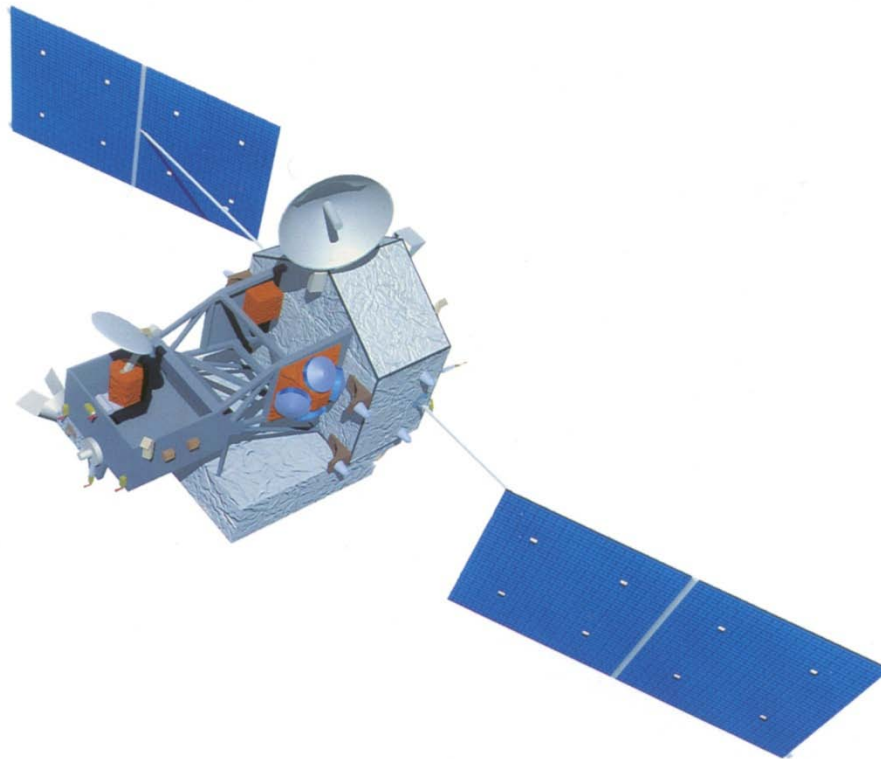


Tropical Rainfall Measuring Mission (*TRMM*)

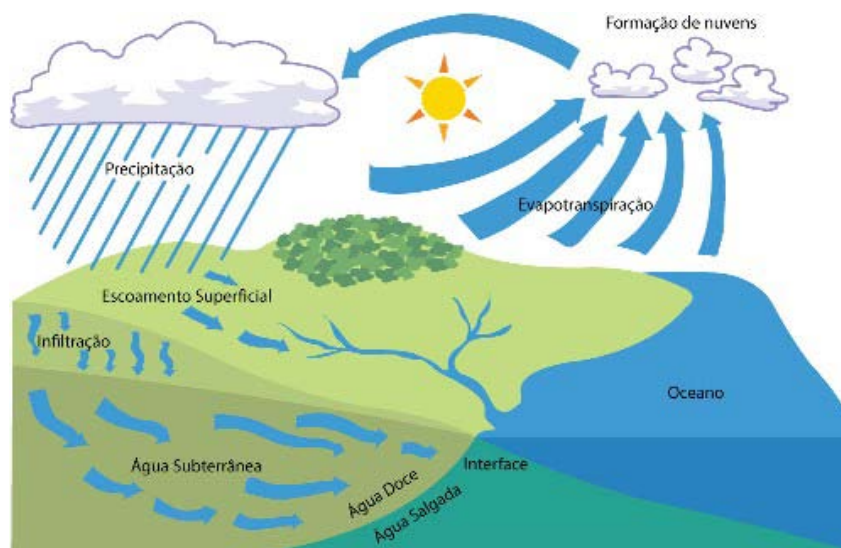
(“Missão para medição de chuva tropical”)



Prof. Dr. Carlos Augusto Morales (DCA/IAG/USP) – morales@model.iag.usp.br
Dra. Rachel Ifanger Albrecht (DSA/CPTEC/INPE) – rachel.albrecht@cptec.inpe.br

Objetivos do TRMM

- TRMM é um satélite de pesquisa desenvolvido para ajudar o entendimento do ciclo da água em nosso sistema climático atual. Cobrindo as regiões tropicais e semi-tropicais da Terra, o TRMM fornece dados muito importantes sobre a chuva e a liberação de calor associada com a formação da precipitação.



- O TRMM não vai sozinho fornecer a solução para o debate sobre mudanças climáticas, ele irá, no entanto, contribuir para a nossa compreensão de como as nuvens afetam o clima e quanta energia é transportada no ciclo global da água. Em coordenação com os outros satélites da NASA em missão para o Planeta Terra, o TRMM começará o processo de compreensão das interações entre o vapor de água, nuvens e precipitação, que é o elemento principal para a regulação do sistema climático.

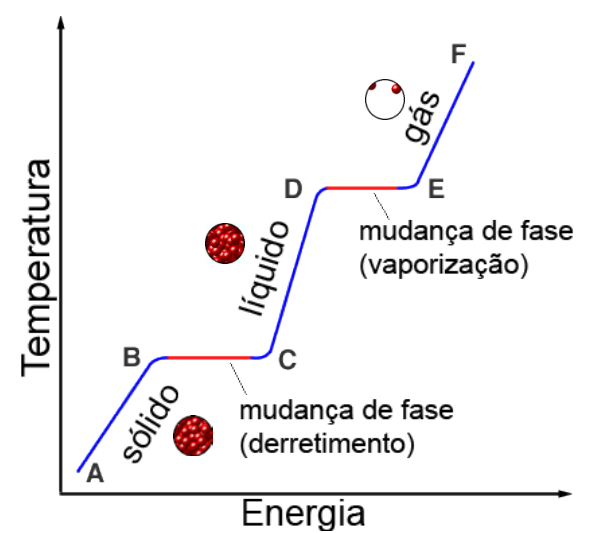
Introdução

- O balanço energético da atmosfera global mostra que apenas cerca de $\frac{1}{4}$ da energia necessária para impulsionar a circulação atmosférica global vem da **energia solar direta**. Os outros $\frac{3}{4}$ da energia é transferida para a atmosfera por **evaporação de água**, principalmente a partir do oceano.



- Energia Solar
- Evaporação da água

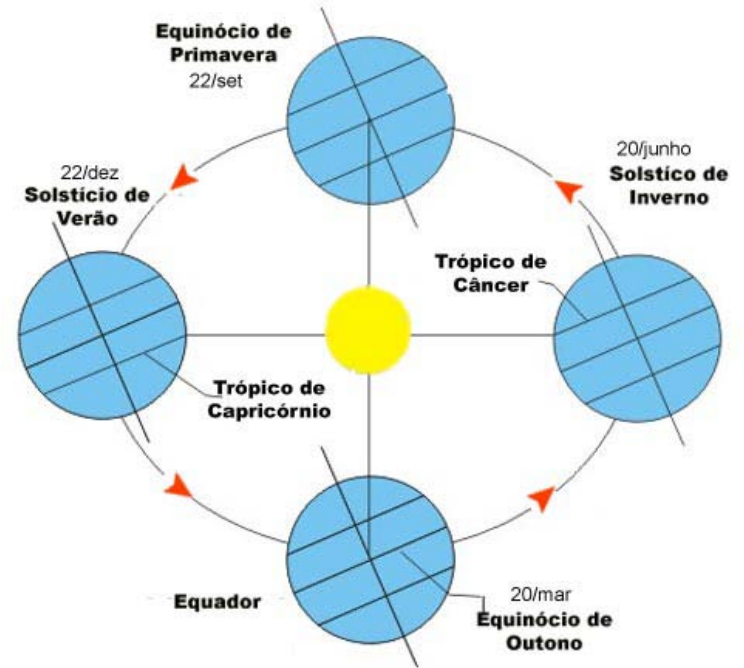
- O vapor de água que ascende da superfície para a atmosfera traz consigo a energia necessária para transformar a água líquida em vapor de água – o chamado **"calor latente"** de evaporação.
- Mas o que é "calor latente"?
 - Quando a água ferve, ela absorve calor para evaporar. Quando o processo reverso ocorre, ou seja, quando o vapor condensa, ele deve liberar o calor que absorveu para evaporar.



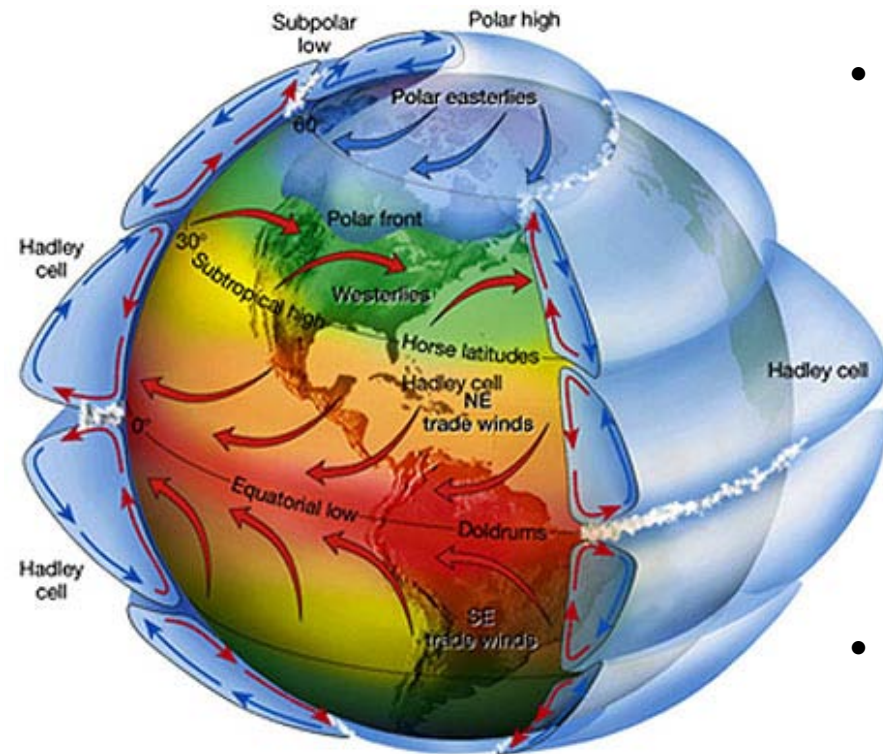
- A maior parte deste calor latente é libertado para a atmosfera quando o vapor d'água se condensa para formar gotículas de nuvens.
- Essa energia de **calor latente** contida nas nuvens, não pode ser vista ou medida diretamente. Porém, a chuva é o produto final dessa liberação de energia, e **chuva** nós conseguimos medir!
- A evaporação necessita de altas temperaturas (e maior incidência de raios solares), assim há mais evaporação e conseqüentemente mais formação de nuvens nos Trópicos.
- Logo, as **chuvas dos Trópicos** são responsáveis por $\frac{3}{4}$ da energia que impulsiona a **circulação atmosférica global**, podendo ser chamadas de a **"Motorista da Máquina do Clima Global"**. Infelizmente, ainda existem incertezas de até 50% na quantidade de chuva tropical. A menos que possamos definir melhor a quantidade de chuva e a energia liberada por ela, teremos pouca chances de testar os modelos climáticos e ganhar confiança em suas previsões.

- **Mas o que é a circulação atmosférica?** A radiação do Sol e o movimento de rotação da Terra geram a circulação atmosférica:
 - O ar na atmosfera nunca está parado. Seu movimento horizontal e vertical, a "circulação atmosférica", é regido por leis físicas complexas, dos quais as mais importantes são a **forçante radiativa** e a **conservação de energia**.
 - A **forçante radiativa** é a ação sobre a atmosfera da radiação de ondas curtas do sol e do calor de onda longa da superfície da Terra. Essas duas principais fontes de energia são exercidas de forma desigual em diferentes partes do globo, e têm efeitos diferentes sobre as diversas regiões e as diferentes camadas da atmosfera.
 - A **conservação da energia** é a lei básica que exige que qualquer calor ou energia presente na atmosfera não podem desaparecer, mas deve ser usada com o movimento do ar ou armazenada por evaporação ou condensação, ou outros processos físicos.
 - Além disso, a **topografia da superfície** desempenha um papel importante: por exemplo, montanhas podem bloquear o vento horizontal, e assim podem forçar as massas de ar empurradas contra ela a subir, etc..
 - Finalmente, a **força de Coriolis**, devido à rotação da Terra sobre seu eixo, força qualquer fluxo de vento existente a desviar para à esquerda da sua posição original no Hemisfério Sul (para à direita no Hemisfério Norte).

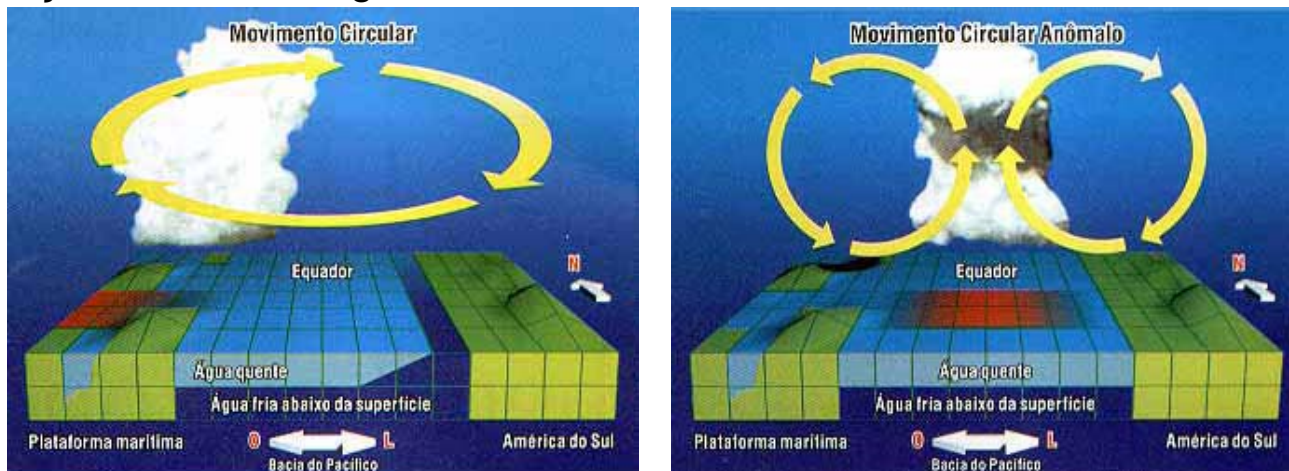
- Assim, os dois mais importantes fatores que geram fluxo de ar (isto é, vento) são:
 - a grande variação do ângulo dos raios do Sol entre o Equador e os Pólos, que é a pre-cursora das estações do ano, e
 - as diferenças significativas de temperatura dos oceanos e dos continentes (calor específico da água é muito maior que dos continentes), o que determina mudanças sazonais muito mais rápidas na terra (continentes) do que nos oceanos.



- A variação na radiação solar entre o Equador e os Pólos, e o associado gradiente de temperatura norte-sul, produzem uma circulação "zonalmente simétrica" (ou seja, independente da longitude). Em direção aos pólos, essa circulação norte-sul se torna progressivamente mais fortemente afetada pela força de Coriolis (que a desvia para a esquerda ou direita, dependendo do hemisfério) e desenvolve uma componente zonal (leste-oeste), até que em latitudes mais elevadas a circulação torna-se principalmente zonal.
- O desequilíbrio térmico entre os oceanos e continentes, juntamente com a topografia, são responsáveis por assimetrias zonal na circulação.



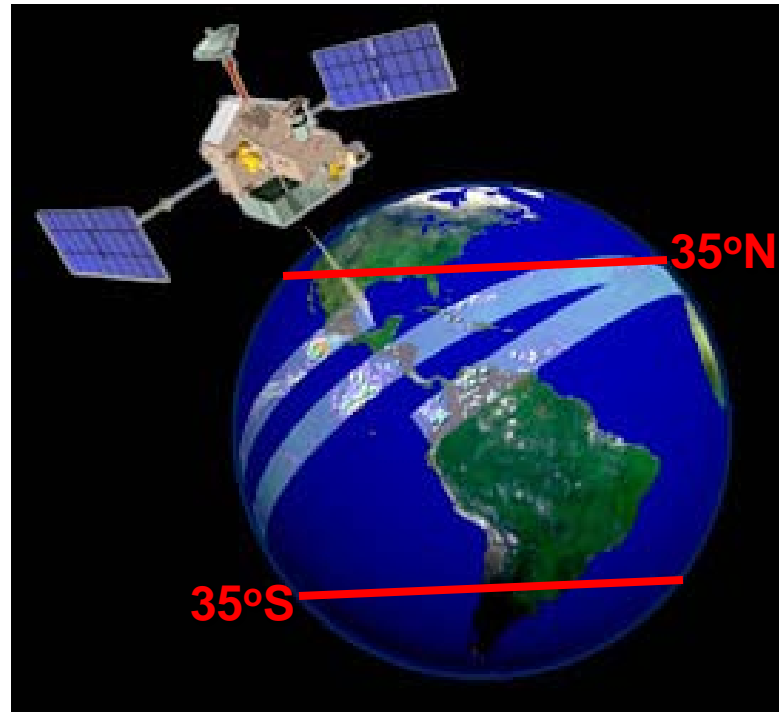
- E como a chuva afeta a **circulação atmosférica**?
 - O calor latente liberado pela condensação do vapor de água faz com que o ar ao seu redor a se expanda, criando bolsas de baixa pressão em níveis mais baixos da atmosfera (onde o ar se expandiu e se tornou mais leve), e bolsas de alta pressão em níveis superiores (ar que é empurrado para cima pela expansão de baixos níveis).
 - Fora dos trópicos, esse efeito é muito menos importante para a evolução do clima, onde o gradiente de temperatura meridional (norte-sul) é mais importante.
 - Nos trópicos, o gradiente de temperatura meridional é bem menor e as variações de pressão devido à liberação de calor latente pela formação de chuva é dominante, se tornando o grande impulsionador da circulação tropical.
 - Além disso, esses centros tropicais de alta pressão em níveis altos da atmosfera controlam as zonas de convergência e divergência da atmosfera, e modificam faixas tempestade de latitudes médias. Por exemplo, o fenômeno El Niño (conhecido como o aquecimento das águas do Pacífico Central), fornece calor para a formação de um centro de baixa pressão e nuvens, modificando a circulação atmosférica global.



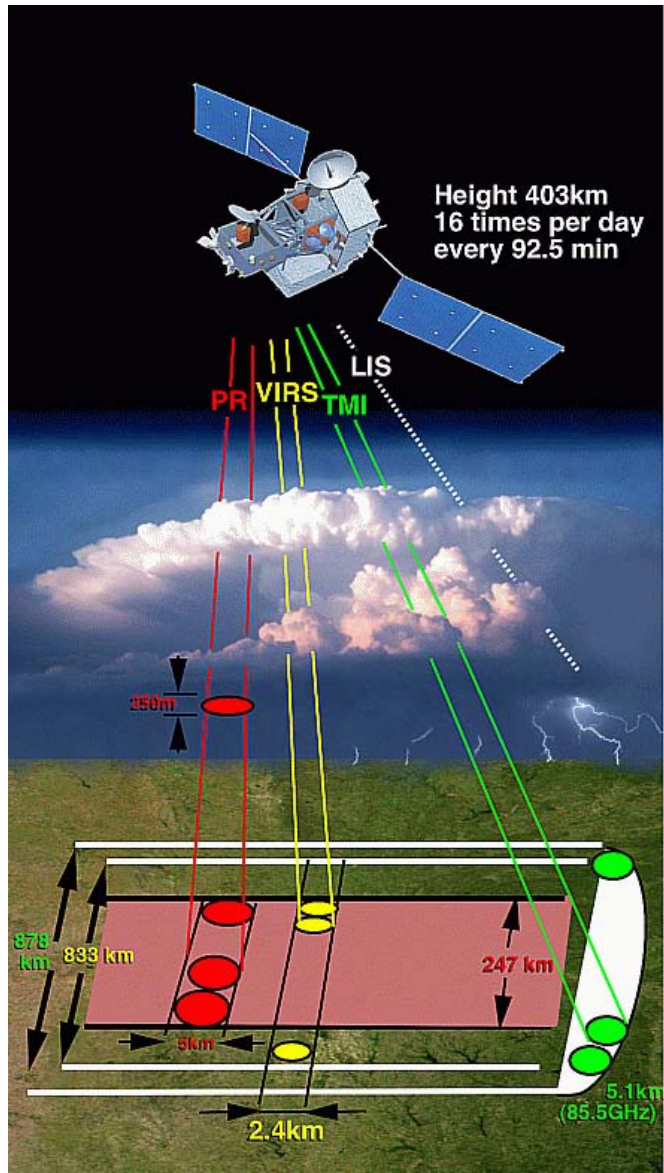
- **Ao medir o perfil de chuva em função da altitude, o satélite TRMM está fornecendo medidas do aquecimento por calor latente. Esta é a primeira estimativa confiável já feita ao longo dos trópicos.**

O satélite TRMM

- O satélite TRMM foi lançado em Novembro de 1997, e está operando até hoje.
- Ele orbita a Terra em um altitude de 405 km com uma órbita muito inclinada entre 35°N e 35°S de latitude.
- Os sensores do satélite TRMM varrem um caminho com larguras de várias centenas de quilômetros, monitorando a maior parte dos Trópicos todos os dias (~3 vezes por dia).



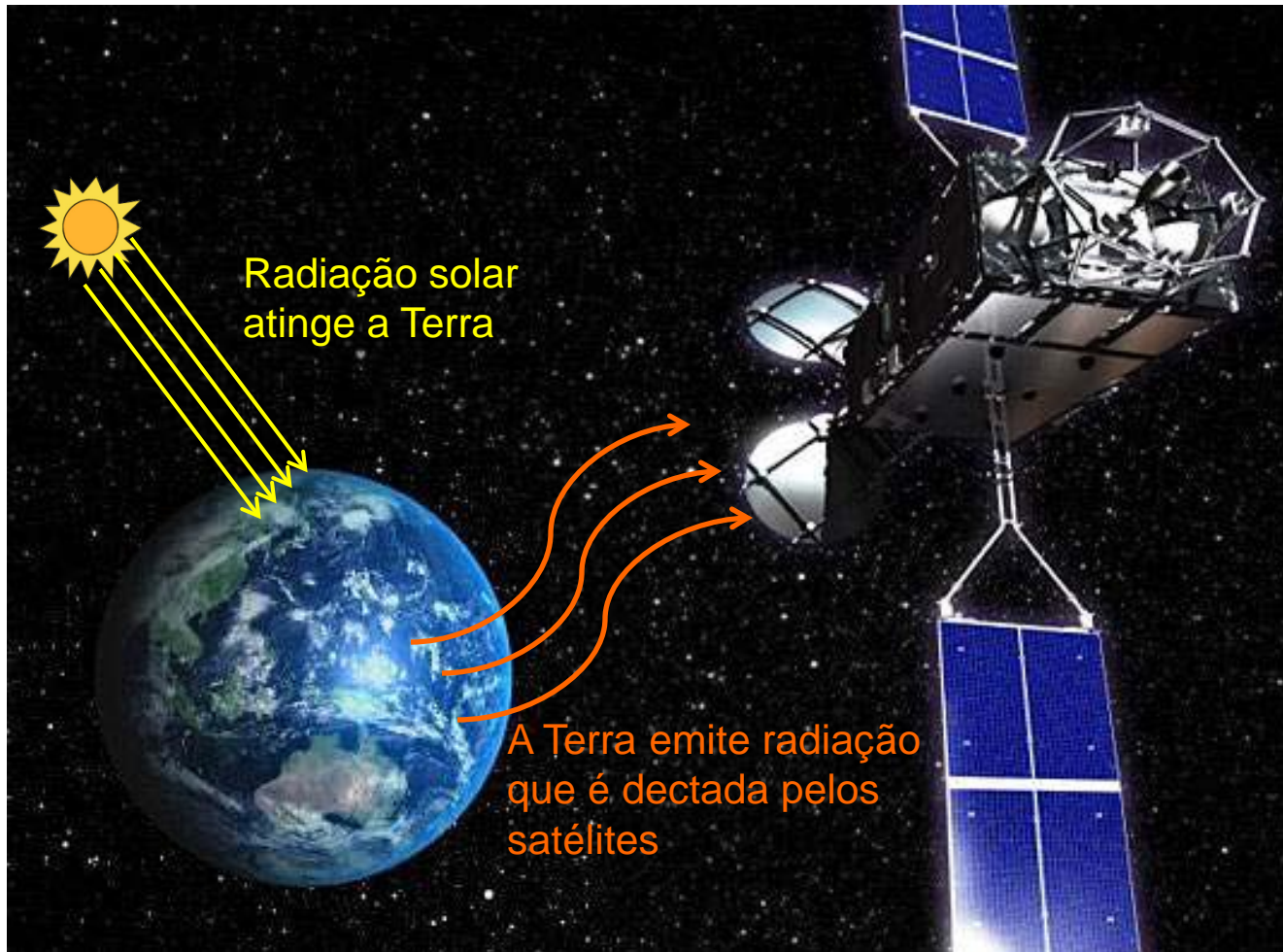
Os sensores do satélite TRMM



- **Visible Infrared Radiometer (VIRS):**
 - É um radiômetro de varredura de faixa transversal **passivo**, com cinco canais centrados nos comprimentos de onda 0,63, 1,6, 3,75, 10,8 e 12 μm , que fornece observações de alta resolução da cobertura de nuvens, do tipo de nuvem, e da temperatura do topo da nuvem.
- **TRMM Microwave Imager (TMI):**
 - É um radiômetro de microondas **passivo**, com multi-canais: 10,65, 19,35, 37,0 e 85,5 GHz com polarização vertical e horizontal, e 22,235 GHz com polarização apenas vertical. O TMI fornece informações sobre o conteúdo integrado da coluna de precipitação, água líquida de nuvem, gelo de nuvem, intensidade da chuva, e os tipos de precipitação (por exemplo, ou convectiva estratiforme).
- **Precipitation Radar (PR):**
 - O primeiro de seu tipo no espaço, é um radar de varredura eletrônica (**sensor ativo**), operando em 13,8 GHz que mede a distribuição da precipitação em 3-Dimensões, e define a profundidade da camada de precipitação.
- **Lightning Imaging Sensor (LIS):**
 - É um sensor óptico (**passivo**) que detecta e localiza eventos de raios na faixa do oxigênio neutro (0.777 μm).

Princípio dos sensores passivos

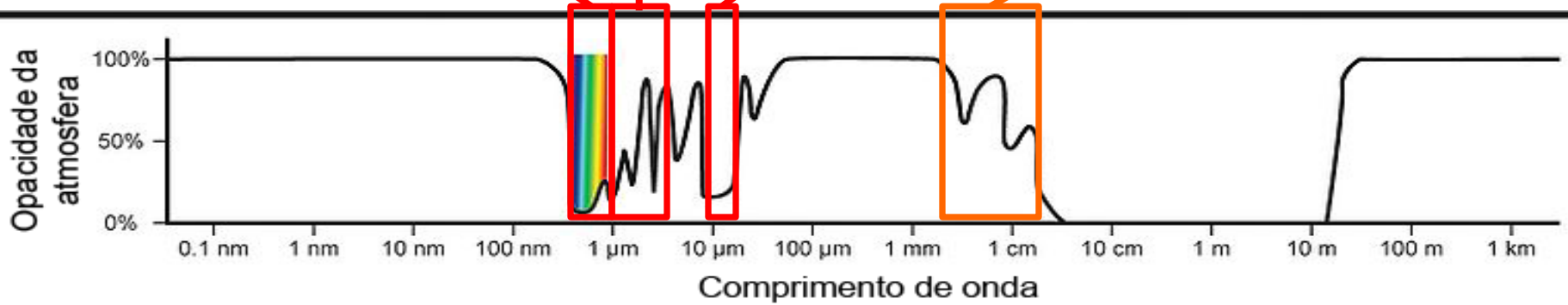
- A radiação solar atinge a Terra, e ela absorve essa radiação. Essa radiação é usada para aquecê-la e alimentar a circulação atmosférica e formação de nuvens. A Terra e seus elementos (solo, nuvens, etc.) emitem, então, radiação em vários comprimentos de onda (i.e., infra-vermelho, microondas, etc.) que são detectados pelos satélites.



Princípio dos sensores passivos

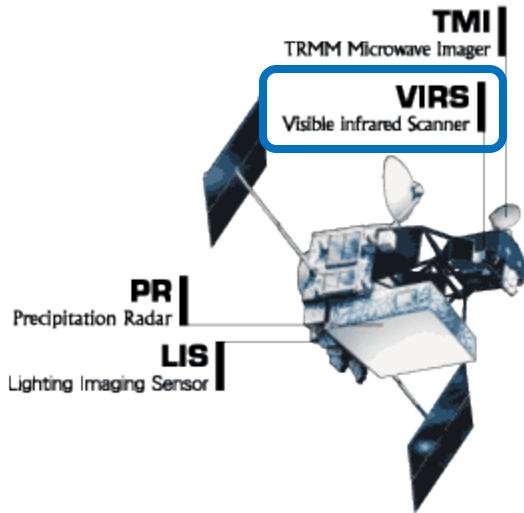
VIRS: Infra-Vermelho próximo, Visível, Infra-Vermelho

TMI: Microondas



Visible Infrared Radiometer -VIRS

- No **infra-vermelho** a radiação não penetra as nuvens, logo o satélite está medindo a emissão do topo da nuvem (ou seja, valores integrados na coluna).



↑ $\phi_{\text{nuvem}} \sim \epsilon \sigma T_{\text{nuvem}}^4$

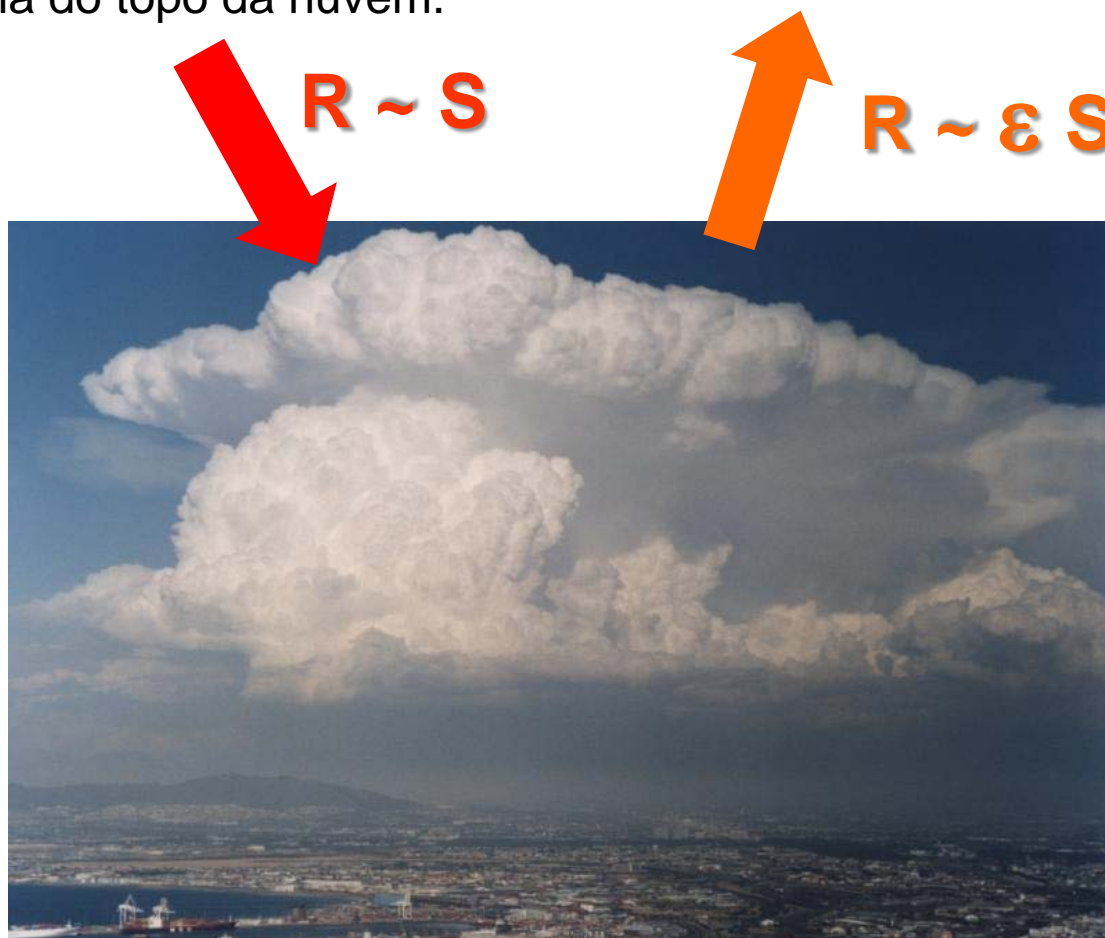


↑ $\phi_{\text{solo}} \sim \epsilon \sigma T_{\text{solo}}^4$

- onde ϕ = radiação emitida
 ϵ = emissividade do corpo
 σ = const. de Stefan-Boltzman
 T = temperatura do corpo

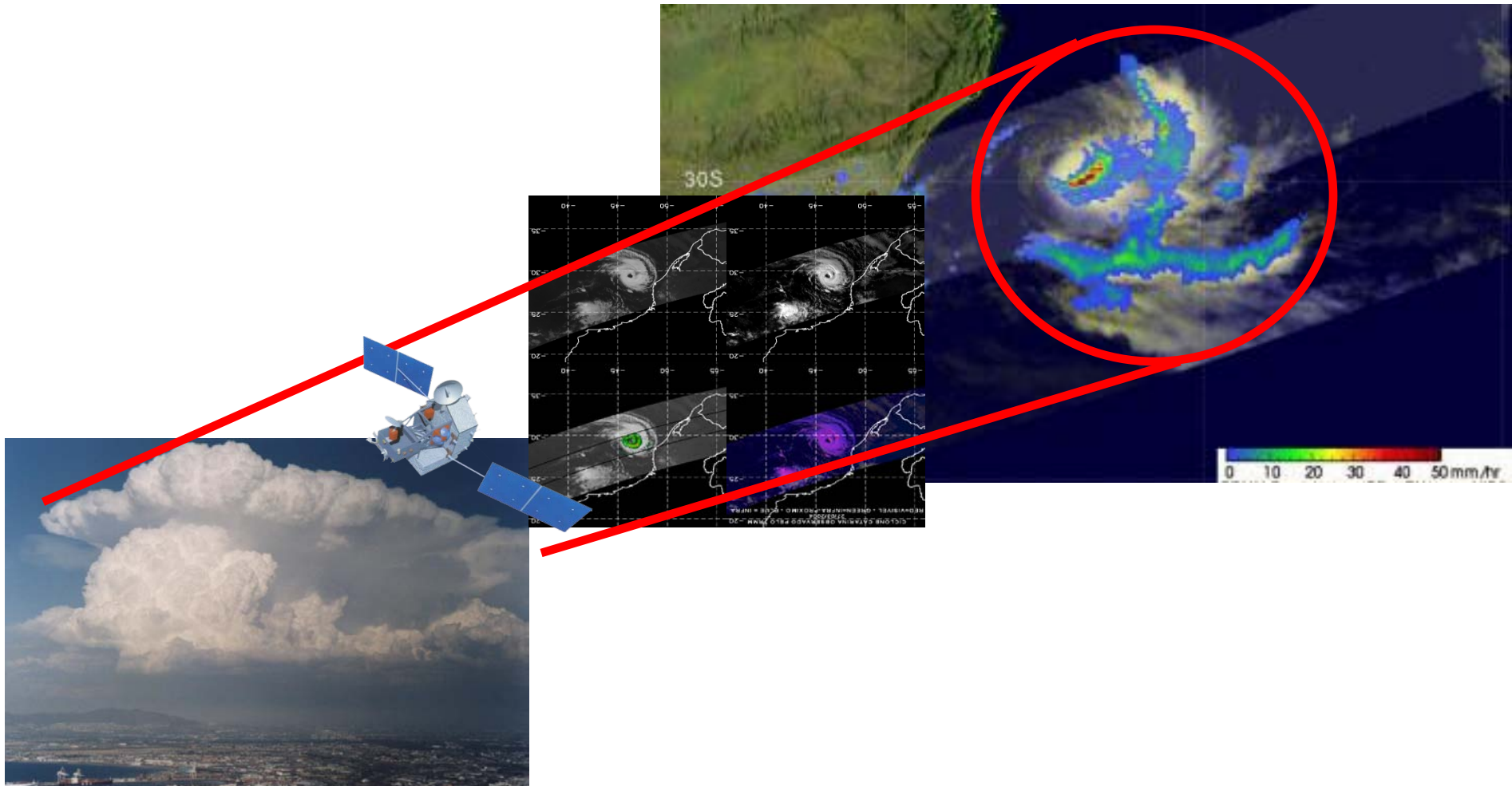


- No **visível** a radiação é refletida pela nuvem, logo o satélite está medindo a refletância do topo da nuvem.



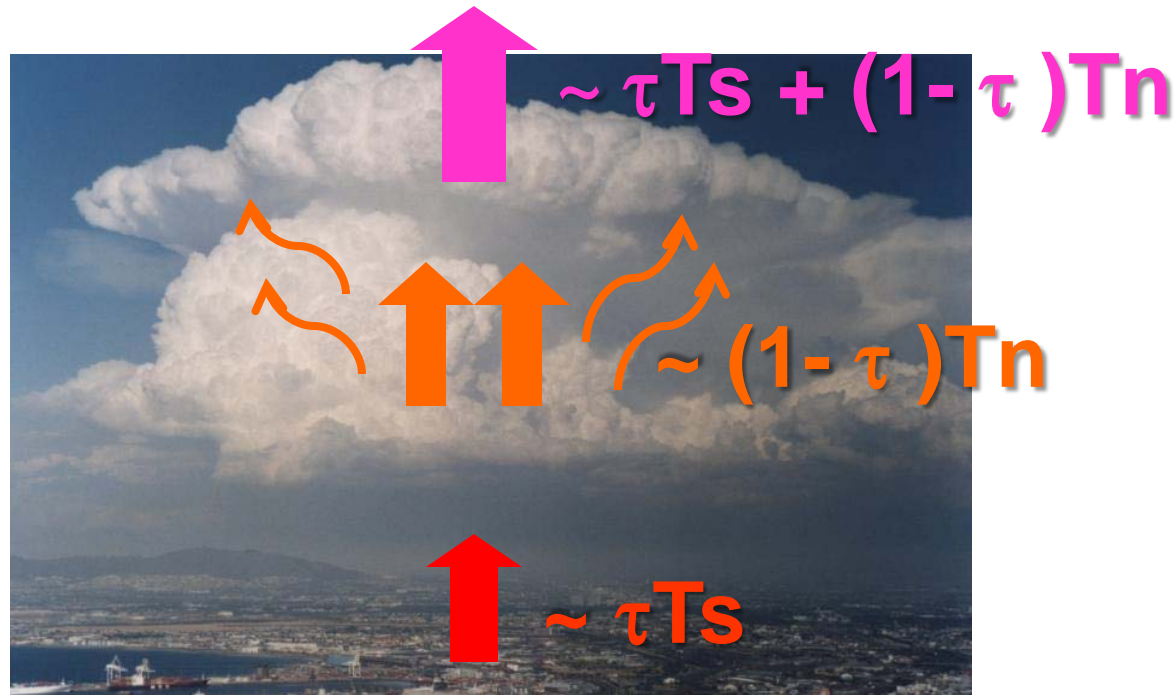
- onde R = refletância do corpo
 S = radiação solar incidente
 ϵ = emissividade do corpo

- Sabemos que nos canais infravermelho e visível temos as informações de temperatura do topo da nuvem e refletância das nuvens:
 - Juntando essas informações em modelos simplificados de nuvens e métodos estatísticos, podemos estimar a precipitação das nuvens em toda sua extensão. Importante: essa estimativa é bi-dimensional, integrada na coluna, uma vez que o satélite “vê” apenas o topo da nuvem.

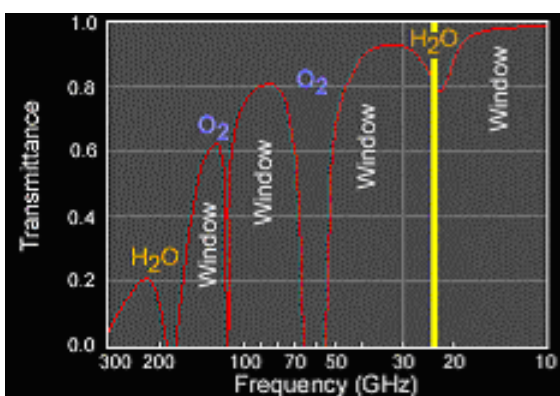


TRMM Microwave Imager - TMI

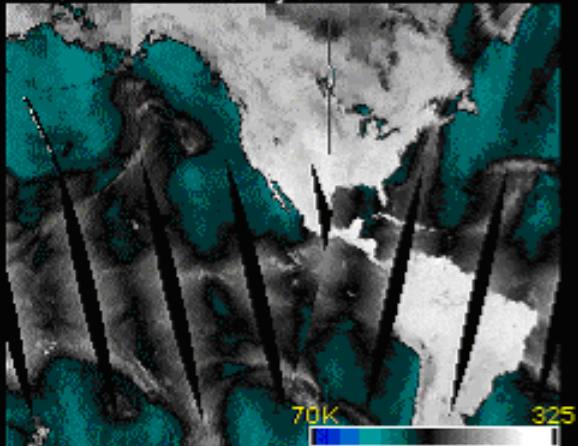
- A superfície da Terra emite radiação em **microondas**. Esta energia interage com os hidrometeoros na forma de absorção, emissão e espalhamento.



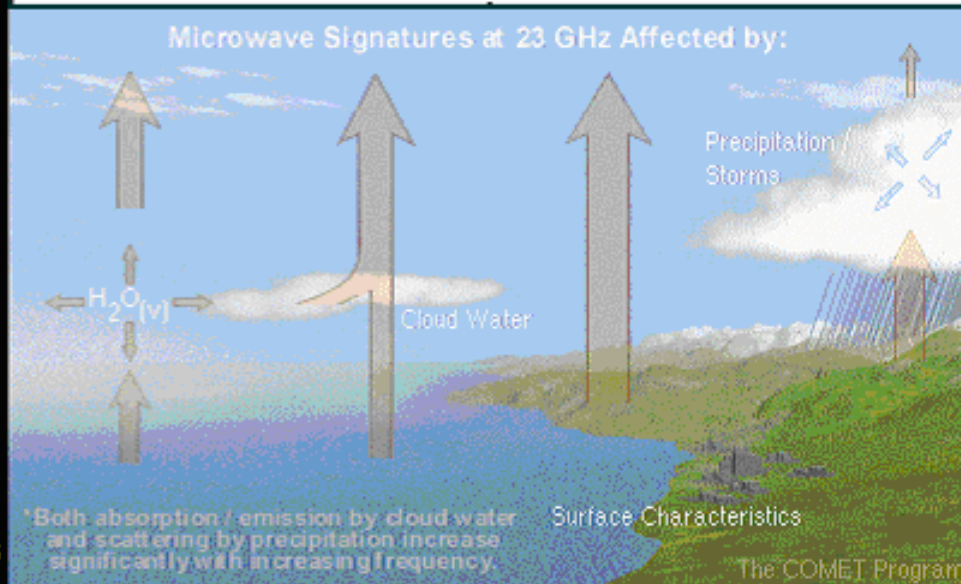
- Como esta interação **depende da frequência**, podemos inferir algumas propriedades físicas da nuvem amostrada, ou seja:
 - podemos identificar tipos de hidrometeoros, como água líquida, gelo, e neve.



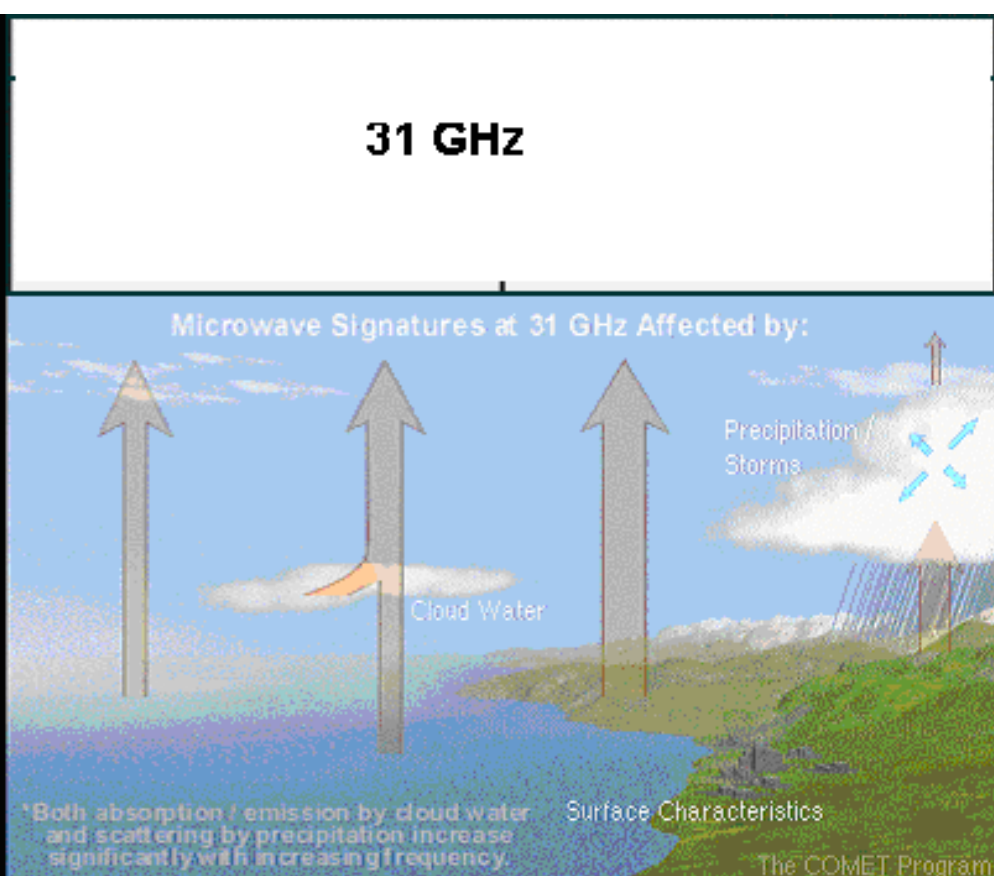
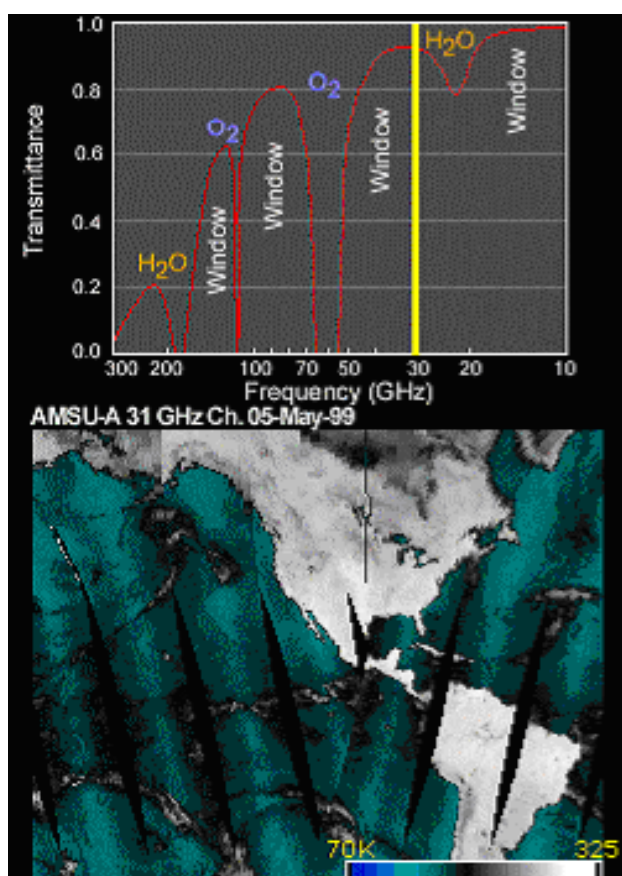
AMSU-A 23 GHz Ch. 05-May-99



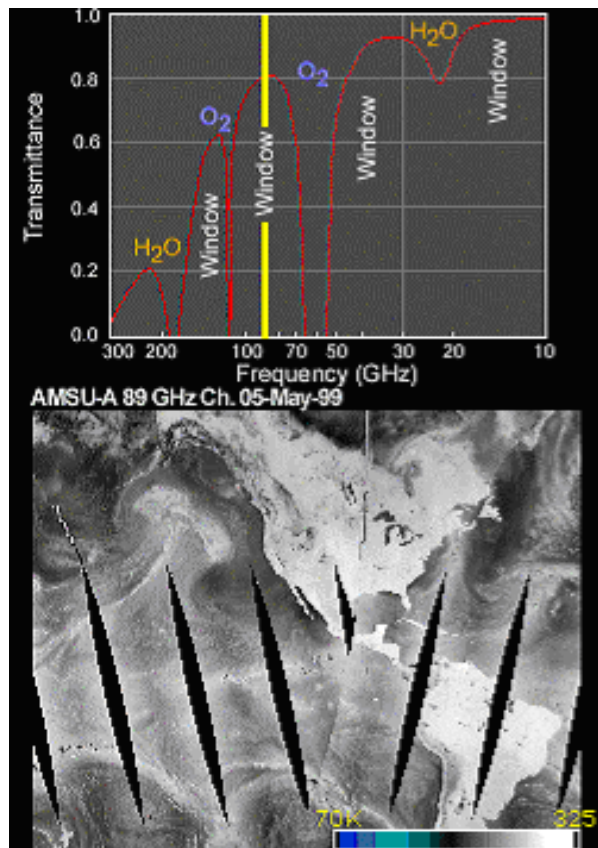
23 GHZ



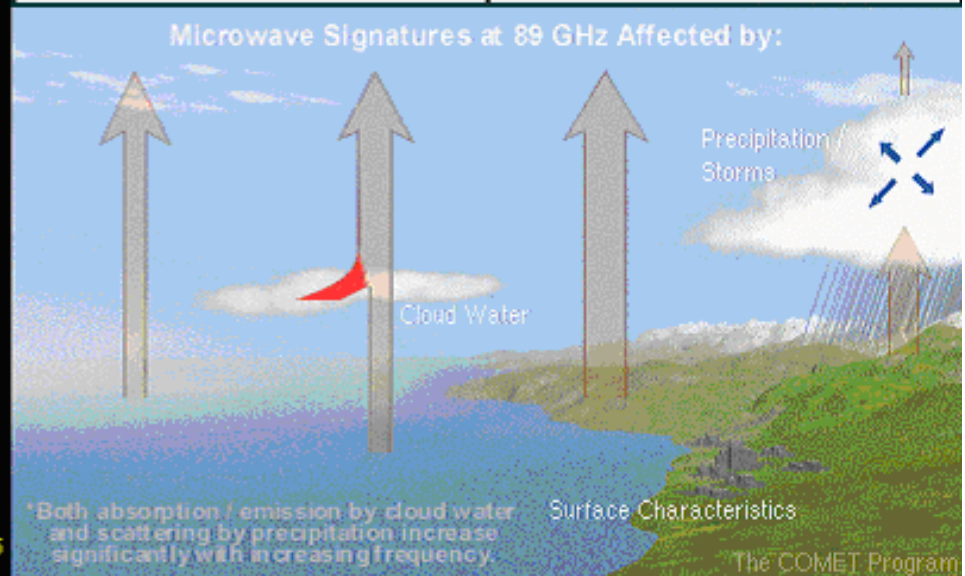
- Na baixa frequência de microondas (< 50 GHz), encontra-se a janela atmosférica e estas frequências são essencialmente sensitivas à emissão do vapor d'água, nuvens, precipitação e propriedades da terra. Dessa maneira, estas frequências baixas são muito úteis para a discriminação do tipo de superfície, conteúdo de água líquida em nuvens e precipitação moderada e intensa composta de água líquida.



- As diferenças da emissividade entre as superfícies é maior em baixas freqüências. O oceano tem emissividade baixa e uniforme (0.40 – 0.5, e o continente ~ 0.90), o que faz com estas superfícies sejam ideais para a inferência das propriedades da nuvem e precipitação. Como o oceano é frio a emissão quente das nuvens e do vapor d'água adiciona um realce sobre eles, enquanto que sobre os continentes quase não há realce.

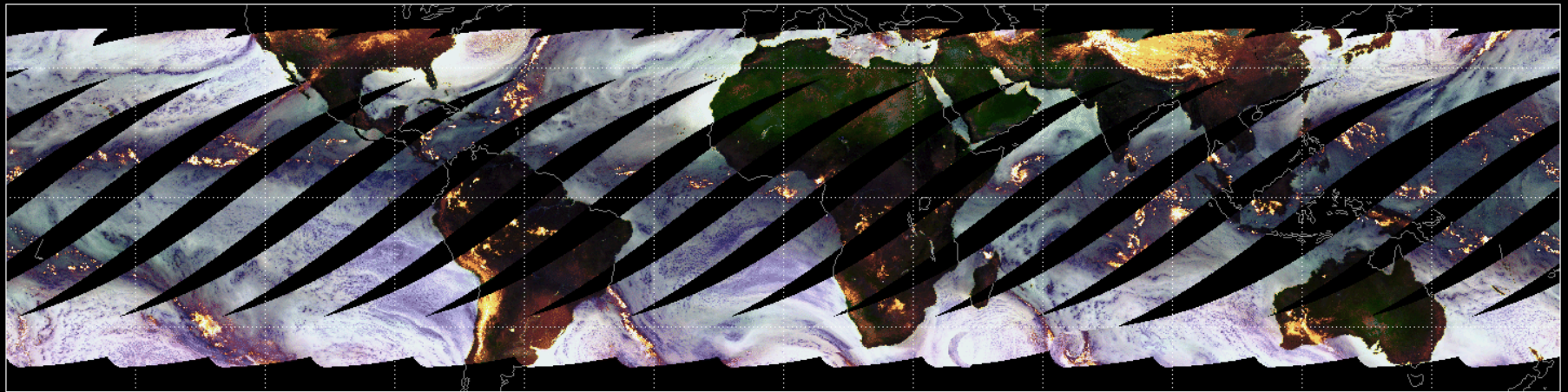


89 GHz

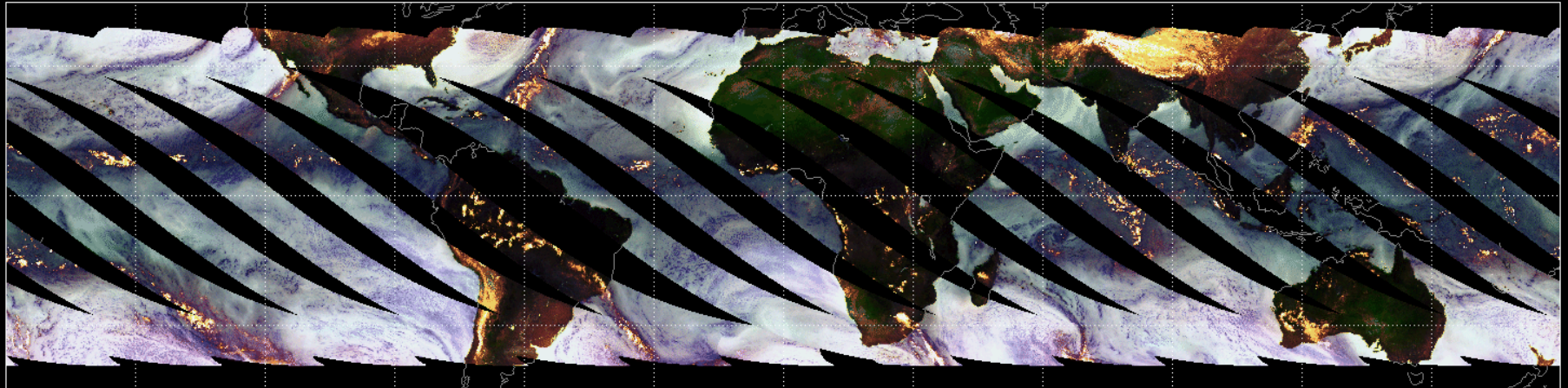


- As frequências altas de microondas são úteis para detectar os efeitos de espalhamento que envolvem precipitação congelada, ou seja, cristais de gelo e neve. A absorção e a emissão das gotas de chuva e nuvem aumentam o efeito de espalhamento dominando a medida observado. O espalhamento ocorre quando a radiação incidente sobre as partículas é removida do seu caminho original. Como resultado, existe menos energia e as temperaturas de brilho tornam-se mais frias, realçando as nuvens que no contraste com alta emissividade da superfície terrestre.

- Resumindo, as **freqüências de microondas** nos fornecem as seguintes informações:
 - O espectro em microondas pode ser dividido em 3 partes basicamente:
 - a) **Abaixo de 22 GHz**, **absorção** é o mecanismo primário que afeta a transferência de radiação em microondas (o espalhamento ocorre mas é de segunda ordem).
 - b) **Entre 22 e 60 GHz**, ambos o **espalhamento** e **absorção** são importantes.
 - c) **Acima de 60 GHz**, o **espalhamento** domina a absorção.



18:18 16:45 15:13 13:41 12:08 10:36 09:04 07:31 05:59 04:26 02:54 01:22 23:49 21:23 19:50
 34193 34192 34191 34190 34189 34188 34187 34186 34185 34184 34183 34182 34181 34195 34194



06:45 05:13 03:40 02:08 00:35 22:09 20:36 19:04 17:32 15:59 14:27 12:55 11:22 09:50 08:17
 34185 34184 34183 34182 34181 34195 34194 34193 34192 34191 34190 34189 34188 34187 34186

TMI data for Friday, 14 November 2003

Chris Kidd '98

Water surfaces

Dry atmosphere - blue
 moist atmosphere - dark blue

Land surfaces

Snow Cover - white/grey
 land (non-desert) - grey/brown
 Deserts - light green

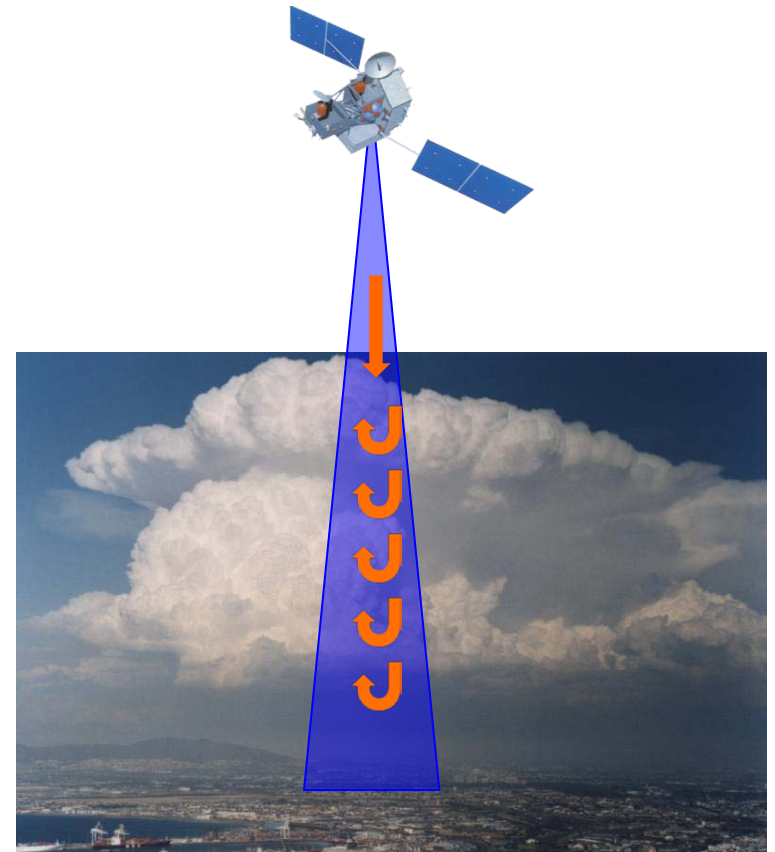
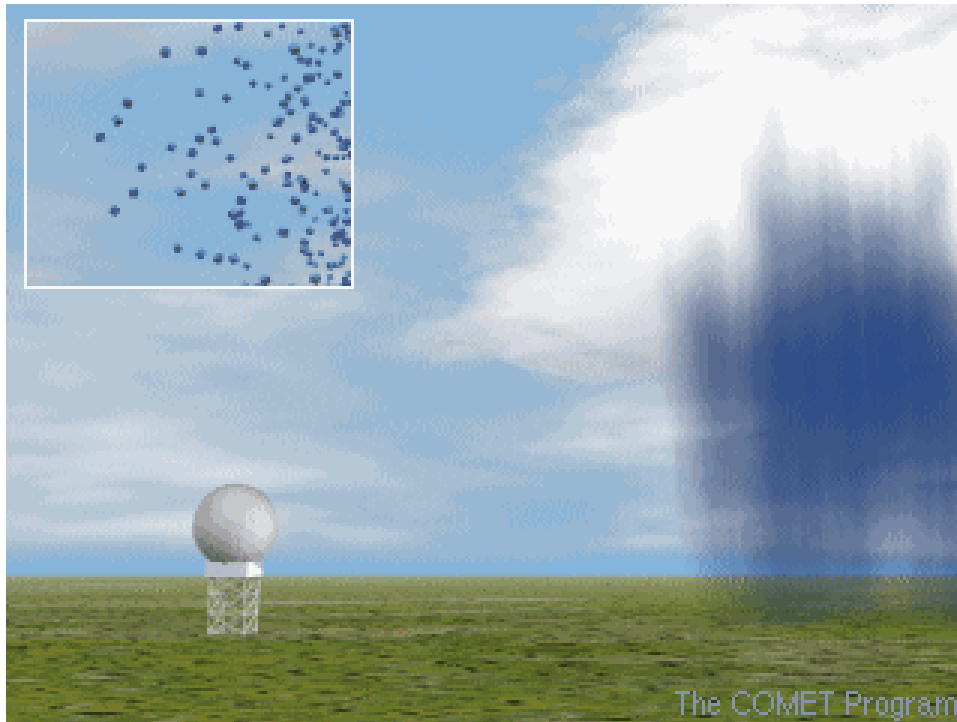
Other Surfaces

Polar snow /ice - white/yellow
 Sea ice - green/brown

Clouds/precipitation

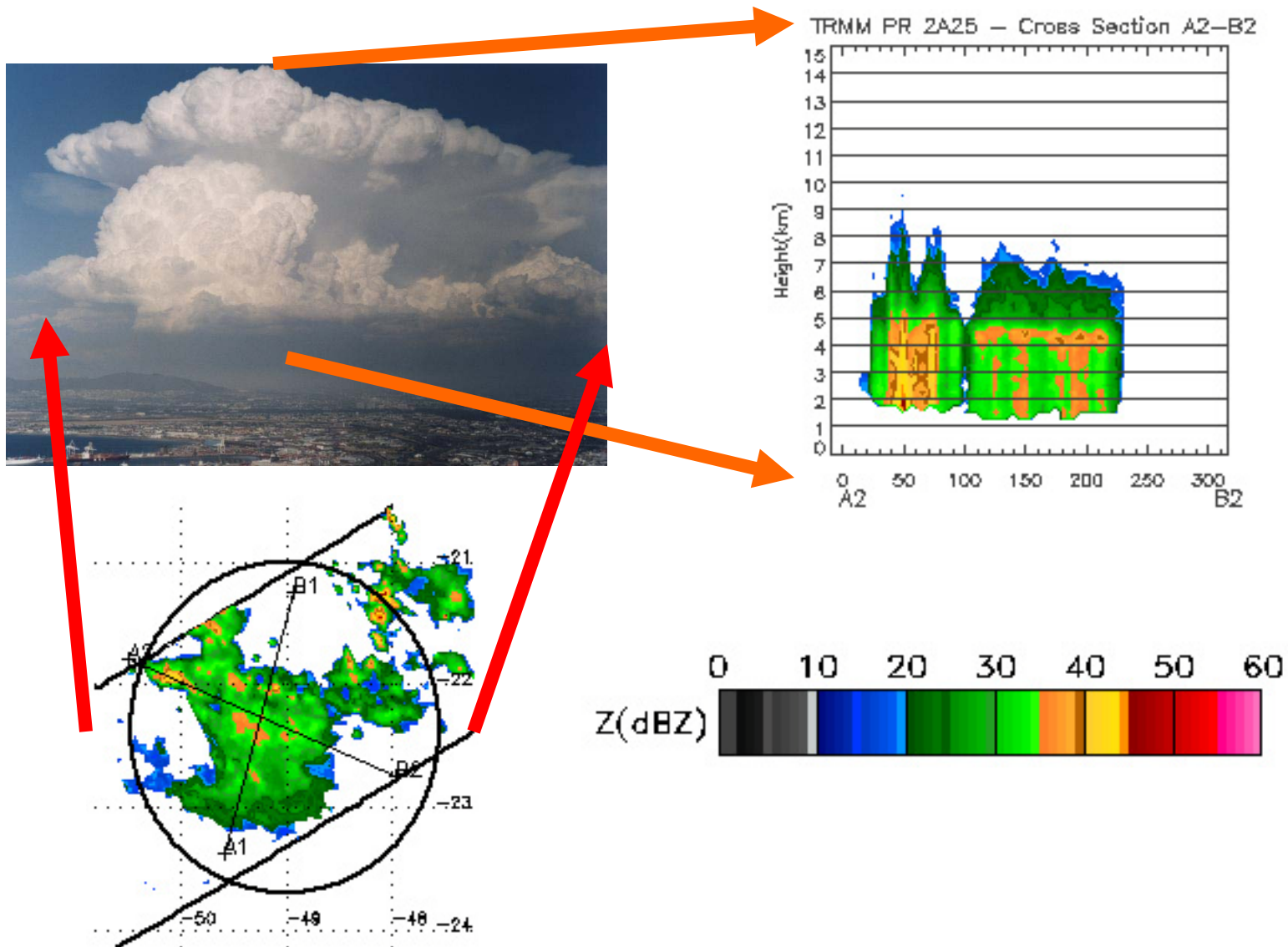
Scattering (by cloud ice) - yellow
 Emission (over water) - black

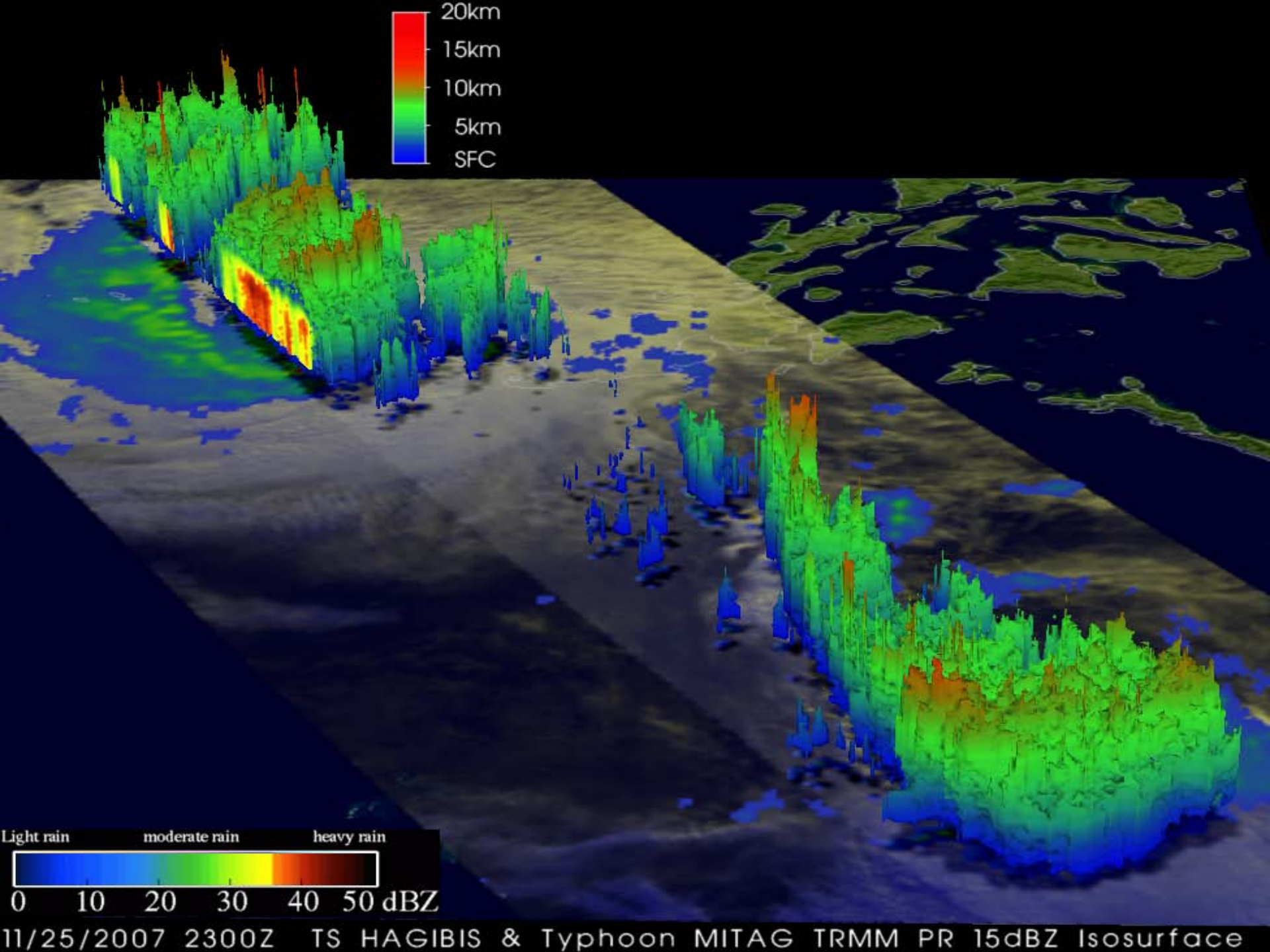
Precipitation Radar - PR



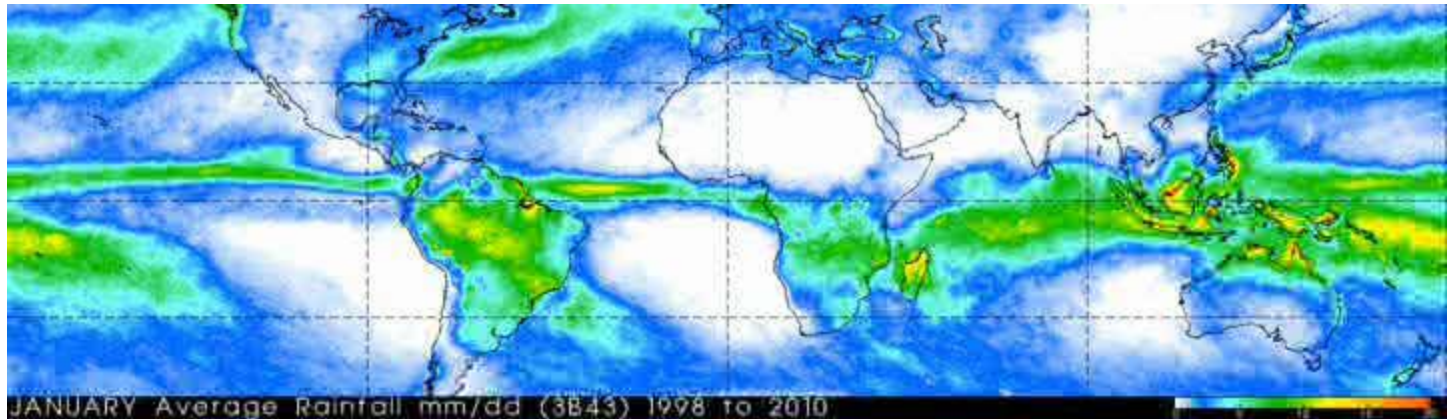
- O Radar **emite um pulso de energia** e ao encontrar um alvo, este **reflete uma fração da energia** incidida.
- No caso do radar meteorológico, a energia que retorna é proporcional ao diâmetro à sexta potência da gotas dentro do volume iluminado pelo radar
- O PR consegue fatiar a chuva em camadas de 250 metros em altura, com resolução de ~ 5 km na horizontal.

- Assim, o **PR** nos fornece uma visão em **três dimensões (3-D)** das nuvens:



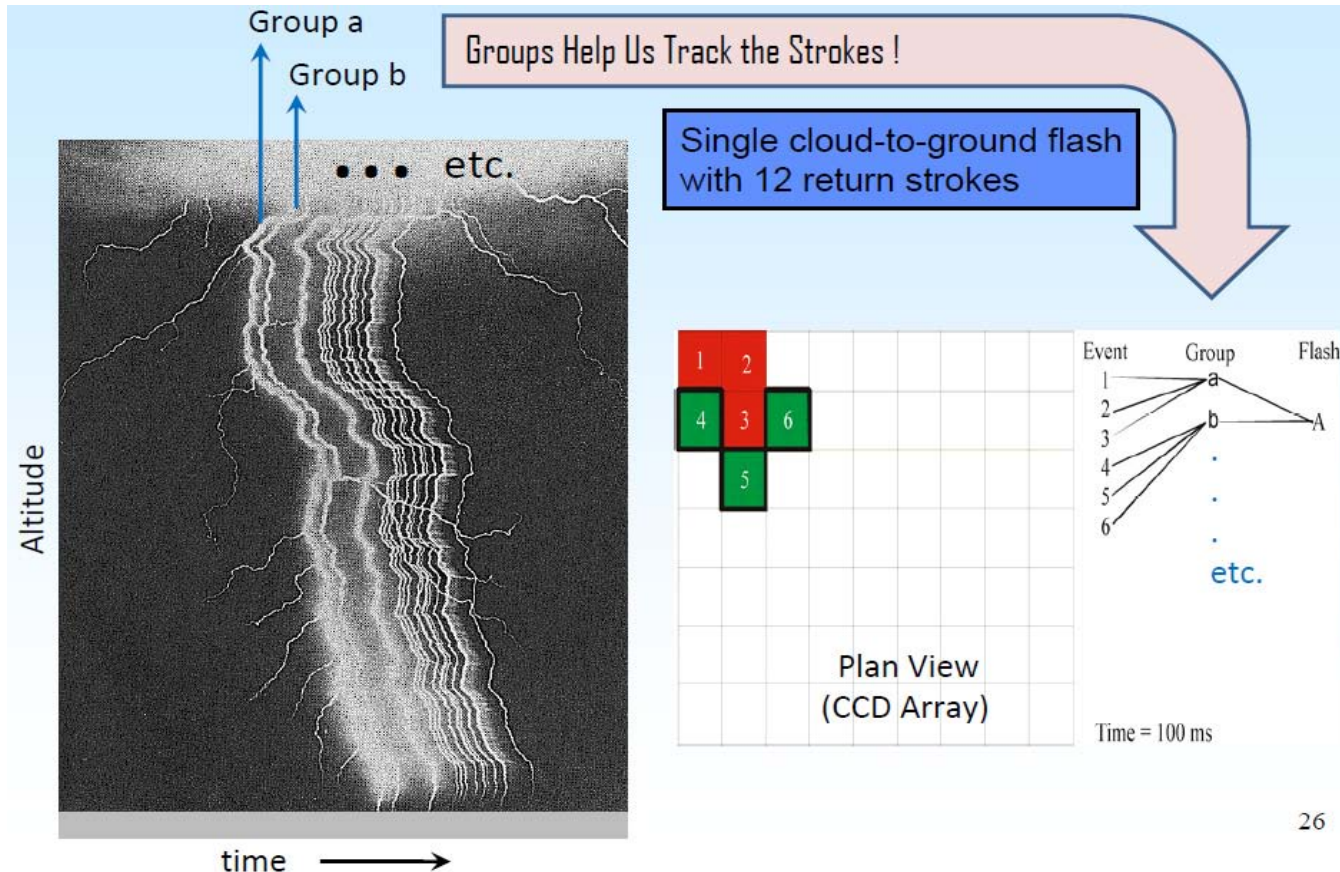


- Assim, **produto** final da junção entre os sensores **VIRS, TMI e PR** é a climatologia de precipitação ao longo dos Trópicos:

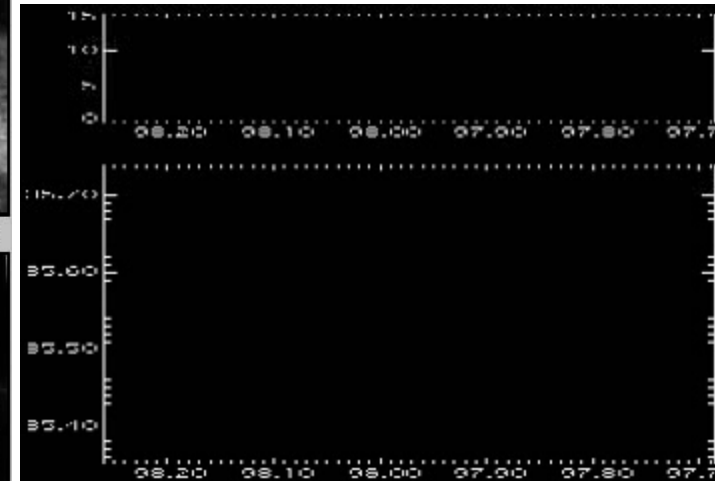
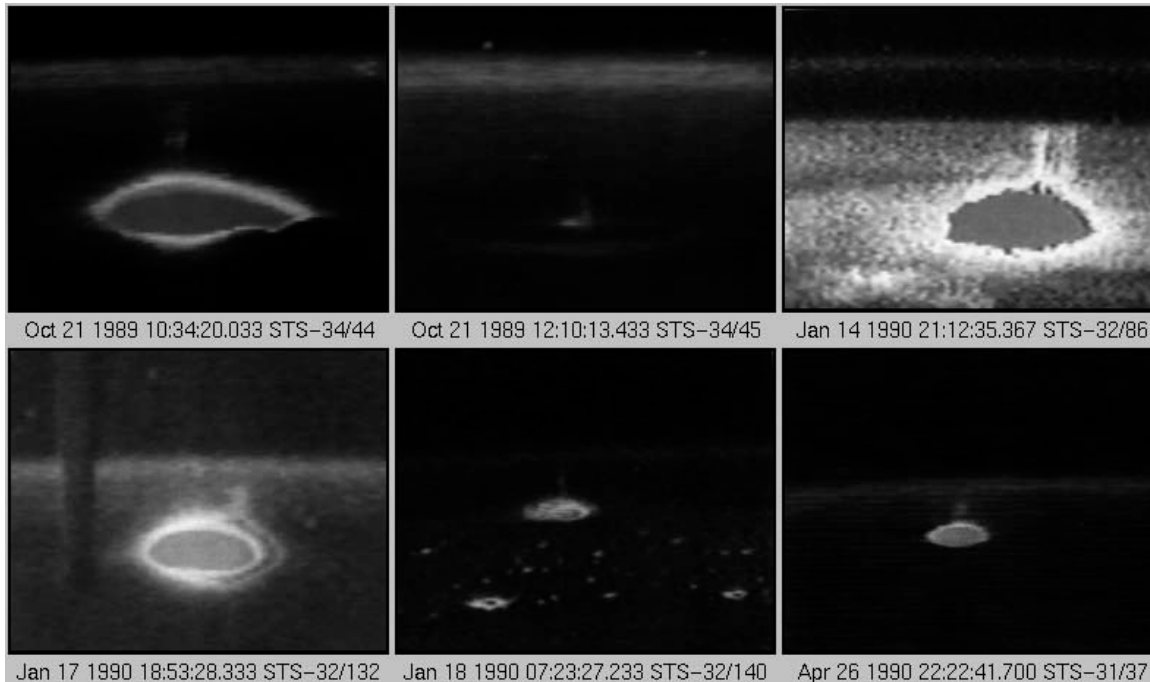


Lightning Imaging Sensor - LIS

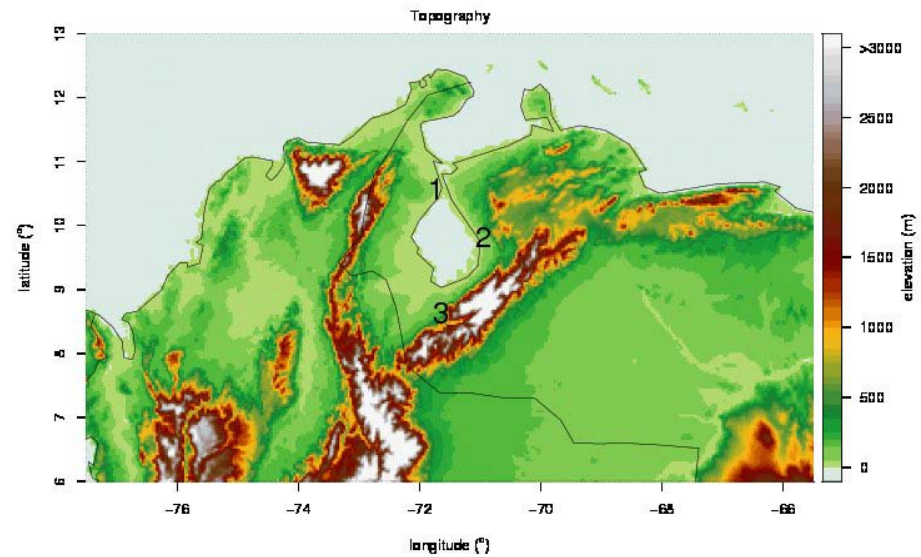
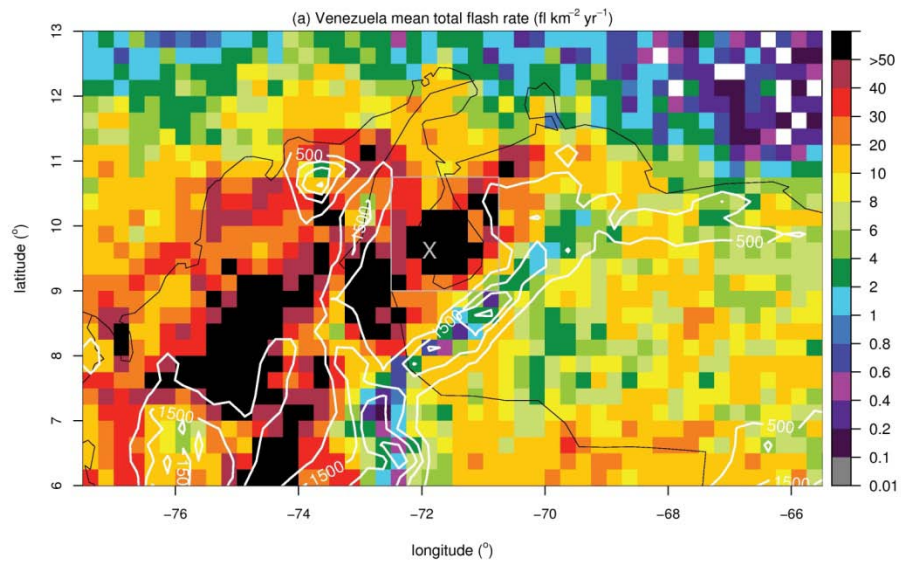
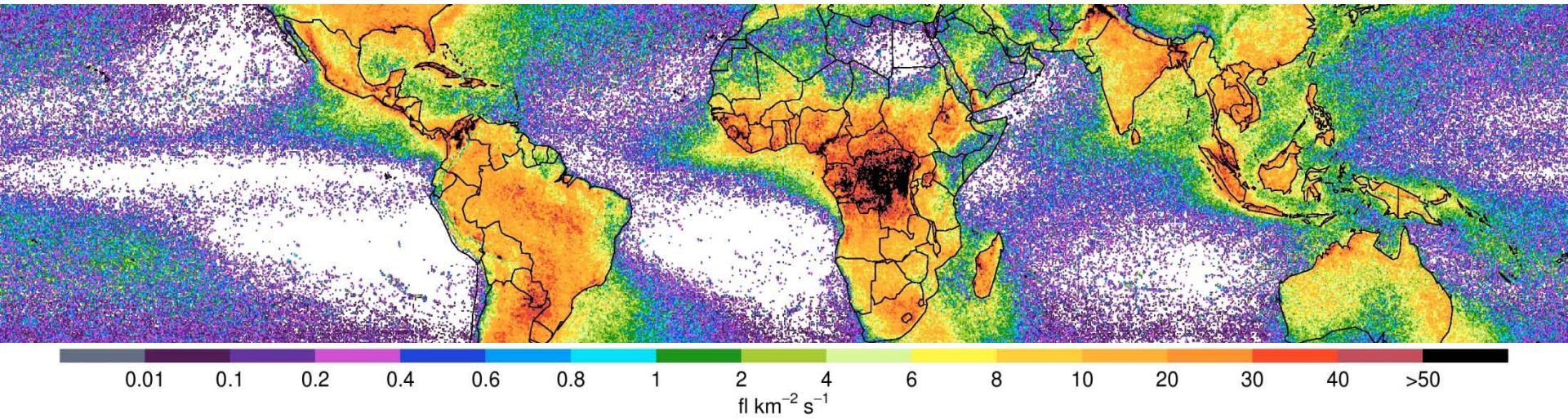
- O sensor LIS é composto de uma **câmera de vídeo** (CCD – *charged coupled device*) que detecta **eventos de relâmpagos e raios**.
- Um “evento” de raio é um pixel iluminado da CCD. Os “**eventos**” são agrupados no tempo e no espaço, formando “**grupos**” os quais também são agrupados no tempo e espaço, formando, finalmente um “**flash**”(= **raio ou relâmpago**).



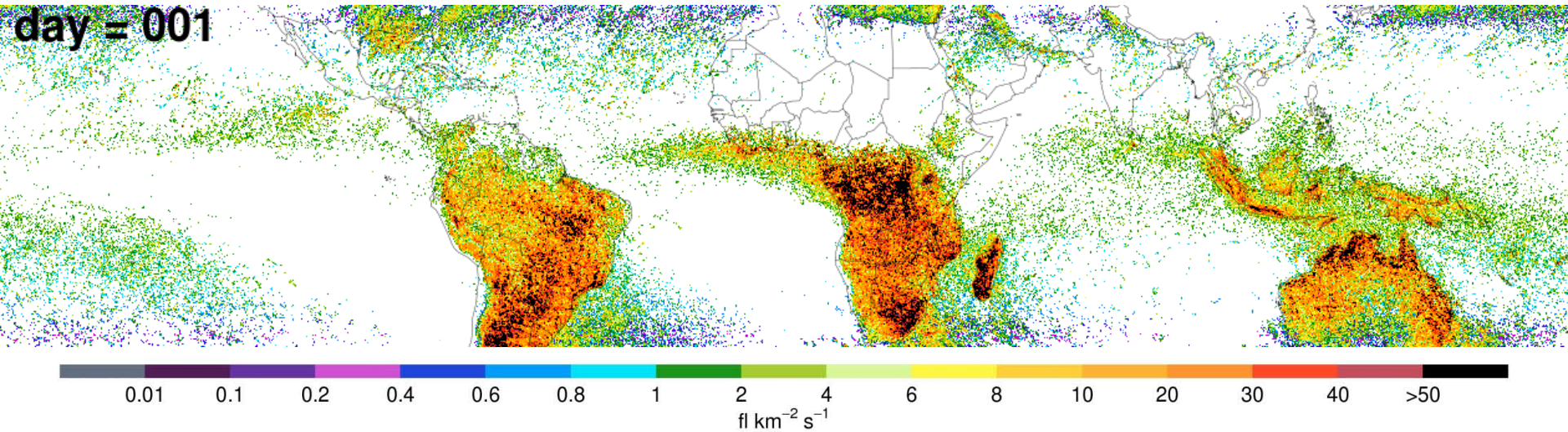
- O LIS detecta o **número total de raios**, ou seja, raios intra-nuvem e raios nuvem-terra. Esse sensor não consegue distinguir os tipos de raios.
- O vídeo abaixo mostra uma simulação do sensor LIS:



- Mapa da climatologia de raios totais observada pelo LIS (1998-2009):



- Animação (“loop”) de mapas diários de número total de raios nos trópicos visto pelo sensor LIS:



Acesso aos dados do TRMM

- Página oficial <http://trmm.gsfc.nasa.gov>

NASA GODDARD SPACE FLIGHT CENTER [+ NASA Homepage](#) SEARCH NASA

TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission

+ ABOUT TRMM + NEWS + PUBLICATIONS + SEARCH TRMM + CONTACTS + DATA + IMAGE POLICY

The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) is a joint mission between NASA and the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) designed to monitor and study tropical rainfall.

TOP STORY

6 August 2010
COLIN AGAIN A TROPICAL STORM
After barely winning its battle with upper level wind shear COLIN was again classified as a tropical storm by the National Hurricane Center in Miami, Florida early in the evening of 5 August 2010. The TRMM satellite passed near COLIN's location a little later on 5 August 2010 at 2353 UTC (7:53 PM EDT). Those rainfall data collected by the TRMM Microwave Imager (TMI) were analyzed and are shown in the image on the right. The analysis shows that COLIN had a small area where potent thunderstorms east of the center were dropping rainfall at the rate of up to 30 mm/hr (~1.2 inches).
[Click here to see earlier images of COLIN.](#)

TRMM is a joint mission between NASA and the Japanese space agency JAXA.
Images and captions by Hal Pierce (SSA/NASA GSFC)

RESOURCES

- Realtime 3 Hourly & 7 Day Rainfall
- Global Flood & Landslide Monitoring
- Hurricanes & Typhoons
- Rain Averages & Anomalies + ESPI

TRMM based Climatology

NASA GODDARD SPACE FLIGHT CENTER [+ NASA Homepage](#) SEARCH NASA

TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission

+ ABOUT TRMM + NEWS + PUBLICATIONS + SEARCH TRMM + CONTACTS + DATA + IMAGE POLICY

Data Products

[Quick Looks](#) - *On-Line TMI Quick Look images* TMI quick-looks available on-line. Each quick-look is generated at a resolution of 1/4 degree, thus generating an image of 1440x720 pixels, or a file size of about 500k.

[PPS](#) - *Precipitation Processing System (PPS) also formerly known as TRMM Science Data and Information System* The real-time processing and post-processing of the TRMM science data is performed by the TRMM Science Data and Information System (TSDIS). Working with the TRMM principal investigators and science algorithm developers, PPS maintains the operational science data processing system and ensures the timely processing of all TRMM science instrument data. During routine operations, raw instrument data is received in near real-time by PPS and then processed by the first tier of science algorithms to produce calibrated, swath-level instrument data. Using this calibrated, swath-level instrument data, the second tier of algorithms are used to compute geophysical parameters, such as precipitation rate, also at the swath-level resolution. At the final stage of processings, the third tier algorithms produce gridded geophysical parameters from the first- and second-tier instrument data. All TRMM products are archived and distributed by the Goddard Distributed Active Archive Center (GES DISC DAAC). For further information concerning PPS operations go to the PPS homepage.

[GES DISC DAAC](#) - *Distributed Active Archive System* The operational archiving and distribution to the public of all TRMM science data products is provided by the [Goddard Distributed Active Archive Center \(GES DISC DAAC\)](#). In

- **PPS/TSDIS Toolkit Page:** <http://pps.gsfc.nasa.gov/tsdis/tsdistk.html>
- Ou diretamente no DAAC: <http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/presentNavigation.pl?project=TRMM&tree=project>

Fim! Obrigada!

Perguntas?

(rachel.albrecht@cptec.inpe.br)

(morales@model.iag.usp.br)

