avaliadas por meio do cruzamento de dados de poços com três morfoestruturas escolhidas para tal fim. Nos três casos as bordas das morfoestruturas delimitadas por padrão de drenagem anelar, consistiram em sítios positivos para a acumulação de água subterrânea. Em uma delas, Quaraí Cidade identificada como bacia, o centro da morfoestrutura é positivo para obtenção de poços com grande vazão e possibilidades de artesianismo surgente ou não. Nas outras duas, Estrada do Garupá e Muitos Capões, identificadas como domos, o centro das estruturas é negativo para a ocorrência de grandes reservas de água subterrânea, as bordas na drenagem anelar se comportam como áreas positivas.

A validação da metodologia baseada na relação de dados de poços com a geometria das morfoestruturas, comprova a sua efetividade como método preliminar para a escolha de sítios para explorar águas subterrâneas em bacias sedimentares intracratônicas.

As concepções e procedimentos descritos nesta nota técnica podem servir de ponto de partida para o profissional hidrogeólogo efetuar a verificação de sítios favoráveis ou desfavoráveis para a locação preliminar de obras de captação de água subterrânea, em morfoestruturas anelares identificadas pelo profissional, especificamente na Bacia do Paraná, mas que pode também ser aplicados em outras bacias intracratônicas.

Esta nota também visa divulgar procedimento livre na INTERNET acessível a todos para produzir anaglifos, a partir da imagem Google Earth Pro, observáveis em display de computador com óculos munidos de filtros de absorção de cores complementares, com a formação de estereomodelos, a partir dos quais é possível fazer análise e interpretação aerogeológica preliminar, em diversos campos de investigação geológica.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. *Participação das superfícies aplainadas nas paisagens do Rio Grande do Sul Instituto de Geografia. Geomorfologia. São Paulo SP 1969.*
- ALMEIDA FILHO, R, DELANO, M. I., FERNANDO, P. M. *Interpretação morfoestrutural de dados SRTM no auxílio à exploração de petróleo:Um exemplo na Bacia Sedimentar do Amazonas. Revista Brasileira de Geofísica. 2010.*
- ARTUR, P. C., SOARES, P. C. *Paleoestruturas e petróleo na Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências. SP 2002.*

- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala: 1:750 000*. CPRM. Porto Alegre. 2005.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Sistema de informações de água subterrânea. (SIAGAS)*. Siagasweb.cprm.gov.br/. Porto Alegre. 2022.
- FRASCA, A. A., LISBOA, N. A. *Contribuição do sensoriamento remoto na compartimentação morfotectônica e morfoestrutural da Bacia do Paraná Grupo São Bento rs e suas relações com as estruturas do Embasamento*. Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto. Anais. Curitiba. 1993.
- GAY JR., S. P. *Joints linear lineaments –The basement connection*. Oral presentation. American association of petroleum geologists. 2020.
- HOWARD, A. D. *Drainage analysis in geologic interpretation a summation*. American association of petroleum geologists. Bulletin 51. 1967.
- HUANG, L, LIU C Y. *Three types of flower structures in a divergent wrench fault zone*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth 122. 2017.
- LISBOA, N. A, CASTRO J. H. W. *A MORFOESTRUTURA ANELAR DO Lajeado Grande: Provável foco de extrusões ácidas na Bacia do Paraná*. Simpósio sobre vulcanismo e ambientes associados. Gramado 1998.
- LISBOA, N.A.; SCHUCK M. T. G. O. *Caracterização de formas e padrões estruturais no Grupo São Bento da Bacia do Paraná Rio Grande do Sul em imagens orbitais e sub orbitais*. Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto. Curitiba. 1988.
- LISBOA, N. A., DANI, n., REMUS, M. V., CASTRO, J. H. W. *Síntese da ocorrência das águas subterrâneas do Rio Grande do Sul*. XIII Congresso Brasileiro de águas subterrâneas. Curitiba. 2006.
- MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. *Mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul*. Companhia de pesquisa de recursos minerais (CPRM). Porto Alegre 2005.
- MCCLAY K, BONORA M. *Analog models of restraining stepovers in strike slip fault systems*. American Association petroleum geologists, bulletin v. 85, n 2 2001.
- MILANI, E. J., DAVISON, I. *Basement control and transfer tectonics in the Reconcavo Tucano Jatobá rift, Northeast Brazil*. Tectonophysics Amsterdam. 1988.
- PERRON, P, GUIRAUD, M, VENIN, E, MORETTI, I., PORTIER, E, LPOURHIET, L, KONATE, M. *Influence of basement heterogeneity on the architecture of low subsidence rate Paleozoic intracratonic basins (Reggane, Ahnet, Moudyrand Illizi, Hoggar Massif)*. Solid Earth, Europa. 2018.
- PICADA, R. S. *Ensaio sobre a tectônica do escudo Sul-Riograndense. Caracterização dos sistemas de falhas*. XXV Congresso Brasileiro de Geologia Rio de Janeiro. 1971.
- POTTER, P. E., HAMBLIN, W. K. *Big rivers worldwide*. Brigham Young University. Geology Studies. USA. 2006.
- RICCOMINI, C. *Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós gondwânicos da porção centro oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas*. Instituto de Geociências da Universidade de São paulo. Tese de livre docência. 1995.
- RICCOMINI, C, SANT'ANNA, L. G., FAMBRINI, G. L. *The early Cretaceous Jacuí Group, a newly discovered volcanoclastic-epiclastic accumulation at the top of the Paraná Basin, southern Brazil*. Cretaceous Research, V. 59. 2016.
- ROSTIROLLA, S. P, ASSINE, M. L., FERNANDES, L. A., ARTUR, P. C. *Reativação de paleolíneamentos durante a evolução da Bacia do Paraná. O exemplo do Alto Estrutural de Quatiguá*. Revista Brasileira de Geociências 30 (4). Brasil. 2000.
- SCHERER, C. M. S, FACCINI, U. F., LAVINA, E. L. *Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná*. Geologia do Rio Grande do Sul. UFRGS-CIGO. Porto Alegre. 2000.
- SICULI, F. M. *Caracterização hidrogeológica e hidroquímica do município de Quaraí, RS*. Trabalho de conclusão de curso (TCC). UFRGS. Porto Alegre. 2018.
- SOARES, P. C. *Tectônica sinsedimentar cíclica na Bacia do Paraná. Controles*. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1991.
- STRAT, E. B. *Geologia e geomorfologia das estruturas circulares na porção central da província magmática Paraná-Etendeka*. Florianópolis 2017.
- STRIEDER, A. , HEEMANN, R., REGINATO P. A. , R. B , AMORIM, V. A, REMDE, M. Z. *Jurassic-Cretaceous deformational phases in the Paraná intra cratonic basin southern Brazil*. Solid Earth Europe. 2015.
- STRUGALE M, ROSTIROLLA, S. P., MANCINI, F., PORTELA FILHO, C. V. , FERREIRA, F. J. F., FREITAS, R. C. *Structural framework and structural evolution of Ponta Grossa Arch and its implications to Pirambóia and Botucatu formation (Mesozoic of Paraná Basin south Brazil)*. Journal of South American Earth Sciences. 2003.
- STRUGALE, M, MANCINI f. , ROSTIROLLA , S. P. *Deformação transpressiva penicontemporânea na Formação Rio do Rastro (Bacia do Paraná) na região da Serra do Cadeado (PR)*. Boletim de Geociências, Petrobrás. 2013.

TAKAHASHI, I. A., LISBOA, N. A. , HAERTEL, V. *Caracterização morfoestrutural e hidrogeológica de aquíferos em meio fraturado através de técnicas de sensoriamento remoto e análise estatística em setor do Planalto Meridional, rs. Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto Curitiba 1993.*

ZALAN, P. V., *Identificação de falhas transcorrentes em secções sísmicas.* Revista brasileira de geociências 16 (3) 1986.

ZALAN, P. V., *A tectônica transcorrente na exploração de petróleo: Uma revisão.* Revista brasileira de geociências 16 1986.

ZALAN, P. V., WOLFF, s., ASTOFOLI, M. A. M, VIEIRA, I. S. , CONCEIÇÃO, J. C. J., APPI, V. T.. NETO, E. V. S., CERQUEIRA, J. R., MARQUES, A. *The Paraná Basin Brasil AAPG Memoir Tulsa 1990.*

ANEXO I

ANAGLIFOS NO GOOGLE EARTH

Roteiro para Elaboração de Anaglifos com imagens do Google Earth

- Abrir a imagem no Google Earth e acessar a área de interesse: **na barra lateral ativar apenas Terreno**

- Maximizar a qualidade da imagem: **Ferramentas>opções>visualização 3D.** Nesta janela configurar para: **True color, 32 bits; alto; pequeno; direct X graus, minutos, segundos; metros, km. Ampliar elevação em 3 e use terreno de alta qualidade. Modo de visão habilitada para grande e infinito. Aplicar e OK.**

- Processo de renderização: (Verticalização da imagem): **visualizar>redefinir>inclinação e bússola.**

- Inserir polígono KMZ em torno da área de interesse. Desabilitar a barra de ferramentas lateral para ficar mais à vontade com a tela: **Ferramenta polígono > polígono>estilo cor>área 0% opaco, linha>cor>largura >linha 0% opaco >OK. Mover a imagem para a direita paralela à latitude, com o ícone mão, Arquivo >salvar>salvar imagem. Nomear imagem Salvar>salvar imagem. Fazer o mesmo para o lado esquerdo. Fazer o anaglifo em algum programa (por exemplo ANAMAKER) livre na rede com as duas imagens salvas (esquerda e direita). Após observar o anaglifo na tela do computador com óculos portadores de filtros com cores complementares às usadas no anaglifo (Ciano – Magenta) no anaglifo (Azul – Vermelho) no óculos. Se der estereomodelo invertido, trocar as imagens de posição no programa escolhido. Para visualizar as imagens é necessário adquirir ou construir um óculos para visualizar anaglifos.**

Nota: Quanto maior o deslocamento da área alvo para a esquerda e direita da tela, maior será a paralaxe introduzida e maior será o exagero vertical do relevo do estereomodelo.

Georeferenciamento

Abrir o quantum gis

Web > open layerplugin>bingmaps>bingaerial.

Raser>georeferenciador . Arquivo > abrir raster

Com esta ferramenta ativada clicar em ponto de referência no anaglifo: **a partir das propriedades da imagem> ok.**

Clicar no mesmo ponto na imagem bing: **A partir das propriedades da imagem OK.**

Fazer o mesmo para outros 3 pontos escolhidos.



No georeferenciador clicar na ferramenta , tenho então o anaglifo georeferenciado em relação à imagem Bing.

Na tela quantum Gis: **Projeto Salvar como >Salvar.**