

TEMPESTADES PO surpresa nos céus b

Osmar Pinto Jr.

Iara R. C. A. Pinto

*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.**

José Henrique Diniz

André Martins Carvalho

Companhia Energética de Minas Gerais.

CARACTERÍSTICA MARCANTE DAS TEMPESTADES, os relâmpagos causam espanto tanto pela beleza quanto pelo poder de destruição. Eles podem ser definidos, de modo simplificado, como transferências de cargas elétricas entre as nuvens e entre estas e o solo, mas a origem dessas cargas e muitos fatores envolvidos na liberação das faíscas são pouco conhecidos. Essa área, portanto, ainda reserva surpresas. Estudos feitos em diversos países, inclusive no Brasil, indicam que a maioria dos relâmpagos traz carga elétrica negativa para o solo. Entretanto, pesquisadores brasileiros descobriram que o Sudeste do país, de vez em quando, é assolado por tempestades nas quais os raios positivos são mais numerosos. Tempestades como essas também foram identificadas recentemente nos Estados Unidos. Como esses raios são mais destrutivos que os de carga negativa, é importante conhecer melhor as 'tempestades positivas'.



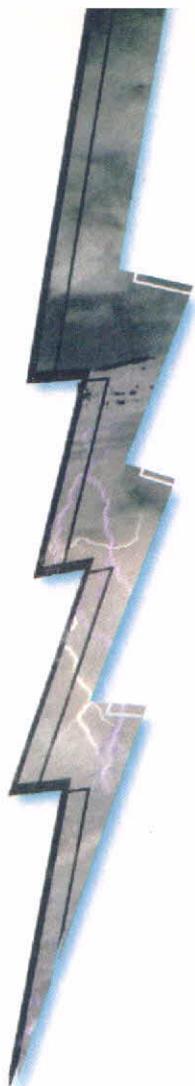
SITIVAS asileiros

as tempestades fazem parte do cotidiano brasileiro, principalmente no verão. Com elas, chegam as chuvas fortes, os relâmpagos e às vezes o granizo. Todos eles trazem enormes transtornos à vida nas cidades e no campo, danificando construções e culturas agrícolas e às vezes matando pessoas. Desabamentos e enchentes são hoje sérios problemas, principalmente em áreas urbanas mal planejadas, as chuvas de granizo representam um pesadelo para os agricultores e existem muitos exemplos de estragos ou mortes decorrentes de relâmpagos, embora os para-raios muitas vezes os evitem. Conhecer melhor as tempestades – de onde vêm, como se desenvolvem, que processos internos geram os raios – pode de alguma forma ajudar a evitar suas conseqüências.

As nuvens do tipo cúmulo-nimbos, conhecidas como Cb, são as responsáveis pelas tempestades. Essas nuvens grandes e escuras formam-se quando a atmosfera é instável o suficiente para permitir que as nuvens cúmulos atinjam camadas mais altas e cresçam – essa instabilidade acontece quando a queda na temperatura do ar, a cada quilômetro de altura, é igual ou superior a 6°C.

O processo de formação de nuvens começa quando o vapor d'água misturado com o ar é aquecido, junto à superfície da Terra. Com o aquecimento, o ar úmido expande-se, o que diminui sua densidade, e tende a subir. Ao atingir a camada em que a temperatura é igual ao ponto de orvalho, ou ponto de condensação, o vapor volta ao estado líquido na forma de gotículas, dando origem à nuvem. Se a atmosfera for instável, essas pequenas gotas continuam subindo e podem formar uma nuvem do tipo Cb. Outros fatores – o grau de umidade, a proximidade de montanhas e certos sistemas meteorológicos – também influenciam esse processo e, portanto, a formação de tempestades.

A tempestade local, produzida em geral por



apenas uma nuvem Cb, talvez seja a mais comum e a menos intensa. Sua origem está ligada a diferenças locais de temperatura, sendo típica de regiões quentes e úmidas. Outro tipo – a tempestade orográfica – ocorre em regiões montanhosas. O ar próximo ao topo das montanhas costuma ser mais quente que o ar vizinho no mesmo nível, e por isso tende a subir e a ser substituído por outras massas de ar. Também podem ocorrer quando ventos intensos, próximos à superfície, sopram na direção de áreas montanhosas. As tempestades locais e orográficas, conhecidas como 'isoladas', duram de uma a duas horas.

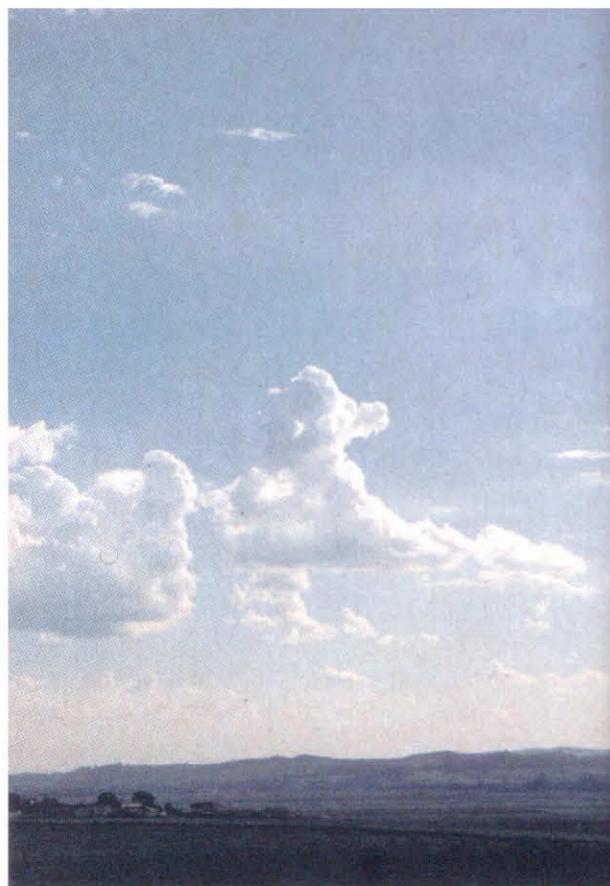
Como as nuvens se formam

Em geral, a formação de uma nuvem de tempestade isolada começa com a reunião de pequenas nuvens cúmulos – nuvens brancas com largura e altura de algumas centenas de metros, que surgem tipicamente a cerca de 1km da superfície (figura 1). Mas em alguns casos as nuvens Cb podem originar-se de nuvens de outros tipos, como alto-cúmulos ou estrato-cúmulos. Sob condições atmosféricas favoráveis, as nuvens cúmulos podem agrupar-se e gerar nuvens maiores, com formas semelhantes às de uma couve-flor (figura 2). Essas, por sua vez, podem unir-se para formar uma ainda maior, chamada cúmulo-congestos, ainda com o mesmo formato (figura 3). Nesse ponto, embora a base da nuvem ainda esteja a 1km do solo, o topo já atinge alturas entre 3 e 5km e ela tem alguns quilômetros de extensão horizontal.

Em alguns casos, a nuvem pára de se desenvolver nesse ponto, sem se tornar uma nuvem de tempestade, e dissipa-se sem apresentar relâmpagos. Se isso não acontecer, ela continua seu movimento ascendente e partículas de gelo começam a ser formadas. Nesse ponto a nuvem já é um cúmulo-nimbos, com diâmetro entre 3 e 8km e topo situado entre 5 e 8km, apresentando irregularidades, por causa das partículas de gelo. Nuvens cúmulo-nimbos possuem três estágios de existência: desenvolvimento, maduro e dissipativo, cada um com 20 a 40 minutos de duração.

Figura 1. As nuvens cúmulos-típicas têm largura e altura de centenas de metros e, ao se unirem, começam a formar as nuvens de tempestade.

Figura 2. Algumas nuvens cúmulos, maiores, são denominadas cúmulos swelling ('inchadas', em tradução literal).





No primeiro estágio, o movimento de ar ascendente predomina dentro da Cb, arrastando gotículas de água e partículas de gelo para cima com velocidades de 20 a 70km/h. Em geral, esse estágio não é acompanhado por chuva. No estágio maduro, a Cb passa a apresentar circulação interna complexa, com movimentos tanto ascendentes quanto descendentes. Isso acontece porque as partículas maiores – formadas a partir de partículas menores de água e gelo – são ‘puxadas’ para baixo pela gravidade. Os movimentos podem atingir velocidades de até 100km/h nesse estágio, quando a nuvem tem diâmetro típico de 10km. A base da nuvem costuma ser quase plana e sua distância para o solo pode variar de 1km até cerca de 4km, dependendo da umidade. O topo atinge alturas entre 8 e 20km, em alguns casos ultrapassando a tropopausa (limite em que a temperatura da atmosfera pára de diminuir com a altura).

Por conta da ação dos ventos, as nuvens cúmulo-nimbos também costumam ser mais largas no topo. Em alguns casos, esse alargamento torna a Cb parecida com uma bigorna que aponta na direção do vento. Esse tipo de nuvem é às vezes chamado de Cb incos, e há outros tipos de Cb no estágio maduro (figura 4), como a Cb calvos, cujo topo é arredondado, como o de uma

cúmulo-congestos; a Cb capilatos, que apresenta, próximo ao topo, uma estrutura em forma de estrias ou fibras; e a Cb pilcos, que mostra apenas um tênue ‘véu’ no topo. As chuvas intensas e a maioria dos relâmpagos ocorre no estágio maduro. Os relâmpagos da nuvem para o solo são em geral precedidos por relâmpagos dentro da nuvem, mas acontecem tanto antes quanto depois do início da chuva. Estudos têm mostrado ainda que, em geral, quanto mais alto é o topo da nuvem, maior a frequência dos relâmpagos, tanto em seu interior quanto para o solo.

No estágio dissipativo, o movimento do ar é quase exclusivamente descendente, o que provoca um esfriamento da nuvem, em relação ao ar vizinho. A chuva, ao reduzir o conteúdo da nuvem, também influencia o resfriamento. Nesse estágio, a altura do topo, o diâmetro da nuvem e as chuvas tendem a diminuir, até que ela seja dissipada. A temperatura também tende a retornar ao valor anterior à tempestade.

A altura alcançada pelo topo das nuvens de tempestade em seus diversos estágios depende principalmente da latitude geográfica. Em regiões de média para alta latitude (das zonas temperadas da Terra para os pólos), é raro esse topo passar de 8km de altitude, enquanto em regiões de média para baixa latitude (das zonas temperadas para o

Figura 3. Nuvens do tipo cúmulo-congestos são formadas pela união de muitas nuvens cúmulos.





Figura 4. As nuvens cúmulo-nimbos assumem várias formas, como a Cb calvos (A), a Cb capilatos (B) e a Cb pileos (C).

Equador) pode chegar a 20km ou mais. Em cerca de metade dos casos, a altura do topo ultrapassa 15km, e a maior incidência de nuvens de tempestade com topos acima de 20km parece ocorrer no Sudeste Asiático, incluindo o norte da Austrália, Indonésia e Nova Guiné.

Nuvens de tempestade são mais comuns em regiões tropicais e temperadas durante o verão, embora também ocorram em regiões próximas aos pólos e em outras estações. Ocorrem mais sobre os continentes do que sobre os oceanos, pois o aquecimento solar altera menos a temperatura do ar sobre estes. Embora possam surgir a qualquer hora do dia, o máximo de ocorrência situa-se entre 16h e 18h, em função do aquecimento solar. Sobre as montanhas, o momento mais propício é em torno de 13h a 14h.

Além das produzidas por nuvens isoladas, as tempestades também podem estar associadas a aglomerados de nuvens denominados sistemas convectivos de mesoescala, que podem estender-se de uma a várias centenas de quilômetros. Nesses casos, as tempestades tendem a ser mais intensas, pois são formadas por grupos de nuvens Cb. Os dois tipos de sistemas com essa escala mais conhecidos são as linhas de instabilidade e os complexos convectivos.

As linhas de instabilidade ocorrem em geral associadas a sistemas frontais, como as 'frentes frias', quando se chocam massas de ar com diferentes temperaturas e umidades. Nesse choque, as massas de ar frio 'empurram' para cima as de ar quente, produzindo linhas de tempestade que

atingem, às vezes, centenas de quilômetros de extensão. Nuvens Cb assim geradas 'vivem' em média tanto quanto as que surgem isoladamente, mas podem deslocar-se por dezenas de quilômetros durante sua existência. As tempestades que provocam chegam a durar várias horas, já que, com o deslocamento do sistema, novas nuvens são formadas à medida que as primeiras se dissipam. As linhas de instabilidade são comuns no Sul e Sudeste do país, associadas a 'frentes frias' provenientes da Argentina.

Já os complexos convectivos são agrupamentos de nuvens de tempestade que assumem forma quase circular, com diâmetros de 300 a 400km e contendo centenas ou até milhares de nuvens. Surgem em geral à noite, duram em média de 10h a 12h, podem em certos casos regenerar-se durante dias e parecem passar por estágios semelhantes aos de uma nuvem Cb. No Brasil, complexos convectivos são observados com mais frequência na região Sul, embora possam ocorrer no Sudeste e no Centro-Oeste. Na América do Sul são mais comuns no norte da Argentina e no Paraguai.

A estrutura elétrica da nuvem

Ainda não se sabe ao certo como as nuvens de tempestade tornam-se carregadas. A estrutura elétrica de uma nuvem desse tipo é bastante complexa: resulta da ocorrência simultânea, em seu interior, de processos microfísicos (que

atuam em escalas de quilômetros) e microfísicos (que atuam em escalas de centímetros ou metros). Acredita-se que tanto as nuvens isoladas quanto as agrupadas tenham estrutura similar, embora não haja informações detalhadas. Em função desses processos, cargas intensas são geradas dentro das nuvens, com valores que podem variar de alguns poucos coulombs (unidade de medida de carga elétrica) até duas centenas de coulombs. Os relâmpagos têm sua origem nessas cargas.

Diversos processos microfísicos procuram explicar como as colisões das partículas de água e gelo geram as cargas. Há dois processos principais: um é baseado no campo elétrico da atmosfera e o outro na temperatura ambiente. O primeiro – processo indutivo – afirma que o campo elétrico atmosférico, conhecido como campo elétrico de tempo bom, pode separar as cargas pela polarização de partículas grandes (como o granizo). Como o campo elétrico diminui com a altura, a colisão de partículas menores (como cristais de gelo) na parte inferior do granizo transfere cargas positivas para tais cristais (figura 5). Esse processo foi o mais aceito por muito tempo, mas nos últimos anos experimentos de laboratório indicaram que a intensidade do campo atmosférico não é suficiente para que ele ocorra, ao menos no período inicial de formação das cargas dentro da nuvem.

O outro processo – termoelétrico – assume que a polaridade da carga transferida durante uma colisão depende da temperatura local (figura 6). Se esta for maior que a temperatura de inversão de carga, estimada em torno de -15°C , o granizo transfere uma carga negativa para o cristal de gelo. Em caso contrário, transfere uma carga positiva. Outros processos microfísicos têm sido sugeridos, como aqueles em que a separação de cargas ocorreria na mudança de estado da água para o gelo ou dependeria do tamanho das gotículas de água em queda dentro da nuvem. Tais processos ainda estão sendo investigados.

Os principais processos microfísicos que podem explicar a distribuição das cargas elétricas nas nuvens são o gravitacional e o convectivo. O primeiro (figura 7) afirma que a gravidade é o fator mais importante: as cargas associadas às partículas maiores (com até alguns centímetros) tendem a deslocar-se para a parte inferior e as associadas às

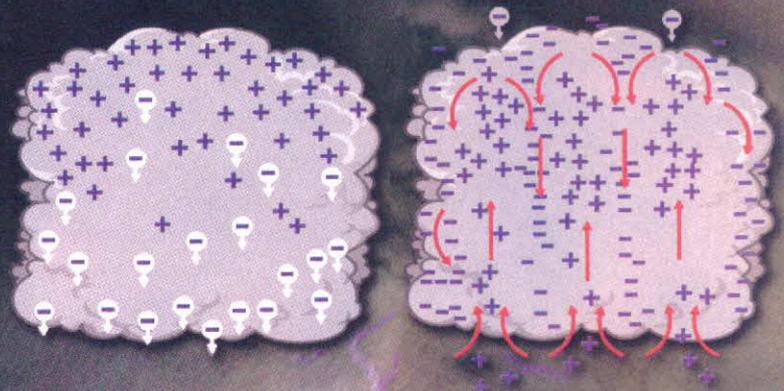


Figura 7. A hipótese indutiva diz que as cargas elétricas são geradas nas colisões entre partículas dentro da nuvem, sob a influência do campo elétrico da atmosfera.

Figura 8. A hipótese termoelétrica diz que a carga transferida nas colisões de partículas dentro da nuvem depende da temperatura da área em que elas ocorrem.

Figura 5. Na teoria gravitacional, as cargas elétricas dentro das nuvens de tempestade são separadas pela simples queda das partículas maiores.



Figura 6. Na teoria convectiva, as cargas elétricas dentro das nuvens decorrem apenas da distribuição de cargas existente na atmosfera.

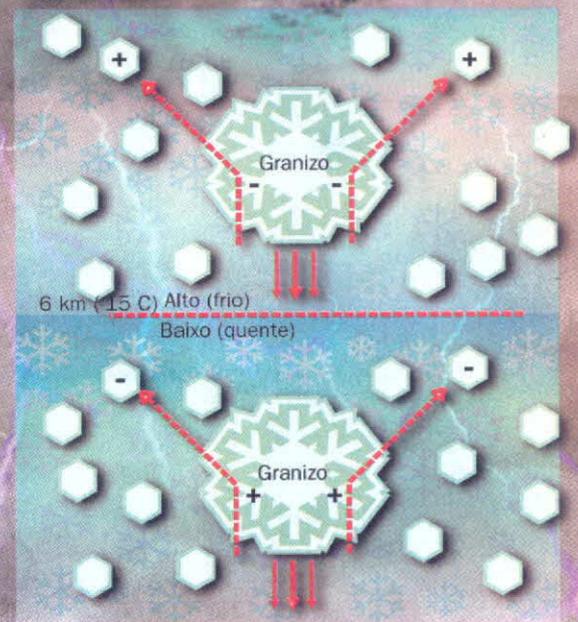
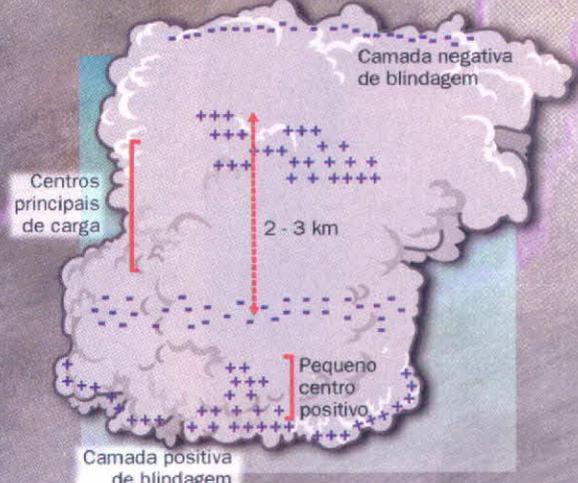


Figura 9. Estrutura elétrica típica de uma nuvem de tempestade, com os três centros de cargas e as camadas de blindagem.



partículas menores (com frações de milímetro) a ficar em cima. Já o processo convectivo (figura 8), hoje menos accito, diz que as cargas internas decorrem da mera distribuição de cargas elétricas existentes na atmosfera, sem a necessidade de considerar um processo dentro da nuvem.

A distribuição das cargas em uma nuvem de tempestade depende dos processos citados e pode ser descrita, de forma simplificada, como uma estrutura tripolar (figura 9). Basicamente, existem dois centros principais de carga: um positivo, mais ou menos espalhado na parte superior da nuvem, até perto do topo; um negativo, concentrado na camada horizontal em que a temperatura se mantém em torno de -10°C ; e um terceiro, menor e também positivo, junto à base da nuvem. Durante muito tempo o centro menor foi associado à captura, pela nuvem, de íons positivos presentes na atmosfera abaixo dela. Atualmente, acredita-se que tem sua origem no processo termoeletrico.

Em geral, a carga elétrica dos centros principais é da ordem de 30 coulombs e a carga do centro menor em torno de 5 coulombs. As alturas em que eles se situam variam de acordo com a latitude geográfica, sendo maiores em regiões mais quentes. Além desses três centros, são observadas finas camadas de cargas, conhecidas como camadas de blindagem, nas bordas superior e inferior da nuvem, formadas a partir da captura de íons atmosféricos. Tais camadas reduzem parcialmente os campos internos da nuvem, quando observados de seu exterior. Dentro de uma nuvem de tempestade o campo elétrico pode atingir valores da ordem de centenas de milhares de volts por metro. No solo, abaixo dessas nuvens e por influência delas, o campo pode atingir cerca de 10 mil volts por metro, valor 100 vezes maior que o de áreas sem nuvens.

Nuvens de tempestade isoladas podem produzir durante sua existência até algumas centenas de relâmpagos. Em geral, ocorrem de um a quatro relâmpagos para o solo por minuto. A distância média entre o local da queda de dois relâmpagos de uma mesma nuvem é de 3km, variando de poucas centenas de metros a algumas dezenas de quilômetros. Relâmpagos produzidos por nuvens isoladas tendem a ocorrer no fim da tarde. Em regiões montanhosas, porém, o período de máxima ocorrência tende a ser no início da tarde. Já

as linhas de instabilidade e os complexos convectivos podem produzir centenas de relâmpagos por minuto, e nesse caso não há horário preferencial de ocorrência: o máximo pode acontecer ao longo do dia ou mesmo à noite.

Nuvens de tempestade geram vários tipos de relâmpagos. Os mais estudados, por seu poder de destruição, são os da nuvem para o solo, divididos em três tipos com base no sinal da carga transferida: negativos, positivos e bipolares (figura 10). Nos primeiros, as cargas partem da região de cargas negativas da nuvem. Nos positivos, partem da região de cargas positivas, em geral da mais próxima do topo da nuvem. Já os bipolares, que apresentam cargas de ambos os sinais, nascem em regiões de separação de cargas dentro da nuvem.

A maior parte dos relâmpagos da nuvem para o solo são negativos: 90%, em média. Os restantes são quase sempre positivos, já que os bipolares não passam de 1%. No entanto, a frequência dos relâmpagos positivos (figura 11) parece ser bastante variável, e em alguns casos até superior à dos negativos. Vários fatores parecem influir para esse aumento do percentual, entre eles a altura das cargas positivas junto ao topo da nuvem e a variação, com a altura, da velocidade horizontal dos ventos.

O primeiro fator depende da latitude geográfica e da estação do ano, enquanto o segundo depende das condições meteorológicas. Quanto menor for a latitude geográfica, ou seja, quanto mais perto do Equador estiver a nuvem, maior será em geral a altura das cargas positivas, tornando mais difícil que o relâmpago positivo atinja o solo. O mesmo tende a ocorrer no verão, quando as nuvens são em geral mais altas. No caso dos ventos, quanto maior for a variação da velocidade com a altura, maior será o deslocamento das cargas positivas em relação às negativas, 'desimpedindo' o caminho que os relâmpagos positivos percorrem para atingir o solo. Os dois fatores foram confirmados por pesquisas no Japão, que indicaram a maior ocorrência de relâmpagos positivos no inverno e em períodos com fortes variações dos ventos com a altura. Tais relâmpagos também podem predominar no topo de montanhas muito altas, em regiões não-tropicais. Nesses casos, a carga negativa pode estar em contato direto com o solo, fluindo para este

Figura 10. Os relâmpagos da nuvem para o solo podem ser de três tipos: negativos (A), positivos (B) e bipolares (C).



FOTO ARQUIVO INPE (ALAN MOLLER)

e assim facilitando a ocorrência do relâmpago positivo.

Estudos recentes têm mostrado também que a frequência dos relâmpagos positivos pode variar bastante em sistemas meteorológicos como as 'frentes' ou os complexos convectivos. Em tais condições, podem surgir largas regiões de cargas positivas, na altura do topo das nuvens, deslocadas centenas de quilômetros em relação às cargas negativas, criando regiões distintas de ocorrência de relâmpagos positivos e negativos.

As 'tempestades positivas'

Quais seriam as características dos relâmpagos no Brasil? Para responder a essa pergunta, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) vêm, desde o final dos anos 80, realizando pesquisas conjuntas na região Sudeste do Brasil. O INPE tem realizado medidas com balões estratosféricos e, a partir de 1995, também na superfície, e a Cemig mantém uma rede de antenas na superfície e uma torre de captação de descargas. Os resultados desses estudos indicam que, em diversos aspectos, as características dos relâmpagos no Brasil parecem ser diferentes das observadas em outras regiões do mundo.

Em particular, as pesquisas apontaram que o percentual de relâmpagos positivos no Sudeste brasileiro depende em grande parte das condi-

ções meteorológicas de mesoescala. Acredita-se que isso também seja válido para a região Sul. Mas no Norte e no Nordeste as características dos relâmpagos podem ser bastante distintas, já que as condições meteorológicas são diferentes. Infelizmente, não há estudos sobre relâmpagos nessas duas últimas regiões do país.

Tanto no verão quanto no inverno, durante tempestades intensas associadas a sistemas convectivos de mesoescala, o percentual de relâmpagos positivos – na região Sudeste e provavelmente na região Sul – parece ser muito maior que a média de 10%. Em alguns casos, o número de relâmpagos positivos supera o de negativos: são as chamadas 'tempestades positivas'. A primeira indicação de que tais tempestades ocorrem no Sudeste brasileiro foi obtida em dezembro de 1989, durante um voo de balão estratosférico no estado de São Paulo.

Levantamento realizado em Minas Gerais, em 1993, revelou a ocorrência de 18 tempestades positivas no verão e quatro no inverno, com duração entre duas e seis horas e percentual médio de relâmpagos positivos de 70%. A que apresentou o maior número absoluto desse tipo de relâmpago ocorreu a 13 de março daquele ano, associada a um sistema convectivo que estendia-se por uma área de 5 mil km², embora os relâmpagos tenham se concentrado basicamente em duas grandes áreas (figura 12). Durante essa tempestade foi registrada uma atividade máxima de 225 relâmpagos positivos em cinco minutos.

Figura 11. Os relâmpagos positivos da nuvem para o solo são considerados mais destrutivos que os negativos.

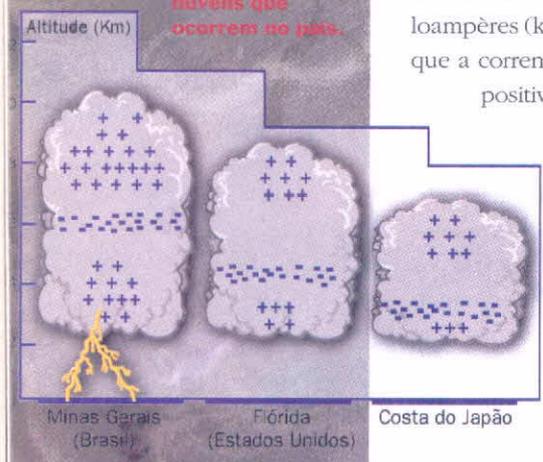




Figura 12. Os relâmpagos positivos registrados durante a tempestade de 13 de março de 1993 distribuíram-se por grandes áreas de Minas Gerais (as cores indicam diferentes instantes de tempo).



Figura 13. A hipótese para a origem das tempestades positivas no Sudeste do Brasil é baseada no tamanho das nuvens que ocorrem no país.



Estão sendo realizados estudos para determinar qual a frequência das tempestades positivas ao longo das estações e dos anos e qual sua origem. Resultados preliminares, obtidos a partir de imagens de satélites meteorológicos e registros de radiossondas, indicam que os relâmpagos positivos não partem das camadas de cargas positivas situadas junto ao topo das nuvens de tempestade e deslocadas por ventos mais fortes nessa área mais alta da atmosfera. Então, qual a sua origem?

Embora a resposta ainda não esteja clara, os estudos realizados no Brasil permitem formular uma hipótese para explicar o fenômeno, baseada na diferença entre nuvens Cb em três regiões do mundo: Sudeste do Brasil, Flórida (Estados Unidos) e costa do Japão (figura 13). No Sudeste brasileiro, essas nuvens são mais altas e têm maior volume abaixo do centro de carga negativa, situado sempre na faixa de temperatura em torno de -15°C . Isso dificulta a ocorrência de relâmpagos vindos do centro de carga positiva no topo da nuvem. Também por isso, o segundo centro de carga positiva, na parte de baixo do Cb, tenderia a ser maior que nas demais regiões (Flórida e Japão), embora ainda menor que os centros principais. Esse fato, somado à existência de grande número de montanhas no Sudeste brasileiro, poderia facilitar a ocorrência de relâmpagos positivos a partir desse segundo centro de carga positiva.

Caso o modelo estivesse correto, esse segundo centro seria a origem da maioria dos relâmpagos das tempestades positivas brasileiras, mas a intensidade dessas faíscas seria menor que a daquelas que partem dos centros principais (tanto o negativo quanto o positivo). Os dados obtidos nas pesquisas do INPE e da Cemig mostram exatamente isso: no Sudeste brasileiro a média de intensidade dos relâmpagos negativos é de 40 quiloampères (kA), ou seja, cerca de mil vezes maior que a corrente de um chuveiro elétrico. Para os positivos, é de apenas 20 kA. Em outras

partes do mundo, como os Estados Unidos e a Europa, a intensidade dos relâmpagos positivos é maior que 40 kA. É importante salientar que, embora no Sudeste brasileiro os relâmpagos positivos sejam menos intensos, permanecem mais destrutivos, pois em geral

duram mais tempo, transferindo mais energia ao objeto atingido.

Para verificar se a hipótese é válida, mais medidas de relâmpagos são necessárias, se possível complementadas com dados de radares meteorológicos, que permitem avaliar com maior precisão a estrutura e a dinâmica das tempestades positivas. Mas outras questões ainda precisam ser respondidas. Não se sabe, por exemplo, se as tempestades positivas ocorrem em todas as estações do ano e em todo os anos, ou se existem locais onde são mais frequentes.

É provável que, nos próximos anos, outras descobertas inesperadas aconteçam, já que os estudos sobre relâmpagos foram iniciados recentemente no Brasil. No entanto, a própria existência dessas tempestades positivas pode ter diversas conseqüências, como o aprimoramento dos atuais sistemas de proteção e o aumento da eficiência na produção agrícola. Estudos recentes, por exemplo, apontam uma forte relação entre os relâmpagos positivos em sistemas convectivos de mesoescala e as chuvas de granizo, tão prejudiciais à agricultura.

Conhecer mais esse tipo de tempestade também é importante por seus possíveis efeitos sobre os processos climáticos globais, tema que desperta grande interesse na comunidade científica atual. Levando-se em conta que o Brasil é um dos países com maior incidência de relâmpagos em todo o mundo, tais tempestades talvez influenciem a atmosfera sobre o Brasil tanto em termos elétricos quanto químicos, o que poderia ter conseqüências para a atmosfera de todo o planeta.

* Colaboraram no estudo descrito no artigo os pesquisadores Rosângela B. B. Gin, Odím Mendes Jr. e Rosa M. L. Rocha, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Sugestões para leitura:

PINTO, I.R.C.A.; PINTO JR., O. & GIN, R.B.B. 'Relâmpagos', in *Ciência Hoje* nº 95, pp. 36-43, 1993.
 PINTO JR., O. & PINTO, I.R.C.A. *Relâmpagos*, Editora Brasiliense, São Paulo, 1996.
 PINTO JR., O.; GIN, R.B.B.; PINTO, I.R.C.A.; MENDES JR., O.; DINIZ, J.H. & CARVALHO, A.M. 'Lightning flash characteristics in the southeastern Brazil during the 1992-1993 summer season', in *Journal of Geophysical Research*, vol. 101, nº 23, pp. 29.627-29.635, 1996.
 UMAN, M.A. *The lightning discharge*, Academic Press, Orlando, 1987.