

HETEROGENEIDADES FACIOLÓGICAS E HIDROESTRATIGRAFIA DO AQUIFERO GUARANI NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL: ABORDAGEM METODOLÓGICA E RESULTADOS PRELIMINARES*

Arnoldo Giardin^{1,2} & Ubiratan Faccini¹

Resumo - Uma porção do Sistema Aquífero Guarani foi investigada seguindo-se metodologia adaptada de Huggenberger & Aigner (1999). Foram individualizados dois aquíferos, denominados Passo das Tropas (principal aquífero) e Caturrita, litologicamente correspondentes, respectivamente, ao Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria e as fácies arenosas da Formação Caturrita. Dois aquícludes, um correspondente ao Membro Alemoa da Formação Santa Maria e outro formado pelos pelitos da Formação Caturrita, confinam os aquíferos, o primeiro situando-se entre ambos e o segundo acima do aquífero Caturrita. As litofácies fluviais da Formação Sanga do Cabral foram classificadas como aquítardo, com base na análise de seus afloramentos. A direção geral de fluxo da água subterrânea na porção investigada do aquífero Passo das Tropas é aproximadamente coincidente com a das suas paleocorrentes. Este aquífero foi compartimentado em blocos por um sistema de falhamento NW que provocou rejeitos maiores que sua espessura. Foi identificada uma depressão piezométrica na área do Campus da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM. O papel do fraturamento na recarga direta do aquífero principal não está definitivamente estabelecido, mas é uma possibilidade sugerida pelo comportamento hidráulico dos poços a SE da área de estudo.

Abstract - A portion of the Guarani Aquifer System was investigated following a methodology adapted from Huggenberger & Aigner (1999). Two aquifers were identified, named Passo das Tropas (main aquifer) and Caturrita, lithologically corresponding, respectively to the Passo das Tropas Member of the Santa Maria Formation and to the sandy facies of the Caturrita Formation. Two aquicludes, one corresponding to the Alemoa Member of the Santa Maria Formation and other formed by the mudstones of the Caturrita Formation confine the aquifers, the first between them and the second over the Caturrita aquifer. The fluvial facies of the Sanga do Cabral Formation were classified as an aquitard, as indicated by their outcrop analysis. The general ground water flow direction in the investigated portion of the Passo das Tropas Aquifer is about the same of their paleocurrent. This aquifer was segmented in blocks by a NW fracture system that imposed vertical movement greater than its thickness. A piezometric depression was identified in the area of Santa

*Trabalho desenvolvido com apoio PADCT/FINEP Proc. 88.98.0750.00 e FAPERGS Proc. 01506213

¹ Programa de Pós-Graduação em Geologia – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

² Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN; Secretaria de Obras Públicas e Saneamento – SOPS

Maria Federal University Campus. The role of the fractures in the direct recharge of the main aquifer was not definitively established but it is suggested by the well's hydraulic in the SE portion of the study area.

Palavras-chave: Aquífero Guarani, aquíferos porosos, estratigrafia, hidroestratigrafia

INTRODUÇÃO

O Sistema Aquífero Guarani (SAG), com extensão aproximada de 1,2 milhões de km², compreende diversas unidades sedimentares das bacias do Paraná e Chaco-Paraná, recobrendo extensas áreas no Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina. Sua grande extensão e diversidade litológica, já delimitadas na escala 1:2.500.000 (Campos, 1999^[1]), pressupõe o contínuo detalhamento de áreas específicas, no sentido de identificar as heterogeneidades faciológicas e hidroestratigráficas que caracterizam seus diferentes compartimentos, em escalas maiores, adequadas à exploração e manejo dos recursos hídricos nele contidos. O presente trabalho pretende contribuir neste sentido. Os resultados preliminares aqui apresentados decorrem da aplicação de uma abordagem metodológica que integra informações sedimentológicas geofísicas e estratigráficas a parâmetros hidrológicos e hidroestratigráficos, em área situada na região central do Estado do Rio Grande do Sul-Brasil (Bacia do Rio Jacuí), nas proximidades da cidade de Santa Maria. Este trabalho tem como objetivo principal testar a aplicabilidade desta metodologia na identificação dos controles geológicos sobre o comportamento hidrogeológico do SAG na área de estudo, bem como as potencialidades destes procedimentos na análise de aquíferos porosos, em áreas geologicamente similares.

CONTEXTO GEOLÓGICO

As unidades litoestratigráficas estudadas neste trabalho pertencem ao Grupo Rosário do Sul, de ocorrência restrita à borda sudeste da Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul (Figura 1; CPRM, 1994^[2]). A organização estratigráfica regional e diversidade faciológica deste intervalo são ilustradas na Figura 2. Constituído por depósitos continentais Permo-Triássicos, o Grupo Rosário do Sul é composto, litoestratigraficamente, pelas Formações Sanga do Cabral, Santa Maria e Caturrita. A Formação Sanga do Cabral faz parte da seqüência deposicional Neopermiana-Eotriássica e é caracterizada por uma associação de fácies eólicas na base, recoberta por depósitos aluviais de planície entrelaçada, no topo. A seqüência Meso-Neotriássica compreende as formações Santa Maria e Caturrita (Faccini, 2000^[3]; Faccini *et al.* 2000^[4]). A primeira, delimitada na base por superfície erosional sobre a qual se depositam os arenitos de canais fluviais de baixa a moderada sinuosidade do Membro Passo das Tropas e, no topo, litofácies pelíticas de planícies de inundação,

ricos em vertebrados fósseis e horizontes de paleossolos do Membro Alemoa. A Formação Caturrita, topo da seqüência Triássica, é constituída principalmente por arenitos depositados por sistemas fluviais de canais isolados a meandranes, associados a *crevasse splays* e deltas lacustres de pequenas dimensões, com litofácies pelíticas associadas e tendência de predomínio de arenitos para o topo da unidade. A deposição da bacia é encerrada com os depósitos eólicos da Formação Botucatu que são recobertos pelos vulcanitos da Formação Serra Geral. Estas unidades, pertencentes ao Grupo São Bento, não são aqui analisadas.

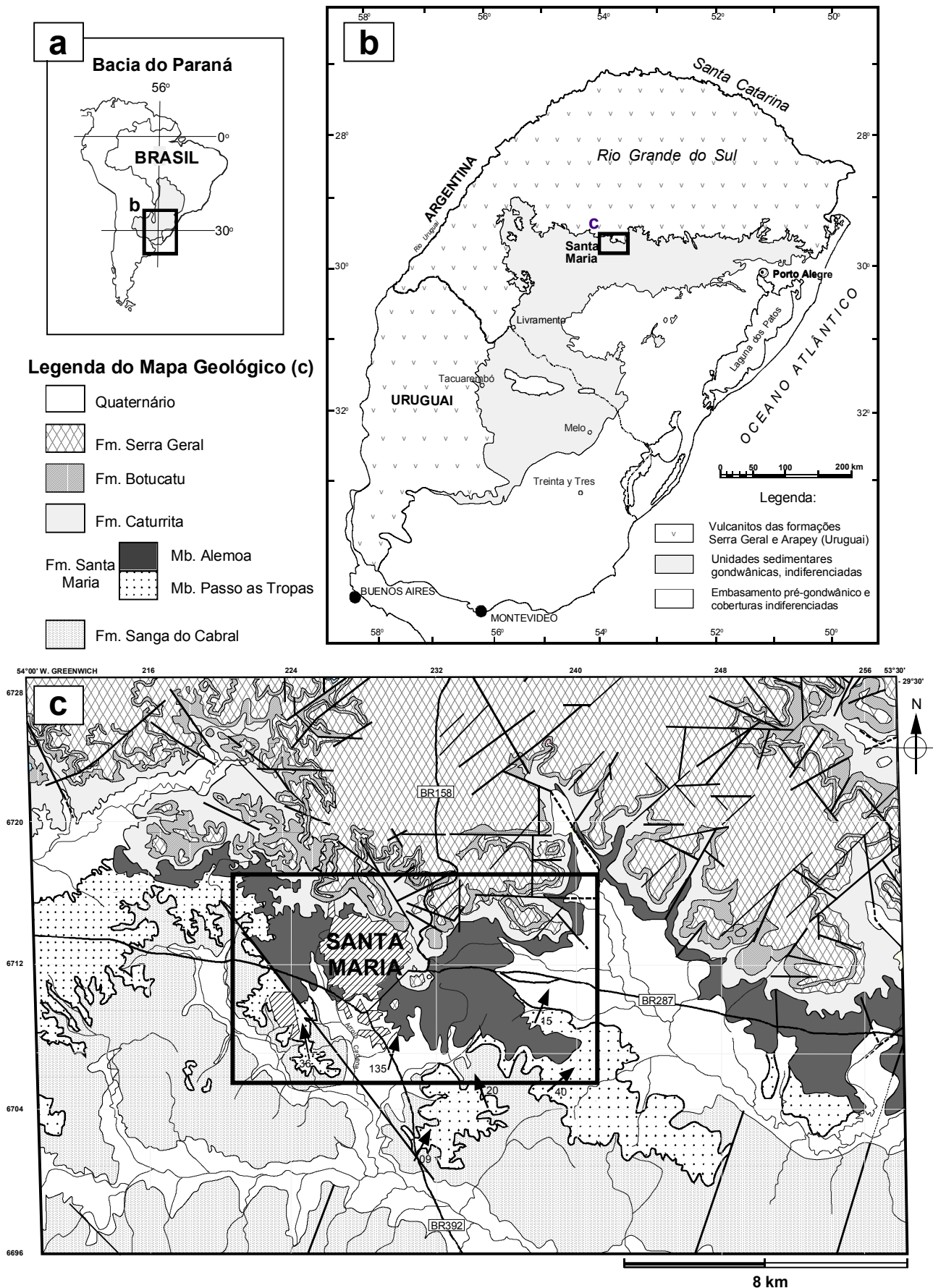


Figura 1: Contexto regional da área de estudo (a, b) e mapa geológico simplificado da região central do Rio Grande do Sul (c), enfatizando as unidades sedimentares de interesse nas proximidades Cidade de Santa Maria (CPRM, 1994^[2], modificado). As setas indicam as direções médias de paleotransporte do sistema fluvial Passo das Tropas (Triássico Médio), principal aquífero da região (Faccini, 2000^[3]). O retângulo demarca a área investigada.

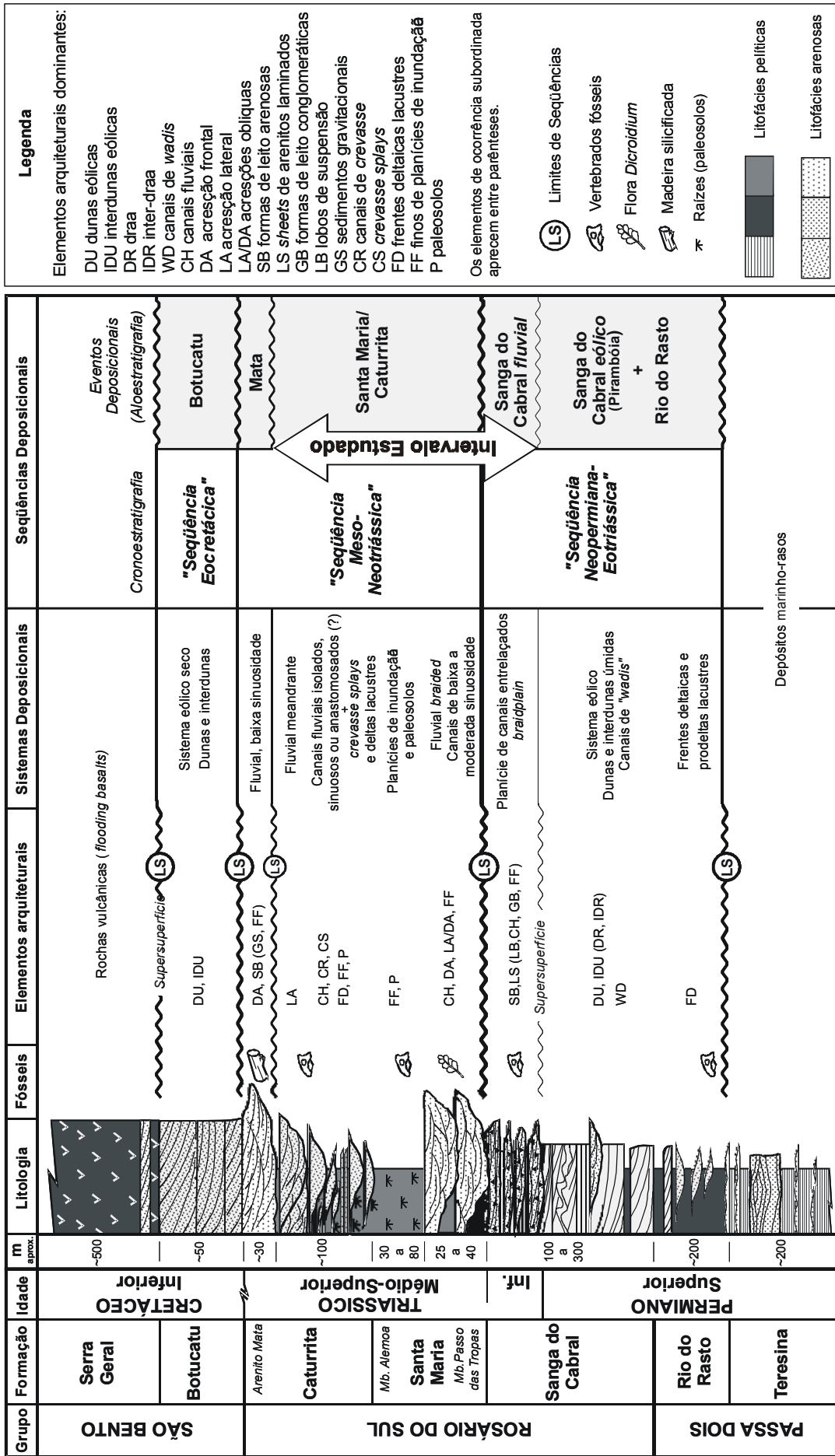


Figura 2: Coluna estratigráfica esquemática e principais heterogeneidades fácio-lógicas do Aquífero Guarani na região central do Rio Grande do Sul indicando o intervalo litoestratigráfico estudado (Formações Sanga do Cabral, Santa Maria e Caturrita, Grupo Rosário do Sul, Permo-Triássico da Bacia do Paraná) e as seqüências deposicionais correspondentes (modificado de Faccini, 2000).

ABORDAGEM METODOLÓGICA

A base metodológica deste trabalho foi adaptada de Huggenberger & Aigner (1999^[5]), que parte de uma abordagem regional, em escala de bacia, com o progressivo detalhamento necessário para a formulação de simulações numéricas do comportamento dos aquíferos individuais identificados (Figura 3).

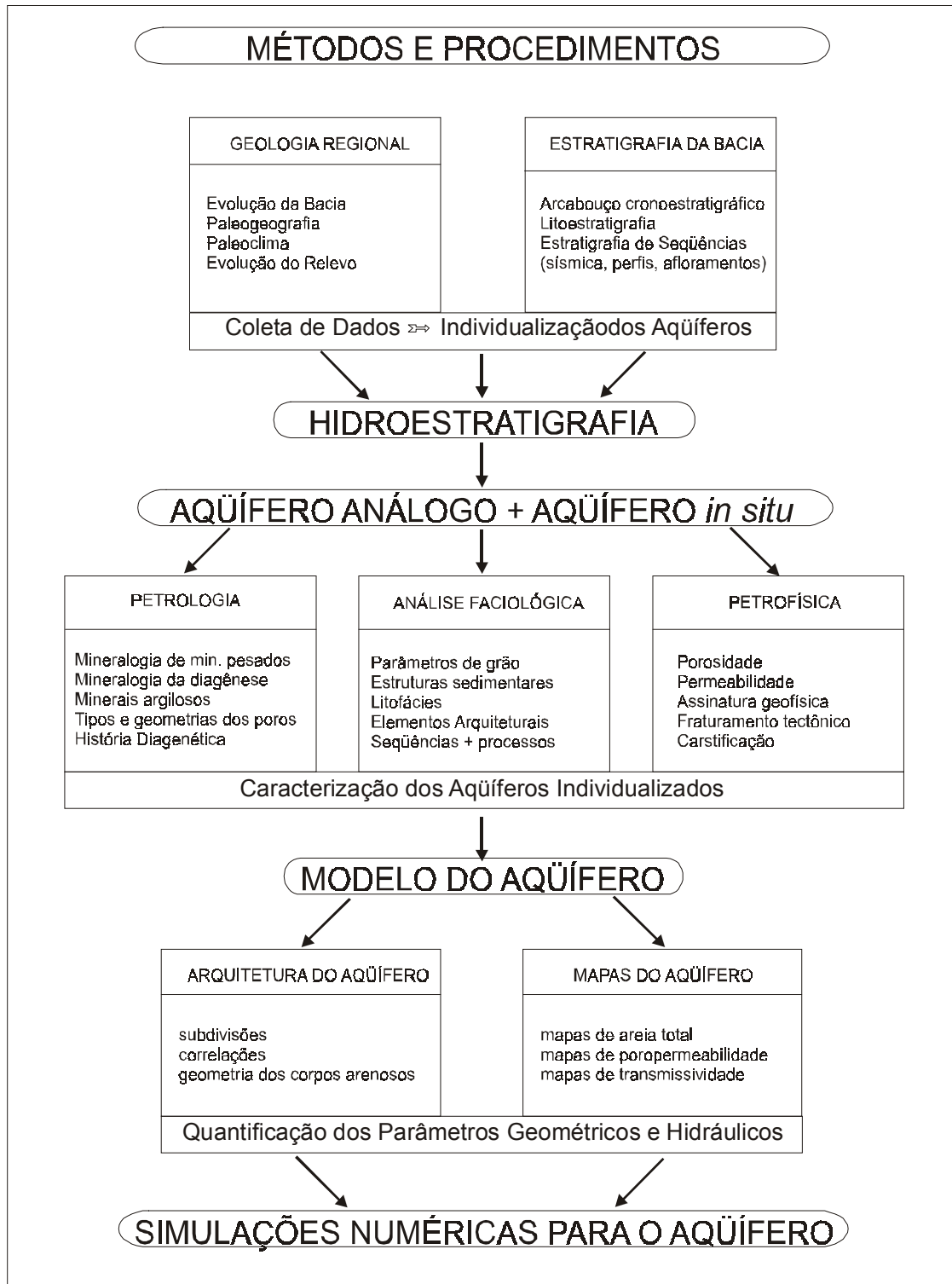


Figura 3: Fluxograma da abordagem metodológica adotada neste trabalho, adaptada de Huggenberger & Aigner, 1999^[5].

Um reconhecimento de campo destinado ao entendimento do arcabouço litoestratigráfico e das seqüências deposicionais da região em estudo constituiu-se na primeira etapa do trabalho, ao qual somou-se a coleta de dados de poços destinados à captação de água subterrânea existentes na área. Foram localizados 44 poços com informação de bom grau de confiabilidade, distribuídos em duas áreas, denominadas **Cidade** e **Camobi**. A primeira incluindo 19 poços situados na área urbana da Cidade de Santa Maria e a segunda, compreendendo o Campus da UFSM e seus arredores, com 25 poços analisados. Como o fluxograma (Figura 3) deixa claro, a investigação abordou a área como se ainda não tivesse sido alvo de qualquer investigação hidrogeológica.

As informações foram processadas e organizadas relacionalmente em um banco de dados. Mapas em escala 1:100.000 e 1:50.000 e seções geológicas em escalas 1:25.000 e 1:20.000 foram construídos, a partir dos perfis litológicos fornecidos pelos perfuradores, que foram igualmente digitalizados.

Poços selecionados foram submetidos a perfilagens Gama, com o objetivo de aferir as espessuras dos pacotes arenosos identificados durante as perfurações e suas respectivas assinaturas geofísicas. Somados aos poços que já contavam com perfilagem no momento de sua perfuração (04, executados pela CPRM), um total de 16 poços foram investigados geofisicamente.

A interpretação da informação litológica dos perfis construtivos dos poços, combinada com a informação geofísica e o controle estratigráfico de campo, permitiu a compreensão dos arcabouços crono e litoestratigráficos.

Através de fotointerpretação e análise do modelo numérico do terreno, executado a partir da digitalização de cartas topográficas em escala 1:25.000, foram identificados os principais condicionantes estruturais da área.

Seções estratigráficas de subsuperfície foram construídas, sem que as informações referentes às entradas de água existentes fossem consideradas, procedimento que visou garantir a isenção da interpretação hidroestratigráfica posterior.

A estratigrafia resultante, combinada com um detalhamento da fotogeologia, forneceu o arcabouço tectono-estratigráfico final utilizado.

As Entradas de Água (EAs) foram posteriormente relacionadas à litoestratigrafia, visando a definição hidroestratigráfica da área. A delimitação dos aquíferos, aquícludes e aquícardo existentes no pacote de rochas investigado viabilizou a etapa posterior, de caracterização dos aquíferos individualizados. A piezometria dos poços cadastrados (Figura 4) foi inicialmente estabelecida, assumindo todos os poços como extraíndo água de um único aquífero e não levando em consideração as heterogeneidades faciológicas ou tectônicas. Esta primeira abordagem potenciométrica foi feita com o objetivo de compará-la posteriormente com as potenciométricas

estabelecidas levando-se em consideração a hidroestratigrafia e as descontinuidades produzidas pela tectônica.

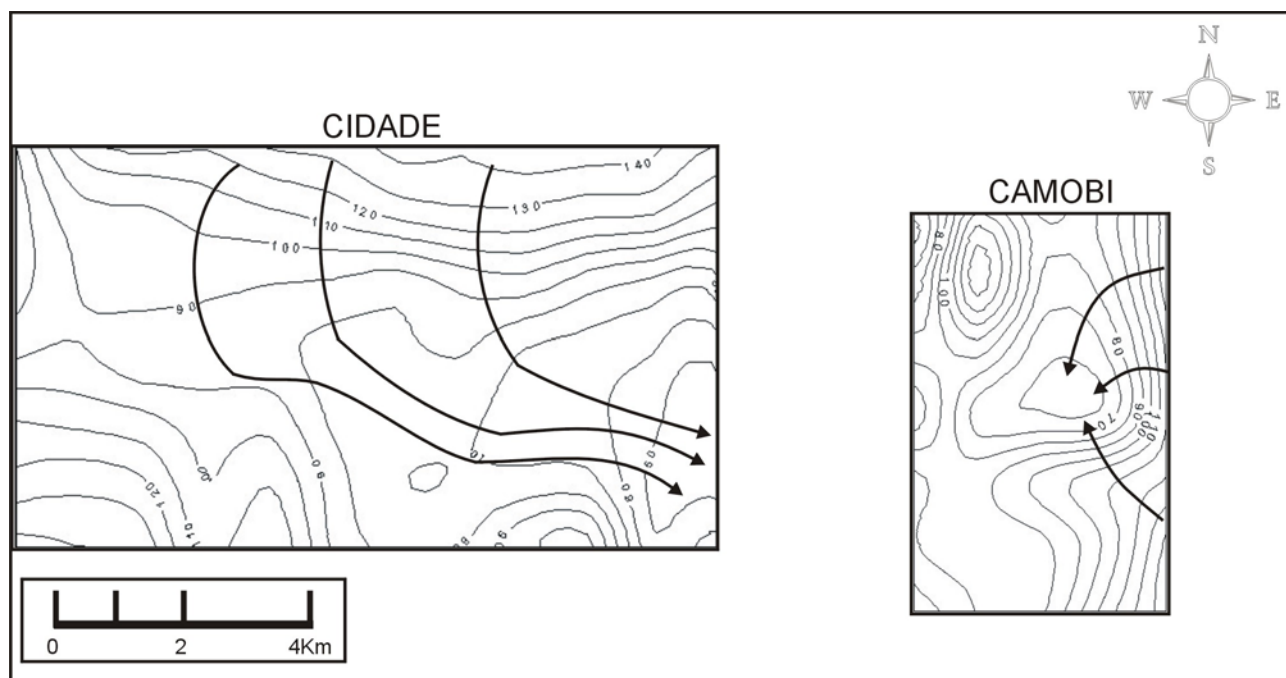


Figura 4: Potenciometria e direções gerais de fluxo das áreas Cidade e Camobi, estabelecidas sem considerar a hidroestratigrafia ou as heterogeneidades faciológicas e tectônicas.

Dois blocos compartimentados tectonicamente por fraturamentos NW, tiveram a piezometria do aquífero Passo das Tropas estabelecida. O primeiro deles (**Cidade**), devido à distribuição dos dados disponíveis, não forneceu resultado confiável e o segundo (**Camobi**) permitiu o estabelecimento ao menos provisório de uma superfície piezométrica. Modelos conceituais para os aquíferos identificados foram então construídos, a partir da interpretação das informações coletadas.

A modelagem numérica destes reservatórios, etapa final prevista pela abordagem metodológica adotada, será executada quando volume suficiente de dados hidráulicos estiver tabulado, o que constitui um dos objetivos futuros da pesquisa em curso.

HIDROESTRATIGRAFIA E CONDICIONANTES GEOLÓGICOS

A investigação procedida individualizou dois aquíferos granulares denominados Passo das Tropas e Caturrita, o principal deles materializado nos dominantes litofácies arenosos do Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria e o segundo nos corpos arenosos isolados da Formação Caturrita. Estes mesmos aquíferos foram pioneiramente investigados por CPRM^[2].

Os arenitos Passo das Tropas têm como elementos arquiteturais característicos os canais fluviais, mas também depósitos de acreção frontal e oblíqua e finos de planícies de inundação. As implicações desta variabilidade arquitetural no fluxo da água subterrânea não foram ainda investigadas; mas é razoável supor que a condutividade hidráulica do Aquífero Passo das Tropas

variará em função dos diferentes elementos arquiteturais, acarretando refração das linhas de fluxo nas interfaces.

Os corpos arenosos da Formação Caturrita apresentam-se arquiteturalmente como canais fluviais ou como depósitos de acreção lateral imersos em depósitos que genericamente podemos descrever faciologicamente como pelíticos. Os corpos areníticos constituem-se em aquíferos, de extensão local, conforme determinado pela arquitetura destes corpos de rocha. O fácies pelítico da Formação Caturrita, recorrência do ambiente deposicional que formou os pelitos do Membro Alemoa, corresponde hidrogeologicamente a um aquíclode.

O comportamento hidrogeológico do Membro Alemoa da Formação Santa Maria é o de um aquíclode, imposto por suas litologias predominantemente pelíticas, arquiteturalmente descritas como finos de planícies de inundação e paleossolos.

As fácies fluviais da Formação Sanga do Cabral formam um aquítardo, comportamento hidráulico determinado por sua composição arenítica fina e rica em argilominerais na matriz. Os elementos arquiteturais predominantes neste conjunto de rochas são as formas de leito arenosas e os arenitos finamente laminados com pelitos intercalados.

O principal condicionante estrutural presente na área estudada é um sistema de fraturamento NW, cuja orientação predominante varia de 315° na área Cidade até 327° na área Camobi. Na Figura 5a podemos observar rejeitos verticais de 58,50m medidos entre os poços 02 e 41-B e de 40,00m medido entre os poços 07 e 14. A magnitude destes rejeitos é maior do que a espessura média do Membro Passo das Tropas na área de estudo: 29,47m (medidas em 30 poços). A compartimentação hidráulica imposta por esta tectônica é um dos condicionantes hidrogeológicos mais importantes da área.

Formando um padrão subortogonal com o sistema de fraturas NW já referido, um sistema orientado para NE, com azimute variável entre 052° na área Cidade até 058° na área Camobi forma o arcabouço tectônico da área. Este sistema; porém, não produziu rejeitos verticais significativos identificáveis nas 11 seções geológicas construídas (localização nas Figuras 6a e 6b). Da mesma forma, hidráulicamente não se detectou influência deste sistema de fraturas, pois a piezometria - considerada dentro de blocos limitados a NE e a SW pelo sistema de fraturamento NW - não é, aparentemente, afetada por ela, tanto na área Cidade quanto na área Camobi.

HIDROGEOLOGIA

Quando considerada a porção investigada do SAG como uma única unidade hidrogeológica contínua, a potenciometria estabelecida para o “aquífero” indica direção de fluxo com sentido SE na área Cidade e uma depressão potenciométrica no centro da área Camobi (Figura 4). Quando,

porém, a análise potenciométrica leva em consideração a hidroestratigrafia e a compartimentação produzida pela tectônica (Figura 5), o resultado se altera significativamente (Figura 6).

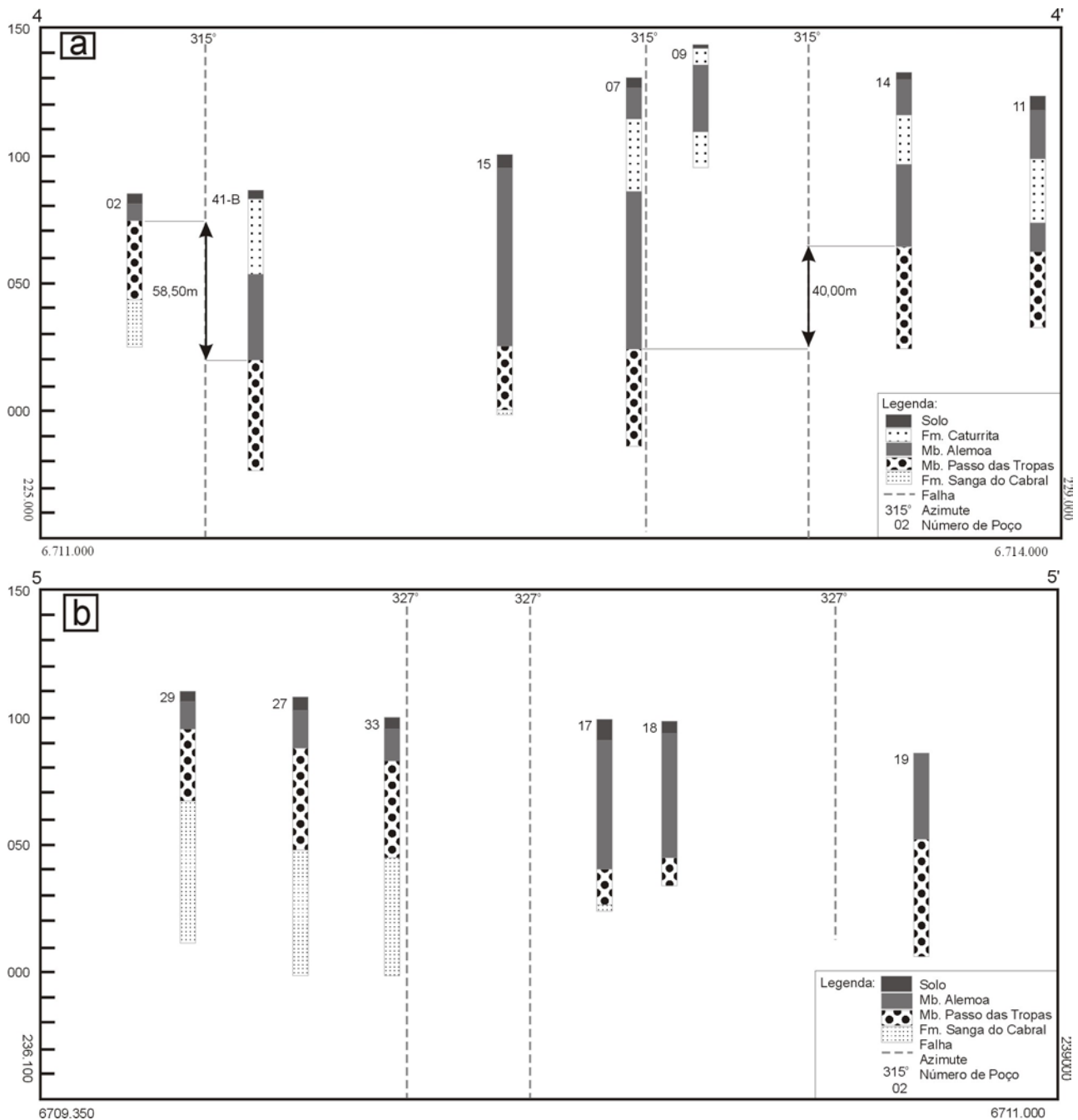


Figura 5: Seções geológicas na área Cidade (a) e Camobi (b), mostrando os rejeitos verticais impostos pelo sistema de fraturamento NW. A compartimentação hidráulica detectada pela análise das cargas hidráulicas é decorrência desta tectônica. Podemos observar (a), na área Cidade, rejeito de 58,50m entre os poços 02 e 41-B e de 40,00m entre 07 e 14. Na área Camobi é observável o escalonamento do topo do aquífero Passo das Tropas como decorrência desta mesma tectônica.

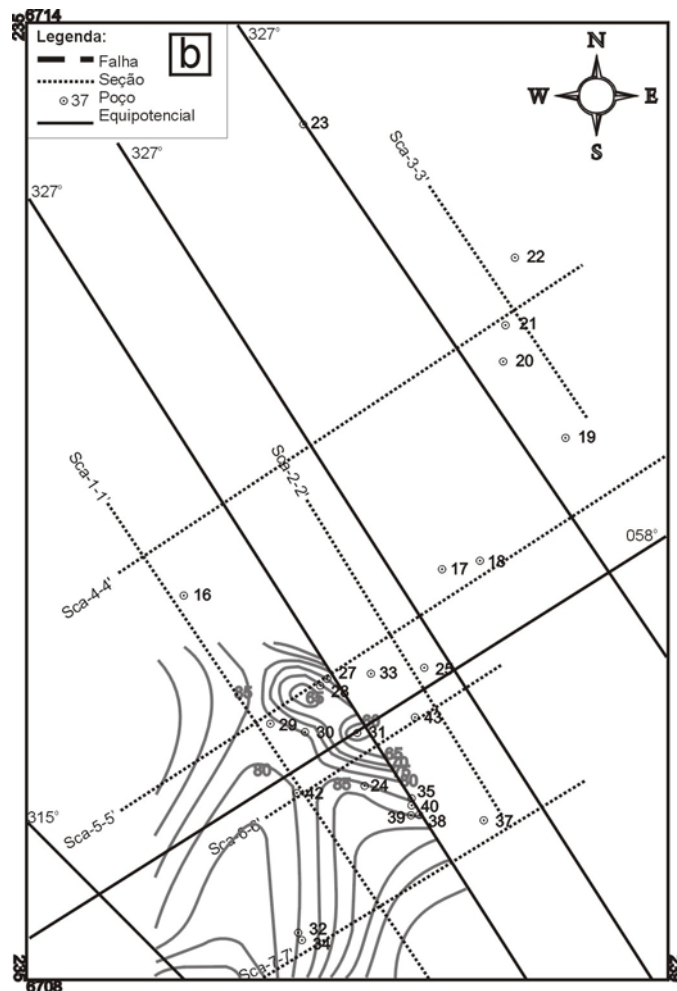
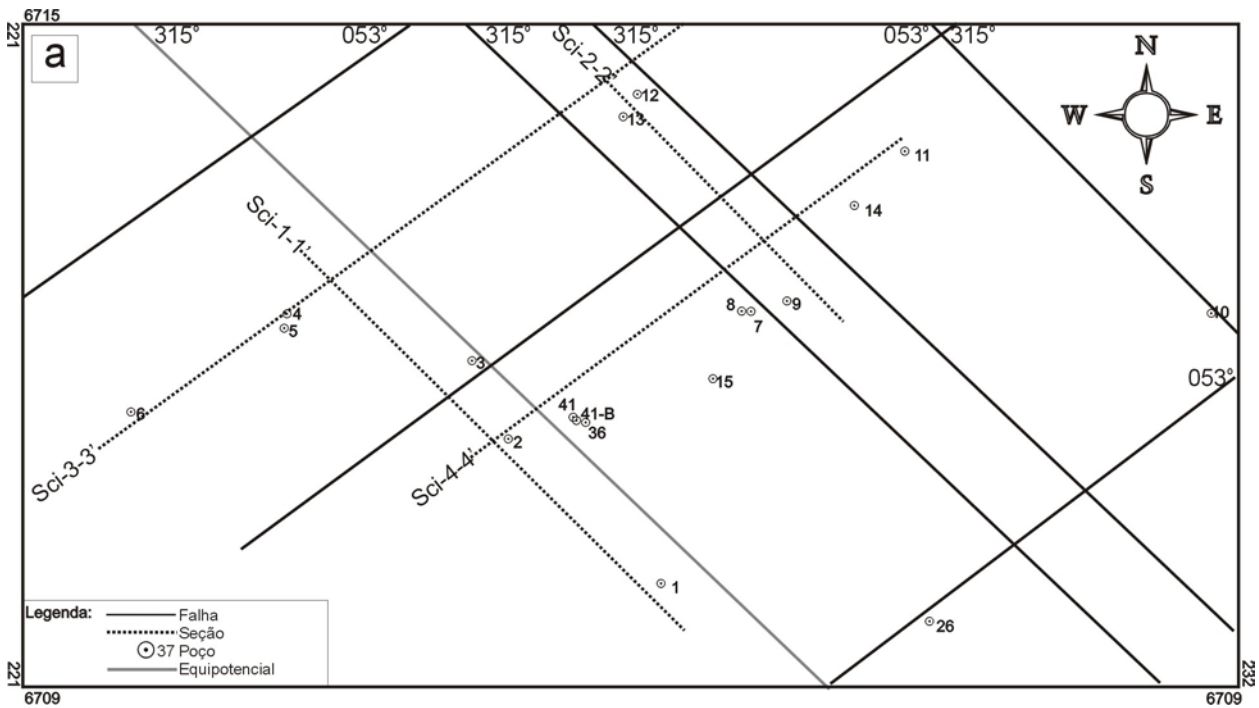


Figura 6: Mapas da área Cidade (a) e Camobi (b), com a localização dos poços, principais falhamentos e seções geológicas. Na área Camobi (b) temos também as equipotenciais para seu bloco SW, onde se pode identificar uma depressão potenciométrica na região do Campus da UFSM. Na área Cidade, a distribuição dos poços e a falta de informações seguras sobre sua piezometria, impediu o traçado das equipotenciais.

Ficou demonstrada a impossibilidade de construção de equipotenciais para todos os blocos definidos pela compartimentação tectônica, exceto um, onde se situa o Campus da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM. Neste bloco, verificou-se que a depressão piezométrica identificada pela análise geral, na área Camobi, desloca-se para sul. Nos demais blocos, embora a distribuição das cargas hidráulicas não tenha permitido a construção de mapas potenciométricos, pode ser definida uma direção geral de fluxo no sentido Norte. Esta direção, oposta à obtida pela abordagem genérica, é compatível com o mergulho geral do Membro Passo das Tropas em direção ao centro da bacia e também com a direção média de suas paleocorrentes (cf. Figura 1).

Aqüífero Passo das Tropas

A direção geral do fluxo da água subterrânea no Aqüífero Passo das Tropas é aproximadamente para Norte, compreendida na faixa de variação das paleocorrentes determinada para seus arenitos (350° a 050° , com média em 020°). Esta direção é a resultante da conjugação do vetor do gradiente hidráulico com dois vetores de anisotropia, um deles determinado pelo falhamento NW (315° a 327°) e outro pelas paleocorrentes (direção média de 020°), à semelhança do descrito em Fetter (1981^[6]), ilustrado na Figura 7 (USEPA^[7]). O detalhamento da piezometria, somado ao conhecimento da condutividade hidráulica nas direções perpendiculares à do falhamento e das paleocorrentes permitirá o estabelecimento seguro da direção de fluxo no aqüífero como um todo bem como no interior dos blocos tectonicamente individualizados.

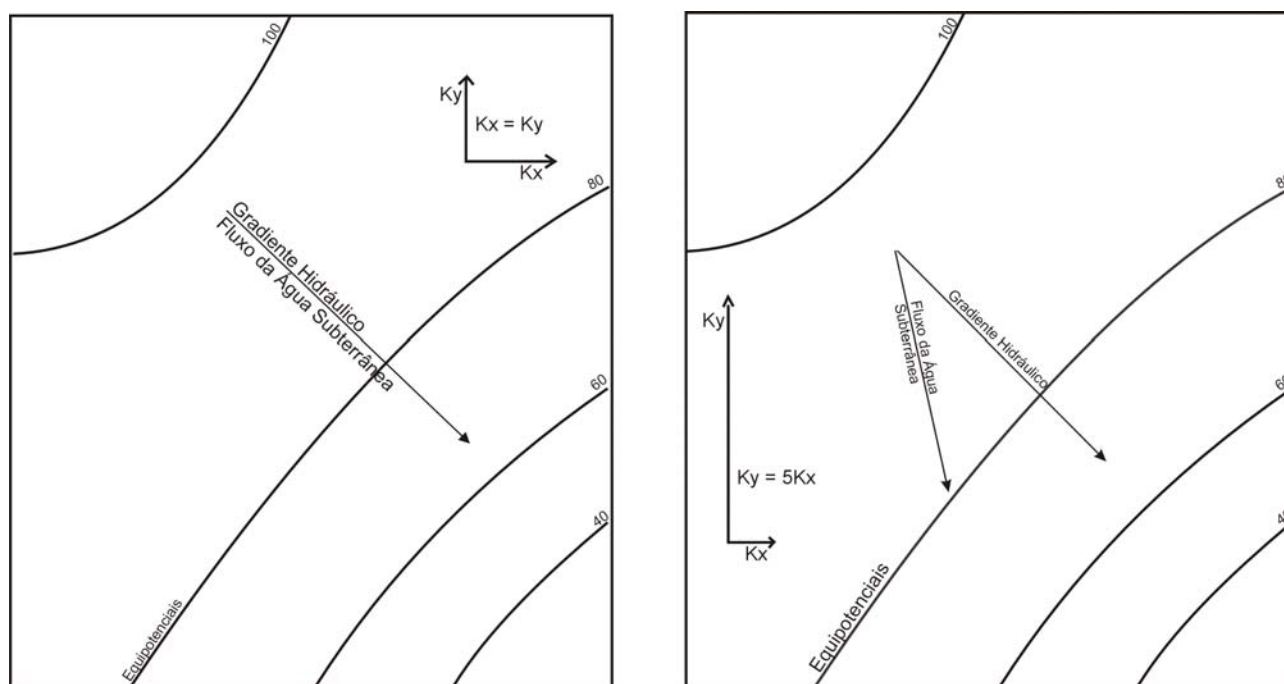


Figura 7: Alteração da direção de fluxo da água subterrânea devido a anisotropia do aqüífero.

Observar a relação entre as condutividades hidráulicas^[7].

As transmissividades obtidas nos 11 poços com teste de bombeamento variaram entre 0,01 e 6,27m²/h, os maiores valores estando distribuídos na área Camobi. O maior valor de T foi obtido para um poço totalmente penetrante (aquífero com 18,00m de espessura) em cujas proximidades os valores de T obtidos (poços 34 e 25) situaram-se em aproximadamente 0,15 m²/h. Os dados deste poço (24) fornecem um valor de condutividade hidráulica de 0,348 m/h.

No bloco NE da área Camobi, os valores de T para três poços (20, 21 e 22) situaram-se entre 0,33 e 0,50 m²/h e a espessura do aquífero variou de 23,50 até 27,50m. Esta consistência de dados permitiu o cálculo de uma condutividade hidráulica média de 0,0154 m/h válida para este bloco. Saliente-se que este é um valor médio de K, desconsideradas quaisquer anisotropias em seu cálculo.

Anisotropia marcante é evidenciada pelos dois valores de K referidos nos parágrafos anteriores, o primeiro deles 22,6 vezes maior que o segundo. Também o valor de K resultante dos dados do poço 34 (espessura de 35,00m e transmissividade igual a 0,15 m²/h) 0,004 m/h, situado no mesmo bloco estrutural do poço 24, nos dá indicação de anisotropia, a princípio atribuível à tectônica, podendo, porém, derivar de variações locais de porosidade devido a eventos diagenéticos (Garcia *et al.* 1999^[8]; Faccini *et al.* 1999^[9]).

A distribuição dos demais dados de transmissividade, não permitiu estabelecer com segurança, valores de condutividade hidráulica para os demais blocos da área Camobi ou Cidade.

O aquífero, em uma análise local, é contínuo, função da expressão de seus corpos arenosos, relacionados a depósitos de canais fluviais (acresções frontais, laterais e oblíquas).

A recarga deste aquífero ocorre por drenança (gotejamento) a partir do Membro Alemoa e diretamente em suas áreas de exposição, ao sul e ao oeste da área estudada. Contudo, não pode ser descartada, sem maior investigação, a alimentação direta a partir das drenagens, como sugerido pelos poços da área Camobi, onde os arroios que formam as cabeceiras do Rio Vacacaí Mirim, encaixados no sistema NW de fraturamento, podem acarretar o diferencial, verificado na hidráulica de seus poços com os da área Cidade.

Embora não tenha sido procedida uma análise de vulnerabilidade, o confinamento deste aquífero, a profundidade de sua ocorrência, seus tipos litológicos e os das rochas confinantes, os solos tipicamente argilo-arenosos ocorrentes na região e os baixos valores médios de condutividade hidráulica, indicam baixa vulnerabilidade natural que, porém, pode ser grandemente elevada devido à influência do fraturamento, a ser investigado quando da determinação da existência ou não de recarga direta a partir das drenagens.

Aquífero Caturrita

Três poços da área Cidade, situados em sua porção NE, captam água deste aquífero, nenhum deles tendo sido submetido a ensaio de bombeamento, sendo conhecida apenas a carga hidráulica

do poço mais a NE na área Cidade (poço 11) que nos informa um artesianismo de aproximadamente 23,00m caracterizando o aquífero como confinado.

Com estas limitações pouco se pode afirmar a respeito das características hidráulicas do aquífero, apenas que a carga potenciométrica do único poço com esta informação disponibilizada é a mais elevada de todos os poços analisados (123,12m), o que sugere a possibilidade de recarregar o Aquífero Passo das Tropas sempre que houver conexão hidráulica entre ambos, devido a fraturamento tectônico.

As vazões informadas para os poços deste aquífero variam entre 6,0 e 40,0 m³/h não tendo sido possível a determinação de um gradiente devido à má distribuição espacial dos dados disponíveis.

A associação faciológica do Aquífero Caturrita (canais fluviais isolados, sinuosos, anastomosados/meandranes, e *crevasse splays*), indica características de aquífero estratificado ou multi-aquífero, dependendo da relação a ser estabelecida entre as condutividades hidráulicas das camadas.

Sua recarga se dá de forma direta - nas áreas de exposição de suas fácies arenosas - e por gotejamento, a partir de suas litofácies pelíticas, quando existentes.

Embora valores absolutos de vulnerabilidade natural não tenham sido obtidos até o momento, por estar capeado por um máximo de 34,00m (poço 09) e ser constituído por arenitos grossos a médios, este Aquífero é enquadrável em uma categoria de maior vulnerabilidade do que o Aquífero Passo das Tropas. O papel dos paleossolos na compartimentação hidráulica deste aquífero não está ainda estabelecido, mas eles poderão constituir-se em camadas guia para a hidroestratigrafia do Caturrita.

Aquitardo Sanga do Cabral

A porção da Formação Sanga do Cabral penetrada pelos poços analisados é constituída principalmente por arenitos finamente laminados a maciços (fácies fluviais) e sua caracterização como aquítardo foi feita com base na investigação de afloramentos. O intervalo carece de informação hidrogeológica direta, pois nenhum dos poços analisados extrai água indubitavelmente desta formação.

Aqüicludes

O Membro Alemoa da Formação Santa Maria e as fácies pelíticas da Formação Caturrita são os dois aquícludes penetrados pelos poços investigados. O aquíclude Alemoa sendo o de maior espessura, podendo alcançar 75,00m (poço 08) e o outro apresentando espessura variável, sendo possivelmente descontínuo, conforme sugerido em escala de afloramento.

CONCLUSÕES

Dois aquíferos são identificáveis na área: Passo das Tropas e Caturrita. O primeiro deles mais homogêneo e contínuo, enquanto que o segundo caracteriza-se por maior heterogeneidade vertical.

A direção geral do fluxo no Aquífero Passo das Tropas é resultante da conjugação dos vetores de anisotropia produzidos pelo falhamento NW e pelas direções de paleocorrentes conjugados com o vetor teórico de fluxo ortogonal às equipotenciais. Os rejeitos verticais produzidos pelos falhamentos NW são de maior magnitude que a espessura média do aquífero na região, podendo a comunicação hidráulica entre os blocos tectonicamente individualizados ocorrer apenas através de fraturas, situação ainda não investigada. Os valores mais altos de transmissividade obtidos na área Camobi sugerem recarga direta do aquífero a partir das drenagens existentes nas cabeceiras do Rio Vacacaí Mirim. A carga hidráulica do aquífero Caturrita permite supor participação na recarga do Passo das Tropas por drenança vertical através de fraturas.

Na escala operacional, abordar as rochas do Grupo Rosário do Sul como um único aquífero é inadequado. As heterogeneidades identificadas mostram a necessidade do conhecimento das diferentes características dos aquíferos individuais do SAG para sua correta gestão.

Os dados, conclusões preliminares e hipóteses de trabalho levantadas até o momento, demonstram que a integração de informações geológicas e geofísicas, somadas às técnicas clássicas da hidrogeologia, permite uma maior compreensão do papel das heterogeneidades no fluxo da água subterrânea, quesito fundamental para o aproveitamento sustentável do potencial produtivo dos aquíferos e sua gestão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Campos, H. C. N. S. 1999. Modelación conceptual y matemática del Acuífero Guaraní, Cono Sur. Mapa Hidrogeológico do Aquífero Guaraní. *Acta Geológica Leopoldensia*, 23(4): 3-50.
- [2] CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 1994. *Mapa Hidrogeológico da Folha de Santa Maria, 1:100.000*. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos. Projeto Mapas de Previsão de Recursos Hídricos Subterrâneos - SUREG-PA.
- [3] Faccini, U.F. 2000. *Estratigrafia do Permo-Triássico do Rio Grande do Sul: estilos deposicionais versus espaço de acomodação*. Porto Alegre, PPGeo-UFRGS, *Tese de Doutorado*, (2Vol.), 322p., Documentação Anexa, 23 figs.
- [4] Faccini, U.F., Lavina, E.L., Lopes, R.C., Schultz, C.L. & Dutra, T.G. 2000. Gondwana Sequences (Early Permian to Early Cretaceous) in the Southern edge of Paraná Basin - Stratigraphy and Paleontology (Rio Grande do Sul State, Southern Brazil). *Roteiro Geológico. 31st International Geology Congress, SBG-IUGS, Rio de Janeiro, 37p.*

- [5] Huggenberger, P. & Aigner, T. 1999. Introduction to the special issue on aquifer sedimentology: problems, perspectives and modern approaches. *Sedimentary Geology*, 129:179-186.
- [6] Fetter, C. W. 1981. Determination of the direction of ground water flow. *Ground Water Monitoring Review* 1(3):28-31.
- [7] USEPA – United States Environmental Protection Agency. 1991. Delineation of wellhead protection areas in fractured rocks. *EPA Report /570-9-91/009*, Office of Ground Water and Drinking Water, USEPA, 144 pp.
- [8] Garcia, A.J.V., Faccini, U.F., Lavina, E.L.C., Zerfass, H. & Suszczynski, A.M. 1999. Geometry, architecture and porosity distribution in Mesozoic sandstones in Southern Paraná Basin, Brazil: reservoir/aquifer potential in Mercosul context. *Geological Society of America. 1999 Annual Meeting* (P124) Denver, Colorado, USA, p.350.
- [9] Faccini, U.F., Garcia, A.J.V., Lavina, E.L.C., Suszczynski, A.M. & Zerfass, H. 1999. Geometry, architecture and porosity distribution in Triassic sandstones in Southern Paraná Basin, Brazil: porous aquifer potential in Mercosul context. *51^a. Reunião Anual da SBPC* (A.33-022; CD-Rom), PUCRS, Porto Alegre.