

JORGE BONITO

**RISCOS GEOLÓGICOS ASSOCIADOS AO
VULCANISMO**

- TEXTO PEDAGÓGICO -



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

2023

ÍNDICE

I. PRÓDROMO	3
II. CATÁSTROFES NATURAIS DE ORIGEM VULCÂNICA	6
III. IMPACTOS DA ACTIVIDADE VULCÂNICA SOBRE O AMBIENTE NATURAL	15
IV. PREVISÃO EM VULCANOLOGIA	23
V. PREVENÇÃO	27
BIBLIOGRAFIA	30

"É forçoso recorrer ao inconcebível, ao sobrenatural, ao misticismo da providência oculta para compreender o que vulgarmente se diz 'fatalidade'."

Apud Camilo Castelo Brando, op cit. Moraes Leal, 1993, A Bíblia da Vida, Venda Nova, Bertrand Editora, p. 151.

I. PRÓDROMO

Numa época longínqua, há cerca de 15 000 milhões de anos, quando ainda não havia nem tempo nem espaço, ocorreu um cataclismo: a explosão inicial ou Big Bang. Saber exactamente o que se passou nesse instante fatídico não está, hodiernamente, ainda ao alcance dos meios de que dispõem os comólogos. Outros porém, mais audazes, julgam conhecer o que aconteceu durante os três primeiros minutos do universo¹.

Quando nuvens de gás de poeiras interestelares se contraíram, produziram condensações de elevada massa e de pouca massa, formando a partir daquelas estrelas, e destas, planetas.

Durante a formação do planeta Terra, ocorreu uma apoteose de quedas cada vez mais violentas de corpos celestes, libertando calor e fundindo a jovem crosta. Em menos de 1 000 milhões de anos, os bombardeamentos de meteoritos sobre a Terra diminuíram de intensidade. A superfície terrestre arrefeceu.

Em zonas fissuradas, fracturadas ou falhadas da crosta terrestre, onde a pressão na câmara magmática é elevada (v.g., hot spot), há emissão de materiais no estado de fusão ígnea, de gases e muitas vezes de materiais sólidos de dimensões variáveis: trata-se de actividade vulcânica.

¹ Cf. Steven Weinberg, 1987, Os três primeiros minutos do universo col. "ciência aberta", n.º 20, trad. Ana Isabel Simões (a partir do original inglês The First Three Minutes, © 1977), Lisboa, Gradiva Publicações.

A importância do vulcanismo é, bem mais que simplesmente quantitativa: dois terços da superfície do globo terrestre é inteiramente formada de lava solidificadas. Se as lavas constituem o essencial da crosta terrestre, os movimentos das grandes placas rígidas de que esta crosta é formada, estreitamente ligados ao fenómeno vulcânico, engendram tanto os sismos como os fundos oceânicos, a deriva dos continentes, como o erguer de montanhas.

O papel do vulcanismo, foi sem margem para dúvidas, essencial e imprescindível ao brotar da vida. Foi graças aos milhares de milhões de toneladas de produtos voláteis emanados pelos vulcões - uns mais, outros menos solúveis -, que ao aquecerem as águas dos lagos que se formavam na vasa cinzenta dos mares, foi facilitado o aparecimento de formas primitivas, próximas da vida.

A actividade vulcânica traz ainda contrapartidas económicas muito importantes, que se vão diversificando, como por exemplo, o enriquecimento dos solos.

O vulcanismo é, por isso, uma manifestação do constante geodinamismo, constituindo o mecanismo central da evolução do nosso planeta, cujas erupções subaéreas constituem apenas um dos seus aspectos.

Mas a actividade vulcânica influencia, também, de um modo nefasto as populações humanas. As erupções provocam frequentemente destruição e mortos, tomando muitas vezes aspectos catastróficos.

Desta forma, é necessário procurar meios para prevenir a população das erupções iminentes, em tempo adequado e propositado, para que se possa afastar temporariamente da zona atingida, transportando consigo grande parte dos bens móveis, até que o perigo passe. Esta solução implica também meios eficazes de evacuação, e

principalmente, para o geólogo, meios e métodos que permitam a recolha e análise de dados vulcânicos e sua possível interpretação.

Este trabalho não pretende ser exaustivo, pelos seus objectivos e circunstâncias, mas dar uma visão sinóptica dos riscos geológicos ligados ao vulcanismo.

II. CATÁSTROFES NATURAIS DE ORIGEM VULCÂNICA

Alcides Pereira (1994) apresenta seis situações de riscos geológicos na Antiguidade, enquadráveis no que denomina de Geomiotologia. Embora atribua inusitadamente a designação de Jordão ao Mar Vermelho, apresenta todavia, o castigo de Deus junto do Monte Sinai como uma descrição de uma erupção vulcânica. Com efeito, Deus, chamado de Senhor, advertiu o povo de não subir o monte de Sinai, nem tocar na sua base. *"Se alguém tocar nele, será punido com a morte"*². O Senhor avisa que descera, no terceiro dia, sobre o monte de Sinai, à vista de todo o povo. Efectivamente, no *"terceiro dia, houve trovões e relâmpagos, [e] uma espessa nuvem cobriu o monte"*³. *"Todo o monte Sinai fumegava, (...) no meio chamas. O fumo que se elevava era como o de um forno e todo o monte estremeceu violentamente. Os sons da trombeta repercutiam-se cada vez mais"*⁴. Já depois do Senhor pronunciar o decálogo, continuavam *"os trovões, as chamas, o retinir da trombeta e o monte fumegante"*⁵. Várias vezes Moisés se aproxima da nuvem. No sétimo dia, ele é chamado do interior da nuvem. O monte continuava com o *"aspecto de um fogo devorador"*⁶. Moisés erege um tabernáculo. *"À tarde, al-*

² Ex. 19, 12 b)

³ Ex. 19, 16

⁴ Ex. 19, 18-19 a)

⁵ Ex. 20, 18

⁶ Ex. 24, 17

go de semelhante a um meteoro de fogo apareceu sobre o tabernáculo, persistindo até de manhã. E assim sucedia constantemente. A nuvem cobria-o de dia, e o meteoro de fogo de noite"⁷.

A respeito do monte Sinai, surgem diferentes denominações para o mesmo local: Sinai, Horeb, Monte de Deus. Será que a sua localização actual - ao sul da península que separa as duas ramificações do Mar Vermelho - é a mais apropriada? Recorde-se que esta não é atestada antes das peregrinações cristãs do século IV.

Outros lugares foram propostos, em particular um pouco a noroeste em Serabit-el-Khadim, onde os egípcios exploravam jazigos de turquesas. Sugere-se ainda a região vulcânica dos limites da Arábia, o que explicaria alguns dos detalhes da teofania. WIERNER (1992, p. 45) conclui que a estadia no Sinai não tinha base histórica e que a saída do Egipto e a passagem pelo Sinai seriam proezas originárias de grupos diferentes. Não obstante, um comentário da Bíblia Sagrada, dos Missionário Capuchinhos, na sua décima segunda edição, de 1985, revela que "*os fenómenos (...) descritos não são de natureza vulcânica, mas atmosférica*" (p. 107).

As grandes erupções vulcânicas podem ser facilmente datadas, mesmo quando ocorrem antes da existência de registos escritos ou em regiões remotas. A lista que se segue refere-se a algumas das mais famosas ou mortíferas erupções dos últimos séculos.

- 4000 a.C. (aproximadamente) - Monte Mazama, Oregão, E.U.A.
- 1400 a.C. (aproximadamente) - Santorini, mar Egeu, Grécia.

Há registos fósseis de duas vítimas, encontradas nas cinzas, datadas com o método do Carbono 14, dos 1400 a.C.

⁷ Nm 9,15b-16

- Agosto, 79 - *Vesúvio*, Itália
20 000 vítimas^B (2 000^A).
- 122 - *Monte Etna*, Sicília, Itália
- 150 - *Taupo*, Nova Zelândia
- 1169 - *Monte Etna*, Sicília, Itália
- 1538 - *Monte Nuovo*, Campi Flegrei, Itália
- 1562 - *Madalena*, Pico, Açores, Portugal
- 1563 - *Água-de-Pau*, S. Miguel, Açores, Portugal
- 1580 - *Faial*, Pico, S. Jorge - Açores, Portugal
10 vítimas
- 1586 - *Kehut*, Indonésia
10 000 vítimas.
- 1630 - S. Miguel, Açores, Portugal
191 vítimas

^B Cf. Robert Wood, 1988, Sismos e Vulcões, p. 144.

^A Cf. Alcides Pereira, 1994, Riscos Geológicos-Seminário

- 1652 - *Pico de João Ramos e Pico do Fogo, S. Miguel, Açores*

- Março 1669 - *Monte Etna, Sicília, Itália*
20 000 vítimas
- 1672 - *Cabeço do Fogo e Picarito, Faial, Açores, Portugal*
- 1718 - *Pico, Açores, Portugal*
- 1720 - *Pico, Açores, Portugal*
- Setembro 1759 - *Jorullo, México*
- 1761 - *Terceira, Açores, Portugal*
- 1772 - *Papandayan, Java*
3 000 vítimas
- 1783 - *Asamayama, Japão*
1 300 vítimas
- Junho 1783 - *Monte Laki, Islândia*
10 000 vítimas
- 1792 - *Unzen, Dake, Japão*
10 000 vítimas

- 1808 - *Monte Etna*, Sicília, Itália
8 vítimas
- 1808 - *Nabo, Preza das Cruzes*, S. Jorge, Açores.
- 1811 - *Sabrina*, S. Miguel, Açores, Portugal.
- 1815 - *Tambora*, Sumbawa, Indonésia
50 000 vítimas¹⁰ (92 000⁹, 82 000⁸, 10 000 mortes e 80 000
mortes provocadas pela fome e doença¹¹).
- 1822 - *Galunggung*, Java, Indonésia
4 000 vítimas
- Janeiro 1835 - *Coseguina*, Nicarágua
- Junho 1877 - *Cotopaxi*, Equador
1 000 vítimas
- Agosto 1883 - *Cracatoa*, Java, Indonésia
36 000 vítimas
- 1888 - *Bansai-San*, Japão
500 vítimas

¹⁰ Cf. Amparo Silva, et al., 1993, Terra, Universo de Vida, p. 81

¹¹ Cf. Rhodes Fairbridg, 1989, História da Terra, p. 61

- Junho 1897 - *Mayon*, Filipinas
Várias centenas de mortes
- Maio 1902 - *Soufrière*, Saint Vicent
1 500 vítimas
- Maio 1902 - *Montanha Pelée*, S. Pedro Martinica
30 000^{8,9} vítimas (34 000¹¹)
- 1907 - *Bogoslof*, Aleútes
- 1911 - *Taal*, Filipinas
1 335 vítimas
- 1912 *Katmai*, Alasca
- 1914 - *Sakurajima*, Japão
356 vítimas
- 1919 - *Kelut*, Java, Indonésia
5 110 vítimas
- Maio 1924 - *Kilauea*, Havai
- 1931 - *Monte Merapi*, Java, Indonésia
1 300 vítimas

- Novembro 1935 - *Mauna Loa*, Havai
- Fevereiro 1943 - *Paricutin*, México
- 1950 - *Mauna Loa*, Havai
- Setembro 1952 - *Myozin*, Pacífico Ocidental
- Março 1956 - *Bezymianny*, Kamchatka, ex-URSS
- 1959 - *Kilauea*, Havai
- Setembro 1957 - *Faial*, Açores, Portugal
- Novembro 1963 - *Surtsey*, Islândia
- 1963 - *Montanha Agung*, Indonésia
1 500 vítimas
- 1968 - *Monte Arenal*, Costa Rica
- Dezembro 1969 - *Kilauea*, Havai
- 1971 - *Monte Etna*, Sicília, Itália
- Janeiro 1973 - *Helgafell*, Heimay, Islândia
- 1976 - *La Soufrière*, Guadalupe

- Janeiro 1977 - *Nyiragongo*, Zaire
1 200 vítimas
- Setembro 1979 - *Monte Etna*, Sicília, Itália
26 vítimas
- 1979 - *Merapi*, Java, Indonésia
- 1979 - *Cracatoa*, Java, Indonésia
- Maio 1980 - *Monte Santa Helena*, E.U.A.
81 vítimas¹² (70⁹)
- 1982 - *Galunggung*, Indonésia
- Março 1982 - *Chichón*, México
3 787 vítimas¹⁰ (3 500¹¹)
- Novembro 1985 - *Nevado del Ruiz*, Colômbia
23 000 vítimas⁸ (25 000¹⁰, 20 000⁹)
- Agosto 1986 - Camarões
1 500 vítimas

¹² Cf. Amparo Silva, et al., 1992, Ciências Naturais-Planeta Vivo-7. ano, p. 35

- Junho 1991 - *Unzen*, Japão

- Junho 1991 - *Pinatubo*, Filipinas

100 vítimas

- Janeiro 1992 - *Monte Etna*, Sicília, Itália

- Setembro 1995 - *Nova Zelândia*, grau 4 (max. 5)

III . IMPACTOS DA ACTIVIDADE VULCÂNICA SOBRE O AMBIENTE NATURAL

Dentro de uma óptica a longo prazo, os vulcões foram profundamente benéficos para a humanidade, contudo segundo certas estimativas, a actividade vulcânica nos últimos cinco séculos vitimou mais de 200 000 pessoas, causando muito sofrimento e largas perdas materiais.

Os aspectos benéficos e os aspectos destrutivos de um vulcão estão intimamente ligados. Dentro dos impactos benéficos, o que resulta mais directamente é a criação de solos muito ricos, que seduzem profundamente a população agrícola. Na Indonésia, por exemplo, existe uma estreita relação entre a densidade populacional rural e a presença de solos de cinzas de jovens vulcões (MOHR, 1945, p. 257). Nas regiões tropicais e sub-tropicais em particular, a lixiviação intensa dos solos tende a arrastar os elementos nutritivos. As cinzas vulcânicas, são geralmente ricas em elementos nutritivos, presentes em abundância nas lahars, o qual são facilmente desagregadas pela meteorização, que liberta assim os elementos, podendo ser utilizados pelas plantas. As novas rochas formadas pelo arrefecimento e solidificação das lavas (QUADRO I) estão cheias de minerais formados a altas temperaturas de fácil alteração por desagregação através da acção da água, libertando os elementos constituintes, produzindo communmente solos muito ricos.

Mas os solos mais ricos são muitas vezes os situados mais

QUADRO I

Quadro simplificado da classificação das rochas vulcânicas

Composição	Ortochl.>Plag.	Ortochl.≈Plag.	Plag.>Ortochl-
Com Quartzo:	<i>Riolitos</i>	<i>Riodacitos</i> ¹³	<i>Dacitos</i>
Sem Quartzo nem feldspa- tóides:	<i>Traquitos</i>	<i>Latito</i>	<i>Andesitos</i> <i>Basaltos</i>
Com feldspa- tóides:	<i>Fonolitos</i>		<i>Basanitos</i> <i>Basaltos</i> <i>nefelínicos</i> <i>Teralitos</i>

proximamente dos vulcões, fazendo com que as populações agrícolas se concentrem nas zonas mais expostas às catástrofes vulcânicas. Para retomar o exemplo da Indonésia, a região situada junto de Menapi, na parte central de Java, é muito fértil e mais de um milhão de pessoas vive nas vilas situadas nos vales fluviais adjacentes e nos altos flancos das montanhas (Fig. 1). Meapi é um dos vulcões mais activos e dos mais perigosos do mundo e cada erupção que surge - em intervalos de algumas dezenas de anos - leva consigo a vida de alguns milhares de seres humanos.

Outro exemplo desta fertilidade, bem mais perto de nós, são os campos agrícolas das ilhas do arquipélago dos Açores.

¹³ Cf. MELENDEZ, 1991, Geología, p. 576.

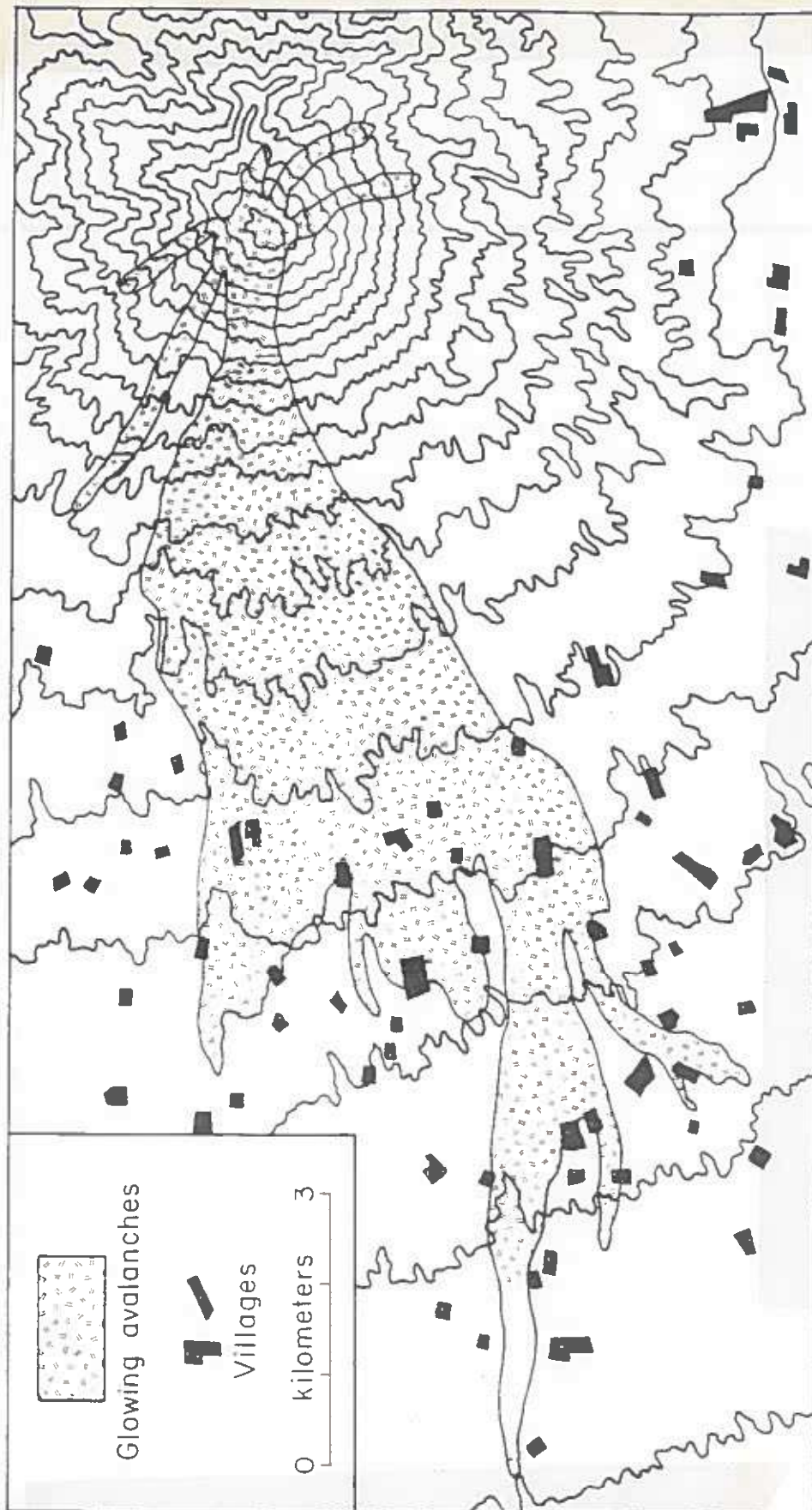


Fig. 1 - Carta de Merapi, na região central de Java, mostrando o grande número de vilas situadas nas parte inferiores e nas zonas atingidas pelas nuvens ardentes na erupção de 1930 (Segundo Neumann van Padang, 1933, 1951)

A queda de cinzas na ilha de Kodiak, depois da erupção do Katmai em 1912 (Alasca), criou uma erva tão luxuriante e frutos tão cheios que algumas tribos das terras altas do Papua-Nova Guiné, executavam danças rituais pedindo novas chuvas de cinzas.

Existem elementos minerais escassos que emergem do manto pela crosta através das acções vulcânicas. São exemplos o cobre, o ouro, o chumbo, a platina, o crómio, o manganês e o alumínio, utilizados nas modernas tecnologias. Alguns destes elementos encontram-se no magma em concentrações muito fracas. Tornar-se-ia inviável economicamente a sua extracção a partir dos fluxos de lava. No entanto, os vulcões não se limitam a trazer à superfície novas rochas. A estrutura dum aparelho vulcânico está imbricada de redes de tubos, fissuras e fracturas, preenchidas por água no estado líquido, vapor de água, gás e magma, que se alteram ao longo do tempo à medida que as erupções aparecem e desaparecem. Estes complexos são alimentados pelo próprio magma. Em determinados locais, onde esse conjunto de fissuras e fracturas emerge à superfície encontram-se fontes termais quentes. Ao seu redor, formam-se espessos depósitos de minerais, por vezes em forma de esculturas naturais simultaneamente esculpidas e cristalizadas pela água.

Quando a pressão aumenta, aumenta concomitantemente a temperatura a que a água pode permanecer sem entrar em ebulição, aumentando a quantidade de minerais e elementos que essa água pode transportar dissolvidos. Algures, no percurso, a temperatura desce a um ponto que os minerais deixam de poder estar dissolvidos e precipitam-se num veio ou fissura, formando cristais e grandes depósitos minerais. Outros minerais como o enxofre e o mercúrio podem depositar-se, vindos directamente de gases provenientes das

fumarolas.

O diamante, forma-se a pressões muito elevadas, a mais de 100 Km de profundidade, no interior do manto. Sob circunstâncias excepcionais, grandes explosões de gás proveniente do interior do manto sobem até à superfície trazendo consigo alguns dos diamantes, *i.e.*, são trazidos à superfície de modo natural.

Os magmas provenientes do manto trazem ainda um recurso adicional: o calor. Os geiseres, resultam do aquecimento da água dos solos quando o magma sobe até à superfície. Em Itália, Lardello, desde 1904, os geiseres fazem girar turbinas geradoras de electricidade. Uma central eléctrica geotérmica é de funcionamento económico e o processo é inofensivo e dura muito tempo. Existe, todavia, o perigo do vulcão associado entrar em erupção. Na Islândia, quando se efectuava uma perfuração geotérmica, veio à superfície uma coluna de magma.

Outro importante benefício associado aos vulcões, diz respeito à actividade turística que se desenvolve em redor e em função de um vulcão, nomeadamente os seus campos agrícolas, caldeiras, encostas, lagos, *etc.*, que cativam e motivam muitos turistas a desfrutar tempos de ócio - o Etna, e o Vesúvio vêm desfilar todos os anos centenas de milhar de visitantes.

Mas os vulcões e a actividade vulcânica oferece também sérios impactos negativos a saber.

Quando ocorre uma erupção, uma das consequências mais fáceis de prever diz respeito às torrentes de lama e detritos vulcânicos ou *lahars*. A maior parte dos *lahars* são frias, mas algumas são quentes. Percorrem os vales das montanhas a velocidades da ordem dos 100 Km h^{-1} , chegando a tingir em certos casos de vales fluvi-

ais, velocidades de 300 Km/h. Nas maiores erupções conhecidas, a grande maioria dos mortos não se deveu aos efeitos directos dos produtos do vulcão, mas sim às causas secundárias. Muitas mortes advém dos *tsunamis* produzidos ou das lavas basálticas acompanhadas de grandes quantidade de gás, cobrindo a superfície terrestre com um nevoeiro venenoso.

Outro efeito, posterior, mas importante, refere-se ao rebentamento dos lagos das crateras, como aconteceu com o lago do vulcão Ruapehu, ilha do Norte, na Nova Zelândia, que inundando o rio Whangaehu, destruiu uma ponte dizimando 151 pessoas.

Quando o magma emerge, a pressão diminui e os gases contidos no magma libertam-se, necessitando imediatamente de uma grande espaço para onde se expandirem (QUADRO II). Quando se expandem podem lançar-se para a atmosfera em verdadeiras fontes de rochas fundida que se difunde em minúsculas gotas e endurece sob a forma de cinzas finas que ao abaterem sobre uma localidade, subterram tudo e provocam asfixia nas populações. Quando o gás sobe muito alto, carregado de partículas de cinza, forma-se uma nuvem em forma de pinheiro, designada por pliniaras, de Plínio¹⁴.

Em alternativa, o gás e o magma podem surgir sob a forma de espuma, que depois se precipita pelos flancos do vulcão para dar origem a uma avalanche em brasa, denominada "nuvem ardente". Frequentemente as cinzas misturam-se com água, de cobertura de gelo e neve derretidos de lagos existentes na cratera ou até de chuvas fortes, provocando também avalanches de lavas vulcânicas, já refe-

¹⁴ Plínio, o Velho, foi vítima da erupção do Vesúvio

QUADRO II

Gases vulcânicos da lava basáltica do vulcão Mauna-Loa e Kilauea	Percentagem em peso
H ₂ O	57,8
CO ₂	23,5
S ₂	12,6
N ₂	5,7
Ar	0,3
Cl ₂	0,1
F ₂	--
H ₂	0,04

ridas, contaminando os recursos hídricos.

O volume, extensão, espessura e velocidade de progressão das coadas de lavas é muito variável. A extensão e a espessura depende do volume, da fluidez da lava e das possibilidades de derrame lateral. O trajecto das lavas está intimamente ligado à topografia das superfícies adjacentes, mas coadas viscosas podem percorrer eixos de vales pouco profundos.

Uma arma dos vulcões é uma espécie de explosão lateral (blast) provocada pelo brutal aumento de pressão no edifício vulcânico pela subida do magma. Um verdadeiro tiro de canhão, que arranca um lado da montanha e provoca um gigantesco deslizamento de terras.

Entre os materiais emanados pelos vulcões, sobressaem também as partículas em suspensão no gás, como vapor de água (entre 90 e 99%), gás carbónico, dióxido de enxofre, ácido clorídrico e muitos metais. Um vulcão como o Etna, lançou mais de 5 000 toneladas de

partículas metálicas por ano: alumínio, ferro, zinco, cobre, chumbo e outros metais. Alguns quilogramas de ouro vêm enriquecer a atmosfera todos os anos. Elementos como o potássio, sódio e magnésio, muito abundantes na terra, são lançados em grandes quantidades. Assim 14 000 toneladas de potássio e 7 000 toneladas de sódio são lançadas todos os anos pelo Etna na atmosfera.

Os resultados obtidos das amostragens indicam que hoje as erupções vulcânicas pouco perturbam a nossa atmosfera a longo prazo. Os produtos dum cataclismo podem efectivamente modificar o clima, mas desaparecem, na totalidade, da atmosfera, em menos de dois anos. No que diz respeito à poluição regional, os vulcões em actividade permanente, funcionam de modo comparável aos dejectos da actividade humana no que concerne ao cloro, enxofre e certos metais. Desde a era industrial, o homem lançou cem vezes mais dióxido de carbono na atmosfera que os vulcões, e daí, os seus efeitos a este nível serem minimamente significativos. No entanto, estes produtos, fazem com que a temperatura média do planeta se modifique significativamente, como aconteceu no continente asiático, subindo 0,18° C. De qualquer forma, são efeitos temporários.

Em síntese, podemos dizer, que os sete aspectos da cólera vulcânica são:

- Cinzas
- Nuvens ardentes
- Tsunamis
- Lahar
- Coadas de lava
- Gás vulcânicos
- Blast

IV. PREVISÃO EM VULCANOLOGIA

A evolução da coluna de "vapores" que habitualmente se eleva por cima de um vulcão em actividade apresenta um certo interesse, evidentemente do ponto de vista vulcanológico, mas também para o meteorologista ou para aquele que estuda a poluição atmosférica. A sua análise torna-se realmente fecunda, quando se conhece o valor dos parâmetros no seu ponto de origem. Na maior parte dos casos, esses dados são impossíveis de recolher, porém há um caso verdadeiramente excepcional, como o da Voragine no Etna (TAZIEFF, 1976, p. 123)

Nos parâmetros de análise dos gases libertados é importante medir, desde o local onde os gases se libertam até à margem superior, a temperatura, a pressão e o quimismo. A figura 2 mostra alguns registos obtidos. Embora constituam apenas ensaios tecnológicos, impeditivos de tirar qualquer conclusão vulcanológica ou termodinâmica, apresentam, no entanto, uma importância imensa. Revelam a embaraçante verdade elementar de as flutuações dos gases eruptivos serem por vezes enormes, em amplitude e em frequência, e de as medidas geralmente feitas, que não representam senão simples pontos absolutamente insignificantes de curvas desconhecidas, não permitem o encetamento de nenhuma hipótese físico-química válida, nenhuma melhor e eficaz compreensão dos fenómenos vulcânicos para predizer o desenrolar de uma erupção em curso e a possibilidade de um cataclismo.

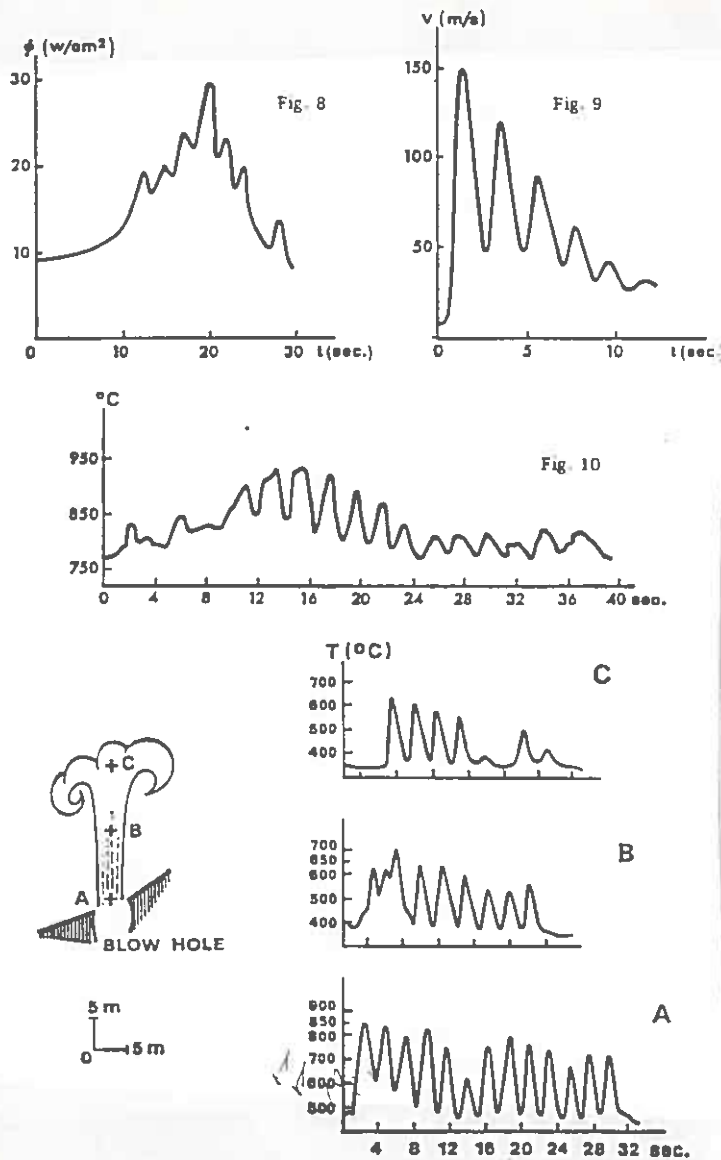


Fig. 2 - Exemplos das variações rápidas (períodos de 1,7 a 1,8 s) e geralmente rítmicas da energia emitida, da velocidade e da temperatura dos gases eruptivos emitidos pela Bocca Nuova, no Etna, em 1969. (Medições de P. Zettwoog, C. Vavasseur, J. Carbonnelle e J. Le Bronec)

As técnicas utilizadas para prever o despertar dum vulcão são essencialmente de natureza geofísica, fundadas na vigilância sísmográfica e nas medidas clinométricas. Essa previsão funciona mais eficazmente para vulcões básicos de magmas muito fluidos cuja ascensão, desde o manto superior ou desde um reservatório de passagem na crosta terrestre, é relativamente rápida. A ascensão de magma é precedida pela abertura de falhas por onde o magma se encaminha para a superfície. Surgem numerosos sismos provocados pela fracturação. A análise de um tremor de terra pode dar-nos a ideia do estado do magma ou das dimensões do reservatório. Há dilatação da montanha vulcânica acompanhada da intrusão de filões de rocha fundida.

Uma vez iniciada a erupção, os dados sísmológicos e climatéricos não apresentam o mesmo significado, não permitindo prever o curso da evolução dos acontecimentos. O paroxismo está dependente não só da ascensão do magma mas do seu conjunto físico-químico. Geram-se forças de uma fase gasosa cuja massa e pressão bastam para libertar o magma de forma explosiva. Uma vez que as erupções mais mortíferas são no geral de tipo explosivo, avaliar essas forças seria importante. É claro que as inundações lávicas também provocam devastações, por vezes hecatombes por fome.

Um prognóstico eventual advém do estudo da fase gasosa de que depende o desenvolvimento do catastrófico ou não.

Sendo essencial prever o desenrolar do fenómeno uma vez iniciado, deixando para interesse secundário a previsão de uma erupção, o mesmo seria falso no que respeita a uma erupção de ignimbritos.

Os gases emitidos pelo magma têm tendência para chegar pri-

meiro à superfície, e as medições de gases como o SO_2 são muitas vezes utilizadas para determinar se o novo magma se encontra perto da superfície.

Se se conhece aproximadamente a profundidade da câmara magmática, é possível calcular com precisão o tempo que nos separa da erupção. A deformação terrestre é inspeccionada com geodímetros. Pode-se prever com segurança de quatro semanas de antecedência, a ocorrência da erupção. Previsões mais longas tornam-se difíceis e imprecisas.

A análise da estrutura profunda do vulcão por sondagens eléctricas é outro processo na usar na previsão, bem como considerar as variações no cone ou cratera.

Outro parâmetro importante abrange a análise de raríssimos elementos radioactivos presentes nas amostras lançadas pelos vulcões. Através de processos de datação $\text{C}14$ dos magmas, sabe-se a idade dessas amostras. Nas rochas do manto há um equilíbrio entre os elementos radioactivos. Uma parte das rochas do manto funde particularmente para formar o magma, alguns destes elementos têm preferência pelos fluídos, outros pelos sólidos. O equilíbrio é quebrado e evolui em função do tempo de demora do magma em profundidade. Medindo a quantidade de elementos radioactivos em cada amostra recolhida temos uma ideia do tempo decorrido entre a formação do magma e a saída, avaliando o tempo de permanência do magma no reservatório.

Nos vulcões de pontos quentes, como no Havai, os magmas ficam alguns milhares de anos no interior da câmara magmática antes de aparecerem à superfície. Nos vulcões nas zonas de subducção, os magmas surgem entre os 30 e 8 000 anos.

V. PREVENÇÃO

É essencial informar, esclarecer e mobilizar a população para o fenómeno do vulcanismo

O registo histórico e geológico pode ajudar substancialmente à compreensão destes fenómenos e à suposição de uma certa periodicidade.

A delimitação de zonas em função do tipo e do grau de perigo dos vulcões é geralmente denominada por mapas de risco. Tais mapas permitem, numa base lógica, tomar decisões que devem ser atendidas.

A prevenção tem que passar necessariamente por uma sensibilização racional da população, com medidas legais de proibição de construir em áreas de potencial risco e evitar permanências prolongadas de pessoas ou bens em áreas deprimidas, como vales, junto de cones vulcânicos.

Serviços de emergência e protecção civil eficientes e organizados permitirão uma actuação anterior e posterior à ocorrência. desta forma o Serviço Nacional de Protecção Civil recomenda no período imediato anterior a uma erupção vulcânica, manter em reserva e em condições de permanente utilização um rádio transistor e pilhas de reserva, uma lanterna e pilhas de reserva, velas, fósforos ou isqueiro, medicamentos essenciais para toda a família, agasalhos, reserva de roupas e objectos, artigos especiais e alimentação para bebés, água e alimentos para 48 a 72 horas, um documento

de identificação para cada membro da família e um lençol para chamar a atenção dos meios aéreos de evacuação.

Será ainda conveniente elaborar uma lista dos objectos de valor que cada membro da família deve levar consigo em caso de evacuação, bem como identificar os caminhos para rapidamente atingir a costa, evitando o percurso através dos vales.

Os caminhos para atingir um local elevado e bem visível, para ser possível efectuar o salvamento através de helicópteros, devem ser previamente identificados.

Durante a erupção vulcânica é aconselhável manter serenidade e incutir ânimo e confiança aos demais, manter-se informado através do rádio, não prestar atenção a rumores e boatos alarmistas nem colaborar na sua difusão, seguindo com exactidão as directivas transmitidas pelas autoridades e procurar não visitar os locais atingidos preparando-se para a eventual necessidade de evacuação.

Em cada 100 erupções, só três têm probabilidade de vir a causar perigos às pessoas que vivem e trabalham em volta do vulcão.

A evacuação da população é uma das formas imediatas a desenvolver em perigo iminente, isto é, afastar pessoas, animais e bens materiais, temporariamente, para um local protegido e livre de perigo. Esta estratégia traz problemas graves. Conduz a perdas de emprego, ao abandono e inviabilidade das culturas agrícolas e a uma completa desorganização da comunidade e economias locais com prejuízos enormes.

Na evacuação o geólogo tem um papel preponderante. As autoridades administrativas ponderam as suas decisões com base nas informações fornecidas pelos geólogos. A perda de confiança entre os vulcanólogos, com as implicações sociais da ciência, trás proble-

mas e conduz ao descrédito posterior, como por exemplo, foi a hesitação de evacuação em 1985 na Colômbia. A própria imprevisibilidade conduz a problemas de relacionamento da profissão de vulcanólogo com a sociedade. Veja-se o caso do navio Kaiyo-many, com 22 homens e 7 cientistas, destruído num vulcão submarino em 17 de Setembro de 1952, ou o caso de David Jahnstom, vítimas mortal no vulcão Saint Helens.

Os Serviços de Protecção Civil estão preparados para actuar antes e depois da ocorrência. Na fase anterior, enviam o alerta e outras indicações precisas e na fase posterior à erupção, fornecem instruções sobre evacuação das pessoas, organização e transferência de animais e mobilização e coordenação dos meios disponíveis e necessários ao socorro.

O controlo dos vulcões pode ser tentado, minimizando os seus efeitos através de programas como:

- Monitorização constante da situação vulcânica;
- Construção de barragens e diques impeditivos do prosseguimento de correntes de lava e lahars;
- Arrefecimento forçado com água, recorrendo a aviões
- Limpeza de tectos;
- Utilização de máscaras para evitar asfixias;
- Neutralização de ácidos;
- Bombardeamento com bombas, para abater as paredes do cone, impedindo a alimentação das coadas de lava fluida.

BIBLIOGRAFIA

- * AAVV, 1990, Esta Terra Magnífica, trad. do original alemão Unser Faszinierender Planet, Lisboa, Selecções do Reader's Digest, pp. 266-267.
- * FAIRBRIDGE, Rhodes W., 1989 (1.^a reimp. 1986), História da Terra, 2.^a reimpressão, Lisboa, Selecções do Reader's Digest, pp. 58-71.
- * KHALATBARI, Azar, "Profession volcanologue", Science & Vie Junior, 15, 1994, pp. 45-53.
- * MELENDEZ, Bermudo, FUSTER, José Maria, 1991, Geología, 5.^a ed., Madrid, Editorial Paraninfo.
- * MOHR, E. C. J., 1945, "The relationship between soil and population density in the Netherlands Indies", in HONIG, P., VERDOORN, F., (ed.), Science and Scientists in the Netherlands Indies, New York, pp. 245-262.
- * PEREIRA, José Manuel Pinto, 1990, Noções Elementares sobre sismos e vulcões, Lisboa, Serviço Nacional de Protecção Civil, pp. 63-66.

- * ROQUE, Mercês, CASTRO, Adalmiro, 1993, Ciências da Terra e da Vida - 10.º ano, Porto, Porto Editora, pp. 87-106
- * SILVA, Amparo Dias da, GRAMAXO, Fernanda, MESQUITA, Jorge, SANTOS, Maria Ermelinda, 1993, Terra, Universo de vida-Ciências da Terra e da Vida-10.º ano, Porto, Porto Editora, p. 81.
- * SILVA, Amparo Dias da, GRAMAXO, Fernanda, SANTOS, Maria Ermelinda, CRUZ, Otília, 1992, Ciências Naturais-Planeta Vivo-7.º ano, Porto, Porto Editora, p. 35.
- * TAZIEFF, Haroun, 1976, Os vulcões e a deriva dos continentes, col. "saber", n.º 97, trad. Maria Antónia Barroso (a partir do original francês Les Volcans et la dérive des continents, © 1972), Mem Martins, Publicações Europa-América, pp. 117-147.
- * TEIXEIRA, Carlos, GONÇALVES, Francisco, 1980, Introdução à Geologia de Portugal, Lisboa, Instituto Nacional de Investigação Científica, pp. 327-358.
- * WIÉRNER, Claude, 1992, O livro do Êxodo, col. "cadernos bíblicos", n.º 37, trad. José Ornelas e Leandro António Garcês (a partir do original francês Le Livre de L'Exode), Lisboa, Difusora Bíblica, pp. 29.45.

* WOOD, Robert Muir, 1988, Sismos e vulcões, trad. Manuel Cordeiro (a partir do original Earthquakes and Volcanoes), s.l., Círculo dos Leitores.

Nota. Trabalho adaptado, a partir do original *Riscos Geológicos associados ao Vulcanismo*, da autoria de Jorge Bonito, apresentado, em 1994, ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.