

Bioclimatologia humana – 27.03.2023

Eventos meteorológicos extremos e as suas
consequências socioeconómicas e na saúde humana (II)
- As trovoadas e os impactos na saúde.

1. Introdução e discussão de conceitos



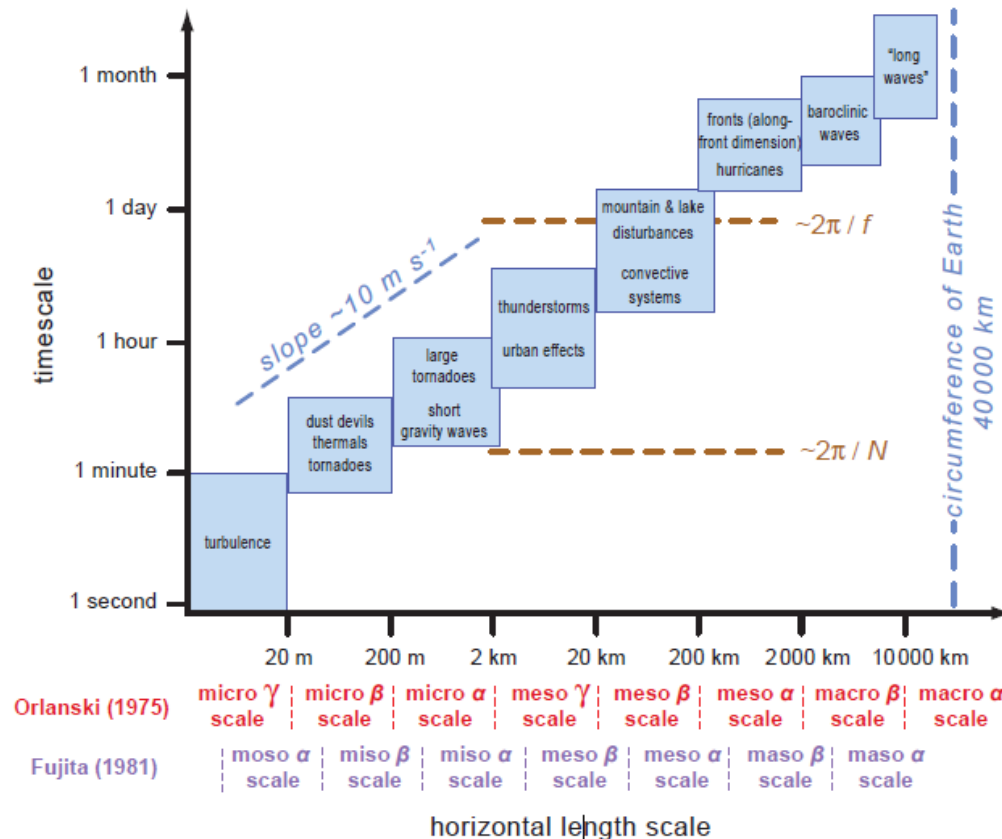
Trovoada - definições

- *American Meteorological Society:*
“Em geral, uma tempestade local, invariavelmente produzida por uma nuvem cumulonimbus, e sempre acompanhada por descargas eléctricas (relâmpagos e trovões), frequentemente também por fortes rajadas de vento, chuva intensa e, por vezes, granizo”



Tempestade “local” - definições

- American Meteorological Society: “Uma tempestade de escala meso-meteorológica”*



< 1 dia (sistemas convectivos)

2 – 200 km
(2000 km, Orlanski)

- as tempestades podem compreender a ocorrência **de um ou vários perigos em simultâneo**, e a natureza dos **elementos expostos e a sua vulnerabilidade variam com essa combinação**.
 - Raios
 - Chuva intensa
 - Granizo
 - Ventos fortes

Trovoadas: factores de formação (I)

- Estrutura vertical da atmosfera com **instabilidade condicional**:
 - Advecção de ar húmido e quente nas baixas camadas da atmosfera
 - Advecção de ar frio e seco nas camadas médias e altas da atmosfera
 - Combinação das duas condições anteriores
- Suficiente **humidade nos níveis inferiores da atmosfera**

Trovoadas: factores de formação (II)

- Mecanismo de **levantamento do ar**; causas...
 - **Desigual aquecimento da superfície** (induzindo convecção térmica)
 - **Levantamento dinâmico do ar** (depressões frontais; depressões frias de bloqueio..)
 - **Orografia**
 - Levantamento a barlavento, ondas estacionárias
 - Convergência horizontal (frentes, brisas)
 - Desigual aquecimento das vertentes

Trovoadas: noções gerais e tipos

- Podem corresponder a estruturas simples (células simples) ou mais complexas. Os tipos básicos são três:
 - Ordinárias (ou simples; isoladas);
 - Multicelulares;
 - Supercelulares

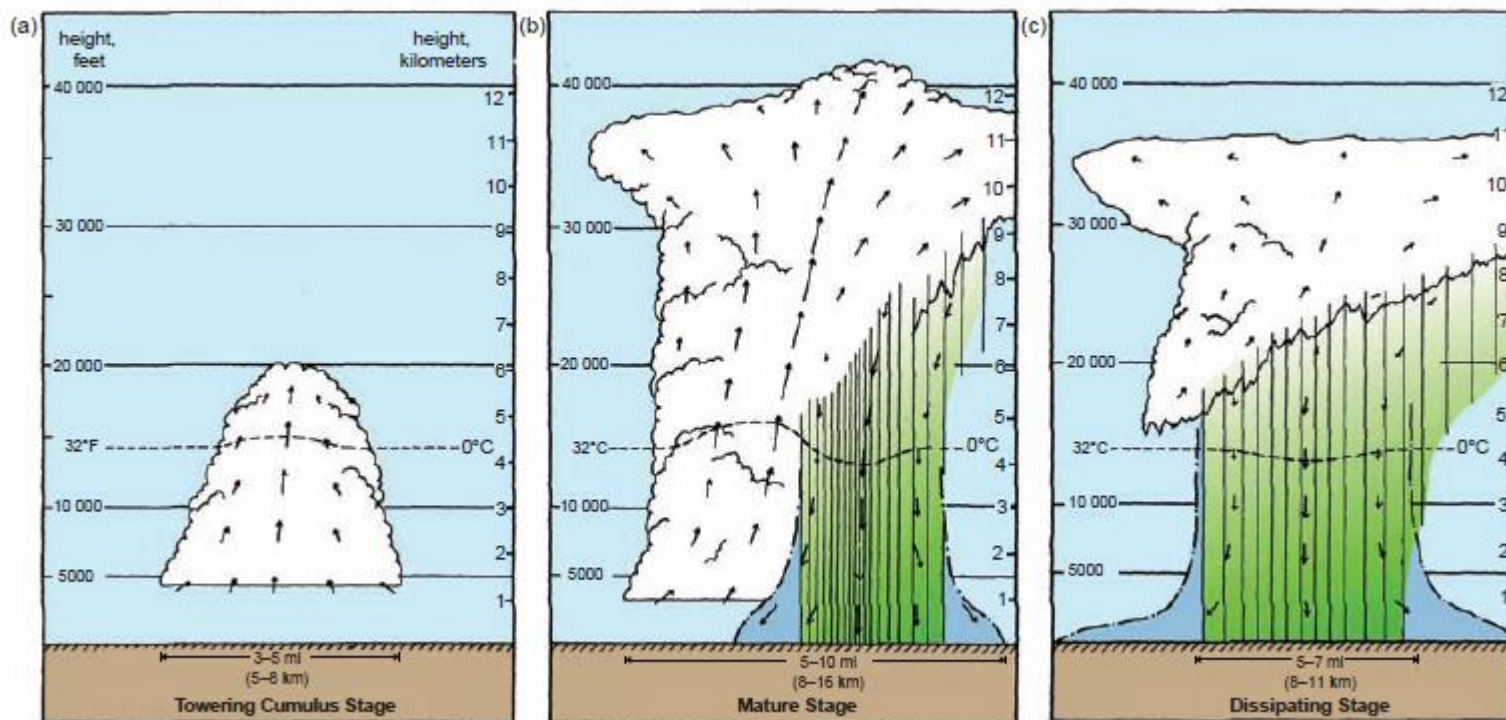


© Gene Rhoden / weatherpix.com

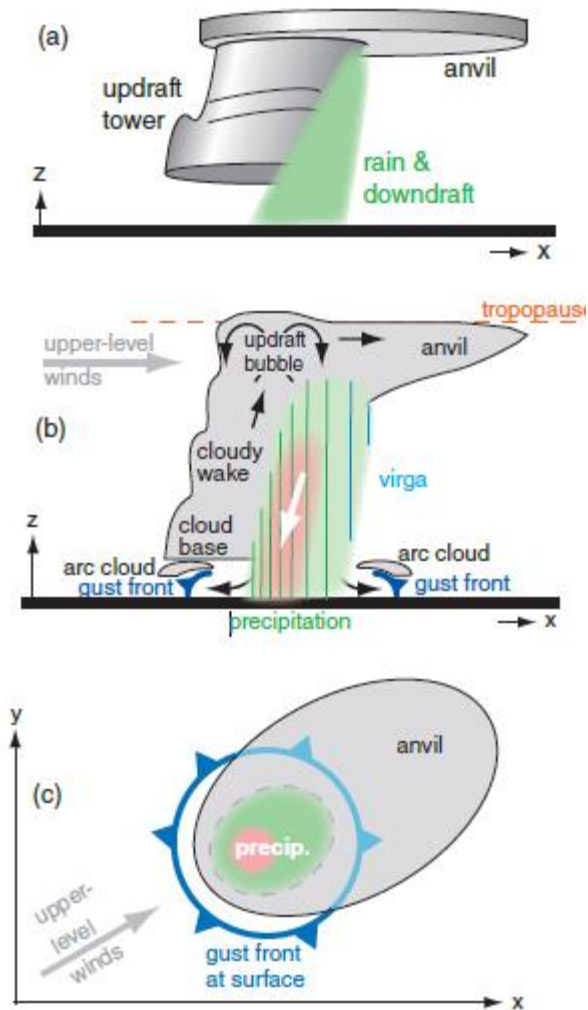
Figure 14.1
Airmass thunderstorm having a single mature cell.

Fonte: Stull, 2017

Trovoadas simples (célula convectiva simples)



(Markowsky & Richardson, 2010)



© Gene Rhoden / weatherpix.com

Figure 14.1
Airmass thunderstorm having a single mature cell.

Fonte: Stull, 2017



Foto: Jeff Berkes (NG)

Ciclo de Vida de uma trovoada ordinária

Fonte: Stull, 2017

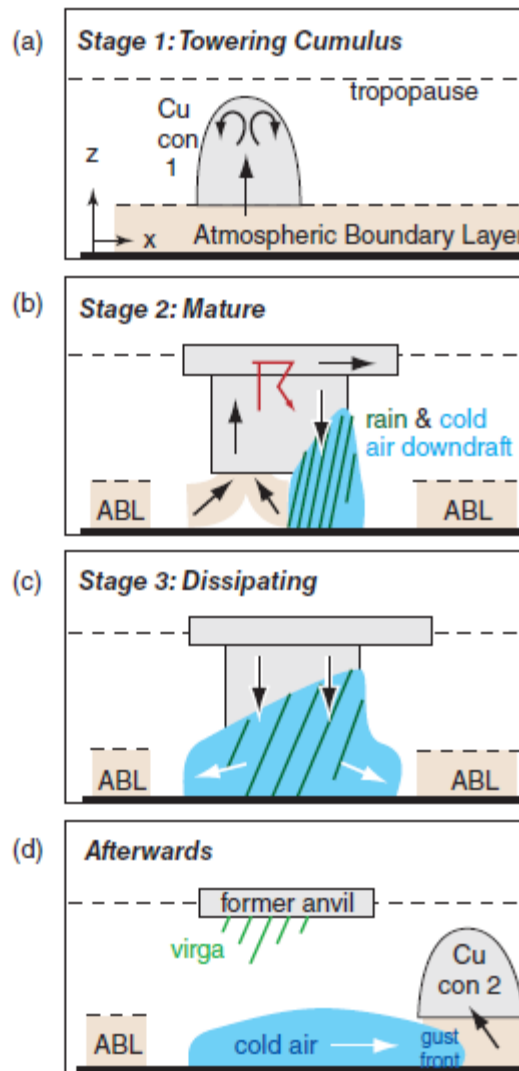
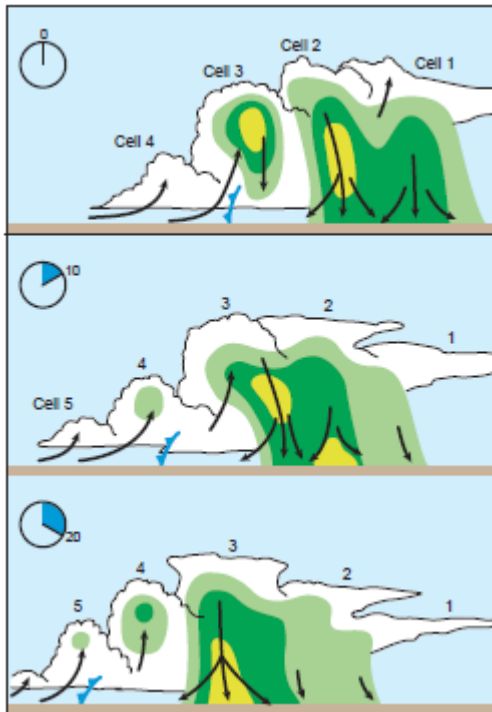


Figure 14.6

Phases of thunderstorm cell evolution. Light grey shading represents clouds, tan color is pre-storm boundary layer (ABL) of warm humid air that serves as fuel for the storm. Blue shading is colder outflow air. Diagonal dark green lines represent precipitation. Arrows show air motion. Cu con = cumulus congestus.

Trovoadas multicelulares



((Markowsky & Richardson, 2010))

Sistemas Convectivos de Mesoescala

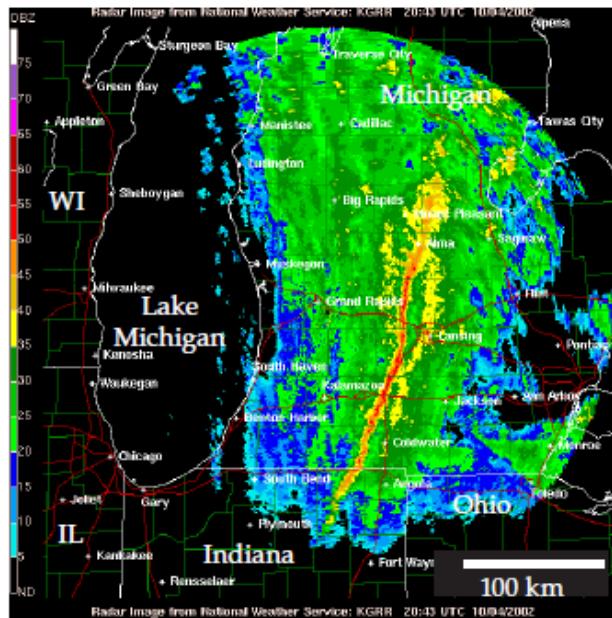
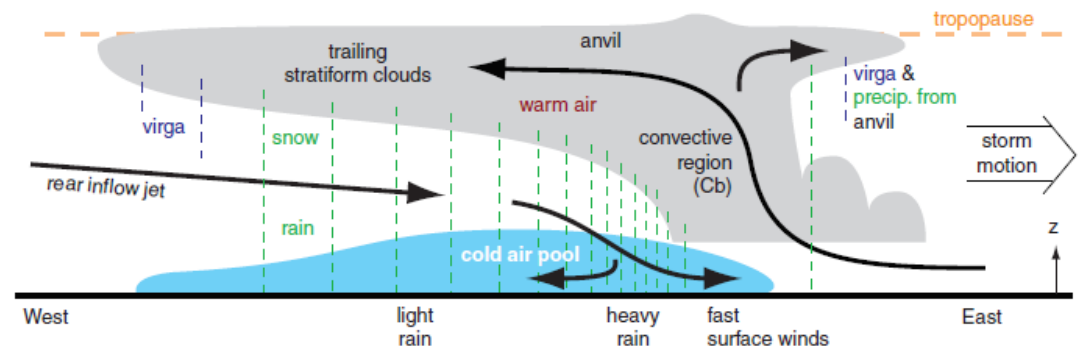


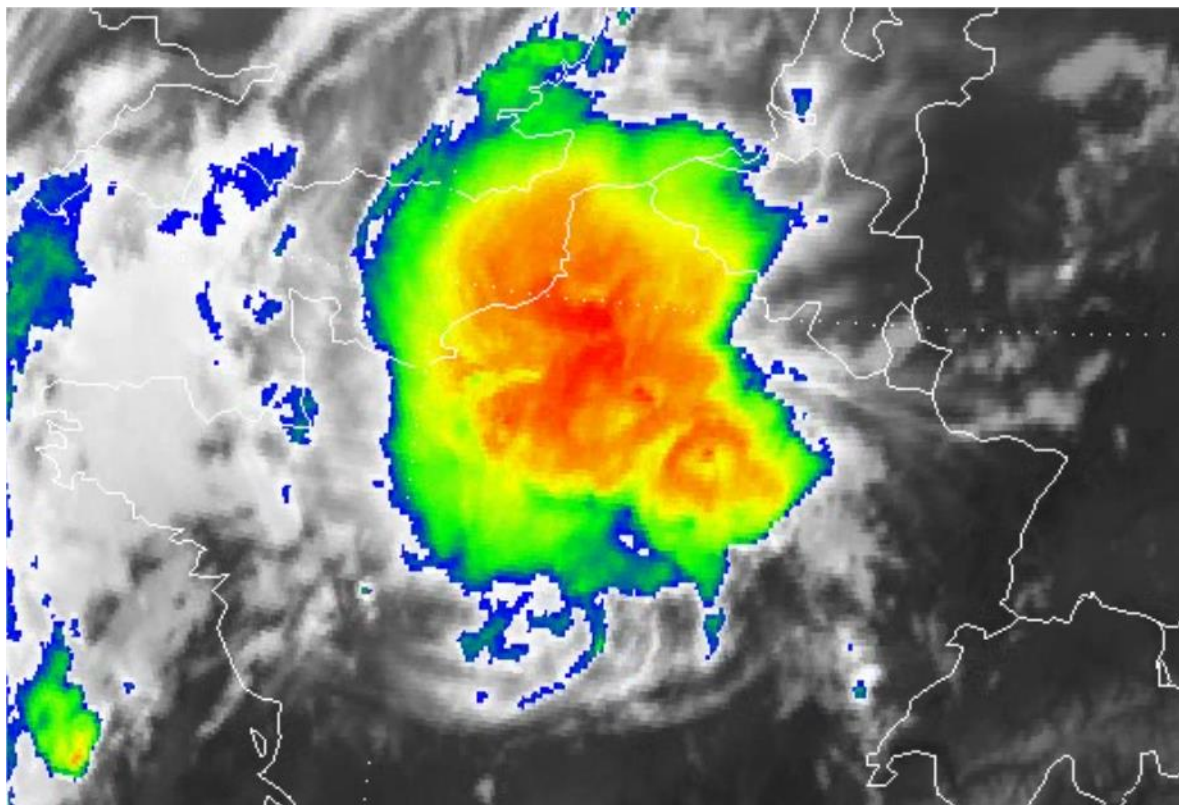
Figure 14.13.

Radar reflectivity PPI image of a mesoscale convective system (MCS) in southern Michigan, USA, on 4 Oct 2002. Red indicates a line of heavy thunderstorm rain associated with radar reflectivities > 50 dBZ. Ahead of and behind this squall line are broad regions of lighter, stratiform precipitation (green colors) with embedded convective cells (yellow). Courtesy of the US National Weather Service, NOAA.



Fonte: Stull, 2017

Sistemas e Complexos Convectivos de Mesoescala

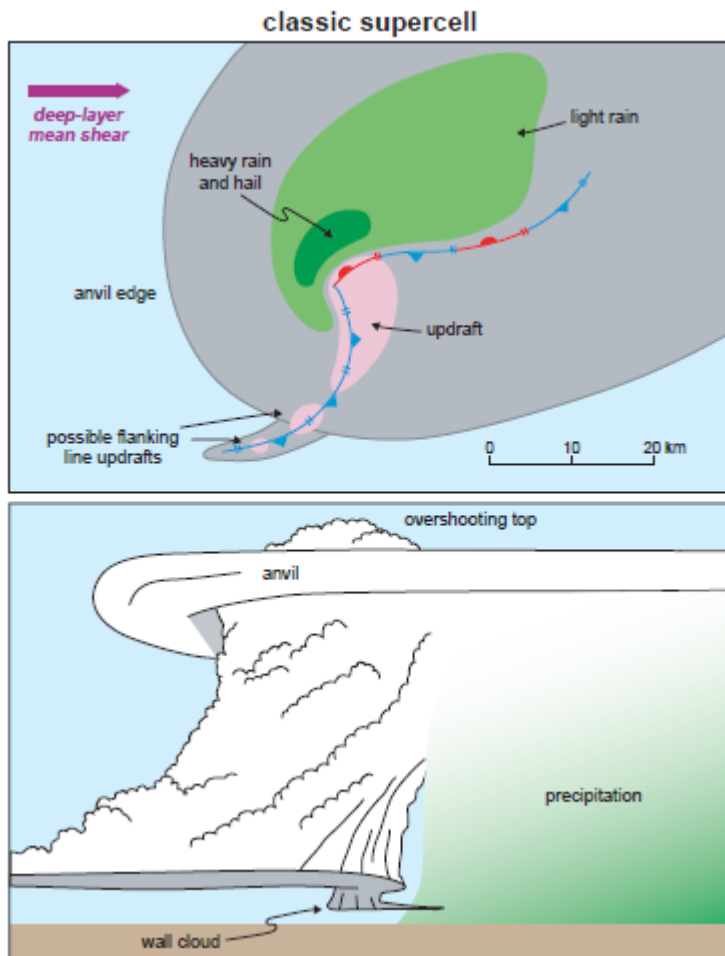


MCC sur la France le 27 juillet 2013 – EUMETSAT
(<http://www.keraunos.org/>)

Physical characteristics	
Size:	A-Cloud shield with continuously low IR temperature $\leq -32^{\circ}\text{C}$ must have an area $\geq 100,000 \text{ km}^2$ B-Interior cold cloud region with temperature $\leq -52^{\circ}\text{C}$ must have an area $\geq 50,000 \text{ km}^2$
Initiate:	Size definitions A and B are first satisfied
Duration:	Size definitions A and B must be met for a period of $\geq 6 \text{ h}$
Maximum extent:	Contiguous cold cloud shield (IR temperature $\leq -32^{\circ}\text{C}$) reaches a maximum size
Shape:	Eccentricity (minor axis/major axis) ≥ 0.7 at time of maximum extent
Terminate:	Size definitions A and B no longer satisfied

Critères définis par Maddox en 1980

Trovoadas supercelulares



((Markowsky & Richardson, 2010))

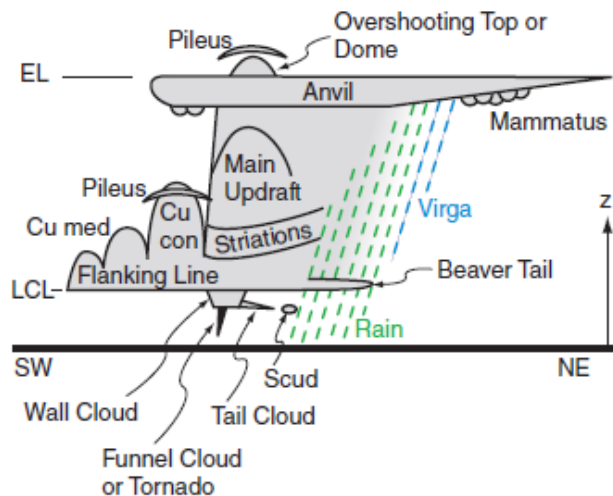


Figure 14.4a

Sketch of a classic supercell thunderstorm (Cb) as might be viewed looking toward the northwest in central North America. The storm would move from left to right in this view (i.e., toward the northeast). Many storms have only a subset of the features cataloged here. Cu med = cumulus mediocris; Cu con = cumulus congestus; LCL = lifting condensation level; EL = equilibrium level (often near the tropopause, 8 to 15 km above ground); NE = northeast; SW = southwest.

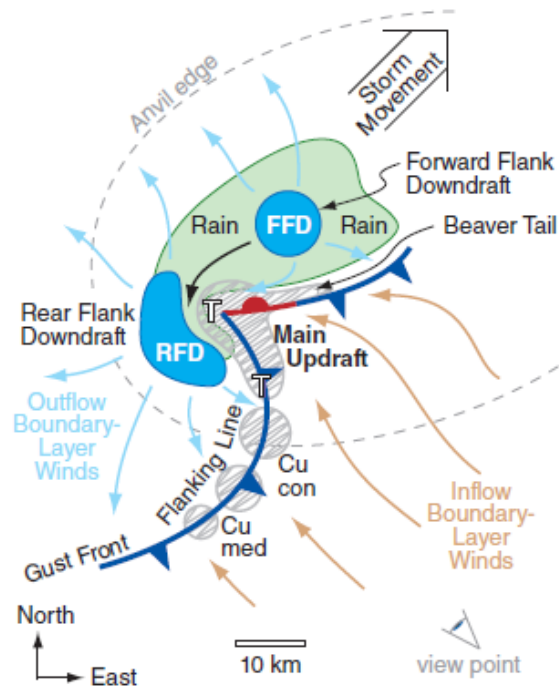
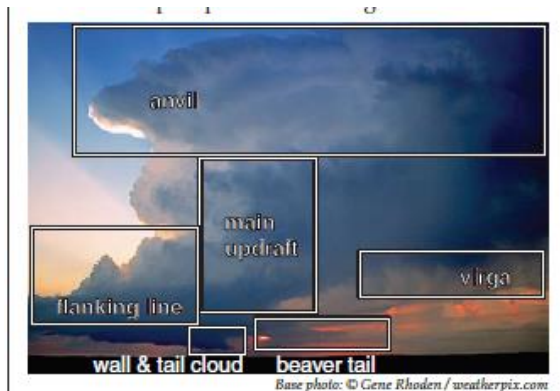


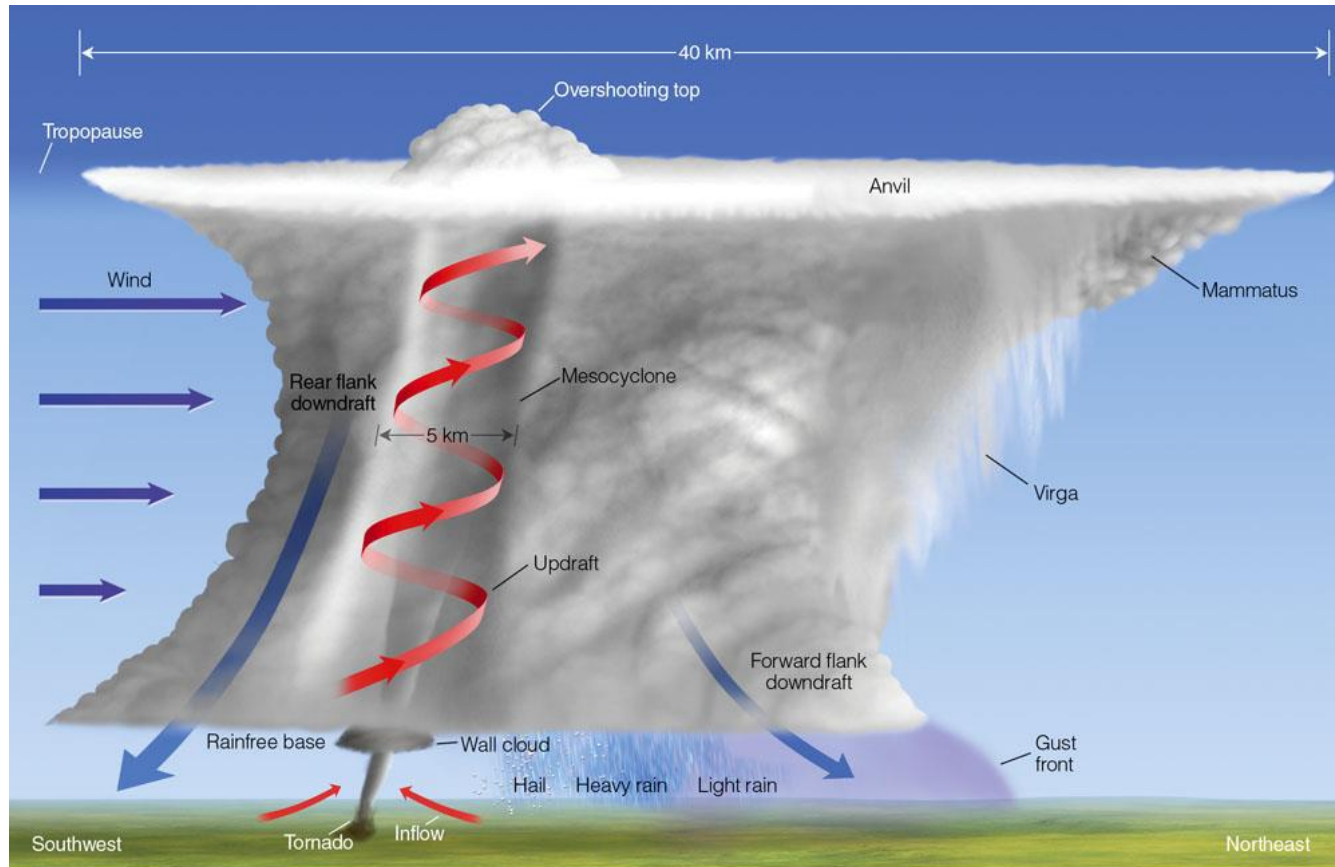
Figure 14.4b

Plan view (top down) sketch of a classic supercell thunderstorm. T indicates possible tornado positions; RFD = Rear Flank Downdraft; FFD = Forward Flank Downdraft. Regions of updraft are hatched with grey; downdrafts are solid blue; rain is solid light green. Low surface pressure is found under the updrafts (especially near the "T" locations), and high pressure under the downdrafts. Vectors are near-surface winds: cold are cyan, warm are tan. From the view-point location in the bottom right of Fig. 14.4a, you see a storm as sketched in Fig. 14.4b.



Exposition: This cloud is a supercell thunderstorm, because it looks more like the cloud sketched in Fig. 14.4a than the simple single-cell air-mass thunderstorm in Fig. 14.2. The main updraft is tilted from lower left to upper right, a sign of wind shear in the environment. If a tornado exists under the wall cloud, it is too small to see in this figure. Given the orientation of the cloud features (similar to those in Fig 14.4a), the photographer was probably looking toward the northwest, and the thunderstorm is moving toward the northeast (to the right in this figure).

Trovoadas supercelulares



Trovoada supercelular, com formação de tornado (Ahrens, 2005)

2. Impactes das Trovoadas



Trovoadas

O potencial destruidor das **trovoadas** é muito significativo, resultado dos perigos ligados às **precipitações intensas, granizo, ventos fortes e descargas eléctricas atmosféricas** (DEA).

Mills et al (2010): **Impactes das DEA (Canadá)**

Indicadores dos impactos das trovoadas:

- **Vítimas humanas (e seres vivos)**
- **Danos em propriedade (individual, colectiva)**
- **Perdas associadas às supressões de electricidade e outros serviços**

Mills et al (2010): sectores mais afectados pelos efeitos danosos das descargas eléctricas atmosféricas (DEA):

- Saúde
- Seguros (Vida e propriedade)
- Silvicultura/Floresta
- Produção e distribuição de electricidade
- Agricultura (Pecuária)
- Telecomunicações
- Transportes
- Turismo e recreio



Martine Peyrard montre les dégâts causés par la foudre dans son salon à Saint-Cirq./Photo DDM André Ramoneda

Saint-Cirq, Sul de França, 8/8/2013



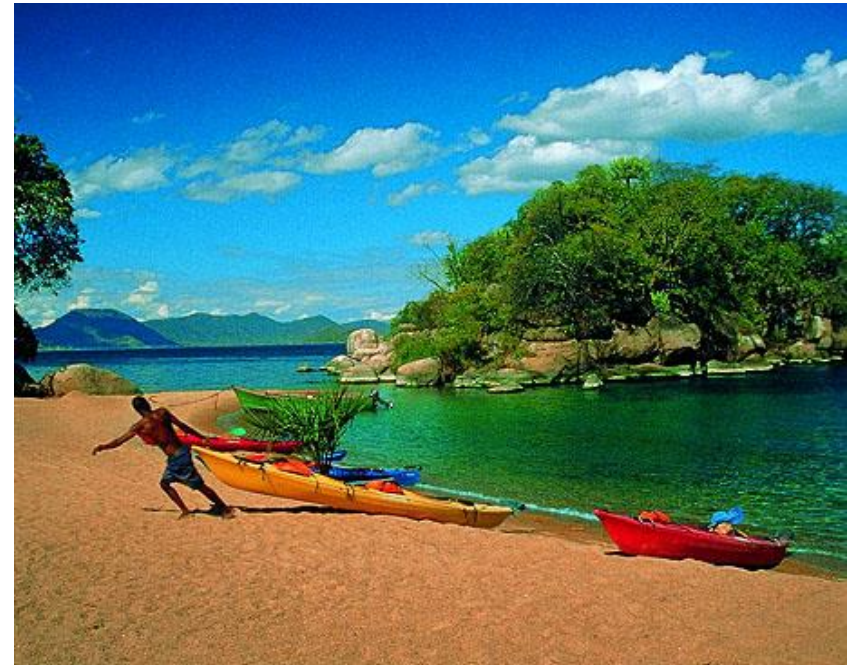


Principais indicadores dos impactes

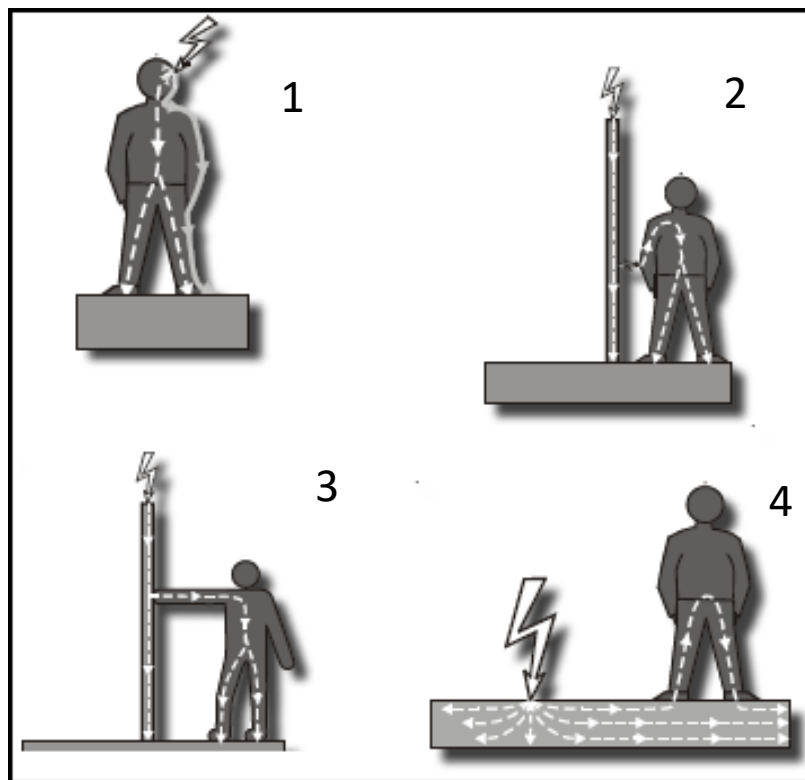
- Vítimas (feridos, mortos)
- Danos físicos reportados (media, organismos oficiais)
- Frequência e duração das interrupções de transmissão e distribuição de electricidade.
- Número de prémios pagos pelas seguradoras
- Número de incêndios causados por raios

Mortalidade devida a DEA

- As estimativas apontam para entre 8 000 a 24 000 mortes/ano em todo o mundo (Holle, 2012; Mills et al 2010)
- O número de feridos estimado é de cerca de 10 vezes superior (1 vítima mortal/10 pessoas atingidas)
- Canadá: 9-10 fatalidades/ano:
- Malawi: 84 fatalidades/milhão hab/ano



Efeitos directos do impacto de raios em seres humanos



(Gutierrez, 2005)

Efeitos directos do impacto de raios em seres humanos

- Morte ocorre por paragem cardiopulmonar
- Queimaduras, danos neurológicos e cerebrais
- Convulsões
- Depressão



- Durante as trovoadas, certos locais devem ser **evitados**: **pontos altos ou destacados na topografia**, **proximidade árvores** (em especial isoladas) de estruturas altas, antenas, bombas de gasolina. Veículos abertos e barcos deverão também ser evitados.
- O montanhismo (escalada, *trekking*) e actividades desportivas disputadas em campos abertos (como o golfe, basebol, futebol, também deverão ser evitadas).

Efeitos indirectos na saúde: trovoadas e poluição do ar

- As DEA são responsáveis pela **produção de poluentes**,
 - Produção NOx (Óxidos de Azoto)
 - Relevante impacto nas concentrações O₃ troposférico, contribuindo para o seu aumento, em especial em áreas urbanas



Efeitos indirectos das DEA na saúde humana

- Efeitos no stress
- Efeitos na incidência de surtos de ataques asma e/ou problemas respiratórios agudos
- Relação com efeitos das trovoadas no aumento das concentrações do ozono troposférico

Condições necessárias para a ocorrência de **surto de asma** durante a ocorrência de trovoadas (Marks e Bush, 2007):

- Elevadas **concentrações de bioaerossóis** (pólenes de relva e fungos);
- Correntes descendentes de ar mais frio e denso (*outflow*), que mantêm em suspensão os bioaerossóis nas baixas camadas, concentrando as suas populações
- Formação de **partículas respiráveis** ($<10\mu\text{m}$), resultantes da fragmentação dos grãos de pólen (favorecida porque a corrente ascendente conduz os bioaerossóis para as áreas de chuva) associada à emissão de esporos de fungos
- **Exposição de indivíduos propensos** a ataques de asma

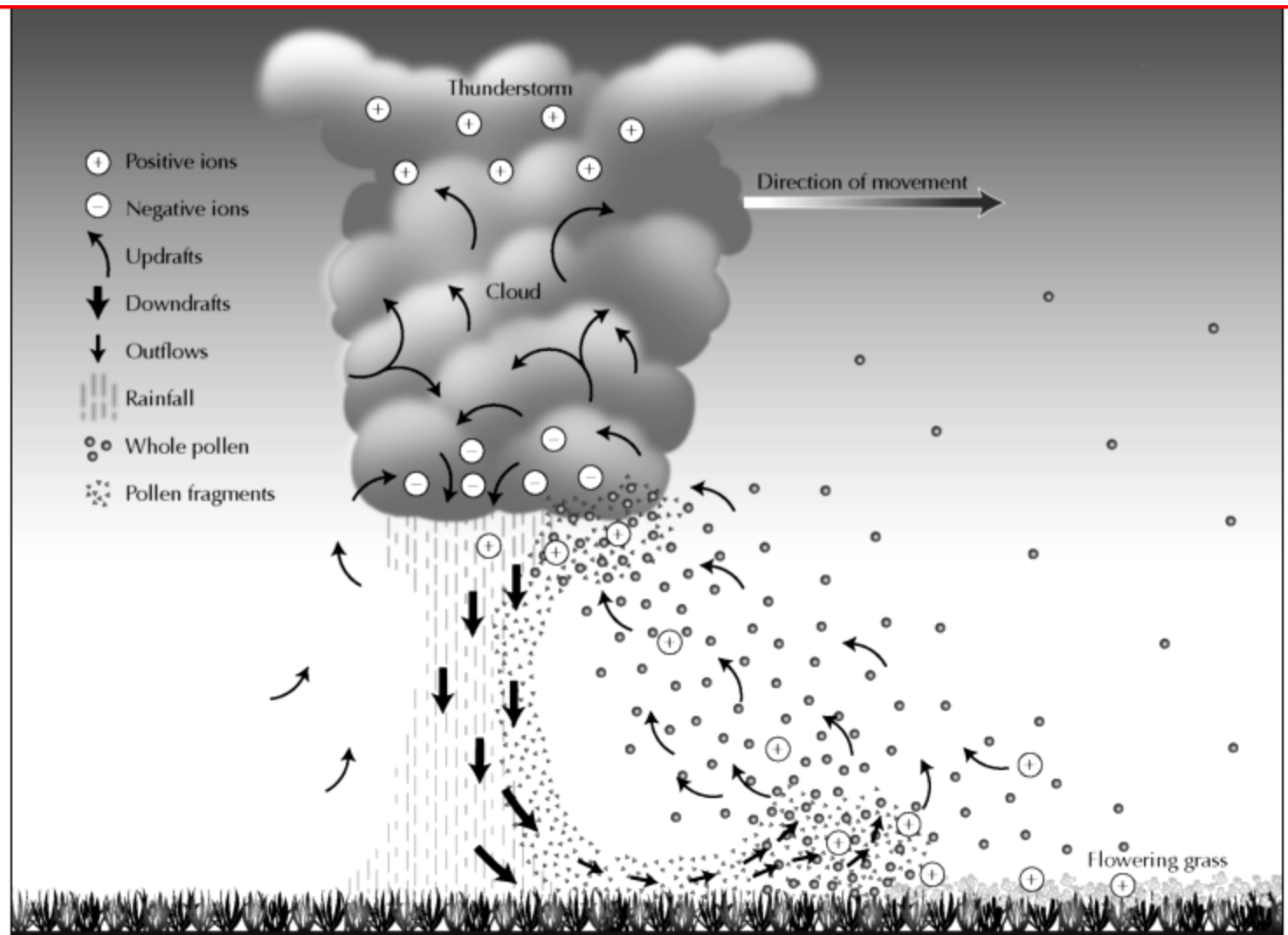


Figure 1. A proposed mechanism for explaining thunderstorm asthma. Dry updrafts entrain whole pollen grains into the high humidity at the cloud base of a maturing thunderstorm. Here, pollen may rupture, and cold downdrafts transport pollen fragments to ground level. Dry outflows distribute these respirable allergens at ground level and increase the exposure risks to humans. The turbulent front of the advancing outflow releases more pollen from flowering grasses, and then updrafts may entrain them into the cloud base. Strong electric fields develop in the thunderstorm. Positive ions are released from the ground and attach to particles entrained into the updrafts. Electric charge may enhance pollen rupture.

Trovoadas e asma infantil (Canário et al, 2014)

- Ausência de influência das descargas eléctricas atmosféricas na variação do número de admissões à urgência infantil por motivo de asma;
- Ausência de influência das descargas eléctricas atmosféricas no aumento das concentrações polínicas;
- Admissões por motivo de asma influenciadas pelas temperaturas baixas, vento relativamente forte e humidade alta.

Referências

Canário P, Fragoso M, Mora C, Nogueira H (2014) Environmental conditions versus child asthma incidence: exploratory analysis in thunderstorm days in Lisbon. *Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia*, XLIX (98):179-196.

Markowski P and Richardson Y (2010) *Mesoscale meteorology in Midlatitudes*, Wiley Blackwell, 430 pp.

Mills, B., Unrau, D., Pentelow, L. et al. Assessment of lightning-related damage and disruption in Canada. *Nat Hazards* 52, 481–499 (2010). <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9391-2>

Santos, J. A; Reis, M. A; Sousa, J.; Leite, S. M; Correia, S.; Janeira, M.; Fragoso, M.. 2012. Cloud-to-ground lightning in Portugal: patterns and dynamical forcing", *Natural Hazard and Earth System Science* 12, 3: 639 - 649.

Santos, J. A; Reis, M. A; De Pablo, F; Rivas-Soriano, L.; Leite, S. M. 2013. "Forcing factors of cloud-to-ground lightning over Iberia: regional-scale assessments", *Natural Hazards and Earth System Science* 13, 7: 1745 - 1758.

Sousa JF, Fragoso M, Mendes S, Corte-Real J, Santos JA (2013) Statistical-dynamical modeling of the cloud-to-ground lightning activity in Portugal, *Atmospheric Research*,
35