

Cratera de Colônia, SP

Provável astroblema com registros
do paleoclima quaternário
na Grande São Paulo

SIGEP 116

Claudio Riccomini¹

Bruno Jean Turcq²

Marie-Pierre Ledru³

Lucy Gomes Sant'Anna⁴

José Antonio Ferrari⁵

A CRATERA DE COLÔNIA é uma proeminente feição circular com aproximadamente 3,6 km de diâmetro, localizada a cerca de 35 km ao sul da região central da Cidade de São Paulo. Desenvolvida essencialmente sobre rochas pré-cambrianas, esta estrutura é definida por um anel externo colinoso que se eleva a cerca de 125 m sobre uma planície aluvial interior pantanosa. Levantamentos geofísicos indicaram uma profundidade máxima de 450 m para o embasamento, no centro da estrutura. A hipótese de que esta feição seria resultante do impacto de corpo celeste, postulada desde os estudos iniciais, vem sendo lastreada nas suas características geológicas, geomorfológicas e dados geofísicos. Não há indicações da atuação de processos endógenos na sua gênese, o que reforça a hipótese de estrutura de impacto. Por outro lado, até o presente momento não foram encontradas evidências diretas de impacto, como metamorfismo de choque, devido ao preenchimento sedimentar da depressão e pela existência de espesso manto de intemperismo na região.

A cratera é preenchida principalmente com sedimentos pelíticos, ricos em matéria orgânica, cujo conteúdo polínico revela que a floresta Atlântica na região esteve sujeita às mudanças climáticas globais ocorridas durante o Quaternário. Com base em dados palinológicos admite-se idade neogênica para o presumível impacto.

Palavras-chave: cratera de impacto; registros paleoclimáticos; Quaternário

The Colônia Crater, State of São Paulo – A probable astrobleme with Quaternary palaeoclimatic record in the Great São Paulo region

The Colônia Crater is an outstanding ring feature, around 3.6 km in diameter, located about 35 km south from São Paulo. The structure developed mainly upon Precambrian crystalline basement rocks and is defined by a hilly circular outer rim up to 125 m higher than an inner swampy alluvial plain. Geophysical data indicated a maximum depth of 450 m to the crystalline substratum within the structure. The hypothesis that this feature results from the impact of a celestial body, postulated since the first studies carried out in the area, has been based on its geological and geomorphological characteristics as well as geophysical data. The lack of indications of endogenous process also reinforces this hypothesis. Nevertheless, no direct evidence of an impact, such as shock metamorphism, has yet been found, most likely due to the sedimentary fill within the depression and the deep weathering in the region. The crater is filled mainly with organic-rich clayey sediments whose polliniferous record confirms that the Atlantic rainforest in the region was submitted to global climatic changes during the Quaternary. Based on palynological data the age of the presumable impact would be probably Neogene.

Key words: impact crater; paleoclimatic record; Quaternary

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da sua história a Terra vem sendo bombardeada por corpos celestes que, certamente, produziram um incontável número de crateras de impacto. Entretanto, a maior parte dessas estruturas teve seus registros mascarados ou até mesmo destruídos pelos processos geológicos subsequentes à sua formação. As cicatrizes dessas crateras comprovadamente formadas pelo impacto de corpos extraterrestres contra a superfície do nosso planeta recebem a designação de astroblemas (Dietz, 1961).

São reconhecidas atualmente mais de 170 estruturas de impacto no nosso planeta, na sua quase totalidade identificadas nos últimos 50 anos (PASSC, 2004). A maior parte está situada no hemisfério norte - em função da maior extensão das áreas emersas, como também do nível de conhecimento geológico - em condições climáticas temperadas a frias, sendo menos numerosas no hemisfério sul, em regiões intertropicais.

Até o presente momento, cinco estruturas foram reconhecidas como astroblemas no Brasil, e outras seis aguardam evidências conclusivas para serem consideradas como tal (Crósta *et al.* 2005). A Cratera de Colônia, com centro nas coordenadas $23^{\circ}52'S$ e $46^{\circ}42'20''W$, distante cerca de 35 km ao sul da Praça da Sé, centro da Cidade de São Paulo, no distrito de Capela do Socorro (Fig. 1), está incluída neste segundo grupo. Ela apresenta formato circular, bem destacado em fotografias aéreas e imagens de sensores remotos. Com pouco mais de 3,6 km de diâmetro, a estrutura é circundada por um anel externo de relevo colinoso que se eleva até 125 m acima da planície central pantanosa (Fig. 2). Desde os primeiros estudos, há mais de três décadas (Kollert *et al.*, 1961), esta estrutura vem sendo considerada como testemunho do impacto de um corpo celeste (meteorito ou cometa), o que a caracterizaria como um astroblema.

Além da origem, outro aspecto de interesse é o seu preenchimento sedimentar, que pode atingir até 450m de espessura máxi-

ma. Estes sedimentos guardam o registro das transformações ambientais ocorridas na região desde a formação da cratera, constituindo-se, portanto, num local excepcionalmente favorável para o desenvolvimento de estudos paleoclimáticos, sobretudo para o Quater-

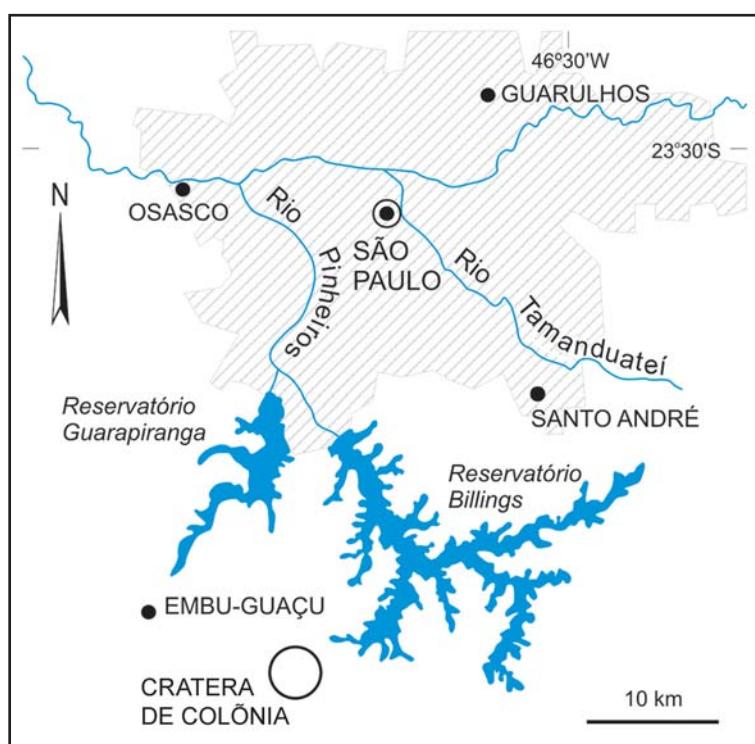


Figura 1 - Localização da Cratera de Colônia na região da Grande São Paulo. A área hachurada corresponde à área urbana.

Figure 1 - Location of the Colônia Crater in the Great São Paulo region. The urban area is hatched.

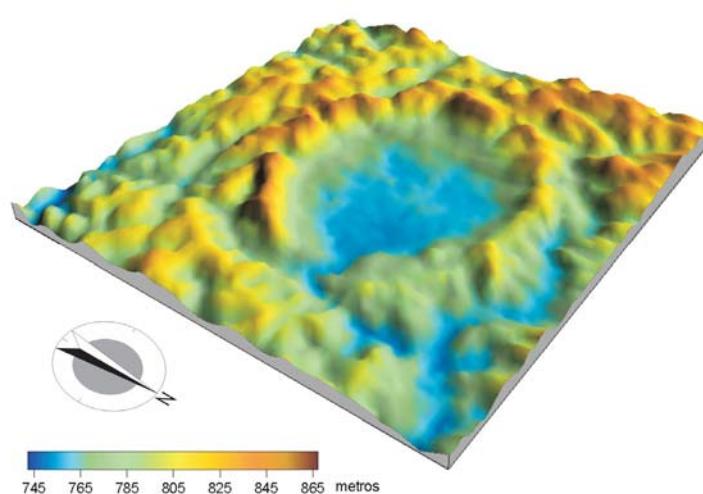


Figura 2 - Modelo de elevação do terreno da área da Cratera de Colônia, elaborado a partir de dados da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), United States Geological Survey (USGS), 2002.

Figure 2 - Elevation model of the Colônia Crater based on data obtained by the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), United States Geological Survey (USGS), 2002.

nário. Ademais, são raras as crateras preenchidas por sedimentos em regiões de clima úmido.

A drenagem no interior da cratera foi até recentemente endorreica, existindo atualmente uma única saída, na parte leste, rumo ao Reservatório Billings. Tendo em vista a proximidade da Serra do Mar, a região apresenta cobertura vegetal de floresta úmida, típica da Mata Atlântica. Há também ocorrências localizadas de *Araucária angustifolia* (Bert.) Kuntze.

CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

A Cratera de Colônia encontra-se instalada sobre rochas proterozóicas do Cinturão de Dobramentos Ribeira (Hasui *et al.*; 1975). Este cinturão é recortado por densa trama de zonas de cisalhamento transcorrentes, com direções E-W a ENE, ativos até o final do Ciclo Brasiliense (Sadowski & Campanha, 2004). Micaxistos, quartzitos, gnaisses, migmatitos, dioritos e quartzo dioritos, localmente milonitizados, são os principais litotipos presentes (Sadowski, 1974; Coutinho, 1980) (Fig. 3). Lamitos correlacionados à Formação Resende, de idade paleogênica (Riccomini *et al.*, 2004), ocorrem nas porções sul e sudeste no interior da estrutura, onde configuram área de distribuição em semi-círculo, e também ao sul desta, como manchas isoladas do principal corpo de sedimentos da Bacia de São Paulo. Em zona de falha de empurrão, com direção WNW e mergulho para NNE, situada a cerca de 1 km ao sul do anel externo da cratera (local A, Fig. 3), ocorre imbricação tectônica de lamitos seixosos a argilosos correlacionados à Formação Resende com gnaisses pré-cambrianos, o que poderia representar parte do anel externo cavalgado sobre as rochas circunvizinhas, embora não se descarte sua possível relação com deformações associadas ao tectonismo cenozóico regional (Riccomini *et al.*, 1989, 2004). Depósitos coluviais e aluviais neogênicos e quaternários também ocorrem na região, sendo mais expressivos no interior da estrutura (Riccomini *et al.*, 1991).

A cratera encontra-se nas proximidades da borda sudeste do Planalto Paulistano (Almeida 1958), de provável idade neogênica. Este planalto apresenta relevo suavizado, de morros e espigões relativamente baixos, com altitudes entre 715 e 900 m. Trata-se de um com-

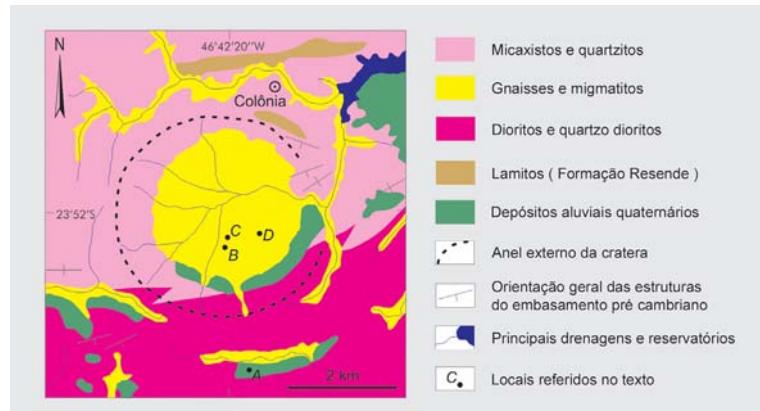


Figura 3 - Mapa geológico da área da Cratera de Colônia (modificado de Coutinho, 1980 e Riccomini *et al.* 1991): 1. micaxistos e quartzitos; 2. gnaisses e migmatitos; 3. dioritos e quartzo dioritos; 4. lamitos (Formação Resende); 5. depósitos aluviais quaternários; 6. anel externo da cratera; 7. orientação geral das estruturas do embasamento pré-cambriano; 8. principais drenagens e reservatórios; 9. locais referidos no texto.

Figure 3 - Geologic map of the region of the Colônia Crater (modified after Coutinho, 1980 and Riccomini et al., 1991): 1. mica schists and quartzites; 2. gneisses and migmatites; 3. diorites and quartz diorites; 4. mudstones (Resende Formation); 5. Quaternary alluvial deposits; 6. crater rim; 7. structural trend of the Precambriam basement; 8. main drainage an reservoirs; 9. sites referred in the text.

partimento geomorfológico mais novo do que a Superfície Japi, esta de extensão regional e idade neocretácea a paleógena (Riccomini *et al.* 2004).

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS E HIPÓTESES SOBRE A ORIGEM

A assinatura geofísica mais comum e distinta das crateras de impacto é a de um baixo gravimétrico circular (Pilkington & Grive, 1992). Este aspecto já havia sido revelado desde o primeiro levantamento gravimétrico realizado em Colônia, servindo, juntamente com dados de eletrorresistividade, para que fosse aventada a hipótese inicial de origem por impacto de meteorito (Kollert *et al.* 1961), reafirmada em todos os trabalhos posteriores (v.g. Crósta, 1987; Riccomini *et al.* 1989; Neves 1998; Riccomini & Turcq, 2004).

Em função das suas características singulares, a depressão de Colônia foi alvo de numerosas investigações científicas, iniciadas na segunda metade da década de 1980. Um roteiro de excursão, contendo uma revisão dos trabalhos prévios, discussão das hipóteses sobre a origem da estrutura, análise de parâmetros morfológicos, bem como resultados sobre a sedimentação do Pleistoceno Superior foi elaborado para o Simpósio internacional sobre mudanças globais na América do Sul

durante o Quaternário, realizado em 1989 (Riccomini *et al.*, 1989), e atualizado três anos depois (Riccomini *et al.* 1992). Nestes trabalhos, com base em relações empíricas entre diâmetro e profundidade para crateras com diâmetros menores do que 3,8 km (Grieve & Robertson, 1979), foi estimado que a estrutura de Colônia alcançaria originalmente 900 m de profundidade e teria sido preenchida por até 436 m de sedimentos.

No início da década de 1990 foram realizados levantamentos geofísicos por diferentes métodos na região (Fig. 4). Investigações pelo método audiomagnetotelúrico (AMT) permitiram delinear o formato em calota da estrutura, apontar espessura de sedimentos entre 200 e 355 m, com profundidade máxima de 500 m, e a possível existência de uma camada de transição entre o pacote sedimentar e o embasamento (Masero & Fontes, 1991, 1992). Pelo método gravimétrico foi verificada a assimetria da estrutura segundo a direção nordeste e estimado que o embasamento encontrava-se a uma profundidade entre 300 e 350 m (Motta & Flexor, 1991). Posteriormente, levantamentos sísmicos com fonte explosiva, executados pelo então Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo na parte sul da cratera, permitiram estimar entre 380 e 430 m a profundidade da interface entre os sedimentos e o substrato pré-cambriano e apontaram a existência de uma zona com baixa velocidade sísmica no topo do embasamento, sugerindo a presença de rochas brechadas ou fraturadas, talvez geradas pelo impacto (Neves 1998).

Em planta a Cratera de Colônia é nitidamente circular. Entretanto, em seção vertical os dados geofísicos AMT e gravimétricos mostram clara assimetria, também presente no perfil sísmico. Esta assimetria é evidenciada pela aproximação dos círculos desenha-

dos pelo anel externo e pela planície aluvial interna, sugerindo possível relação com a trajetória do bólido, de NE para SW, antes do presumível impacto (Riccomini *et al.* 1992). Esta possibilidade havia sido aventada anteriormente em função da existência de colinas mais elevadas na porção sudoeste do anel externo da cratera (Coutinho, 1987, comunicação pessoal ao primeiro autor).

Não foram ainda encontradas evidências diretas, especialmente feições de metamorfismo de impacto, de que a estrutura constitua verdadeiramente um astrolema. Isso decorre do fato da cratera estar preenchida com sedimentos que ocultam evidências, eventualmente presentes na parte central da estrutura, e ainda pelo espesso manto de intemperismo desenvolvido nas rochas do anel externo da cratera e seus arredores. Assim, até o presente momento, podem ser arroladas como principais indicações de possível origem por impacto de bólido extraterrestre para a Cratera de Colônia: (a) seu formato de calota; (b) o padrão semi-circular de distribuição dos sedimentos paleogênicos da Formação Resende nas porções sul e sudeste no interior da estrutura; (c) a existência de zona de falha de empurrão com imbricação tectônica entre lamitos paleogênicos e gnaisses pré-cambrianos, talvez parte do anel externo cavalgado sobre sedimentos; e (d) existência de uma zona com baixa velocidade sísmica, provavelmente brechada, no topo do embasamento pré-cambriano.

Hipóteses alternativas para explicar a existência dessa estrutura circular deprimida, tais como (a) feição cárstica (dolina), (b) padrão de interferência de estruturas, (c) intrusão de corpo magmático, (d) estrutura de criptoexplosão associada a kimberlito e (e) feição de escorregamento do terreno de grande porte, podem ser descartadas, respectivamente, (a) pelo fato de não terem sido cartografadas rochas carbonáticas na região, (b) persistência da altitude principal das estruturas do embasamento, (c e d) falta de indicações de estruturas e/ou corpos intrusivos menores que poderiam estar associados com intrusões kimberlíticas e pela dimensão não usual para estas e (e) devido à geometria circular, atípica para uma feição de escorregamento (Riccomini *et al.* 1991).

Assim, embora ainda não tenham sido encontradas evidências diretas, os dados já acumulados convergem para a hipótese de impacto de corpo celeste para a origem da estrutura de Colônia. Acredita-se que in-

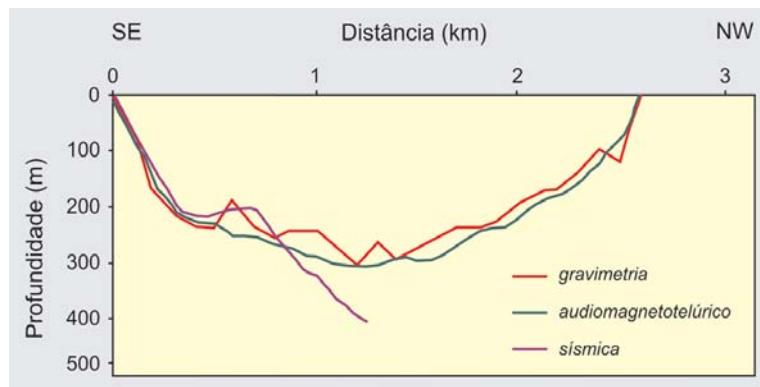


Figura 4 - Seção de direção NW-SE da Cratera de Colônia elaborada a partir de dados geofísicos (Riccomini *et al.*, 1992 e Neves, 1998, modificados).

Figure 4 - NW-SE section of the Colônia Crater based on geophysical data (after Riccomini *et al.*, 1992 and Neves, 1998, modified).

dícios de metamorfismo de impacto poderão ser obtidos com o exame de testemunhos de seu embasamento ou da porção inferior do preenchimento sedimentar.

O PREENCHIMENTO SEDIMENTAR E OS REGISTROS PALEOCLIMÁTICOS

Os diferentes métodos geofísicos indicam que a Cratera de Colônia foi preenchida com espesso pacote de sedimentos. Uma sondagem para água subterrânea realizada na porção sul da estrutura (local B, Fig. 3) atravessou 270 m de sedimentos e teria atingido substrato pré-cambriano (Rocha *et al.* 1989). O exame do material proveniente desta perfuração mostrou que os sedimentos são essencialmente pelíticos e ricos em matéria orgânica, com intercalações de lamas arenosas micáceas com grânulos e seixos. Existem apenas duas dessas intercalações nos 100 m superiores. Elas são mais freqüentes entre 100 e 200 m de profundidade e predominantes, com espessuras até decamétricas, nos 70 m inferiores (Fig. 5). A presença de grânulos e seixos de rochas do embasamento em matriz lamosa permitiu considerar a seção inferior como um pacote fanglomerático, proveniente das porções elevadas das bordas, provavelmente relacionado ao entulhamento inicial da cratera e não o embasamento (Riccomini *et al.*, 1991). O exame da fração argilosa dos sedimentos ao microscópio eletrônico de varredura, combinado com análises por difração de raios X, mostrou que os argilominerais presentes são predominantemente neoformados, subordinadamente detriticos, pertencentes ao grupo das caulinitas.

Desde 1987, em cooperação com pesquisadores franceses (acordo entre o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, do Brasil, e o Institut de Recherche pour le Développement - IRD, da França), pesquisadores do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo vêm conduzindo numerosas investigações na área. Um programa de sondagens rasas com vibrotestemunhador (Figs. 6, 7 e 8) permitiu o exame do conteúdo polínico dos sedimentos, bem como a análise isotópica da matéria orgânica e a realização de datações pelo método do radiocarbono (Carbono 14).

De início, foi estudado um testemunho que atingiu a profundidade de 8,78 m e revelou a presença de sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica (turfa), de cor preta, localmente preta acinzentada ou preta esverdeada (local C, Fig. 3). Alguns grãos e grânulos de quartzo apareceram abaixo da profundidade de 2,27 m, ocorrendo um intervalo com predomínio de areia

fina micácea de coloração preta acinzentada entre 2,53 e 2,65 m. Fragmentos de caules, restos de folhas e espinhos, além de alguns frutos, ocorrem ao longo do testemunho, predominando nos 2 m inferiores. As determinações ¹⁴C indicaram idades entre 28.050 e 18.180 anos A.P. para os sedimentos situados acima de 2,73 m, não havendo, neste testemunho, registro de sedimentos holocênicos. Estudos preliminares do material polínico indicaram a presença de vegetação de floresta entre 7,50 e 6 m, correspondente a clima ameno, seguido de condições climáticas progressivamente mais frias, marcadas pelo decréscimo de elementos de flores (*Ilex*, inicialmente, e posteriormente todos os outros elementos) e gradual incremento da vegetação campestre (*Gramineae* e *compositae*) até o intervalo arenoso (2,73 m, 28.050 A.P.). Segundo os autores, este intervalo seria caracterizado pela influência de vegetação de pântano e turfeira, levando-os a crer que a redução da floresta esteve antes relacionada a um decréscimo da temperatura do que a incremento na aridez climática. Após 28.050 A.P. (2,73 m) ocorre drástica redução dos elementos de floresta, pântano e turfeira, coincidindo com grande incremento de elementos campestres, sugerindo mudança climática significativa para condições mais frias e semi-áridas, que perdurariam até 18.180 A.P. (0,50 m) (Riccomini *et al.* 1991).

Um segundo testemunho com 7,80 m de comprimento (local D, Fig. 3), estudado mais recentemente (Ledru *et al.* 2005), mostrou características sedimentológicas semelhantes ao anterior, mas com registro holocênico na sua parte superior, com idades ¹⁴C calibradas entre 4.350 e 4.565 A.P. para o intervalo de 0,51 a 0,53 m de profundidade. Os sedimentos situados a pouco mais de 1,80 m de profundidade forneceram idades ¹⁴C entre 33.150 e 36.700 A.P., no limite do método. A freqüência de pólens arbóreos foi analisada em toda a extensão do testemunho e as mudanças extremas nas suas porcentagens comparadas com dados de isótopos estáveis obtidos de espeleotemas (cavernas de Santana, SP, e Botuverá, SC), sondagem marinha (Ocean Drilling Project site 663, parte leste do Atlântico Equatorial) e testemunhos de gelo da Groenlândia (Grip) e Antártica (Vostok), permitindo que fosse estimada uma idade de 110.000 anos para a base da coluna amostrada (Ledru *et al.*, 2005). Ainda com base na freqüência desses pólens arbóreos foi constatado que durante o último máximo glacial houve um forte aumento na freqüência de pólens arbóreos, refletindo altas taxas de umidade. O início do Holoceno é marcado por baixa sazonalidade

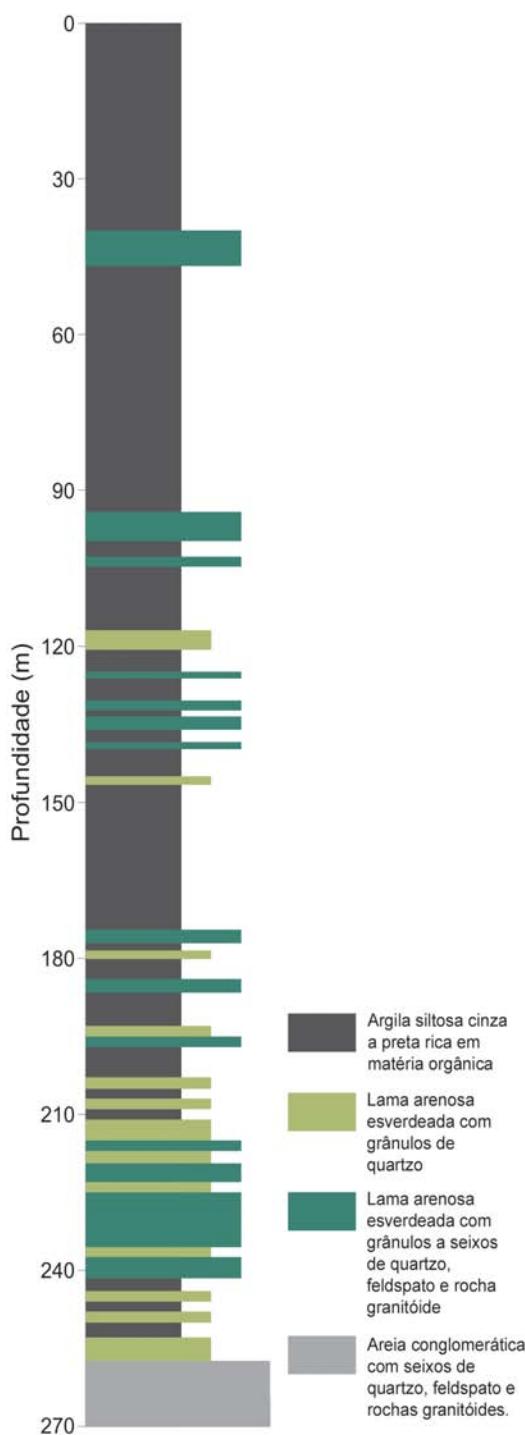


Figura 5 - Perfil de sondagem para água subterrânea (local B, Fig. 3): 1. argila siltosa cinza a preta rica em matéria orgânica; 2. lama arenosa esverdeada com grânulos de quartzo; 3. lama arenosa esverdeada com grânulos a seixos de quartzo, feldspato e rocha granítóide; 4. areia conglomerática com seixos de quartzo, feldspato e rochas granítóides.

Figure 5 - Water-well log (site B, Fig. 3): 1. gray to black organic-rich silty clay; 2. greenish sandy mud with quartz granules; 3. greenish sandy mud with granules to pebbles of quartz, feldspar and granitoid rocks; 4. gravelly sand with pebbles of quartz, feldspar and granitoid rocks

no regime pluviométrico, que passa a registrar mudanças abruptas a partir de então. Esses padrões na expansão de florestas são correlacionáveis com as variações na circulação atmosférica e, consequentemente, com o regime de chuvas da região, como indicado pela composição isotópica de calcita de espeleotemas (Cruz Jr. *et al.*, 2005).

IDADE DO PRESUMÍVEL IMPACTO

Relações empíricas estabelecidas com base no diâmetro, grau de preservação e idade de crateras conhecidas (Grieve & Robertson, 1979), sugerem que a idade máxima para o impacto estaria compreendida no intervalo entre 36,4 Ma (final do Eoceno) e 5,2 Ma (início do Plioceno) (Riccomini *et al.*, 1991). Indicações de ordem geomorfológica sugerem idade neogênica ou mais recente para a formação da cratera, uma vez que a superfície aplainada da região, de idade provavelmente neogênica, foi aparentemente deformada pela estrutura (Riccomini *et al.*, 1992). Considerando-se que os 7,80 m superficiais dos sedimentos que preenchem a cratera foram depositados em aproximadamente 110.000 anos (Ledru *et al.* 2005), tem-se uma taxa de sedimentação média de 0,071 mm.ano⁻¹, que não considera eventuais descontinuidades e a compactação dos sedimentos. Dos 270 m de sedimentos atravessados pela sondagem para água subterrânea, cerca de dois terços são de natureza pelítica orgânica, semelhante ao pacote superior antes referido. Extrapolando-se a taxa de sedimentação e também desconsiderando-se a existência de eventuais descontinuidades e a compactação dos depósitos, ter-se-ia um prazo mínimo de aproximadamente 2,5 Ma para a deposição desta seção. O intervalo de tempo para a deposição de todo o pacote sedimentar, para o qual estima-se espessura máxima de 450 m, não deve ser muito superior a este prazo, pois admite-se que a deposição da seção inferior, de natureza fanglomerática, teria ocorrido a taxas de sedimentação consideravelmente mais elevadas.

MEDIDAS DE PROTEÇÃO

A ocupação da área da Cratera de Colônia teve início no século XVIII, quando o Imperador D. Pedro I autorizou a instalação de chácaras por colonos alemães, cujos descendentes ainda vivem na região. No interior da cratera ocorrem a mata de encosta, mata de turfeira e campo brejoso, ecossistemas que abrigam expressiva biodiversidade. Até meados da década de 1980 parte representativa da cobertura vegetal original da região



Figura 7 - Os sedimentos que preenchem a Cratera de Colônia representam um verdadeiro arquivo das mudanças climáticas que ocorreram no Quaternário no sudeste do Brasil. Na foto, pesquisadores da USP e do IRD (França) utilizam um vibrotestemunhador para a obtenção de testemunhos dos sedimentos da cratera (foto: C. Riccomini).

Figure 7 - The sedimentary fill of the Colônia Crater is an archive of paleoclimatic changes which occurred in southeastern Brazil during the Quaternary. The photo shows researchers from USP and IRD (France) performing a vibrocore sampling to recover sediments of the crater (photo: C. Riccomini).

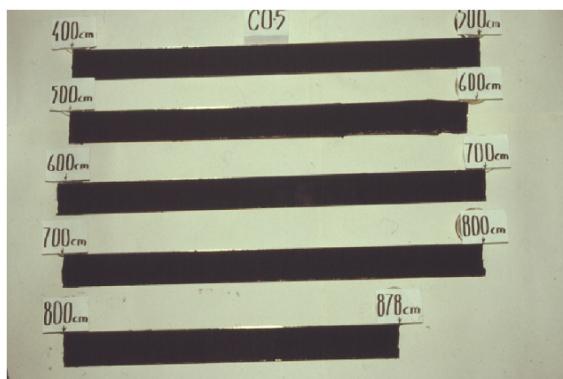


Figura 8 - Seções de testemunho de sondagem obtido com vibrotestemunhador contendo sedimento argiloso rico em matéria orgânica (turfa). Pólens extraídos destes sedimentos permitiram reconstituir a paleovegetação, inferir condições paleoclimáticas e estabelecer correlações dos sedimentos de Colônia com outros registros paleoclimáticos obtidos em cavernas, em mantos de gelo e em sedimentos marinhos do planeta (foto: C. Riccomini).

Figure 8 - Sections of a vibrocore with organic-rich clayey (peat) sediment. Pollen grains from this core allowed to reconstruct the paleovegetation, to infer paleoclimatic conditions and the correlation of sediments from Colônia with other paleoclimatic records from caves, ice caps and marine sediments worldwide (photo: C. Riccomini).



Figura 6 - Modelo digital de elevação com sobreposição de imagem IKONOS da Cratera de Colônia (composição: J.A. Ferrari).

Figure 6 - IKONOS image upon digital elevation model of the Colônia Crater (composition: J.A. Ferrari).

estava preservada. Os proprietários de pequenos sítios localizados no interior da estrutura dedicavam-se unicamente ao cultivo de vegetais destinados ao consumo na capital paulista. Por estar situada nos limites da zona urbana do Município de São Paulo, a região passou então a ser objeto de demanda de espaço para construções, inicialmente de um presídio (1986-1987), e posteriormente de moradias (a partir de 1988), respectivamente nas partes noroeste e norte da encosta interna da depressão. A ocupação avançou rumo ao interior da cratera, onde foi contida, até o momento, pela natureza turfosa do substrato, e pela existência de áreas privadas limítrofes.

A Prefeitura do Município de São Paulo criou em junho de 2001 a APA Capivari-Monos, localizada no extremo sul da Cidade de São Paulo, a primeira área de proteção ambiental do município. Com cerca de 250 km², ela abrange a Zona Especial de Proteção e Recuperação do Patrimônio Ambiental, Paisagístico e Cultural do Astroblema Cratera de Colônia (ZEPAC), por compreender situações específicas diferenciadas que prevêem a recuperação e proteção integral dos ecossistemas da Cratera de Colônia, dentre outros aspectos. Por iniciativa das escolas locais, posteriormente encampada pela comunidade, desenvolveu-se o Projeto Cratera Limpa de coleta seletiva de lixo. Pessoas da comunidade local, apoiadas pela Secretaria do Verde e do Meio Ambiente, pela Pastoral da Igreja Católica, escolas estaduais e municipais, são capacitadas a executar a seleção do lixo.

Em 30 de junho de 2003, após oito anos de estudos, o Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico do Estado de São Paulo (CONDEPHAAT) aprovou o tombamento da área da cratera. O texto final do projeto, aprovado pelo conselho, já foi encaminhado para a Secretaria Estadual de Cultura para homologação. Durante o ano de 2005 a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo desenvolve um projeto institucional com seus alunos de graduação voltado ao múltiplo aproveitamento do espaço da Cratera de Colônia.

A esse conjunto de ações soma-se o interesse da imprensa, que vem permitindo a freqüente divulgação do patrimônio natural da Cratera de Colônia e sua importância para o Município de São Paulo.

Enfim, a cratera de Colônia constitui-se num sítio extremamente favorável às pesquisas científicas, tanto pelos aspectos referentes à sua gênese por impacto de bólido extraterrestre, quanto por ser um verdadeiro testemunho das transformações ambientais ocorridas na região da Grande São Paulo durante o Quaternário. A continuidade das investigações depende da preservação da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M. 1958. O Planalto Paulistano. In: *A Cidade de São Paulo*. São Paulo, Associação dos Geógrafos Brasileiros, p.113-167.
- Coutinho, J.M.V. 1980. *Mapa geológico da Grande São Paulo, 1:100.000*. São Paulo, EMPLASA, 2 folhas.
- Crósta, A.P. 1987. Impact structures in Brazil. In: Pohl, J. (Edit.) *Research in terrestrial impact structures*, Braunschweig-Wiesbaden, Friedr. Vieweg & Son, p.30-48.
- Crósta, A.P.; Kazzuo-Vieira, C.; Choudhuri, A.; Schrank, A. 2005 Astroblema Domo de Vargeão, SC - Registro de impacto meteorítico sobre rochas vulcânicas da bacia do Paraná. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio114/sitio114.pdf>.
- Cruz Jr., F.W.; Burns, S.J.; Karmann, I.; Sharp, W.D.; Vulle, M.; Cardoso, A.O.; Ferrari, J.A.; Dias, P.L.S.; Viana Jr., O. 2005. Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. *Nature*, **434**:63-66.
- Dietz, R.S. 1961. Astroblemes. *Scientific American*, **205**:141-148.
- Grieve, R.A.F.; Robertson, P.B. 1979. The terrestrial cratering record, I. Current status of observations. *Icarus*, **38**:212-219.
- Hasui, Y.; Carneiro, C.D.R.; Coimbra, A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, **5**:257-266.
- Kollert, R.; Björnberg, A.; Davino, A. 1961. Estudos preliminares de uma depressão circular na região de Colônia: Sto. Amaro, São Paulo. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **10**:57-77.
- Ledru, M.P.; Rousseau, D.D.; Cruz, F.W.J.; Karmann, I.; Riccomini, C.; Martin, L. 2005. Paleoclimate changes during the last 100ka from a record in the Brazilian Atlantic rainforest region and interhemispheric comparison. *Quaternary Research*, **64**: 444-450.
- Masero, W.C.B.; Fontes, S.L. 1991. Audiomagnetotelluric investigation of the Colônia Depressão, São Paulo - Brazil. In: Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 2, Salvador. *Anais*, v.1, p.317-322.
- Masero, W.C.B.; Fontes, S.L. 1992. Geoelectrical studies of the Colônia impact structure, Santo Amaro, State of São Paulo - Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, **10**:25-41.
- Motta, U.S.; Flexor, J.M. 1991. Estudo gravimétrico da Depressão Circular de Colônia, São Paulo, Brasil. In: Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 2, Salvador. *Anais*, v.1, p.140-142.
- Neves, F.A. 1998. Estudo da depressão circular de Colônia, SP, pelo método sísmico. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**:3-10.
- PASSC. 2004. *Earth Impact Database*. Planetary and Space Science Centre, University of Brunswick, <http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/index.html>.

- Pilkington, M.; Grieve, R.A.F. 1992. The geophysical signature of terrestrial impact craters. *Review of Geophysics*, **30**:161-181.
- Riccomini, C.; Turcq, B.J. 2004. The Colônia Crater, a probable impact structure in southeastern Brazil. *Meteoritics and Planetary Science*, **39**:A88 (Supplement).
- Riccomini, C.; Turcq, B.; Martin, L. 1989. The Colônia Astrobleme. In: ABEQUA/INQUA, International symposium on global changes in South America during the Quaternary: past, present and future, São Paulo. *Excursion field guide*, 14p.
- Riccomini, C.; Turcq, B.; Martin, L.; Moreira, M.Z.; Lorschetter, M.L. 1991. The Colônia Astrobleme, Brasil. *Revista do Instituto Geológico*, **12**:87-94.
- Riccomini, C.; Neves, F.A.P.S.; Turcq, B. 1992. Astroblema de Colônia (São Paulo, Brasil): estágio atual de conhecimento. In: SBG, Núcleo São Paulo, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo. *Roteiros das Excursões*, v.3, p.1-14.
- Riccomini, C.; Sant'Anna, L.G.; Ferrari, A.L. 2004. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B. (Org.) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, .Beca, p.383-405.
- Rocha, G.A.; Gonçalves, V.G; Rebouças, A.C.; Barreto, L.M.B. 1989. Hidrogeologia da Bacia de São Paulo. In:IG-USP/SBG, Núcleo São Paulo, Workshop Geologia da Bacia de São Paulo, São Paulo. *Coletânea das Comunicações*, p.44-59.
- Sadowski, G.R. 1974. *Tectônica da Serra de Cubatão, SP*. São Paulo, 159p. (Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).
- Sadowski, G.R.; Campanha, G.A.C. 2004. Grandes falhas no Brasil continental. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B. (Org.) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, .Beca, p.407-421.

¹ Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago 562, CEP 05508-080, São Paulo, SP, Brasil; fone: 0xx11-3091.4126, fax: 0xx11-3091.4207, riccomin@usp.br

² Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Bondy, França; endereço atual: Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geoquímica, Morro do Valongo s/nº, Centro, CEP 24020-007, Niterói, RJ, Brasil; fone 0xx21-2629.2208, fax: 0xx21-2717.4189, bturcq@geoq.uff.br

³ Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Bondy, França; endereço atual: Equipe Paléoenvironnements, Institut des Sciences de l'Evolution (CNRS-UMR 5554), Université Montpellier II (case postale 061), Place Eugène

Bataillon 34095 Montpellier cedex 05, França; fone: 33 (0)4 67 14 33 76; fax: 33 (0)4 67 04 20 32, ledru@isem.univ-montp2.fr

⁴ Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Av. Arlindo Bétio 1000, Parque Ecológico do Tietê, Ermelino Matarazzo, CEP 03828-080, São Paulo, SP, Brasil; fone: 0xx11-3091.8119, lsantann@usp.br

⁵ Instituto Geológico, Av. Miguel Stéfano 3900, CEP 04301-903, São Paulo, SP, Brasil; fone: 0xx11-5077.1209; fax: 0xx11-5077.2219 ferrari@igeologico.sp.gov.br

■ Trabalho divulgado no site da SIGEP
<<http://unb.br/ig/sigep>>, em 26/5/2005.



CLAUDIO RICCOMINI

Graduado em Geologia pela Universidade de São Paulo (1977), mestre em sensoriamento remoto pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (1983), doutor em geologia sedimentar (1990) e livre-docente na em bacias sedimentares brasileiras (1995). Atualmente é professor titular do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental do Instituto de Geociências, USP. Foi geólogo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1980-1986). É membro dos corpos consultivos e editoriais de periódicos nacionais e internacionais na área de Geociências. Ocupou vários cargos diretivos e de representação, destacando-se a presidência da Sociedade Brasileira de Geologia. Suas atividades de pesquisa atuais estão voltadas à origem e evolução de bacias sedimentares, com ênfase na tectônica, sedimentação e estratigrafia do Mesozóico e Cenozóico.



BRUNO JEAN TURCQ

Graduado em Geologie et Application Au Domaine Marin pela Universite de Bordeaux I (1980) e doutorado em Géologie et Application au Domaine Marin pela Universite de Bordeaux I (1984) . Atualmente é pesquisador do Institut de Recherche Pour Le Développement (IRD, França). Suas atividades de pesquisa atuais estão dirigidas ao estudo das mudanças paleoambientais, paleoclimáticas e paleooceanografia, bem como a modelagem ambiental e climática.



MARIE-PIERRE LEDRU

É palinóloga do Institut de Recherche pour le Développement (IRD, França), atualmente ligada ao Institute of Evolution Sciences in Montpellier (ISEM), onde investiga a paleoecologia neotropical. Sua linha de pesquisa principal é voltada ao estudo da dinâmica das florestas relacionada às mudanças climáticas ocorridas na América do Sul durante o Quaternário. Tem publicado vários trabalhos abordando a evolução da expansão, composição florística e biodiversidade da floresta Atlântica no nordeste, São Paulo e Minas Gerais. Seus trabalhos de campo mais recentes têm sido centrados nas florestas tropicais andinas do Peru, Bolívia e Equador. Foi professora visitante do Instituto de Geociências, USP, no período de 1998 a 2003.



LUCY GOMES SANT'ANNA

Graduada em Geologia (1991), com mestrado (1994) e doutorado (1999) em Mineralogia pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Realizou pós-doutorado na USP e na Universidade de Strasbourg, França, da qual foi também pesquisadora visitante (2003). Atualmente é professora doutora do Curso de Graduação em Gestão Ambiental da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP e orientadora no Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica do Instituto de Geociências da USP. Atua na área de Sedimentologia e Geoquímica Sedimentar, com ênfase em pesquisas sobre interações rocha-fluido, proveniência e diagênese de rochas sedimentares siliciclásticas, geologia de argilas e geocronologia de argilominerais.



JOSÉ ANTONIO FERRARI

Graduado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1986), mestrado em Geociências (Geomorfologia) pela Universidade Federal da Bahia (1991), doutorado em Geofísica pela Universidade de São Paulo (1997) e pós-doutoramento no Laboratoire Souterrain do CNRS - França (1998). Atualmente é Pesquisador Científico VI do Instituto Geológico do Estado de São Paulo e Professor Colaborador do IGc da Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geomorfologia, atuando principalmente nos seguintes temas: geomorfologia e hidrologia cárstica, evolução de cavernas, modelagem 3D de sistemas subterrâneos, paleoclimatologia, análise morfométrica de terrenos cársticos e aplicação de traçadores fluorescentes em sistemas cársticos.