

CARSTE EM ROCHAS NÃO-CARBONÁTICAS: O EXEMPLO DOS ARENITOS DA FORMAÇÃO FURNAS, CAMPOS GERAIS DO PARANÁ/BRASIL E AS IMPLICAÇÕES PARA A REGIÃO

KARST IN NON-CARBONATE ROCKS: EXAMPLE AND IMPLICATIONS IN THE FURNAS FORMATION SANDSTONES, CAMPOS GERAIS DO PARANÁ REGION, SOUTHERN BRAZIL

Mário Sérgio de Melo(1), Gilson Burigo Guimarães(1,2), Henrique Simão Pontes(2,4), Laís Luana Massuqueto(2,3), Isabelle Pigurim(4), Hugo Queiroz Bagatim(2,4) & Paulo César Fonseca Giannini(5)

(1)Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, Ponta Grossa-PR.

(2)Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas - GUPE, Ponta Grossa-PR.

(3)Mestranda em Geografia da UEPG, Ponta Grossa-PR.

(4)Egressos do Curso de Bacharelado em Geografia da UEPG, Ponta Grossa-PR.

(5)Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – IGc-USP, São Paulo, SP.

Contatos: msmelo@uepg.br; gburigo@ig.com.br; henrique071289@yahoo.com.br; lais500@yahoo.com.br; isa.pigurim@hotmail.com; hugobagatim@gmail.com; pcgianni@usp.br.

Resumo

Os arenitos da Formação Furnas (Siluriano-Devoniano da Bacia Sedimentar do Paraná) aflorantes na região dos Campos Gerais do Paraná apresentam típicas feições de dissolução: furnas (dolinas), depressões úmidas e secas, cavernas, sumidouros e ressurgências, relevos ruiformes, dutos, alvéolos, bacias e cúpulas de dissolução. Estas feições permitem identificar a existência de um sistema cárstico desenvolvido em rochas não-carbonáticas. Além de características texturais e mineralógicas do arenito, outros fatores favorecem os processos de dissolução e erosão subterrânea, tais como o forte gradiente hidráulico existente na área de exposição das rochas, situadas no reverso da Escarpa Devoniana, e importantes estruturas rúpteis, relacionadas com reativações de estruturas do embasamento e com a atividade mesozoica do Arco de Ponta Grossa. O relevo cárstico da Formação Furnas tem importantes implicações: enriquece o patrimônio natural e arqueológico e fortalece a possibilidade de iniciativas para a geoconservação e a educação para a sustentabilidade; controla o comportamento do Aquífero Furnas, muito utilizado principalmente em Ponta Grossa e Carambeí, e coloca a necessidade de medidas para sua preservação; adverte para a possibilidade de fenômenos típicos de relevos cársticos (subsídências e colapsos do terreno, alteração de cursos d'água), demandando programas de monitoramento preventivo. Estas características da Formação Furnas impõem que ela seja adequadamente considerada na legislação e políticas públicas referentes ao uso da terra nos municípios da região.

Palavras-Chave: carste em arenitos; Formação Furnas; carste não-carbonático; gestão do patrimônio natural.

Abstract

The sandstones of the Furnas Formation (Silurian-Devonian of the Paraná Sedimentary Basin) outcropping in the Campos Gerais region, state of Paraná, southern Brazil, show typical dissolution features: furnas (dolines), humid and dry depressions, caves, ruiniform reliefs, pipes, sinkholes, upwellings, dissolution pans and cupules. These features characterize the existence of a karst system developed in non-carbonate rocks. Besides textural and mineralogical attributes of the sandstones, other factors favor the processes of dissolution and subterranean erosion. They are the strong hydraulic gradient in the area, situated in the dip slope near the Devonian Escarpment, and important brittle structures, related to reactivations of basement faults and to the upwarping of the Ponta Grossa Arch in the Mesozoic. The karst relief of the Furnas Formation has important implications: enriches the natural and archaeological heritage and favors initiatives for geoconservation and education for sustainable development; controls the behavior of the Furnas Aquifer, very exploited in the cities of Ponta Grossa and Carambeí, and sets the need of policies for its preservation; warns for the risk of karst relief typical phenomena (terrain collapses and subsidences, change in water courses), demanding preventive monitoring programs. These characteristics of the Furnas Formation must be adequately considered by the legislative and executive authorities regarding the regional land use laws and policies.

Key-Words: karst in sandstones; Furnas Formation; non-carbonate karst; natural heritage management.

1. INTRODUÇÃO

A região denominada Campos Gerais do Paraná situa-se no reverso da Escarpa Devoniana, segundo degrau do relevo escalonado do estado do Paraná. Os Campos Gerais constituem uma região fitogeográfica, onde dominam campos limpos associados a florestas com araucária restritas a matas ripárias e capões (MAACK, 1948, 1950 e 2002). O domínio de vegetação herbácea é influenciado por solos rasos e pobres derivados dos arenitos da Formação Furnas, pela barreira geomorfológica representada pela Escarpa Devoniana e pelas temperaturas relativamente mais baixas nos altos platôs (até quase 1.300 metros) no reverso imediato da escarpa.

Os Campos Gerais apresentam notáveis feições indicativas de erosão subterrânea, destacando-se as furnas, lagoas, depressões secas e úmidas, sumidouros, ressurgências e cavernas. Vários fatores convergem para o desenvolvimento destas feições: petrografia dos arenitos da Formação Furnas, que apresentam cimentação argilosa solúvel; marcante deformação rúptil dos arenitos; situação em região onde o clima úmido tem predominado ao longo do tempo geológico; importantes gradientes hidráulicos favorecendo o trabalho erosivo da água subterrânea; idade das rochas e do relevo.

Há décadas o relevo típico da Formação Furnas nos Campos Gerais tem sugerido gênese a partir de fenômenos de dissolução (MAACK, 1946 e 1956). Estudos de Maack (1970) já haviam revelado grande variação na vazão de poços tubulares profundos perfurados na Formação Furnas, indicando não tratar-se de um simples aquífero poroso. Estudos mais recentes têm confirmado a importância dos fenômenos de dissolução nos processos de erosão subterrânea dos arenitos (TAMURA, 2003; MELO; GIANNINI, 2007).

Em trabalhos ao longo da última década tem-se relacionado as feições típicas dos arenitos da Formação Furnas com patrimônio natural (MELO et al., 2007), recursos hídricos subterrâneos (MELO, 2009; BAGATIM, 2010; PIGURIM, 2010), patrimônio arqueológico (SILVA et al., 2006 e 2007; PARELLADA, 2007), patrimônio geológico e geoconservação (GUIMARÃES et al., 2009) e riscos geoambientais associados a potenciais abatimentos do terreno (MELO et al., 2010).

As cidades de Ponta Grossa e Carambeí, situadas nos Campos Gerais, têm seus perímetros urbanos situados parcial ou totalmente sobre áreas de afloramento da Formação Furnas, e possuem significativa atividade industrial e agropastoril, que potencializa o uso dos recursos hídricos

subterrâneos. A localização destas cidades, as previsões de expansão dos sítios urbanos, o crescente uso da água, a necessidade de iniciativas de proteção do patrimônio natural e arqueológico reforçam a importância do entendimento das características dos fenômenos de erosão subterrânea da Formação Furnas.

2. MÉTODOS DE ESTUDO

O estudo das formas erosivas superficiais e subterrâneas dos arenitos da Formação Furnas tem tido diferentes abordagens, em escalas diversas:

- interpretação de feições de relevo e lineamentos estruturais em fotografias aéreas (escalas 1:8.000, 1:25.000 e 1:70.000), imagens de satélite LANDSAT 7 - ETM e ortoimagens em escala 1:50.000;
- mapeamento no campo de feições superficiais de erosão e de seus fatores controladores;
- análises laboratoriais de rochas sedimentares e seus materiais de alteração e reprecipitação (petrografia ótica, microscopia eletrônica de varredura, espectrometria de energia dispersiva, difratometria de raios X);
- mapeamento e estudo de cavidades subterrâneas;
- análise de dados de poços tubulares profundos (perfil geológico, vazão, qualidade da água).

Estas diferentes abordagens têm sido realizadas em projetos de pesquisa interinstitucionais (UEPG, USP, UFPR) que têm contemplado trabalhos de conclusão de curso de alunos de Geografia da UEPG e de Geologia da USP.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

Os Campos Gerais situam-se na borda do Segundo Planalto Paranaense, no reverso imediato da Escarpa Devoniana, segundo degrau do relevo escalonado do Estado do Paraná (Figura 1). Os desníveis ao longo da escarpa, que aparece em quase todo o centro-leste do estado do Paraná (Figura 2) variam de uma a três centenas de metros.

A unidade rochosa predominante na região dos Campos Gerais (Figura 2) é a Formação Furnas, com idade siluro-devoniana (BERGAMASCHI, 1999), constituída predominantemente por quartzo arenitos. São estas rochas, relativamente resistentes aos processos intempéricos, que sustentam a Escarpa Devoniana.

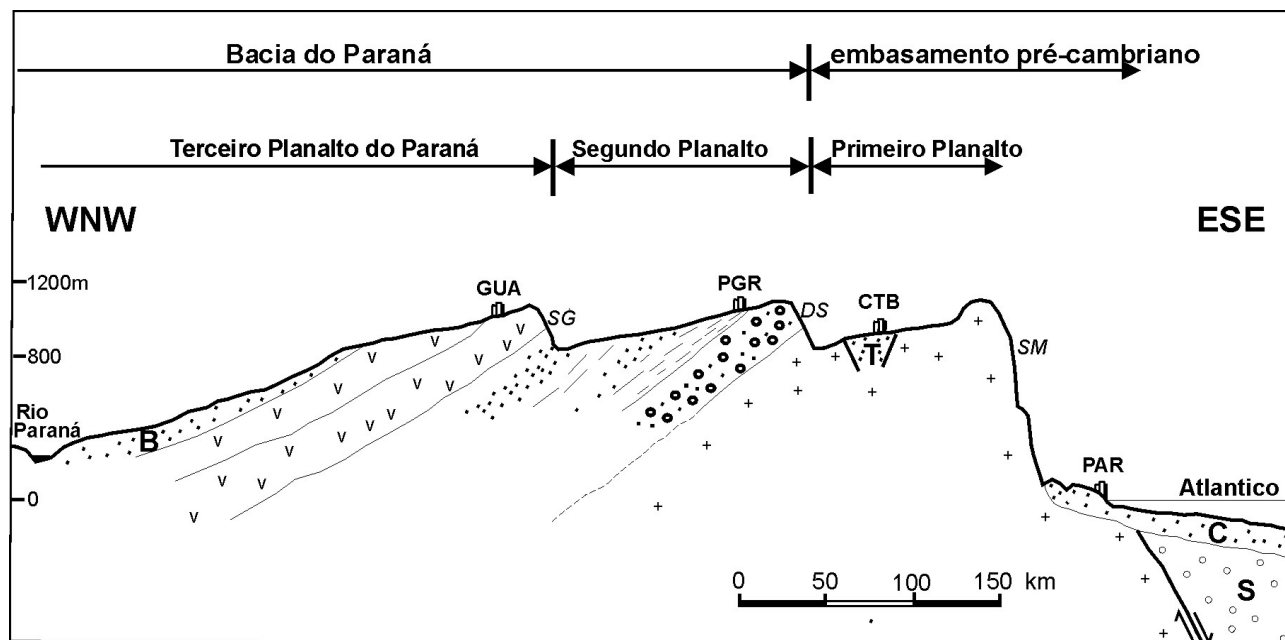


Figura 1: seção esquemática do Estado do Paraná mostrando a estrutura geológica e do relevo. 1) sedimentos cenozoicos da Plataforma Continental; 2) Bacia de Curitiba; 3) Grupos Bauru e Caiuá; 4) Bacia de Santos; 5) derrames basálticos; 6) rochas sedimentares paleozoicas a mesozoicas da Bacia do Paraná; 7) Formação Furnas; 8) embasamento pré-cambriano. Cidades: PAR: Paranaguá; CTB: Curitiba; PGR: Ponta Grossa; GUA: Guarapuava. Escarpas: SM: Serra do Mar; DS: Escarpa Devoniana; SG: Serra Geral.

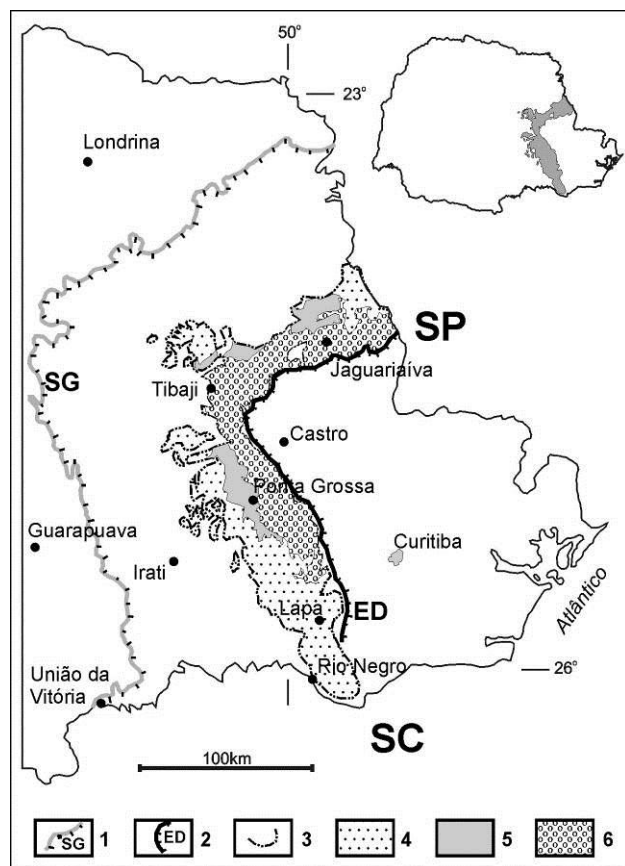


Figura 2 - Unidades geológicas nos Campos Gerais do Paraná. 1: Serra Geral; 2: Escarpa Devoniana; 3: limites dos Campos Gerais; 4: Grupo Itararé; 5: Formação Ponta Grossa; 6: Formação Furnas (baseado em Maack, 1948 e MINEROPAR, 1989).

Nos Campos Gerais a Formação Furnas quase sempre repousa diretamente sobre o embasamento antigo, este representado por rochas ígneas e metamórficas proterozoicas a cambrianas, destacando-se entre elas o Grupo Itaiacoca, por conter rochas metamórficas carbonáticas. Ocasionalmente abaixo da Formação Furnas ainda aparece a Formação Iapó, descontínua e delgada unidade basal da Bacia do Paraná na região. Acima da Formação Furnas ocorrem ou a Formação Ponta Grossa, com a qual apresenta contato gradacional (ASSINE *et al.*, 1994) ou rochas variadas do Grupo Itararé, com as quais apresenta contato erosivo. Na maior parte das vezes os arenitos da Formação Furnas encontram-se confinados entre rochas impermeáveis do embasamento abaixo e da Formação Ponta Grossa acima.

A Formação Furnas é constituída predominantemente de quartzo arenitos cuja composição original variava de quartzo arenitos a subarcóseos e até arcóseos, sendo que a atual dominância de quartzo resulta de processos diagenéticos que transformaram os feldspatos. A composição atual inclui, entre os minerais detríticos, quartzo (97%), feldspatos (1%), fragmentos líticos (1%) e micas (1%), além de acessórios menos abundantes (DE ROS, 1998).

A granulometria dos quartzo arenitos varia de areia fina a conglomerática, com predominância de areia média a grossa. Junto à base da unidade são

comuns conglomerados e arenitos conglomeráticos, enquanto em direção ao topo torna-se menos rara a intercalação de níveis silticos a lamíticos micáceos (ASSINE, 1996; DE ROS, 1998; LOBATO; BORGHI, 2005). Os grãos dos arenitos apresentam-se angulosos (Figuras 3A e 4B), em consequência de sobrecrecimento diagenético (DE ROS, 1998; MELO; GIANNINI, 2007).

Os arenitos estão dispostos em *sets* de espessuras de 0,5 a 5,0 metros com geometria tabular, lenticular e cuneiforme, exibindo marcante estratificação cruzada planar, tangencial na base ou acanalada (ASSINE, 1996). Dentro dos *sets* frequentemente observa-se granodecrescência ascendente, podendo ocorrer, ocasionalmente, até termos siltosos no topo.

A evolução diagenética dos quartzos arenitos envolveu vários fenômenos em diversas fases. Os minerais autógenos incluem principalmente quartzo, na forma de sobrecrecimento, caulinita e ilita, ocorrendo também clorita, albita, carbonatos e anatásio (RAMOS; FORMOSO, 1975; DE ROS, 1998). A caulinita diagenética é bem cristalizada, com cristais sanfonados que alcançam 10 µm de comprimento (Figura 4).

Tal evolução diagenética é responsável por duas das características determinantes do comportamento dos arenitos da Formação Furnas frente aos processos intempéricos e erosivos (DE ROS, 1998; MELO; GIANNINI, 2007): a porosidade média relativamente baixa (9%) e a intensa cimentação por caulinita (média de 13%).

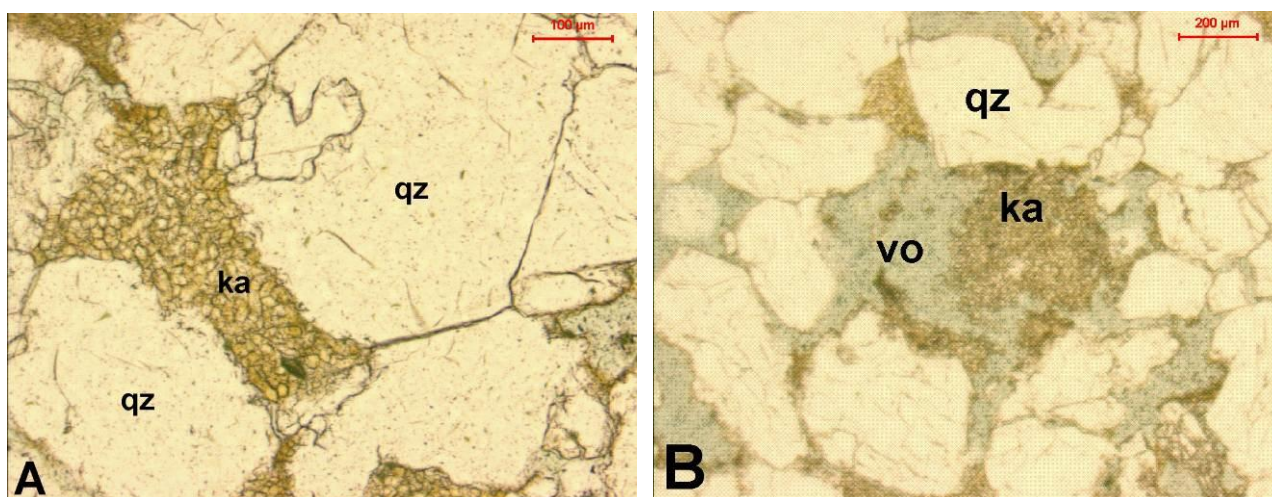


Figura 3: petrografia dos quartzos arenitos da Formação Furnas. A: grãos de quartzo euédricos graças a sobrecrecimento diagenético (qz) e preenchimento de poros intergranulares por sanfonas de caulinita diagenética (ka). B: grãos de quartzo (qz) e caulinita diagenética sanfonada (ka) possivelmente resultante de grão de feldspato transformado. Os vazios (vo) indicam que parte da caulinita foi removida (MELO; GIANNINI, 2007).

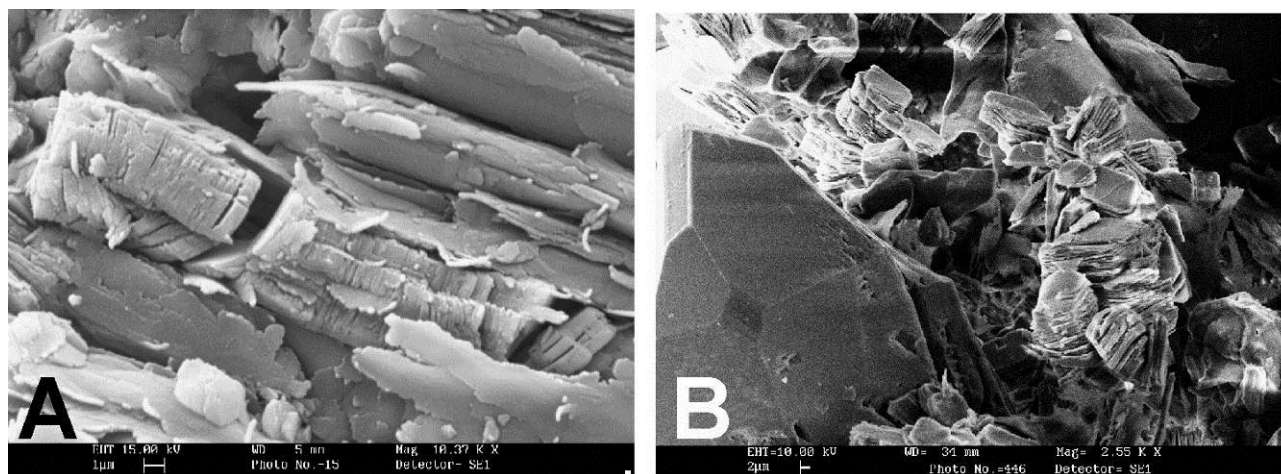


Figura 4: microscopia eletrônica de varredura dos quartzos arenitos da Formação Furnas. A: sanfonas de caulinita e placas de ilita diagenéticas. B: cristais euédricos de quartzo com sobrecrecimento diagenético e sanfonas de caulinita (MELO, 2006).

As rochas dos Campos Gerais apresentam-se fortemente deformadas por estruturas rúpteis (falhas e fraturas com ou sem diques associados), destacando-se três direções principais (ZALÁN et al., 1991):

- NE-SW (N50–70E), paralela às estruturas do embasamento antigo, recorrentemente reativadas durante o Fanerozoico;
- NW–SE (N45–60W), associada com a ruptura continental no Mesozoico, quando se desenvolveu na região o Arco de Ponta Grossa, com eixo nesta direção;
- E–W, paralela às fraturas oceânicas, desenvolvidas durante a deriva continental.

Estas direções estruturais tiveram papel fundamental na circulação da água subterrâneas e evolução das formas erosivas das rochas dos Campos Gerais.

4. PRINCIPAIS FORMAS DE RELEVO CÁRSTICO NA FORMAÇÃO FURNAS

A princípio houve alguma controvérsia sobre como denominar as formas de relevo observadas na Formação Furnas, resultantes da conjugação da erosão mecânica com importante erosão química (corrosão). Maack (1946 e 1956) já utilizara terminologia própria de relevo cárstico para denominar tais formas, empregando as denominações “dolinas”, “depressões doliniformes”, “formação carstiforme” e “ocorrências carstiformes”. Autores mais recentes (TAMURA, 2003; MELO, 2006; MELO; GIANNINI, 2007; MELO et al., 2007; SALLUN FILHO; KARMANN, 2007; PONTES, 2010; MASSUQUETO, 2010), reconhecendo a importância do processo de dissolução mineral na gênese das formas, e compartilhando o conceito atual de carste, conforme Wray (1997a e 1997b), têm utilizado a terminologia de formas cársticas, e ressaltado a importância de reconhecer os fenômenos cársticos nos arenitos da Formação Furnas.

As principais formas de relevo cárstico observadas nestes arenitos na região dos Campos Gerais são descritas nos itens a seguir.

4.1 Relevo ruiforme

Os relevos ruiformes presentes na Formação Furnas são esculturas singulares que variam de milímetros a dezenas de metros (Figura 5). Este relevo de exceção origina-se do processo erosivo das águas meteóricas promovendo a

dissolução da rocha, por meio de juntas, fraturas e planos de estratificação. Formam-se inicialmente sulcos e caneluras, posteriormente lapiás e finalmente torres, pináculos, fendas e labirintos, apresentando um relevo de aspecto desfeito. Ressalta-se o caráter diferencial da erosão quando níveis siltico-argilosos estão presentes, aumentando a complexidade morfológica destas feições.



Figura 5: exemplo de relevo ruiforme na Formação Furnas (Canyon do Rio São Jorge, município de Ponta Grossa).

4.2 Furnas

As furnas são dolinas de abatimento formadas pela existência de cavidades em profundidade (MAACK, 1956; SOARES, 1989; MELO, 2006). Tais cavidades podem ser geradas pela erosão dos arenitos sob influência do cruzamento de estruturas tectônicas (falhas e fraturas) ou podem constituir carste subjacente, neste caso em unidades carbonáticas do Grupo Itaiacoca (MAACK, 1956; SALLUN FILHO; KARMANN, 2007). Destacam-se as Furnas do Parque Estadual de Vila Velha, da localidade de Passo do Pupo e do Buraco do Padre, todas no Município de Ponta Grossa (Figura 6).

4.3 Depressões úmidas e secas

As depressões (Figura 7) são feições do relevo que indicam a existência de cavidades subterrâneas em desenvolvimento. Podem representar a fase inicial da formação das furnas, ou ainda dolinas de dissolução ou de subsidência. A concentração de matéria orgânica nestes locais, gerando principalmente solos hidromórficos, tais como organossolos e gleissolos, em conjunto com o escoamento das águas superficiais para dentro da depressão, permitem a formação e infiltração de ácidos orgânicos, favorecendo o processo de dissolução dos minerais da rocha em subsuperfície.



Figura 6: uma das Furnas Gêmeas da Formação Furnas, situadas próximo ao Passo do Pupo, município de Ponta Grossa.



Figura 7: depressão úmida nas proximidades do Canyon do Rio São Jorge.

4.4 Sumidouros

Nos arenitos da Formação Furnas na região dos Campos Gerais é comum a existência de rios que apresentam drenagem subterrânea, com frequência por dezenas de metros. São exemplos o Sumidouro do Rio Quebra-Pedra (PONTES et al., 2010), os sumidouros dos rios Pitangui, Itararé e do Funil (SOARES, 1989; MAACK, 2002), Sumidouro da Gruta Lajeado do Sobrado e Sumidouro do Rio Quebra-Perna (MASSUQUETO, 2010; MASSUQUETO et al., 2011, neste volume).

Este último sumidouro apresenta um rico ambiente natural, com aspectos geomorfológicos, espeleológicos, geológicos, arqueológicos, fitogeográficos e paleoambientais peculiares (Figura 8). Sua gênese, bem como a dos demais sumidouros da região, está relacionada a um conjunto de fatores, como a competente ação erosiva do rio, características da rocha (planos de estratificação e de acamamento e composição mineralógica), estruturas tectônicas (falhas, fendas e fraturas) e a proximidade

com a Escarpa Devoniana, que determina um gradiente hidráulico elevado vinculado ao relevo acidentado do local (MASSUQUETO, 2010).



Figura 8: Duto dos Andorinhões, Sumidouro do Rio Quebra-Perna – Fazenda Cristalina (Ponta Grossa - Paraná).

4.5 Dutos de dissolução

Dutos bem estabelecidos, com seção transversal arredondada, são comuns em sumidouros, cavernas e até mesmo em paredes rochosas em superfície, evidenciando a ação da água em sua formação. Wray (2009), em trabalhos realizados em quartzo arenitos da Austrália, ressalta que estes dutos se organizam em redes complexas de drenagem subterrânea, assemelhando-se aos ocorrentes em rochas carbonáticas.

Conforme apresenta Massuqueto (2010), um notável exemplo de sistema de drenagem organizada em dutos subterrâneos é encontrado no Sumidouro do Rio Quebra-Perna. Neste local ocorrem condutos que se ramificam em dutos menores, indicando captação de drenagem (Figura 9) (MASSUQUETO et al., 2011, neste volume).

4.6 Alvéolos

Os alvéolos são cavidades em paredes, tetos e até mesmo em pavimentos rochosos, com formas geralmente arredondadas. Apresentam-se isolados, em grupos e também conectados uns aos outros, com dimensões milimétricas a decimétricas (Figura 10). Melo et al. (2007) apontam que, junto com a dissolução causada no interior do maciço rochoso e o escoamento da água meteórica nas superfícies rochosas, a ação de micro e macroorganismos tem grande influência na formação dos alvéolos, gerando a esfoliação do arenito, permitindo a criação de reentrâncias e facilitando a ação de outros processos erosivos.



Figura 9: dutos de dissolução – Sumidouro do Rio Quebra-Perna, Ponta Grossa.



Figura 10: alvéolos – Canyon do Rio São Jorge.

4.7 Espeleotemas

Na Formação Furnas os espeleotemas são localizados em cavidades e até mesmo em paredes em superfície. Sua gênese se inicia a partir da dissolução de minerais da rocha pela ação de águas meteóricas ou de infiltração e subsequente precipitação sob condições físico-químicas favoráveis. Os espeleotemas apresentam diversos tipos e tamanhos variando de milímetros a alguns centímetros. Como exemplo, pode-se mencionar o aglomerado do tipo coraloide identificado na Fenda da Freira, em Ponta Grossa (Figura 11). Alcançando até treze centímetros, são os maiores espeleotemas descobertos até o momento na Formação Furnas (PONTES, 2010).

4.8 Bacias de dissolução

Em pavimentos rochosos é comum encontrar depressões circulares, elípticas e/ou irregulares, preenchidas com água ou secas, apresentando alguns centímetros de profundidade, podendo atingir medidas superiores a um metro de extensão lateral

(Figura 12). As bacias de dissolução (*kamenitzas*) são feições características de regiões cársticas. O fator preponderante em sua gênese é a dissolução, causada pelas águas estagnadas, enriquecidas de ácido carbônico e orgânico, este proveniente de líquens e musgos que proliferam principalmente nas bordas destas bacias.



Figura 11: espeleotemas de sílica e caulinita – Fenda da Freira, proximidades do Buraco do Padre. Considerados os maiores até o momento, estes espeleotemas atingem até 13 centímetros de comprimento.



Figura 12: bacias de dissolução – Canyon do Rio São Jorge.

4.9 Cúpulas de dissolução

Trata-se de feições de dissolução do teto de cavidades subterrâneas, características de dutos totalmente inundados (HARDT et al., 2009). A presença de dutos subterrâneos completamente inundados faz com que a água promova a dissolução de minerais no teto rochoso, ensejando a ocorrência de cúpulas variando de centímetros a dezenas de centímetros de diâmetro e alguns centímetros a metros de profundidade (Figura 13). O tempo de residência, variação no regime de fluxo e aporte de água nos dutos, associados à dinâmica dos processos

de intemperismo químico têm um papel decisivo na evolução destas feições.

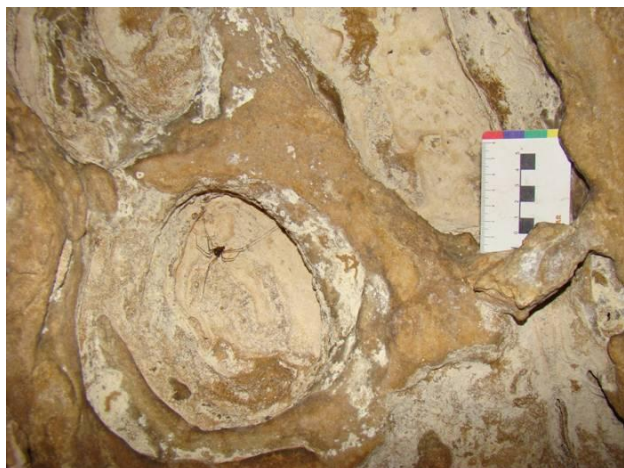


Figura 13: cúpulas de dissolução – Sumidouro do Rio Quebra-Perna.

4.10 Cavernas

A existência de cavernas na Formação Furnas está relacionada com a ação erosiva das águas pluviais, fluviais e subterrâneas, combinada com características da rocha (composição, textura, estruturas sedimentares) e estruturas tectônicas. As cavidades subterrâneas desenvolvidas no Arenito Furnas não apresentam grandes desenvolvimentos, estendendo-se normalmente por algumas dezenas de metros.

Dentre as cavidades da região dos Campos Gerais, destaca-se a Caverna da Chaminé, no Município de Ponta Grossa (Figura 14). Apresentando 307 metros de desenvolvimento linear, a cavidade é rica em espeleotemas e abriga singular fauna. Apesar de ser uma caverna com forte controle estrutural possui notáveis feições de dissolução da rocha, indicando processos erosivos de águas subterrâneas, pluviais e fluviais (PONTES; MELO, 2011, neste volume).

5. DISSOLUÇÃO E SEUS FATORES CONTROLADORES

As feições de dissolução são o mais evidente indício da erosão química dos quartzos arenitos da Formação Furnas nos Campos Gerais. Corroborando as ideias já expressas por Maack (1946 e 1956), Tamura (2003) e Melo; Giannini (2007) consideram que a dissolução do cimento argiloso (caulinita e ilita), promovendo a arenização das rochas (liberação dos grãos de quartzo, no sentido de Jennings, 1983 apud Doerr; Wray, 2004) seja fundamental para o desenvolvimento das formas erosivas.



Figura 14: típica galeria estrutural – Caverna da Chaminé – Canyon do Rio São Jorge.

Após estudos petrográficos e mineralógicos das paredes rochosas em feições erosivas, Tamura (2003) e Melo; Giannini (2007) propuseram o esquema de transformações minerais apresentado na Figura 15. Nele, o cimento argiloso diagenético é dissolvido e reprecipitado na forma de caulinita criptocristalina ou em microfissuras ou em pequenos espeleotemas superficiais.

Os principais fatores controladores dos processos erosivos nos arenitos da Formação Furnas são (MELO, 2006; MELO; GIANNINI, 2007):

- a petrografia dos arenitos, com cimento argiloso relativamente solúvel envolvendo grãos de quartzo menos solúveis;
- as variações texturais, mineralógicas, na porosidade e na permeabilidade nos arenitos;
- as estruturas sedimentares intra e interestratais nos arenitos;
- as estruturas rúpteis (falhas e fraturas com ou sem diques associados) que cortam os arenitos;
- os fortes gradientes hidráulicos impostos pelo desnível topográfico representado pela Escarpa Devoniana;
- a dominância na região, ao longo do Cenozoico, de climas úmidos, propiciando apreciáveis volumes

de água para os processos de erosão subterrânea e superficial;

- a existência de relevos cársticos subjacentes às rochas da Bacia do Paraná (MAACK, 1946 e 1956; MELO; GIANNINI, 2007; SALLUN FILHO; KARMANN, 2007), relacionados às rochas carbonáticas do Grupo Itaiacoca;
- a antiguidade das rochas e do relevo nos Campos Gerais, favorecendo processos erosivos cumulativos, em diferentes condições paleoambientais, ao longo do Cenozoico.

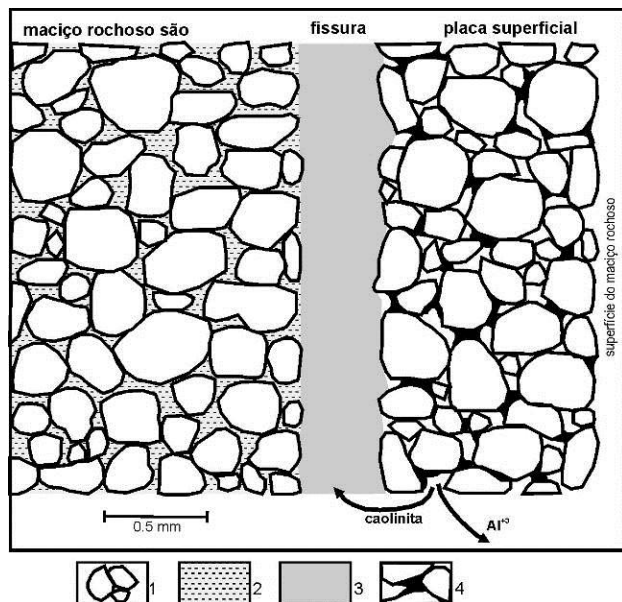


Figura 15. seção esquemática através de placas de descamação superficial, fissura com caulinita criptocristalina e maciço rochoso são de arenitos da Formação Furnas. 1: grãos de quartzo; 2: cimento caulinitico diagenético; 3: caulinita criptocristalina; 4: cimento silicoso (em preto) formado a partir da dissolução da caulinita e do quartzo. Escala gráfica aproximada (modificado de Melo; Giannini, 2007).

6. IMPLICAÇÕES DO RELEVO CÁRSTICO DA FORMAÇÃO FURNAS

O caráter cárstico dos quartzos arenitos da Formação Furnas nos Campos Gerais tem uma série de implicações, que significam ora benefícios para a região, potencializando oportunidades de pesquisa científica, seu patrimônio natural e seus recursos hídricos, ora riscos, representados pela vulnerabilidade do aquífero e possibilidade de indução de fenômenos erosivos subterrâneos em áreas urbanas.

6.1 Registros paleoclimáticos e paleoambientais

As depressões úmidas e secas, que formam banhados e lagoas tão comuns na borda do Segundo

Planalto Paranaense, correspondem a dolinas de abatimento, dissolução, subsidência ou carste subjacente, frequentemente preenchidas por sedimentos. Estas depressões na maior parte das vezes constituem sistemas de escoamento relativamente fechados, não se conectando a cursos de água superficiais. Isto faz com que os depósitos sedimentares nelas contidos sejam registros privilegiados das variações paleoclimáticas e paleoambientais.

A importância de tais registros geológicos é ressaltada pela localização geográfica dos Campos Gerais, na transição entre importantes biomas, representados por campos de altitude, floresta com araucária e cerrado. Estes diferentes tipos de cobertura vegetal respondiam com avanços e recuos relativos em resposta às variações climáticas quaternárias.

Os estudos do preenchimento sedimentar de lagoas e depressões dos Campos Gerais (v.g. LORSCHTEITZ; TAKEDA, 1995; BEHLING, 1997; LEDRU et al., 1998; MORO; BICUDO, 1998; MELO et al., 2003; MORO et al., 2004) já têm fornecido alguma informação utilizável nas reconstruções paleoclimáticas, importantes para o equacionamento da ação humana nas mudanças climáticas globais da atualidade. Entretanto, estes estudos incipientes estão muito aquém de sua possibilidade, e deverão ainda constituir objeto de pesquisas mais sistemáticas e aprofundadas.

6.2 Patrimônio natural e geoconservação

A excepcionalidade do patrimônio natural dos Campos Gerais (MELO et al., 2007), biótico ou abiótico, deve-se em grande parte à existência das rochas da Formação Furnas, dos solos delas derivados e especialmente da dissolução e das formas de relevo cárstico de seus quartzos arenitos.

Segundo Gray (2004) o termo “geodiversidade” se aplica ao conjunto de materiais geológicos (rochas, minerais, fósseis, solos), formas de relevo e processos geológicos em operação, podendo ser empregado para descrever a variedade geológica de uma região, de um país ou mesmo do planeta. Este mesmo autor adota, para o entendimento da importância que a diversidade geológica possui, principalmente em ações para sua conservação e gestão, a estratégia de explorar o significado dos diferentes valores que podem ser associados à geodiversidade. Estes valores podem ser reunidos em sete grandes grupos: intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional, científico e didático.

Todas estas modalidades de valores podem ser reconhecidas quando se analisa o sistema cárstico relacionado aos quartzos arenitos da Formação Furnas (descrições em diferentes setores dos Campos Gerais podem ser encontradas em MOCHIUTTI, 2009, MASSUQUETO, 2010 e PAVÃO, 2010). O valor intrínseco, comumente defendido quando se discute a conservação da flora e da fauna, provavelmente é o que poderia suscitar maiores dúvidas, pois muitas pessoas encontram dificuldade em admitir que um arenito, um alvéolo ou o processo de dissolução tenham valor existencial independente do reconhecimento pelo ser humano.

Já os demais valores exigem menor compromisso filosófico para sua identificação. Os registros arqueológicos (ver item 6.3), a utilização em rituais de umbanda na Furna do Buraco do Padre, ou mesmo as histórias populares que procuram descrever a origem de feições como as furnas ou o relevo ruíniforme, são alguns dos exemplos das implicações culturais da interação do ser humano com o carste nos arenitos da Formação Furnas.

Mesmo tendo um forte componente de subjetividade, sendo mais intensamente vivenciado conforme as preferências, índole e experiência de vida de cada indivíduo, o valor estético possui inúmeros exemplos. Seja como áreas de lazer, destino turístico, cartões-postais, locais para a prática de esportes na natureza (escalada, caminhada, dentre outros) ou inspiração artística, os diferentes elementos do carste da Formação Furnas já alcançaram relevância que ultrapassa o âmbito regional.

Na região dos Campos Gerais ainda não é frequente a divulgação de cifras (valor econômico) quando se descreve o seu patrimônio natural, em parte pela falta de uma melhor comunicação entre a comunidade acadêmica, os gestores públicos e a sociedade em geral. No entanto esta postura precisa mudar radicalmente, tanto graças à ordem de grandeza dos custos e benefícios financeiros envolvidos no aproveitamento de seus recursos hídricos superficiais ou subterrâneos (ver item 6.4), como no caso do valor dos solos provenientes da Formação Furnas (valor econômico do epicarste), utilizados extensivamente em práticas agrícolas, de pecuária ou silvicultura.

A manutenção da operação saudável de diversos ciclos biogeoquímicos, a capacidade de funcionamento como filtros naturais por parte dos quartzos arenitos e solos derivados, além do controle na existência, extensão e distribuição de nichos ecológicos e espécies da flora e fauna são alguns dos

exemplos do valor funcional do carste da Formação Furnas.

Aspectos como acesso relativamente fácil, diversidade das feições (ver item 4) e o número elevado de áreas desprovidas de pesquisa em detalhe, reforçam o alto valor didático-científico do carste da Formação Furnas nos Campos Gerais. Os estudos recentes decorrentes de projetos de pesquisa e trabalhos de conclusão de curso (UEPG, USP, UFPR), aliados às atividades educativas e científicas conduzidas pelo GUPE são parte do testemunho de sua importância (TAMURA, 2003; MELO; GIANNINI, 2007; PONTES et al., 2010; dentre outros). As fronteiras científicas representadas pelo processo de dissolução destes quartzos arenitos são praticamente ilimitadas. Por exemplo, ao contrário do que se vê em contextos similares no país (v.g. RIBEIRO et al., 2007; CONCEIÇÃO et al., 2007a; CONCEIÇÃO et al., 2007b), a riqueza ecológica dos ambientes rupícolas dos Campos Gerais ainda representa um aspecto de seu patrimônio natural carente de estudos aprofundados, principalmente quanto aos fatores envolvidos na diversidade biológica das comunidades estabelecidas em afloramentos rochosos.

Existem duas formas de se encarar o conceito de geoconservação (SHARPLES, 2003; GRAY, 2004; BRILHA, 2005). Uma é focando sobre áreas de excepcional valor (normalmente científico, estético, cultural ou mesmo uma combinação deles), os chamados geossítios e que representam o que se denomina de patrimônio geológico de uma região.

Nesta abordagem ações de divulgação e valorização do potencial turístico, científico e de aproximação do público leigo para as geociências têm sido desenvolvidas, tais como a produção de painéis explicativos, folhetos, roteiros, inventário de geossítios e diversos tipos de trabalhos acadêmicos. Voltadas a todo o patrimônio geológico dos Campos Gerais, estas ações têm espaço de destaque para o relevo cárstico da Formação Furnas em áreas como os parques estaduais de Vila Velha e Guartelá, Cachoeira do Rio São Jorge e Buraco do Padre (ver www.mineropar.pr.gov.br; LETENSKI et al., 2009; FOLMANN, 2010; PAVÃO, 2010; ROCHA; GUIMARÃES, 2010).

A segunda maneira de se por em prática medidas de geoconservação ocorre quando se busca a proteção não apenas do que está acima da média, mas a totalidade da geodiversidade, numa abordagem holística de conservação da natureza. Esta visão é cientificamente mais integradora, socialmente mais inclusiva e ambientalmente mais comprometida com a realidade. Esta postura mostra-se em sintonia com desafios que busquem o

desenvolvimento regional com sustentabilidade (v.g. MELO, 2009), respeitando as características dos processos cársticos da Formação Furnas e seu papel determinante na existência do patrimônio natural dos Campos Gerais.

6.3 Patrimônio arqueológico

A região dos Campos Gerais é rica em sítios arqueológicos de indígenas pré-históricos, com vestígios representados por artefatos líticos, cerâmica e, sobretudo, pinturas rupestres, atribuídas às tradições culturais Planalto e Geométrica (PARELLADA, 2007). O relevo característico das rochas da Formação Furnas origina diversos tipos de feições que representavam elementos fisiográficos integrados nas atividades destes indígenas. Entre, eles, pode-se destacar:

- abrigos naturais, cujos tetos são constituídos por saliências rochosas controladas pelas estruturas sedimentares dos arenitos; estes abrigos muitas vezes contêm pinturas rupestres nas paredes rochosas (v.g. SILVA et al., 2006 e 2007; PEREIRA, 2009);
- passos naturais em áreas de relevo escarpado, influenciando rotas e locais preferenciais para assentamentos e abrigos;
- armadilhas naturais, representadas por passagens e fundos de vale escarpados, que poderiam propiciar o arrebanhamento de bandos de cervídeos e outros animais.

6.4 Recursos hídricos subterrâneos do Aquífero Furnas

Levantamentos recentes têm apontado que na cidade de Ponta Grossa e região os poços tubulares profundos existentes podem ter capacidade de produção maior que o volume de água captado na bacia do Rio Pitangui fornecido pela SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná, órgão responsável pelo abastecimento público no estado (MELO, 2009; FIGURIM, 2010; BAGATIM, 2010).

Os estudos realizados por FIGURIM (2010) mostram que (Figura 16):

- a profundidade dos poços é muito variável, de menos de 50 a mais de 500 metros;
- a vazão também é muito variável, de 0,5 m³/hora até 100 m³/hora;
- não há correlação entre profundidade e vazão.

Os trabalhos de Figurim (2010) mostraram ainda que a qualidade das águas do Aquífero Furnas frequentemente permite classificá-las como águas minerais, enquanto que as águas de outros corpos rochosos (embasamento, Formação Ponta Grossa, Grupo Itararé) usualmente não apresentam características de potabilidade, principalmente pelos altos teores de ferro, manganês e sólidos dissolvidos totais.

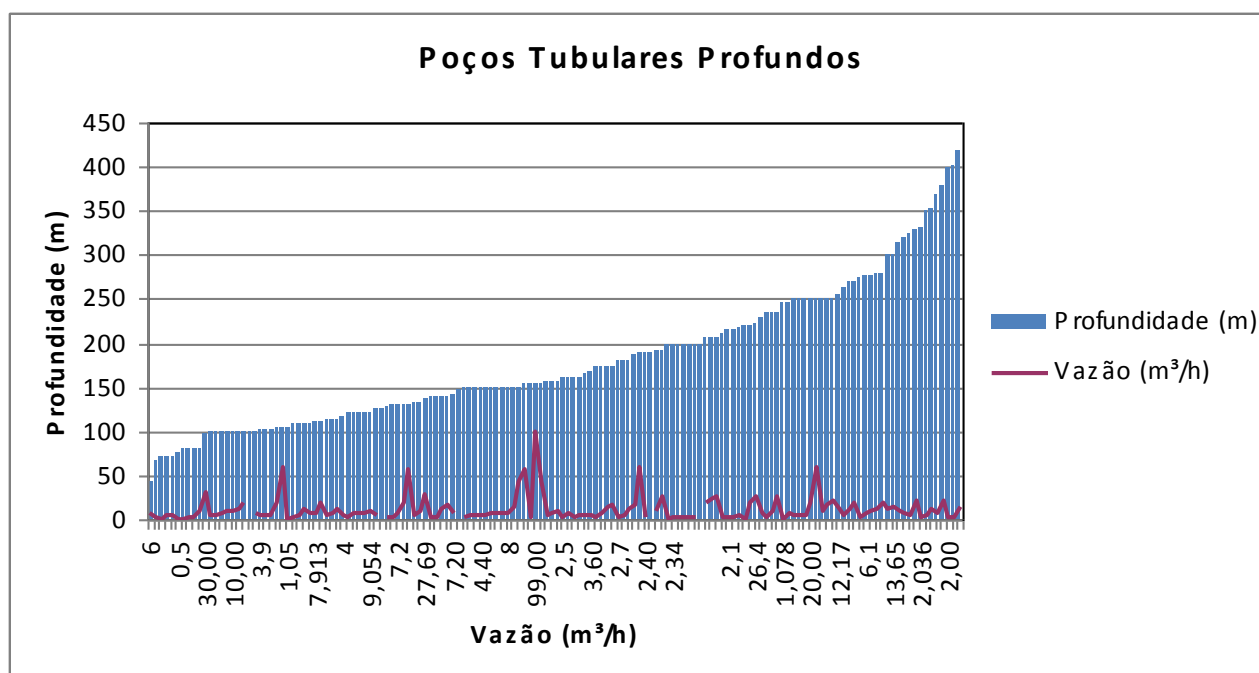


Figura 16: vazão dos poços tubulares profundos da região de Ponta Grossa em relação à profundidade perfurada (FIGURIM, 2010).

Os estudos realizados por Bagatim (2010) indicaram que (Figura 17):

- a profundidade do Aquífero Furnas é variável, refletindo deslocamentos impostos por estruturas tectônicas;
- os poços mostram que localmente são muito nítidas as alternâncias de arenitos e folhelhos nas transições entre as formações Furnas e Ponta Grossa (as “camadas de transição”);
- as entradas de água nos poços tubulares às vezes mostram nítida relação com descontinuidades (estruturas rúpteis, contatos litológicos);
- durante as perfurações dos poços às vezes são indicados “vazios” métricos, correspondentes a cavidades subterrâneas.

6.5 Riscos geoambientais

Os levantamentos de Bagatim (2010) mostraram uma crescente utilização da água subterrânea nos últimos anos, principalmente nas cidades de Ponta Grossa e Carambeí. É sabido que em áreas de relevo cárstico típico o bombeamento de água pode trazer como consequência subsidências

do terreno, tal como ocorreu na Região Metropolitana de Curitiba (OLIVEIRA, 1997), ou colapso de dolinas, como em Cajamar, na Grande São Paulo (PRANDINI et al., 1987).

Embora ainda não tenham sido testemunhados fenômenos de subsidências ou colapsos em operação nos dias atuais nos Campos Gerais, o caráter cárstico dos arenitos da Formação Furnas e a crescente exploração da água subterrânea constituem fatores favoráveis para que tais fenômenos possam vir a acontecer, com frequência e velocidade, comparativamente às áreas de carste carbonático, ainda a serem estabelecidas. Felizmente sem consequências mais graves, têm sido observados exemplos da mudança do curso subterrâneo das águas graças à erosão dos arenitos (PONTES et al., 2010).

A situação da cidade de Ponta Grossa, onde a leste o perímetro urbano está sobre a Formação Ponta Grossa no limite de sua passagem para a Formação Furnas (Figura 18), é muito significativa. Os poços tubulares profundos da cidade atravessam a Formação Ponta Grossa e vão extrair água da Formação Furnas abaixo da cidade.

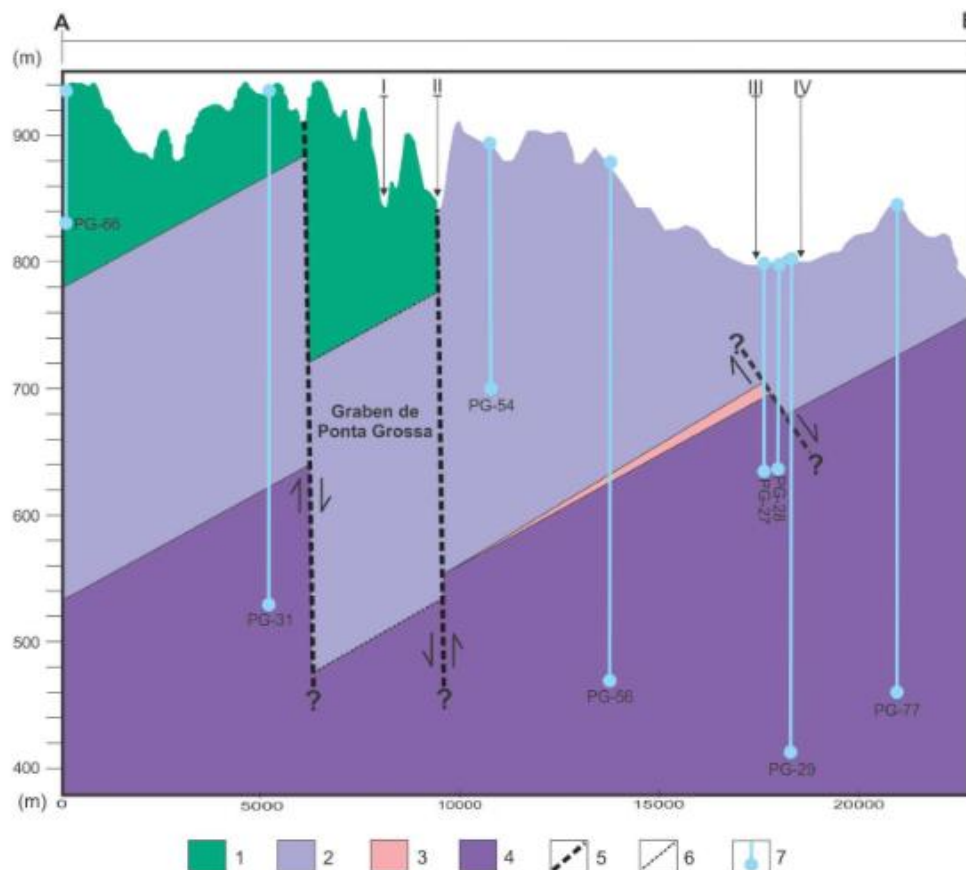


Figura 17: seção geológica de Ponta Grossa interpretada a partir dos perfis geológicos de poços tubulares profundos. 1) Grupo Itararé indiviso; 2) Formação Ponta Grossa; 3) Camadas de Transição; 4) Formação Furnas; 5) falha inferida; 6) contato inferido; 7) Poço Tubular Profundo; I-Arroio da Roda; II) Arroio do Padre; III) Arroio Olaria; IV) Rio Cará-Cará (BAGATIM, 2010).

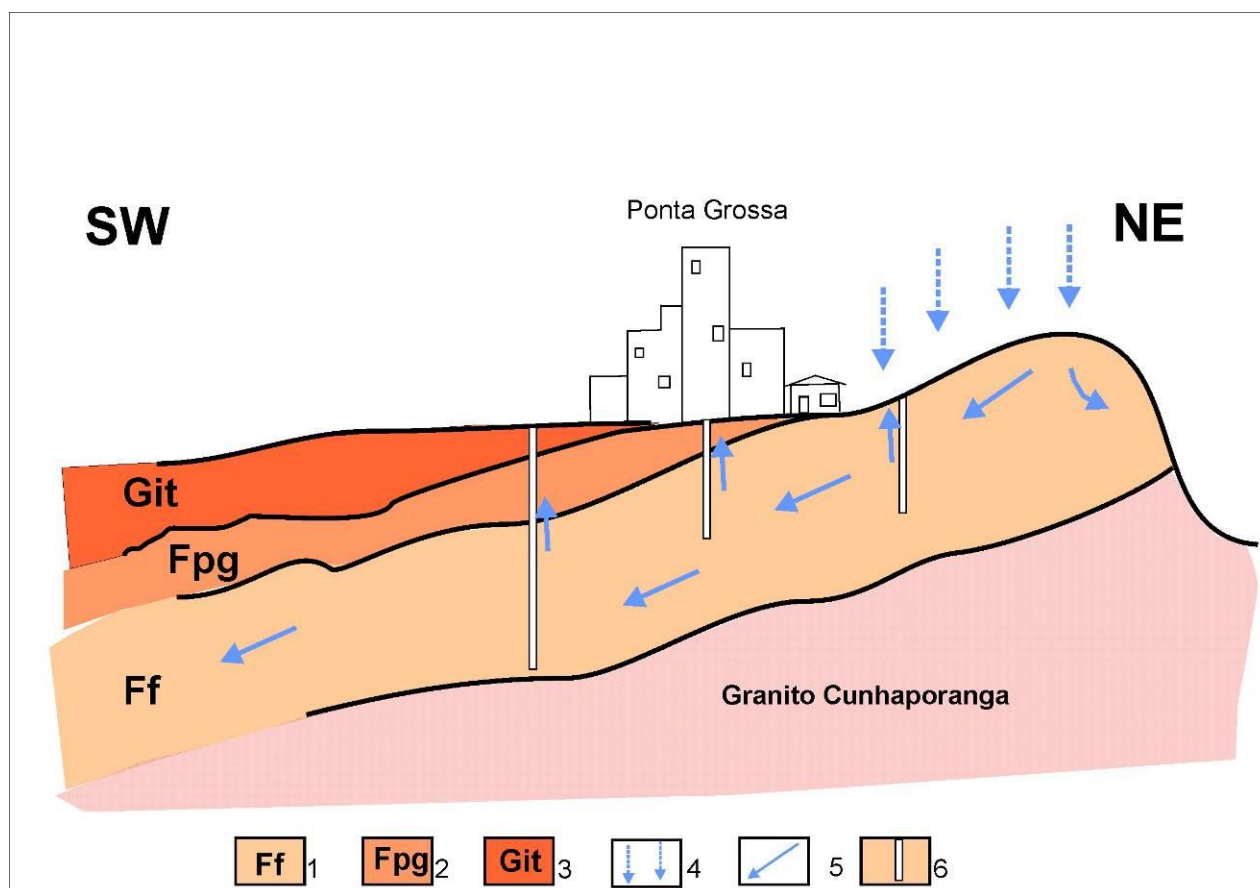


Figura 18: seção esquemática da situação da cidade de Ponta Grossa em relação ao Aquífero Furnas e à Escarpa Devoniana. 1) Formação Furnas (Aquífero Furnas); 2) Formação Ponta Grossa; 3) Grupo Itararé; 4) área de recarga do Aquífero Furnas pelas águas das chuvas; 5) sentido predominante de fluxo das águas subterrâneas; 6) poços profundos (MELO, 2009).

Os estudos de Kupcsak (2008), realizados em loteamentos na área de expansão urbana a leste de Ponta Grossa, sobre os afloramentos da Formação Furnas, também mostraram problemas ainda desconhecidos no restante da cidade, tais como surgências de água e áreas com o nível freático muito superficial.

6.6 Educação para a sustentabilidade

Por um lado, o caráter cárstico dos quartzos arenitos da Formação Furnas favorece a existência de um excelente aquífero e de sítios com importante patrimônio natural e arqueológico. Por outro lado, os municípios da região, principalmente Ponta Grossa e Carambeí, têm diversificada atividade econômica, desde um consolidado parque industrial até intensa atividade agrosilvopastoril.

As forças produtivas regionais ainda são muito conservadoras, e resistem a iniciativas que visem a diminuição dos impactos ambientais de suas atividades e a diversificação dos empreendimentos, no sentido de alternativas sustentáveis.

Diante deste quadro aparentemente contraditório, a rede de ensino fundamental e médio

não tem logrado utilizar as características da região para promoção da educação para a sustentabilidade, preparando as novas gerações para uma gestão integrada dos interesses econômicos, do meio ambiente, e dos interesses da sociedade como um todo (BELLO; MELO, 2006).

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

É urgente que o poder público e a população dos Campos Gerais reconheçam o caráter cárstico dos arenitos da Formação Furnas, com os seguintes objetivos:

- formular políticas públicas e legislação que permitam a preservação do patrimônio natural e arqueológico e dos recursos hídricos subterrâneos;
- realizar programas de monitoramento da qualidade das águas e do desenvolvimento de processos erosivos indutores de riscos geoambientais;
- realizar programas na rede de ensino fundamental e médio que promovam o conhecimento da realidade ambiental local e a educação para a sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - e à Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento

Científico e Tecnológico do Paraná, que deram suporte à realização de projetos de pesquisa e concederam bolsas de iniciação científica para os alunos que participaram dos estudos realizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSINE, M.L. **Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil**. 1996, 207p. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências da USP, São Paulo.
- ASSINE, M.L.; SOARES, P.C.; MILANI, É.J. Seqüências tectono-sedimentares mesopaleozóicas da Bacia do Paraná, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. v.24, n.2, p.77-89, 1994.
- BAGATIM, H.Q. **Utilização das águas subterrâneas em Ponta Grossa, PR**. 2010. 75p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, climate and fire history of the Araucaria forest and campos region from Serra Campos Gerais, Paraná State (South Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 97, p.109–121, 1997.
- BELLO, E.M.; MELO, M.S. Utilização dos sítios naturais em atividades didáticas do ensino fundamental e médio no município de Ponta Grossa, PR. **Publicatio UEPG** (Ponta Grossa), Ponta Grossa, v. 14, n. 2, p. 25-42, 2006.
- BERGAMASCHI, S. **Análise Estratigráfica do Siluro-Devoniano (Formações Furnas e Ponta Grossa) da Sub-Bacia de Apucarana, Bacia do Paraná, Brasil**. 1999. 167p. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências da USP, São Paulo.
- BRILHA, J. **Patrimônio Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Lisboa: Palimage, 2005. 183p.
- CONCEIÇÃO, A.A.; GIULIETTI, A.M.; MEIRELLES, S.T. Ilhas de vegetação em afloramentos de quartzito-arenito no Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**: Feira de Santana, SBB, v. 21, n.2, p.335-347, 2007.
- CONCEIÇÃO, A.A.; PIRANI, J.R.; MEIRELLES, S.T. Floristics, structure and soil of insular vegetation in four quartzite-sandstone outcrops of “Chapada Diamantina”, Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**: São Paulo, SBB, v. 30, n.4, p.641-656. 2007.
- DE ROS, L.F. Heterogeneous generation and evolution of diagenetic quartzarenites in the Silurian-Devonian Furnas Formation of the Paraná Basin, southern Brazil. **Sedimentary Geology**, v.116, n.1-2, p.99-128, 1998.
- DOERR, S.; WRAY, R.A.L. Pseudokarst. In: **Encyclopaedia of Geomorphology**, GOUDIE, A. (ed.). London: Routledge, 2004. p.814–816.
- FOLMANN, A.C. **Trilhas interpretativas como instrumentos de Geoturismo e Geoconservação: caso da Trilha do Salto São Jorge, nos Campos Gerais do Paraná**. 2010, 134f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. Chichester: Wiley, 2004. 434 p.
- GUIMARÃES, G.B.; MELO, M.S.; MOCHIUTTI, N.F. Desafios da geoconservação nos Campos Gerais do Paraná. **Geol. USP**, Publ. espec., São Paulo, v.5, p.47-61, 2009.
- HARDT, R.; RODET, J.; PINTO, S.A.F.; WILLEMS, L. Exemplos brasileiros de carste em arenito: Chapada dos Guimarães (MT) e Serra de Itaquari (SP). SBE –Campinas, SP. **Espeleo-Tema**. v. 20, n.1/2, p.7-23. 2009.

- KUPCSAK, C.R. **Problemas geoambientais em loteamentos na porção leste da cidade de Ponta Grossa - PR**. 2008. 89p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- LEDRU, M.-P.; SALGADO-LABORIAU, M.L.; LORSCHUITTER, M.L. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10 000 yr B.P. **Review of Palaeobotany and Palynology** v. 99, p.131–142, 1998.
- LETENSKI, R.; GUIMARÃES, G.B.; PIEKARZ, G.F.; MELO, M.S. Geoturismo no Parque Estadual de Vila Velha: nas trilhas da dissolução. **Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas**: Campinas, SBE, v. 2, n.1, p.5-15. 2009.
- LOBATO, G.; BORGHI, L. Análise estratigráfica da Formação Furnas (Devoniano Inferior) em afloramentos da borda leste da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3, 2005, Salvador. **Anais**. Salvador: IBP, p.1-6.
- LORSCHUITTER, M.L.; TAKEDA, I.J.M. Reconstituição paleoambiental da região dos Campos Gerais, Paraná, através da palinologia de sedimentos da Lagoa Dourada. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 5, 1995, Niterói. **Anais**. Niterói: ABEQUA, 1995. p.18–21.
- MAACK, R. Geologia e geografia da região de Vila Velha e considerações sobre a glaciação carbonífera do Brasil. Curitiba, **Arquivos do Museu Paranaense**, v.5, 305p, 1946.
- MAACK, R. Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná. Curitiba: **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, 2:102-200, 1948.
- MAACK, R. **Mapa fitogeográfico do Estado do Paraná**. Curitiba: Inst. Biol. Pesq. Tecnol. e Inst. Nac. Pinho, 1950.
- MAACK R. Fenômenos carstiformes de natureza climática e estrutural de arenitos do Estado do Paraná. Curitiba, **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.11, p.151-162, 1956.
- MAACK, R. **Notas preliminares sobre as águas do sub-solo da Bacia Paraná-Uruguaí**. Curitiba, Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí, 1970, 162p.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002. 440 p.
- MASSUQUETO, L.L. **O sistema cárstico do Sumidouro do Rio Quebra-Perna (Ponta Grossa - PR): caracterização da geodiversidade e de seus valores**. 2010. 81p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- MASSUQUETO, L.L.; GUIMARÃES, G.B.; PONTES, H.S. Geossítio do Sumidouro do Rio Quebra-Perna (Ponta Grossa, PR, Brasil): relevante exemplo de sistema cárstico nos arenitos da Formação Furnas. **Espeleo-Tema**: Campinas, SBE, v.22, n.1, 2011 (neste volume).
- MELO, M.S.; GIANNINI, P.C.F.; PESSENDA, L.C.R.; BRANDT NETO, M. Holocene paleoclimatic reconstruction based on the Lagoa Dourada deposits, southern Brazil. **Geológica Acta**, v.1, n.3, p.298–302, 2003.
- MELO, M. S. **Formas rochosas do Parque Estadual de Vila Velha**. Ponta Grossa: UEPG, 2006, 145p.
- MELO, M.S. Aquífero Furnas: urgência na proteção de mananciais subterrâneos em Ponta Grossa, PR. In: Seminário Internacional “Experiências de Agendas 21 - Desafios do Nosso Tempo”. **Anais**, Curitiba, 2009, 11p. Disponível em: http://www.eventos.uepg.br/seminariointernacional/agenda21parana/trabalho_cientifico/TrabalhoCientifico006.pdf.

- MELO, M.S.; GIANNINI, P.C.F. Sandstone dissolution landforms in the Furnas Formation, southern Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 32, p. 2149-2164, 2007.
- MELO, M. S.; GUIMARÃES, G.B.; RAMOS, A.F.R.; PRIETO, C.C. Relevo e hidrografia dos Campos Gerais. In: MELO, M.S.; MORO, R.S.; GUIMARÃES, G.B. (Orgs.). **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Editora da UEPG, 2007, p. 49-58.
- MELO, M.S.; GUIMARÃES, G.B.; SANTANA, Á.C. Fisiografia da bacia do rio Pitangui. In: GEALH, A.M.; MELO, M.S.; MORO, R.S. (Orgs.). **Pitangui, rio de contrastes: seus lugares, seus peixes, sua gente**. Ponta Grossa: Editora da UEPG, 2010, p.11-21.
- MINEROPAR - Minerais do Paraná do Paraná S/A. **Mapa Geológico do Estado do Paraná**: escala 1:650.000. Curitiba: MINEROPAR, 1989.
- MOCHIUTTI, N.F. **Os valores da geodiversidade da região de Piraí da Serra, Campos Gerais do Paraná**. 2009. 127p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- MORO, R.S.; BICUDO, C.E.M. Flutuações climáticas no Pleistoceno tardio e Holoceno na Lagoa Dourada, Estado do Paraná, Brasil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.10, n.2, p.47–58, 1998.
- MORO, R.S.; BICUDO, C.E.M; MELO, M.S.; SCHMITT, J. 2004. Paleoclimate of the late Pleistocene and Holocene at Lagoa Dourada, Paraná State, southern Brazil. **Quaternary International** , v.114, n.1, p.87–99, 2004.
- OLIVEIRA, L.M. **A gestão de riscos geológicos urbanos em áreas de carste**. Curitiba: MINEROPAR, 1997. 46 p.
- PARELLADA, C. Arqueologia dos Campos Gerais. In: MELO, M.S.; MORO, R.S.; GUIMARÃES, G.B.: **Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Editora da UEPG, 2007, p.163-170.
- PAVÃO, E.S. **Patrimônio geológico da bacia do Rio Quebra-Perna (Ponta Grossa/PR): percorrendo os valores da geodiversidade**. 2010. 114p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- PEREIRA, F.C. **As pinturas rupestres na região de Piraí da Serra - PR**. 2009. 119p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- PIGURIM, I. **Análise da qualidade da água subterrânea do Aquífero Furnas no município de Ponta Grossa - PR**. 2010. 80p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- PONTES, H.S. Fenda da Freira, Ponta Grossa – PR. Cavidade subterrânea em arenitos da Formação Furnas. In: XVII SEMANA DE GEOGRAFIA DA UEPG, 18, Ponta Grossa. **Anais**. Ponta Grossa: UEPG, 2010 (sem páginas).
- PONTES, H.S. **Caverna da Chaminé, Ponta Grossa, Paraná - exemplo de relevo cárstico na Formação Furnas**. 2010, 92p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa
- PONTES, H.S.; ROCHA, H.L.; MASSUQUETO, L.L.; MELO, M.S.; GUIMARÃES, G.B.; LOPES, M.C.. Mudanças recentes na circulação subterrânea do rio Quebra-Pedra (furna do Buraco do Padre, Ponta Grossa, Paraná). **Espeleo-Tema**: Campinas, SBE, v. 21, n.1, p.7-16. 2010.
- PRANDINI, F.L.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.M.A.; JACINTO, M.C. Cajamar - carst e urbanização: a experiência internacional (síntese bibliográfica). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABGE, 1987. v.2. p.431-442.

- RAMOS, A.N.; FORMOSO, M.L.L. Argilominerais das rochas sedimentares da Bacia do Paraná. **Ciência - Técnica - Petróleo**, Rio de Janeiro, Seção Exploração de Petróleo, n.9, 72p. e anexos, 1975.
- RIBEIRO, K.T.; MEDINA, B.M.O.; SCARANO, F.R. Species composition and biogeographic relations of the rock outcrop flora on the high plateau of Itatiaia, SE-Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**: São Paulo, SBB, v. 30, n.4, p.623-629. 2007.
- ROCHA, H.L.; GUIMARÃES, G.B. Geoformas cársticas em rochas quartzosas dos Campos Gerais do Paraná: inventariação e quantificação de geossítios de valor científico. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 2, 2010, Ponta Grossa. **Anais**. Ponta Grossa: SBE/GUPE, 2010. p.69-80.
- SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. Dolinas em arenitos da Bacia do Paraná: evidências de carste subjacente em Jardim (MS) e Ponta Grossa (PR). **Revista Brasileira de Geociências**, v.37, n.3, p.551-564, 2007.
- SHARPLES, C. **Concepts and principles of Geoconservation**. Tasmanian Parks and Wildlife Service website, 2002. Disponível em: [http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON-57W3YM/\\$FILE/geoconservation.pdf](http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON-57W3YM/$FILE/geoconservation.pdf). Acesso em: 18 mar. 2011.
- SILVA, A.G.C.; PARELLADA, C.I.; MELO, M.S. Pinturas rupestres em abrigo sob rocha no Sumidouro do Rio Quebra-Perna, Ponta Grossa, PR. **Publicatio UEPG**, Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias, v.12, n.1, p.23-31, 2006.
- SILVA, A.G.C.; PARELLADA, C.I.; MELO, M. S. . Pinturas rupestres do sítio arqueológico Abrigo Usina São Jorge. **Publicatio UEPG**. Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias, v. 13, p. 25-33, 2007.
- SOARES, O. **Furnas dos Campos Gerais, Paraná**. Curitiba: UFPR, Scientia et Labor, 1989. 82p.
- TAMURA, J.K. **Erosão diferencial no Arenito Furnas, Devoniano, na região do Rio Quebra-Perna e do Canyon do Quartelá, Paraná**. 2003, 48p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia), Instituto de Geociências, USP.
- WRAY, R.A.L. A global review of solutional weathering forms on quartz sandstones, **Earth-Science Reviews**, v. 42, p.137-160, 1997a.
- WRAY, R.A.L. Quartzite dissolution: karst or pseudokarst? **Cave and Karst Science**, v. 24, n.2, p81-86, 1997b.
- WRAY, R.A.L. Phreatic drainage conduits within quartz sandstone: evidence from the Jurassic Precipice Sandstone, Carnarvon Range, Queensland, Australia. **Geomorphology**, n.110, p. 203-211, 2009.
- ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. Bacia do Paraná. In: GABAGLIA, G.R.; MILANI, E.J. (Eds.) **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1991. p.135-168.

Fluxo editorial:

Recebido em: 22.03.2011

Corrigido em: 01.07.2011

Aprovado em: 02.07.2011



A revista *Espeleo-Tema* é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE).
Para submissão de artigos ou consulta aos já publicados visite:

www.cavernas.org.br/espeleo-tema.asp
