

Volume 5

Análise Quantitativa

2.2 Aqüífero Poroso Relacionado à Formação Rio Bonito

O mais importante aqüífero sedimentar da área estudada é aquele relacionado ao terço superior da Formação Rio Bonito (Membro Siderópolis) e ao terço inferior (Membro Triunfo). As demais formações geológicas, pelo fato de serem predominantemente formadas por siltitos e folhelhos, constituem-se em aqüíferos mais fracos.

O Membro Triunfo, na área estudada, apresenta uma espessura variável de 20 m a 60m, conforme pode ser verificado no Mapa de Isópacas de Intervalo Inferior da Formação Rio Bonito (Fabrício, op cit).

Litologicamente são constituídos por arenitos cinza esbranquiçados com granulometria variável de fina até muito grossa, quartzo-feldspáticos, com cimento carbonático. Na porção superior, predominam arenitos finos a médios e, na base, ocorre uma maior incidência de arenitos grosseiros. Os perfis litológicos das sondagens realizadas para carvão (LM-37; PB-20; PB-14) mostram que, junto ao contato com a Formação Rio do Sul, geralmente ocorrem camadas areno-conglomeráticas, quartzo-feldspáticas, com cimento carbonático.

As camadas apresentam geometria sigmoidal, com aspecto maciço ou com estratificação cruzada acanalada, de pequeno e médio porte.

O Membro Siderópolis é constituído por arenitos finos a médios, quartzosos, bem selecionados, porosos e permeáveis. Subordinadamente, ocorrem arenitos médios a grossos, feldspáticos, com matriz areno-argilosa, também bastante permeáveis. Intercalam camadas de siltitos carbonosos e carvão.

As camadas apresentam espessuras variadas, desde alguns centímetros até mais de metro, geometria tabular ou lenticular, de aspecto maciço ou com estratificação cruzada. A espessura do Membro Siderópolis, de acordo com a análise e correlação de perfis de sondagens (LM-37, PB-21, PB-38, PB-41, LM-30), é bastante variável ao longo da bacia carbonífera, estando suas maiores espessuras na região do Rio Oratório, onde alcança espessuras superiores a 90m.

2.2.1 Distribuição e Caracterização Hidrogeológica

O mapa geológico elaborado no atual projeto mostra que a Formação Rio Bonito possui ampla distribuição na porção oeste da área correspondente à bacia do Rio Tubarão, ocorrendo de forma contínua desde a localidade de Santana, a oeste, até a altura do Rio dos Bugres, a noroeste.

Os estudos geológicos mostraram claramente que a Formação Rio Bonito constitui uma unidade aqüífera que apresenta múltiplos aqüíferos relacionados geneticamente às diferentes associações litofaciológicas presentes no Membro Siderópolis e no Membro Triunfo. No caso do Membro Siderópolis, Krebs e Nosse (1998) individualizaram 3 intervalos aqüíferos, na região de Criciúma, relacionados às associações litofaciológicas, individualizadas por Dias (1995), ao estudar a mesma região.

Este aqüífero possui geometria tabular, com regime de fluxo livre, localmente semi-confinado, quando é capeado por camadas de siltito carbonoso ou carvão. O modelo hidrogeológico, estabelecido através das linhas de fluxo e equipotenciais, bem como informações geológicas e geomorfológicas, indicam, claramente, que suas áreas de recarga estão situadas nas encostas dos platôs e morros-testemunhos (Montanhão e outros). Esta conformação hidrodinâmica mostra a contribuição de

duas fontes principais de infiltração. Nas bordas da bacia, principalmente na borda oeste e proximidades do Montanhão, onde as declividades do terreno são altas e as velocidades da circulação são elevadas, a recarga se realiza por drenância das águas dos aquíferos fraturados, relacionadas às rochas basálticas, e drenância das demais formações geológicas e depósitos de tálus, sobrepostos à formação Rio Bonito, que afloram nas encostas dos platôs e morros-testemunhos.

Na área de afloramento desta Formação, a recarga dá-se por infiltração direta, a partir das precipitações, através dos solos residuais e transportados.

A drenagem superficial não atua na realimentação do aquífero, pois os rios têm caráter efluente, isto é, recebem contribuições dos aquíferos.

Na porção compreendida entre Rio Capivaras e Santana, deveriam encontrar-se as melhores vazões de acordo com a relação zona de recarga - circulação e descarga. Porém, as atividades de mineração de carvão, tanto a céu aberto como em sub-superfície, modificaram este quadro e, em caso extremo, destruíram totalmente este aquífero.

2.2.2 Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação

Devido às atividades de mineração de carvão, esses aquíferos múltiplos têm comportamentos bastante distintos no que diz respeito à vulnerabilidade e riscos de contaminação. Os aquíferos múltiplos relacionados à Seqüência de Areias Transgressivas (Seqüência Superior), pelo fato de capearem a camada de carvão Barro Branco, são os mais comprometidos. Em toda a porção situada entre Santana e Capivaras Alta, onde houve atividades de mineração de carvão a céu aberto e em subsuperfície, bem como disposição de rejeito piritoso, constata-se que os aquíferos múltiplos, relacionados à referida seqüência estão bastante comprometidos e, em casos extremos, foram destruídos (Figura 2).

FIGURA 2: Deposição de rejeito piritoso em áreas de encosta dos morros, que atuam como área de recarga do sistema aquífero Rio Bonito, no Município de Lauro Müller.



Com relação às demais fontes de poluição, a avaliação do risco de contaminação é bastante difícil de ser estabelecida, porque não se possui informações consistentes a respeito de como são dispostos seus efluentes. Sabe-se que muitas indústrias não possuem um sistema adequado de tratamento de efluentes, o que contribui para aumentar o risco de contaminação. Além disso, nas principais cidades desta bacia, ocorrem fontes pontuais que são fáceis de identificar, e fontes difusas, que são bem mais difíceis de serem avaliadas. Dentre as fontes difusas, a mais problemática relaciona-se ao saneamento básico, uma vez que Tubarão e as demais cidades não

dispõem de uma rede de esgoto com tratamento de efluentes, sendo que o próprio Rio Tubarão é utilizado como emissário cloacal.

Pelo acima exposto, uma avaliação do risco de contaminação, devido à ocupação urbana, não será possível. Pode-se, no entanto, ressaltar-se o perigo potencial de contaminação dos aquíferos, naquelas áreas em que o solo ou subsolo for bastante permeável, e o lençol freático encontrar-se a baixa profundidade, ou naqueles locais onde os cursos d'água têm caráter efluente, isto é, atuam como alimentadores dos aquíferos.

2.2.3 Aspectos Qualitativos

Para se tecerem considerações a respeito da qualidade das águas subterrâneas, é fundamental que se determinem, com bastante precisão, os tipos de contaminantes e, também, os tipos de solos e subsolos na natureza da área estudada. Na área da Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão, ocorrem diferentes tipos de fontes de contaminação. Sem dúvida nenhuma, relaciona-se ao material piritoso que é lixiviado das pilhas de rejeito oriundas da lavra e beneficiamento do carvão. Também o diversificado parque industrial da região de Tubarão, a enorme área cultivada com utilização de agrotóxicos, bem como o fato de não haver sistema de tratamento de esgoto doméstico, constituem efetivas fontes de contaminação das águas.

Como se pode observar nos laudos de resultados de análises disponíveis, o ferro é o que se apresenta como o mais restritivo ao uso da água subterrânea.

Machado et al. (1984), estudando o aquífero relacionado à Formação Rio Bonito na região de Siderópolis, constatou que os poços afetados pelas lixiviações dos rejeitos piritosos podem apresentar água com péssima qualidade química. O pH neste caso pode baixar a 3,1, tornando a água extremamente ácida, permitindo a solubilização de diversos elementos nocivos à saúde. A oxidação da pirita adiciona à água maior quantidade de íons sulfato, transformando os tipos químicos bicarbonatados em sulfatados cálcicos. A dureza é elevada nas áreas contaminadas, do mesmo modo que o teor total de sais dissolvidos, que pode chegar a valores próximos a 6 mg/l. A presença de teores de ferro de até 700 mg/l e a concentração de metais pesados não permite a utilização desta água para qualquer fim. Machado (no prelo) elaborou o Mapa Hidrogeológico da Folha de Criciúma escala 1:250.000, como parte integrante do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos - PLGB. O referido autor afirma que as águas subterrâneas relacionadas à Formação Rio Bonito são bicarbonatadas cálcicas, com pH predominantemente alcalino entre 7,1 e 7,8. O total de sais dissolvidos varia entre 60 e 497 mg/l, e as águas em geral são moles a moderadamente duras. O teor de ferro varia entre 0,05 até 1,4 mg/l, tornando necessário o tratamento para utilização para fins de abastecimento público.

2.2.4 Potencialidade Aquífera

Para se estabelecer um cálculo, mesmo que teórico, a respeito da quantidade de água disponível para captação nesta unidade geológica, há que se levar em conta, além da vazão específica, área e espessura da camada arenosa saturada, outros fatores importantes como: área total minerada a céu aberto e subsuperfície, área total coberta por rejeitos piritosos, posicionamento das pilhas de rejeito com relação ao aquífero, etc. Ter-se-ia que conhecer, também, a extensão e profundidade da cunha poluidora, oriunda das pilhas de rejeito ou áreas mineradas com relação ao aquífero (camadas arenosas da Formação Rio Bonito). Para tanto, seria necessário um estudo detalhado, utilizando-se métodos geofísicos e realizando monitoramento com piezômetros, além de um estudo detalhado a respeito do comportamento geológico-estrutural das camadas arenosas, pois os furos de sonda para carvão indicam, claramente, que ocorrem freqüentes falhas geológicas que seccionam toda a região, provocando um basculamento de blocos.

Ainda com relação ao comportamento geológico-estrutural das camadas, os mapas de contorno estrutural da camada de carvão Barro Branco, Krebs et al. (1982), demonstram, claramente, que, em áreas pequenas, tais como Mina Fontanella e

Esperança, Mina B, Verdinho e Forquilha, ocorrem variações de atitude das camadas que, em alguns casos, provocam inversão total de mergulho. O desconhecimento deste fato pode levar a erros grosseiros na interpretação do fluxo das águas subterrâneas.

Pelo exposto, constata-se que é bastante difícil estabelecer-se uma avaliação precisa a respeito da potencialidade aquífera e qualidade das águas contidas na Formação Rio Bonito.

De qualquer forma, desconsiderando os fatores citados e, somente a título de exercício de cálculo, far-se-á uma avaliação hipotética da quantidade de água disponível para captação na referida Formação. Para tanto, considerar-se-á o método usado no oeste dos EUA por Cederstron (1964), que leva em consideração uma vazão específica, área e espessura das camadas saturadas. Utilizar-se-á uma vazão específica de 20 %, uma espessura de camada arenosa saturada de 20 m e uma área de 1ha, onde teremos: $10.000\text{m}^2 \times 20\text{m} \times 20\% = 40.000\text{ m}^3$. Considerando-se, agora, a área compreendida desde Capivara Alta, bem ao norte de Lauro Müller, até Santana, tem-se uma área de 8.000ha, onde aquífero Rio Bonito pode estar contaminado por atividades de mineração e beneficiamento de carvão, o que representa em volume de água disponível = $8.000 \times 10.000\text{ m}^2 \times 20\% = 320.000.000\text{ m}^3$ de água. Nesta mesma região teremos outras áreas onde, certamente, o aquífero não estaria contaminado, situadas na encostas inferiores dos platôs, junto à montante do Rio Capivara Alta e Rio da Vaca, até o alto curso do Rio do Rastro, com 3.025 ha, além de outras áreas pequenas junto ao alto curso do Rio Bonito, com 300 ha, o que corresponde a: $3.025 \times 10.000\text{ m}^2 \times 20\% = 121.000.000\text{ m}^3$; $300 \times 10.000\text{ m}^2 \times 20\% = 12.000.000\text{ m}^3$ de água disponível, respectivamente.

Na região próxima a Santana, devido à intensa atividade de mineração de carvão, esse aquífero estaria praticamente todo comprometido, com exceção de uma pequena área com 360 ha, situada à montante das pilhas de rejeito, que corresponde a: $360 \times 10.000\text{ m}^2 \times 20\% = 14.400.000\text{ m}^3$ de água.

2.3 UNIDADE AQUÍFERA POROSA RELACIONADA ÀS FORMAÇÕES PALERMO, IRATI, SERRA ALTA, TEREZINA, RIO DO RASTO E BOTUCATU

Praticamente todas as formações citadas são constituídas, predominantemente, por rochas pelíticas, com poucas intercalações de rochas areníticas. Litologicamente, apresentam intercalações rítmicas de siltitos e folhelhos, laminados e finos, de cores variáveis, em tons cinza-claro, cinza-escuro e avermelhado. Estas rochas são pouco permeáveis e, portanto, possuem baixa capacidade de transmissividade. Intercalam camadas de siltito arenoso e arenitos finos, cinza-claro, quartzosos, com grãos arredondados. Geralmente possuem cimento silicoso ou carbonático. Essas camadas arenosas possuem espessura muito variável, mas, de uma maneira geral, verifica-se que há uma maior percentagem de areia na base da Formação Palermo (Fase inicial da Transgressão Marinha) e no topo da Formação Rio do Rasto (Fase Progradante), onde se pôde verificar, nitidamente, nos perfis de sondagem para carvão, que há uma intercalação areia fina + silte, com iguais percentagens. Da base para o topo, começa a aumentar a fração argilosa e, portanto, as condições de armazenamento de água diminuem.

A Formação Botucatu, embora constitua o mais importante aquífero poroso existente nas rochas sedimentares da Bacia do Paraná, aqui na área estudada, pelo fato de aflorar na encosta superior dos platôs, atua somente como área de recarga para os aquíferos subjacentes à Formação Rio Bonito.

2.3.1 Distribuição e Caracterização Hidrológica

Este sistema aquífero é constituído por um pacote de rochas sedimentares predominantemente argilosas cuja espessura alcança 500 m, que afloram de maneira contínua na porção oeste e noroeste da área junto às encostas dos platôs

gonduânicos, entre as cotas 250m (base da Formação Palermo), até a cota 750m (topo da Formação Botucatu).

Os estudos realizados indicam que as camadas possuem geometria tabular, com estruturação interna constituída principalmente por laminação plano-paralela ou lenticular (Formações Irati, Terezina, Serra Alta e Rio do Rasto), laminação plano-paralela, ondulada e microcruzada (Formação Palermo) e estratificação cruzada de médio e grande porte (Formação Botucatu e topo da Formação Rio do Rasto).

Pelo fato de este espesso pacote sedimentar aflorar nas encostas dos platôs, onde o relevo é forte ondulado, com declividades variáveis de 30 a mais que 100, o regime de fluxo é livre ou semi-confinado, quando estas rochas sedimentares são seccionadas por diques ou sills de diabásio e as velocidades de circulação são altas. O modelo hidrogeológico estabelecido a partir do traçado das linhas de fluxo e das informações geológicas e geomorfológicas indicam que este pacote rochoso atua, principalmente, como área de recarga para as unidades aquíferas sotopostas.

Localmente, onde o condicionamento geológico/geomorfológico é favorável, atuam como unidades aquíferas. Este é o caso da Formação Palermo, nas proximidades da cidade de Guatá e ao longo do Rio Laranjeiras, onde aflora nos vales e possui eficiente área de recarga. Também é o caso da Formação Rio do Rasto na região situada a norte de Aiurê, onde aflora o terço superior (porção predominantemente arenosa) da referida formação.

2.3.2 Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação

Poucas informações se dispõem a respeito deste sistema aquífero. O trabalho de cadastramento permitiu verificar que, na área desta bacia, não ocorre nenhum poço que capte água unicamente destas formações geológicas. De qualquer forma, se considerarmos os trabalhos desenvolvidos na Bacia do Araranguá SDM/UNESC/CPRM (1997), onde ocorrem vários poços que captam água exclusivamente desse sistema (Município de Jacinto Machado, Meleiro e Forquilha), pode-se admitir que a vulnerabilidade natural é moderada a baixa.

Se considerarmos o Mapa de Potencial Hidrogeológico (Anexo I), verifica-se que na região de Guatá, Palermo e Rio Bonito, onde afloram litologias da porção inferior da Formação Palermo (intervalo aquífero), a vulnerabilidade é alta. O risco de contaminação também é alto devido às atividades de mineração e beneficiamento de carvão que são desenvolvidas com muita frequência em toda aquela porção da bacia. Há vários locais onde existem enormes cortes no maciço rochoso resultantes da mineração a céu aberto. Estas cicatrizes são caminhos preferenciais para que os elementos contaminantes provenientes da lixiviação do material piritoso alcance a seqüência arenosa (intervalo aquífero) da base da Formação Palermo.

Em todos os aluviais locais da bacia, a vulnerabilidade e o risco de contaminação são baixos, pelo fato de os intervalos aquíferos estarem capeados por espessos pacotes de rochas pelíticas pouco permeáveis, bem como pelo fato de não ocorrer nenhuma fonte de poluição significativa.

2.3.3 Aspectos Qualitativos

A inexistência de poços neste sistema aquífero dificulta a avaliação da qualidade das águas.

Se considerarmos a natureza geológica dos litotipos desta formação, pode-se tecer algumas considerações. Desta forma, admite-se que as seqüências arenosas da base da Formação Palermo sejam muito semelhantes às águas da Formação Rio Bonito, isto é, bicarbonatadas cálcicas, com pH predominantemente alcalino, com total de sais dissolvidos variável de 60 a > 400mg/l e, portanto, tratam-se de águas moles a moderadamente duras. Nas proximidades das áreas mineradas para carvão, devido à existência das pilhas de rejeito, as águas possuem pH muito baixo e alta concentração de Fe e Mn. Também ocorrem concentrações elevadas de alguns metais como alumínio, zinco, arsênico e chumbo.

As litologias arenosas relacionadas às Formações Serra Alta e Rio do Rasto estão em cotas muito superiores à linha de afloramento de carvão e, portanto, poupadas desta fonte de poluição. Também situam-se em áreas com características predominantemente rurais, não sendo influenciadas pelas fontes de poluição relacionadas à disposição de resíduos industriais e domésticos ou expansão urbana e efluentes industriais e cloacais. Por ocorrerem em áreas de encostas, com relevo forte ondulado, também ocorrem poucas atividades agrícolas. Desta forma, devido principalmente à influência das precipitações, as águas destas duas formações geológicas devem apresentar fraca mineralização.

A predominância de folhelhos pirobotuminosos e calcáreos impuros da Formação Irati proporciona a presença de água com problemas de dureza, presença de teores de ferro acima dos valores permissíveis e cheiro acentuado de óleos.

2.3.4 Potencialidade Aqüífera

Este sistema aqüífero é muito pouco utilizado nesta bacia hidrográfica.

Quase todas as áreas aqüíferas (Terço inferior da Formação Palermo e Terço superior da Formação Rio do Rasto) situam-se em zonas rurais, onde existe abundância de águas superficiais. Os recursos disponibilizados relacionam-se a fontes geralmente com pequena potencialidade aqüífera, que ocorrem nas encostas dos platôs gonduânicos e que servem para abastecer as comunidades rurais.

Com relação à Formação Palermo, se considerarmos a região situada próximo a Rio Bonito e Guatá, onde a formação possui condições hidrogeológicas favoráveis, pode-se realizar uma avaliação da quantidade de água disponível. Para o cálculo, considerar-se-á uma vazão específica, semelhante àquela considerada para as camadas arenosas da Formação Rio Bonito, ou seja, 20%. O perfil litológico das sondagens realizadas para carvão naquela região, indica que a soma dos intervalos arenosos do Terço Superior da Formação Palermo tem, em média, a espessura de 20 m. Porém, para o cálculo, considerar-se-ão somente 5 m, (como camada saturada). Desta forma, para uma área de 1 ha ter-se-ia: $10.000 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m} \times 20\% : 5.000 \text{ m}^3$. Considerando que a área aqüífera relacionada à Formação Palermo tenha 500 ha, teríamos: $500 \times 500 : 2.500.000 \text{ m}^3$.

Com relação aos intervalos aqüíferos (relacionados à Formação Rio do Rasto), a leitura do Mapa de Potencial Hidrogeológico indica que a área mais favorável situa-se na região correspondente ao alto curso do Rio Laranjeiras e possui aproximadamente 700 ha. Sabe-se que no Rio Grande do Sul, o Terço Superior da Formação Rio do Rasto comporta-se como excelente área aqüífera. Os perfis litológicos de sondagens executados para carvão na região de Jacinto Machado, Araranguá, Turvo e Meleiro, indicam que a soma dos intervalos arenosos do topo da referida formação é superior a 30 m. Porém, para efeito de cálculo, considerar-se-á somente 10. Como vazão específica, considerar-se-á 20% (semelhante aos arenitos da Formação Rio Bonito). Desta forma, para área de 1 ha, ter-se-ia: $10.000 \text{ m}^2 \times 10 \text{ m} \times 20\% : 20.000 \text{ m}^3$. Para a área total 700 ha ter-se-ia: $700 \times 20.000 : 14.000.000 \text{ m}^3$.

As demais formações deste sistema aqüífero atuam, principalmente, como áreas de recarga para os aqüíferos subjacentes.