
Estudo Das Formas Cársticas Como Base Para O Gerenciamento Do Uso Do Manancial Subterrâneo na Região De Almirante Tamandaré E Rio Branco do Sul - PR

A study of the karstic forms in order to manage the use of the groundwater in the region of the municipalities of Almirante Tamandaré and Rio Branco do Sul - Parana State

*Rui da Silva**
*Chisato Oka-Fiori***

RESUMO

O presente trabalho objetivou a confecção de carta de formas cársticas da região de Colombo, Almirante Tamandaré, Rio Branco do Sul e Itaperuçu, como base para o gerenciamento do uso de manancial subterrâneo. A área de estudo está localizada na porção norte da Região Metropolitana de Curitiba, entre os paralelos 25°12'32"S e 25°20'24"S e entre longitudes 49°15'00"W e 49°22'30"W. Através de fotointerpretação e subsequente controle de campo foi confeccionado um mapa detalhado das diferentes formas cársticas e após, levando-se em conta os conhecimentos geológicos e hidrológicos da área, foi feita uma avaliação do potencial do manancial subterrâneo.

Do ponto de vista hidrogeológico, o reconhecimento de estruturas geológicas é de fundamental importância, uma vez que desempenham papel preponderante na recarga e na evolução do aquífero cárstico. Da mesma forma, a morfologia da área facilita a exploração do manancial subterrâneo, podendo o transporte da água para áreas de consumo ser feito através de adutoras, unicamente por meio da força de gravidade.

A existência das formas cársticas da área de estudo está relacionada à presença de espessas camadas carbonatadas no Grupo Açungui, tratando-se de mármore do tipo calcítico ou dolomítico. O alto grau de dissolução das rochas carbonatadas é facilitado pelo alto índice de precipitação local, acima de 1400 mm que, aliado à densa rede de juntas e fraturas, possibilita o desenvolvimento de um grande número de sumidouros e ressurgências. Verifica-se na área a ocorrência de inúmeras fontes e poços surgentes naturais, indicando total saturação do aquífero como resultado de um superávit de infiltração, possibilitado pelo clima e litologia da região.

ABSTRACT

The present paper aims at producing a thematic map with geological karstic forms in the region of Colombo, Almirante Tamandaré, Rio Branco do Sul and Itaperuçu, as a basis for the management of groundwater use. The studied area is located in the northern part of the metropolitan area of Curitiba, from parallels of 25°12'32"S and 25°20'24"S to longitude of 49°15'00"W and 49°22'30"W. (figure 1 and figure 2)

By analysing the photointerpretation and field data, a detailed map has been produced with the different karstic forms and, through the knowledge of geology and hydrology of the area, an evaluation of the groundwater potentiality has been made (figure 3).

* Geógrafo da SANEPAR.

** Professora da Universidade Federal do Paraná.

From the hydrogeological point-of-view, the reconnaissance of geologic structures is great important, due to its influence to the recharge and the processes of karstic aquifer evolution. Also, the morphology of the area facilitates the groundwater exploitation, as water transportation to the consumption areas can be done in pipelines by gravity force.

The karstic's forms in the studied area is related to the existence of thick layers of carbonate rocks from Açungui Group, composed by marbles, calcites and dolomites. The high dissolution processes of carbonates rocks is facilitated by the local high indices precipitation, above 1400 mm, which combined with the dense net of joints and fractures, makes the development of great number of sinkholes and springs possible. The occurrence of various springs and surgent wells in the area, indicates the total saturation of the aquifer as a result infiltration superavit. This was possible due to the area climate and lithology.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho teve a finalidade de caracterizar as formas cársticas através do mapeamento geomorfológico aliado ao conhecimento dos processos atuantes na superfície, identificando principalmente, os processos e os fatores naturais e antrópicos atuantes na área.

O estudo das formas cársticas é importante como base para o gerenciamento do uso do manancial subterrâneo na região de Colombo e Almirante Tamandaré, Rio Branco do Sul e Itaperuçu.

Através da fotointerpretação geomorfológica, foram confeccionados mapas detalhados das diferentes formas cársticas, de relevo e da rede de drenagem que, aliados aos conhecimentos geológicos, mostraram a influência da litologia, da estrutura e do clima no modelado cárstico da área.

A área do presente estudo está localizada na porção norte da Região Metropolitana de Curitiba, compreendendo uma área aproximada de 158,3 km², disposta entre os paralelos de latitudes 25°12'32" e 25°20'24" Sul, e entre longitudes 49°15'00" e 49°22'30" Oeste (figura 1).

CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA

A morfologia representada por *hog backs*, e disposta segundo as direções gerais do dobramento, é desenvolvida em quartzitos, graças a sua maior resistência aos agentes de intemperismo e erosão. Em oposição, nas rochas calcárias, a topografia é rebaixada com formas cársticas bem caracterizadas, sendo notável a quantidade de dolinas, sumidouros, ouvalas e cavernas, principalmente nas Formações Capirú e Votuverava. A morfologia da área, contrariamente ao que acontece nas regiões onde afloram as outras formações do Grupo Açungui, é suave, salientando-se apenas localmente, pequenas elevações rochosas com feições cársticas. Os pontos culminantes do Grupo Açungui, no âmbito da área mapeada, estão via de regra, condicionados aos quartzitos.

Localizada na região metropolitana de Curitiba, a área pesquisada é muito afetada por atividades antrópicas. A modificação da paisagem pelo homem é fato destacado, onde o desmatamento indiscriminado da mata nativa reduziu-a a pequenas porções isoladas. Atualmente predominam os reflorestamentos com bracinga, que são cortados periodicamente para alimentar fornos de cal para o fabrico de carvão vegetal e, ocasionalmente, para a construção de pequenas casas. A prática de atear-se fogo ao mato, para posterior cultivo da terra, é costumeira na região.

A atividade mineira é outro agente modificador da paisagem, principalmente a de extração dos mármore, muitas vezes predatória, com uso de explosivos em zonas de tetos de cavernas. É também muito comum o represamento de rios para criação de peixes ou para o abastecimento de águas. Faz-se necessária a observação de que a condição de pobreza do homem na região é grande, pois a maioria depende das atividades mineiras ou da agricultura (na maior parte dos casos praticada apenas a de subsistência), prejudicada ainda mais pela pobreza do solo.

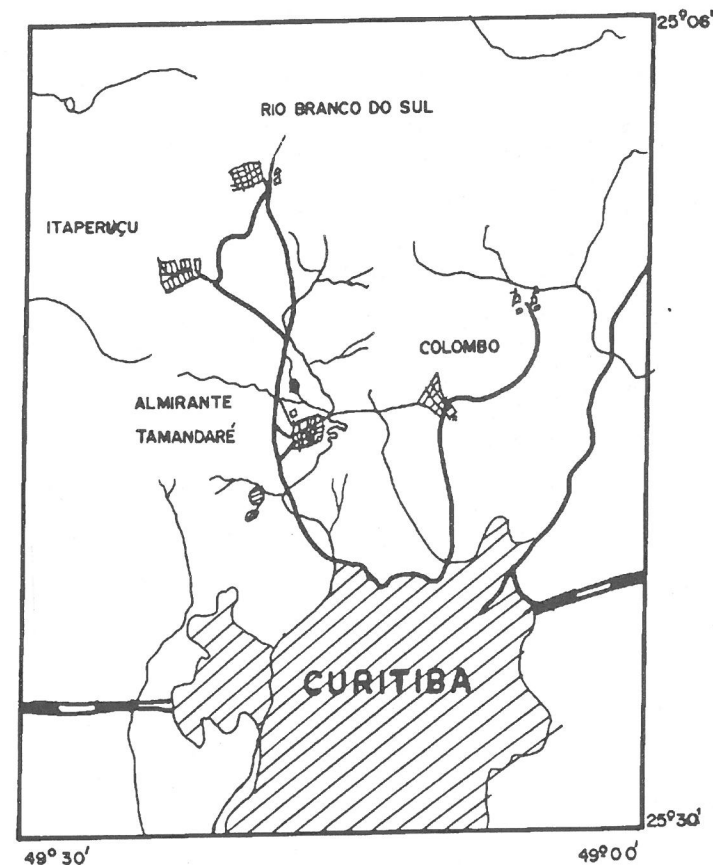


Fig. 1
Mapa de localização. A área de estudo está delimitada pelo quadrado. Location Map. The study area is delimited by square.

ASPECTOS GEOLÓGICOS DA ÁREA

A fisiografia da região aqui considerada, está de tal modo subordinada à estrutura geológica e à litologia do Grupo Açungui, que se torna imprescindível um apanhado de conjunto da geologia regional para a interpretação das formas de superfícies.

O Grupo Açungui, na proposição original de BIGARELLA e SALAMUNI (1958), é constituído pelas formações Setúva, Capirú e Votuverava. A primeira está situada na base do Grupo Açungui, aflorando numa estreita faixa, em torno do Anticlinal do Setúva ao norte de Bocaiuva do Sul, e no Núcleo Betara, a leste de Rio Branco do Sul, enquanto a Formação Votuverava está situada no topo do Grupo, aflorando a noroeste de Rio Branco do Sul. As Formações Capirú e Lancinha estão separadas pela Falha da Lancinha (figura 2). No noroeste da área, aparece uma pequena mancha da Formação Água Clara (MARINI, 1970).

Na presente área de estudo, ocorre somente a Formação Capirú, que segundo FIORI (1993, 1994), apresenta-se subdividida em três conjuntos litológicos distintos, denominados de Juruqui, Rio Branco e Morro Grande (figura 2). O conjunto Juruqui ocupa uma faixa relativamente estreita, que se estende de Bocaiuva do Sul até Bateias, bordejando todo o limite com o Embasamento Cristalino, sendo composto

MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA

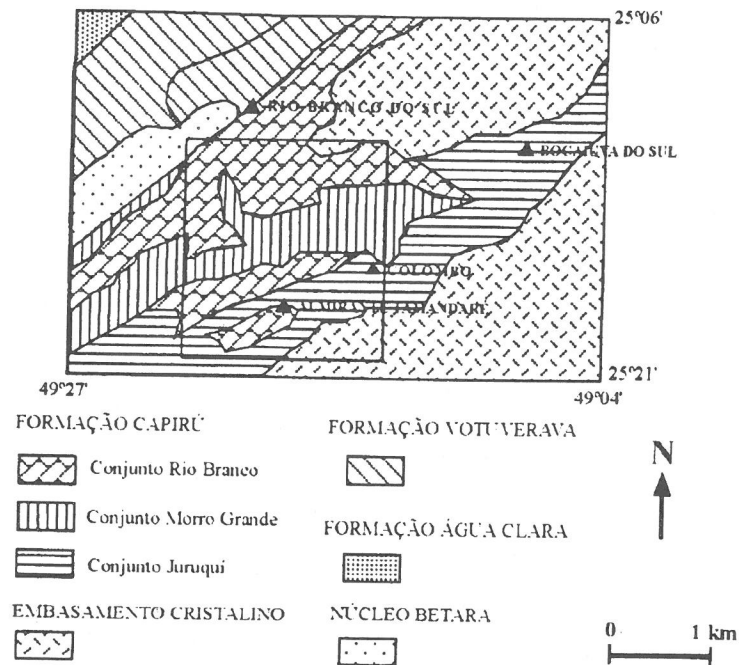


Fig. 2

Mapa geológico simplificado da região de Rio Branco do Sul, evidenciando as principais unidades litológicas presentes. A área de estudo é delimitada pelo quadrado. (Modificado de FIORI, 1994). *Geological map simplified of Rio Branco do Sul region, showing the principal lithological unity. The studied area is delimited by square. (Modified of FIORI, 1994).*

basicamente por filitos avermelhados, com freqüentes intercalações de quartzitos. O conjunto Rio Branco engloba os mármores e/ou metacalcários, com intercalações lenticulares de quartzitos e filitos. É o conjunto que apresenta maior extensão areal, e onde se desenvolve o carste, estando separado dos conjuntos Juruqui e Morro Grande através de falhas de cavalgamentos. Já o Conjunto Morro Grande ocorre em uma faixa que vai desde Bateias até a região de Morro Grande, a sudoeste de Bocaiúva do Sul, e caracteriza-se pela alternância de bancos ou camadas de quartzitos, filitos e mármores, com espessuras da ordem de dezenas de metros. Todos os conjuntos apresentam-se fraturados, falhados e dobrados. O grau de metamorfismo é baixo, mas o suficiente para gerar uma xistosidade de direção nordeste, em praticamente todas as rochas da Formação Capirú. Diques de diabásio de direção noroeste, seccionam toda a área de estudo, constituindo-se em barreiras para o fluxo da água subterrânea.

MAPEAMENTO DAS FORMAS CÁRSTICAS

A carta de formas cársticas foi elaborada a partir de dados obtidos através de fotografias aéreas pancromáticas nas escalas 1:8.000 e 1:25.000 (SILVA, 1991).

O relevo da área, de um modo geral, é muito dissecado, com predomínio de vertentes convexas no topo, retílineas na média encosta e côncavas na base. (OKA-FIORI, 1987)

As formas cársticas identificadas nas fotografias aéreas foram posteriormente controladas em trabalhos de campo, quando foram identificadas formas tais como dolinas, campo de sumidouros, fontes de águas minerais, ouvalas e cavernas (figura 3). Os dados de campo, foram por sua vez, plotados nas fotografias aéreas com o uso do estereoscópio de bolso e transferidos para a carta base na escala 1:20.000.

As dolinas, assim como as ouvalas, sumidouros e cavernas encontradas na área mapeada, estão localizadas sobre as lentes de rochas carbonáticas, mármore dolomítico e calcítico, com uma grande rede de diáclases e fissuras bem desenvolvidas, principalmente nas proximidades de intercalações de diques de diabásio e de cristas de quartzitos. Os vales nas lentes de rochas carbonáticas geralmente são em forma de "U", assimétrico e em calha, fato este devido ao alto grau de dissolução destas rochas sob a ação dos agentes climáticos. A área estudada apresenta um alto índice de precipitação local, acima de 1.400 mm.

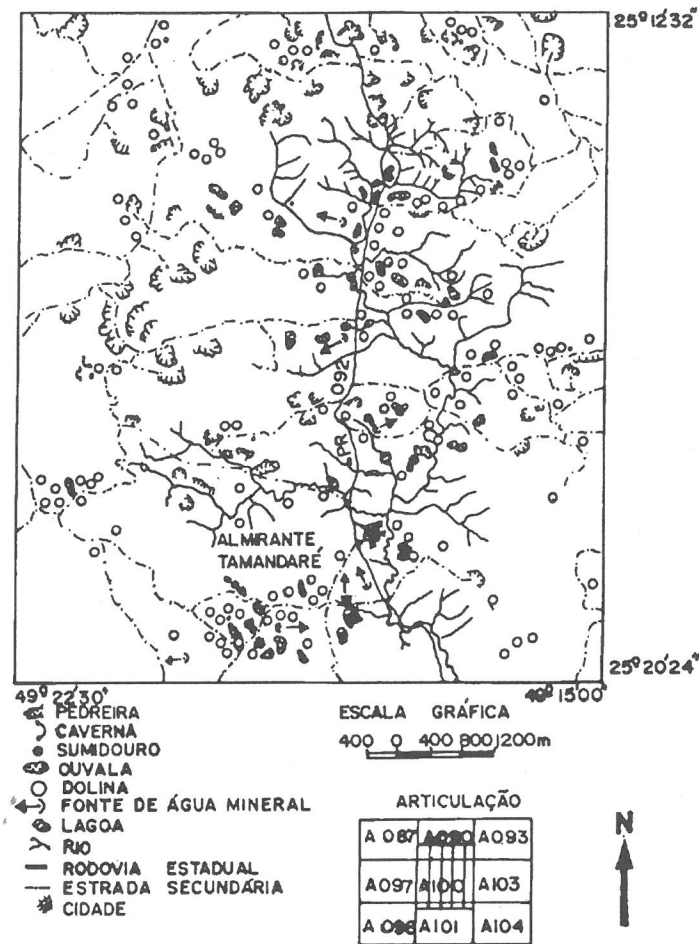


Fig. 3

Mapa de Formas Cársticas da região de Almirante Tamandaré, Rio Branco do Sul, Colombo e Itaperuçu, PR. (Mapa originalmente produzido na escala 1:20.000). *Map of karstic forms of Almirante Tamandaré, Rio Branco do Sul, Colombo and Itaperuçu Regions, Paraná state. (The map was originally produced at a scale 1:20.000).*

Muitas dolinas, comuns na área, e que se encontram bem configuradas nas fotografias aéreas, funcionam como pontos de ressurgência da vazão da água absorvida pelos sumidouros na mesma região, ressurgindo após dois ou três meses do término de um período de precipitação.

Localmente as formas cársticas estão condicionadas ao clima e às formas de relevo. Nos locais de ocorrência de dolinas, a infiltração de água é mais intensa devido às propriedades de dissolução, que somadas ao fraturamento das rochas carbonáticas, originam densas redes de drenagens subterrâneas e vazios de dissolução. Estas características de intemperismo químico de superfície e de subsuperfície, podem ocasionar desabamentos ou acomodações locais que, apesar de terem origem natural, são acelerados pelas ações antrópicas.

A constatação de fenômenos de desabamentos ou acomodações encontradas na área estão associados com as formas cársticas que se encontram com maior intensidade nas rochas carbonáticas caracterizadas por relevo suave a plano. Correspondem às áreas de maior dissolução, onde predominam os vales em forma de calha e em "U".

É muito comum a ocorrência de fontes de águas minerais na área, ocorrendo em abundância com vários pontos de ressurgência. As análises químicas da composição dessas águas realizadas no laboratório do Instituto Ambiental do Paraná (IAP) refletem o fenômeno da dissolução das rochas carbonatadas da região. Trata-se de águas alcalinas-terrosas cujo teor em cátions de cálcio e magnésio é aproximadamente equivalente, estando geneticamente relacionados com os dolomitos e calcários calcíticos sobre os quais têm surgência.

ASPECTOS HIDROLÓGICOS E QUALIFICAÇÃO HIDRÁULICA DO CARSTE

O Grupo Açungui, do ponto de vista litológico, é constituído por uma seqüência de filitos, quartzitos e mármore, apresentando seu armazenamento preferencialmente associado às rochas carbonatadas, do tipo "secundário", que segundo BIGARELLA, SALAMUNI e PINTO (1967), são formadas pela precipitação de carbonatos a partir das águas bicarbonatadas que percolaram através das rochas calcárias "primárias".

Os processos e formação da porosidade secundária dos mármore decorrem principalmente da dissolução dos mesmos, decorrente do intemperismo químico efetivado pela ação principalmente de ácidos orgânicos e gás carbônico dissolvidos na água. As estruturas de dissolução existentes são de tal porte que conferem altos valores de permeabilidade e porosidade. As demais litologias (quartzitos e filitos) por suas características de impermeabilidade, funcionam como aquícludes, confinando eventualmente os mármore.

As rochas carbonatadas com intercalações de filitos e cristas de quartzitos, da Formação Capiru (Conjunto Rio Branco) são cortadas por diques de diabásio, cujas características geológicas impedem a circulação das águas absorvidas pela rede de juntas e fraturas existentes.

Os mármore do Grupo Açungui são rochas carbonatadas cálcicas e/ou magnesianas, caracterizando mármore calcíticos até dolomíticos. A composição destas rochas, associada ao clima atual, favorece o processo de dissolução ao longo de zonas de fraturas e fendilhamentos, decorrentes da atuação de ácidos orgânicos fracos, oriundos principalmente da dissolução do CO₂ nas águas de percolação. Segundo CORBEL (1957) in HAULER (1986), uma rocha carbonática deve ter mais de 60% de calcita para sofrer o processo de carstificação.

O estabelecimento destes processos ocasiona um aumento substancial de porosidade e permeabilidade no aquífero, refletindo-se em capacidades específicas na ordem de 12 a 120 m³/h/m, e poços apresentando vazões superiores a 200 m³/h, na área pesquisada (SANEPAR, 1995). Valores obtidos de poços tubulares na região caracterizam capacidades específicas superiores a 30 m³/h/m, qualificando vazões em torno de 400 m³/h/poço. Associado a este potencial de armazenamento, verifica-se uma pluviosidade anual em torno de 1.400 mm (SUDERHSA, 1995), suplantada a nível de Estado, apenas pelas áreas orográficas da Serra do Mar, onde os valores atingem 1.800 a 2.000 mm anuais, fato este que garante uma situação de superávit hídrico para a região. O contexto climático, leva inevitavelmente a uma

completa saturação das estruturas de armazenamento, as quais são controladas pelo potencial hidráulico da drenagem de superfície atual. Esse condicionamento é eventualmente modificado em período de grandes estiagens, onde a reserva de água acumulada no aquífero funciona como fator de regularização do fluxo básico da drenagem superficial, sendo no entanto, este comportamento revertido após ultrapassado o período de estiagem.

Em termos de energia de relevo, a piezometria registra altitudes em torno de 1050 a 950 m, verificada através de surgências naturais e níveis piezométricos em poços tubulares, perfurados pela Sanepar (1995). As áreas de recarga, na região estudada, correspondem aos afloramentos das rochas carbonatadas, com uma área estimada em 65,4 km².

Além da vocação como estrutura armazenadora por excelência, o aquífero cárstico, desenvolvido nos mármore do Grupo Açungui, desfruta de uma posição bastante favorável no que diz respeito à energia de relevo, relativamente à cidade Curitiba.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A existência de formas cársticas na área em estudo, como não poderia deixar de ser, está relacionada a presença das seqüências carbonatadas da Formação Capiru, (Conjunto Rio Branco), do Grupo Açungui. Tratam-se de mármore do tipo calcítico ou dolomítico.

A evolução do modelado cárstico na área, está relacionada a fraturamentos tectônicos e ao metamorfismo de contato associado a intrusões de diabásio, promovendo nos mármore uma porosidade secundária e permitindo, desta forma, a atuação dos processos de dissolução segundo essas linhas de fraqueza.

Completando este quadro, cabe ressaltar a atuação do clima tipo Cfb, segundo classificação do Köppen, caracterizando uma evolução cárstica compatível com clima úmido, com predominância de feições do tipo fechadas, tais como dolinas ou ouvalas.

No mapeamento efetuado, verificou-se uma tendência acentuada de concentração de estruturas de absorção em áreas de vales em "U", com vertentes convexo-retilíneo-côncavas, e em planícies aluviais desenvolvidas, onde são verificadas formas compostas tais como ouvalas e até mesmo poljés, decorrentes da evolução natural de intensa dissolução sobre campos de dolinas.

Morfologicamente, a região estudada caracteriza-se por alternância de linhas de cristas, com direção nordeste e noroeste, onde predominam camadas de filitos, quartzitos e diques de diabásio respectivamente, entremeados por vales e planícies, com predominância de mármore. Tal morfologia é reflexo da erosão diferencial e dos processos de dissolução, que atuam de forma mais intensa nas rochas carbonatadas.

Em setores elevados, coincidentes com flancos de dobras, as formas encontradas normalmente são as dolinas e eventualmente sumidouros.

O padrão de drenagem superficial é paralela, retangular e radial com baixa densidade na área dos mármore, passando à dendrítico arborescente, com média a alta densidade nos demais tipos litológicos, evidenciando sítio de permeabilidade e infiltração preferencial nos primeiros.

Do ponto de vista hidrogeológico, o reconhecimento das estruturas mapeadas é de fundamental importância, uma vez que as mesmas são responsáveis pela recarga e evolução do aquífero cárstico existente. A presença de várias surgências, tais como fontes e poços surgentes, são indicativos da total saturação do aquífero, resultando um superávit de infiltração, possibilitado pelo clima com alta pluviosidade estabelecido na região. Conforme já referido, a precipitação anual média é de 1.400 mm, garantindo a recarga dos volumes armazenados para futuras utilizações do manancial.

A estrutura cárstica da área em estudo situa-se, em quase sua totalidade, na Bacia do Rio Barigüí, com altitudes máximas de 1.020 m e mínimas de 940 m, constituindo-se reserva de elevado interesse para abastecimento público de Curitiba e municípios da área norte da Região Metropolitana de Curitiba (Colombo, Rio Branco do Sul, Almirante Tamandaré, Itaperuçu, etc). Considerando-se que as altitudes

dos mananciais atualmente em uso (rio Iguaçu, Palmital, Passaúna, etc.) estabelecem as captações em altitudes em torno de 850 m, havendo portanto perdas de potencial hidráulico da ordem de 100 mca.

A qualidade de água encontrada nos pontos de água, identifica uma água tipo bicarbonatada calco-magnésiana, com sólidos totais variando de 45 a 366 ppms, e média de 165,16 ppms (JICA, 1995). Em sua maioria, são águas nobres, podendo ser classificadas como água mineral, similares às marcas distribuídas no mercado, sendo esta tipologia compatível com os produtos de dissolução provenientes dos mármore.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. Estudos preliminares da Série Açungui. VIII - Formação Votuveraba. *Bol. Inst. de História Natural. Geologia*, v.2, p.1-6, Curitiba, 1958.
- FIORI, A. P. Evolução Geológica da Bacia Açungui. *Bol. Par. de Geociências*, v.42, p.7-27, Curitiba, 1994.
- _____; GASPAR, L. A. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Açungui (Proterozóico Superior), Paraná, Sul do Brasil. *Bol. IG-USP, Sér. Cient.*, v.24, p.1-19, São Paulo, 1993.
- HAULER, S.A. *Carst e gênese de cavernas*. Apostila do 1º curso de extensão universitária em espeleologia. Ed. JEEP-Açungui. Dep.Geog./UFPR, Curitiba, p. 40, Curitiba, 1986.
- JICA - Japan International Cooperation Agency. The waster plan study on the utilization of water resources in Paraná state. *Final Report*, December, 1995.
- MARINI, O.J. *Geologia da Folha de Rio Branco do Sul, Rio Claro, Rio Claro*. Tese de Doutorado-UNESP, Rio Claro, SP, p. 190, 1970.
- OKA-FIORI, C. Análise morfológica das vertentes da região do médio rio Iguaçu (PR). *Resumo das Comunicações da 39ª Reunião Anual da SBPC*. Brasília, 1987.
- SILVA, R. da. *Identificação das formas cársticas através de análises geomorfológicas das quadriculas A-90, A-100, A-101, da Região Metropolitana de Curitiba*. Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Geografia/UFPR. p.68, Curitiba, 1991.
- SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento. *Banco de dados*, Curitiba, 1995.

Variação Do Nível Relativo Do Mar Nos Últimos Dois Mil Anos Na Região Sul Do Brasil: Uma Discussão

Variation in relative sea level of Southern Brazil within the past two thousand years: a discussion

Rodolfo Jose Angulo*
Paulo César Fonseca Giannini**

RESUMO

O objetivo deste trabalho é discutir dois tipos de padrões de variação do nível relativo do mar (NRM) nos últimos dois mil anos na costa sul brasileira encontrados na literatura prévia. O primeiro, referente aos setores costeiros de Paranaguá (Paraná) e Itajaí-Laguna (Santa Catarina), é caracterizado por um declínio gradual de NRM. O segundo, relativo ao Estado do Rio Grande do Sul, indica um declínio abrupto após o terceiro máximo holocênico e um nível mínimo de cerca de -1m, por volta de mil anos antes do presente (A.P.), seguido de elevação em andamento.

Conclui-se que os dados disponíveis na costa sul do Brasil, ainda que escassos, permitem indicar como mais provável o primeiro padrão, com tendência de declínio progressivo do NRM nos últimos dois mil anos similar a observada em outros setores da costa brasileira. A elevação recente de NRM do segundo padrão pode ser admitida apenas em escala de tempo de ordem decenal a secular.

ABSTRACT

Studies on the behaviour of the relative sea level (RSL) in the last 2000 years in southern Brazil have identified two trends: a falling sea level in Paraná and Santa Catarina States, and a rising sea level in the State of Rio Grande do Sul. As a synthesis of the oscillation of the RSL in the last 7,000 years, SUGUIO *et al.* (1985) presented curves for eight different sectors of the Brazilian coast (figure 1) from Salvador (Bahia) to Itajaí-Laguna (Santa Catarina). ANGULO (1992) and TOMAZELLI and VILLWOCK (1989, *apud* TOMAZELLI, 1990), encompassing the same time span, proposed modified curves for the States of Paraná and Rio Grande do Sul, respectively (figure 2 and figure 3). In all the proposed curves, there is an agreement for the RSL behaviour, except for the period up to 2,000 years B.P. For this period, SUGUIO *et al.* (1985) and ANGULO (1992) suggest a smooth decline in RSL, while TOMAZELLI & VILLWOCK (1989, *apud* TOMAZELLI, 1990) suggest an abrupt drop of RSL to a minimum of -1 m at about 1000 years B.P., followed by a RSL rise. This variance in the RSL oscillation in the last 2000 years can be ascribed to real differences in the regional RSL behaviour or misinterpretation of the paleo-sea level indicators.

The eight curves, presented by SUGUIO *et al.* (1985), have different definition grades. Only four of these curves have the last 2,000 years based upon dated samples. The contour of the other curves, including Paraná's and Santa Catarina's curves, were inferred from the previous four curves. Most data used by SUGUIO *et al.* (1985) to construct their curves came from carbonatic incrustations of the gastropod *Vermetidae* (figure 1), one of the safest sea level indicators in the Brazilian coast (LABOREL,

* Pesquisador do CNPq.

** Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná.