

## **NÍVEL DE DENUDAÇÃO ATUAL DO COMPLEXO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS, MG-SP**

AKIHISA MOTOKI \*  
THAÍS VARGAS \*  
EGYDIO CHIANELLO \*  
FRANSISCO JOSÉ GALVÃO CORREA \*  
JORGE LUÍS SOUZA OLIVEIRA \*  
MARCOS KLOTZ \*

\* Departamento de Geologia/Geofísica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)  
Boletim de Congresso Brasileiro de Geologia, 1988

### **ABSTRACT**

Geological and lithological studies of the Poços de Caldas Alkaline Complex Rock Body, States of Minas Gerais and São Paulo, Brazil, have been performed with special reference to its present denudation level, by means of structural re-examination of the bodies, which were considered to be surface volcanic deposits.

The sedimentary bodies, which happen in this complex body, have been revealed to be surrounded by phonolitic rocks with intrusive contact. They are fragmented in various scales, ranging from meters to kilometre, and have random dips and strikes. These data suggest that they are megaxenolithes involved in a shallow phonolitic intrusive body by means of magmatic stopping intrusion. The study of flow texture, block-lava structures, and contact relations of the hypothetical phonolitic lava flows have turned them to a shallow intrusive rock body. The rhyolite-like texture of some phonolitic rocks is due to secondary flowage of vent-filling welded tuff. The outcrops on new road cut have disclosed the Vale do Quartel pyroclastic body to be a fissure vent, younger than the country phonolitic rocks.

These data indicate complete elimination of the surface bodies by erosion and denudation, attributing the present level to a shallow intrusive rock body.

### **INTRODUÇÃO**

O Complexo Alcalino de Poços de Caldas, situado nos Estados de Minas Gerais e São Paulo, expõe-se em uma área subcircular, de 30km de diâmetro, sendo composto de fonolitos e nefelina sienitos, acompanhados por rochas piroclásticas e sedimentares. Estas rochas foram notificadas por Derby (1887), e posteriormente estudadas por Barbosa (1936; 1948) e Freitas (1943), apenas em breves descrições.

As pesquisas geológicas foram iniciadas por Bjornberg (1956; 1959), Ellert (1959) e Ellert et al. (1959), que propuseram a existência de uma gigantesca caldeira vulcânica no complexo, baseando-se na morfologia, estrutura regional, dique anelar, posicionamento de rochas piroclásticas e sedimentares. Bjornberg (op. cit.) descreveu as rochas sedimentares, presentes ao longo da borda deste complexo, como compostas de arenitos eólicos com intercalações secundárias de siltitos, sendo correlacionadas à Formação Botucatu da Bacia do Paraná, anterior ao vulcanismo de magmas alcalinos. Ao mesmo tempo, anotou uma possibilidade de deposição

simultânea com as rochas piroclásticas. A exposição atual em altitudes variáveis (850 a 1500m), junto com os mergulhos gerais para o centro do complexo, foi atribuída ao abatimento de caldeira. As rochas piroclásticas, encontradas ao longo da borda e no centro do complexo, foram descritas como compostas de vários tipos litológicos com intercalações de lavas, sendo consideradas como de deposição subaérea *in situ* e de transporte posterior em ambiente superficial, baseando-se na presença de quartzo detrítico, forma arredondada de fragmentos, seleção granulométrica e estratificação, inclusive certas ocorrências de deposição subaquática. A idade relativa foi interpretada como anterior às rochas tinguaiticas circunvizinhas, e os contatos com eles foram descritos como sub-verticais, enquanto a localidade e descrição dos afloramentos não foram apresentadas. Na borda sul do complexo, foram descritos derrames de lava fonolítica, de centenas de metros de espessura, com textura fluidal, inclinados ligeiramente para o centro do complexo, capeando arenitos e invadidos por corpos tinguaiticos. Conseqüentemente, esses trabalhos consideraram o nível de denudação atual como superficial ou subsuperficial.

Os estudos geológicos foram sucedidos pela CNEN e Nuclebrás, com interesse especial na jazida de urânio e molibdênio presentes nas brechas vulcânicas do centro do complexo. Essas foram considerados como de preenchimento de conduto, posterior aos fonolitos, tinguaitos e foiaitos, a partir de xenólitos, relação de contato e forma tridimensional do corpo, determinados através da exploração da Mina Osamu Utsumi (Oliveira, J.I., 1986). A morfologia atual foi atribuída diretamente à caldeira do tipo ressurgente, e o nível de erosão foi considerado como superficial (Fraenkel, et al., 1984). O mergulho geral dos corpos sedimentares para o centro do complexo também foi utilizado para justificar o abatimento. Por outro lado, a expressão “derrames de lavas fonolítica” não foi adotada, sendo citado apenas como fonolitos.

Ulbrich (1984) realizou pesquisas petrológicas e geológicas com enfoque nos nefelina sienitos. Este trabalho se referiu aos arenitos de Águas da Prata, tendo sido descrito uma textura predominantemente maciça de mergulhos variáveis com intercalações freqüentes de silitos, além de correlacionar as rochas sedimentares desta área e as de Andradas ao Grupo Tubarão, mostrando uma clara contradição com Bjornberg (op. cit.). As rochas piroclásticas presentes na parte central do complexo foram consideradas como de conduto vulcânico. Entretanto, o corpo da borda oeste, denominado de “faixa piroclástica do Vale do Quartel”, foi interpretado como de deposição superficial, baseando-se nas observações litológicas e petrográficas. Sobretudo, os tufitos com textura plano-paralela bem desenvolvida foram atribuídos a deposição subaquática e “base surge”. As intercalações de lava não foram referidas. A idade relativa desta faixa foi considerada como anterior aos fonolitos circunvizinhos (“tinguaito” de Ellert, 1959), entretanto, não houve descrição de afloramentos de contato. Além disso, os xenólitos de nefelina sienito encontrados, que deveriam ser posterior ao fonolito, provocam uma contradição. As lavas fonolíticas não foram referidas, e a expressão “dique anelar” também não foi utilizada. O nível de denudação foi interpretado como sendo de uma profundidade maior do que do modelo de Williams (1941).

Recentemente, Motoki e Oliveira J.L.S. (1987) apresentaram um modelo completamente diferente, considerando as rochas sedimentares como corpos capturados, fragmentados e afundados no magma fonolítico, ou seja, megaxenólitos sedimentares embutidos em rocha fonolítica, baseando-se nas suas atitudes aleatórias e relação de contato intrusivo. Nas áreas de Andradas e Véu das Noivas, os megaxenólitos ocorrem na forma de um corpo central quilométrico e periféricos de escala variável. Litologicamente, os da área de Andradas são predominantes em silitos lacustres, e de Véu das Noivas em arenitos eólicos, sendo

correlacionadas respectivamente à Formação Corumbataí e Botucatu. Dois megaxenólitos na margem sul do complexo evidenciaram a inexistência do dique anelar nesta área. Este trabalho concluiu que o nível de denudação atual é muito mais profundo do que as estimativas anteriores, sendo correspondente a um corpo intrusivo raso.

Nos trabalhos anteriores, o argumento mais importante na estimativa do nível de erosão está no ponto de vista de que, os corpos extrusivos já foram eliminados completamente ou ainda estão preservados parcialmente. O presente trabalho tenta resolver este problema por meio de investigação dos corpos sedimentares, derrames de lava fonolítica e rochas piroclásticas.

## **CORPOS SEDIMENTARES NA ÁREA DE ÁGUAS DA PRATA**

Conforme o capítulo anterior, o modo de posicionamento das referidas rochas sedimentares ainda não foi bem estabelecido. Neste sentido, os autores complementam dados geológicos de Águas da Prata (Fig. 1), área não abordada por Motoki e Oliveira (op. cit.).

Nos arredores de Águas da Prata, ocorre o maior corpo sedimentar presente no Complexo Alcalino de Poços de Caldas, distribuindo-se em uma área de 5 x 2km, alongada na direção NW-SE. A margem oeste deste corpo está provavelmente em contato com a faixa estreita de rocha fonolítica, que delimita a borda oeste do complexo alcalino. Infelizmente, não foi encontrado o afloramento do contato. Por outro lado, a sua margem nordeste não está claramente definida, observando-se uma faixa de transição com complexa alternância de rochas sedimentares e fonolítica. Nas localidades mais a nordeste, os corpos sedimentares ocorrem cercadas por fonolito, como se fossem ilhas, de escala 50 a 70 m.

Os corpos sedimentares são constituídos predominantemente por arenito com intercalações subordinadas de siltito. Os afloramentos desta área são mais intemperizadas do que os da área de Andradas, e as rochas frescas são expostas apenas ao longo do Córrego do Quartel. Alguns destes apresentam arenitos com estratificação cruzadas de alto ângulo, cerca de 30°. Porém, existem afloramentos de arenito maciço de alta consolidação, devido possivelmente ao metamorfismo termal. Nas outras localidades, as rochas sedimentares são altamente intemperizadas, desagregando-se em areia, sendo impossível de serem observadas suas estruturas sedimentares. Na cidade de Águas da Prata, ao longo das estradas ferroviária e rodoviária, os arenitos inclinam-se cerca de 20° para o centro do complexo, sendo aparentemente concordante com Bjornberg (1959). Entretanto, as medidas de outras localidades revelam atitudes aleatórias, confirmando a descrição de Ulbrich (1984).

Os dados acima apresentados indicam a presença de um corpo sedimentar central de 5 x 2km e os periféricos de tamanho variável, ambos com atitudes aleatórias (Fig. 2). Provavelmente, o número de corpos periféricos é maior do que os constatados. Tal situação é semelhante a da área de Andradas, observada por Motoki e Oliveira, J.L.S. (1987). Desta forma, considera-se que as rochas sedimentares nesta área também são corpos capturados, fragmentados e afundados no magma fonolítico, ou seja, megaxenólitos sedimentares embutidos na rocha fonolítica.

## **POSIÇÃO ESTRATIGRÁFICA DAS ROCHAS SEDIMENTARES**

Todos os trabalhos até hoje publicados interpretam as rochas sedimentares como pertencentes à Bacia do Paraná, entretanto, as discussões sobre a sua posição estratigráfica são

confusas: Formação Botucatu (Bjornberg, 1959); Grupo Tubarão (Ulbrich, 1984); Formações Corumbataí e Botucatu (Motoki e Oliveira, J.L.S., 1987).

A grande maioria dos trabalhos anteriores considerou o posicionamento dessas rochas como "cobertura sedimentar anterior ao magmatismo alcalino". Portanto, sua posição estratigráfica estaria delimitada preferivelmente dentro de uma única formação. Na Serra do Mirante da Fartura, próxima da margem oeste do complexo alcalino, ocorre arenito assentado no embasamento Pré-Cambriano, formando "morro testemunho" (Bjornberg, 1959 ; Ulbrich, 1984 ; Motoki e Oliveira, J.L.S., 1987). Logo, os corpos sedimentares presentes dentro do complexo alcalino pertenceriam à unidade inferior da Bacia do Paraná desta região, isto é, a Formação Aquidauana do Grupo Tubarão. Entretanto, a presença de arenito eólico em uma proporção elevada invalida a consideração acima.

Por outro lado, Motoki e Oliveira, J.L.S. (op. cit.) consideraram essas, como sendo megaxenólitos sedimentares embutidos em rocha fonolítica. Este modelo permite a presença de rochas sedimentares proveniente de qualquer formação da Bacia do Paraná, desde Aquidauana até Serra Geral. Conforme o capítulo anterior, certos afloramentos de Águas da Prata mostram textura eólica. As rochas de Veu das Noivas possuem também nítida característica eólica. Por outro lado, as da proximidade de Andradas são predominantemente de origem lacustre. Tal proveniência mista é explicada unicamente pelo modelo de Motoki e Oliveira, J.L.S. (1987), e o fato consolida a hipótese de megaxenólitos.

## **INVALIDADE DAS ROCHAS SEDIMENTARES NA JUSTIFICATIVA DE CALDEIRA**

Os mergulhos e altitudes atuais das rochas sedimentares vêm sendo utilizados para justificar abatimento da caldeira vulcânica.

O mergulho geral para o centro do complexo alcalino, proposto por Bjornberg (1959) e Ellert (1959), foi citado repetidamente por várias publicações como evidência representativa do abatimento. Entretanto, o mapa geológico dos propositores (Ellert, et. al., 1959) não confirmou este fenômeno. Além disso, Ulbrich (1984), Motoki e Oliveira, J.L.S. (1987) e os dados do presente trabalho revelaram sua inexistência. A Fig. 3 apresenta o diagrama de mergulhos relativos ao centro do complexo, que verifica atitudes aleatórias.

A variação de altitudes atuais das rochas sedimentares é observada tipicamente na área entre a Serra do Mirante da Fartura (cerca de 1500 m) e Águas da Prata (850 m). Na proximidade de Andradas, estas ocorrem desde o planalto (1400 m) até a margem do complexo (1000 m). Tal variação foi interpretada como conseqüência direta do soerguimento e abatimento da caldeira (Bjornberg, 1959), porém, esta interpretação não é aplicável para o exemplo de Andradas. Baseando-se na hipótese de megaxenólitos, as altitudes atuais são atribuídas ao afundamento a várias profundidades no magma fonolítico.

Conseqüentemente, essas rochas sedimentares não justificam a hipótese de caldeira do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

## **MORFOLOGIA DA ÁREA DE DISTRIBUIÇÃO DAS SUPOSTAS LAVAS FONOLÍTICAS**

Foi introduzido o método de "seppômen", que possibilita estimar a paleogeomorfologia,

para facilitar a interpretação morfológica da área de distribuição dos "derrames de lava fonolítica", propostos por Ellert (1959). Este método determina também as anomalias geológicas e movimentos tectônicos, sendo utilizado freqüentemente nos estudos vulcanológicos e neotectônicos. Existem duas maneiras para elaborar mapas de seppômen : "seppô-hô" e "maikoku-hô". Na aplicação do seppô-hô, o pesquisador traça uma malha de intervalo pré-definido na carta topográfica, e constrói um mapa topográfico novo baseando-se apenas nos pontos culminantes de cada cela unitária. Este método é vantajoso na utilização de computador, e portanto, é adequado para uma área grande. No maikoku-hô, elabora-se um mapa de preenchimento dos vales com a largura superior a um valor pré-definido. Este método fornece mapas altamente refinados com excelente precisão vertical, porém, precisa de alta técnica manual, muito trabalho e tempo, devido à extrema dificuldade na aplicação de computador. Portanto, é preferível para discussões detalhadas de uma área pequena.

A Fig. 4 apresenta o mapa de seppômen para a borda sul do complexo, que constata a presença de uma área com relevo topográfico relativamente suave, abrangendo aproximadamente 50km quadrados, inclinada cerca de 2° ao norte, sendo superposta quase inteiramente à área de distribuição dos referidos derrames. Este plano é cortado por uma escarpa direcionada a E-W de altura de 100m e extensão de 2.5km, formando-se um degrau morfológico. As margens leste e norte desta área são delimitadas pelo Morro do Mel e do Tamanduá, mas a margem nordeste é transicional à área vizinha. A margem sul é definida pelo vale profundo ao longo da BR-146 e a serra circundante do complexo. Estes dados são aparentemente afirmativos à interpretação dos derrames propostos por Ellert (1959).

## **INEXISTÊNCIA DE ESTRUTURA BLOCK LAVA E TEXTURA FLUIDAL**

Derrames subaéreos de lava viscosa normalmente possuem estrutura "block lava" (McDonald, 1970), que é o critério definitivo no campo. Entretanto, nenhum trabalho anterior constatou a presença da referida estrutura no complexo alcalino. Apesar de ser um critério não definitivo, existem algumas referências à textura fluidal (e.g. Ellert, 1959). O mapa geológico de Ellert et al. (1959) apresenta as medidas do fluxo concentradas na Fazenda Gonçalves e espalhadas pela BR-146, porém, essas não apresentam a suave inclinação ao norte.

Na parte norte da área, encontram-se dois afloramentos intemperizados ao lado da BR-146. Geralmente, a textura fluidal é ainda visível em afloramentos intemperizados, em certos casos acentuadamente, devido à alteração diferencial. Entretanto, os dois afloramentos apresentam aspecto maciço, não mostrando textura fluidal nem estrutura block lava. Na margem sul da área, encontram-se fonolitos frescos com megaxenólitos sedimentares embutidos. Contudo, não se observam estes critérios, apesar de boas exposições. Nas demais localidades, os afloramentos ocorrem apenas ao longo das drenagens, em escala limitada, e esses mostram também os mesmos aspectos. Portanto, considera-se que estes fonolitos não possuem textura fluidal nem estrutura block lava, com a exceção da Fazenda Gonçalves.

## **BLOCOS ENCONTRADOS NA FAZENDA GONÇALVES**

Na entrada da Fazenda Gonçalves (Loc. 1), ocorre um afloramento altamente intemperizado de rocha piroclástica predominante em matriz. No nordeste desta fazenda, expõem-se blocos de textura similar à de lava viscosa. Esta textura fluidal é notável na superfície

alterada, mas pouco observável nas faces frescas, porém nas lâminas delgadas é evidente. Isto é, a textura existente nesta rocha foi visualizada através da alteração diferencial. Os blocos de tal textura altamente desenvolvida podem ser confundidos com tufitos subaquáticos ou depósitos de "base surge".

Apesar da aparente semelhança com lavas, estes blocos possuem alguns aspectos peculiares : xenólitos angulosos, unidades da textura fluidal interrompidas e distribuição heterogênea (Fig. 5). Tais aspectos são específicos em ignimbritos, porém, os fragmentos essenciais são muito mais achatados (em média 1:100 ou mais), do que o normal (inferior a 1:10). Além disso, observa-se "disharmonic fold" (Hobbs et al., 1976), que comprova presença de fluxo viscoso. Smith (1960) interpretou tais texturas, que são encontrados nos ignimbritos de preenchimento de vales, como consequência do fluxo viscoso gravitacional após o seu posicionamento, e denominou tal fenômeno de "fluxo secundário". Este fluxo transforma a textura piroclástica original em uma similar à de lava, e tal rocha é chamada como "reognimbrito". Entretanto, o achatamento dos fragmentos essenciais e a textura fluidal dos referidos blocos são ainda muito mais desenvolvidos do que reognimbritos normais (inferior a 1:30). Motoki (1979) mencionou que os materiais piroclásticos de preenchimento de conduto vulcânico podem ser soldados em grau muito mais elevado do que os subaéreos, devido à extensão vertical infinitamente grande e resfriamento lento. Além disso, as paredes do conduto vulcânico são altamente inclinadas, o que possibilita o fluxo secundário desenvolver-se em grau extremamente alto, sobretudo nas proximidades dessas paredes (Fig. 6). A Fazenda Gonçalves situa-se certamente na margem nordeste da área de distribuição de rocha piroclástica, (Motoki e Oliveira J.L.S., 1987).

Desta forma, considera-se que esses blocos não são de lava, mas sim, reognimbrito, ou seja, tufo soldado com fluxo secundário, de preenchimento de conduto vulcânico.

## **AFLORAMENTO DE CONTATO COM AS ROCHAS SEDIMENTARES**

Ellert (1959) indicou os contatos demarcados entre as lavas e tinguaito, localizados no "dique anelar", Morro do Mel e do Tamanduá. Mencionou também o capeamento dessas lavas nos arenitos sem intercalação de tufos e brechas. Porém, não deixou as localidades nem descrições dos afloramentos que justificam as relações acima.

A ausência do contato com o "dique anelar" já foi comprovada por Motoki e Oliveira, J.L.S. (1987), junto com a inexistência do referido corpo desta área. A alteração intensa e cobertura espessa de solo, nos sopés do Morro do Mel e do Tamanduá, não permitiram observação dos contatos. Ao longo da BR-146, expõem-se alguns afloramentos de contato entre as rochas fonolíticas e sedimentares, inclusive aquele que poderia ser utilizado por Ellert (1959) para justificar o "capeamento". Este afloramento (Loc. 2) mostra um fonolito intemperizado colocado sobre um corpo sedimentar, composto de siltito com laminação plano-paralela com intercalação de arenito, inclinados em torno de 40° ao sul. O contato entre os dois é "ondulante" (Fig. 7), sem intercalação de paleossolo, material orgânico e parte alto-brechada do fonolito, caracterizante de capeamento subaéreo de lava viscosa. Além disso, a 200m na direção de Andradas, encontra-se contato lateral sub-vertical deste corpo com a rocha fonolítica. Os dados acima apresentados esclarecem que o referido afloramento não é de capeamento subaéreo de lavas, mas sim, a margem superior de um megaxenólito sedimentar, de escala aproximada de 300m, embutido no fonolito.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS DERRAMES DE LAVA FONOLÍTICA

Conforme o texto acima, os dados morfológicos são aparentemente afirmativos à presença de lavas fonolíticas, enquanto os geológicos e litológicos são negativos. Portanto, conclui-se a inexistência das referidas lavas, considerando-se o fonolito como corpo intrusivo.

## ROCHAS PIROCLÁSTICAS DA MINA OSAMU UTSUMI

As rochas piroclásticas da mina de urânio e molibdênio Osamu Utsumi, situada na parte centro-oriental do complexo alcalino, foram pesquisadas por Ulbrich (1984) e Oliveira J.I. (1986). Estas rochas foram consideradas como constituintes de um conduto vulcânico, intrusivo em rochas fonolítica e foiaítica da área, com base na sua forma tridimensional e relação de contato sub-vertical com as rochas encaixantes, estabelecidas durante a exploração. A observação geológica efetuada pelos autores concorda com os referidos trabalhos, apresentando como novidade da presença de alguns xenólitos decamétricos de fonolito. Estas dimensões são aparentemente inaceitáveis, entretanto, são conhecidos xenólitos muito maiores que estão presentes em condutos vulcânicos (Aramaki, 1969; Motoki 1979).

As rochas piroclásticas desta mina apresentam feições litológicas características de conduto vulcânico, que são pouco conhecidas no Brasil: 1) variação litológica, desde aglomerado até tufito; 2) arredondamento da maior parte dos fragmentos acidentais; 3) ocorrência de tufos soldados e também de fluxo secundário (“brecha de fusão” de Oliveira, J.I., op. cit.); 4) xenólitos de grandes dimensões. Os aspectos acima citados se assemelham à textura de rochas conglomeráticas, podendo levar a confundir com rochas piroclásticas de transporte posterior em ambiente superficial ou de deposição subaquática.

Além disso, Bjornberg (1959) utilizou o acamamento como um dos critérios distintos de rochas de ambiente superficial. No entanto, Motoki (1979) explicou o mecanismo de tal seleção granulométrica e arredondamento como consequência das atividades de gases vulcânicos dentro de conduto vulcânico. A velocidade de queda dos fragmentos é controlada pela sua dimensão, densidade e forma, além da velocidade dos gases vulcânicos em ascensão no conduto : Fragmentos pequenos e leves são levados para cima, e os grandes e pesados afundam, de maneira semelhante ao processo de elutriação (Parfenoff et al., 1970). Quando a velocidade dos gases é mantida em torno de um valor por um certo tempo, os fragmentos semelhantes em dimensão, densidade e forma são concentrados em um determinado espaço do conduto (Fig. 8). Os fragmentos concentrados neste espaço flutuam, e a fricção entre si causa arredondamento. Este processo é semelhante aos de rochas sedimentares, porém o meio de transporte não é líquido, mas sim, gasoso. A velocidade de gases vulcânicos é muito superior à da água terrestre, centenas de quilômetros por hora, e portanto, ocorrem também colisões entre os fragmentos, que possibilitam a existência de vértices arredondados e angulosos em um mesmo fragmento. A velocidade dos gases vulcânicos é variável em tempo e local, desta forma, os modos de concentração também são diversos : Em erupções efusivas de materiais piroclásticos, ou seja, as menos violentas, a seleção granulométrica e arredondamento são acentuados, por outro lado, em vulcanismos explosivos, esses são pouco expressivos. As erupções efusivas com velocidades dos gases gradativamente variáveis podem formar acamamentos.

## **CONTATO DA FAIXA PIROCLÁSTICA DO VALE DO QUARTEL COM CORPO FONOLÍTICO**

Foi observado um afloramento de perfil transversal da faixa piroclástica do Vale do Quartel (definida por Ulbrich, 1984), na ocasião da abertura de uma nova estrada (Fig. 9). A observação foi realizada uma semana após ter sido feito o corte (janeiro de 1987), o que possibilitou a descrição da textura das rochas do referido corpo. Devido ao intemperismo atuante, o afloramento alterou-se rapidamente, e hoje, infelizmente não é mais possível a realização de estudo detalhado.

Na Loc. 3, encontra-se o contato intrusivo da rocha piroclástica (noroeste) dentro de fonolito (sudeste), apresentando um plano sub-vertical e sub-paralelo à estrada. A rocha piroclástica é composta predominantemente de matriz, com fragmentos arredondados de escala centimétrica de rochas fonolíticas e sieníticas. No contato, não se encontram nenhum indicador geológico de deposição subaérea, e.g. paleossolo. A extensão deste corpo ao longo do eixo NE-SW é menos de 200 m. Ocorrem também dois diques que cortam ambos os corpos.

Na Loc. 4, observa-se um contato entre o corpo fonolítico e outro tufo soldado. Este tufo é caracterizado por abundância de pseudoleucita, de 0.5 a 4cm, e poucos fragmentos acidentais. A textura de tufo soldado é acentuada, com fragmentos essenciais achatados em vários graus : Na proximidade do contato, esses são achatados e orientados paralelamente ao plano de contato, apresentando uma textura reognimbrítica. Mas o fluxo secundário não é tão avançado como nos blocos da Fazenda Gonçalves (o achatamento não alcança 1:15). O plano de contato é de alto ângulo e não linear, sem intercalação de paleossolo e materiais orgânicos. Ao longo deste plano, foi observada margem de resfriamento vítrea, com largura aproximada de 40cm, ao lado do tufo soldado. Tal margem normalmente acompanha os corpos de origem líquida, e.g. dique e sill, e também tufos soldados de fluxo secundário de deposição subaérea (Ono e Watanabe, 1974) e de preenchimento de conduto vulcânico (Motoki, 1979). A 300m da Loc. 3 à direção NNE, o tufo soldado mostra graus variáveis de textura soldada e fluxo secundário (Fig. 9). Na Loc. 4, este corpo é intrudido por outro conduto vulcânico, preenchido por aglomerado de fragmentos fonolíticos arredondados, de largura aproximada de 30m.

Geralmente, os xenólitos encontrados em um conduto vulcânico são constituídos por rochas encaixantes locais e de profundidade maior. Entretanto, podem ocorrer também rochas de formações superiores, devido ao efeito de mistura no conduto e variação de velocidade de gases vulcânicos. Portanto, o quartzo arredondado, interpretado por Bjornberg (1959) como detrítico, podem ter se originado de arenito que compôs o antigo teto.

## **OUTRAS OCORRÊNCIAS DE ROCHAS PIROCLÁSTICAS**

Foram encontradas demais três ocorrências de rochas piroclásticas na encosta interior da elevação topográfica subcircular ao longo da margem do complexo alcalino. A distribuição destas é limitada, sendo desfavorável a hipótese de deposição superficial.

Uma das ocorrências encontra-se na área de Andradas (Loc. 5), referida por Motoki e Oliveira J.L.S. (1987), que se estende desde a serra circundante do complexo (Serra do Caracol) até a Fazenda Gonçalves, em uma extensão aproximada de 1km. Este corpo mostra uma textura de lapilli-tufo e de tufo soldado. A distribuição de xenólitos fonolíticos indica intrusão posterior ao fonolito da serra circundante.



Outro exemplo ocorre dentro da serra circundante, noroeste da cidade de Poços de Caldas (Morro do Cristo), em apenas uma pedreira pequena, em uma escala inferior a 20m (Loc. 6). A rocha mostra típica textura de tufo soldado com xenólitos angulosos e arredondados de rochas sedimentares e tufo soldado. Este corpo pode ser interpretado tanto como megaxenólito ignimbrítico, quanto conduto vulcânico. A ocorrência de conduto tão pequeno, ou seja, dique de tufo soldado, já foi conhecido no caso de rochas ácidas (Motoki, 1979).

Existe outro exemplo na mesma serra, a nordeste de Poços de Caldas, que já foi descrito por Ellert (1959) e Bjornberg (1959). A situação deste corpo e presença de xenólitos fonolíticos sugerem intrusão posterior ao fonolito.

Na parte central do complexo, ao longo da BR-146 (Loc. 7), foi encontrada uma ocorrência de rocha piroclástica, que deveria corresponder ao corpo descrito por Ellert (op. cit.) como de deposição subaquática. Entretanto, este não mostra a textura referida, encontrando-se fragmentos arredondados de escala decimétrica.

## **RECONSIDERAÇÕES SOBRE O MODO DE OCORRÊNCIA DAS ROCHAS PIROCLÁSTICAS**

Conforme o capítulo anterior, todos os afloramentos de contato com os corpos piroclásticos e fonolíticos circunvizinhos mostram aspectos de conduto vulcânico posterior ao fonolito. A grande maioria desses contem fragmentos arredondados e angulosos de rochas fonolíticas. O aspecto petrográfico utilizado pelos trabalhos anteriores como justificativas das atividades de água superficial, pode ser atribuídos à atividade de gases vulcânicos no conduto. Estes fatos geológicos obviamente evidenciam que estas rochas não são de deposição superficial, mas sim, de conduto vulcânico. Além disso, Bjornberg (1959) e Ellert (1959) também descreverem a forma dos corpos e o contato com os corpos vizinhos sub-verticais, que favorece a hipótese de conduto vulcânico e desfavorece a interpretação destes autores.

Ao vulcanismo deste complexo, foi inferida uma duração de 20 m.a., baseando-se em datações pelo método K-Ar (Amaral et al., 1967), porém, as de Rb-Sr revelaram a sua duração apenas dentro do erro analítico (Kawashita et al., 1984). Desta maneira, a coexistência dos corpos nefelina sieníticos com os extrusivos, proposta pelos trabalhos anteriores, é difícil de ser justificada.

Erupções subaéreas de tufo soldado normalmente ocorrem na forma de fluxos piroclásticos, que possuem grande fluidez. Portanto, distribuem-se em áreas extensas, com a exceção no caso de "morro testemunho" e conduto vulcânico. Se a "faixa piroclástica do Vale do Quartel" fosse um corpo subaéreo, as rochas piroclásticas deveriam se distribuir amplamente em áreas interiores e exteriores do complexo: Aceitando-se a justificativa de Bjornberg (1959) estariam ao longo de vales, e concordando-se com a hipótese de Ulbrich (1984), nos topos de morros, enquanto na realidade, tais rochas não se encontram.

Conseqüentemente, as rochas piroclásticas deste complexo alcalino são consideradas como de preenchimento de condutos vulcânicos formados posteriormente à intrusão dos fonolitos.

## **CONCLUSÃO**

Os dados acima fornecem algumas conclusões importantes, que contrariam às interpretações dos trabalhos anteriores :

- 1 - As rochas sedimentares presente neste complexo alcalino não são "cobertura anterior", mas sim, megaxenólitos embutidos em rocha fonolítica.
- 2 - A faixa piroclásticas do Vale do Quartel não é um corpo extrusivo anterior aos fonolitos circunvizinhos, mas sim, um conduto vulcânico posterior.
- 3 - Os fonolitos da borda sul do complexo não são constituintes de derrames de lava, mas sim, compõem uma parte do corpo intrusivo.

Estes fatos sugerem a eliminação total dos corpos extrusivos do referido complexo alcalino por denudação. Neste sentido, o nível de erosão atual não é superficial (como indicado por Fraenkel et al., 1984) nem subsuperficial (Ellert, 1959; Bjornberg, 1959; Ulbrich, 1984), mas sim, de uma profundidade relativamente grande, que não permite a preservação dos corpos extrusivos. Dentre as estimativas anteriores, a de Motoki e Oliveira J.L.S. (1987) possui a melhor concordância com os dados do presente trabalho, isto é, o nível de denudação atual corresponde a um corpo intrusivo raso. Desta forma, a exposição atual do referido complexo não pode representar um "vulcão" ou uma "caldeira", mas sim, um corpo intrusivo de "magmatic stoping". Portanto, as informações geológicas sobre a caldeira vulcânica, mesmo se existisse no Cretáceo, já teriam sido eliminadas. Além disso, a real existência do dique anelar também é duvidosa (Motoki e Oliveira, J.L.S., 1987). Conseqüentemente, a hipótese da caldeira vulcânica aplicada ao referido complexo alcalino torna-se inviável.

Geralmente, a morfologia de uma área reflete a sua geologia, entretanto, existem também casos contraditórios, e.g. os "derrames de lava fonolítica". Neste sentido, a elaboração de mapas geológicos e estruturais por meio exclusivo de aerofotografias é muito arriscada. Uma interpretação morfológica efetiva-se apenas após a sua confirmação geológica no campo, pelo menos parcialmente. Interpretações morfológicas e estruturas geológicas não devem ser confundidas. Igualmente, os aspectos litológicos e petrográficos fornecem informações auxiliares sobre o seu posicionamento geológico. Entretanto, conforme o texto exposto, uma rocha fonolítica nem sempre representa derrame de lava, e tufo soldado nem sempre corresponde a ignimbrito extrusivo. Portanto, o modo de ocorrência de um corpo não deve ser definido somente através de aspectos petrográficos, mas sim, por meio de trabalhos de campo, sobretudo de investigação de afloramentos de contatos. A geologia e a petrologia/petrografia não devem ser confundidas.

## **AGRADECIMENTOS**

O custo do presente trabalho foi financiado parcialmente pelo CEPUERJ. Os professores H.H.J.G. Ulbrich, M.C. Ulbrich, da USP ; R.A. Santos, E. Zinbres, M.C. Heilbron, M.A. Tupinambá, P. Cesero da UERJ; Y. Tokonami da University of Tokyo; A. Aikawa da Osaka City University; aluno de doutoramento V.A. Janasi da USP ofereceram sugestões e discussões importantes. Os autores agradecem a estas pessoas e instituições.

## **BIBLIOGRAFIA**

- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. -1967- Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **31**, 117-142.
- ARAMAKI, S. -1965- Mode of emplacement of acid igneous complex (Kumano Acidic Rocks) in southeastern Kii Peninsula. *Journ. Geol. Soc. Japan*, **71**, 525-540. (in Japanese)
- BARBOSA, O -1936- Notas preliminares sobre o Planalto de Poços de Caldas e suas possibilidades econômicas. *Serv. Fom. Prod. Mineral, (Brasil)*, **Avulso 8**, 1-33.
- BJORNBERG, A.J.S. -1956- Arenitos do bordo do Planalto de Poços de Caldas. *Acad. Bras. Ci.* **28-4**, 465-471.
- BJORNBERG, A.J.S. -1959- Rochas clásticas do Planalto de Poços de Caldas. *Bol. Fac. Fil. Ciênc. Let. Univ. São Paulo*, **237, Geologia 18**, 65-132.
- DERBY, O.A. -1887- On nepheline-rocks in Brazil, with special reference to the association of phonolite and foyaite. *Quart. Jour. Geol. Soc. London*, **43**, 457-473.
- ELLERT, R. -1959- Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas. *Bol. Fac. Filos. Ciênc. Let. Univ. São Paulo*, **237, Geologia 18**, 1-64.
- FRAENKEL, M.O.; SANTOS, R.C.; LOUREIRO, F.E.V.L.; MUNIZ, W.S. -1984- Jazida de urânio no planalto de Poços de Caldas - Minas Gerais. *Principais Depósitos Mineris do Brasil*. **1**, DNPM, 89-103.
- HOBBS, B.E.; MEANS, W.D.; WILLIAMS, P.E. -1976- An outline of structural geology. John Willy & Sons INC. New York.
- KAWASHITA, K.; MAHIQUES, M.M.; ULBRICH, H.H.G.J. -1984- Idades Rb/Sr de nefelina sienitos do anel norte do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, MG-SP. *Resumos do XXXIII Cong. Bras. Geol.*, 244-245.
- MCDONALD, G.A. -1970- Volcanoes. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 510 pgs.
- MOTOKI, A. -1979- Cretaceous volcanic vents in southeast part of Mt. Rokko, western Honshu, Japan. *Bull. Volcanol. Soc. Japan, Ser. 2*, **24-2**, 55-72. (in Japanese)
- MOTOKI, A; OLIVEIRA, J.L.S. -1987- Reconsiderações vulcanológicas sobre a hipótese de caldeira vulcânica no Complexo Alcalino de Poços de Caldas, MG. Parte I : Rochas sedimentares como corpos capturados, fragmentados e afundados no magma fonolítico. *An. IV Simp. Geol. Minas Gerais*, 420-433.
- OLIVEIRA, J.I. -1986- Um modelo geológico de mineralizações em caldeira de subsidência. *Brasil Mineral*, **28**, 45-47.
- ONO, K.; WATANABE, K. - 1974 - Secondary flowage in Aso-2 pyroclastic flow deposit around the west rim of the Aso Caldera, Central Kyushu. *Bull. Volcanol. Soc. Japan, Ser. 2*, **19-2**, 93-110. (in Japanese)
- PARFENOFF, A.; POMEROL, C.; TOURENQ, J. -1970- Les Minéraux em Granis, Méthodes D'étude et Détermination. Masson et Cie. Éditeurs, Paris. 578 pgs.
- SMITH, R.L. -1960- Ash flows. *Geol. Soc. Amer. Bull.* **71**, 795-842.
- ULBRICH, H.H.G.J. -1984- A petrografia, a esturutra e quimismo de nefelina sienitos do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, MG-SP. "Livro Docência" thesis, Inst. Geoc. Univ. São Paulo (unpublished).
- WILLIAMS, H. -1941- Calderas and their origin. *Univ. Calif. Depart. Geol. Sci. Bull.* **25**, 239-346.

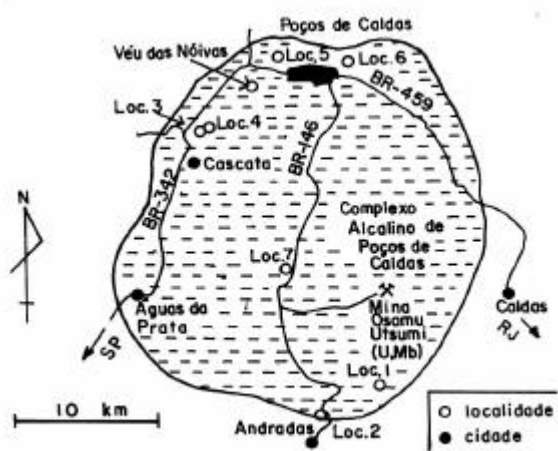


Fig. 1 - Mapa de localidades da área pesquisada.

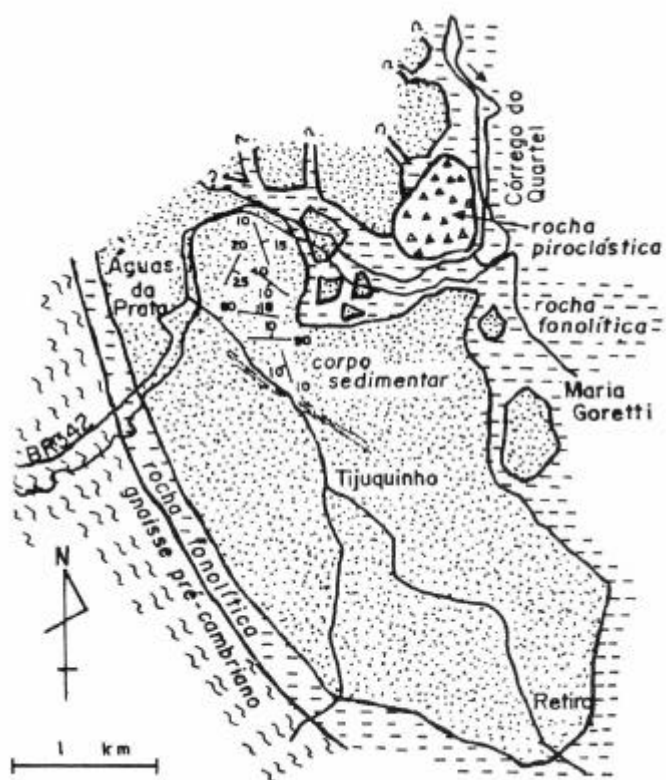


Fig. 2 - Mapa de distribuição litológica da área de Águas da Prata

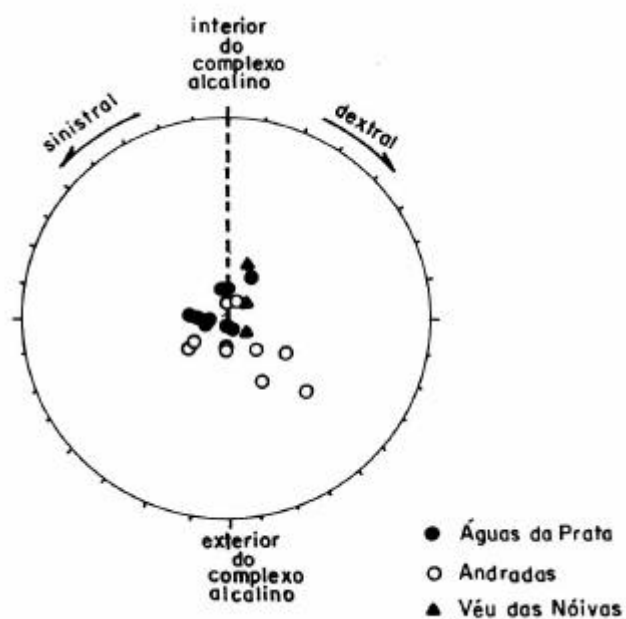


Fig. 3 - Projeções dos polos normais das estratificações das rochas sedimentares em diagrama estereográfico de direção relativa ao centro do Complexo Alcalino de Poços de Caldas. Se houvesse a inclinação geral para o centro, os pontos projetados deveriam ser distribuídos ao longo da linha tracejada.

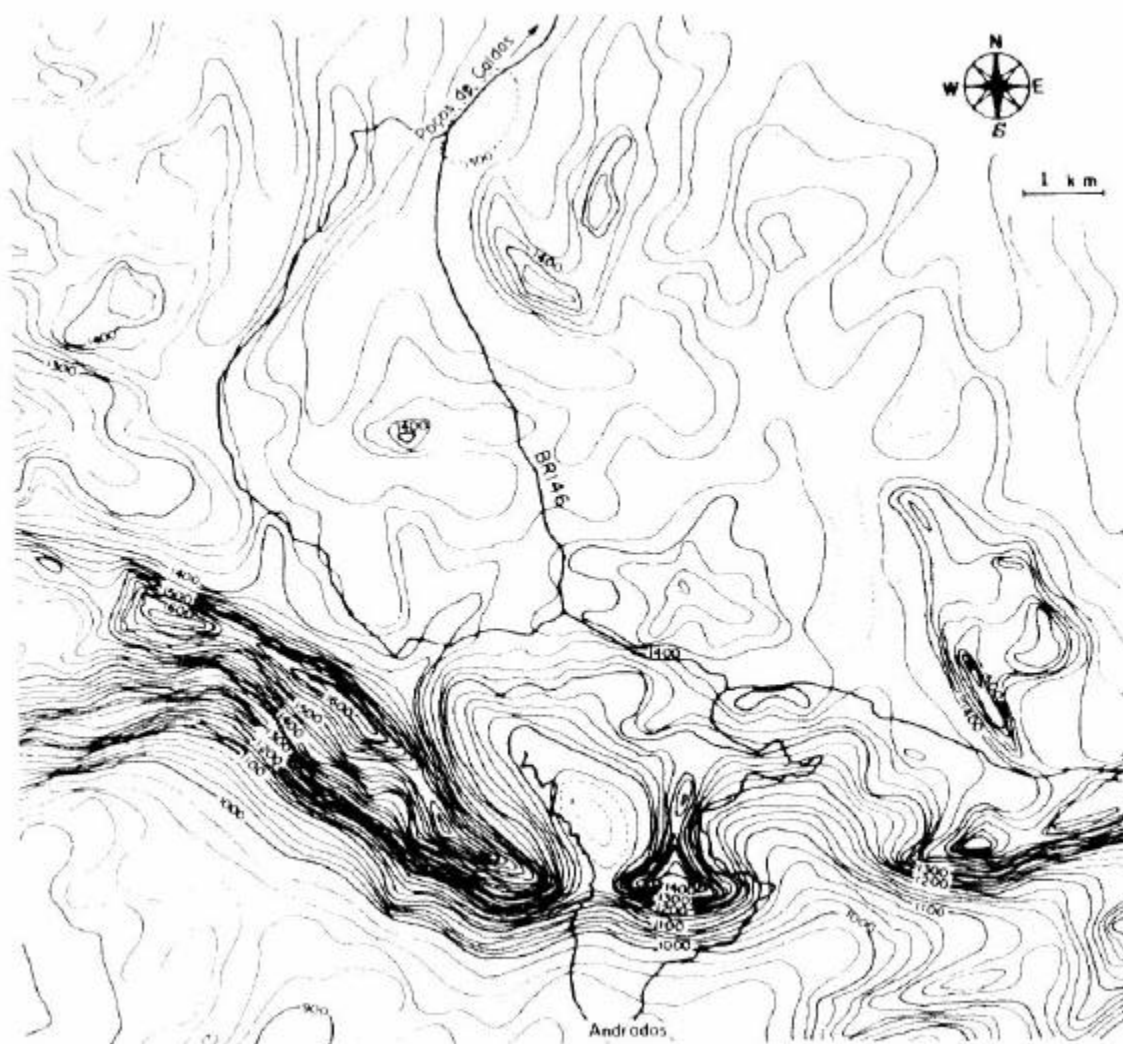


Fig. 4 - Mapa de "seppômen" na margem sul do complexo alcalino pelo método "maikoku-hô", com largura crítica de 250 m.

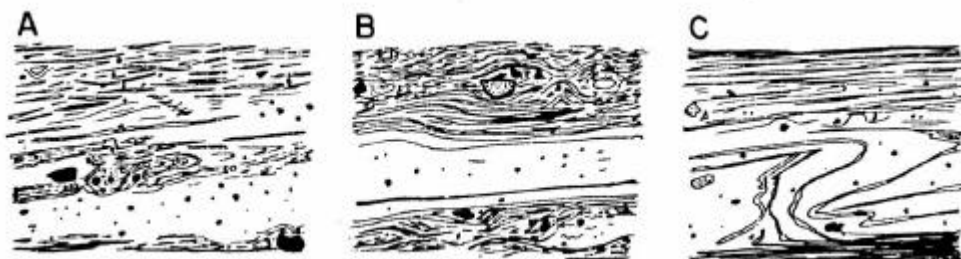


Fig. 5 - Texturas dos blocos coletados na Fazenda Gonçalves : A) Fragmentos essenciais ; B) deformação plástica ; C) "desharmonic fold"

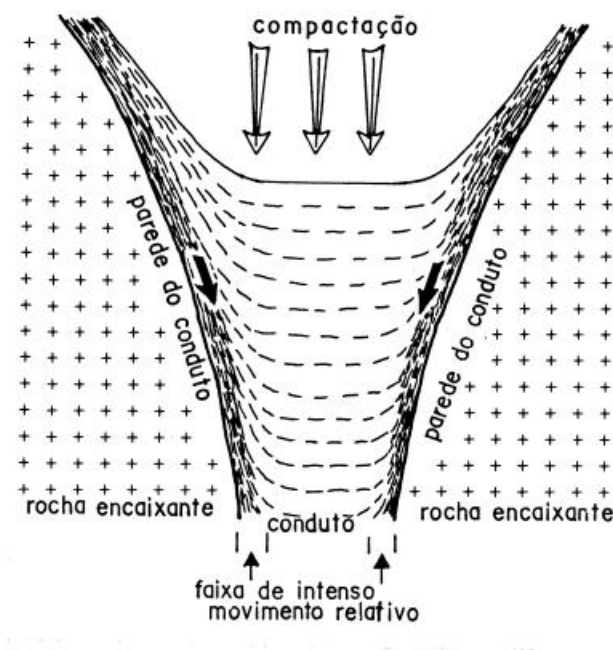


Fig. 6 - Diagrama explicativo para formação de tufo soldado e fluxo secundário em um conduto vulcânico, segundo o texto de Motoki (1979).

Fig. 7 - Esboço do afloramento do contato entre um corpo sedimentar e rocha fonolítica, encontrado na BR-146, Loc. 2, próxima a Andradas.

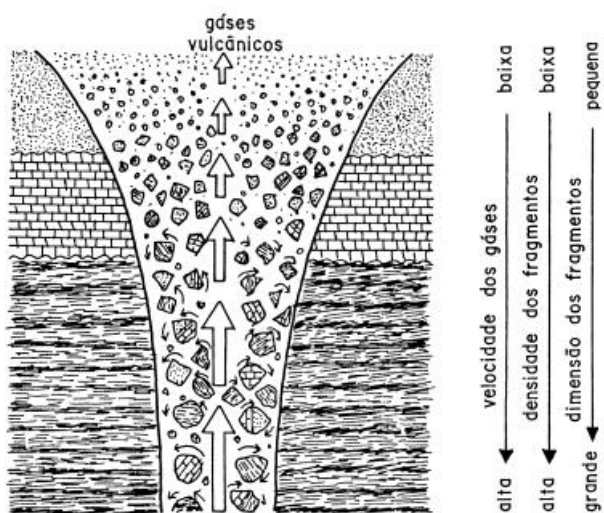
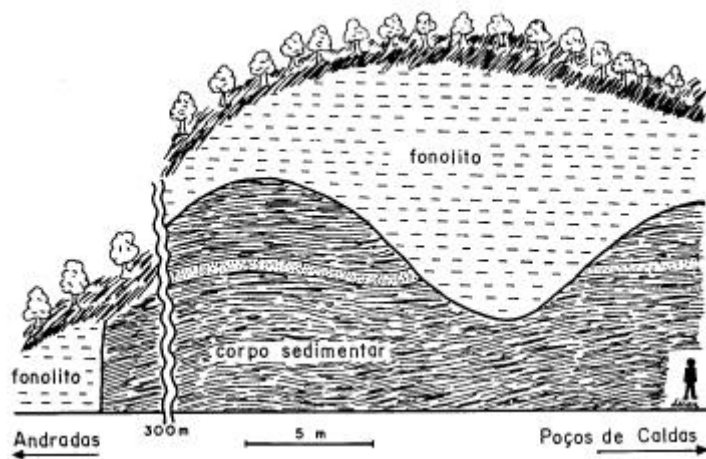


Fig. 8 - Diagrama explicativo do mecanismo de seleção granulométrica e arredondamento dos fragmentos em um conduto vulcânico, segundo o texto de Motoki (1979).

Fig. 9 - Esquemas dos afloramentos de contato entre a faixa piroclástica do Vale do Quartel e rocha encaixante fonolítica, observada na proximidade da divisa dos estados.

