



PRINCÍPIOS DE RADAR

# ***FUNDAMENTOS DO RADAR***

## **CAPÍTULO 4**

**OSWALDO MASSAMBANI, Ph.D.**

Professor Titular

Departamento de Ciências Atmosféricas

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Universidade de São Paulo

São Paulo – Brasil

**Texto básico para a disciplina Meteorologia com Radar**

Departamento de Ciências Atmosféricas

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas- IAG-USP

Universidade de São Paulo



PRINCÍPIOS DE RADAR

# RADAR DE DUPLA POLARIZAÇÃO



PRINCÍPIOS DE RADAR

Outro método para a detecção de **granizo** usa polarização dupla. O radar transmite e recebe sinais lineares polarizados e muda rapidamente entre polarização horizontal e vertical, qualquer uma entre pulsos individuais ou grupo de pulsos.

Unidades de radares polarimétricos mais modernas mandam ambas direções de polarização simultaneamente.

$$ZDR \sim 10 \log (Z_h / Z_v) [dB]$$

*onde:*

**Z<sub>h</sub>** é a potência de retorno recebida do pulso horizontalmente polarizado.

*e:*

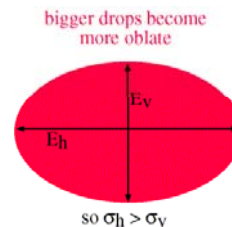
**Z<sub>v</sub>** é a potência de retorno recebida do pulso verticalmente polarizado.



PRINCÍPIOS DE RADAR

Os dois retornos são referentes a  $Z_H$  e  $Z_V$  e desses a refletividade diferencial  $Z_{DR}$  é calculada.

Em chuva moderada a forte as gotas de chuva são grandes e conforme caem ficam achatadas até se tornarem esferóides **oblate**, apresentando um eco mais forte para a polarização horizontal.



A constante dielétrica de gelo sólido é aproximadamente 20% da constante da água e portanto a forma da partícula tem um efeito muito menor no granizo do que na chuva. Partículas granizo também achatam conforme caem, portanto ZDR será pequeno.

granizo é identificado por  $Z_H$  alto e ZDR baixo. Se mesmo os resultados de ZDR forem menores do que deveriam aparecer (ou um valor negativo de deciBel), este é um típico sinal para pedras de granizo. Somente esses podem cair na orientação vertical finalmente!



PRINCÍPIOS DE RADAR

## DERIVAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO POLARIMÉTRICA

Medidas de radar polarimétrico e estimativas de precipitação derivadas deles são sensíveis a forma média das gotas de chuva iluminadas pelo feixe do radar. Gotas oscilantes na atmosfera livre tendem a ser mais esféricas na média do que formas de equilíbrio usadas em muitos estudos.

Um eixo de relação de razão desenvolvido de um número de observações publicadas é:

$$r = 0.9951 + 0.02510D^1 - 0.03644D^2 + 0.005030D^3 - 0.0002492D^4$$

Usando essa relação, medidas disponíveis de disdrômetro, e cálculos de matriz-T do espalhamento na secção transversal, cálculos foram feitos para a refletividade do radar em polarização horizontal (ZH), fase diferencial específica (KDP), refletividade diferencial (ZDR), e a taxa de precipitação (R).

A tabela a seguir de estimativa polarimétricas forma-fixa de precipitação foram então derivadas:

Refletividade do Radar:  $R = 2.62 \times 10^{-2} ZH^{0.687}$

Fase Diferencial Específica:  $R = \text{sign}(KDP) 54.3 |KDP|^{0.806}$

Fase Dif. Espec./Refleti. Dif.:  $R = \text{sign}(KDP) 136 |KDP|^{0.968} ZDR^{-2.86}$

Refletividade do Radar/Refleti. Dif.:  $R = 7.46 \times 10^{-3} ZH^{0.945} ZDR^{-4.76}$



PRINCÍPIOS DE RADAR

# RADAR DE DUPLA FREQUÊNCIA



PRINCÍPIOS DE RADAR

## Radars de Dupla Frequência

Este método requer o uso de dois comprimentos de onda, um longo o suficiente para o espalhamento Rayleigh, e o outro curto o suficiente para o espalhamento Mie, espalhamento para ocorrer na presença de um grande número de hidrometeoros grandes como pedras de granizo.

Comprimentos de onda típicos são 10 cm e 3 cm (banda S e banda X). Se a reflexão em dBZ é similar para ambos os comprimentos, então os ecos são de hidrometeoros pequenos, mas se a reflexão do comprimento de 3 cm é menor que o de 10 cm, então são hidrometeoros grandes.

Este é um indicativo de granizo, pois raramente existem grandes gotas de chuva.

Contudo, erros podem ocorrer com esse método devido à diferença na atenuação nas duas frequências, quanto menor o comprimento de onda, maior a atenuação.

Algoritmos de correção podem ser usados, porém granizo, chuva, neve seca e úmida, todos têm diferentes taxas de atenuação e isso pode distorcer os resultados apresentando uma declaração falsa de granizo.

Radars são desenvolvidos para usar sistemas de banda X e K.



PRINCÍPIOS DE RADAR

# ALVOS EM UMA ATMOSFERA LIMPA





PRINCÍPIOS DE RADAR

## DADOS DE UMA ATMOSFERA LIMPA

Originalmente, ecos de “atmosfera limpa” eram chamados de ecos de “anjos” ou “fantasmas”.

Existem dois possíveis mecanismos de espalhamento:

- Espalhamento de gradientes de índice de refração na escala de  $l/2$

Geralmente se refere a isso como “Espalhamento Bragg”  $\eta \propto \lambda^{-1/3}$

Isso sugere usar comprimentos de onda longos para detectar mais eficientemente gradientes de índice de refração.

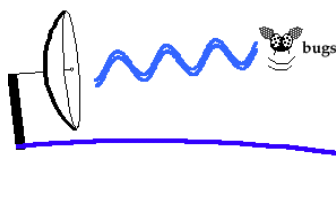
- Espalhamento de partículas de insetos e pássaros

Então tem-se espalhamento Rayleigh onde  $\eta \propto \lambda^{-4}$



PRINCÍPIOS DE RADAR

## O EFEITO DE PÁSSAROS E INSETOS



Para um radar, pássaros são apenas grandes bolas de água com penas. Não é necessário um grande número de pássaros para produzir um bom sinal no radar. Insetos também possuem água, e já que são muito mais pequenos, é necessário um número maior deles para que o sinal seja bom no radar. A secção transversal do radar para pequenos pássaros no comprimento de onda de 10 cm é aproximadamente 10 cm<sup>2</sup>, para pássaros grandes é da ordem de 2000 cm<sup>2</sup> em um curto alcance.

Durante as estações de migração, os pássaros podem encher os níveis mais baixos do radar. Pode haver uma altitude preferida, ou a densidade de pássaros pode decrescer com a altura. O padrão de refletividade terá a forma de um disco ou um anel, centrado no radar.

Insetos representam um grande número de alvos para o radar e estão sempre presentes durante estações quentes. Isso é benéfico aos meteorologistas. Radares Doppler requerem alvos para determinar o movimento do ar.



PRINCÍPIOS DE RADAR

Fora das regiões onde a há precipitação, não haveria alvos se não houvessem insetos.

Os insetos voadores são bons identificadores do movimento do ar, na média eles voam na direção em sentido do vento.

O retorno de insetos permite aos meteorologistas ver a circulação do ar for a das tempestades, na qual em muitos casos é importante para prever novas tempestades.

Os ecos de radar em uma atmosfera limpa será mais comum nos dias em que a baixa atmosfera está instável, assim como quando há presença de termas, ou quando a velocidade do vento aumenta com a altitude logo acima da superfície, pois há turbulência mecânica.

### **EXPERIMENTO DE RADAR PARA INSETOS**

Em um esforço conjunto do US Department of Agriculture e NSSL no final dos anos setenta. USDA estava no processo de especificar um propósito especial para o radar de identificar insetos perigosos em particular e os experimentos determinaram a secção transversal do radar para um grupo de interesse.



PRINCÍPIOS DE RADAR

O time de pesquisadores confinaram os insetos no Campo de Westheimer, esterilizaram eles e os libertaram de um avião de pequeno porte.

Eles interceptaram os insetos com o radar Norman Doppler e dos parâmetros conhecidos do radar, alvo, etc; e concentração de insetos, estimaram a secção transversal do radar.

As secções transversais medidas para o comprimento de onda de 10 cm e polarização horizontal de  $0.25 (10^{-3}) \text{ cm}^2$  para o boll weevil até  $8.1 (10^{-3}) \text{ cm}^2$  ao corn earworm.

A detecção do alvo foi usada em conjunto com outros requerimentos para especificar o desempenho do propósito especial do radar.

O radar comportou-se bem e foi usado em vários experimentos, a maioria na área do "Big Bend" no Texas.

Em outros experimentos foi usado para monitorar e rastrear migração de insetos. Posteriormente, migração foi relacionada com as condições de tempo (observações de superfície, soundings, etc) das quais modelos de previsão foram desenvolvidos.

Os modelos são usados para a proteção da plantação, como um dispositivo para apontar quando aplicar os pesticidas e aonde aplicá-los.



PRINCÍPIOS DE RADAR

## TURBULÊNCIA

A turbulência fornece uma outra maneira para o retro-espalhamento de uma onda eletromagnética emitida pelo radar. A turbulência está associada com as variações na densidade de atmosfera.

Quando as variações na densidade ocorrem na escala de meio comprimento de onda do radar, a energia é espalhada por um processo chamado difração.

A velocidade na qual a onda eletromagnética viaja entre o radar e o alvo é dependente do índice de refração da atmosfera entre o radar e o alvo.

Pequenas variações no tempo, que o sinal leva do radar ao alvo fixo e voltar, estão relacionadas a pequenas variações no índice de refração causado por mudanças na umidade, temperatura e pressão.

A medição do índice de refração, portanto abre a possibilidade de extrairmos informação das condições de superfície (especialmente a umidade) pelo radar.

Usando a informação de alvos de superfície e sua evolução no tempo como uma aproximação do tempo de viagem das ondas de radar, um procedimento para medidas de índice de refração próximas à superfície nas proximidades do radar foram demonstradas e implementadas.



PRINCÍPIOS DE RADAR

## Um exemplo do J.S. Marshall Radar Observatory Univerdidade McGill

O resultado do trabalho em conjunto entre McGill e NCAR pode ser, a qualquer momento, implementado para qualquer radar Doppler, com o oscilador local estável do transmissor (STALO) com uma precisão abaixo de 0.25 ppm, frequência estável para longos períodos (meses ou alguns anos) e que as fases dos alvos sejam medidas.

Medidas precisas dos campos dos índices de refração em um raio de uns dez quilômetros do radar (onde alvos de superfície podem ser observados) estão sendo realizados, e contrastes na refratividade associadas a passagens frontais e fluxos das tempestades têm sido observadas (Fabry et al. 1997). Ocasionalmente, o começo da convecção ocorre nos limites altos da refratividade.

Uma avaliação desses contrastes de refratividade na área de Montreal (Creese 1999) apresenta que 74% da variabilidade na refração é causada pela variabilidade na mistura.



PRINCÍPIOS DE RADAR

Então, se uma suposição razoável é feita para a temperatura e pressão na área observada, campos de mistura podem ser obtidos com precisão de  $0.3^{\circ}\text{C}$  no ponto de orvalho.

O produto da refratividade (ou índice de refração) usa a fase dos alvos de superfície para detectar pequenas mudanças na velocidade das ondas do radar entre o radar e os alvos de superfície.

Dessa informação a refratividade do ar próxima à superfície é determinada.

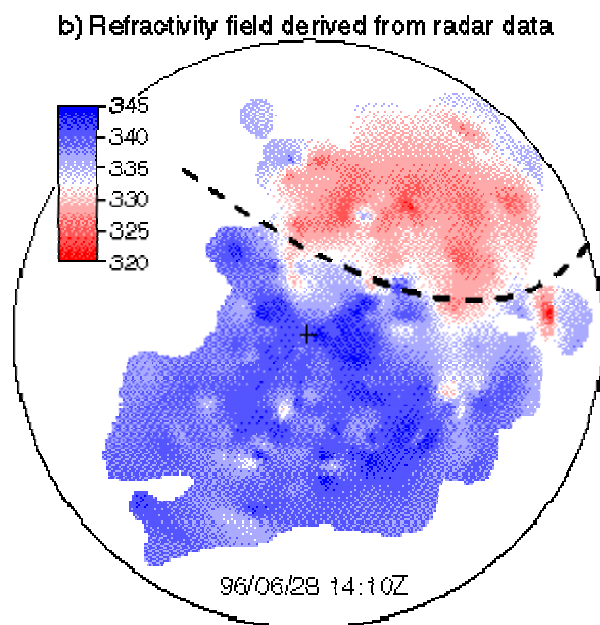
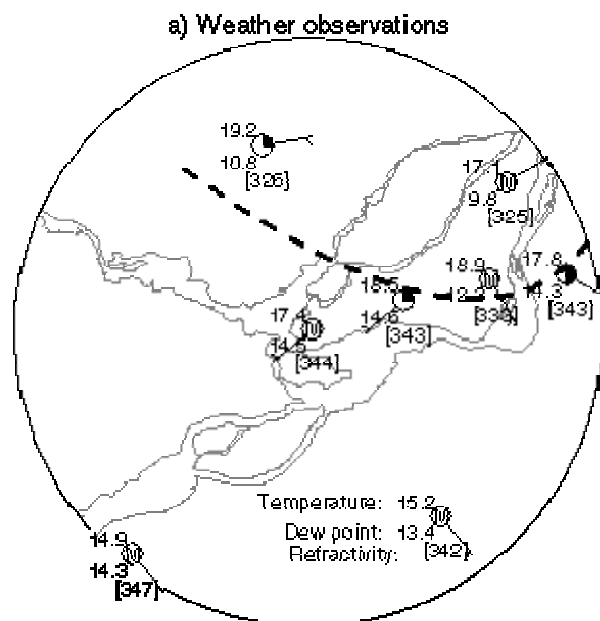
Como a refratividade está relacionada com a densidade do ar (e portanto também a temperatura) e especialmente com a mistura, a medida da refratividade pode fornecer informações valiosas sobre as condições de superfície em volta do radar.

Devido ao limite para o qual alvos de superfícies podem ser observados, o máximo alcance útil da medida da refratividade é da ordem de 30 a 40 km.

A informação do valor do campo de refratividade para fins meteorológicos ainda está sendo avaliado já que esse produto foi desenvolvido recentemente.



PRINCÍPIOS DE RADAR



Neste exemplo, o campo medido da refratividade por um radar está contrastado com observações simultâneas do tempo em um raio de 45 km. Duas massas de ar podem ser identificadas, uma mais seca ao norte (temperatura do ponto de orvalho de 10°C) e uma mais úmida ao sul (14°C de temperatura do ponto de orvalho).

A refratividade é computada usando observações de superfície (mostradas dentro dos parêntesis no último slide) combinam bem com a refratividade medida pelo radar.

Enquanto uma medida de um gradiente de mistura possa ter sido inferida por informações de superfície, a medição da refratividade pelo radar permite a determinação precisa da posição do limite entre as duas massas de ar (mostradas com a linha pontilhada).





PRINCÍPIOS DE RADAR

# CONTROLE DE QUALIDADE DA REFLETIVIDADE DO RADAR – DADOS DE PRECIPITAÇÃO



PRINCÍPIOS DE RADAR

Dados da refletividade do radar estão sujeitos a muitos contaminantes. Nem toda a refletividade corresponde a um tempo “verdadeiro”.

É importante remover o maior número possível desses problemas e fornecer um campo limpo para aplicações em rastreamento do tempo e estimativa de precipitação. **Algoritmos de Estimativa de Precipitação Quantitativa - Quantitative Precipitation Estimation (QPE) precisam de Dados com alto controle de qualidade.**

Entre os problemas que a refletividade está sujeita, estão:

**Clutter de Superfície (Ground clutter)** – Como o feixe do radar está em baixas alturas, próximo ao radar, clutter de superfície pode contaminar o eco perto da superfície.

**Propagação Anômala (Anomalous propagation)** – Mesmo que o feixe do radar esteja apontado para cima, em certas condições atmosféricas, o feixe pode ser movido para baixo e acaba medindo prédios altos ou a superfície.



PRINCÍPIOS DE RADAR

## **Espalhamento e atenuação do feixe**

Ambos combinam para produzir uma amostra muito ruim de tempestades distantes do radar.

## **Contaminação de banda Brilhante**

Assim que o feixe atravessa a camada de derretimento, a refletividade é inclinada para cima, na maioria das vezes para mais de 5dBZ.

## **Calibração e manutenção do receptor**

Processo adequado de calibração incluindo fatores de perda e estratégias de controle, com a calibração regularmente monitorada do sistema de um ponto central – também é fundamental para Doppler.

## **Intercomparação quantitativa**

Usando uma rede de dados de radar ou outros sensores de medida



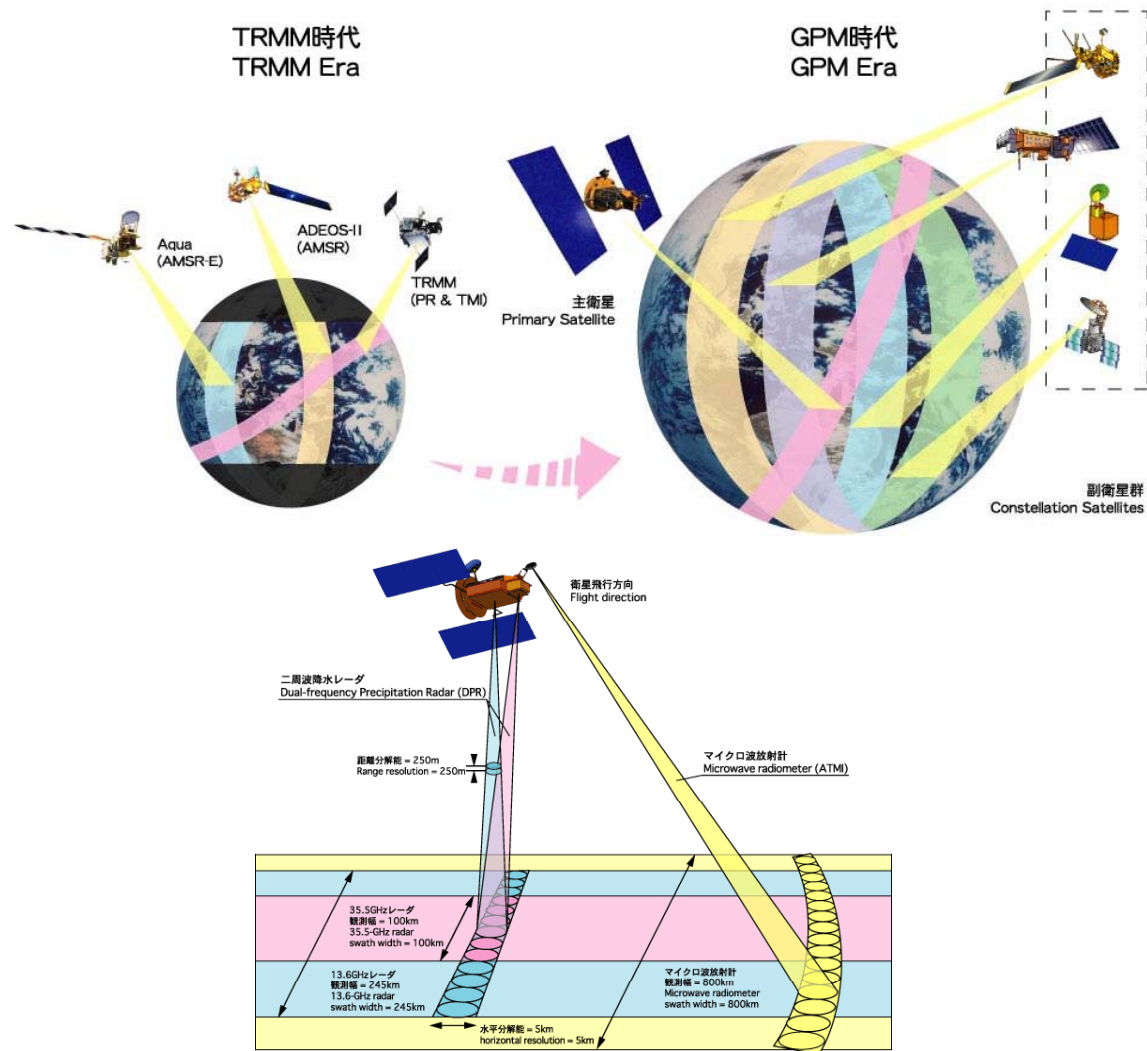
PRINCÍPIOS DE RADAR

# RADARES NO ESPAÇO



PRINCÍPIOS DE RADAR

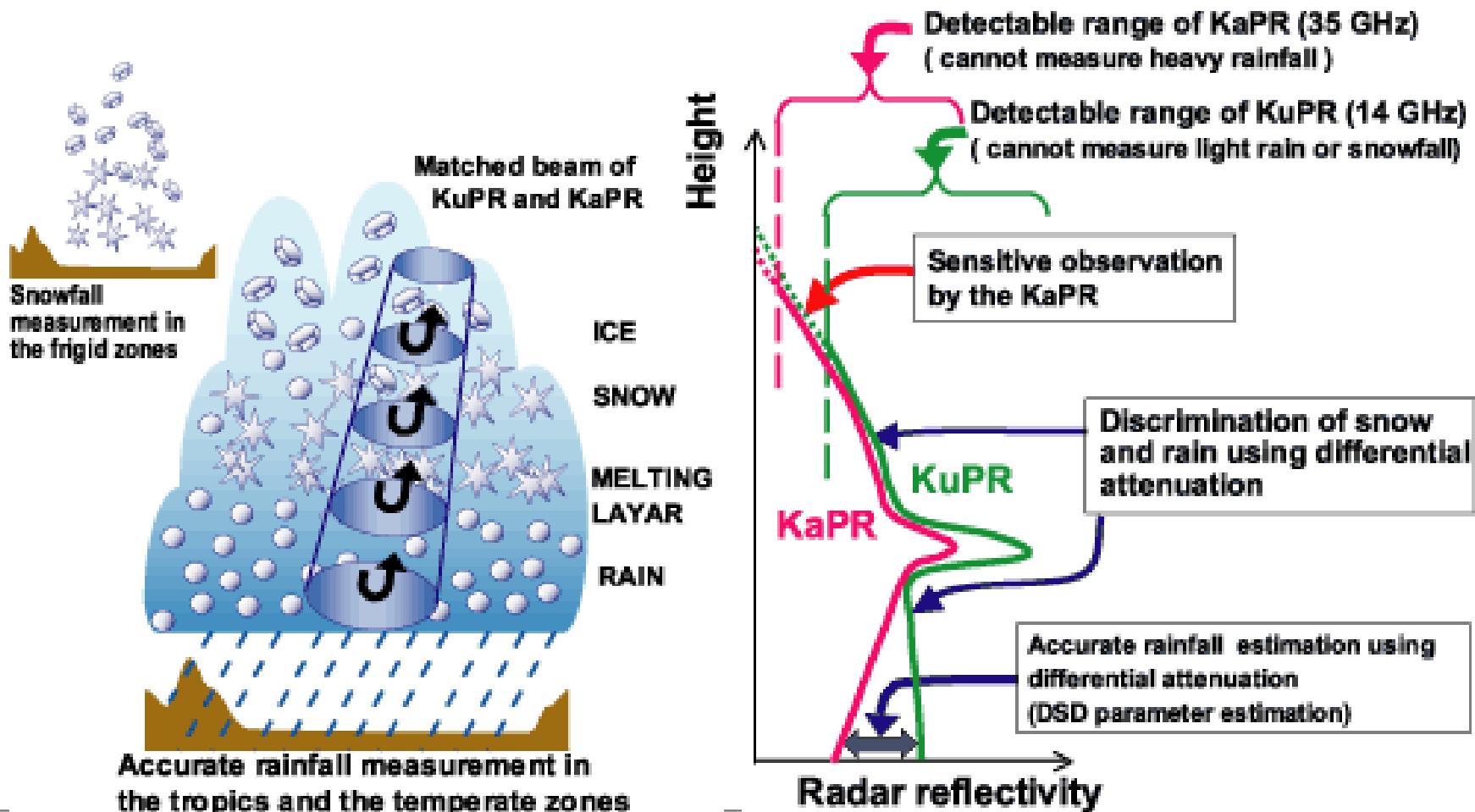
# Medida da Precipitação Global Global Precipitation Measurement (GPM) Conceito de Observação





PRINCÍPIOS DE RADAR

# Medição de Precipitação com Radar de Precipitação de Dupla Frequência



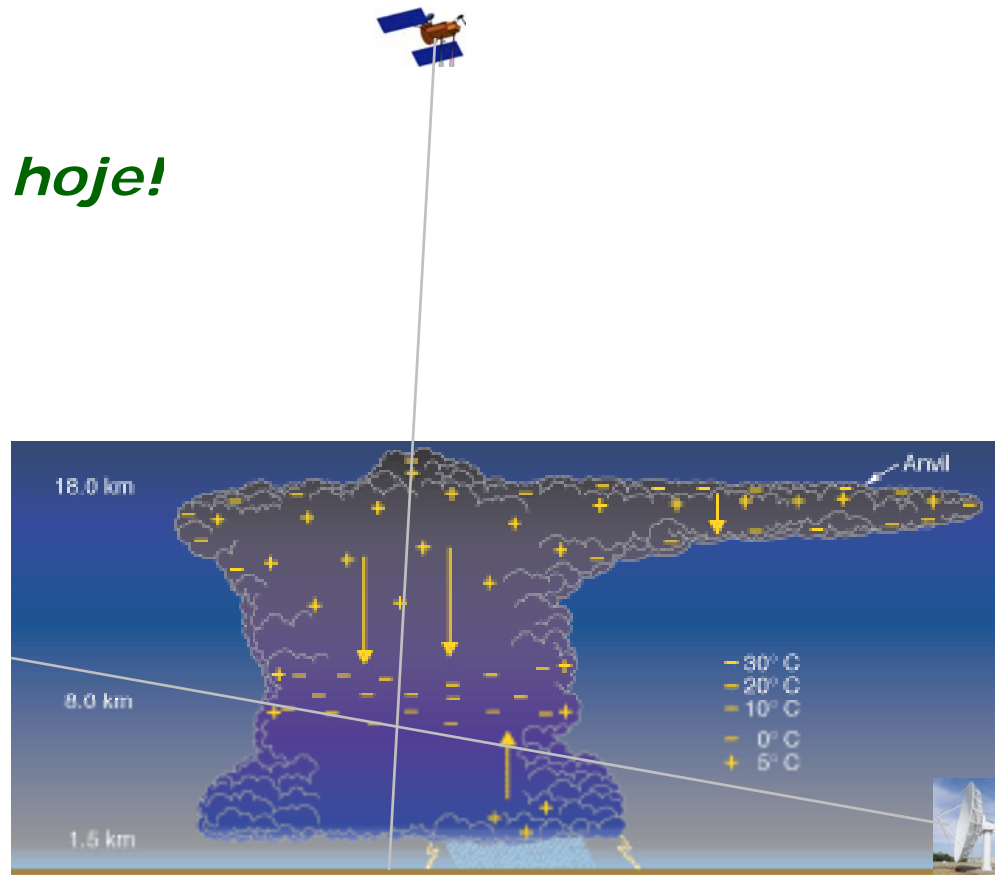


PRINCÍPIOS DE RADAR

*“O trabalho de Battan, Bowen, e outros pioneiros em meteorologia por radar mudou todo o campo de física de nuvens, resolvendo antigos quebra-cabeças, porém criando novos o suficiente para manter seus sucessores ocupados por décadas”*

*W.F. Hitschfeld, McGill University 1986*

*...ainda válido hoje!*





PRINCÍPIOS DE RADAR

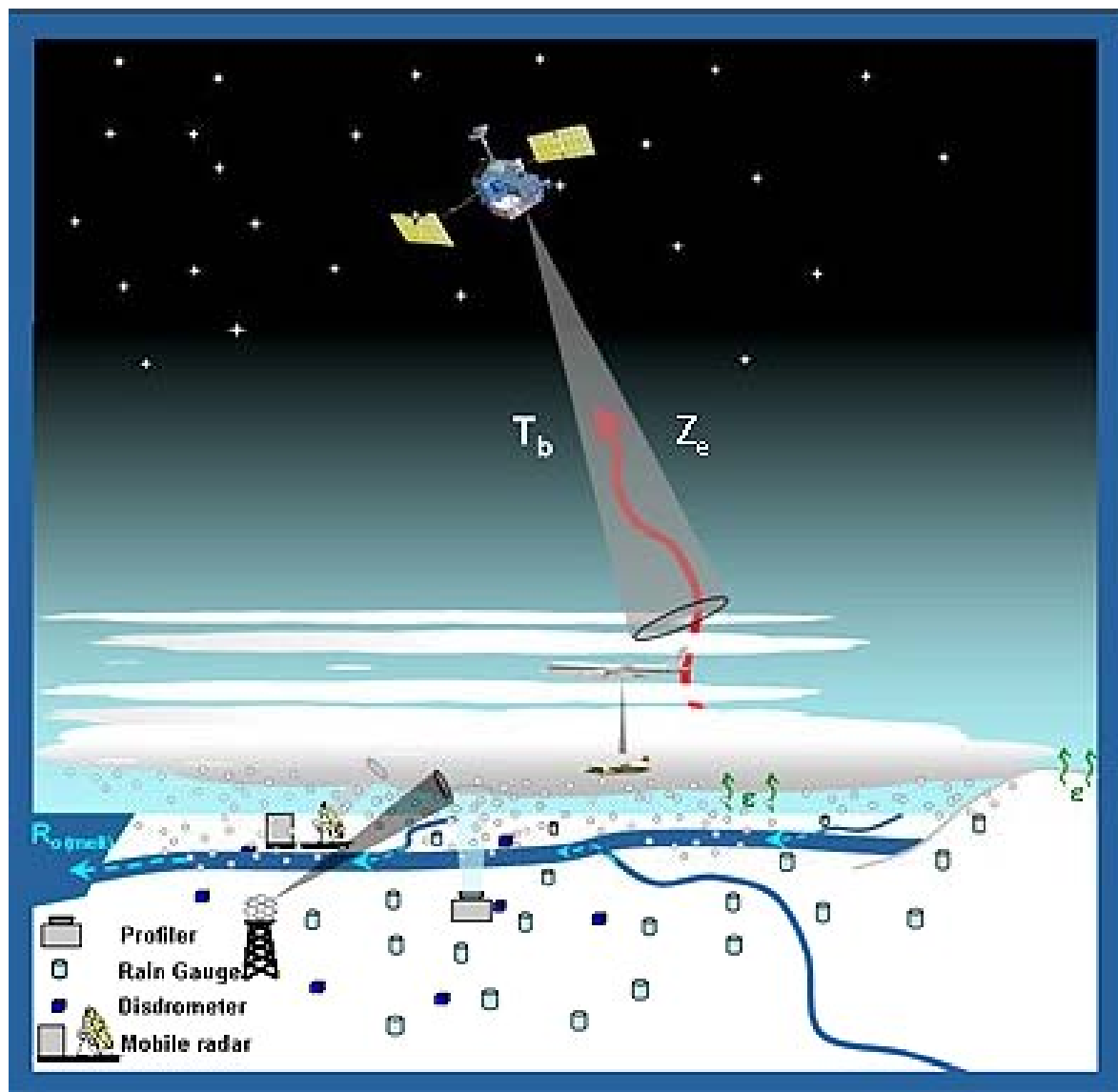
# **Tecnologias para o sensoriamento remoto da atmosfera**





PRINCÍPIOS DE RADAR

## As tecnologias para o sensoriamento da atmosfera





PRINCÍPIOS DE RADAR

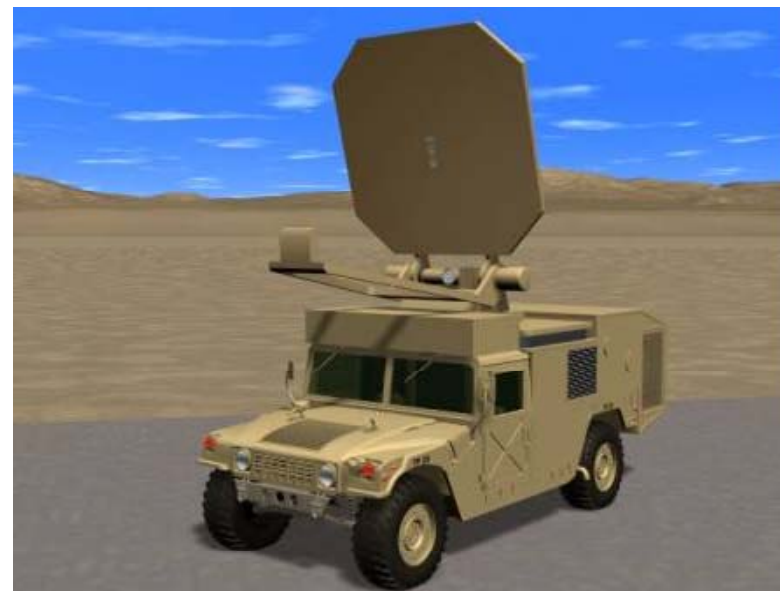
# Aplicação militar



PRINCÍPIOS DE RADAR

## Spin-off das tecnologias de sensoriamento remoto

### Vehicle-Mounted Active Denial System (V-MADS)



Active Denial Technology uses a transmitter to send a narrow beam of 95-GHz millimeter waves towards an identified subject. Traveling at the speed of light, the energy reaches the subject and penetrates less than 1/64 of an inch into the skin, quickly heating up the skin's surface. The 95-GHz energy penetrates 1/64 inch into the skin and produces an intense burning sensation that stops when the transmitter is switched off or when the individual moves out of the beam. Within seconds, an individual feels an intense heating sensation that stops when the transmitter is shut off or when the individual moves out of the beam. According to reports, a 2-second burst from the system can heat the skin to a temperature of 130° F. At 50 °C, the pain reflex makes people pull away automatically in less than a second. Someone would have to stay in the beam for 250 seconds before it burnt the skin,