

Volume 5

Análise Quantitativa

2.9 AQUÍFEROS FRATURADOS RELACIONADOS ÀS ROCHAS GRANITÓIDES FOLIADAS

Este sistema aquífero engloba vários termos granitóides que apresentam foliação milonítica, bandeamento gnáissico ou clivagem de fratura (cataclase).

Fazem parte deste sistema vários corpos granitóides pertencentes ao Complexo Taboleiro. Os termos mais freqüentes são granito-gnaisses com textura porfiróide, com mega-cristais de feldspato potássico, matriz granular média, de cor cinza, constituída principalmente por quartzo e biotita. Ocorrem, também, metatonalitos cor cinza-escuro, granulação fina e, subordinadamente, sienogranitos, monzonitos e quartzomonzonitos de cor cinza-claro, textura porfirítica, que afloram junto às zonas de cisalhamento.

2.9.1 Distribuição e Caracterização Hidrogeológica

As rochas pertencentes ao Complexo Taboleiro constituem uma extensa área situada na porção noroeste desde as proximidades da cidade de Braço do Norte até o extremo norte nas proximidades de Anitápolis. Na porção central desta bacia hidrográfica, foi individualizada uma extensa faixa alongada seguindo norte-sul que inicia nas proximidades da cidade de Treze de Maio, passando por Gravatal, indo até o extremo norte, nas proximidades da cidade de São Bonifácio. Ao longo da referida faixa, ocorrem rochas graníticas foliadas, pertencentes ao Complexo Taboleiro e rochas graníticas aparentemente isótropas pertencentes ao Grupo Pedras Grandes, que se encontram intensamente catacladas. Na região costeira ocorrem granitóides foliados que possuem denominações regionais como Granito Paulo Lopes e Granito Gnaisse Garopaba. Ambas as rochas apresentam foliação milonítica, caracterizada pelo estiramento de clastos de feldspato e alinhamento de minerais micáceos.

Sobre estas rochas desenvolvem-se solos residuais profundos que nas proximidades dos falhamentos alcançam mais de 10 m de espessura. Na rocha sã, pelo fato de praticamente não existirem poros, a permeabilidade é do tipo fissural e sua capacidade de armazenamento vai depender, exclusivamente, das dimensões e espaçamento das fraturas. Na rocha intemperizada, devido à alteração dos minerais, ocorre uma certa porosidade, que permite a circulação e armazenamento em seu interior.

De acordo com Machado (no prelo), os lineamentos de distensão NW-SE são estruturas pré-cambrianas, várias vezes reativados. As fraturas são abertas e proporcionam o armazenamento e a circulação das águas. Segundo este mesmo autor, os lineamentos ENE-WSW, correspondem à fase de compressão e, apesar de sua extensão e importância (filões de fluorita), não apresentam interesse para captação através de poços tubulares. Porém, a análise da imagem do satélite LANDSAT-TM, realizada no atual trabalho, mostra claramente que estas rochas graníticas apresentam-se intensamente seccionadas por diferentes sistemas de falhas que se interceptam, conferindo à área um aspecto de mosaico irregular. A imagem mostra, também, que, na área, há uma nítida predominância de falhas com direção NS a N20°E. A leitura do mapa geológico escala 1:100.000, elaborado no atual projeto e apresentado no volume II, permite verificar que, do ponto de vista hidrogeológico, este trend NS-N20°E é muito importante porque está intimamente relacionado às principais ocorrências de água mineral da região sul do estado, bem como pelo fato de esta zona de falha (NS a N20°E) ter sido reativada e imprimir

intensa cataclase aos corpos rochosos que secciona. As observações de campo realizadas no atual projeto permitiram a análise estrutural através do estudo dos marcadores cinemáticos, e ficou constatada que este trend NS-N20°E tem caráter distensivo. Esta hipótese é corroborada pelo fato de este sistema de falha encaixar também importantes filões de fluorita ou diques de diabásio, o que reforça a hipótese de estas falhas serem do tipo distensivas e não compressivas como sugerido por Machado (no prelo).

A análise fotogeológica e cheques de campo permitiram verificar que a principal área de recarga destes aquíferos fraturados relaciona-se à infiltração que ocorre a partir dos cursos d'água que estão encaixados em sistemas de fraturas. Este fato evidencia, ainda, o caráter afluyente dos cursos d'água no domínio das rochas graníticas (Figura 4). O reabastecimento é realizado, também, a partir da infiltração direta das águas das chuvas, através dos solos residuais.

FIGURA 4: Queda d'água correspondente a zona de falha em domínio das rochas graníticas. Nesse caso, o rio contribui para a recarga desse sistema aquífero. Localidade: Alto curso do Rio Capivari. Fonte: UNISUL/Projeto



2.9.2 Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação

Este sistema aquífero apresenta vulnerabilidade natural alta a muito alta pelo fato de o armazenamento d'água se realizar quase que exclusivamente através de fraturas abertas.

O risco de contaminação também é muito alto porque os rios geralmente estão encaixados ao longo de falhas e possuem caráter afluyente, isto é, contribuem para a alimentação deste sistema aquífero.

Os trabalhos de campo mostraram que, nesta bacia hidrográfica, ocorrem várias fontes de poluição (pontuais ou difusas), relacionadas às diferentes atividades antrópicas tais como: mineração de carvão e fluorita, criação de porcos, atividades industriais e expansão urbana, que podem contaminar as águas deste sistema aquífero.

2.9.3 Aspectos Qualitativos

O fato de este sistema conter água quase que exclusivamente em fraturas e suas áreas de recarga situarem-se em áreas de proteção ambiental ou em áreas com poucas atividades antrópicas, bem como as áreas de recarga possuírem elevado

gradiente hidráulico que proporciona uma circulação rápida, contribuem para que suas águas sejam de boa qualidade.

Os resultados de análises indicaram valores de pH entre 5,5 e 8,2, portanto variando de ácido a alcalino, com baixos valores de resíduos secos, da ordem de 200 mg/l. Do ponto de vista hidroquímico, as águas variam de bicarbonatada sódica ou bicarbonatada cloretada mista. Na porção centro-sudoeste, isto é, na região fluorítica, pode apresentar valores elevados de flúor que, em alguns casos, inviabiliza sua utilização para vários fins.

Nas porções onde o manto de alteração é espesso, as águas apresentam-se fracamente mineralizadas, os valores de sais dissolvidos geralmente são inferiores a 100 mg/l, o pH varia de 5,55 a 6,82, portanto de caráter ácido, e as águas geralmente são bicarbonatadas calco-sódicas.

2.9.4 Potencialidade Aqüífera

O mapa do potencial hidrogeológico (Anexo I) mostra que foram individualizadas duas áreas principais relacionadas a este sistema aqüífero. Além destas duas áreas, ocorrem outras de menor expressão situadas nas proximidades da região costeira.

Uma das áreas principais posiciona-se junto à atual borda da seqüência gonduânica na porção noroeste da bacia. Nesta área afloram rochas foliadas constituídas por granito-gnaisses e outros granitóides milonitizados. O mapa geológico escala 1:100.000, realizado no atual projeto e apresentado no volume II, mostra que nesta porção não ocorre nenhuma zona de cisalhamento expressiva. Ocorrem, isto sim, várias falhas de diferentes direções seccionam estas rochas granitóides, causando intenso fraturamento e limitando estes granitos foliados.

Observações de campo mostram que estas rochas, embora apresentem forte orientação tectônica, geralmente não estão muito fraturadas e raramente desenvolvem clivagem de fratura (cataclase) que permita a circulação de água em seu interior. Por outro lado, o mapa hipsométrico escala 1:100.000, realizado no atual projeto e apresentado no volume III e as cartas planialtimétricas escala 1:50.000 do IBGE mostram que as cotas mais elevadas desta porção não ultrapassam 700 m. Constata-se, também, que o relevo é moderadamente ondulado, com morros de forma alongada ou arredondada, encostas convexas com declividades moderadas. Estas características contribuem para a formação de espesso manto de alteração sobre estas rochas granitóides.

Pelo acima exposto, embora estas rochas não apresentem um grau de fraturamento elevado, e, conseqüentemente, não possuam uma boa potencialidade aqüífera, o fato de serem cobertas por espesso manto de alteração, bastante poroso e permeável, amplia sua potencialidade aqüífera. Outro fator que contribui para ampliar sua potencialidade aqüífera é o fato de as encostas dos platôs gonduânicos atuarem como eficientes áreas de recarga deste sistema.

2.10 AQUÍFEROS FRATURADOS RELACIONADOS ÀS ROCHAS GRANITÓIDES ISÓTROPAS

Esse sistema aqüífero é constituído por vários termos granitóides aparentemente isotrópicos. Fazem parte deste sistema a maior parte dos corpos granitóides presentes na área desta bacia. Os termos mais freqüentes são biotita granitos, monzonitos, sienogranitos, granodioritos.

2.10.1 Distribuição e Caracterização Hidrológica

Estas rochas graníticas têm ampla distribuição, ocupando a maior porção do quadrante centro-norte desta bacia. Na área compreendida entre o médio e alto curso do Rio Capivari e o médio e alto curso do Rio D Una, constituem uma serra alongada Norte-Sul, com encostas extensas e bastante declinosas, com cotas

superiores a 300 m, onde pode-se verificar padrões rochosos que se sobressaem na topografia. À medida que se aproxima da região costeira, há uma gradativa diminuição de altitudes, e os morros já apresentam um modelamento diferente, com encostas convexas pouco extensas e com declividades mais suaves. Esta mudança morfológica do relevo se faz notar principalmente a partir da cota 600 m. Os trabalhos de campo indicaram que, geralmente, é a partir dessa cota que ocorrem os depósitos de encostas. Constataram-se, também, que, em geral, estas rochas graníticas apresentam maiores espessuras do manto de alteração, no intervalo compreendido entre a cota 160 e 400 m.

Do ponto de vista hidrológico, por se tratarem de rochas graníticas, isotrópicas, a porosidade é praticamente ausente e a circulação da água ocorre somente através de falhas ou fraturas que seccionam os corpos rochosos. Os trabalhos de fotointerpretação e posteriores verificações de campo, mostraram claramente que existem vários locais em que estas rochas encontram-se bastante fraturadas e, às vezes, intrudidas por diques de diabásio ou de riolitos. Na região de Pedras Grandes, Armazém, Pindotiba, Treze de Maio, Gravatal e Braço do Norte são conhecidos filões de fluorita, aos quais geralmente se associam ocorrências de água termomineral.

Os estudos realizados indicaram que existem dois sistemas de falhas, que apresentam características distensionais caracterizados pela intrusão de diques ou de filões de quartzo e fluorita.

O sistema N50°W está bem impresso nestas rochas graníticas, tanto delimitando contatos com outras unidades geológicas ou enxames diques de diabásio. As falhas desse sistema geralmente se estendem por dezenas de quilômetros e são freqüentes na porção central da área desta bacia, ocorrendo também na porção noroeste onde, geralmente, delimitam estes corpos graníticos.

O sistema N20°E é o mais freqüente no domínio destas rochas graníticas. Geralmente é constituído por um conjunto de falhas paralelas que constituem uma espessa zona de falha onde as rochas encontram-se muito cizalhadas. Com relação às falhas N50°W, as falhas N 20°E possuem menores comprimentos.

Na zona de interseção de diferentes sistemas de falhas, principalmente entre o Sistema N20°E e o N50°W, ocorrem enormes vazios ao longo dos planos de falha, que se comportam como excelentes reservatórios.

Este fato já foi confirmado em várias frentes de lavra de fluorita. Se estas áreas de recarga eficientes, ou seja, se o sistema de falha tiver comportamento distensional e encaixar algum curso d'água, os poços aí constituídos deverão apresentar vazões expressivas.

As formas de relevo exercem forte influência na circulação das águas subterrâneas. Nas cotas mais elevadas, isto é, onde o relevo é forte ondulado, as velocidades de circulação são, geralmente, altas e estas áreas se comportam, principalmente, como áreas de recarga. Nas cotas mais baixas, onde junto dessas zonas de falha ocorre com freqüência um espesso manto de alteração, capeando estas rochas e as velocidades de circulação são mais baixas, estas rochas fraturadas atuam como áreas reservatórios. Quanto maior e mais espesso o manto de alteração, maior potencialidade aquífera da área.

2.10.2 Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação

Os aquíferos fissurais possuem vulnerabilidade natural e riscos de contaminação altos, por armazenarem água em fraturas que se comunicam com a superfície do terreno e, portanto, ficam expostas a qualquer fonte de poluição que se instalar sobre ela, na superfície.

Na porção centro e sudeste da bacia, onde ocorre a lavra dos filões de fluorita, o risco de contaminação é maior ainda, porque as fraturas em que estão encaixadas os filões são abertas e, desta forma, permitem que a água circule nelas.

A retirada da fluorita, bem como todas as outras atividades desenvolvidas durante a lavra, contribuem para contaminação das águas subterrâneas dos entornos.

O fato de vários cursos d'água terem caráter afluyente, isto é, contribuírem para recarga dos aquíferos, é outro fator que aumenta o risco de contaminação das águas

subterrâneas. Os trabalhos desenvolvidos na bacia mostraram claramente que ao longo do vale do Rio Braço do Norte e outros ocorre intensa atividade de suinocultura e a destinação final dos dejetos são os cursos d'água que em alguns trechos já se encontram com suas águas contaminadas.

Se estes cursos d'água drenarem áreas onde ocorrem falhas abertas, parte dessas águas contaminadas se infiltrarão pelas fraturas e com o passar dos anos comprometerão o aquífero.

2.10.3 Aspectos Qualitativos

De uma maneira geral, as águas captadas através de poços tubulares profundos neste sistema aquífero são de boa qualidade.

Seu comportamento hidroquímico é semelhante à água captada na área dos granitóides foliados, variando de bicarbonatada sódica a bicarbonatada mista. Nos entornos das áreas, onde ocorre lavra de fluorita, geralmente, apresentam teores elevados de flúor. Os laudos de análises indicaram valores de pH entre 5,0 e 8,0, portanto variando de ácido a alcalino. Os valores de resíduo seco são geralmente baixos, da ordem de 200 mg/l.

2.10.4 Potencialidade Aquífera

A potencialidade aquífera é baixa, porque as fraturas são pouco extensas e não se prolongam em profundidade.

Constatou-se que, na área correspondente à Serra do Tabuleiro, onde ocorre uma topografia forte ondulada, com cotas elevadas e a recarga se processa principalmente a partir das precipitações, por infiltração direta através das fraturas. Nas áreas com relevo moderadamente ondulado, como ocorre na região de Orleans e Braço do Norte, é muito freqüente a presença de espesso manto de intemperismo sobre estas rochas graníticas. Este fato amplia bastante a potencialidade aquífera deste sistema, porque a rocha granítica alterada, comporta-se como uma rocha porosa, bastante permeável e onde as condições hidrogeológicas forem favoráveis atuam como excelentes áreas reservatórias.

A análise das fotografias aéreas 1:25.000 e 1:60.000 permitiram constatar que, nas proximidades das interseções das falhas, algumas delas apresentam geometria sigmoidal.

Verificações de campo, realizadas em uma dessas falhas que ocorre nas proximidades da cidade de Braço do Norte, permitiram verificar que, onde ocorre a maior sinuosidade do traço de falha verificado na fotografia 1:25.000, situa-se uma fonte de água termomineral e um poço tubular surgente.

Na região de Pedras Grandes, Pindotiba e Morro da Fumaça, já fora da área da bacia, constata-se que algumas fraturas N 20°E, que encaixam filões de fluorita, às vezes, alcançam espessuras superiores a 8 m e se prolongam a profundidades superiores a 150 m. Em superfície, o traço da falha verificado na foto aérea pode ser acompanhado por vários quilômetros. Várias minas de fluorita nesta região apresentaram sérios problemas de infiltração d'água, necessitando de operações de bombeamento constante.

As fraturas que encaixam diques de diabásio, geralmente, possuem alta potencialidade aquífera, porque, devido ao rápido resfriamento dessas rochas vulcânicas, forma-se um denso sistema de juntas, perpendicular à direção do dique. Este sistema de juntas permite a passagem d'água, ampliando a potencialidade aquífera da falha.

2.11 AQUÍFEROS FRATURADOS RELACIONADOS A ROCHAS VULCÂNICAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL

As rochas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral são, geralmente, maciças, sem poros e praticamente impermeáveis, com exceção da zona amigdalóide. O armazenamento de água dá-se ao longo de juntas e fraturas. Estes aquíferos fraturados podem ter dois tipos de reservatório: um relacionado a fraturas superficiais e outro relacionado a fraturas profundas. O primeiro constitui um sistema denso de fraturamento, que se comunica com o manto intempérico, comportando-se como aquífero livre, cuja circulação é controlada pela topografia. O outro relaciona-se a fraturas profundas. É, geralmente, constituído por fraturas individuais, que formam um sistema pouco denso, onde as paredes da fratura direcionam e controlam a circulação.

2.11.1 Distribuição e Caracterização Hidrogeológica

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral ocorrem sob a forma de espessos derrames de lavas básicas e intermediárias que capeiam os platôs gonduânicos situados na porção norte e noroeste da área. Constituem um espesso pacote rochoso com espessura superior a 600 m, que aflora continuamente a partir da cota 750m até o topo dos platôs onde as cotas ultrapassam 1400m.

Também estão presentes na área estudada sob a forma de soleiras que capeiam os morros-testemunho e sob a forma de diques que seccionam as rochas sedimentares e graníticas.

Do ponto de vista hidrogeológico, somente as soleiras capeadas por rochas básicas constituem unidades aquíferas. Os derrames, no caso da área correspondente à Bacia do Rio Tubarão, têm importância no que diz respeito ao reabastecimento dos aquíferos subjacentes.

O mapeamento geológico, realizado no atual projeto, indicou que o morro-testemunho conhecido como Montanhão, situado a oeste da área, bem como outros de menores dimensões, correspondem a soleiras de diabásio, intrudidas nas rochas sedimentares gonduânicas, no intervalo da Formação Irati.

Todas estas soleiras possuem um denso fraturamento, devido, provavelmente, ao rápido resfriamento. Além dessas fraturas superficiais, ocorrem outras, relacionadas a movimentos tectônicos, que são mais extensas e profundas e se refletem, também, nas rochas sedimentares subjacentes, como pode ser facilmente verificado através de análise fotogeológica.

A capacidade de armazenamento desses aquíferos é pequena e vai depender das dimensões, geometria e espaçamento das fraturas. Nas interfaces manto de intemperismo/ rochas vulcânicas, zonas de diaclasamento vertical/ zonas de diaclasamento horizontal ou, ainda, no contato entre as rochas vulcânicas fraturadas e as rochas pelíticas da Formação Irati ocorrem surgências (fontes), que são bastante frequentes nas encostas superiores dos morros e agem como principal exutório na descarga natural desses aquíferos.

Quanto à alimentação dos aquíferos fissurados, ela se realiza por infiltração direta, a partir das precipitações, através dos solos residuais.

2.11.2 Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação

Pelo fato de estas rochas vulcânicas apresentarem um efetivo fraturamento devido ao rápido resfriamento, além de serem seccionadas por falhas relacionadas a movimentos tectônicos, apresentam alta vulnerabilidade e alto risco de contaminação de qualquer tipo de fonte de poluição que se instale sobre estas rochas.

Até o presente momento, estas áreas correspondentes aos topos dos morros-testemunho, têm sido poupadas de fontes de poluição, pelo fato de geralmente estarem contidas dentro de áreas de proteção ambiental e também pelo fato de situarem-se topograficamente em cotas mais altas do que aquelas onde ocorrem as camadas de carvão. Pelo fato de originarem solos férteis, constata-se que quase todos os topos de morros-testemunhos são utilizados para fins agrícolas. O modelo hidrogeológico indica que a recarga deste aquífero é realizada por

infiltração direta a partir das precipitações através dos solos residuais e fraturas. Pelo exposto, o risco de contaminação está diretamente relacionado ao tipo e quantidade de defensivos agrícolas utilizados nas áreas cultivadas.

2.11.3 Aspectos Qualitativos

Com relação à qualidade das águas destes aquíferos de poucas informações se dispõe. Constatou-se que grande parte da população rural da região próxima ao Montanhão utiliza água destas fontes para suprir suas necessidades domésticas. Análises realizadas na água de uma fonte que ocorre nas proximidades de Treviso, indicaram que esta água apresenta valores de ferro e coliformes bem acima dos padrões exigidos para potabilidade.

2.11.4 Potencialidade Aquífera

A pequena espessura e a posição estrutural acima do nível regional das águas subterrâneas são condições desfavoráveis à sua exploração por poços tubulares profundos. Sua importância maior reside na recarga produzida sobre os aquíferos sedimentares subjacentes e, também, no fato de as suas águas estarem menos comprometidas pelas diferentes fontes de poluição existentes na região carbonífera.

De qualquer forma, Hausman (1960 e 1962), estudando rochas basálticas do Rio Grande do Sul, diz que o rendimento normal de um poço é geralmente inferior a 1 l/s, mas que, em alguns lugares, podem alcançar 7 l/s, com abaixamento de 8 a 16 m.

Os trabalhos indicaram que as soleiras de rochas vulcânicas, na área estudada, apresentam intenso fraturamento, o que poderia levar a supor-se que os poços aí perfurados tiveram seu rendimento alto, em torno de 7 l/s, mas, por outro lado, seu posicionamento topo-estrutural, que faz com que grande quantidade de água infiltrada através dos solos residuais armazenados nessas rochas escoem através das fraturas que se comunicam com as encostas, conferindo a estas rochas um regime de fluxo semi-livre.

Desta forma, fica difícil se estabelecer o rendimento médio de um poço tubular escavado nestas rochas. Assim, para se fazer um cálculo hipotético, considerando-se uma vazão de $0,5\text{m}^3/\text{h}$ (500 l/h), em um dia, ter-se-ia $500\text{l} \times 24\text{h} = 12.000$ litros por dia. Considerando-se as 350 fontes, ter-se-ia: $12.000 \times 350 = 4.200$ litros por dia na área do Montanhão. Se uma pessoa, em uma cidade moderna, gasta 250 litros por dia (valor médio da região segundo a CASAN), ter-se-ia: $4.200.000 : 250 = 16.800$ pessoas poderiam ser abastecidas por dia.

Ressalta-se que este é um cálculo hipotético, sem confirmação destes valores de vazão e, portanto, não devem ser considerados para embasar qualquer projeto de planejamento de abastecimento de água.