

Universidade de São Paulo – USP  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG  
Departamento de Ciências Atmosféricas – ACA  
Meteorologia Sinótica

### **Nevoeiro**

Quando uma massa de ar experimenta resfriamento à superfície, nevoeiros podem ser formados. Nevoeiro é um tipo de nuvem estratiforme que se forma na superfície ou muito próximo a ela, e que afeta seriamente a visibilidade. É como se a base de uma nuvem estratiforme estivesse muito baixa e em algumas situações é possível identificar gotinhas d'água boiando na atmosfera. Por isso, existe muita preocupação por parte dos órgãos gerenciadores dos meios de transportes aéreos, marítimos e rodoviários, pois muitas vezes, o nevoeiro é situação precursora de acidentes graves e até mesmo fatais.

Por outro lado, a correta exploração do conteúdo de água líquida de um nevoeiro pode trazer benefícios às atividades humanas, como por exemplo, no Chile, que se coleta cerca de 7000 litros de água por dia através de 50 coletores de 48 m<sup>2</sup> de área da base.

Por sua estreita associação com inversões de temperatura e por sua tremenda importância nos transportes, segurança pública e atividades humanas em geral, os nevoeiros merecem uma séria consideração como propriedade da massa de ar. Para os propósitos desta discussão, nevoeiros podem ser definidos como uma camada de nuvem estratiforme ocorrendo na superfície ou muito próximo a ela.

Nuvens estratiformes são características da parte mais baixa da atmosfera quando uma inversão térmica bem desenvolvida existe ou

quando há uma camada aproximadamente isotérmica. Se o ar localizado abaixo for suficientemente úmido, uma camada estratiforme irá se formar, com topo à altura da base da inversão. Para que a formação se dê como nevoeiro, a base da inversão deve estar próxima à superfície. Uma inversão térmica de superfície ou muito próximo a ela é meramente uma expressão de resfriamento por baixo e isto é portanto característica de massas de ar que são originariamente mais quentes do que a superfície sobre a qual ela está passando ou está em repouso. O problema de investigar a formação de nevoeiro consiste em determinar as circunstâncias nas quais o resfriamento de massas de ar na superfície, num contexto de alta umidade, pode ocorrer.

### **Classificação**

Para simplificar a discussão, é extremamente útil ter uma classificação para os nevoeiros. Esta classificação deve levar em conta tanto a explicação dos processos de formação de nevoeiros como em prover uma base para poder prevê-los. Do ponto de vista físico, se reconhece que nevoeiros podem ser formados tanto por resfriamento ao ponto de orvalho ou por adição de vapor d'água até que a temperatura do ponto de orvalho iguale a temperatura atual. A classificação considera dois tipos principais, dependendo de qual dos efeitos citados é predominante no sentido de igualar a temperatura do ponto de orvalho com temperatura atual. Estes dois tipos são (A) nevoeiros formados por abaixamento de temperatura de uma massa de ar (com exceção de um) e (B) nevoeiros frontais, formados na presença de precipitação, freqüentemente com o aumento da temperatura do ponto de orvalho como o fator mais importante.

### **Tipo A**

1. Nevoeiros do tipo advectivo
  - a. Devido ao transporte de ar quente sobre superfície fria
    - Nevoeiro associado à brisa terrestre/marítima
    - Nevoeiro de ar marítimo
    - Nevoeiro de ar tropical
  - b. Devido ao transporte de ar frio sobre superfície quente
    - Nevoeiro de vapor
2. Nevoeiros do tipo radiativo
  - Nevoeiro de superfície
  - Nevoeiro de alta inversão
3. Nevoeiros do tipo advectivo-radiativo
4. Nevoeiro de encosta

## **Tipo B**

1. Nevoeiros pré-frontais
2. Nevoeiros pós-frontais
3. Nevoeiro frontal



*Figura 1*



*Figura 2*

## **Descrições**

### Nevoeiro associado à brisa terrestre/marítima

Nevoeiros do *tipo advectivo* dependem do transporte de ar entre regiões de temperaturas de superfície contrastantes. As linhas de costa em geral apresentam estas características praticamente todo o ano. No inverno, a advecção de ar do mar relativamente quente para o continente relativamente frio causa nevoeiro sobre o continente; entretanto, estes nevoeiros estão mais relacionados a fenômenos radiativos do que a transportes horizontais de massas de ar e, portanto não devem ser colocados na categoria de nevoeiros advectivos. No verão, em localidades onde as condições são favoráveis para o transporte de ar quente e úmido do continente em direção a água, ocorre o nevoeiro associado à brisa terrestre/marítima.

Na maioria dos casos de nevoeiro associado à brisa terrestre/marítima, flutuações na direção do vento, usualmente de natureza diurna, fazem parte do mecanismo. O ar proveniente do continente aquecido é resfriado ao passar sobre a superfície fria do oceano. Se os ventos forem de moderado a forte, a turbulência pode manter uma abrupta taxa de resfriamento nas camadas inferiores, e nuvens estratiformes se formarão sob a inversão turbulenta. Entretanto,

se o vento for fraco, uma densa superfície de nevoeiro pode ser desenvolvida sobre o oceano. Este nevoeiro pode ser trazido de volta para o continente por uma brisa marítima que se faz sentir no meio da tarde, podendo voltar para o oceano quando a brisa terrestre prevalecer novamente.

Este tipo de nevoeiro também ocorre sobre grandes corpos d'água no continente. De qualquer forma, estes nevoeiros não se estendem muito terreno adentro.

Exemplos: costa de New England e Great Lakes durante a primavera e início do verão.

#### Nevoeiro de ar marítimo

Fundamentalmente, existe uma pequena diferença entre nevoeiro associado à brisa terrestre/marítima e o nevoeiro de ar marítimo. Enquanto o primeiro se forma pelo resfriamento de ar continental sobre o oceano, o segundo se dá pelo resfriamento do próprio ar marítimo sobre uma corrente fria. Sendo assim, o nevoeiro associado à ar marítimo pode ocorrer em qualquer lugar do oceano onde houver significativa diferença de temperatura. Entretanto, a maioria das águas frias oceânicas é encontrada em correntes costeiras, e portanto o nevoeiro de ar marítimo se desenvolve mais frequentemente próximo ao continente.

Exemplos: nevoeiros de verão nas costas do Peru, Chile, noroeste e sudoeste da África, onde o ar se move sobre águas frias provenientes de ressurgências.

#### Nevoeiro de ar tropical

Este tipo de nevoeiro está relacionado ao gradativo resfriamento do ar tropical à medida que ele se move de latitudes mais baixas em direção aos pólos sobre o oceano. Pode ocorrer também no inverno sobre os continentes, onde o gradiente latitudinal de temperatura pode ser muito maior do que sobre os oceanos. Por outro lado, a turbulência sobre o continente é maior do que sobre o oceano por conta da rugosidade de superfície, o que pode tornar mais difícil a condensação direta como nevoeiro de superfície, exceto em casos com vento fraco. Sobre o mar, verificou-se que o nevoeiro pode se manter com ventos intensos mais facilmente do que em relação ao continente.

Ar tropical marítimo em movimento sobre o continente no inverno é imediatamente sujeito a fortes processos de resfriamento radiativo, o que pode se tornar mais importante do que o próprio resfriamento pela advecção latitudinal. Nessas circunstâncias é difícil de classificar o nevoeiro como sendo de ar tropical ou do tipo radiativo.

Exemplos: Golfo do Alaska; porção leste do Atlântico Norte e Europa ocidental, nos quais toda a intrusão de ar tropical resulta em formação de nevoeiro ou nuvens estratiformes.

### Nevoeiro de vapor

São formados quando ar frio com baixa pressão de vapor passa sobre água relativamente quente. É uma simples questão de pressão de vapor, ou seja, se a água estiver bastante “quente” o ar não necessita estar muito frio para haver evaporação. Em geral esses nevoeiros são rasos, da ordem de 15 a 30 metros, porém espessos o bastante para interferir na navegação ou vôos sobre o mar. Ocorre também sobre rios, quando o ar foi resfriado por radiação, e tende a formar nevoeiro de radiação próximo ao rio bem como nevoeiro de vapor no rio. Essas

ocorrências são comuns no outono, quando a água ainda está quente e o ar já está sendo resfriado.

Exemplos: Lago Michigan; “artic sea smoke” em localidades com presença de cobertura de gelo e água líquida.

### Nevoeiro de superfície

Todos os nevoeiros que ocorrem sobre o continente são causados totalmente ou principalmente por resfriamento radiativo do ar inferior úmido. O exemplo mais simples é o nevoeiro de superfície. Ordinariamente é definido como raso mas usualmente denso ocorrendo em condições de céu claro. É considerado como sendo aquele formado a partir de uma inversão térmica de superfície causada pelo resfriamento radiativo que ocorre durante uma única noite, sendo a inversão destruída durante o dia.

Muitas vezes o resfriamento por si só não é suficiente para formar nevoeiro, exceto em noites com ventos muito calmos. Quanto maior for o vento, menor será a chance de uma inversão térmica de superfície, pois a turbulência associada ao campo de vento irá carregar calor para baixo. Outro ponto a ser citado é a cobertura de nuvens. Se existe nebulosidade, parte da radiação perdida pela superfície é absorvida pelas nuvens e então refletida de volta e reabsorvida novamente pela superfície, o que impede a formação de nevoeiros. Assim, noites calmas e de céu claro permitem que a radiação emitida pela superfície escape para o espaço e, portanto, formam condições ideais para resfriamento de ar na superfície. Normalmente são rasos e desaparecem rapidamente após o nascer do sol.

### Nevoeiro de alta inversão

Este é basicamente um fenômeno de inverno e como todos os nevoeiros do tipo radiativo, ocorre apenas sobre o continente. Ele é formado não pelo resultado da perda radiativa de uma só noite, como no caso do nevoeiro de superfície, mas pela contínua perda de calor por radiação que caracteriza regiões fora dos trópicos durante o inverno. Superpostos ao resfriamento de longo-período, estão as perdas durante uma única noite. O resfriamento radiativo de inverno mais marcante aparece sobre regiões continentais em altas latitudes e nestes lugares os nevoeiros são muito comuns no inverno. O termo “alta inversão” ao qual são referidos os nevoeiros nesta secção quer dizer que a inversão ocorre em uma camada mais espessa do que a do nevoeiro de superfície. Em alguns casos, este tipo de nevoeiro se torna uma nuvem estratiforme baixa durante o dia, mudando para um denso nevoeiro durante a noite.

Exemplos: vales centrais da Califórnia durante o inverno e vales entre montanhas na Europa ocidental.



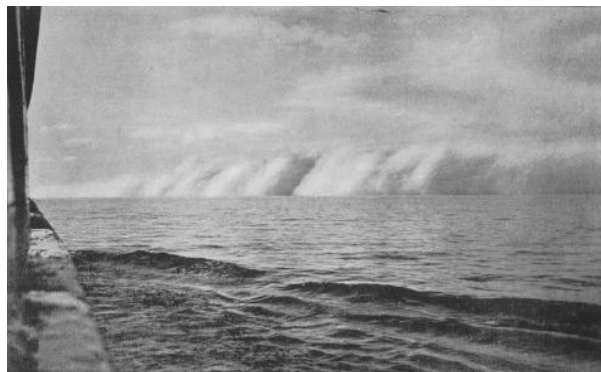
*Figura 3*



### Nevoeiro do tipo advectivo-radiativo

Este nome é dado ao nevoeiro que se forma por resfriamento radiativo noturno sobre o continente de ar procedente do mar durante o dia. Em geral, é como outros nevoeiros do tipo radiativo, porém se deriva de circunstâncias especiais pois ar com alta umidade oriundo de superfícies de águas quentes é resfriado radiativamente durante a noite sobre o continente. Ocorre principalmente no fim do verão e outono quando a água está relativamente mais quente e é portanto capaz de produzir uma alta temperatura do ponto de orvalho no ar sobrejacente e também quando as noites são longas o bastante para um resfriamento considerável.

Exemplos: Golfo do México e costa atlântica do sul dos EUA; Great Lakes.



*Figura 4*

### Nevoeiro de encosta

Formam-se como resultado do resfriamento do ar por expansão adiabática à medida que ele se move para altitudes maiores. Este é um dos poucos tipos de nevoeiro que se mantêm em condições de vento relativamente forte. A razão para isso é que quanto mais rápido o vento mais rápido será o movimento para altitudes maiores e mais rápido será

o resfriamento. Como regra geral, entretanto, nuvens estratiformes se formam em condições de vento realmente forte. Estes nevoeiros freqüentemente se formam por efeitos combinados de ascensão e radiação e em alguns casos por aumento de umidade devido à precipitação.

Exemplos: nevoeiros de serra e encosta.

### Nevoeiros pré-frontais (frentes quentes)

O efeito de precipitação em colunas estáveis de ar pode aumentar a temperatura do ponto de orvalho até que nevoeiro seja formado sem resfriamento da camada de ar inferior. Estas condições são mais facilmente obedecidas no lado frio adiante de uma frente quente. Massas de ar continental polar de inverno quando associadas com frentes quentes e precipitantes comumente apresentam nevoeiro ou nuvens estratiformes bem baixas por serem bastante estáveis. Por outro lado, uma massa de ar marítima polar não é estável o bastante para permitir a formação de nevoeiro. Assim como para os demais tipos de nevoeiro, a intensidade do vento é um fator importante. Uma vez que frentes quentes estão em geral associadas com ciclones cuja circulação é mais intensa do que o normal, nuvens estratiformes de frente quente são mais comuns que nevoeiros de frente quente.

### Nevoeiros pós-frontais (frentes frias)

Há uma sutil diferença entre nevoeiro de frente quente e de frente fria, uma vez que ambos se formam pela umidade da precipitação frontal. Entretanto, desde que a banda de precipitação associada a uma frente fria é muito mais restrita em área do que a de uma frente quente, os nevoeiros pós-frontais são menos espalhados. De fato, apenas frentes frias que se tornaram quase-estacionárias, usualmente orientadas na

direção leste-oeste que apresentam extensas áreas de nevoeiro. Como no caso de frente quente, estas circunstâncias causam nevoeiro apenas se o ar frio for estável.

### Nevoeiro frontal

Existe uma variedade de maneiras nas quais nevoeiros podem se formar temporariamente durante a passagem de uma frente. A mistura de massas de ar quente e frio na zona frontal pode produzir nevoeiro se o vento for bem calmo e se ambas as massas estiverem perto da saturação antes da mistura. O súbito resfriamento do ar sobre a superfície úmida com a passagem de uma frente fria marcadamente precipitante pode causar um nevoeiro provisório ao longo da frente. No verão, especialmente em latitudes baixas, o resfriamento da superfície por evaporação de água de chuva pode ser tanto o resfriamento necessário quanto o suprimento de umidade necessário para a formação do nevoeiro. Basicamente este tipo de nevoeiro se dá por abaixamento da base da nuvem durante a passagem da frente em condições extremamente úmidas.



*Figura 5*

## Evento de Nevoeiro no dia 19 de abril de 1999



Fig 1.0: 17/04/99



Fig 2.0: 18/04/99

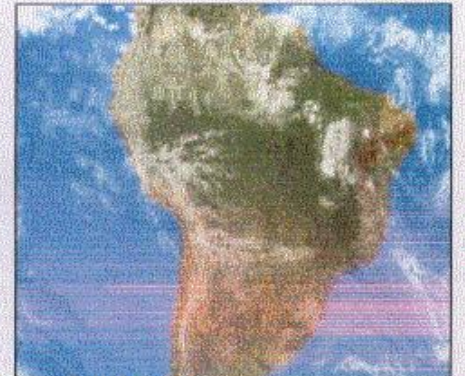


Fig 3.0: 19/04/99

Figura 6

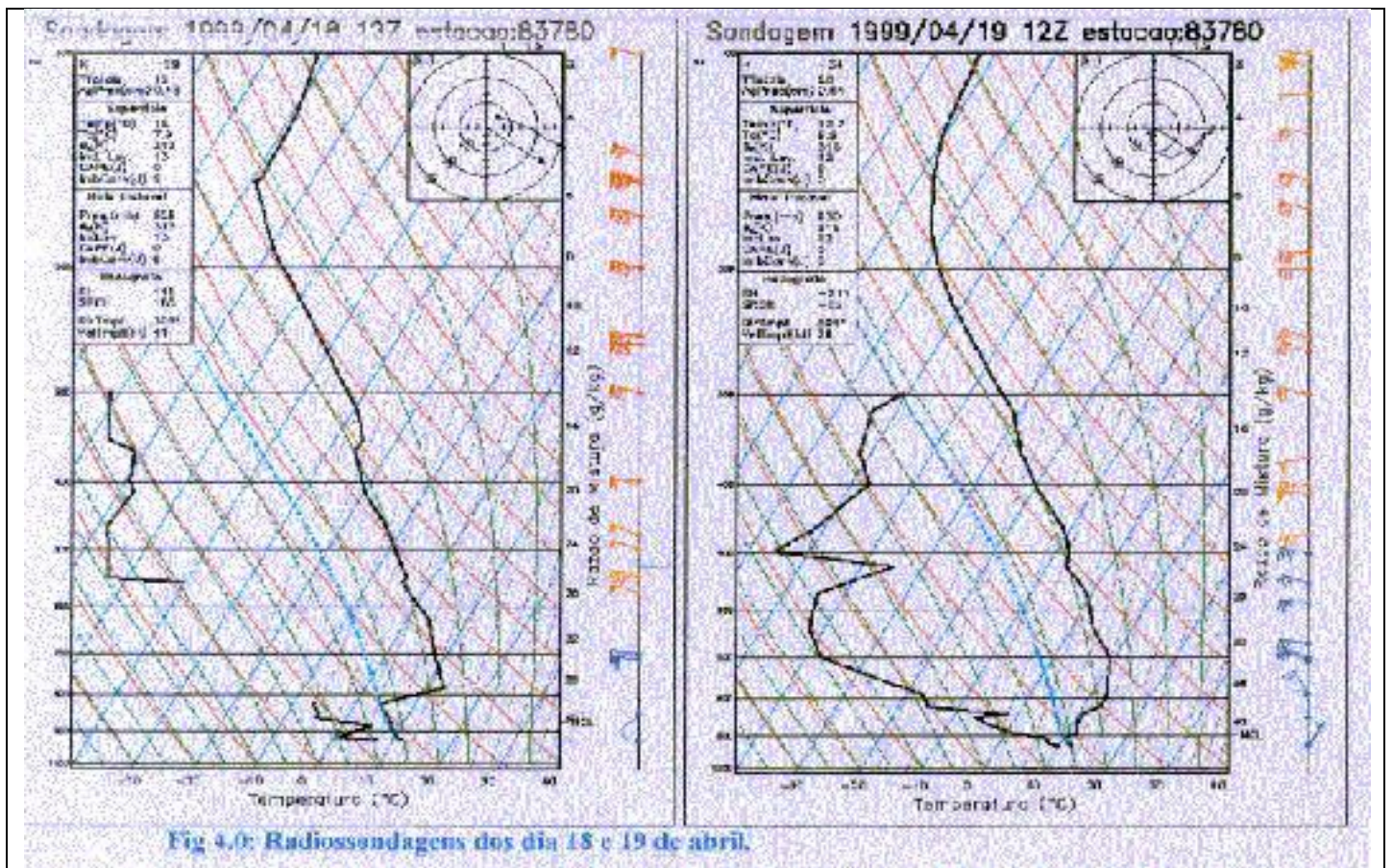
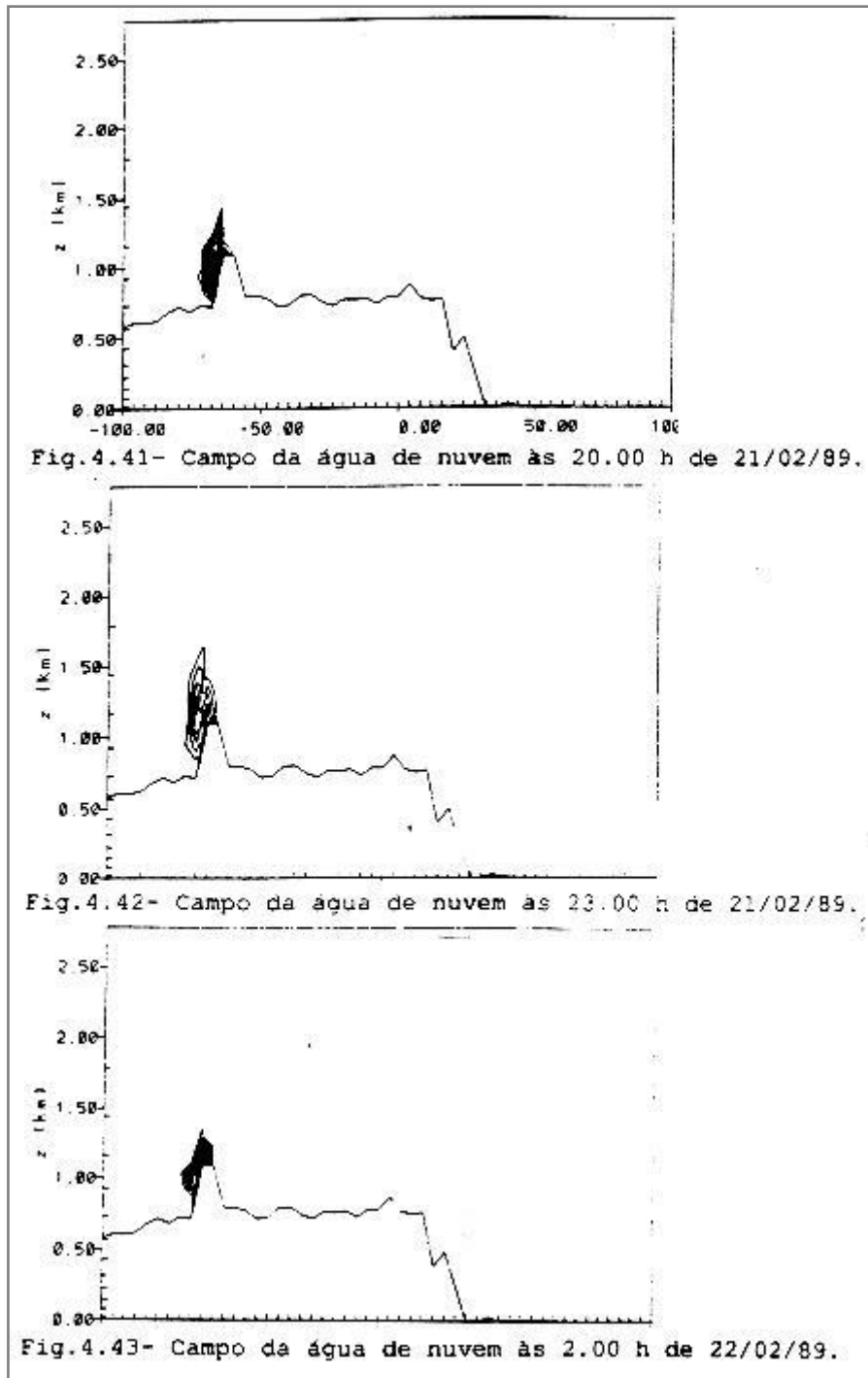


Figura 7

## **Exemplo de Modelagem Numérica de Nevoeiro**

Machado (1993), usando o RAMS em sua forma bi-dimensional, simula situações de interesse com o intuito de verificar o desenvolvimento de circulações locais e a ocorrência de nevoeiro durante o Experimento Meteorológico III (Fevereiro 1989), na Grande São Paulo e imediações. Este autor conclui que:

- i. Quando a circulação de brisa marítima evolui sobre o planalto, a madrugada seguinte experimenta nevoeiros persistentes no planalto;
- ii. Não se verifica nevoeiro quando não ocorre evolução da brisa marítima sobre o planalto (que no caso se deveu a um forte vento de NW à superfície) e
- iii. a presença do nevoeiro de encosta como um segundo tipo de nevoeiro presente nas simulações, formado pela saturação das parcelas de ar que são forçadas a ascender as serras.



*Figura 8*

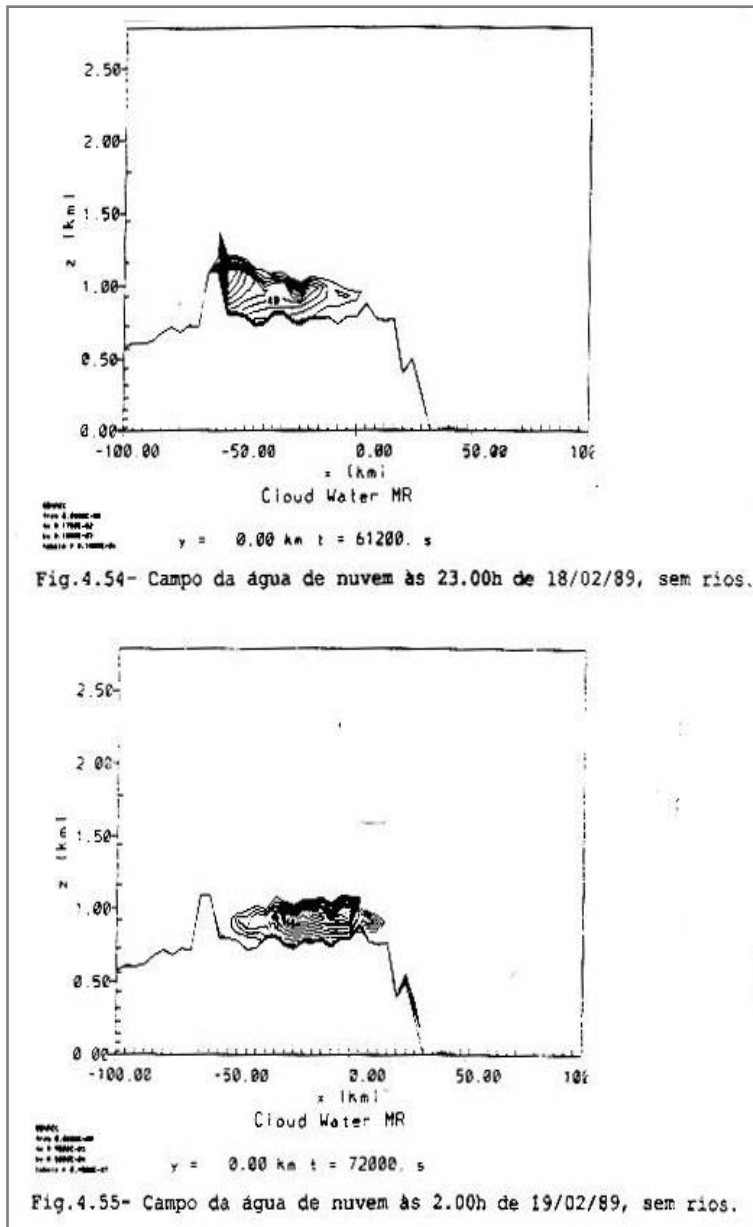


Figura 9



*Figura 10*



*Figura 11*

### **Questionário**

- 1) Fisicamente, como é possível formar nevoeiro?
- 2) Supondo que você acabou de ser abordado por um repórter, como você falaria para um leigo (em 5 segundos!) a causa do nevoeiro?
- 3) Existe um jargão na Meteorologia que diz: "Em dia de nevoeiro pela manhã, faz sol durante o dia." Explique essa afirmação.



- 4) Discuta a relação entre turbulência e nevoeiro.
- 5) Existe uma classificação de nevoeiro: A e B. Qual a diferença entre eles? Dê exemplos dos subtipos, enfatizando o mecanismo de formação, a época do ano e o local característico.
- 6) Por que não existe nevoeiro radiativo sobre o oceano?
- 7) Qual o tipo de nevoeiro ocorre mesmo na presença de ventos fortes? Por que ele ocorre?
- 8) Para prever nevoeiro na região metropolitana de São Paulo, o que se deve levar em conta? (Considere a presença da Serra da Cantareira).
- 9) Qual a diferença entre os nevoeiros pré-frontal, pós-frontal e frontal?
- 10) Por que para analisar o nevoeiro, se usa a imagem de satélite no canal visível?

## **Referências**

Grant, H.D., 1944: Cloud and Weather Atlas, 294 pg, New York.

Matveev - Cloud Dynamics - Cap.3: Models of fog formation.

Jiusto - Fog structure: no livro Hobbs & Deepak – CLOUDS - Their formation, optical properties and effects.

*Sites:*

<http://yabae.cptec.inpe.br/personal/metsat/nevoeiro/nevo00.htm>

<http://www.doc.mmu.ac.uk/aric/eae/Weather/Older/Fog.html>

[http://www.atmos.ucla.edu/ugrads/classes/win99/win99\\_3/scrns/top09/Note05.html](http://www.atmos.ucla.edu/ugrads/classes/win99/win99_3/scrns/top09/Note05.html)