

CARTOGRAFIA GEOLÓGICA PRELIMINAR E PETROLOGIA NO PARQUE ESTADUAL DA CACHOEIRA DA FUMAÇA, ES - SUBSÍDIOS PARA GESTÃO DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO

Preliminary Geological Mapping and Petrology in the Cachoeira da Fumaça State Park,
ES, Brazil - Elements to management of Protected Areas

Cartografia Geologica Preliminar y Petrologia en el Parque Estatal de la Cachoeira da Fumaça,
ES, Brasil - Elementos para la Gestion de Unidad de Conservacion

Caio Vinícius Gabrig Turbay (1)

Raisa Carvalho Silva (2)

Tatiane Robaina Rangel de Carvalho (2)

Erica Rodrigues Munaro (3)

(1) Professor Adjunto do Curso de Geologia,
Universidade Federal do Espírito Santo,
cturbay@gmail.com

(2) Estudantes do Curso de Graduação em Geologia,
Universidade Federal do Espírito Santo
raisacsilva@hotmail.com
tatty_rangel@hotmail.com

(3) Gerencia de Recursos Naturais, Instituto Estadual de
Meio Ambiente e Recursos Hídricos,
emunaro@hotmail.com



Resumo

O Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça (PECF) localiza-se nos municípios de Alegre e Ibitirama, ES. O mapeamento geológico realizado na região definiu cinco unidades litológicas principais, dentre as quais, duas predominam e possuem forte anisotropia interna: granada-biotita gnaisse e biotita-gnaisse. O estudo microscópico demonstrou presença de minerais secundários nas rochas, indicando a ação de agentes de intemperismo. Os elementos estruturais mostraram a interação entre diversas direções de fraturas e anisotropias internas as rochas, condicionando a individualização de blocos no maciço rochoso, com implicações em termos de risco geológico. A ação conjunta do intemperismo com os elementos estruturais e litológicos foram responsáveis por esculpir o relevo e formar a cachoeira. Com base nos resultados obtidos, aconselha-se a limitação de acesso próximo às escarpas da cachoeira e o aproveitamento dos elementos geológicos e geomorfológicos locais como atrativos ao turismo.

Palavras-chave: Geologia; Cartografia; Gestão; Áreas protegidas

Abstract

The Cachoeira da Fumaça Park is located in Alegre and Ibitirama, ES. The Geological mapping carried out in the region, had defined five main lithological units, among which two predominate and have a strong internal anisotropy: garnet-biotite gneiss and biotite-gneiss. The microscopic study showed the presence of secondary minerals in the rocks, indicating the action of weathering agents. The structural elements showed the interaction between different directions of fractures and internal anisotropies in the rocks, conditioned on individualization of blocks in the rock mass, with implications for geological hazard. The conjugate action of weathering with lithological and structural elements was responsible for sculpting the topography and to form the waterfall. Based on these results, it is advisable to limit access to the cliffs near the waterfall and use elements of geological and geomorphological sites as tourism attractions.

Keywords: Geology; Cartography; Management; Protected Area.



Resumen

178

Lo Parque Estatal "Cachoeira da Fumaça" (PECF) esta situado en el municipio de Alegre y Ibitirama, ES. En el mapeo geológico realizado en la región se definieron cinco principales unidades litológicas. Entre las que predominan, dos tienen una fuerte anisotropía interna: granate-biotita gneis y gneis de biotita. El estudio microscópico mostro la presencia de minerales secundarios en las rocas, lo que indica la acción de agentes atmosféricos. Los elementos estructurales mostro la interacción entre diferentes direcciones de las fracturas de las rocas y las anisotropías interna, condicionado a la individualización de los bloques en la masa de roca, con implicaciones para el riesgo geológico. La acción conjunta de la intemperie con elementos litológicos y estructurales, se encargo de esculpir la topografía y la forma de la cascada. En base a estos resultados, es recomendable limitar el acceso a los acantilados cerca de la cascada y el uso de elementos de los sitios geológicos y geomorfológicos como atracciones turísticas.

Palabras clave: geología; cartografía; administración; áreas protegidas

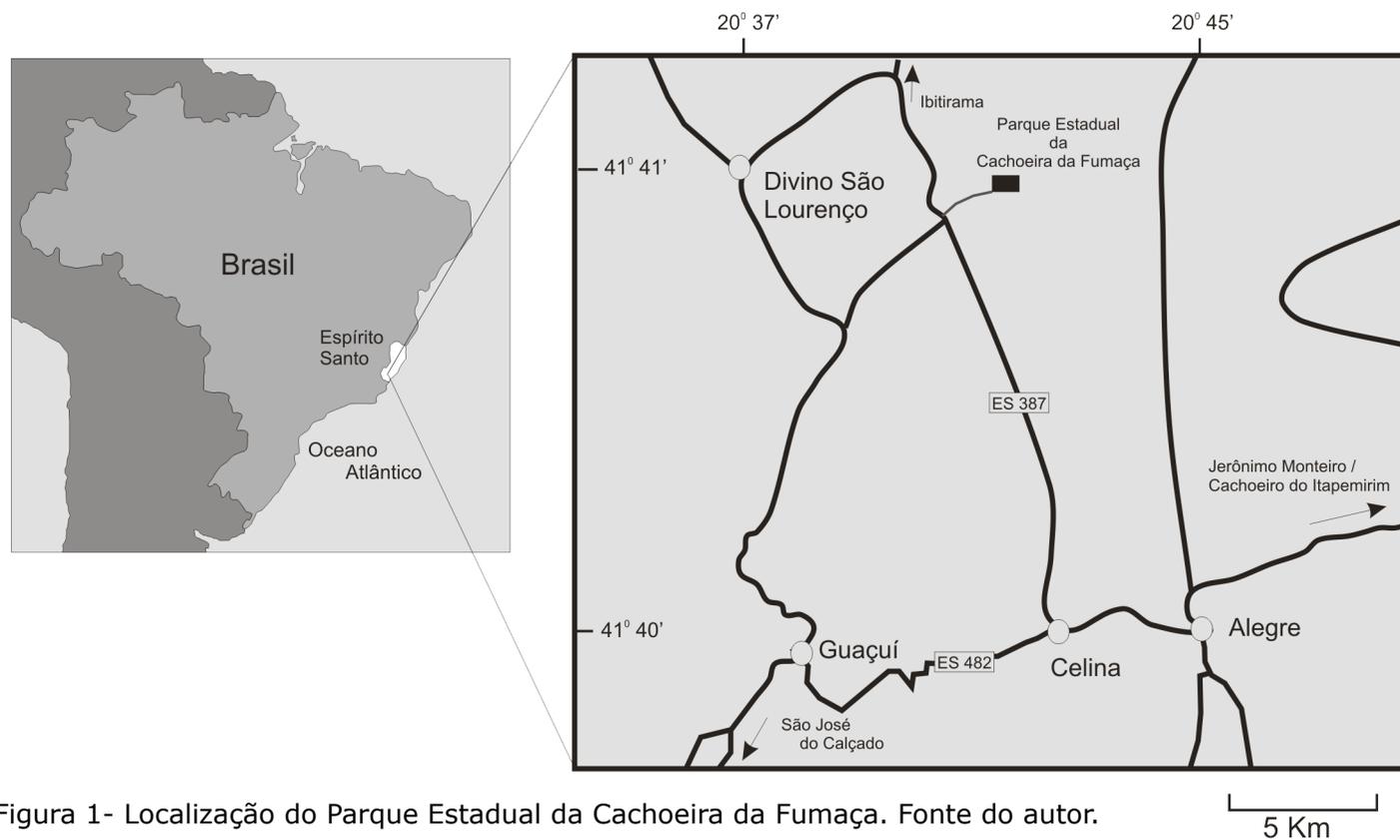


Introdução

179

O Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça (PECF) é uma unidade de conservação (UC), situada nos municípios de Alegre e Ibitirama, região do Caparaó, sul do estado Espírito Santo (figura 1).

Apesar de possuir estudos geológicos, geomorfológicos e pedológicos preliminares no seu plano de manejo, as informações relativas à estruturação das paisagens e das rochas do local ainda são insuficientes e pouco elucidativas. Este trabalho surgiu do interesse em contribuir neste sentido. Seu objetivo primário foi à reali-



zação de um mapeamento geológico em escala 1:25.000, com intuito de conhecer as rochas presentes, tendo em vista o entendimento da história geológica local, fornecendo subsídios para o manejo e administração da unidade de conservação.

Neste âmbito, procurou-se detectar as principais rochas presentes, suas origens, estruturas e a aplicação destes conhecimentos no estabelecimento de pontos com interesse geológico e turístico, além de áreas com riscos geológicos. Este trabalho é destinado ao público geral, não familiarizado com o vocabulário técnico em geociências, principalmente geologia. Assim, as informações contidas no texto e as ilustrações foram, na medida do possível, simplificadas ou traduzidas, a fim de tornar a linguagem geológica de fácil entendimento.

Justificativas

A ênfase dada no Brasil e em vários outros pa-

íses às questões relacionadas ao meio físico de unidades de conservação (UCs), como geologia, geomorfologia e solos, ainda é insatisfatória.

Geralmente, os critérios utilizados para implantação e manejo de unidades de conservação se prendem fortemente a questões bióticas, deixando em segundo plano ou negligenciando completamente os aspectos físicos (Brilha, 2002).

Isto em parte se deve ao reduzido número de geólogos formados e atuantes no Brasil, mas principalmente ao desinteresse destes profissionais no passado, a questões relacionadas ao meio ambiente e a conservação de recursos naturais.

Do ponto de vista da justificativa para a criação de áreas protegidas, regiões com alto potencial para o desenvolvimento de unidades de conservação com apelo ao meio físico, têm sido ignoradas e o seu potencial didático, turístico e geológico, colocado em segundo plano.



Por outro lado, a comunidade geológica há pouco desperta para assuntos relacionados à criação de áreas de proteção, que contemplem monumentos naturais e que tenham relevante interesse geológico, geomorfológico ou paleontológico. No entanto, cada vez mais se tem criado no Brasil os chamados *geoparques*. Com visão ainda distante da realidade nacional e seguindo um modelo proposto pela UNESCO, estas unidades não possuem em sua essência o comprometimento com a prática de proteção de áreas naturais. A principal falha neste sentido reside na desvinculação dos *geoparques* ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Lei 9.985, 18 de julho de 2000).

Entretanto, esforços pontuais têm sido realizados para tentar enquadrar áreas com relevante importância geológica e geomorfológica nos moldes das leis de proteção e gestão de áreas naturais no Brasil (Pereira *et al*, 2008), como por exemplo, na região da Serra das Torres, ou em Pancas, estado do Espírito

Santo.

Em relação aos planos de manejos de UCs, o conhecimento geológico definiria áreas com risco geotécnico que deveriam ser evitadas ou até proibidas à visitação; Áreas estruturalmente favoráveis à captação natural de águas superficiais e de recarga de aquíferos que deveriam ser protegidas e recuperadas; Áreas susceptíveis à erosão e escorregamentos; Pontos de importância geohistórica que poderiam agregar valor ao acervo natural, entre outros.

Infelizmente, na maior parte das vezes, os itens relacionados à geologia nos planos de manejo são estruturados como fruto de mera compilação bibliográfica, utilizando vocabulário específico e demasiadamente técnico, o que torna a tarefa interpretativa enfadonha para leigos e com aplicação pouco prática.

Assim, torna-se fundamental que durante a gestão da unidade de conservação seja dada atenção necessária aos aspectos físicos,



gerando conhecimento científico de caráter prático, facilmente interpretado e utilizado, ao contrario do que tem sido visto. As informações geológicas poderiam, por exemplo, ser transmitidas através de um vocabulário coloquial e seguidas de sugestões e dicas que facilitasse sua utilização.

A partir dos elementos levantados no presente estudo, será possível conhecer com melhor detalhe a história geológica da área, fornecendo subsídios para trabalhos futuros como a proposição de trilhas com pontos de interesse geológico, delimitação de zonas insustentáveis do ponto de vista geotécnico e de proteção.

Abrangência e localização da área de estudo

O Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça abrange atualmente uma área de 162,5 hectares, constituindo um local de beleza única no

estado do Espírito Santo, cuja principal atração é uma queda d'água 144 metros de altura.

O acesso à região é feito pela rodovia ES 387, a partir dos municípios de Ibitirama, Divino São Lourenço ou do distrito de Celina, Alegre. Para chegar ao parque é necessário o acesso por estrada pavimentada com pedras, percorrendo-se uma distância de aproximadamente três quilômetros (figura 1).

Metodologias da pesquisa

A pesquisa foi realizada em quatro etapas, envolvendo trabalhos de gabinete, campo e laboratório. As etapas e metodologias adotadas são descritas a seguir:

Etapa 1- Revisão bibliográfica: esta etapa envolveu a leitura da literatura existente sobre o local e região do ponto de vista geológico e geomorfológico. Os dados obtidos compuseram uma síntese sobre a região, a fim de suportar



do ponto de vista teórico as observações, dados coletados em campo e conclusões.

Etapa 2- Mapeamento geológico básico: teve por objetivo o reconhecimento das principais unidades litológicas (grupos de rochas), suas relações temporais (estratigrafia) e espaciais (estruturas e contatos) (figura 2), em uma área que ultrapassou os limites da unidade de conservação. A base topográfica utilizada foi à folha "Divino São Lourenço", em escala 1:50.000 do IBGE (SF-24-V-A-IV-2). Além disso, foram utilizadas imagens ICONOS impressas na escala 1:20.000. Este acervo serviu como base para a cartografia geológica. Os pontos estudados foram descritos, amostrados, georreferenciados com auxílio do GPS e plotados na base topográfica. Medidas estruturais foram tomadas com bússola geológica Brunton e as amostras coletadas foram posteriormente encaminhadas para a confecção de lâminas delgadas.

Etapa 3- Análises petrográficas: A preparação de lâminas petrográficas envolve a serragem de tabletes de rocha em serra diamantada, colagem sobre lâmina de vidro e desbaste em uma poltriz rotativa com material abrasivo conhecido como carborundo (carbeto de silício; SiC), até que o tablete de rocha atinja a espessura de 0,03 mm. Foram confeccionadas lâminas delgadas, representativas das principais unidades litológicas encontradas na região do parque. As análises microscópicas (petrografia) foram realizadas nas dependências do Curso de Geologia/UFES, utilizando microscópio polarizador OLIMPUS BX 51. Os intervalos utilizados para classificação granulométrica (tamanho) dos cristais foram: granulação fina, menor que 1mm; granulação média de 1 a 3 mm; granulação grossa de 3 a 5 mm; granulação muito grossa, maior que 5 mm.



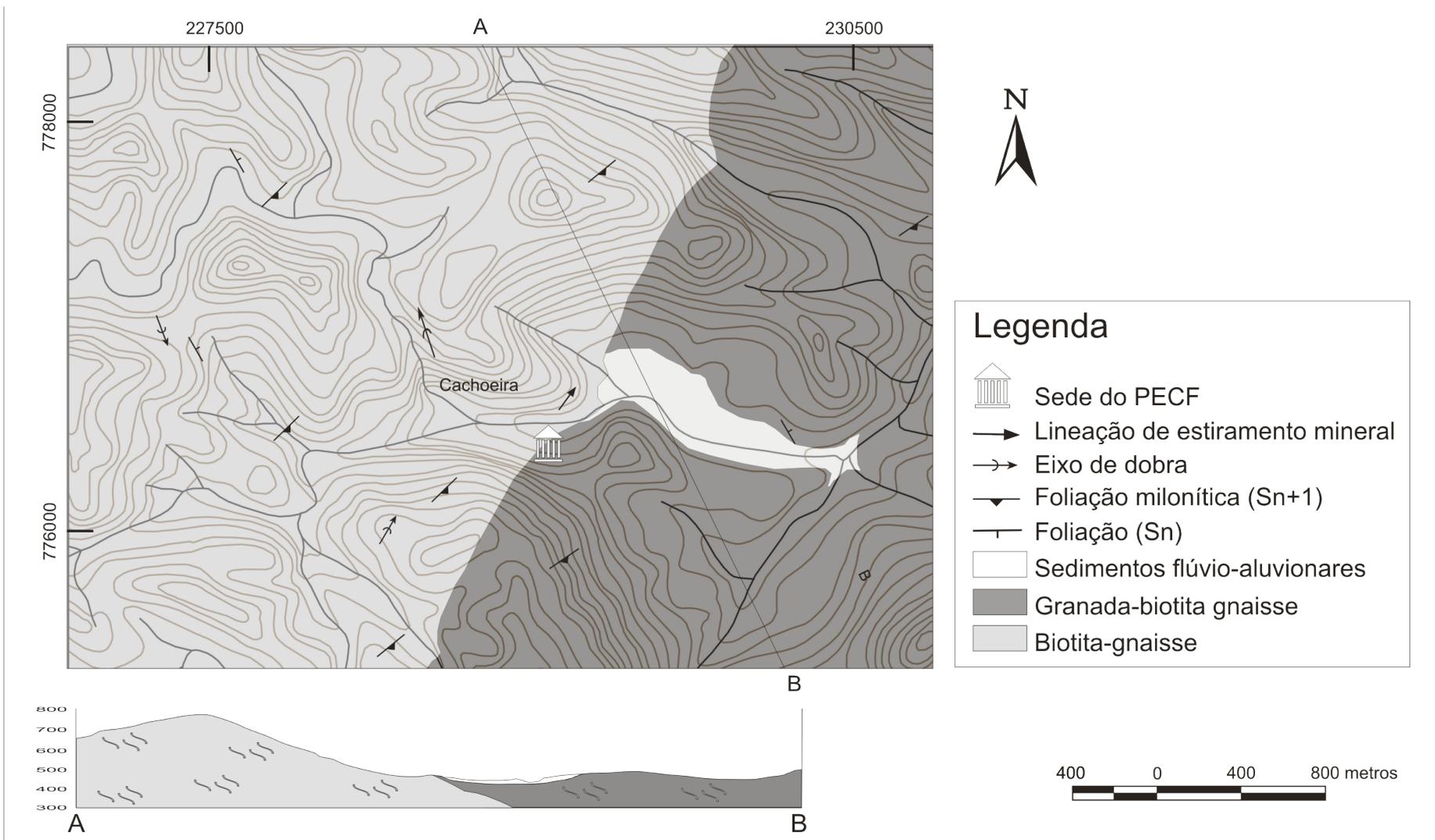


Figura 2- Mapa Geológico Simplificado: Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça e Periferia. Fonte do autor.



Etapa 4- Interpretação dos resultados: a partir do mapa geológico, análises petrográficas e dos dados coletados em campo, foi possível reconhecer e interpretar a história evolutiva das rochas encontradas na região e suas relações com as condicionantes de risco geológico no parque, os elementos de potencial geoturístico e a gênese das feições morfológicas, principalmente da cachoeira.

Desenvolvimento

Síntese da história geológica regional

A região insere-se na transição de duas faixas tectônicas de forte expressão regional, formadas a partir de um evento tectônico ocorrido no intervalo temporal entre 600 e 520 milhões de anos atrás.

Este evento é conhecido como Ciclo Brasileiro e reflete o fechamento de um oceano e a colisão de pequenos núcleos continentais, hoje

formadores de partes do território brasileiro e africano, estruturando neste período o supercontinente Pannotia/Gondwana Ocidental (Britto Neves, 1999). O modelo tectônico atual que serve para demonstrar uma colisão semelhante é visto no choque da placa Indo-australiana com a Ásia, formando a Cordilheira do Himalaia.

Durante o Ciclo Brasileiro, a colisão de dois pequenos núcleos continentais conhecidos como São Francisco e Congo formou três faixas de tectono-litológicas (relacionadas a conjuntos específicos de rochas e estruturas geológicas) no que hoje são os litorais do Brasil, Angola, Zaire, Congo e Gabão. Estas faixas são conhecidas como Ribeira, nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro; Araçuaí, no estado do Espírito Santo e sudoeste de Minas Gerais; *West Congo*, de Angola ao Gabão (Heilbron et al, 1995; Pedrosa-Soares et al, 1999).

Na região de estudo, uma série de rochas de origem sedimentar marinha e vulcânica, hoje transformadas através do metamorfismo



em gnaisses aluminosos, quartzitos, mármores, rochas calcissilicáticas e anfibolitos, compõem um conjunto denominado regionalmente como Complexo Paraíba do Sul (Féboli, 1993; Vieira, 1997, Pedrosa-Soares et al, 2007).

A evolução do processo de colisão entre os dois microcontinentes levou a movimentação de fragmentos crustais existentes entre eles e em suas bordas, através de falhamentos transcorrentes, em resposta às tensões cisalhantes envolvidas. Este processo apresenta-se bem evidenciado na área, através do lineamento de Guaçuí, responsável pela formação de uma grande faixa de cisalhamento dúctil (Vieira, 1997; Alkmim et al, 2007), reflexo da movimentação horizontal de porções crustais a grandes profundidades, onde as rochas se tornam plásticas e facilmente deformáveis.

Durante todo o processo de convergência entre os continentes, desde a fase em que existia um oceano entre eles (Pedrosa Soares et al, 2007), até a fase de colisão, profuso

magmatismo foi produzido, constituindo uma série de corpos magmáticos, principalmente granitóides, que hoje se encontram expostos pela erosão e são explorados comercialmente em todo o estado (Wiedemann-Leonardos, et al, 2000).

O Ciclo Brasileiro não se refletiu apenas na formação das faixas Ribeira, Araçuaí e *West Congo*, mas em inúmeras outras suturas com cadeias de montanhas no entorno do Cráton do São Francisco e Congo e na colisão de outros núcleos continentais.

Após o Ciclo Brasileiro, outros processos orogênicos (relacionados à formação de montanhas) ocorreram em âmbito global ao longo do Paleozóico (540 a 250 milhões de anos atrás), que culminaram com a estabilização no Permiano (300 a 250 milhões de anos atrás) do Supercontinente Pangeia.



Resultados obtidos

Aspectos geomorfológicos locais

A região do PECF faz parte de um conjunto orográfico complexo, fruto de sucessivos eventos deformacionais relacionados à formação das faixas Ribeira-Araçuai durante o Ciclo Brasileiro (600 e 520 milhões de anos) e posteriormente à distensão crustal responsável pela separação Brasil-África com início aproximado há 125 milhões de anos atrás (Bueno *et al*, 2007).

Em âmbito regional, a Serra do Caparaó está estruturada como um grande domo, reflexo de uma dobra antiformal com eixo caindo para norte, gerada durante o Ciclo Brasileiro. Seguindo em direção ao sudeste do estado, o relevo apresenta-se escalonado e em patamares cada vez mais baixos até atingir o litoral. De forma simples, estes patamares correspondem a paleoníveis topográficos, testemunhos da peneplanização conjugada à dissecação do relevo, através do rebaixamento do nível de

base das drenagens (figura 3A).

Localmente alguns destes desníveis podem se relacionar a falhamentos normais, reflexos da distensão e estiramento crustal ocorrido durante a abertura do Atlântico e a reajustes neotectônicos a partir da reativação de estruturas formadas ao final do Proterozóico (há mais de 520 milhões de anos).

A estruturação das rochas que compõem o substrato cristalino é denotada principalmente por uma rede de falhas e fraturas que transpassam maciços graníticos relativamente homogêneos, encaixados em meio a rochas metamórficas predominantemente gnáissicas. Este conjunto serviu como substrato para a ação intempérica, dissecando o relevo a partir das zonas de fraqueza, individualizando colinas, mares de morros, pontões e pães-de-açúcar.

Em alguns locais, as feições lineares geradas por falhas e fraturas imprimem um padrão em treliça às drenagens, encaixando os rios por entre escarpas e vales lineares profundos.





Figura 3- A) Padrão escalonado do relevo na região da Serra do Caparaó; B) Compartimento de relevo mostrando o desnível topográfico formador da Cachoeira da Fumaça; C) Visão do rio Braço Norte Direito correndo encaixado sobre o sistema de falhas e fraturas geológicas. Observar o escalonamento do relevo. Fonte do autor.



A região do PECF exibe alguns dos elementos descritos acima. A porção NW mostra grande contraste de altitudes, exemplificado através do desnível formador da cachoeira e das escarpas nos morros no entorno, diminuindo progressivamente para SE, em direção à cidade de Alegre. Não se observa, entretanto, indícios conclusivos da presença de falhas normais, como espelho de falha e seus elementos, que explicariam a depressão presente (figura 3B). Além disso, o rio Braço Norte Direito, córregos e canais de drenagem próximos, correm encaixados em grandes feições lineares, provavelmente reflexo de falhas, fraturas e do próprio lineamento de Guaçuí (figura 3C).

Aspectos geológicos locais

A área de estudos foi caracterizada pela presença de duas unidades litológicas principais, recobertas localmente por sedimentares flú-

vio-aluvionares. São elas: Biotita-gnaiss e granada-biotita-gnaiss (Figura 2). Subordinadamente foram reconhecidos anfibólitos, ocorrendo como nódulos dentro do biotita-gnaiss e veios pegmatíticos intrusivos.

Biotita-gnaiss

Gnaisses são rochas metamórficas formadas pela alternância de bandas claras, compostas por quartzo (SiO_2) e algum tipo de feldspato (alumino-silicatos de sódio e/ou cálcio e/ou potássio) e bandas escuras formadas por minerais compostos principalmente por ferro e magnésio.

O biotita-gnaiss predomina na área de estudo, aflorando no leito do rio, constituindo a base da cachoeira, morros, escarpas no seu entorno e nas porções mais altas do parque. Alternam bandas claras homogêneas, algumas vezes com textura *augen* (do alemão, olhos), onde sobressaem cristais grandes ocelares de



feldspato, em uma matriz mais fina, formando camadas com aparência nodular, anastomosada, por vezes contendo concentrações de biotita ($K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$).

A concentração de minerais escuros, formados a altas temperaturas e a aparência reliquiar do conjunto indicam processos de fusão parcial e geração de magma nesta unidade (migmatização).

Sua textura anisotrópica predominante é protomilonítica a milonítica, apresentando orientação de biotita e mosaico cristalino quartzo-feldspático (figura 4A).

Milonitos são rochas formadas em falhas profundas na crosta terrestre, oriundas da movimentação de blocos crustais. As rochas em profundidade tornam-se plásticas e susceptíveis à deformação. Nestas zonas, ao invés das rochas se quebrarem, elas se deformam assumindo textura milonítica, com forte anisotropia, denotada pela presença de bandas milimétricas a decimétricas. Neste caso, par-

te do biotita-gnaiss se interpõe a uma região onde havia movimentação de blocos crustais (falhas), assumindo nestas regiões textura milonítica.

Sua mineralogia principal é composta por biotita, plagioclásio ($(Ca, Na)Al_{1-2}Si_{2-3}O_8$), microclina ($KAlSi_3O_8$), quartzo, eventualmente granada almandina ($Fe_3Al_2Si_3O_{12}$) e hornblenda ($(Ca,Na)_{2-3}(Mg,Fe,Al)_5Si_6(Si,Al)_2O_{22}(OH)_2$). Entre os minerais acessórios ocorre muscovita ($KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$), apatita ($Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$), o zircão ($ZrSiO_4$) e minerais opacos (geralmente óxidos e sulfetos que não deixam passar a luz do microscópio). Como produtos de alteração aparecem a sericita (muscovita de granulação muito fina) e saussurita (mistura de minerais de alteração, composta por epidoto ($Ca_2(Fe,Al)Al_2O(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$), carbonato (XCO_3 , onde X pode ser Ca, Mg, Mn ou Fe), mica branca ($KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$), além da caulinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)).



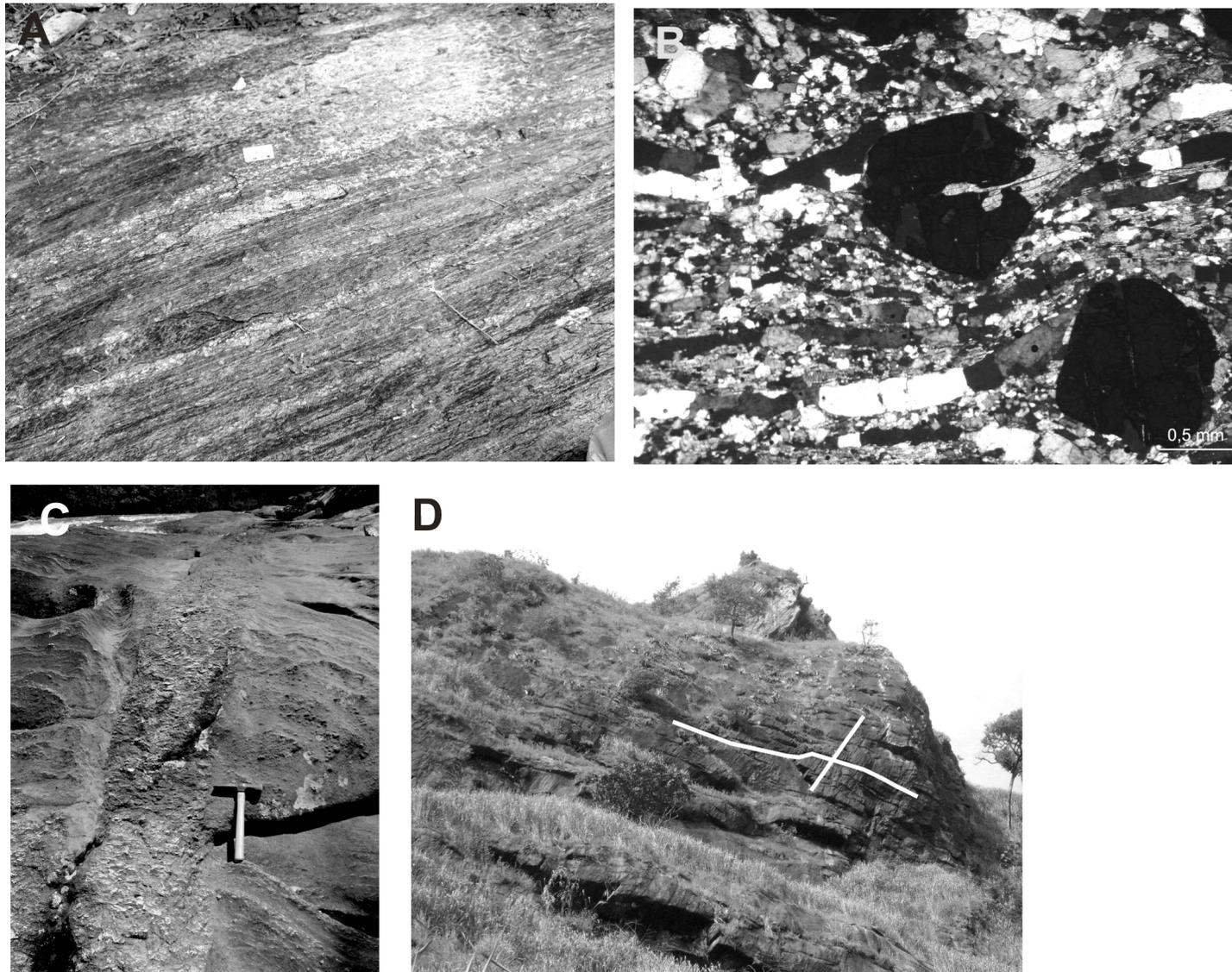


Figura 4- A) Anisotropia em biotita-gnaiss exemplificado através de foliação e textura milonítica; B) Fotomicrografia da anisotropia apresentada pelo granada-biotita-gnaiss. Essa anisotropia é uma foliação milonítica, evidenciada pelo estiramento de grãos quartzo feldspáticos (mosaico cristalino de colorações claras e escuras). Os cristais arredondados são granadas; C) Veio pegmatóide cortando o biotita-gnaiss; D) Rede de fraturas observada na região (salientada pelas linhas claras). Fonte do autor.



Seu contato com o granada-biotita gnaissé é aparentemente de natureza transicional, marcado pelo enriquecimento de cristais grandes e bem desenvolvidos de granada.

Granada-biotita gnaissé

Aflora como blocos e lajedos na superfície do terreno, nas porções topograficamente mais baixas. É um gnaissé claro, com variação nas dimensões dos cristais (de 1 a 5 mm), com foliação milonítica milimétrica (Figura 4B), alternado a bandas de granulometria grossa. Apresenta como principal característica o enriquecimento em granada almandina.

Possui textura granoporfioblástica, denotada por cristais milimétricos a centimétricos de granada almandina, em meio a um conjunto cristalino mais fino, composto por um mosaico quartzo-feldspático. Outra textura normalmente encontrada é a milonítica, evidenciadas pelas bandas leucocráticas apre-

sentando quartzo em forma de polígonos alongados, algumas vezes formando fitas associados a feldspatos (figura 4B).

Sua mineralogia essencial é formada por quartzo, microclina, plagioclásio, granada e biotita. Como minerais acessórios observa-se zircão incluso em quartzo, apatita inclusa em plagioclásio, sericita e sillimanita ($Al_2 SiO_5$) associadas à biotita e granada. Como minerais secundários, observa-se a sericita e saussurita em pequenas quantidades.

Anfibolito

É uma rocha metamórfica escura, composta predominantemente por hornblenda, plagioclásio de caráter mais cálcico e eventualmente quartzo, geralmente formada pelo metamorfismo de rochas magmáticas ricas em ferro e magnésio. Ocorre na área de estudo como nódulos de tamanhos variados no interior do biotita-gnaissé.



Ao microscópio observam-se os minerais distribuídos espacialmente de forma homogênea, denotados principalmente por cristais de plagioclásio e hornblenda formando mosaico cristalino, onde os cristais de hornblenda encontram-se levemente orientados (textura granonematoblástica). A rocha possui variação na dimensão dos cristais (inequigranular), variando de menos de 1 mm a até 3mm ou 5mm. Como produto de alteração de plagioclásio observa-se a saussurita.

Veios pegmatóides

Veios pegmatóides são feições ígneas relacionadas à cristalização de fluídos silicatados em fases tardias do magmatismo granítico. Quando quase todo magma está cristalizado, restam no topo da intrusão, fluídos silicosos parcialmente volatilizado, que penetra em fissuras, fraturas e falhas nas rochas que estão em torno. Como a cristalização destes corpos

é lenta, os cristais crescem vagarosamente, assumindo grandes dimensões quando comparados às rochas magmáticas normais.

Veios pegmatóides aparecem cortando os litotipos descritos anteriormente, podendo ocorrer como diques ou intrusões descontínuas e sem direção preferencial ou aproveitar falhas e fraturas para serem injetados (figura 4C). Possuem granulometria muito grossa, com cristais decimétricos de K-feldspato e quartzo, eventualmente com participação de biotita e magnetita.

Sedimentos flúvio-aluvionares

Sedimentos flúvio-aluvionares quaternários aparecem preenchendo o vale aberto existente à jusante da cachoeira. Sua composição é variável, provavelmente alternando camadas de areia e lama, fruto da dinâmica fluvial ao longo de alguns milhares de anos.



Geologia Estrutural

Durante eventos de colisão de continentes, porções de crosta são fortemente deformadas, a maneira de uma resma de papel amassada, gerando dobras, falhas e outras estruturas tectônicas, em diferentes escalas.

Ao menos quatro eventos deformacionais compressivos estão registrados nas rochas encontradas no PECF.

O primeiro e mais antigo deles aparece com pouca frequência na área mapeada, ocorrendo principalmente nas porções à montante da Cachoeira, sendo responsável pela formação de uma foliação S_n , com direção geral $075^\circ/40^\circ$ (figura 5A).

O evento deformacional seguinte dobrou a foliação S_n e gerou dobras apertadas a isoclinais com plano axial (S_{n+1}) paralelo a foliação (figura 5B).

O terceiro evento relaciona-se a zona de cisalhamento de Guaçuí. De caráter predomi-

nantemente dúctil (plástico) e dextral (com movimentação relativa entre os dois blocos, no sentido dos ponteiros do relógio), esta deformação produziu texturas protomilonítica a milonítica nos litotipos, com formação de uma foliação milonítica (S_{n+2}) de aproximadamente $110^\circ/70^\circ$ (figura 5C). Dobras intrafoliares são comuns neste domínio, apresentando eixos caindo de $035^\circ/40^\circ$. Também foram observadas falhas inversas decimétricas e dobras de arraste associadas.

Em relação às microestruturas, sigmóides formados por porfiroblastos de granada inflexionam a foliação da rocha, englobando cristais de biotita. Estas feições localmente podem apresentar movimentação sinistrógiara (anti-horária) e evidenciam que a granada desenvolveu-se como um mineral *sin a tardi-cinemático* (durante e ao final da deformação).

Por fim são observadas redes de fraturas, provavelmente geradas em eventos distintos, a maioria com idade incerta (figuras



4D e 5D). O primeiro sistema apresenta-se sub-vertical, com direções gerais 095° - 275° e 315° - 135° , algumas vezes preenchidas por material magmático pegmatóide, falhado. O segundo sistema apresenta-se sub-horizontal e persistente em alguns locais, com espaça-

mento de um metro ou mais entre planos, caracterizando uma rede gerada provavelmente pelo alívio da pressão litostática. A interseção destas redes de fraturas com a foliação milonítica das rochas possui importantes implicações geotécnicas, comentadas a frente.

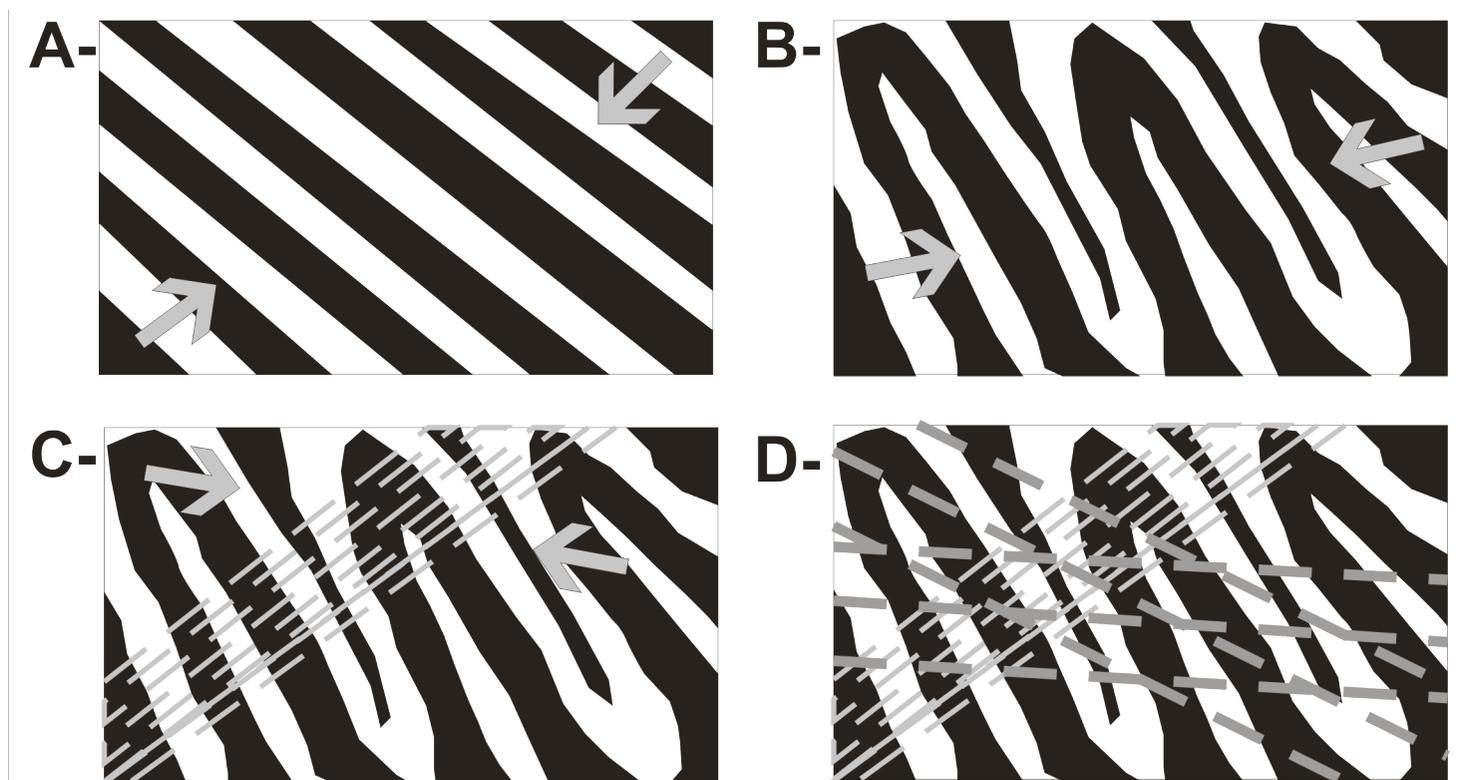


Figura 5- Etapas evolutivas das estruturas geológicas observadas na região: A) Formação das superfícies de anisotropia iniciais ou foliação S_n , perpendiculares a um esforço tectônico compressivo (setas cinza); B) Dobramento da foliação S_n a partir de um esforço tectônico oblíquo ao anterior; C) Desenvolvimento da anisotropia relacionada à foliação milonítica, reflexo da ação da Zona de Cisalhamento de Guaçuí; D) Formação da rede de fraturas que cortam as rochas e estruturas anisotrópicas anteriores. Fonte do autor.



Considerações finais e conclusões

Elementos históricos geológicos

Os elementos da geologia histórica da região podem servir de base para materiais contendo conceitos didáticos e científicos fornecidos aos visitantes ou utilizados de forma expositiva em pontos da UC.

O registro geológico presente nas rochas e estruturas da região do PECF evidencia momentos distintos do processo de colisão continental entre o Cráton do São Francisco e Congo, durante o Ciclo Brasileiro.

A presença de granada e outras fases minerais aluminosas, bem como as características do conjunto litológico presente, permitem correlacionar estas rochas ao Complexo Paraíba do Sul descrito na região por Vieira (1997) e relacionado à sedimentação marinha plataforma que precedeu a colisão continental.

Os dados litológicos e estruturais evidenciam pelo menos duas fases deformacionais, fruto de um processo tectônico contínuo, relacionado ao evento de colisão continental e orogênese (formação de montanha). A foliação mais antiga, com caimento para NE, pode ser o indício da colisão entre as placas São Francisco e Congo. A zona de cisalhamento Guaçuí e a foliação milonítica associada registram a fase posterior e mais intensa desta colisão. Nesta fase o movimento convergente entre os blocos passou para um regime tangencial, com movimentação lateral (transcorrência e cisalhamento), a exemplo do que hoje acontece na falha de San Andreas, EUA.

As paragêneses (associações minerais) hornblenda+plagioclásio nos anfibolitos e granada+sillimanita+k-feldspato+muscovita no granada-biotita gnaiss indicam condições máximas de metamorfismo em fácies anfibolito. Estas assembléias minerais mostram que o metamorfismo destas rochas ocorreu em um



ambiente com temperaturas na ordem dos 550° a 650° C e a profundidades de 15 a 20 quilômetros no interior da crosta, nas porções mais profundas da cordilheira de montanhas formada no Brasileiro.

Elementos geomorfológicos e geoturísticos: evolução do relevo e formação da Cachoeira

A evolução geomorfológica responsável pela formação da cachoeira e da depressão onde o PECF se insere, em parte pode ser explicada pela estruturação tectônica das rochas ali presentes, principalmente aos escalonamentos desenvolvidos durante o evento distensivo relacionado à abertura do Atlântico. No entanto, não são observados localmente elementos que permitam afirmar a existência de falhamentos normais. Seja qual for à natureza estrutural do embasamento e as feições morfoestruturais formadas, os desníveis locais e particularmente o desnível da cachoeira parecem estar

ligados aos processos geomecânicos e intempericos atuantes no maciço rochoso.

Uma vez que os blocos são individualizados através da intersecção de fraturas e foliação, o intemperismo passa a agir mais efetivamente no interior do maciço, transformando progressivamente rocha em solo, removido pela ação das águas superficiais. As porções mais resistentes ao intemperismo vão ficando acumuladas sobre a superfície do terreno e o desnível topográfico vai sendo formado. Os blocos que ficam presos às porções mais altas, eventualmente se soltam e caem sob a ação da gravidade. O evento prossegue até que a cachoeira finalmente se estabelece (figura 6).



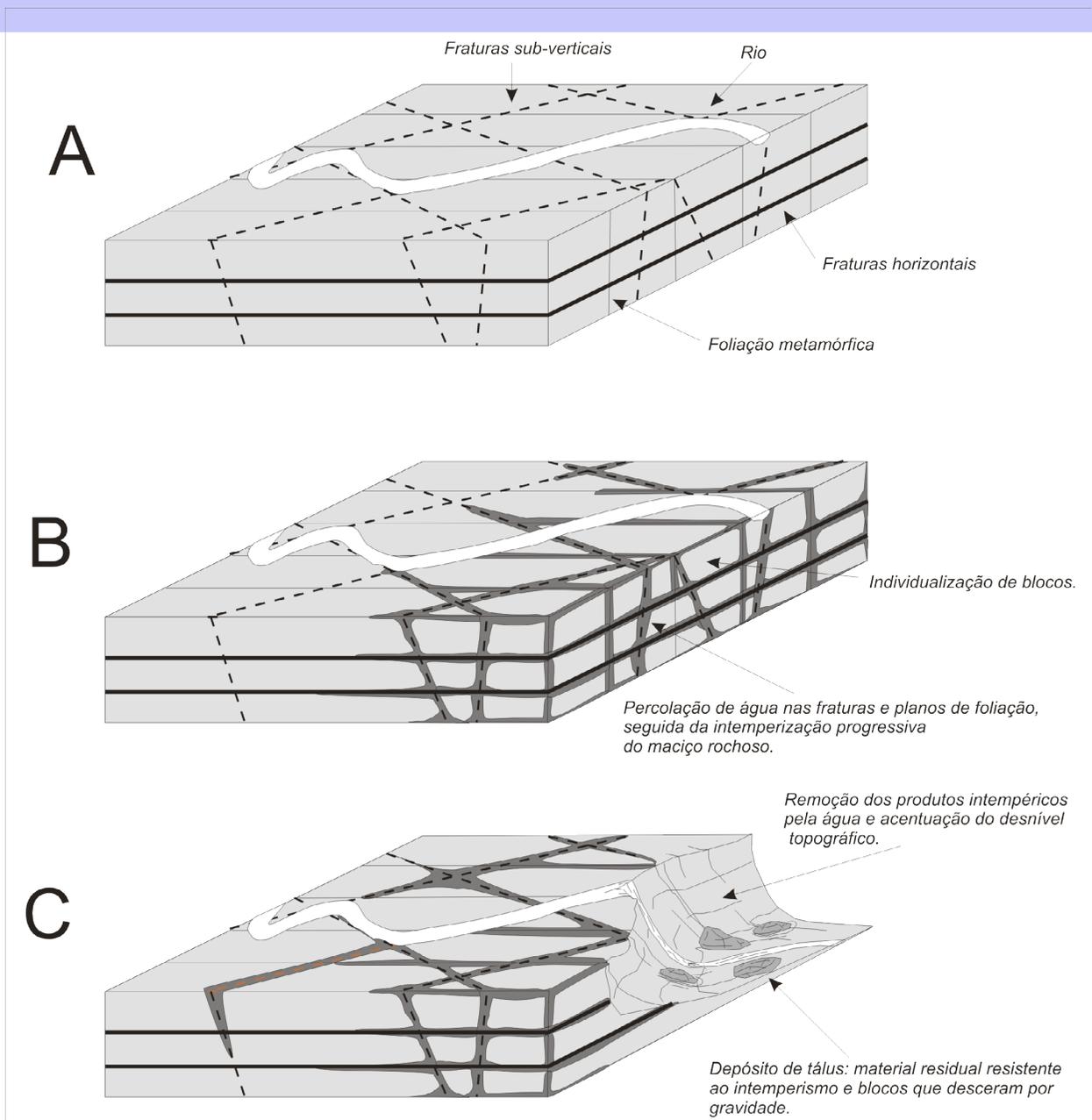


Figura 6- Etapas de evolução e desenvolvimento da Cachoeira da Fumaça. Fonte do autor.



Elementos geotécnicos

O conjunto litológico exhibe sob os pontos de vista microscópico e macroscópico forte anisotropia, denotada pelo desenvolvimento de planos de foliação milonítica, que interfere nas propriedades mecânicas do maciço rochoso. Microscopicamente foram atestadas grandes variações nas espessuras das bandas e na granulometria dos cristais presentes na foliação dos gnaisses. Estas características aliadas às anisotropias macroscópicas e microscópicas, podem ser importantes condicionantes de rupturas e disjunções em maciços rochosos (figuras 4A, 4B e 4D), além de facilitar a percolação de fluídos e o intemperismo de alguns minerais. Feições de alteração mineral, como saussuritização de plagioclásios e formação de sericita próximo aos feldspatos alcalinos parecem estar fortemente ligadas à presença destas variações.

Macroscopicamente, a interação entre as

famílias de fraturas verticais, fraturas horizontais e a foliação presente nas rochas parece ser preponderante na criação e individualização de blocos e matacões rochosos. A percolação de água por entre os planos de fratura e foliação favorece o aparecimento de minerais secundários e a lubrificação destas superfícies pelos produtos intempéricos. Uma vez individualizados e soltos, os blocos passam então a sofrer a ação da gravidade, que termina por derrubá-los ou simplesmente dissipá-los encosta abaixo, formando depósitos de tálus, observados em toda a área do parque e abaixo da cachoeira.

A queda de blocos oferece riscos às construções no entorno e aos visitantes. Assim, áreas próximas às escarpas e muito próximas a cachoeira devem ser sinalizadas e evitadas.



Sugestões

200

Devido ao risco de queda de blocos na base da cachoeira e escarpas próximas (Pedra do Gorila, etc), torna-se imprescindível à proibição do acesso de visitantes nestas proximidades, bem como o estabelecimento de benfeitorias e construções.

Os estudos realizados demonstraram que o PECF e arredores encerram um rico acervo geológico e geomorfológico, com alto potencial para a exploração turística. Neste sentido, trilhas informativas e interpretativas podem ser propostas e material audiovisual explorado.

Por fim, sugere-se que seja confeccionada placas em acrílico, contendo a história geológica e geomorfológica do PECF e da própria cachoeira, a exemplo do que tem sido feito no estado do Rio de Janeiro, através do projeto Caminhos Geológicos.



Referências Bibliográficas

201

ALKMIM, F.F., Pedrosa Soares, A.C. & Cruz, S.C.P. Sobre a evolução tectônica do Orógeno Araçuaí. *Geonomos*, Belo Horizonte, v.15, n.1, p. 25-43, 2007.

BRASIL. Lei Nº 9.985 de 18 de julho de 2000. SNUC.

BRITO NEVES, B.B. America do Sul: quatro fusões, quatro fissões e processo acrescionário andino. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.29, n.3, p. 379-392, 1999.

BRILHA, J. Geoconservation and protected areas: comment. *Environmental Conservation*, v.29, n.3, p. 273-276, 2002.

BUENO, G.V.; ZACHARIAS, A.A.; OREIRO, S.G.; CUPERTINO, J.A.; FALKENHEIN, F.U.H. & MARTINS NETO, M.A. Bacia de Pelotas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p. 551-559, 2007.

FÉBOLI, W. Programa Levantamentos Geológicos Básicos: Folha Piúma (SF. 24-V-A-VI,), Estado do Espírito Santo, Escala 1:100.000. Brasília: DNPM/CPRM, 1993. 144p.



HEILBRON, M.; VALERIANO, C.M.; VALLADARES, C.S. & MACHADO, N. A Orogênese Brasileira no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.25, n.4, p.249-266, 1995.

PEDROSA-SOARES, A.C.; WIEDEMANN, C.M.; FERNANDES, M.L.S. & FARIA, L.F. & FERREIRA, J.C.H. Geotectonic significance of the Neoproterozoic granitic magmatism in the Araçuaí Belt, eastern Brazil: a model and pertinent questions. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.29, n.1, p.59-66, 1999.

PEDROSA-SOARES A.C., NOCE, C.M., ALKMIM, F.F., SILVA, L.C., BABINSKI, M., CORDANI, U. & CASTAÑEDA, C. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida (1977). Geonomos, Belo Horizonte, v.15, n.1, p 1-16, 2007.

PEREIRA, F.P.; BRILHA, J. & MARTINEZ, J.E. Proposta de enquadramento da geoconservação na legislação ambiental brasileira. Memórias e Notícias. v.3, p. 491-494, 2008.

VIEIRA, V.S. Programa Levantamentos Geológicos Básicos: Folha Cachoeiro do Itapemirim (SF 24 Z-V-A), Estado do Espírito Santo, Escala 1:250.000. Brasília: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 1997. 110p.

