

Volume 5

Análise Quantitativa

FIGURA 1: Coluna estratigráfica da Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão

Unidades Cronoestratigráficas		Convenções e Unidades Litoestratigráficas		Descrição Litológica	
Cenozóico	Quaternário	Holoceno	Qa	Depósitos aluviais	Depósito argilo-arenosos ou conglomeráticos correspondentes aos terraços e planícies aluviais atuais dos principais cursos d'água.
			Qf	Depósitos de Tálus	Depósito de material heterogêneo, relacionado a processos gravitacionais.
			Qdl	Fáceis Fluvio-Delta-Lagunares	Engloba um conjunto de sedimentos arenosos, areno-argilosos ou argilosos, depositados por processos fluviais, deltáicos ou lagunares que se interdigitam na porção do delta do Rio Tubarão.
			Qp	Sistema Laguna Barreira IV Fáceis Paludais	Correspondem às turfeiras ou depósitos de lamas ricas em matéria orgânica, relacionados a ambientes lagunares.
			Qem	Fáceis Eólicas Fáceis Arenosa de Praia Lagunar Fáceis Praiais Marinhas	Areias quartzosas finas a muito finas cor cinza-claro, bem selecionadas. No caso das fácies eólicas verificam-se bimodalidade. As areias dos depósitos praiiais lagunares são geralmente amareladas, moderadamente selecionadas.
	Terciário/Quaternário (Plioceno ao Holoceno)	Pleistoceno Superior	Qlb	Sistema Laguna Barreira III Fáceis Eólicas Fáceis Praiais Marinhas	Areias finas a muito finas, amarelo-acastanhadas com cimento ferruginoso. Os grãos são arredondados ou subarredondados, essencialmente quartzosos apresentam estratificação acanalada. Nas fácies marinhas ocorrem tubos fósseis.
			Qla	Fáceis Proximais	Correspondem aos primeiros leques aluviais. Na porção basal predominam depósitos conglomeráticos. No topo de Encostas predominam depósitos areno-conglomeráticos; areno-argilosos e argilosos.
	Mesozóico	Cretáceo Inferior	JKsg	Formação Serra Geral	Rochas vulcânicas básicas e intermediárias, de cor cinza escura preta equigranular fina a afanítica.
		Jurássico Superior	TRJb	Formação Botucatu	Arenitos finos a médios, cor avermelhada, com estratificação acanalada de grande porte. Na base intercala arenitos argilosos e lentes de argila.
		Triássico Inferior	Prr	Formação Rio do Rasto	Siltitos castanho-avermelhados, intercala arenitos finos bem selecionados de cor avermelhada.
		Pt	Formação	Siltitos e folhelhos cinza-escuros a	

Paleozóico	Permiano Superior		Teresina	pretos intercalados ritmicamente com arenitos siltíticos de cores claras. Intercala lâminas e lentes de calcário oolítico.
		Psa	Formação Serra Alta	Siltitos e folhelhos cinza-escuros a pretos com fraturas conchoidais e lentes e concreções calcíferas.
		Pi	Formação Irati	Siltitos e folhelhos cinza-escuros a pretos, folhelhos pirobetuminosos, lentes de calcário impuro na base.
	Permiano Inferior/Superior	Pp	Grupo Guatá	Formação Palermo
Prb		Formação Rio Bonito		É subdividida em Membro Triunfo (inferior); Paraguaçu (médio) e Siderópolis (superior). Litologicamente engloba espessos pacotes de arenitos cinza esbranquiçados a amarelados, finos, médios ou grossos, localmente conglomeráticos. Intercalam siltitos cinza e folhelhos carbonosos escuros e várias camadas e leitos de carvão.
Permiano Inferior		Prs	Formação Rio do Sul	Depósitos fluvio-glácio-marinhos, constituídos por intercalações rítmicas de folhelhos e siltitos cinza-escuros com aspecto várvido. Ocorrem também arenitos finos cinza-esbranquiçados e arenitos arcoseanos conglomeráticos e diamectitos.
Proterozóico	Superior	Prgi	Granitóides Tardi/Pós Tectônicos	Incluem granitóides alcalinos e calcialcalinos, geralmente isotropos, granulação variando de fina até grossa, equigranular. Nos bordos pode haver orientação de fluxo magmático. Incluem vários termos regionais tais como Granito Serra do Tabuleiro, Granitóide Pedras Grandes.
	Inferior/Médio	PRgf	Granitóides Foliados Sintectônicos	Granitóides foliados de composição diversa, com características de injeção polifásica. Exibem estrutura planar fortemente orientada, com foliação milonítica de alto ângulo. Incluem vários termos regionais tais como Granito-Gnaiss Santa Rosa de Lima, Granito-Gnaiss Garopaba e Granitóide Paulo Lopes.

Atualmente, a CPRM está realizando o mapeamento geológico da Folha de Criciúma SH-22-X-B, escala 1:250.000 como parte integrante do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos - PLGB, de âmbito nacional. O referido mapeamento está sendo realizado pelos geólogos Marco Aurélio da Silva e Sérgio Reale Leite. A parte correspondente aos aspectos hidrogeológicos da área está a cargo do geólogo José Luiz Flores Machado. A geologia da região costeira foi baseada no trabalho de Caruso Jr. (1996), com algumas modificações.

Com o objetivo de definir as áreas de recarga, foram considerados os seguintes documentos: Mapa Geológico, Mapa de Solos, Mapa de Ocupação Atual do Solo, entre outros, obtidos através do Plano Básico de Desenvolvimento Econômico Ecológico - PBDEE - área da AMREC, desenvolvido pela UNESC (1997). Ainda para se definirem as áreas de recarga foram analisadas fotografias aéreas convencionais escala 1:60.000, datadas de 1976/78 obtidas na CPRM/PA.

Outro documento importante utilizado para a definição de áreas de recarga foi o Mapa Hipsométrico escala 1:100.000, elaborado pela UNISUL, durante o atual projeto.

No domínio das rochas cristalinas, graníticas ou basálticas, realizou-se uma

critérioria fotointerpretação. Inicialmente, foi traçada toda a rede de drenagem e, a seguir, os contatos geológicos, zonas de falhas, depósitos de tálus e aluviões. Também foram verificadas outras feições estruturais importantes no condicionamento da ocorrência e fluxo das águas subterrâneas, tais como: individualização das zonas de granitos folhados, diques e sistemas de fraturas.

Sabe-se que a pesquisa de água subterrânea em terrenos cristalinos está intimamente relacionada às principais zonas de fraturamento presentes, bem como à espessura do manto de intemperismo. Por este motivo, foram interpretadas também imagens do satélite LANDSAT TM, escala 1:100.000, nos diversos canais obtidos em diferentes datas, disponíveis na CPRM/PA. Através da análise das referidas imagens, foi possível delimitar-se importante zona de cisalhamento que secciona toda a área desta bacia hidrográfica no sentido norte-sul, bem como identificarem-se os locais onde ocorre a intersecção de diferentes sistemas de falhas.

Para delimitação das zonas, onde estas rochas graníticas apresentam manto de alteração mais profundo, correlacionou-se o mapa de fraturas (obtido a partir das imagens) com o mapa geológico e o mapa hipsométrico. Através desta correlação, foram individualizados, dentro do domínio das rochas graníticas, vários locais situados entre as cotas 200 e 400, que apresentavam indícios de conterem um manto de alteração espesso. Após algumas verificações de campo, delimitaram-se as áreas onde se constataram as maiores espessuras do manto de intemperismo e, conseqüentemente, maiores possibilidades de armazenamento de água.

A integração das informações, obtidas através dos laudos técnicos, boletins de campo dos poços cadastrados, resultados de análises, perfis litológicos, bem como informações obtidas através da leitura dos diferentes mapas temáticos, fotografias aéreas e imagens de satélites e ainda as informações obtidas através dos reconhecimento de campo executados no atual projeto, permitiram a avaliação do potencial hidrogeológico da área, bem como permitiram tecer considerações a respeito da vulnerabilidade, riscos da contaminação, qualidade das águas e disponibilidade de cada unidade aquífera.

Para a avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas, considerou-se a vulnerabilidade de cada aquífero e a carga contaminante potencial que atua sobre o mesmo.

Como vulnerabilidade, conforme Foster (1987), entende-se a maior ou menor suscetibilidade à contaminação do material de subsuperfície a um evento contaminador. Partindo-se deste princípio, pode haver alguns casos em que o aquífero apresenta alta vulnerabilidade, sem riscos de contaminação, pela ausência de carga significativa e vice-versa.

Como riscos de contaminação, de acordo com Foster (op cit), entende-se a probabilidade de as águas subterrâneas serem contaminadas com concentrações acima dos padrões recomendados pela OMS para a qualidade da água para consumo humano. A conversão do risco, em uma séria ameaça à qualidade do abastecimento por fontes de água subterrânea dependerá, da modalidade dos contaminantes no próprio aquífero.

A atividade humana em superfície pode alterar e introduzir novos mecanismos de recarga ao aquífero, modificando a taxa, a freqüência e a qualidade das águas subterrâneas. Em muitos casos, o fluxo das águas subterrâneas e o transporte de contaminantes até o nível freático tendem a ser um processo lento em muitos aquíferos, dispendendo anos ou séculos até que atinjam um poço em exploração.

Pelo exposto, deve-se dar muita atenção à carga contaminante gerada por atividades humanas em superfície. Mesmo que haja uma grande variedade, observa-se que somente algumas delas são responsáveis pelo risco máximo de contaminação das águas subterrâneas. Na área da Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão, ocorrem diferentes tipos de fonte de contaminação. O cadastramento de fontes de poluição, elaborado neste projeto, indica que as fontes de poluição mais efetivas com relação aos recursos hídricos relacionam-se às atividades de lavra e beneficiamento de carvão. Também possuem alto potencial poluidor as indústrias cerâmicas, colorifícios ou fritas metálicas, indústrias de fundição, metal-mecânicas, com tratamento químico superficial e/ou galvanotérmico, curtumes, pocilgas, indústrias químicas, disposição

de resíduos urbanos, hospitalares e industriais.

Do ponto de vista hidrogeológico, a qualidade da água subterrânea é tão importante quanto o aspecto quantitativo, porque a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para determinados tipos de uso depende fundamentalmente da qualidade físico-química biológica e radiológica. A qualidade da água é definida por sua composição e pelo conhecimento dos efeitos que podem causar os seus constituintes. O conjunto de todos os elementos que a compõem permite estabelecer padrões da qualidade da água, classificando-a de acordo com seus limites estudados e seus usos para o consumo humano, agrícola e industrial. Neste trabalho são apresentados tópicos relacionados ao estudo hidrogeoquímico, objetivando identificar e qualificar as principais propriedades e constituintes químicos das águas desta bacia.

A avaliação das reservas de água subterrânea é um assunto bastante controverso, principalmente quando se estende à conceituação de potencialidade e disponibilidade, que são termos aplicados especialmente à oferta da água. De acordo com o trabalho Hidrologia Conceitos e Aplicação, publicado pela CPRM em 1997, como potencialidade define-se o volume total acumulado na zona de saturação e sujeito à extração. Equivale, na prática, às reservas totais dos aquíferos. A disponibilidade significa o volume que pode ser extraído sem risco de exaustão do aquífero. Contempla várias alternativas em função dos diferentes níveis de segurança, quer do aquífero, quer do sistema hídrico superficial e, ainda, das obras de captação existentes no aquífero. Assim, podem ser distinguidos vários termos, tais como:

- Disponibilidade real: volume total que pode ser utilizado do aquífero, de forma não-depletiva (usando-se apenas as reservas reguladoras) ou depletivas, quando da possibilidade de que as parcelas utilizadas das reservas permanentes venham a ser repostas a longo prazo.
- Disponibilidade instalada: corresponde ao volume máximo que se pode obter das obras de captação já existentes, operando no seu limite máximo de exploração permissível, em regime de 24/24 horas, desde que não venha a comprometer as reservas permanentes. No presente trabalho, considerou-se este caso para a definição da disponibilidade relacionada aos poços tubulares e ponteiros cadastrados.
- Para se ter uma idéia da potencialidade de cada sistema aquífero, realizou-se um cálculo das reservas. Para tanto, utilizou-se o método proposto por Cederstron (1964), que considera os valores de vazão específica e espessura da camada saturada. Ressaltamos que os valores obtidos necessitam, ainda, uma confirmação mais apurada, e, portanto, não são suficientes para embasar projetos de captação.

2. CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES AQUÍFERAS

Na área correspondente à bacia hidrográfica do Rio Tubarão, ocorrem dois tipos de aquíferos, relacionados, geneticamente, aos diferentes tipos de rochas e sedimentos aí presentes. As rochas cristalinas, graníticas ou basálticas, constituem os aquíferos do tipo fraturado, e as rochas sedimentares gonduânicas e os sedimentos quaternários constituem os aquíferos do tipo poroso.

Estes dois tipos foram subdivididos em unidades aquíferas de acordo com o tipo de rocha e a estrutura aberta em que ocorrem.

As unidades geológicas cartografadas foram analisadas e hierarquizadas quanto à sua maior ou menor capacidade de armazenamento de água. No domínio das rochas sedimentares (Formações Rio do Sul, Rio Bonito, Palermo, Irati, Terezina, Serra Alta, Rio do Rasto e Botucatu), bem como sedimentos quaternários (Depósitos de Barreira III, Depósitos de Barreira IV, Depósitos Flúvio-deltaico-lagunares, Depósitos Paludais, Depósitos Aluviais e Depósitos de Encostas), o armazenamento é controlado pelo maior ou menor grau de permeabilidade das rochas ou sedimentos. Neste sentido, quanto mais arenosa (mais porosa) for a rocha, maiores condições de

armazenamento ela terá. No caso das rochas cristalinas, o armazenamento é controlado pelas fraturas. Desta forma, quanto mais fraturada a região, maior a possibilidade de ocorrência de água subterrânea ela terá.

A leitura do mapa geomorfológico escala 1:100.000 (IBGE 1986) mostra que a área desta bacia hidrográfica é constituída por diferentes compartimentos geomorfológicos. A oeste e noroeste situam-se os platôs gonduânicos, onde ocorrem cotas superiores a 1400m. As encostas são abruptas e apresentam belas exposições de todas as unidades geológicas que constituem a seqüência gonduânica da borda leste da Bacia do Paraná. Na porção central, norte e leste ocorrem rochas cristalinas que apresentam formas de relevo ondulada a forte ondulada, constituídas por morros alongados ou arredondados, com encostas de forma geralmente convexa e declividades variáveis de 30% a >100%. A região costeira corresponde a uma imensa planície preenchida por sedimentos quaternários de origem marinha e continental. Nesta região litorânea verificam-se alguns morros constituídos por rochas graníticas cercados por depósitos marinhos costeiros.

A análise dos mapas geológico e geomorfológico e das cartas topográficas planialtimétricas escala 1:50.000 do IBGE, mostram claramente que as águas subterrâneas movem-se das porções norte e noroeste (área de reabastecimento junto aos morros graníticos e bordas dos platôs gonduânicos, respectivamente), para este (área de descarga junto à faixa litorânea), isto é, no sentido do declive hidráulico. Este fato evidencia que os depósitos quaternários atuam como uma imensa área de descarga onde devem ocorrer vazões expressivas.

Os estudos realizados permitiram a identificação de 11 diferentes unidades aquíferas, sendo 3 relacionadas às rochas sedimentares gonduânicas, 5 aos sedimentos quaternários e 3 relacionadas às rochas cristalinas graníticas ou basálticas. As unidades aquíferas individualizadas foram:

- Aquíferos Porosos Confinados ou Semi-confinados, relacionados à Formação Rio do Sul;
- Aquíferos Porosos Confinados ou Semi-confinados, relacionados à Formação Rio Bonito;
- Aquíferos Porosos Confinados, relacionados às Formações Palermo, Irati, Serra Alta, Terezina, Rio do Rasto e Botucatu;
- Aquíferos Porosos Livres, relacionados aos Depósitos de Laguna Barreira III;
- Aquíferos Porosos Livres, relacionados aos Depósitos de Laguna Barreira IV;
- Aquíferos Porosos Livres ou Semi-confinados, relacionados aos Depósitos Flúvio-Deltaico-Lagunares;
- Aquíferos Porosos Livres ou Semi-confinados relacionados aos Depósitos Paludais;
- Aquíferos Porosos Livres, relacionados aos Depósitos Aluviais, Coluviais e de Encostas (Tálus);
- Aquíferos Fraturados Confinados ou Semi-confinados, relacionados aos Granitóides Foliados;
- Aquíferos Fraturados Confinados ou Semi-confinados, relacionados aos Granitóides Isótopos;
- Aquíferos Fraturados Confinados ou Semi-confinados relacionados às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

2.1 AQUÍFEROS POROSOS RELACIONADOS À FORMAÇÃO RIO DO SUL

Pelo fato de as rochas sedimentares da Formação Rio do Sul possuírem ampla distribuição em área e conterem espessos pacotes de camadas predominantemente arenosas, como ficou evidenciado através da análise dos perfis litológicos de sondagens para carvão (PB-18; PB-15; PB-16; PB-25 e PB-11), considerou-se, no presente trabalho, uma unidade aquífera relacionada geneticamente às camadas arenosas ou areno-conglomeráticas que ocorrem principalmente na porção superior desta formação.

2.1.1 Distribuição e Caracterização Hidrogeológica

As litologias da Formação Rio do Sul afloram continuamente a partir da porção oeste na localidade de Rio Maior, até o extremo noroeste da área, junto ao alto curso do Rio dos Bugres. Ocorre de maneira isolada, capeando morros graníticos, próximo às cidades de Treze de Maio, São Ludgero, Grão-Pará, Rio Fortuna e Santa Rosa de Lima. Ocorre, também, constituindo calha no fundo dos vales, como pode-se verificar no Rio Aratingaúba, próximo a São Bonifácio e Anitápolis.

O Mapa de Isópacas da Formação Rio do Sul (Fabrício, 1973) mostra que a referida formação apresenta uma espessa calha que se alonga desde a localidade de Barro Branco até o Rio Oratório. As sondagens realizadas na região carbonífera demonstram claramente que esta formação ocorre preenchendo paleovales relacionados às rochas graníticas. Mostram também que, na base, geralmente ocorre uma seqüência constituída por diamectitos de cor cinza, com matriz arenosa mal classificada na qual estão imersos caoticamente grânulos, seixos e raros blocos de até 10 cm de diâmetro e de composição granítica. Acima geralmente ocorre um arenito cinza-esbranquiçado de granulometria fina a média, quartzo-feldspático, poroso e permeável. Na porção média e superior desta formação, ocorre uma sucessão de folhelhos e argilitos cinza-escuros, várvidos, onde são freqüentes seixos pingados. Em menor proporção, ocorrem arenitos finos, com laminação plano-paralela ou acanalada.

2.1.2 Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação

Este sistema aquífero possui vulnerabilidade natural variável de baixa até alta, dependendo dos intervalos litológicos e empilhamento estratigráfico que constituem a referida formação.

Na região próxima a Grão-Pará, onde a seqüência arenosa encontra-se à baixa profundidade e aflora em paleovales, a vulnerabilidade e o risco de contaminação são altos. Na região de Lauro Müller, pode-se constatar que ao longo da Rodovia SC-444, que interliga Orleans a Lauro Müller, afloram espessas camadas de arenitos finos, porosos e permeáveis que possuem alta vulnerabilidade. Nesta mesma região, na base da referida formação, também ocorre espessa seqüência constituída por intercalações da camada arenosas e areno-conglomeráticas. Neste caso, a vulnerabilidade é baixa, pelo fato de este intervalo aquífero ser protegido por uma espessa seqüência de rochas argilosas impermeáveis, com espessura superior a 100 m.

Esta seqüência basal constitui uma extensa calha que se prolonga desde Orleans, a sul, até a altura do Rio Oratório, a norte, identificada através da interpretação de perfis litológicos de sondagens executadas para carvão.

Com relação ao risco de contaminação, no entanto, constatou-se que ele é alto nas proximidades do Rio Tubarão (que secciona toda esta seqüência basal na região de Orleans). O poço (PO-64), localizado no Bairro União, em Orleans, com 100 m de profundidade, apresentou alto teor de Fe. Acredita-se que a contaminação esteja relacionada ao fato de o Rio Tubarão nesta porção da bacia ter caráter afluyente e, desta maneira, permitir que suas águas altamente comprometidas pelas atividades relacionadas à mineração e beneficiamento de carvão desenvolvidas à montante, atinjam o intervalo aquífero da base desta formação.

Nos locais fora da região carbonífera, onde esta formação ocorre em paleovales e é constituída por litologias arenosas ou siltico-arenosas, que apresentam nível d'água próximo à superfície, a vulnerabilidade é alta. Neste caso, o risco de contaminação também é grande, devido à facilidade com que os elementos contaminantes poderão alcançar os intervalos aquíferos.

Quando ocorre em costas mais elevadas, como é o caso da região próxima à Treze de Maio e Armazém, tanto a vulnerabilidade quanto o risco de contaminação são baixos.

2.1.3 Aspectos Qualitativos

As informações dos laudos de análise química das águas dos poços relacionados a esta formação mostram claramente que existem algumas restrições com relação à qualidade das águas.

As águas geralmente possuem pH que varia de 5,8 a 7,9. Os termos mais alcalinos relacionam-se às áreas situadas em paleovales. Os tipos químicos bicarbonatados cálcicos a mistos, com teores de sais dissolvidos entre 80 e 360 mg/l são predominantes. As águas são geralmente moles a moderadamente duras. Com relação aos teores de ferro, estes são muito variáveis, desde <0,15 mg/l até <6 mg/l, ficando a média acima de 0,5 mg/l, o que exige tratamento para diversos usos. Localmente, suas águas apresentam cheiro de gás sulfídrico.

2.1.4 Potencialidade Aqüífera

Devido às suas características litológicas e condicionamento hidrogeológico, o sistema aqüífero relacionado a esta formação possui potencialidade bastante variável na área desta bacia hidrográfica.

Do ponto de vista litológico, a análise dos diversos perfis de sondagens realizadas para carvão, bem como observações de campo realizadas ao longo da Rodovia SC-444, no trecho compreendido entre Orleans e Lauro Müller, permitem verificar que é no terço médio a inferior da referida formação que ocorrem as litologias predominantemente arenosas ou areno-conglomeráticas e, portanto, onde devem situarem-se os intervalos aqüíferos com maior potencialidade.

Por outro lado, há que se considerar, também, o condicionamento hidrogeológico, porque os trabalhos de campo mostraram claramente que nem todo local onde ocorrem litologias areno-conglomeráticas da base desta formação, atuam como áreas aqüíferas. O que realmente condiciona a capacidade aqüífera é a eficiência de suas áreas de recarga. Desta forma, quando a referida formação ocorre em paleovales encaixados, capeando rochas graníticas impermeáveis, atua como área de descarga com alta potencialidade aqüífera e com nível estático raso, em alguns casos surgente.

Quanto à disponibilidade, sabe-se que este sistema aqüífero tem comportamento semelhante àquele da formação Rio Bonito e, portanto, para cálculo de reservas, pode-se usar o mesmo valor de vazão específico da referida formação (20%). Os perfis litológicos de sondagens realizadas para carvão, bem como os laudos técnicos e boletins de campo dos poços cadastrados mostram que esta formação possui aqüíferos múltiplos relacionados a diferentes intervalos estratigráficos situados em seu terço médio e superior. A soma dos intervalos arenosos ou areno-conglomeráticos apresenta em média valores em torno de 60m. Porém, para efeito de cálculo de reserva, considerar-se-á somente 10 m como camada saturada. Desta forma, para uma área de 1 ha, ter-se-ia: $10.000 \text{ m}^2 \times 10 \text{ m} \times 20\% = 20.000 \text{ m}^3$. Se se considerar a área compreendida entre Lauro Müller e Capivaras Alta (calha tectônica evidenciada pelas sondagens para carvão - Fabrício, op cit), que possui uma área de aproximadamente 2.000 há, ter-se-ia: $2.000 \times 20.000 \text{ m}^3 = 40.000.000 \text{ m}^3$. Considerando-se o paleovale situado próximo a Grão-Pará, onde estimou-se uma área aqüífera de 800 ha, ter-se-ia: $800 \times 20.000 = 16.000.000 \text{ m}^3$.