

Modelos 3D do Aquífero Guarani da Bacia do Paraná para divulgação científica

Henrieth Viviane Borgo de Oliveira¹; Celso Dal Ré Carneiro²

RESUMO - Em geologia, representações 3D são utilizadas para facilitar a compreensão de diversos fenômenos e constituem uma forma de comunicação especializada do geólogo. Pessoas que não possuem contato direto com essa ciência enfrentam dificuldades para visualizar processos estruturais e geológicos. A pesquisa sobre geometria 3D do Aquífero Guarani tem como objetivo central subsidiar: (a) trabalhos de difusão e conscientização sobre exploração e uso de água subterrânea e (b) contribuir com as publicações didáticas voltadas a geociências, visto que em Português, há carência destes materiais para ensino-aprendizagem. São também raros os livros de texto para educação básica nesse campo. O projeto divide-se em duas linhas principais: pesquisa bibliográfica e confecção de representações do aquífero com auxílio de programas em 3D. Existem diversas ferramentas especializadas para elaboração dos modelos 3D, baseados em mapas e perfis. No presente estudo, mapas anteriores foram reelaborados e reinterpolados, para chegar à produção de novos mapas de contorno estrutural das seguintes superfícies : topo do Embasamento, base das formações Botucatu + Pirambóia + Rosário do Sul e topo da Formação Serra Geral. Os dados obtidos para delimitação do Aquífero e construção do modelo restringiram-se à área da Bacia do Paraná em território brasileiro.

ABSTRACT - 3D representations are used in geology to facilitate the understanding of a series of phenomena. Using maps and profiles, a few specialized tools the geologist produce 3D models, which are a specialized form of communication. People who do not have direct contact with this science may have difficulties to visualize some structures and geological processes. A research on the tridimensional geometry of the Guarani Aquifer aims to subsidize: (a) to disseminate concepts on exploitation and use of groundwater; (b) to help increasing the awareness of the people and (c) to contribute to didactic publications on geoscience. There is a lack of publications in Portuguese for teaching-learning of Geosciences. There are also few Geosciences textbooks for basic education. The project is divided into two main lines: literature search and 3D hand-made and computer-aided drawing of representations of the aquifer. In the present study, previous maps

¹ Graduanda no Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP. E-mail: viviborgo@gmail.com

² Departamento de Geociências Aplicadas ao Ensino, Instituto de Geociências, Caixa Postal 6152, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. 13083-970, Campinas, SP, Brasil. Fone +55 (19) 3521 4564. Fax +55 (19) 3289 1562. E-mail: cedrec@ige.unicamp.br

have been reelaborated and reinterpolated in order to obtain the production of new structural contour maps of the following surfaces: Embasement top, Botucatu + Prambóia + Rosário do Sul formations base and Serra Geral Formation top. The data obtained for delimitation of Aquifer and construction of model is restricted to the area of the Parana Basin in Brazilian territory.

Palavras-chave: Geologia, Difusão científica, Água subterrânea

INTRODUÇÃO

Partindo de indagações sobre quantas pessoas sabem o que é um aquífero, quantas já viram um modelo de aquífero e, dentre as que sabem o que é, quantas sabem como conservá-lo, surgiu um projeto de iniciação científica, o qual foi durante dois anos desenvolvido mediante o auxílio de uma bolsa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq. O projeto tem como objetivo central produzir um modelo tridimensional do Aquífero Guarani. O modelo, além de ser baseado em dados científicos, deverá ser de fácil interpretação, pois sua criação está sendo voltada não só para pessoas da comunidade científica, mas para o público em geral, com enfoque em estudantes de Geociências.

Atualmente o crescente risco de poluição das águas subterrâneas motiva a publicação de artigos de divulgação para suprir o déficit de publicações didáticas em Português sobre temas de Geociências e para ajudar a conscientizar as pessoas em relação à exploração e uso desses recursos.

O Aquífero Guarani há quase 40 anos era praticamente desconhecido. Apenas em meados da década de 1970, teve início um surto de exploração, na região correspondente ao Estado de São Paulo. Hoje há mais de 2.000 poços perfurados, número que aumenta de maneira desordenada e pode, em um futuro próximo, comprometer a dinâmica de suas águas.

O potencial do reservatório, associado às inovações tecnológicas e à falta de uma política governamental eficiente tanto para o lançamento de efluentes e resíduos agrícolas ou industriais, quanto para o controle da perfuração de poços de extração de água, geram grande preocupação quanto às conseqüências para o manancial, visto que em áreas urbanas, situadas às bordas do Aquífero, e que são áreas com maior número de poços, tornam-se mais propensas à contaminação. Neste trabalho são descritas características gerais do Aquífero, a geologia, os usos e as medidas de proteção das águas do reservatório e a metodologia aplicada na pesquisa.

O AQÜÍFERO

Localização

Este reservatório é talvez o maior manancial de água doce transfronteiriço do mundo. Abrange áreas da Bacia do Paraná e da Bacia do Chaco, nas quais inserem-se os seguintes países com as respectivas áreas em o aquífero se encontra: Brasil 840.000 km²; Argentina 225.500 km²; Paraguai 71.700 km² e Uruguai 58.500 km². A figura 1 retrata a distribuição do aquífero na Bacia do Paraná e do Chaco e os países que este abrange, referidos acima. No Brasil, oito estados localizam-se sobre o reservatório: Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, São Paulo, Paraná, Goiás, Minas Gerais, Santa Catarina e Mato Grosso.

Características Gerais

A extensão total do aquífero é de 1,2 milhões de km² e as reservas permanentes são da ordem de 45.000 km³, ou 45 trilhões de metros cúbicos. A espessura varia entre 200 e 600 m, a porosidade efetiva é de 15% e corresponde ao volume de água sob pressão mais a somatória do volume de água de saturação do Aquífero.

Geologia

Ao longo da era Mesozóica, durante os períodos Triásico e Jurássico (entre aproximadamente 200 e 130 milhões de anos), houve grandes deposições de sedimentos calcários, devido a processos eólicos, fluviais e lacustres, constituindo um espesso pacote de camadas arenosas. Posteriormente 90% de sua superfície foram cobertas por derrames de lavas basálticas, de baixa densidade, depositadas no período Cretáceo. Estas lavas foram de suma importância, pois conferiram ao Aquífero o caráter semiconfinado, na porção superior, formando um aquitardo, ou seja, um compartimento que permite grande retenção de água e pode ser extremamente útil em relação às recargas verticais dos aquíferos, além de impedir perdas de água por evaporação e evapotranspiração.

Assine et al. (2004) descrevem o Sistema Aquífero Guarani (Rocha, 1997), inicialmente denominado Mercosul (Araújo et al., 1995), como constituído, no Brasil, pelos arenitos das formações Botucatu, Pirambóia e Sanga do Cabral. No Uruguai e Argentina engloba os arenitos Tacuarembó e Buena Vista e no Paraguai é composto pela Formação Misiones.

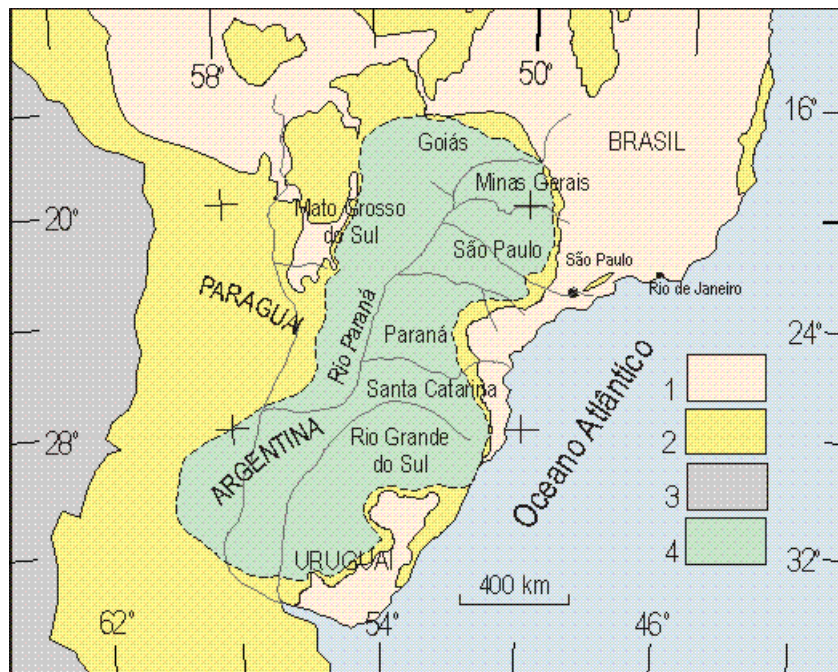


Figura 1. Distribuição do Sistema Aqüífero Guarani no Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai (Assine et al. 2004).

Nos modelos em 3D a estrutura geológica que está sendo estudada e representada consiste das formações Pirambóia, Rosário do Sul, Botucatu e Serra Geral. Na base, os sedimentos arenosos, argilosos, lacustrinos, fluviais e eólicos da Formação Pirambóia, do período Triásico, seguida de sedimentos eólicos e arenosos da Formação Botucatu. Nesta, o período de deposição dos arenitos foi marcado por um clima árido e os sedimentos apresentam-se dispostos em sucessivas camadas de dunas estratificadas de forma assimétrica. Intercalados aos arenitos da Formação Botucatu, encontram-se os derrames de lavas basálticas da Formação Serra Geral, decorridos no início do Cretáceo. Nas porções centrais estes derrames chegam a apresentar 1.500 m de espessura; o vulcanismo da época foi responsável por causar falhamentos, arqueamentos e soerguimentos nas bordas da bacia, alterando sua configuração original.

No Neocretáceo, depositaram-se sobre os basaltos seqüências de arenitos calcíferos, pertencentes aos Grupos Bauru e Caiuá, os quais formam uma sobrecapa no aqüífero. Entretanto, devido à reduzida espessura deste aporte sedimentar, este não foi retratado nas representações, conforme veremos adiante.

PALEODESERTOS PIRAMBÓIA E BOTUCATU

Assine et al. (2004) atribuem a Gonzaga de Campos (1889, apud Salamuni & Bigarella 1967) a pioneira utilização do nome Botucatu para designar arenitos com estratificação cruzada sotopostos ou interestratificados com basaltos da Formação Serra Geral. No início do século XX, Pacheco (1927) identificou na parte inferior do arenito Botucatu a existência de arenitos com características diferentes, denominados fácies Pirambóia. A ampla distribuição dessa fácies levou Washburne (1930) a propor a existência de uma unidade de arenitos fluviais (Arenito Pirambóia) distinta dos arenitos eólicos Botucatu. Almeida & Barbosa (1953) definiram um ciclo único de sedimentação para as duas formações, no qual as condições climáticas evoluíram de quentes e úmidas para desérticas.

Os arenitos correspondem a uma vasta província desértica denominada por Almeida (1953) de Paleodeserto Botucatu e que incluiria as Formações Pirambóia, Santana e Botucatu. O deserto, com cerca de 1.300.000 km², estendia-se por terras do oeste do Uruguai, leste do Paraguai e nordeste da Argentina e concentrava sua maior porção de terra no centro-sul do Brasil. Os arenitos Botucatu encontram-se expostos nas escarpas da borda do Planalto Ocidental, sustentado por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, no sul e sudeste do Brasil (Assine et al. 2004). Ocorrências esporádicas de intercalações do arenito Botucatu e derrames vulcânicos indicam a persistência das condições desérticas após o início do vulcanismo da Formação Serra Geral (Almeida 1964).

O contato basal da Formação Botucatu é considerado por Zalán et al. (1987) como uma discordância regional. O contato entre as formações Botucatu e Serra Geral é concordante e marcado na base do primeiro derrame vulcânico (Assine et al. 2004). Sanford & Lange (1960) consideraram os arenitos Pirambóia e Botucatu como duas formações; Soares (1975) estabeleceu a separação formal como formações distintas, mapeando-as separadamente na faixa central de afloramentos em São Paulo.

Assine et al. (2004) propõem separar o Paleodeserto Botucatu de outra feição paleogeográfica, que denominaram Paleodeserto Pirambóia. Seriam, pois, dois paleodesertos distintos no tempo, formados sob condições diferenciadas de subsidência.

Formação Pirambóia

A Formação Pirambóia aflora principalmente na porção nordeste da Bacia do Paraná, mais precisamente nos estados de São Paulo e Paraná, porém possui grande área de ocorrência sendo

reconhecida em subsuperfície em grande parte da bacia. Sua espessura varia de alguns metros, na faixa de afloramento do Estado do Paraná, até mais de 400 metros em subsuperfície nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. A formação caracteriza-se por estruturas sedimentares típicas de processos eólicos de sedimentação, com predominância de arenitos com estratificação cruzada de médio porte. Localmente ocorrem sets com estratificação cruzada de grande porte, sendo ainda comuns os arenitos com estratificação cruzada de baixo ângulo ou com estratificações plano-paralelas. As fácies permitem interpretar o ambiente deposicional, a partir da contribuição de diversos autores (Assine et al. 2004), como composto por campo de dunas e interdunas úmidas.

Brighetti (1994), em estudos na região centro-leste do Estado de São Paulo, assinala que a sucessão sedimentar, da base para o topo da unidade, registra tendência a condições progressivamente mais áridas. Predominam depósitos de dunas, na parte inferior, associados às interdunas úmidas e amplos lençóis de areia. Na parte intermediária continuam a existir lençóis de areia, com intercalações de arenitos de sistemas fluviais temporários, enquanto na parte superior da unidade os depósitos de interdunas são raros e a sedimentação ocorreu em campos de dunas de médio a grande porte.

Caetano-Chang (1997) interpretou a Fm. Pirambóia como originária de paleoambiente desértico o que condiz com a predominância de fácies produzidas por ação eólica e sua grande distribuição em área. Assine et al. (2004) sublinham que a presença marcante de depósitos de interduna, comumente de interduna úmida, é comum em sistemas eólicos úmidos, caracterizados por nível freático constantemente alto, com freqüentes depósitos de interduna úmida, onde podem ocorrer lagoas.

A presença de fácies de canais fluviais, representados por arenitos com seixos dispersos, às vezes conglomeráticos, intercalados entre as fácies eólicas sugerem a ocorrência de interação flúvio-eólica. Assine (1993) relata a ocorrência de arenitos conglomeráticos de origem fluvial na parte superior da unidade. As paleocorrentes das fácies fluviais indicam mergulho deposicional da bacia para oeste, apontando para cenário paleogeográfico de leques de rios entrelaçados provindos do leste, que avançavam e se dissipavam, em direção a oeste, onde o vento retrabalhava as areias e edificava campos de dunas (Assine e Soares 1995).

A idade atribuída por vários autores para a Formação Pirambóia é Triásica (Vieira, 1973; Schneider et al., 1974; Soares, 1975; entre outros) por admitirem a idade jurássica para a Formação Botucatu sobreposta a ela, porém Bertini (1993) e Assine et al. (2004) registram que os

dados paleontológicos são ainda escassos e sua precariedade não permite determinação segura. Na figura 2 é possível visualizar a formação Pirambóia e as outras unidades que compõem o aquífero.

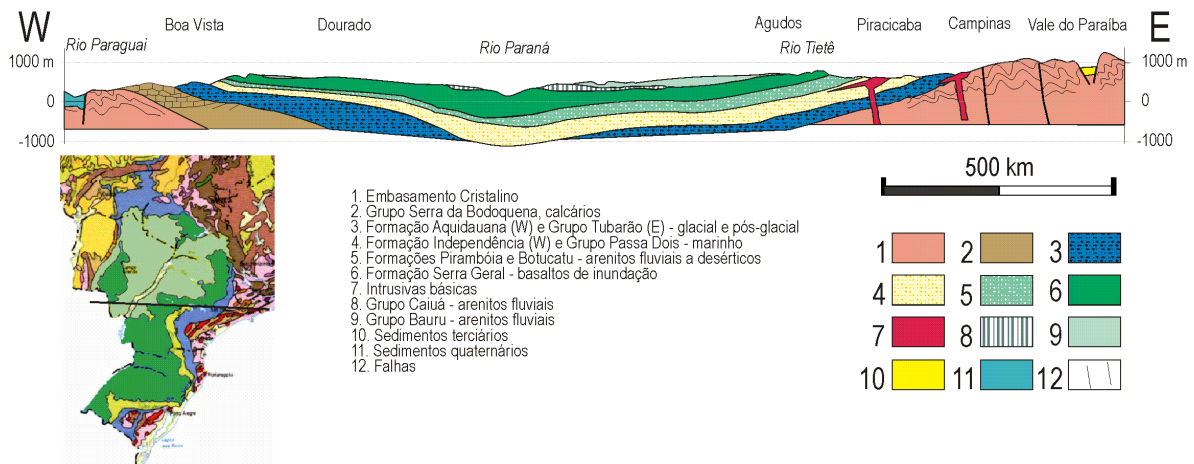


Figura 2. Unidades estratigráficas componentes do Sistema Aquífero Guarani e da Bacia do Paraná em perfil E-W

Formação Botucatu

A Formação Botucatu é constituída de arenitos com estratificação cruzada, planar ou acanalada, de médio a grande porte (campos de dunas eólicos) com raras intercalações de arenitos com estratificação plano-paralela (interdunas secas). As camadas frontais dos estratos cruzados apresentam mergulhos altos, sendo frequentemente tangenciais na base, o que reflete diminuição dos tamanhos dos grãos do topo para as bases dos sets. Além disso, apresentam comumente alternância de lâminas de arenito fino e de arenito médio, o que resulta em bimodalidade textural. Devido aos ângulos altos e às condições de umidade momentânea, que causa coesão dos grãos, podem ocorrer estruturas de escorregamento nos foresets (Assine et al. 2004).

Nos arenitos da Formação Botucatu são encontradas pegadas arredondadas, pequenas e em pares, de vertebrados que se locomoviam de maneira quadrúpede ou bípede aos saltos, assim como pistas de animais invertebrados (Assine et al. 2004). Scherer (2000) interpretou o Paleodeserto Botucatu como um grande sistema eólico seco, no qual o nível freático apresentava-se constantemente baixo, com raros depósitos de interduna e freqüente cavalgamento de dunas. A concepção vislumbrada por Almeida (1953) foi de uma paisagem de ergs, semelhante a várias partes do deserto do Saara onde existem extensos campos de dunas. Assine et al. (2004) assinalam que geralmente sistemas eólicos secos podem se tornar sistemas eólicos úmidos devido a mudanças climáticas que provocam avanço de sistemas aluviais e elevação do nível freático; situação inversa pode igualmente ocorrer.

No início do intenso vulcanismo fissural, associado à ruptura de Gondwana e abertura do Oceano Atlântico Sul as condições desérticas continuaram prevalentes. Os derrames vulcânicos da Formação Serra Geral recobriram rapidamente a paisagem eólica preexistente, permanecendo preservada de maneira completa a forma de muitas dunas. Os derrames preencheram primeiramente as áreas entre os campos das dunas, para depois ocupar as áreas de interduna e, finalmente, recobrir os draas, as maiores acumulações eólicas nos desertos (Assine et al. 2004).

A variação de espessura da Formação Botucatu é, em grande parte, função da distribuição dos campos de dunas e de sua preservação devido ao recobrimento pelos derrames vulcânicos. As espessuras variam normalmente entre 50 e 150 m na faixa de afloramento da borda leste da bacia, podendo alcançar 200 m em subsuperfície (Soares, 1975). A Formação Botucatu é mais nova que o Meso-Triásico já que, no Estado do Rio Grande do Sul, recobre estratos das formações Santa Maria e Caturrita, cuja idade triásica é comprovada pela presença de fósseis de vertebrados característicos do período. Datações radiométricas de rochas da Fm. Serra Geral, sobrepostos concordantemente aos Arenitos Botucatu, contribuíram para aprimorar a cronoestratigrafia da seção mesozóica. Datações mais modernas de basaltos revelaram idades entre 131 e 133 Ma (Renne et al. 1992), ou entre 127 e 137 Ma (Turner et al. 1994); assim, a Formação Botucatu passou a ser considerada de idade jurássica, com topo no limite Jurássico/Cretáceo Inferior (Assine et al., 2004). Na figura 3 aparecem três perfis estratigráficos apresentando as formações da Bacia do Paraná.

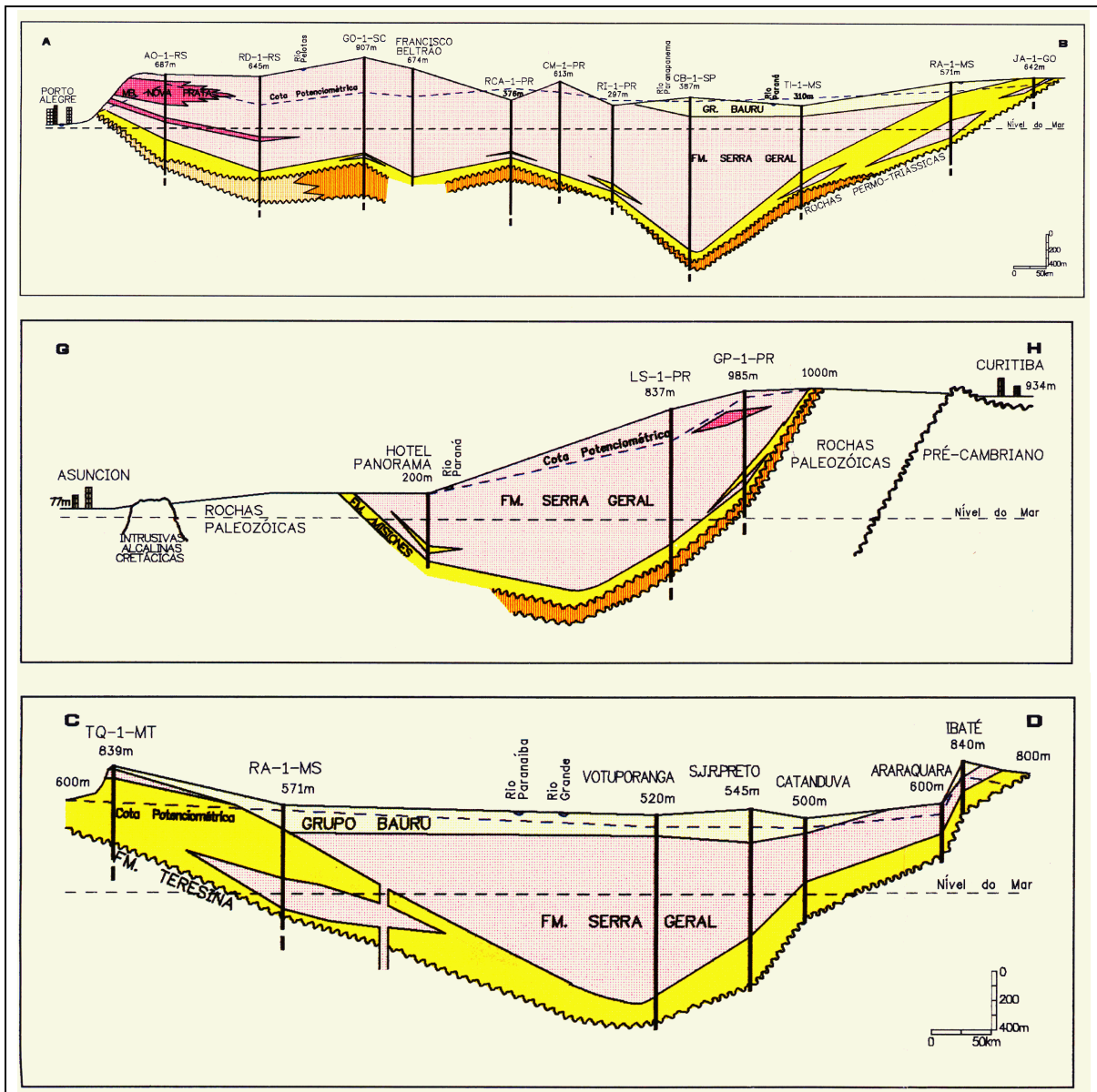


Figura 3. Três perfis estratigráficos simplificados do Sistema Aquífero Guarani na Bacia do Paraná, com grande exagero vertical (Fonte: portal <http://www.sg-guarani.org.br>)

Formação Serra Geral

A Província ígnea continental do Paraná, localizada no sudeste da América do Sul, forma juntamente com a Província de Etendeka na Namíbia (SSW da África) uma das maiores províncias ígneas do mundo, datada do início do Cretáceo; sua origem e evolução estão vinculadas à abertura do Oceano Atlântico Sul (Erlank et al., 1984; Bellieni et al., 1984a; b). A província do Paraná cobre cerca de 1,2 milhões de km² da Plataforma Sul-Americana e se distribui pelo sul do Brasil (0,75 milhões de km²), Argentina, Paraguai e Uruguai, constituindo um dos mais impressionantes registros de atividade magmática subaérea da Terra. A espessura média estimada da província no Brasil é de 0,66 km (Leinz et al., 1968) e sua maior espessura

(~1.700 m) está registrada na porção norte da província (Zalán et al., 1987). A figura 3, apresenta três perfis.

No Brasil os produtos da atividade magmática recebem a denominação estratigráfica de Formação Serra Geral e se concentram nos Estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás. A seqüência vulcânica recobre aproximadamente 70% da área de abrangência da sedimentação gondwânica da Bacia intracratônica do Paraná (Bellieni et al., 1986); as rochas estão em contato direto com o embasamento cristalino pré-Cambriano nos Estados de Minas Gerais e Goiás (Petri & Fúlfaro, 1983).

Os derrames basálticos da Formação Serra Geral capeiam o pacote de arenitos eólicos de ambiente desértico da Formação Botucatu. As condições de clima desértico perduraram por todo o período de extravasamento das lavas, visto que arenitos eólicos ocorrem como intercalações no pacote de lavas e, mais tarde, formam uma cobertura da pilha vulcânica no norte da província, onde são denominados de Formação Caiuá (Rocha Campos et al., 1988). A maior parte da pilha vulcânica na porção norte da província está recoberta por rochas sedimentares de origem fluvial e lacustre do Grupo Bauru, do final do Cretáceo.

As principais feições tectônicas da província do Paraná, juntamente com os lineamentos tectônicos ou magnéticos (orientação NW-SE), são os arcos, estruturas alongadas positivas que condicionaram fortemente a forma e a evolução tectônica e sedimentar da Bacia do Paraná. A atividade magmática da província compreende uma espessa seqüência vulcânica de caráter bimodal (basáltico-riolítico) e inúmeros diques e sills (Mincato, 2000). Em termos litológicos o magmatismo caracteriza-se como uma seqüência de basaltos tholeiíticos (90% em volume) afíricos (Bellieni et al., 1984a). Ocorrem ainda volumes consideráveis de lavas ácidas, riolitos e riocacitos, bem como quantidades subordinadas de tipos intermediários andesíticos (Piccirillo et al., 1988a).

METODOLOGIA

O desenvolvimento do projeto na área computacional começou com o tratamento dos dados no *software* ArcGis. Estes dados, eram um conjunto de mapas de isópacas (Almeida 1980) os quais forneciam valores de espessura das formações referidas. Entretanto, neste software, não foi possível gerar um modelo 3D mediante este tipo de dado, pois seriam necessários valores de cotas. O que se obteve foram quatro figuras de modelos TIN criados com a finalidade de

“empacotá-los” a fim de confeccionar a representação tridimensional. A figura 4 apresenta os modelos TIN.

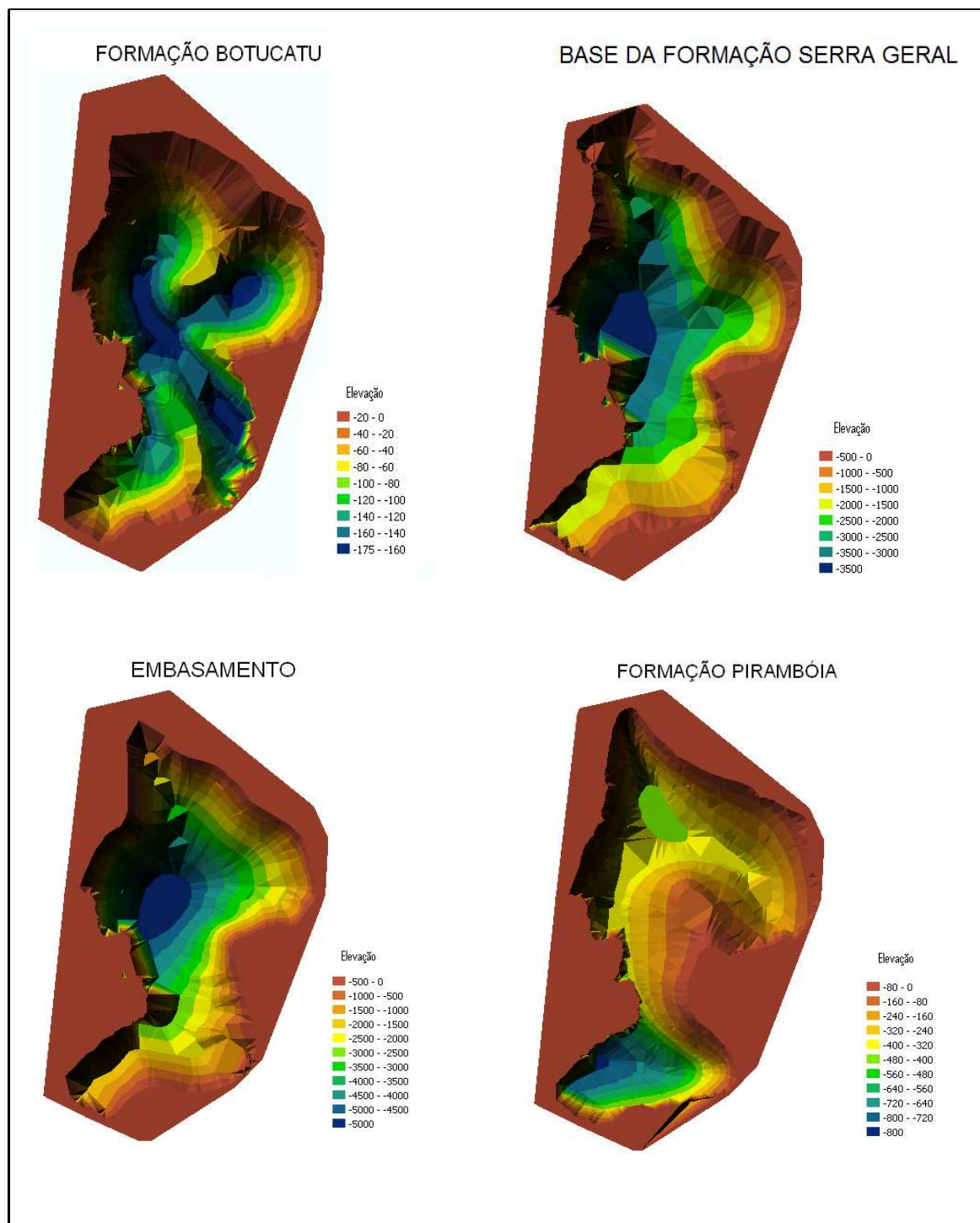


Figura 4. Modelos TIN criados no software ArcGis.

Para continuar seguindo objetivos propostos na pesquisa, ou seja, fornecer um material feito em um *software* mais acessível iniciou-se uma fase de confecção de dados que se adequassem ao ArcGis. Com isto, a partir dos mapas de isópacas e de uma técnica convencional de interpolação de mapas, criaram-se três mapas de contorno estrutural, os quais fornecem valores de cotas das superfícies e possibilitam a geração do modelo 3D na forma esperada.

Os mapas de contorno estrutural são os seguintes:

- Mapa de Contorno Estrutural do Embasamento da Bacia do Paraná;
- Mapa de Contorno Estrutural das formações: Botucatu + Pirambóia + Rosário do Sul
- Mapa de Contorno Estrutural da Formação Serra Geral.

Estes mapas estão na etapa final da confecção manual, a qual consiste na adequação das linhas de curva de nível em relação às cotas das áreas aflorantes. Em seguida os mapas serão scaneados, georeferenciados e receberão a aplicação da técnica de digitalização em tela para serem sobrepostos e conseqüentemente constituírem a representação 3D.

DIVULGAÇÃO

Levando em consideração a ênfase que está sendo dada ao ano de 2008 como O Ano Internacional do Planeta Terra, a partir de uma idéia gerada durante o 31º Congresso Internacional de Geologia, realizado no ano 2000, no Rio de Janeiro – Brasil (Berbert, 2007), foi elaborado um programa, cujo foco principal é Ciência e Divulgação.

Dentro deste programa, desenvolvido por 23 grandes geocientistas mundiais, o tema científico “Água Subterrânea” encontra-se na primeira posição em uma lista de 10 temas prioritários. Mediante este fato é possível dimensionar a importância de mecanismos que propiciem a melhor utilização dos recursos hídricos do planeta.

No caso do Aquífero Guarani, sua localização sob grandes centros urbanos, gera uma notável preocupação devido ao número de poços perfurados e ao conseqüente risco de contaminação, tanto em áreas mais profundas quanto nas áreas de recarga. E é frente a esta preocupação que se desenvolveu esta pesquisa e está sendo organizado o processo de divulgação.

O site do projeto Geo-Escola será o primeiro local a apresentar o modelo tridimensional e junto deste haverá um texto explicativo e de caráter científico, expondo informações sobre o Aquífero e as etapas do projeto.

USOS E PROTEÇÃO DA ÁGUA

De acordo com uma pesquisa mundial realizada pelo sistema de informação global sobre o uso da água na agricultura e no meio rural (AQUASTAT- FAQ), em 2005, a agricultura está classificada como atividade que mais consome água (70%), seguida das indústrias (18%) e das cidades (12%), a porcentagem de água utilizada pelas indústrias, se comparada às atividades agrícolas é bem inferior, entretanto, as atividades industriais são as que oferecem os maiores riscos de contaminação às águas subterrâneas devido à inadequada disposição dos resíduos sólidos.

As águas do aquífero possuem alto padrão de qualidade, em decorrência do confinamento proporcionado pelas espessas camadas de lavas basálticas. Mesmo que aplicadas ao mais variados fins, é necessário pensar nas condições futuras, visto que um uso desordenado pode resultar em dois graves problemas: contaminação e desequilíbrio hidrológico.

Atualmente as águas deste imenso reservatório natural são utilizadas principalmente para o abastecimento de populações e já é constatado o uso em cidades de médio a grande porte . A utilização em processos industriais além de expressiva é essencial às indústrias que necessitam de água oriundas de fontes seguras.

No Estado de São Paulo, a Companhia Estadual de Tecnologia em Saneamento Ambiental (CETESB), realizou em 2005, levantamento ao longo da bacia dos rios Sorocaba e Médio Tietê e constatou que as indústrias da região geram 16 toneladas de resíduos perigosos por ano. Comparando-se esses dados com a dimensão do Aquífero Guarani e com o número de indústrias existentes nos países em que este se localiza é possível imaginar a quantidade de problemas futuros se não houver medidas preventivas. O quadro 1 apresenta os tipos de fontes de suprimento de água para abastecimento de algumas cidades do Estado de São Paulo.

Tipos de fontes de suprimento de Água para Abastecimento			
Municípios	Capacitação	Municípios	Capacitação
Alambari	Superficial	Laranjal Paulista	Superficial
Alumínio	Sup. e Sub.	Mairinque	Superficial
Anhembi	Superficial	Pereiras	Superficial
Araçariguama	Superficial	Piedade	Superficial
Araçoiaba da Serra	Subterrânea	Porangaba	Superficial
Bofete	Superficial	Porto Feliz	Sup. e Sub.
Boituva	Superficial	Quadra	Superficial
Botucatu	Superficial	Salto	Superficial
Cabreúva	Superficial	Salto de Pirapora	Superficial
Capela do Alto	Subterrânea	São Roque	Superficial
Cerquilha	Superficial	Sarapuí	Superficial
Cesário Lange	Subterrânea	Sorocaba	Superficial
Conchas	Superficial	Tatuí	Sup. e Sub.
Ibiúna	Superficial	Tietê	Superficial
Iperó	Sup. e Sub.	Torre de Pedra	Superficial
Itu	Sup. e Sub.	Vargem Grande Paulista	Superficial
Jumirim	Subterrânea	Votorantim	Superficial

Quadro 1. Tipos de Capacitação de Águas em municípios do Estado de São Paulo (CETESB 2005)

A diferença entre os tipos de captação utilizados está na maior parte das vezes associada à rocha existente no subsolo de cada município, inviabilizando em determinadas regiões a perfuração de poços profundos, visto que tal atividade além de custosa não pode ser aplicada em todos os ambientes.

Em decorrência da aplicação de medidas inapropriadas e da falta de divulgação sobre os cuidados com os recursos do subsolo, o Estado de São Paulo estabeleceu uma legislação específica de águas subterrâneas, a qual contém três categorias de restrição (Rocha 1997):

- área de proteção máxima, em zonas de recarga onde as águas sejam essenciais ao abastecimento público, com proibição de instalação de indústrias de grande impacto ambiental;
- área de restrição e controle, em zonas de recarga já urbanizadas, com disciplina das extrações, controle rigoroso das fontes poluidoras e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras;
- perímetro de proteção sanitária de poço.

A grande dimensão e importância deste manancial requerem ampla divulgação dos cuidados necessários ao manejo das águas com segurança e para que isto se desenvolva de forma integral é preciso que os governos dos países que abrangem o aquífero trabalhem unidos a fim de preservar esta fonte natural estimulando o uso consciente da população.

CONCLUSÕES

Modelos tridimensionais auxiliam a visualização de diversos fenômenos e em geologia recebem aplicações importantes com a finalidade de simplificar processos que nem todos conseguem enxergar apenas com o uso da imaginação em 3D.

A Bacia do Paraná é bastante complexa, originada no Ciclo Orogênico Brasileiro, esta possui um embasamento composto por rochas metamórficas e ígneas datadas entre 700 e 450 Ma e ao longo do tempo acumularam-se rochas sedimentares e vulcânicas com idades que variam entre o Ordoviciano e o Cretáceo.

Reflete uma longa evolução e mudanças paleogeográficas e paleoambientais significativas.

Os paleodesertos são a origem conhecida das rochas que compõem o Aquífero. Província desértica denominada por Almeida incluiu as formações: Pirambóia, Santana e Botucatu.

A importância de estudos de caracterização e distribuição das camadas em escalas cada vez mais detalhadas possibilita ao público que não está diretamente ligado às Geociências a dimensão do porte do reservatório e visa à conscientização quanto ao uso das águas subterrâneas. Além de permitir que a comunidade científica e educacional receba um material didático de ampla aplicação.

Os mapas produzidos são de escala pequena, porém permitem ter uma boa idéia da geometria tridimensional do Aquífero Guarani.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida F.F.M.de 1980. *Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil*. São Paulo, IPT, 187 p. (Rel. nº 14.091).
- Almeida F.F.M.de, Hasui Y., Ponçano W.L., Dantas A.S.L., Carneiro C.D.R., Melo M.S. de., Bistrichi C.A. 1981. *Nota Explicativa do Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, IPT. 126p. (IPT, Monografias 6).
- Almeida F.F.M. de, Carneiro C.D.R.. 1998. Botucatu: o grande deserto brasileiro. *Ciência Hoje*, **24**(143):36-43. Outubro 1998.
- Assine, M.L.; Piranha, J.M.; Carneiro, C.D.R. 2004. Os paleodesertos Pirambóia e Botucatu. In: Mantesso Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B. orgs. 2004. *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Ed. Beca. p. 77-93. (Cap. 5).
- Araujo L. M., França A. B., Potter P. E. *Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas Hidrogeológicos das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Set./1995 Petrobrás e UFPR*.
- Badgley P.C. 1959. *Structural methods for the exploration geologist*. New York: Harper & Brothers. 280p.

- Berbert C.O. 2007a. 2008 – *O Ano Internacional do Planeta Terra*. Brasília, SIGEP. URL: <http://www.unb.br/ig/sigep/destaques/AIPT.pdf>. Acesso em 26.09.2007.
- Berbert C.O. 2007b. Ciências da Terra para a sociedade: O Ano Internacional do Planeta Terra. São Paulo: *Revista USP*. **71**(set/out/nov):71-80.
- Berbert C.O. 2008. Ciências da Terra para a sociedade: a responsabilidade do geólogo. São Paulo: *Revista CEPEGE*. **5**(5):9-13.
- Bistrichi C.A., Carneiro, C.D.R., Dantas A.S.L., Ponçano W.L., Campanha G.A. da C., Nagata n., Almeida M.A. de, Stein D.P., Melo M.S.de, Cremonini O.A., Hasui Y., Almeida F.F.M.de. 1981. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT. (IPT, Monografias 6, anexo).
- Carneiro C.D.R. (edit. cient.). 2000. *Geologia*. São Paulo: Global/SBPC – *Projeto Ciência Hoje na Escola*. 80p. (Série *Ciência Hoje na Escola*, v. 10).
- Carneiro C.D.R. 2000. *Água mineral ou torneiral. Experimento. Série Ciência Hoje na escola*, **10** *Geologia - São Paulo: Global:SBPC, 2000*
- Carneiro C.D.R. 2006. *Visita monitorada a afloramentos do Aquífero Guarani, Bacia do Paraná: formações Pirambóia e Botucatu*. Botucatu: Pref. Mun. Botucatu. 58p. (Roteiro de viagem de campo integrante da *Jornada Estadual Aquífero Guarani*, Data: 17 de agosto de 2006, Botucatu, SP).
- Carneiro C.D.R., Almeida F.F.M. de. 1996. *O Sertão Já Virou Mar. Ciência Hoje*, **21**, (122): 40-50. Set. 1996.
- Carneiro C.D.R., Barbosa R. 2005. *Geo-escola: disseminação de conteúdos de Geociências por meio do computador para docentes de Ciências e Geografia no Nível Fundamental em Jundiá-Atibaia, SP. Geol. USP, Publ. Espec.* **3**: 71-82, setembro 2005.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). s.d. *Projeto Nossas Águas*. Sorocaba: CETESB Publicação avulsa, 51p.
- Carneiro C.D.R., Mendonça J.L.G.de. 2000. *Água Subterrânea: um tesouro ameaçado. Série Ciência Hoje na escola*, **10**: *Geologia - São Paulo: Global:SBPC, 2000*
- Krumbein W.C., Sloss L.L. 1969. *Estratigrafía y Sedimentación*. Ed. Unión Tipográfica, México.
- Mendes J.C. 1984. *Elementos de Estratigrafia*. São Paulo: EDUSP.
- Milani E.J., França A.B., Schneider R. 1994. Bacia do Paraná. *B. Geoci. PETROBRAS*, **8**(1): 69-82.
- Milani E.J. 2004. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: Mantesso Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito Neves. B.B.de. eds. 2004. *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca. p. 265-279. (Cap. 16).
- Northfleet A.A., Medeiros R.A, Muhlmann H. 1969. Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná Rio de Janeiro, *B. téc. PETROBRAS*, **12** (3): 291-346, jul./set. 1969.
- Pereira S. Y. *O Caminho das Águas. Série Ciência Hoje na escola*, **10**, *Geologia - São Paulo: Global:SBPC, 2000*
- Ragan D.M. 1973. *Structural Geology, an introduction to geometrical techniques*. 2 ed. New York, John Wiley; Sons, 208 p.
- Rocha G.A. 1997. *O Grande Manancial do Cone Sul. Estudos Avançados* **11** (30): 1997 191
- Zalán P.V., Conceição J.C., Wolff S., Astolfi M.A.M., Vieira I.S., Appi V.T., Neto E.V.S., Cerqueira J.R., Zanotto O.A., Paumer M.L., Marques A. 1986. *Análise da Bacia do Paraná*. PETROBRAS-DEPEX-CENPES, Rio de Janeiro, 195 p. (Rel. Int. Gt-Os-009/85).

Zalán P.V., Wolff S., Conceição J.C.J., Marques A., Astolfi M.A.M., Vieira I.S., Appi V.T., Zanotto O.A. 1991. Bacia do Paraná. In: Gabaglia G.P.R., Milani E.J. (Coords.), *Origem e evolução de bacias sedimentares*. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, p. 135-168.