

ARCABOUÇO ESTRUTURAL DO ARCO DE PONTA GROSSA NA REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO PARANÁ (BRASIL): IMPLICAÇÕES NA HIDRODINÂMICA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

Michael Strugale¹; Sidnei Pires Rostirolla²; Ernani Francisco da Rosa Filho³;
Eduardo Chemas Hindi³; Fernando Mancini²; Francisco. José Fonseca Ferreira⁴ &
Rafael Correia de Freitas⁵

Resumo - A região onde a charneira do Arco de Ponta Grossa (trecho entre os alinhamentos Rio Alonzo e São Jerônimo – Curiúva) intersecta a faixa de afloramentos das formações Pirambóia e Botucatu (Mesozóico da Bacia do Paraná) foi estudada neste trabalho, através de mapeamento fotogeológico, coleta de informações estruturais em campo e dados potenciométricos, principalmente. As formações Pirambóia e Botucatu constituem o Sistema Aquífero Guarani (SAG) das Bacias do Paraná e Chaco-Paraná, constituindo uma das mais importantes reservas de águas subterrâneas do planeta, cujo arcabouço estrutural é pouco conhecido. Através da análise estrutural das estruturas tectônicas nas referidas unidades, é possível determinar como as falhas se comportam em relação ao fluxo de água, isto é, se constituem barreiras ou condutos, bem como a geometria desta compartimentação. Dentro da área de estudo, balizada pelas coordenadas 23° 30' - 24° 30' S e 50° 30' - 51° 30' W (centro norte do Estado do Paraná), foram identificadas áreas potenciais de recarga que são condicionadas pela topografia, mergulhos das camadas e zonas de falhas N40-50W. A presença destas estruturas promove uma inflexão anômala das curvas potenciométricas regionais, balizada por zonas de falhas que correspondem aproximadamente aos alinhamentos magnéticos Rio Alonzo e São Jerônimo – Curiúva.

Abstract: *Structural framework of the Ponta Grossa Arch on middle-central region of Paraná State (South Brazil): implications to Guarani Aquifer System's hydrodynamic:* the intersection between the hinge zone of Ponta Grossa Arch (between Rio Alonzo and São Jerônimo – Curiúva magnetic lineaments) and the outcrop belt of Pirambóia and Botucatu formations (Mesozoic of Paraná Intracratonic Basin - Brazil) was studied through field data, aerophotogeological mapping and potentiometric well-data. The Pirambóia and Botucatu formations represent the reservoir

¹ Curso de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia UFPR (michael@geologia.ufpr.br)

² Laboratório de Análise de Bacia e Petrofísica, Departamento de Geologia UFPR

³ Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas (LPH) – Depto. Geologia UFPR

⁴ Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada (LPGA) – Depto. de Geologia UFPR

⁵ Bolsista PIBIC – CNPq

Centro Politécnico – Jardim das Américas: Caixa Postal 19011 CEP: 81531-990 Curitiba – PR (Brasil)

systems of the Guarani Aquifer System (SAG) on the Paraná and Chaco-Paraná basins, which constitute one of the most important groundwater reservoirs of the world. The Ponta Grossa Arch is characterized by a high concentration of faults and dolerite dykes striking N40-50W, which are associated with topographic and structural highs. Structural analysis of the structures impressed on these stratigraphic units was used to determine which faults are barriers or conduits to fluid. In the study area, limited by the coordinates 23° 30' - 24° 30' S and 50° 30' - 51° 30' W (Middle-North of Paraná State), it was identified a potential recharge areas conditioned by topography, dip of strata and N40-50W fault zones. The presence of these structures promotes an anomalous inflexion of potentiometric surface, controlled by Rio Pereira and Tamarana fault zones.

Palavras-chave: Aquífero Guarani, Arco de Ponta Grossa, Geologia Estrutural

INTRODUÇÃO

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) ou aquífero gigante do Mercosul^[1] engloba as rochas arenosas das formações Pirambóia e Botucatu, depositadas em ambiente flúvio-eólico e eólico respectivamente. A Formação Botucatu é sotoposta pelas rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral, que em conjunto com as unidades arenosas compõem o Grupo São Bento, Mesozóico da Bacia Intracratônica do Paraná. O SAG ocorre em 840.800 km² da porção centro-sul do território brasileiro, estendendo-se ainda para os países do Mercosul, onde 225.500 km² estão na Argentina, 71.700 km² (Bacia Chaco-Paraná) no Paraguai e 58.500 km² no Uruguai. As variações no grau geotérmico nas diferentes partes da bacia promovem a ocorrência de águas termais, com temperaturas de até 68°C^[2].

A recarga do SAG se dá nos flancos altimetricamente mais elevados da Bacia do Paraná no território brasileiro, especialmente nas suas porções leste, sudeste e noroeste, enquanto a principal área de descarga situa-se na região que acompanha a calha dos cursos inferiores dos principais rios da Bacia do Prata, em especial o Rio Paraná^[1]. A maior parte das águas do SAG no Estado do Paraná, em poços próximos da faixa de afloramentos, possuem características físico-químicas das águas dos basaltos da Formação Serra Geral^[3], o que pode indicar que estas rochas permitem a passagem de água através de fraturamentos desde a superfície até o SAG.

A área estudada neste trabalho situa-se no flanco sudeste da Bacia do Paraná, na porção onde o Arco de Ponta Grossa intersecta a faixa de afloramentos das rochas do SAG. Esta região faz parte de uma das áreas de recarga do aquífero, pois os arenitos afloram em cotas de até 1100 m, que diminuem gradativamente no sentido do depocentro da bacia. A presença dessa importante estrutura de caráter regional promove uma intensa segmentação e basculamento estrutural da faixa de

afloramentos por uma série de falhas e zonas de falhas de grande porte, que apresentam rejeitos que podem ultrapassar os 100 m. É certo que esta estruturação prolonga-se sob a cobertura basáltica, onde o estudo deste padrão estrutural e da tectônica relacionada na faixa aflorante pode muito contribuir na exploração racional e sustentada do SAG, onde a água subterrânea ocorre sob condições de confinamento em 70% da área das bacias do Paraná e Chaco-Paraná^[4].

Os resultados aqui apresentados foram obtidos pela integração de informações nas diferentes escalas disponíveis, incluindo imagens Landsat TM, Modelos Digitais de Terreno (MDTs), dados potenciométricos de poços, fotointerpretação em aerofotografias na escala 1:70.000, confecção de perfis geológicos e coleta de dados estruturais, morfoestruturais e estratigráficos em campo. Este conjunto de informações possibilitou a caracterização geométrica e cinemática da trama de feições tectônicas que compartimentam as rochas que compõem o SAG. As falhas nos arenitos em geral apresentam bandas de deformação silicificadas, que ao lado dos diques de diabásio promovem a existência de barreiras e condutos, cuja disposição geométrica influencia diretamente a circulação da água no SAG. Dependendo da intensidade da deformação e da disposição em relação aos esforços tectônicos, as falhas podem comportar-se como condutos de água que interligam os compartimentos.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo está localizada na região centro-norte do Estado do Paraná, logo ao sul da cidade de Londrina, sendo alcançada pelas rodovias asfaltadas BR-272, BR-376, PR-445 e PR-090. Esta área foi selecionada na região onde a faixa de afloramentos das formações Pirambóia e Botucatu é interceptada pelo feixe de estruturas tectônicas relacionadas ao arqueamento de Ponta Grossa, mais especificamente entre os alinhamentos Rio Alonzo e São Jerônimo – Curiúva^[5], que balizam a área a SW e NE respectivamente. O intervalo compreendido entre estes alinhamentos é o mais estruturado dentro das demais feições magnéticas e estruturais relacionadas ao Arco (alinhamentos de Guapiara e Rio Piquiri), pois compreende a zona de charneira ou nariz da referida estrutura (figura. 1).

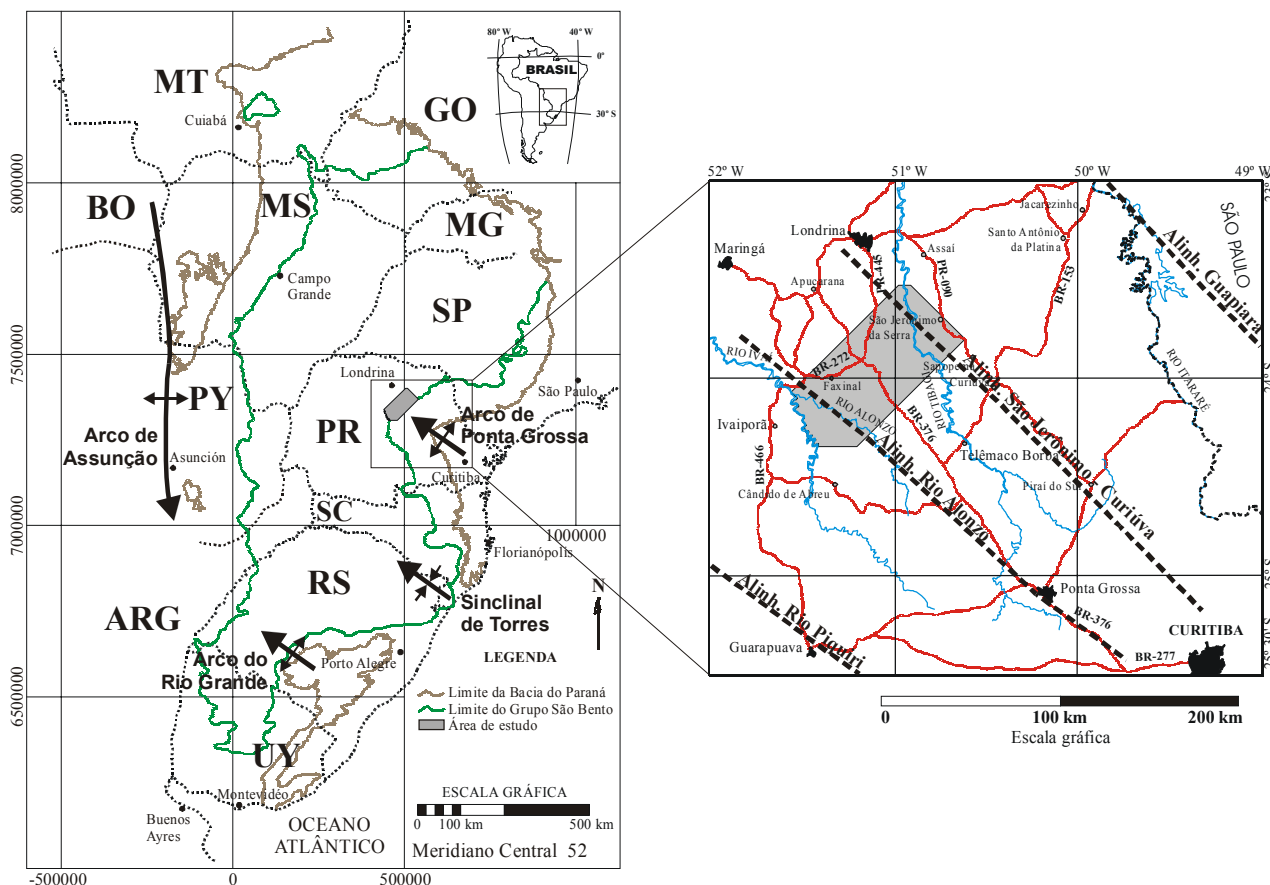


Figura 1: Localização da área de estudo; ainda, principais arqueamentos da borda leste da Bacia do Paraná e alinhamentos magnéticos relacionados ao Arco de Ponta Grossa.

Os afloramentos das formações Pirambóia e Botucatu são sempre associados a importantes escarpamentos e rupturas de relevo, tanto que limitam duas importantes unidades geomórficas do Estado do Paraná, que são o segundo e terceiro planaltos paranaenses^[6]. Tal condição promove a existência de bons afloramentos associados às escarpas, bem como realçam as estruturas tectônicas e os contatos geológicos observados em campo e mapeados através de fotointerpretação.

Estratigrafia

As unidades litoestratigráficas enfatizadas neste trabalho são as formações Pirambóia e Botucatu, que junto com a Formação Serra Geral compõem o Grupo São Bento, posicionado entre Eo-Triássico e o Eo-Cretáceo^[7]. Além destas unidades, observam-se também afloramentos da Formação Rio do Rasto, inclusa no Grupo Passa Dois, depositado no Permiano até o início do Triássico (figuras 2 e 3).

PERÍODO	GRUPO	FORMAÇÃO
Cretáceo	SÃO BENTO	SERRA GERAL
Jurássico		BOTUCATU
Triássico		PIRAMBÓIA
Permiano	PASSA DOIS	RIO DO RASTO
		TERESINA

Figura 2: Coluna estratigráfica parcial da Bacia do Paraná (mod. Milani et al. 1994)

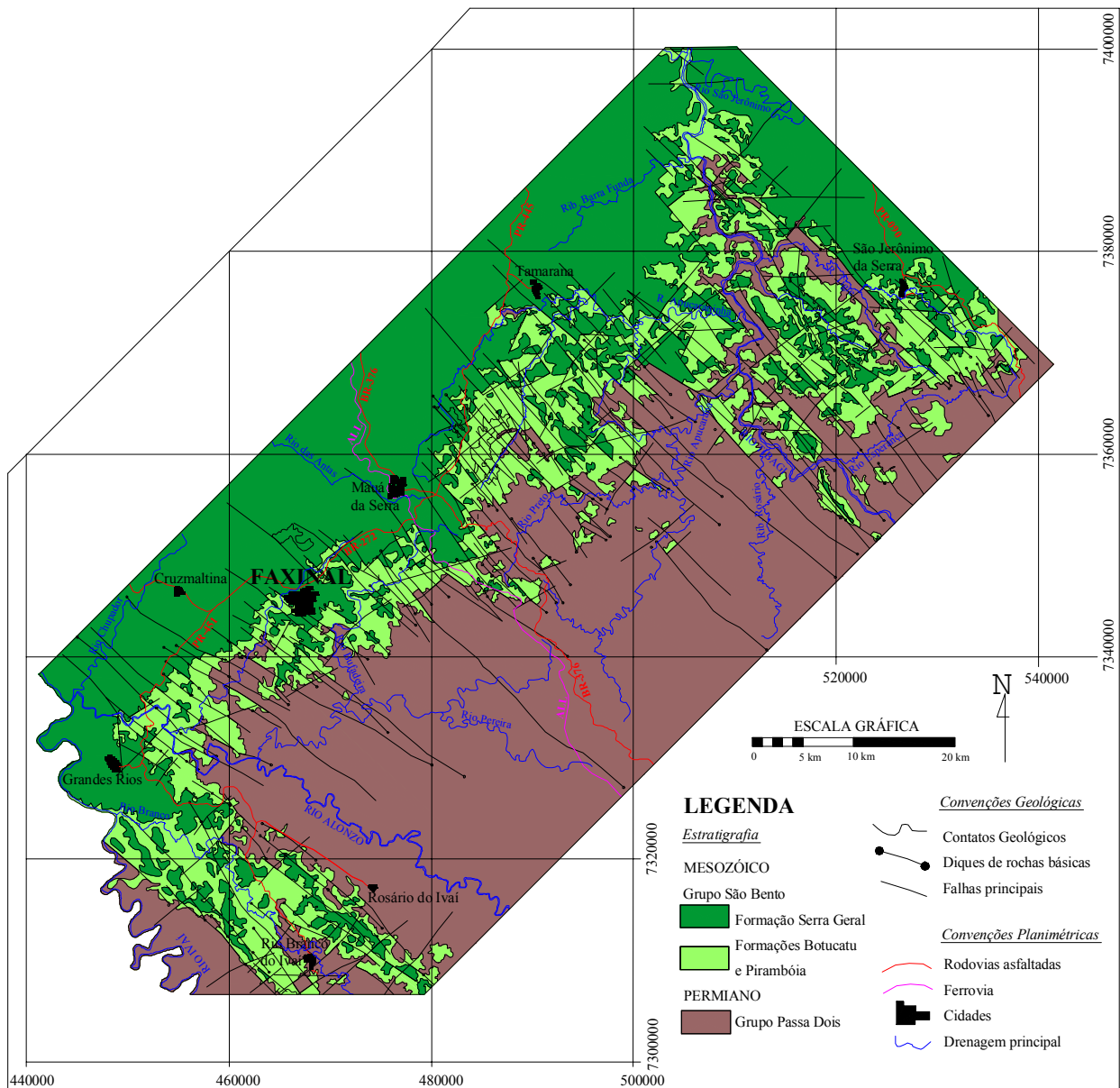


Figura 3: Mapa geológico simplificado onde estão representadas somente as falhas que limitam unidades geológicas

A Formação Pirambóia é representada por um pacote de arenitos com espessuras que variam entre 5 e 80 m na área de estudo, assentados por sutil discordância angular sobre os siltitos de tonalidades vermelhas com arenitos brancos intercalados da Formação Rio do Rasto. Os arenitos Pirambóia são brancos, friáveis, finos a muito finos, moderadamente maduros mineralógica e texturalmente, apresentando estratificações cruzadas de pequeno a médio porte interceptadas por superfícies de reativação relativamente contínuas.

A Formação Botucatu apresenta uma espessura aflorante constante da ordem de 70 m (na área de estudo), sendo dividida em Fácies Torrencial na base^[8], com 20 m de espessura em média, e Fácies Eólica (50 m de espessura) no topo, onde o contato com a Formação Pirambóia é caracterizado por discordância angular. O contato da Formação Botucatu com a Formação Serra Geral (sotoposta) é interdigitado, originando arenitos com até 20 m de espessura intercalados aos derrames (*intertrapp*). A Fácies Torrencial é representada por arenitos médios a conglomeráticos, vermelhos, quartzosos, com grãos arredondados a sub-arredondados, com estratificações cruzadas de pequeno porte. A Fácies Eólica apresenta arenitos vermelhos em geral finos, bem selecionados, com grãos arredondados e estratificações cruzadas acanaladas de médio a grande porte (*sets* de até 10 m).

A Formação Serra Geral apresenta derrames de basaltos e dacitos porfiríticos com até 50 m de espessura, resultantes de vulcanismo fissural. A esta unidade associam-se ainda uma série de corpos intrusivos, tais como *sills* e principalmente diques de diabásio encaixados em falhas, que condicionam importantes morfoestruturas alinhadas. Observa-se que os diques seccionam os derrames inferiores da Formação Serra Geral.

Arcabouço estrutural

As rochas do Grupo São Bento na área de estudo são afetadas por dois conjuntos de estruturas tectônicas, que são produtos de eventos deformacionais distintos. O primeiro é formado por um par conjugado de falhas onde a direção principal é representada por grandes falhas normais-sinistras de direção N40-50W, em sua maioria preenchidas por diques de diabásio, e a direção conjugada secundária apresenta falhas dextrais de direção N40-60E, bastante segmentadas pela direção principal. O segundo conjunto de estruturas é representado por fotolineamentos esparsos mas contínuos, onde ocorrem falhas de direção N-S (caráter normal) e E-W (caráter dextral) com pequenos rejeitos, que são mais recentes e segmentam as falhas do primeiro conjunto^[9]. A figura 4 mostra a relação entre os dois conjuntos.

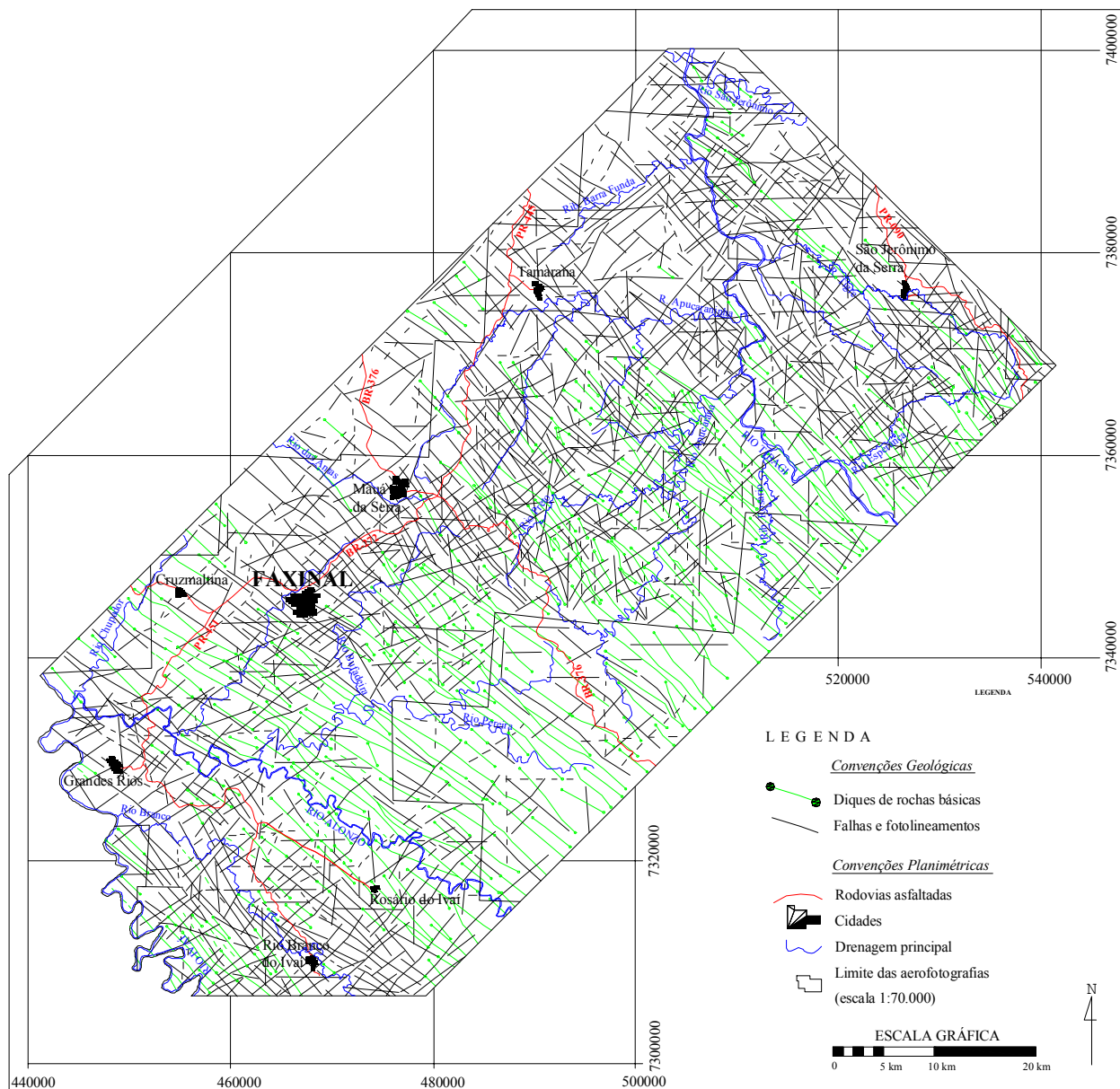


Figura 4: Mapa estrutural, com traçados das falhas e fotolineamentos

As falhas mais proeminentes e persistentes possuem direção N40-50W, que são diretamente relacionadas às falhas que compõem a zona de charneira do Arco de Ponta Grossa. Foi observado que estas estruturas se apresentam na forma de zonas de falhas (ZFs NW) onde a concentração de diques de diabásio e fotolineamentos é significativamente maior, o que permitiu a separação e denominação destas zonas (e.g.: ZF Rio do Tigre, ZF Apucarantina - figura 5). Em escala de mapa (figura 4), é possível visualizar que o padrão estrutural mais proeminente é controlado pelas falhas N40-50W e N40-60E, formando compartimentos de geometria aproximadamente romboédrica. Estes compartimentos estruturais podem localmente apresentarem-se conectados por fraturas N-S e E-W mais recentes, que pertencem ao segundo conjunto de estruturas.

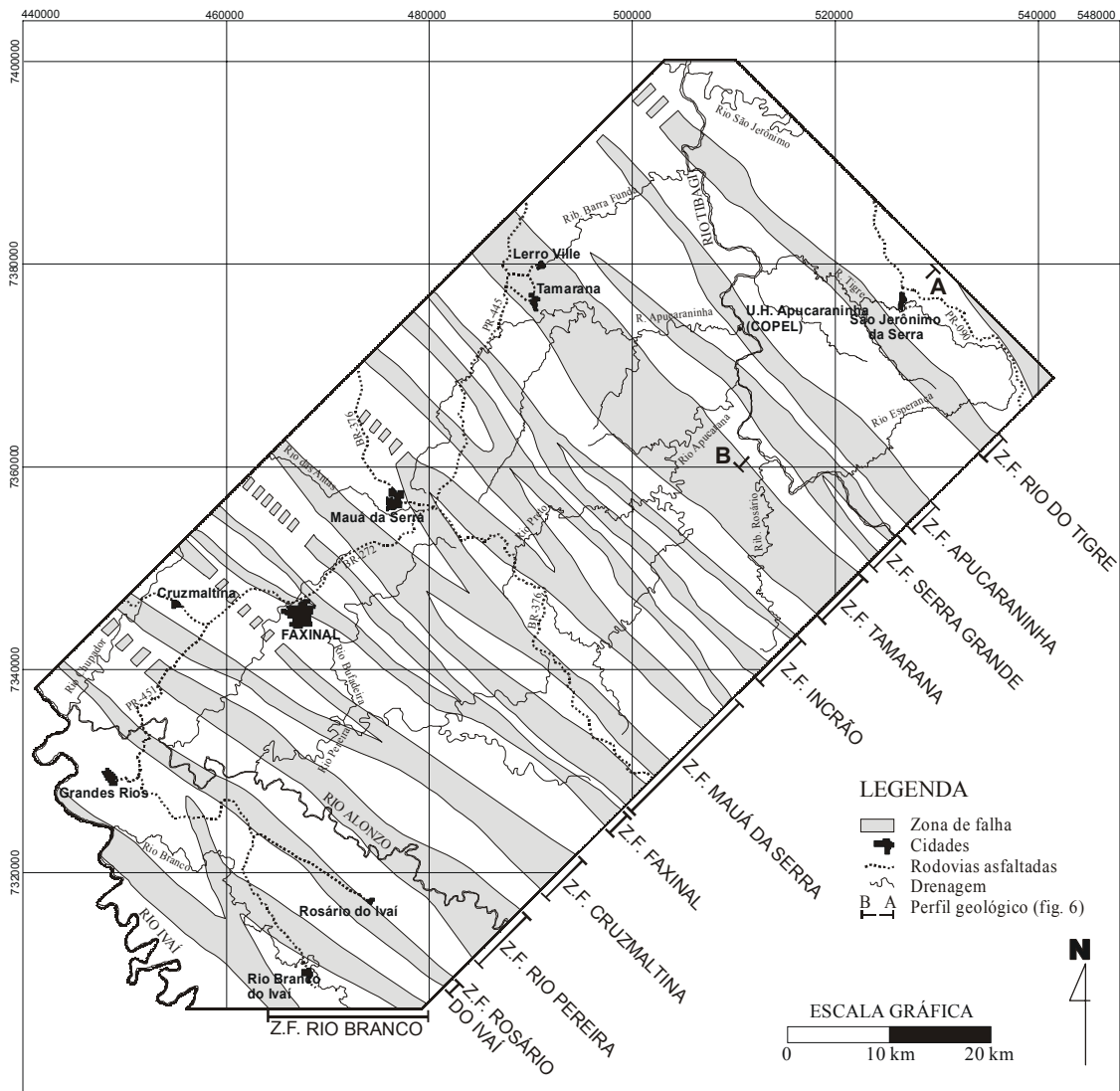


Figura 5: Zonas de falhas NW relacionadas ao Arco de Ponta Grossa

As ZFs NW influenciam nos mergulhos regionais das camadas, que tendem a ser divergentes ou convergentes nas bordas destas estruturas (figura 6). Estas zonas são balizadas por grandes falhas preenchidas por diques de diabásio, onde a ZF Rio do Tigre é um bom exemplo desta característica. Ainda na figura 6 é possível observar que as falhas possuem mergulhos subverticais e que não há uma relação clara entre os mergulhos das falhas menores e as ZFs. Os rejeitos são muito variáveis, atingindo a ordem de centenas de metros, tal como uma falha normal-sinistral preenchida por dique de diabásio que limita a ZF Tamarana a leste, que coloca as formações Serra Geral e Rio do Rasto em contato, indicando um rejeito vertical mínimo de 130 m.

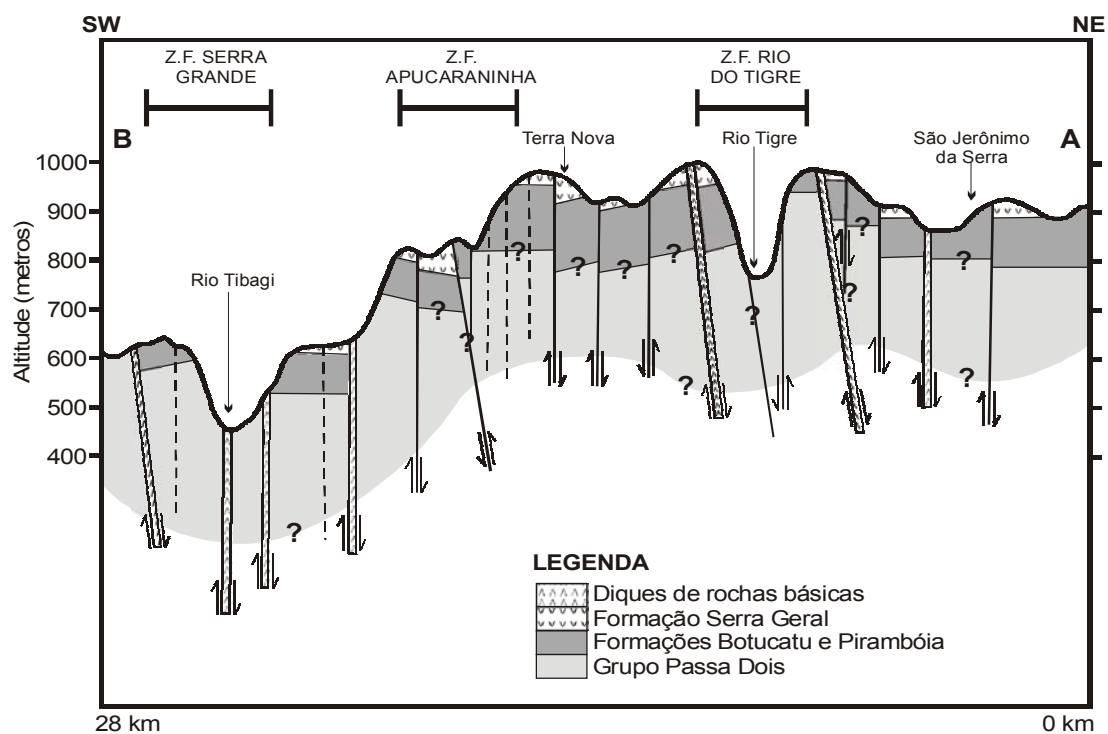


Figura 6: Perfil geológico (localização: vide figura 5)

Em escala de afloramento é comum a ocorrência de falhas com bandas de deformação nos arenitos, com larguras que variam de poucos milímetros a mais de um metro. As bandas são consequência do processo de cisalhamento em arenitos porosos, onde a progressão de deformação é acomodada por colapso da porosidade, fraturamento (escala de grão), redução da granulometria por cominuição e fluxo cataclástico^[10], cujos processos e registros podem ser observados em lâmina delgada. Estes processos geram uma zona de cisalhamento, que se comporta inicialmente como conduto de fluídos durante a deformação. A circulação dos fluídos condiciona a posterior precipitação mineral dentro do plano de falha, tornando-a impermeável.

Entretanto, apenas as bandas de deformação com larguras na ordem de decímetros ou mais comportam-se como barreiras à circulação da água subterrânea (figuras 7a, 7b), enquanto que falhas com bandas de espessuras menores que 10 cm em geral não atuam como barreira efetiva ao fluxo, exceto quando apresentam zona de *gouge* como consequência de intensa deformação^[11]. A presença de falhas – barreiras propicia também a formação de condutos preferenciais de água nas paredes da mesma, tendo em vista condições de alta porosidade e permeabilidade da rocha não deformada, o que pode relacionar-se à presença de locais com maior potencial para exploração do SAG. As falhas com direções segundo N30-70W são as que possuem mais bandas de deformação associadas, provavelmente em função da maior extensão, continuidade e deformação presente nestas estruturas. Em relação às falhas N40-60E, não foram observadas em campo bandas de dimensões importantes,

mas supõem-se que as maiores falhas associadas desta direção possuam bandas suficientemente espessas para que se comportem como barreiras.

Da mesma forma que as bandas de deformação, diques de diabásio também devem representar barreiras ao fluxo, configurando um importante elemento na compartimentação estrutural do SAG, em função de sua numerosidade. A intrusão dos diques em muitos casos implicou na silicificação das rochas encaixantes, ou mesmo na formação de xenólitos de arenitos silicificados com bandas de deformação (figura 7c). Entretanto, diferentemente das bandas de deformação, os diques apresentam disjunções colunares perpendiculares às paredes, o que poderá afetar suas propriedades de barreira. A presença de fraturamentos tectônicos posteriores afetando diques e falhas com bandas de deformação (falhas E-W e N-S do segundo conjunto), podem criar locais ou mesmo zonas de fluxo através das bordas dos compartimentos limitados pelas falhas N40-50W e N40-60E.

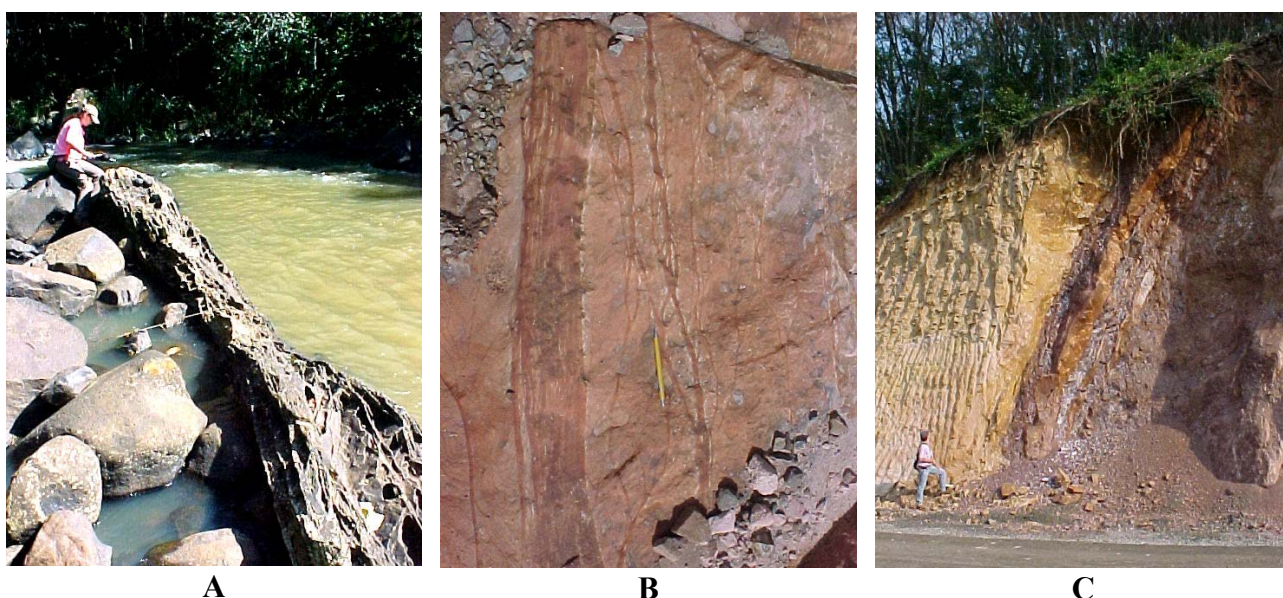


Figura 7: Fotografias de afloramentos onde foram descritas falhas de direção N40-50W nos arenitos, com bandas de deformação e diques de diabásio, que teriam papel de barreiras ao fluxo no SAG: A) Feixe de bandas de deformação no Rio Apucarantina (U.H. Apucarantina) – Formação Pirambóia, associadas a falha normal-sinistral; B) Bandas de deformação na Formação Botucatu, nas proximidades de São Jerônimo da Serra; C) Dique de diabásio em falha inversa-sinistral, que limita a Formação Pirambóia (esquerda) e a Fácies Torrencial da Formação Botucatu (direita) – BR-376 (Serra do Cadeado)

Além dos dois conjuntos de estruturas supracitadas, é nítida a presença de um feixe de alinhamentos de geometria anastomosada, de direção N60-70E, que segmenta a área de estudo aproximadamente ao meio, entre as cidades de Grandes Rios e São Jerônimo da Serra (figuras 4, 8 e 9). Esta faixa estruturada é bem caracterizada nos pelitos da Formação Rio do Rasto (Permiano), e pode ser relacionada à reativação sinistral de falhas do embasamento da Bacia do Paraná pela Orogenia Oclóyca, que representa a colagem do Bloco da Patagônia à Plataforma Sul-Americana^[12]. As demais estruturas nesta direção (predominante N40-60E) podem ser resultado da reativação

dessas estruturas, bem como falhas neoformadas relacionadas à deformação que gerou o primeiro conjunto de estruturas tectônicas.

COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO E DISPOSIÇÃO ESPACIAL DA FORMAÇÃO BOTUCATU

A compartimentação do relevo pelas ZFs NW é bastante proeminente (figura 8), com o eixo do Arco de Ponta Grossa sendo bem delineado na porção central da área como uma região topograficamente mais elevada, onde situa-se a Serra do Cadeado. A partir desta porção central as cotas altimétricas decaem rapidamente na direção SW até o Alinhamento Rio Alonzo, marcado por um extenso baixo topográfico planiforme limitado a SW por outra zona mais elevada, através da ZF Rosário do Ivaí. Na direção NE, o decaimento das cotas ocorre até a ZF Tamarana, onde o Rio Tibagi começa a ingressar no terceiro planalto. Após esta porção, as cotas novamente se elevam até o Alinhamento São Jerônimo – Curiúva. Outra característica observada no MDT é a relação direta entre as ZFs NW com baixos topográficos relativos, além de altos e baixos estruturais.

Ainda na figura 8, são observadas outras direções estruturais que compartimentam o relevo, entretanto de forma mais discreta em comparação às estruturas N40-50W. A mais importante destas estruturas são àquelas de direção N40-60E, cuja principal faixa atravessa o MDT em sua porção central (entre Grandes Rios e São Jerônimo da Serra) como um feixe com geometria anastomosada de vales e rupturas de relevo. As demais estruturas desta direção têm sua continuidade bastante afetada pelas ZFs NW (figura 4). Já as estruturas N-S e E-W promovem interferências localizadas no relevo da área de estudo, exceto uma grande zona de falhas onde a maior parte do vale do Rio Tibagi encontra-se encaixada.

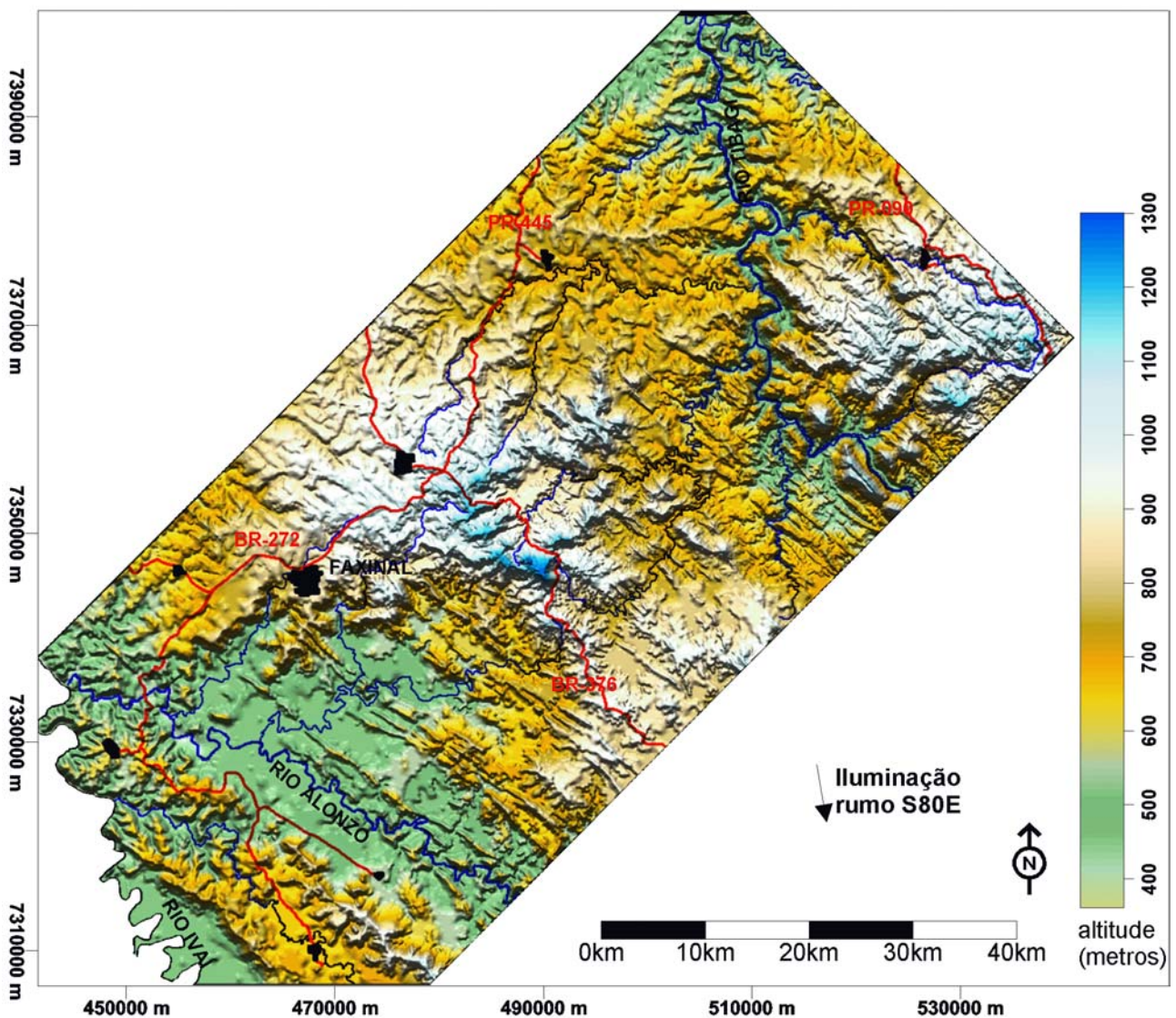


Figura 8: Modelo digital de terreno (MDT) da área de estudo

Da mesma forma que o relevo, a estruturação imposta principalmente pelas ZFs N40-50W reserva importante influência na Formação Botucatu no tocante à sua altimetria. Através da sobreposição do mapa geológico às curvas de nível, foi confeccionado um mapa de contorno do topo desta unidade (figura 9), onde podemos observar um mergulho tendendo para NW na área de estudo, em sentido do interior da bacia, característica esta também observada nas cotas altimétricas do relevo. O papel do mergulho das camadas arenosas no fluxo de água do SAG é no sentido de condicionar a direção principal do fluxo, onde a recarga se dá nas bordas mais elevadas da faixa aflorante, e o fluxo seguirá no sentido NW em direção ao centro da bacia.

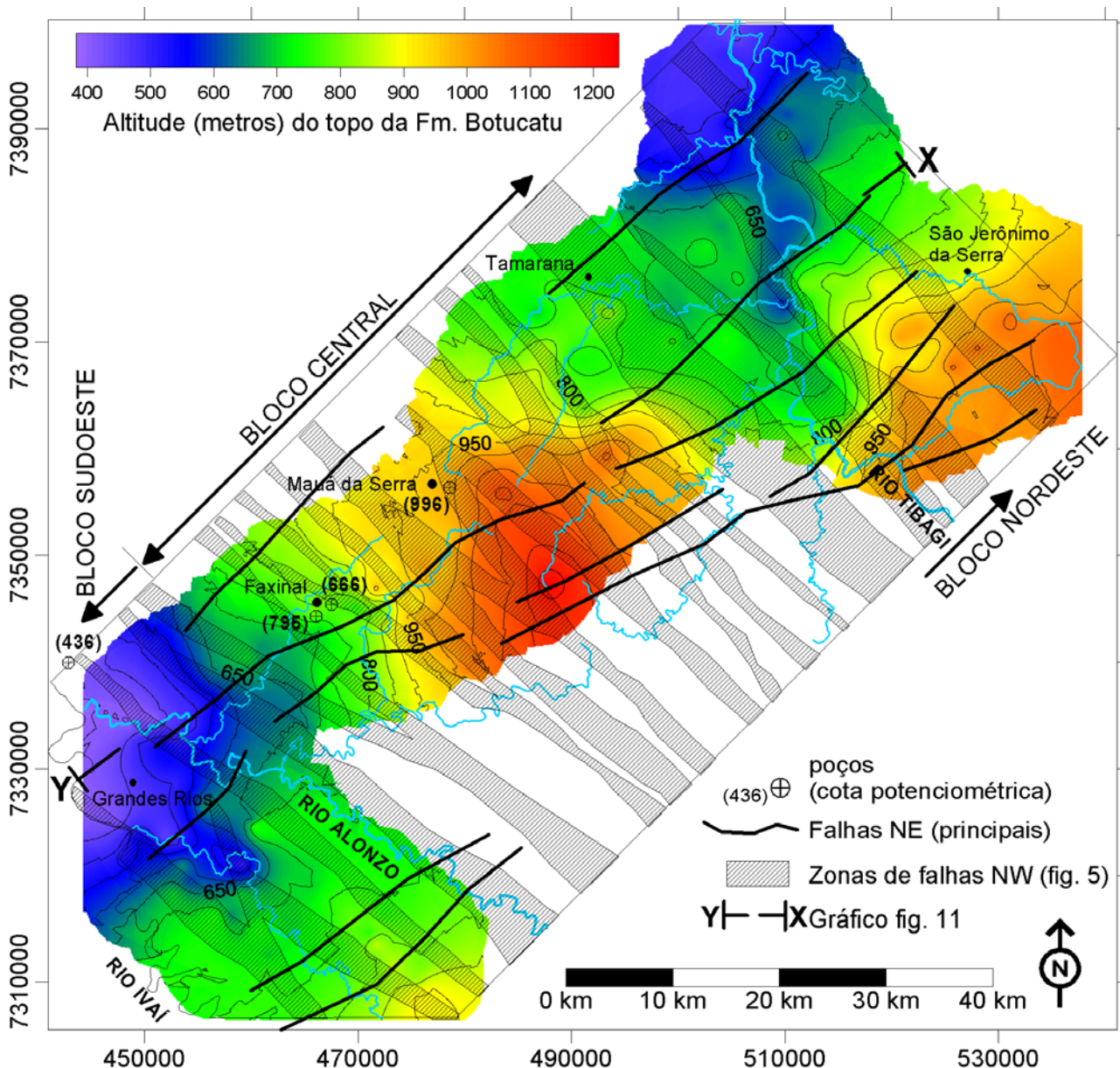


Figura 9: Mapa de contorno do topo da Formação Botucatu com sobreposição das ZFs NW da figura 5 e das falhas N40-60E mais contínuas nos fotolimeamentos da figura 4.

A feição mais marcante nos contornos é a presença de uma zona de recuo da faixa de afloramentos da Formação Botucatu, separadas das faixas adjacentes por duas linhas estruturais que coincidem com as ZFs Tamarana a norte e Rio Pereira a sul, criando três blocos: Sudoeste, Central e Nordeste (figura 9). As ZFs Tamarana e Rio Pereira correspondem aproximadamente aos alinhamentos magnéticos São Jerônimo – Curiúva e Rio Alonzo, respectivamente. Vale ressaltar que a maioria das ZFs NW promove variações bruscas (quebras) na declividade dos contornos da Formação Botucatu.

O Bloco Central coincide com a charneira do Arco de Ponta Grossa, onde o topo da Formação Botucatu aflora nas cotas mais elevadas da área, na Serra do Cadeado. Nas proximidades das bordas,

as cotas dos afloramentos decrescem rapidamente em direção às falhas limitantes dos blocos, provavelmente por influência destas, em gradientes de até 120 m por cada 10 km.

Nos blocos Sudoeste e Nordeste, observa-se uma notável redução das cotas do contato na porção central destes segundo uma linha orientada a aproximadamente N60E (entre Grandes Rios e São Jerônimo da Serra), que por sua vez limita a sudeste a faixa de afloramentos no Bloco Central. Esta linha coincide com uma zona onde a densidade das falhas e fotolineamentos orientados a N60E é maior, numa faixa que atravessa a área aproximadamente ao meio (figura 4). Na figura 9 nota-se que as falhas de direção N40-60E mais contínuas estão associadas a quebras nos gradientes de mergulho dos contornos, embora estas variações possuam menor amplitude que àquelas promovidas pelas ZFs NW.

Tanto no Bloco Sudoeste quanto no Nordeste, a redução das cotas é constante em sentido NW, enquanto que no Bloco Central os mergulhos decrescem de forma aproximadamente centrífuga a partir da porção mais elevada (Serra do Cadeado), sendo que a declividade é mais suave para oeste.

POTENCIOMETRIA

Os dados potenciométricos foram obtidos através dos poços estratigráficos perfurados pela Petrobrás^[1] na Bacia do Paraná e do cadastro de poços para água subterrânea do Estado do Paraná, cedido pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Estas informações possibilitaram a confecção de mapa de contornos da superfície potenciométrica do SAG no Paraná e adjacências (figura 10). A estes mapas foram superpostos os Alinhamentos São Jerônimo – Curiúva e Rio Alonzo, com o objetivo de mostrar como estas estruturas influenciam regionalmente a potenciométrica do SAG.

A superfície potenciométrica exhibe cotas menores em direção à calha da Bacia (sentido W e NW), sendo que na área de estudo este declínio tende no sentido NW, em correspondência ao observado para o relevo (figura 8) e nos contornos do topo da Formação Botucatu (figura 9). Pode-se notar também que na posição dos alinhamentos magnéticos Rio Alonzo e São Jerônimo – Curiúva, orientados a N45W, as isolinhas da potenciométrica sofrem inflexões que não acompanham as isolinhas do topo da Formação Botucatu (figura 10).

A maneira como os grandes alinhamentos estruturais influenciam localmente no SAG pode ser vista na figura 11. Esta figura foi confeccionada a partir de um perfil transversal à área de estudo (X-Y, figura 9), a partir da qual foram extraídas as curvas correspondentes às cotas potenciométricas e do topo da Formação Botucatu. Estas curvas mostram uma geometria semelhante entre si, onde os

declínios nos valores são divergentes na direção dos alinhamentos, a partir do eixo do Arco de Ponta Grossa.

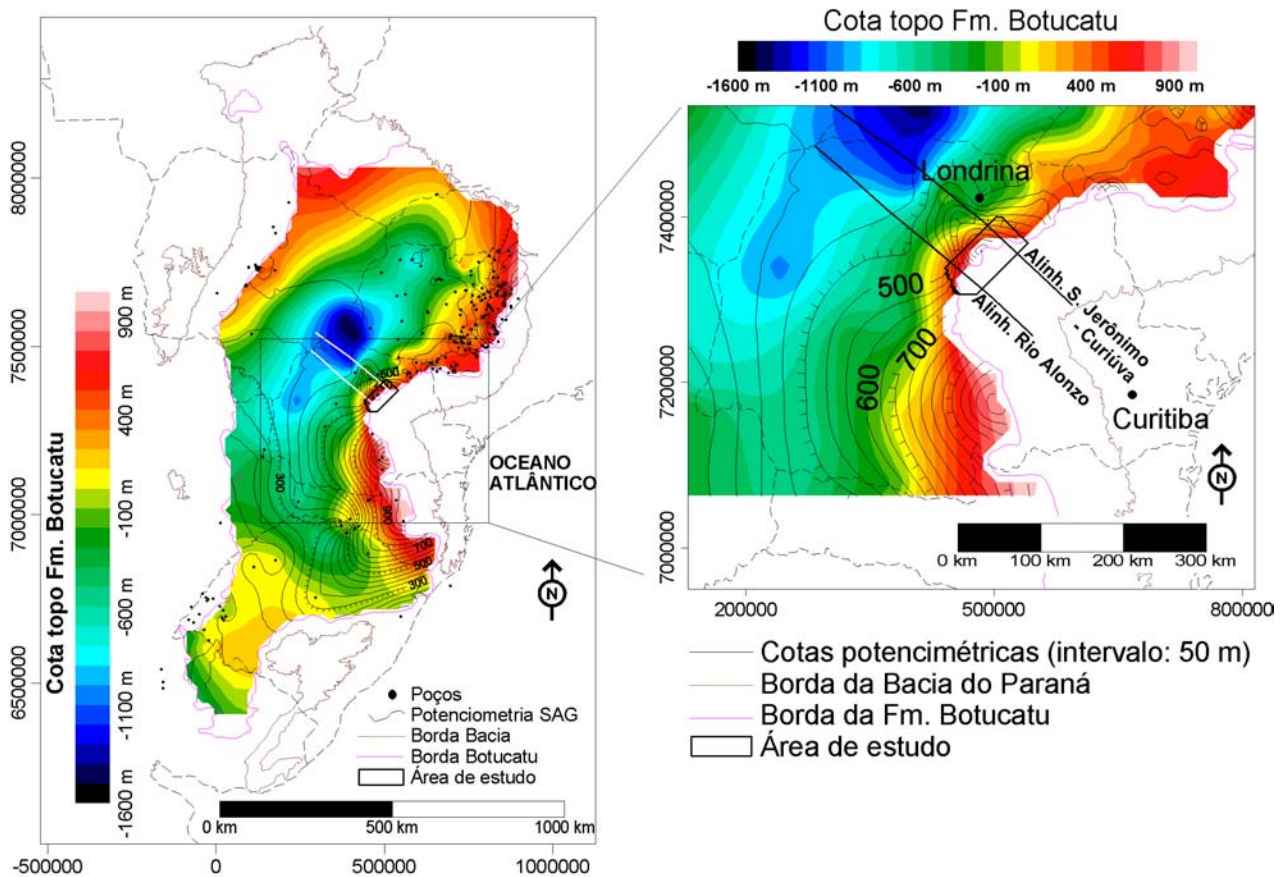


Figura 10: Superfície potenciométrica do SAG no Estado do Paraná, construído a partir de dados da Sanepar e Petrobrás

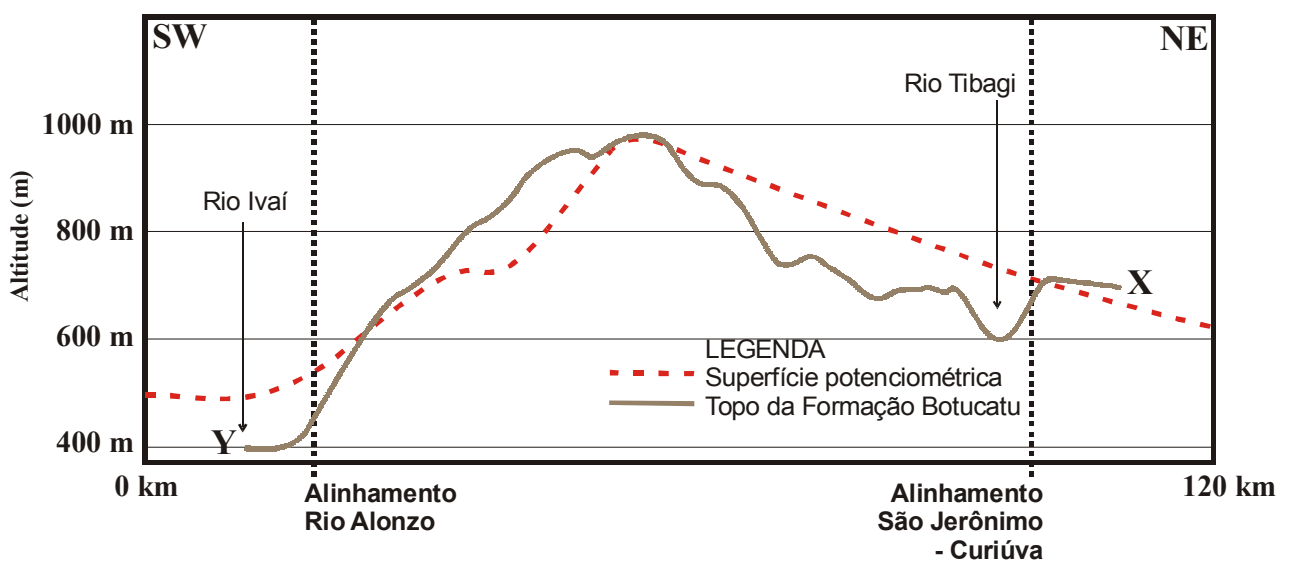


Figura 11: Gráficos mostrando a comparação entre as curvas altimétricas de potenciometria e dos contornos de topo da Formação Botucatu, num perfil transversal às estruturas NW (localização: vide figura 8)

Entretanto, a curva da superfície potenciométrica é assimétrica (declive para NE mais suave) e não acompanha a curva mais irregular da Formação Botucatu, onde nas porções próximas às grandes drenagens (rios Ivaí e Tibagi) o nível potenciométrico é mais elevado do que as cotas aflorantes da Formação Botucatu. Este fato, em conjunto com a geometria da faixa aflorante dos arenitos, podem indicar contribuições aos rios Ivaí e Tibagi em porções localizadas. Este aspecto pode ser verificado no mapa da figura 3, onde no setor leste deste há porções descontínuas de afloramentos dos arenitos (região logo a oeste de São Jerônimo da Serra), que implicariam na infiltração de água no flanco sudeste e a posterior descarga no flanco noroeste, no vale do Rio Tibagi.

A perfuração de alguns poços tubulares no SAG resultou em águas salobras, com altas concentrações de sólidos totais dissolvidos (principalmente os ânions cloreto, fluoreto e sulfato), que inclusive impossibilitam seu uso para consumo humano^[13]. A sedimentação das formações Pirambóia e Botucatu em clima desértico implica numa concentração anômala de sais nestas rochas, enquanto que os sulfatos podem ser provenientes da Formação Rio do Rasto, visto que foram observadas falhas onde as rochas do SAG são colocadas lado a lado, possibilitando a contaminação.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os dados obtidos principalmente através dos trabalhos de campo e de fotointerpretação mostram que há uma notável compartimentação estrutural das formações Pirambóia e Botucatu na área de estudo, balizada por falhas N40-50W relacionadas à charneira do Arco de Ponta Grossa, e estruturas N40-60E, além de falhas dispersas de direções E-W e N-S (figuras 3, 4 e 5).

Na área de estudo os alinhamentos Rio Alonzo e São Jerônimo – Curiúva promovem uma importante segmentação da faixa de afloramentos dos arenitos, separando blocos (Central, Nordeste e Sudoeste) onde os vetores de declividade e as cotas de afloramentos são diferenciadas. O mergulho das camadas obedece aproximadamente ao gradiente de relevo. No Bloco Central os mergulhos são centrífugos e verificam-se as maiores cotas de afloramentos, enquanto nos blocos adjacentes os mergulhos são paralelos e apresentam-se altimetricamente rebaixados em relação ao bloco central (figura 9).

Em uma escala mais regional (centro-norte do Paraná) é verificada uma discrepância entre as isolinhas da Formação Botucatu e a superfície potenciométrica, na região compreendida entre os alinhamentos Rio Alonzo e São Jerônimo – Curiúva (figura 10). A compartimentação conseqüente, balizada por falhas com bandas de deformação e diques de diabásio, implica em comportamentos distintos entre a superfície potenciométrica e o gradiente hidráulico regional. De forma geral, pode-se observar duas ordens de grandeza no controle hidrodinâmico – o primeiro, de caráter regional, é

controlado principalmente pelo gradiente da bacia – já o segundo, de caráter local, proporciona gradientes de fluxo localizados condicionados pelo arcabouço estrutural

Pode ser definida uma importante zona de recarga na região central da área de estudo (Bloco Central), entre as ZFs Rio Pereira (Alinhamento Rio Alonzo) e Tamarana (Alinhamento São Jerônimo – Curiúva), na região correspondente a da Serra do Cadeado, a partir da qual os gradientes hidráulico e de relevo apresentam um vetor direcionado para NW. A região a nordeste do Alinhamento São Jerônimo – Curiúva apresenta-se como zona de recarga onde o sentido geral de fluxo se dá para NNE, enquanto a região situada a sudoeste do Alinhamento Rio Alonzo apresenta gradiente potenciométrico entre W e NW. As cotas potenciométricas nestas porções adjacentes à Serra do Cadeado são significativamente inferiores, na ordem de até 200 m (figuras 10 e 11).

Nas áreas fora do Bloco Central, podem ser definidas áreas de recarga localizadas, de menor expressão, controladas pela área de exposição dos arenitos, mergulho das camadas e presença de falhas NW. Três destas zonas podem ser definidas nas regiões onde os rios Tibagi, Alonzo e Ivaí adentram na faixa de afloramento dos arenitos. As demais áreas de recarga são a nordeste da ZF Rio do Tigre (São Jerônimo da Serra); região do curso inferior do Rio Apucarantina e porções a norte (entre as ZFs Tamarana e Apucarantina); vale do Rio Branco, na porção sudoeste da área. Vale lembrar que a oeste de Faxinal a espessura de arenitos é maior, atingindo até 80 m na região de Rio Branco do Ivaí.

No caso específico do Bloco Nordeste, a conformação dos contatos geológicos em relação ao mergulho das camadas mostra uma possível zona de descarga localizada na região onde o Rio do Tigre deságua no Rio Tibagi, a oeste de São Jerônimo da Serra (figuras 3 e 4). Esta zona de descarga deve então ceder água para o Rio Tibagi, fenômeno esperado para algumas áreas nas proximidades dos maiores rios (Alonzo e Ivaí), que são regiões rebaixadas onde a curva potenciométrica é mais elevada que o relevo (figura 11) e a distribuição das unidades geológicas é semelhante àquela observada nas proximidades de São Jerônimo.

Outro aspecto importante é que a anomalia da potenciométrica relacionada à charneira do Arco de Ponta Grossa não se propaga por grandes distâncias para o interior da Bacia do Paraná, o que pode indicar uma deformação progressivamente menor em direção ao depocentro. Assim, a faixa onde o SAG é significativamente afetado pelo Arco de Ponta Grossa, por pelo menos 100 km de comprimento na direção noroeste, envolve uma região densamente povoada onde situam-se importantes centros urbanos do norte do Estado do Paraná (*e.g.*: Londrina, Apucarana, Maringá).

A presença de poços onde a água do SAG é salobra indica um tempo de residência (não-circulação) importante, o que leva a uma contínua dissolução da rocha e por consequência a salinização da água. A hipótese mais provável é de que a compartimentação estrutural dada pelas

falhas N40-50W e N40-60E, preenchidas por diabásios ou com bandas de deformação, cria retículos fechados onde a água não tem possibilidade de circular.

AGRADECIMENTOS

Aos alunos de graduação em Geologia, disciplina de Mapeamento Sedimentar, pela cessão dos dados do mapeamento geológico na região de Faxinal (PR). Michael Strugale agradece à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado; Sidnei Pires Rostirolla agradece ao CNPq pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [¹] Araújo, L.M.; França, A.B.; Potter, P.E. 1995. Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas Hidrogeológicos das Formações Botucatu, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. UFPR/Petrobrás, 16 pp., 9 mapas.
- [²] Rosa Filho, E. F., Hindi, E. C., Giusti, D. A., Nadal, C. A., Xavier, J. M. 2001. Distribuição do Geotermalismo na Bacia Sedimentar do Paraná. *Revista Latino Americana de Hidrogeologia*.1: 67–74.
- [³] Rosa Filho E.F., Hindi E.C., Giusti D.A., Nadal C.A. 1998. Utilização das águas subterrâneas no abastecimento público das cidades paranaenses. *Boletim Paranaense de Geociências*. 46: 13-24
- [⁴] Rebouças A.C. 1999. Groudwater resources in South America. *Episodes*, 22 (3): 232-237
- [⁵] Ferreira F.J.F. 1982. Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa. Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 170p.
- [⁶] Maack R. 1981. *Geografia Física do Estado do Paraná*. 2a ed. Rio de Janeiro. José Olympio Ed. 450p.
- [⁷] Milani E. J., França A.B., Schneider R.L. 1994. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8-1:69-82
- [⁸] Soares P.C. 1975. Divisão Estratigráfica do Mesozóico no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*. 5(4):229-251
- [⁹] Strugale M., Rostirolla S.P., Mancini F., Portela Filho C.V. 2002. Compartimentação Estrutural das formações Pirambóia e Botucatu na região de São Jerônimo da Serra – Estado do Paraná (SUBMETIDO). *Revista Brasileira de Geociências*.
- [¹⁰] Aydin A., 1978 IN: Davis G.H., Bump A.P., García P.E., Ahlgren S.G. 1999. Conjugate Riedel deformation band shear zones. *Journal of Structural Geology*. 22: 169-190

- [¹¹] Antonellini M., Aydin A. 1995. Effect of Faulting on Fluid Flow in Porous Sandstones: Geometry and Spacial Distribution. AAPG Bulletin,79: 642-671.
- [¹²] Rostirolla S.P, Assine M.L., Fernandes L.A., Artur P.C. 2000. Reativação de Paleolineamentos durante a Evolução da Bacia do Paraná – O Exemplo do Alto Estrutural de Quatiguá. Revista Brasileira de Geociências, 30(4): 639-648.
- [¹³] Rosa Filho E.F., Salamuni R., Bittencourt A.V.L. 1987. Contribuição ao estudos das águas subterrâneas nos Basaltos do Estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências. 37: 22-52.