

# VULCÕES E O CLIMA DA AMÉRICA DO SUL

Luiz Carlos Baldicero Molion(\*)  
Departamento de Meteorologia, CCEN/UFAL  
C. Universitária, BR 104, Km 14, 57072-970 Maceió, Alagoas

**RESUMO.** Fêz-se uma revisão dos efeitos que os aerossóis vulcânicos têm sobre o Clima. Atividade vulcânica freqüente causa o resfriamento do Planeta, como ocorreu na maior parte do século passado. Por outro lado, períodos em que a estratosfera está relativamente mais limpa, a temperatura do ar aumenta, conforme verificado entre 1920-50. Já na escala interanual, os aerossóis vulcânicos, presentes nas baixas latitudes da estratosfera, parecem estar associados a eventos ENOS. Propõe-se a hipótese que a presença de aerossóis nas baixas latitudes aumente a freqüência de bloqueios sobre a América do Sul e intensifique a ZCAS, causando estiagem na Amazônia e Nordeste e excesso de chuvas nas regiões Sul e Sudeste.

## INTRODUÇÃO

Existem basicamente dois tipos de vulcões. Os **vulcões difusivos** são aqueles que estão continuamente fumegando, lançam lava, gases e cinzas em seu entorno e afetam apenas o microclima e o meio ambiente local. Os **vulcões explosivos** são os que afetam o clima em escala global pois injetam material diretamente na estratosfera, entre 20 e 40 km de altitude. Suas erupções são classificadas de acordo com um *Índice de Explosividade Vulcânica* (IEV) que varia de 0 a 8, as maiores recebendo IEV igual ou superior a 4. Tem sido demonstrado que o material particulado, mesmo na estratosfera, sedimenta rapidamente de tal forma que, 5 a 6 meses após uma explosão, menos de 10% da quantidade estimada inicialmente está presente. O mesmo, porém, não acontece com o dióxido de enxofre que, em presença de vapor d'água, se converte em pequenas gotas de ácido sulfúrico que permanecem em suspensão por 1 a 2 anos. Dado esse longo tempo de vida, espalham-se globalmente e aumentam o albedo planetário, reduzindo o fluxo de radiação solar que chega a superfície com um conseqüente resfriamento de alguns décimos de graus. Portanto, o efeito de prazo mais longo depende principalmente da quantidade de SO<sub>2</sub>, de tal forma que erupções com IEV 2 ou 3, mas com conteúdo de SO<sub>2</sub> proporcionalmente maior, podem ter o mesmo efeito que as erupções com IEV 4, por exemplo.

## VARIABILIDADE DE LONGO PRAZO

A atividade vulcânica modula o clima e impõe-lhe efeitos de escala decadal ou mesmo centenária. Entre 1810 e 1900 ela foi muito intensa porém praticamente inexistiu entre 1920 e 1950. A partir daí, a tinha sido modesta mas foi intensificada com a erupção do Monte Pinatubo, em junho de 1991, a maior erupção registrada desde o advento dos satélites. Para o período de 1920-50, atmosfera esteve relativamente limpa, alguns anos com valores de profundidade óptica inferiores a 0,04, considerados baixos se comparados com o valor médio atual que é 0,08.

Os efeitos na temperatura de superfície e na precipitação pluvial são marcantes. As séries da média anual da temperatura do ar, desde do final dos anos 1700, para as estações climatológicas de Viena (Austria) e Hohenpeissenberg (Bavaria) mostram que a temperatura do ar caiu cerca de 1,5°C desde o início do registro até aproximadamente 1880, voltando a aumentar até quase atingir os mesmos valores iniciais no final dos anos 1950 e apresentou uma leve tendência de queda a partir daí. Jones et alii (1988) mostraram que a temperatura média global aumentou cerca de 0,5°C de 1860 até o presente. Porém, 80% desse aquecimento (0,4°C) tendo ocorrido entre 1920-1950 quando a queima de petróleo e florestas tropicais era muito abaixo dos níveis atuais e a concentração de CO<sub>2</sub> era inferior a

(\*) Afiliação permanente: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, S. José dos Campos, S. Paulo

315 ppm (Balling e Idso, 1990). Isso sugere que a presente discussão sobre a variação do **aquecimento global**, causado pela intensificação do *Efeito Estufa* devido às atividades humanas poderia muito diferente caso a série de Jones et alii (1988) tivesse começado alguns anos antes. A diminuição da concentração de aerossóis vulcânicos na estratosfera é uma possível explicação do aquecimento global observado!

Bradley et alii (1987), mostraram que a precipitação do Hemisfério Norte saiu de seu *minimum minimorum*, registrado em 1857-58, cresceu até meados de 1870, quando atingiu os valores máximos da série e decresceu até 1920; depois aumentou até o início dos anos 60, entrando em declínio posteriormente. De maneira geral, o HN esteve mais úmido durante 1931-60, período em que a estratosfera esteve mais limpa. Como água não é fator limitante, maior fluxo de radiação global absorvida na superfície implica em mais energia disponível para evaporação, primeiramente dos oceanos subtropicais, e a precipitação tende a aumentar particularmente nos trópicos. Em períodos longos de intensa atividade vulcânica, os aerossóis presentes na estratosfera afetam o clima, fazendo a temperatura e precipitação diminuírem, esta última principalmente sobre regiões tropicais.

### VARIABILIDADE INTERANUAL

Os efeitos sobre o clima em escala mais curta, um a dois anos, são muito difíceis de serem isolados devido à atuação de outros fatores que intervêm em sua variabilidade interanual, como a variação nas coberturas de nuvens e de neve, o acúmulo de gelo das calotas polares e os próprios modos internos de oscilação e "feedbacks" do sistema atmosfera-oceano. Some-se a esses o fato de que muitas erupções passam despercebidas em plena Era Espacial, como foi o caso do Vulcão Nyamuragira, na África Equatorial, que explodiu em dezembro de 1981. Seus aerossóis foram notados no Observatório de Mauna Loa em janeiro de 1982 (DeLuisi et alii, 1983), porém a fonte só foi identificada quatro anos depois. Portanto, torna-se difícil isolar os efeitos de uma única erupção vulcânica e até de saber se os distúrbios climáticos, que estão acontecendo num determinado ano, estão associados a uma erupção. A composição e a quantidade do material ejetado também é importante para os efeitos de prazo mais longo. Se for mais material particulado e menos SO<sub>2</sub>, os efeitos provavelmente deixarão de serem sentidos dentro de 6 meses; se for mais SO<sub>2</sub>, os efeitos podem persistir por mais de 2 anos. Outra variável que deve ser levada em conta é a direção dos ventos estratosféricos que determinam a direção de transporte dos aerossóis. Enquanto na erupção do El Chichon (17°N), os aerossóis ficaram restritos à faixa 5°N-25°N durante primeiros meses, os do Pinatubo (15°N) cobriram rapidamente uma faixa mais ampla, com a maior concentração imediatamente ao sul do equador (Halpert e Ropelewski, 1992). O efeito básico dos aerossóis vulcânicos presentes na estratosfera é aumentar o albedo planetário, reduzindo a radiação global à superfície. Na segunda metade de 1991, foi observado que as regiões que apresentaram aumento de até 3% no albedo e reduções de até 15 Wm<sup>-2</sup> na radiação solar incidente foram a Amazônia, o Congo e os Oceanos Atlântico e Pacífico equatoriais (Minnis, et alii, 1993) e que a troposfera ficou mais fria que a média na faixa subtropical durante 1992 (Halpert e Ropelewski, 1993).

A posição geográfica dos aerossóis e seu instante no ciclo anual, passam a ter extrema importância na determinação de seus efeitos, ou seja, os aerossóis têm que estar em fase com o ciclo anual para que tenham impacto sobre a dinâmica da troposfera e o clima. Para a América do Sul, como a maior parte de sua massa continental está nos trópicos, a fase mais apropriada para os aerossóis se "encaixarem" no ciclo anual parece ser setembro-março. Assim, se acontecerem erupções vulcânicas em baixas latitudes do HS no início desse período, ou se os aerossóis forem provenientes de erupções acontecidas no HN durante fevereiro-julho, a estação chuvosa outubro-maio seria afetada na Amazônia e Nordeste. Caso os aerossóis persistam com concentração alta, então podem afetar também a próxima estação chuvosa. Entretanto, a diminuição do total pluviométrico pode ser

difícil de ser detectada em alguns casos, pois o efeito dos aerossóis já estaria possivelmente associado a um ENOS que, via de regra, reduz de 30-40% as chuvas do cinturão tropical (Molion, 1990). A hipótese, portanto, é que grandes concentrações de aerossóis em baixas latitudes provocariam uma pressão mais alta (efeito termodinâmico) sobre a Amazônia e Nordeste, devido aos resfriamentos da superfície, particularmente do Altiplano da Bolívia, e da baixa troposfera e à redução da umidade atmosférica. Essa pressão anômala sobre a região seria aumentada (efeito dinâmico) por um evento ENOS, que intensifica o ramo subsidente da célula de Walker, e pela subsidência associada à atividade convectiva acima da normal da Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS), o que estabiliza ainda mais a baixa troposfera e reduz as chuvas sobre o Norte e Nordeste. Com a estacionaridade da ZCAS e aumento das chuvas sobre o Centro-Oeste e sul da Amazônia, os afluentes da margem direita do Rio Solimões-Amazonas receberiam maior volume de água e o rio, no ano seguinte, atingiria um pico de cheia acima da média, muito embora tenha sido um ano de ENOS. A série histórica de 90 anos de registros de nível de rio no Porto de Manaus mostrou 18 possíveis casos no período 1913-92 e outros 3 entre 1903-12 quando a disponibilidade de dados climáticos era pequena. Em 17 dos 21 casos, foram reportadas erupções, com IEV igual ou superior a 4, um a dois anos anteriores aos do evento; em 4 dos casos foram reportadas apenas erupções com IEV inferior a 4 mas foram encontrados picos de acidez nos testemunhos de gelo, sinal de grandes injeções de SO<sub>2</sub> na atmosfera. Todos os anos, anteriores às grandes cheias, foram classificados como anos de eventos ENOS onde o norte da Amazônia e o Nordeste do Brasil permaneceram com chuvas abaixo das normais, enquanto alguma parte do Centro-Oeste e os estados do Sudeste e Sul do Brasil apresentaram excesso de precipitação, típico de eventos ENOS (Molion, 1989). Portanto, a hipótese de que a presença de aerossóis sobre as baixas latitudes da América do Sul contribui para intensificação da ZCAS, maior frequência de bloqueios e secas na Amazônia e Nordeste parece ter fundamento físico restando, então, fazer-se um estudo mais detalhado para determinar a significância estatística dos eventos.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Não existem dúvidas que os vulcões afetam o clima e a camada de ozônio em escalas de tempo interanual e decadal. Em adição, a presença de aerossóis vulcânicos nas latitudes baixas pode ser uma das causas de El Niños. Coincidentemente, no período 1869-1930, quando a atividade vulcânica foi mais intensa, o número de eventos ENOS fortes e moderados foi igual a 20, em média 1 ENOS a cada 3 anos, enquanto no de 1931-92 foi igual a 13, em média 1 ENOS a cada 4,8 anos, segundo classificação de Quinn e Neal (1987). Alguns pesquisadores descartaram a hipótese que o Vulcão El Chichón tivesse contribuído para iniciar o evento ENOS de 1982/83 argumentando que o evento já estava em progresso quando a erupção ocorreu. O Vulcão Nyamuragira (África Equatorial), porém, tinha explodido em dezembro de 1981 pouco antes dos índices apontarem um novo ENOS daquele ano. Em 1993, os modelos de previsão de ENOS falharam possivelmente por causa da erupção do Pinatubo em junho de 1991. Mesmo que os aerossóis vulcânicos não sejam causadores de El Niños, esfriando a troposfera e reduzindo a evaporação do Oceano Atlântico subtropical, eles contribuem para tornar a troposfera sobre a América do Sul tropical mais estável e mais seca que o normal. Os El Niños produziram um efeito dinâmico modificando a circulação de Walker e aumentando a subsidência, enquanto os aerossóis produziram um efeito termodinâmico, aumentando a estabilidade estática. A ocorrência simultânea dos dois efeitos seria, então, a responsável pelas secas severas. Sugere-se, portanto, que a presença de aerossóis vulcânicos deva ser considerada como subsídio adicional na previsão dos eventos ENOS e das catástrofes climáticas brasileiras, pois ela permite fazer a previsão qualitativa da estação chuvosa, para o Nordeste principalmente, com 9 a 12 meses, ou mais, de antecedência, dependendo da fase dos aerossóis no ciclo anual e de sua posição geográfica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balling, R.C. e S.B. Idso. 100 years of global warming? *Envi. Conserv.*, 17, 165.

Bradley, R.S., H.F.Diaz, J.K.Eischeid, P.D.Jones, P.M.Kelly e C.M.Goodess, 1987. Precipitation fluctuations over Northern Hemisphere land areas since the mid-19th century, *Science* 237:171-175

DeLuisi, J.J., E.G.Dutton, K.L.Coulson, T.E.DeFoor e B.G. Mendonca, 1983. On some radiative features of El Chichón volcanic stratospheric dust cloud and a cloud of unknown origin observed at Mauna Loa, *J.Geophys.Res.* 88:6769-6772.

Halpert, M.S. e C.F.Ropelewski (eds), 1992. Third Annual Climate Assessment 1991, CAC/NMC/NWS, NOAA, U.S.Department of Commerce.

Halpert, M.S. e C.F.Ropelewski (eds), 1993. Fourth Annual Climate Assessment 1992, CAC/NMC/NWS, NOAA, U.S.Department of Commerce.

Jones, P.D., T.M.L. Wigley, C.K.Folland, D.E.Parker, J.K. Angell, S.Lebdeff e J.E.Hansen, 1988. Evidence of global warming in the past decade, *Nature* 332:790.

Minnis, P., E.F. Harrison, L.L. Stowe, G.G. Gibson, F.M. Denn, D.R. Doelling, W.L. Smith Jr., 1993. Radiative Climate Forcing by Mount Pinatubo Eruption, *Science* 259:1411-1415.

Molion, L.C.B., 1989. ENOS e o clima do Brasil, *Ciência Hoje* 10:22-29.

Molion, L.C.B., 1990. Climate variability and its effects on Amazonian hydrology, *Revista Geofísica*, 32:181-196.