

Oceanografia por Satélites

Radiômetro de Microondas: Aplicação em Medidas de
Temperatura na Superfície do Mar

Paulo S. Polito, Ph.D.

polito@usp.br

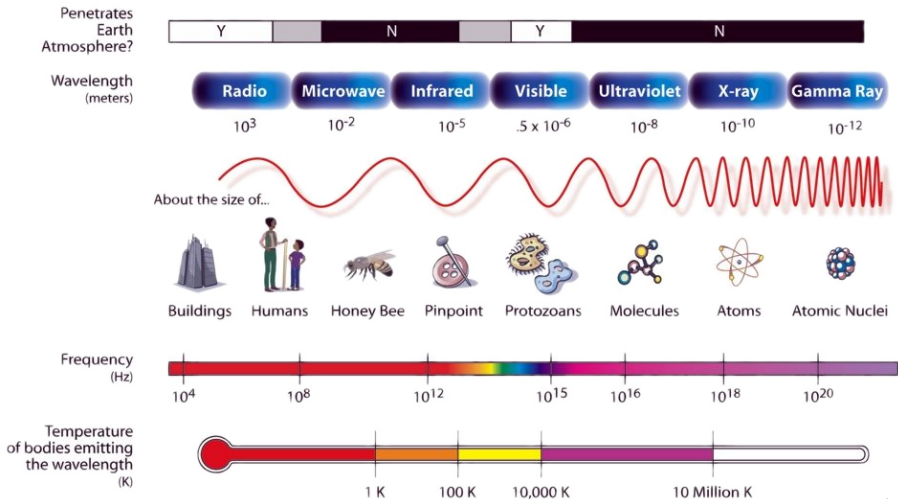
Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
<http://los.io.usp.br>
Laboratório de Oceanografia por Satélites

- 1 Introdução
 - Microondas
 - O efeito da Atmosfera
- 2 Radiômetro de Microondas
 - Satélites e Instrumentos
- 3 Variáveis Medidas
 - Temperatura da Superfície do Mar
 - Comentário sobre o TRMM
- 4 Aplicações
 - Clima
 - Eventos Extremos
 - Fluxo de Calor

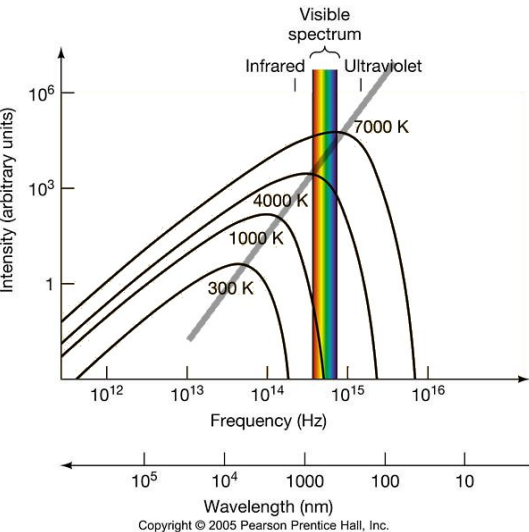
Roteiro

- 1 Introdução
 - Microondas
 - O efeito da Atmosfera
- 2 Radiômetro de Microondas
 - Satélites e Instrumentos
- 3 Variáveis Medidas
 - Temperatura da Superfície do Mar
 - Comentário sobre o TRMM
- 4 Aplicações
 - Clima
 - Eventos Extremos
 - Fluxo de Calor

Espectro Eletromagnético



Emissão da Terra e do Sol



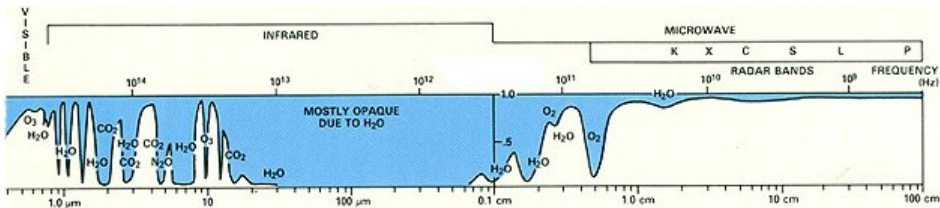
- $\lambda_{max} = \frac{k}{T}$
- O sol está a $\sim 5800\text{K}$.
- O pico da emissão solar é no espectro visível.
- A Terra está em $\sim 300\text{K}$.
- O Sol emite mais energia que a Terra para todo λ .
- O pico de emissão da Terra é no infra-vermelho.
- Há pouca energia disponível na banda de microondas.

Ondas Eletromagnéticas - Polarização

- $\vec{E}(x, y, z, t) = A_x \cos(kz - \omega t)\hat{j} + A_y \cos(kz - \omega t + \phi)\hat{j} + 0\hat{k}$.

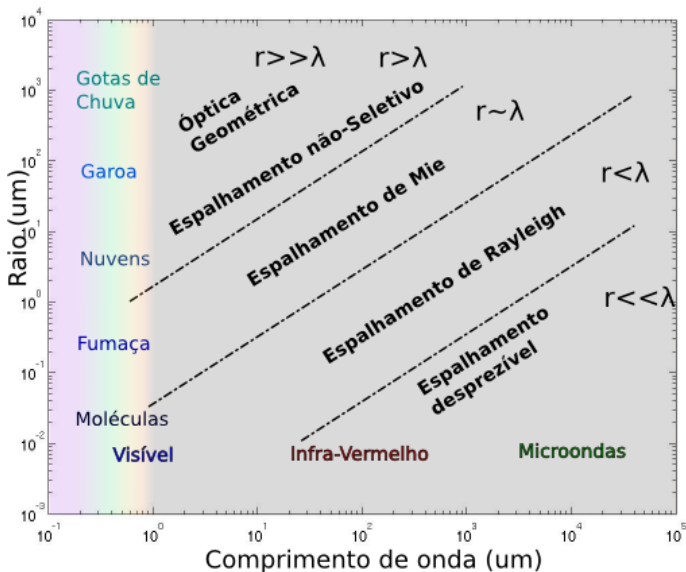
- Da relação de fase ϕ entre a oscilação nos dois planos podemos classificar a onda EM quanto à polarização: linear, circular e elíptica.
- circular $\Rightarrow \phi = \pm 90^\circ$
- linear $\Rightarrow \phi = 0^\circ$ ou 180°
- Radiômetros usam polarização linear horizontal e vertical.

Absorção



- A combinação dos espectros de absorção da atmosfera torna a atmosfera opaca a alguns comprimentos de onda e transparente a outros.
- Os radiômetros operam em $\nu = 6-85$ GHz ou seja, $\lambda = 0.35-5$ cm.
- A absorção atmosférica nestas banda é relativamente pequena e se deve majoritariamente ao vapor d'água.
- A grande vantagem destes instrumentos é a de obter medidas sob a cobertura de nuvens, que é o grande problema dos radiômetros de infra-vermelho.

Espalhamento



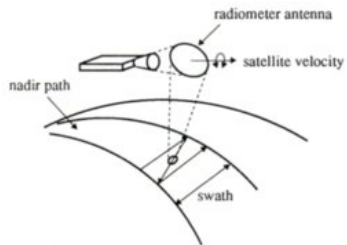
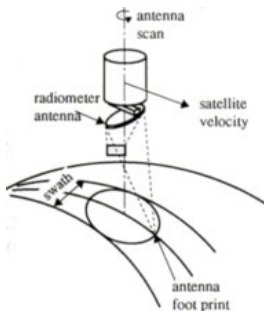
O espalhamento para $\lambda = 0.35$ e 5 cm depende da presença de gotas de chuva.

Note que este é o **espalhamento na atmosfera**, não no oceano.

Roteiro

- 1 Introdução
 - Microondas
 - O efeito da Atmosfera
- 2 Radiômetro de Microondas
 - Satélites e Instrumentos
- 3 Variáveis Medidas
 - Temperatura da Superfície do Mar
 - Comentário sobre o TRMM
- 4 Aplicações
 - Clima
 - Eventos Extremos
 - Fluxo de Calor

Radiômetros de Microondas



Instr.	Ano	Freq. GHz	Resol. km	Varr. km	Órbita
Skylab	1973 (testes)	13.9	10	280	-
SMMR	1978	6.63 - 37	50	600	~polar
SSM/I	1988 (oper.)	19.35-85.5	25	1400	~polar
TRMM	1997 (ativo)	10.7-37	25	1400	tropical
AMSR-e	2002 (ativo)	6.9-36.5	25	1445	~polar

Metodologia Geral

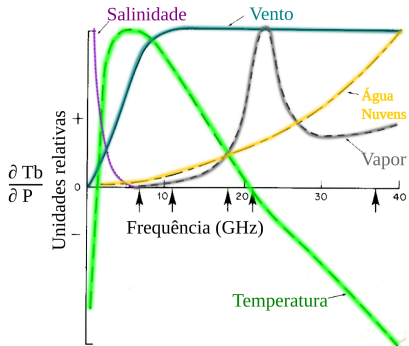
- Um conjunto de frequências, polarizações e ângulos de incidência são escolhidos de modo a
 - Maximizar a dependência entre as variáveis de interesse e a radiância medida.
 - Evitar a interferência de transmissores na superfície.
- A temperatura de brilho média é calculada para várias frequências, polarizações e ângulos de incidência.
- O desvio em relação à T_B média é expresso em função das variáveis geofísicas.
- O sistema linear relacionando a temperatura de brilho e as variáveis geofísicas é invertido.
- Finalmente os valores de T_B são combinados aos coeficientes obtidos no processo de inversão e às várias frequências, polarizações e ângulos de incidência para se calcular as variáveis geofísicas.

Medidas Geofísicas

- Planck \simeq Rayleigh–Jeans se $\nu \ll \frac{kT_B}{H}$:

$$B_\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \simeq \alpha\nu^2 T_B$$

- Medindo-se T_B em vários canais e polarizações, temos:



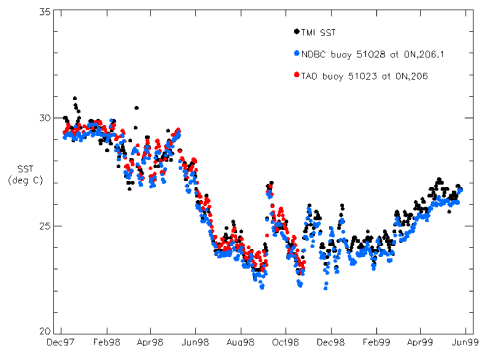
- Temperatura na superfície do oceano.
- Salinidade (2011-Aquarius, 2010-SMOS),
- Velocidade do vento,
- Água líquida nas nuvens,
- Precipitação,
- Vapor d'água na atmosfera.

Roteiro

- 1 Introdução
 - Microondas
 - O efeito da Atmosfera
- 2 Radiômetro de Microondas
 - Satélites e Instrumentos
- 3 Variáveis Medidas
 - Temperatura da Superfície do Mar
 - Comentário sobre o TRMM
- 4 Aplicações
 - Clima
 - Eventos Extremos
 - Fluxo de Calor

Precisão das Medidas de TSM

- Os dados de TSM medidos por satélites de microondas são calibrados e validados através de medidas *in situ*;
- A precisão destes dados é de aproximadamente 0.5 K.
- A TSM obtida via satélites de microonda e infravermelho são complementares e podem ser combinadas para obter uma série global de alta confiabilidade (Ex. OI-SST, Reynolds, GHRSSST).

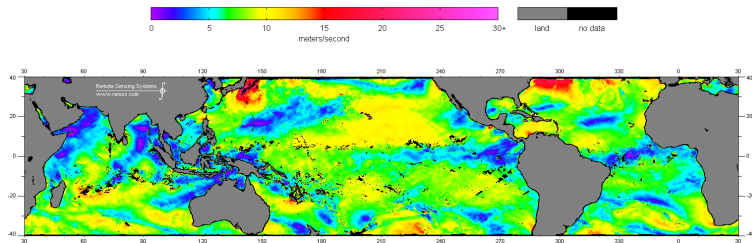


Comparação da TSM do TMI e bóias no Pacífico central.

Magnitude do Vento

- Ventos geram ondas tipo capilar-gravidade e espuma.
- Enruga-se a superfície da água, aumenta a emissividade.
- Efeito é correlacionado com a **velocidade do vento**.
- Emissividade depende fortemente do ângulo de incidência, que é mantido constante nos *scanners* cônicos.
- Há anisotropia direcional VV e HH, vetor vento?

TMI Wind Speed (Using 11 GHz Channel), 3-days ending: March 22, 2008

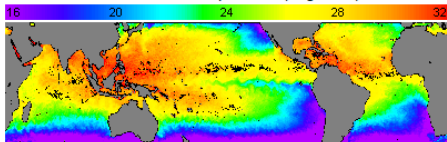


O Vento e o TMI

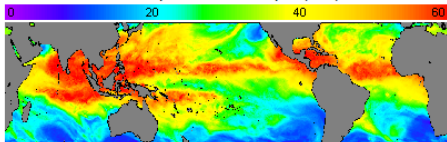
- Os satélites Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) também produzem imagens de vento, porém o TRMM possui um canal adicional de 10.7GHz que possibilita uma estimativa melhor da velocidade do vento em regiões de intensa cobertura de nuvens.
- A precisão é de 2 m.s^{-1} . Estimativas inexatas acima de $\sim 15 \text{ m.s}^{-1}$.
- Utilização dos dados do TRMM para investigar fenômenos extremos como ciclones e furacões é limitada.
- Embora não meçam a direção do vento, eles podem ser úteis em aplicações como o cálculo do fluxo de calor.

TRMM 28/09/2010

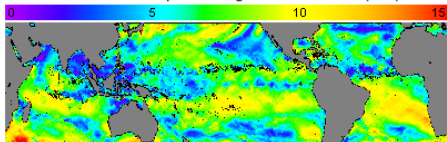
Sea Surface Temperature (degree C)



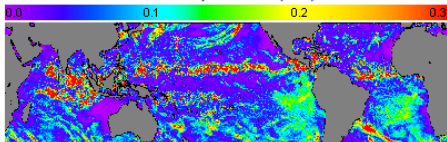
Atmospheric Water Vapor (mm)



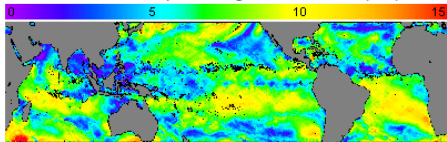
Surface Wind Speed using 11 Ghz channel (m/s)



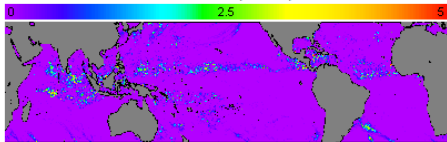
Cloud Liquid Water (mm)



Surface Wind Speed using 37 Ghz channel (m/s)



Rain Rate (mm/hr)



Acesso aos Dados (Remote Sensing Systems)

File Edit View History Bookmarks Tools Help

http://www.remss.com/

GMT CUPS Google Google Scholar yourDictionary.com... W Wikipedia

ssmi image - Google Image... Remote Sensing Systems / ...

Remote Sensing Systems

Home About RSS Contact RSS

SSM/I TMI AMSR QSCAT MSU

Storm Watch RSS Research Support Site Map

Research-quality geophysical products from satellite data

SSM/I DATA SSM/I DATA SSM/I

[Description](#) [Browse Data](#) [Validation](#)

Want the entire 20-year SSM/I dataset at your institution?

TMI DATA TMI DATA TMI

[Description](#) [Browse Data](#) [Validation](#)

AMSR DATA AMSR

[Description](#) [Browse Data](#)

QSCAT DATA QSCAT

[Description](#) [Browse Data](#)

MSU DATA MSU DATA MSU

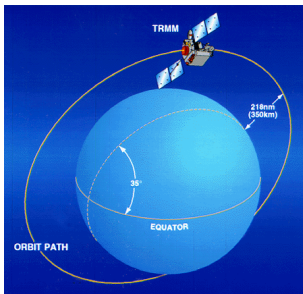
[Description](#) [Browse Data](#)

Optimally Interpolated Sea Surface Temperature (SST)

[Description](#) [Browse Data](#) [Validation](#)

The September 2006 Update to RSS Climate Data Download

Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

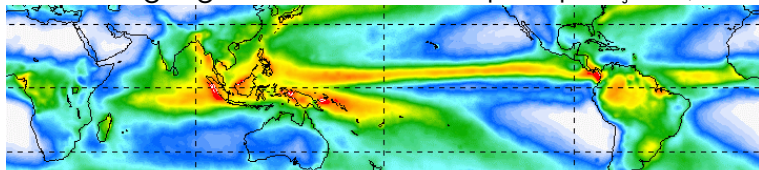


- Primeiro radar para medir **chuva** a bordo de um satélite.
- Fornece dados radiométricos de microondas de precipitação e do calor latente em 4 dimensões sobre os trópicos na faixa de $\pm 35^\circ$ de latitude.
- Trafega de oeste para leste numa órbita semi-equatorial entre $\pm 40^\circ$ de latitude.
- Não é sincronizado com o Sol.
- A resolução do pixel é de 25 km.
- Os dados são disponíveis de 12/97 até o presente.
- É particularmente interessante para aplicações no Brasil.

Qual a sua finalidade?

Tais informações serão utilizadas para melhorar:

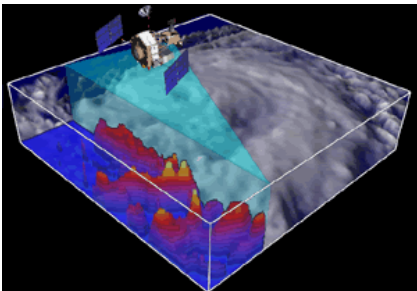
- O conhecimento das interações oceano, atmosfera e continentes que contribuem para as mudanças globais de precipitação e climáticas.
- Os modelos de processos de precipitação tropical e sua influência na circulação global o que significará uma melhoria na sua previsão de variabilidade em várias escalas de tempo.
- Climatologia global de 6 anos de precipitação (1998–2003):



TRMM Merged Precip Annual Climo (mm/d)



Instrumentos a bordo do TRMM



- Precipitation Radar (PR)
- **TRMM Microwave Imager (TMI)**
- Visible and Infrared Scanner (VIRS)
- Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES)
- Lightning Imaging Sensor

- O TMI é um sensor passivo baseado SSM/I;
- Opera em 5 frequências: 10.7, 19.4, 21.3, 37, 85.5 GHz. Similares aos do SSM/I exceto o de 10.7 GHz.
- Mede vapor d'água, o líquido nas nuvens e precipitação.
- Resolução espacial de 25 km é proporcionada pela menor altura da órbita do TRMM (350/402 km) comparada com a do SSMI (860 km). A largura do swath do TRMM é de 780 km.

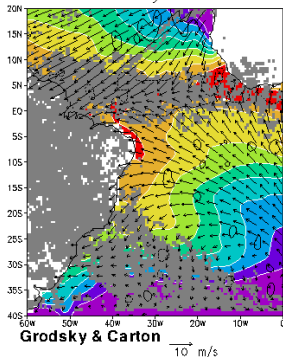


Roteiro

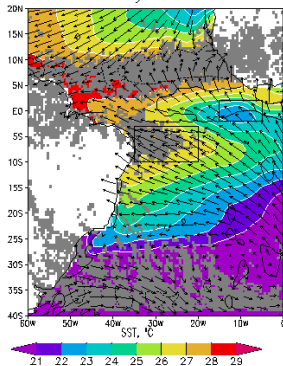
- 1 Introdução
 - Microondas
 - O efeito da Atmosfera
- 2 Radiômetro de Microondas
 - Satélites e Instrumentos
- 3 Variáveis Medidas
 - Temperatura da Superfície do Mar
 - Comentário sobre o TRMM
- 4 Aplicações
 - Clima
 - Eventos Extremos
 - Fluxo de Calor

ZCIT

January 2000



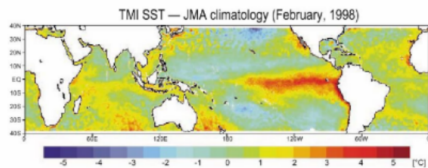
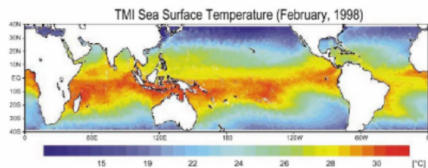
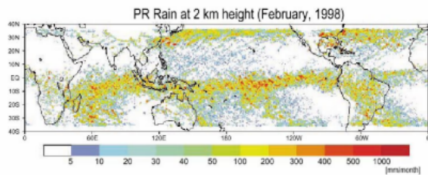
July 2000



- Ventos e divergência do QuikSCAT.
- Precipitação do TRMM
- TSM do TRMM e SSM/I.

- A Zona de Convergência Inter-Tropical migra para o Norte em Julho.
- A convecção é reduzida sobre o continente e menos nuvens se formam.
- Uma Nova zona de convergência se forma à leste do Paraíba.

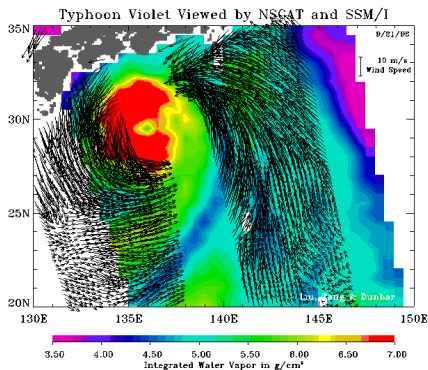
El Niño



- Em anos "normais" regiões de chuvas fortes se concentram no lado oeste do Pacífico tropical;
- Em períodos de El Niño, estes centros se deslocam para leste no Pacífico tropical.
- Dados do TRMM mostram que regiões de altas de chuvas correspondem à regiões com anomalias positivas de TSM.

Tufão Violet

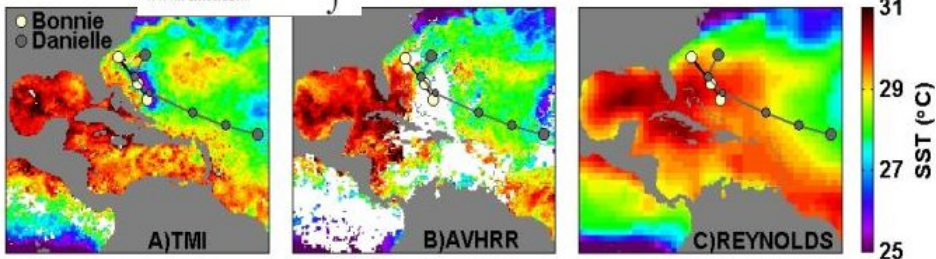
- A superposição do vento e da água auxiliam na visualização dramática da estrutura do sistema e da relação entre a dinâmica e o balanço hidrológico em meso-escala.
- Esta figura ressalta a importância de termos um sensor que pode funcionar sob condições tanto de céu claro como nublado.



Vetores de vento (NSCAT) e a quantidade de água (SSM/I) do tufão Violet (21/09/96), instantes antes de atingir a ilha de Honshu no Japão (Liu e Tang, 1997)

Furacões Bonnie e Danielle

Remote Sensing Systems
www.remss.com



- Os dados climatológicos são extremamente suaves e não mostram a queda drástica na TSM.
- Os dados de infra-vermelho tem problemas com as nuvens justamente no ponto em questão
- A vantagem dos radiômetros de microondas, TMI neste caso, é gritante.

Transporte de Calor, Método Tradicional

$$Q_T = Q_i + Q_b + Q_l + Q_s$$

T Fluxo de calor total;

i Radiação incidente, visível e IV;

b Radiação emitida, IV;

l Fluxo de calor latente para a atmosfera e

s Fluxo de calor sensível para a atmosfera.

Os dados de Q_i e Q_b são distribuídos pelo International **Satellite** Cloud Climatology Project (ISSCP).

Q_l e Q_s são estimados via *bulk formula* (Método LKB, Liu et al. 1979) a partir de dados de TSM, vento, vapor e precipitação.

Calor latente

Energia na forma de calor liberada ou absorvida durante a mudança de fase de uma substância.

A atmosfera recebe 3/4 de sua energia através do calor latente liberado pela precipitação.

Aproximadamente 2/3 da precipitação global ocorre nos trópicos.

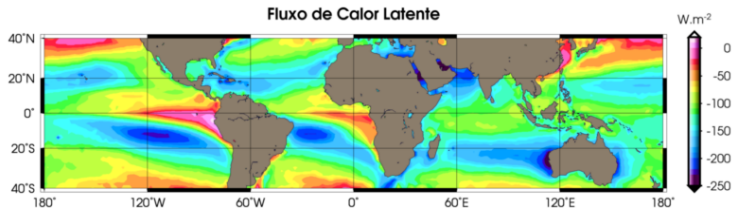
O fluxo de calor latente representa a maior fonte de perda de energia pelos oceanos devido à evaporação, principalmente em:

- Correntes quentes de contorno oeste onde há fortes ventos alísios: Corrente do Golfo e Kuroshio;
- Ártico: regiões com menor cobertura de gelo.



Fluxo de calor latente

Média mensal (TRMM)



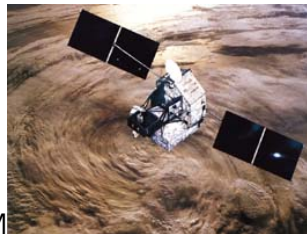
$$Q_l = \rho C_e L u (q_s - q_a)$$

- ρ : densidade do ar;
- u : vento em m.s^{-1} ;
- C_e : coeficiente de transferência de calor latente;
- L : calor latente de evaporação;
- q_s : 98% da umidade específica de saturação;
- q_a : umidade específica medida

Como é medido através de satélites?

- Dados de umidade do ar obtido são através do vapor integrado na coluna d'água medidos por satélites de microondas: SSM/I, TRMM.
- Ventos são medidos por escaterômetros ou satélites de microondas: QuikSCAT, SSM/I, TRMM;

Programas conhecidos como **bulk formula** são utilizados para estimar fluxos através destes parâmetros medidos na superfície do mar.



TRMM

LOS
QuikSCAT

Calor sensível

Energia transferida entre dois meios quando existe uma diferença de temperatura entre eles.

O processo de transferência de calor sensível entre o oceano e atmosfera ocorre em duas etapas:

- 1 O calor da água é inicialmente transferido para o ar por **condução** quando moléculas de água colidem com as do ar na superfície.
- 2 O ar esquenta e circula para cima devido a **convecção**.

Como o ar é um mau condutor de calor, a **convecção** é a forma mais eficiente de transferência de calor do mar para o ar.

Fluxo de calor sensível

$$Q_l = \rho C_p C_h u (T_w - (T_a + \gamma z))$$

- γ : adiabatic lapse rate.

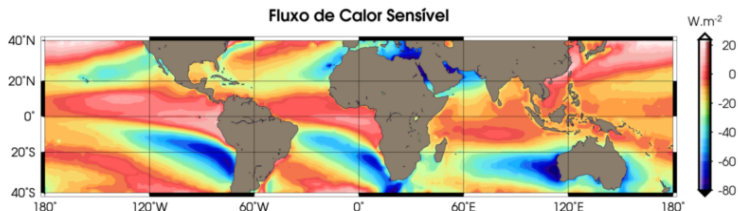
- C_h : coeficiente de transferência de calor sensível;
- C_p : calor específico à pressão constante;
- T_w : temperatura da superfície do mar;
- T_a : temperatura do ar;

Utiliza-se **bulk formulas** para estimar o fluxo de calor sensível com dados de:

- Ventos de escaterômetros: QuikSCAT;
- Temperatura da superfície do mar medidos por satélites de microondas ou infravermelho: SSM/I, TRMM, AVHRR,

Fluxo de calor sensível

Média mensal (TRMM)



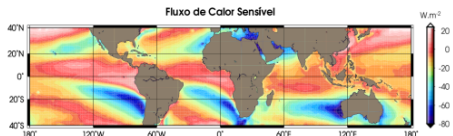
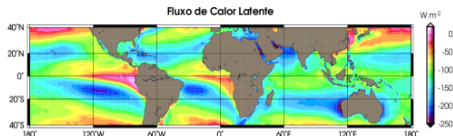
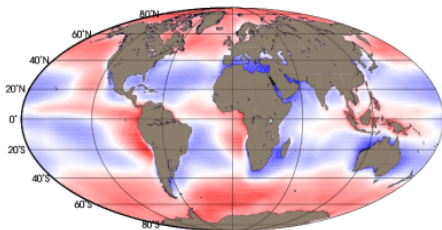
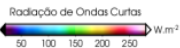
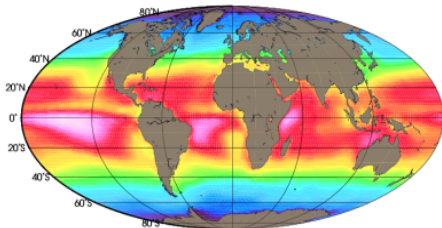
Fluxo negativo: do oceano para a atmosfera - $T_w > T_a$

- Correntes (quentes) de borda oeste dos oceanos;
- Médias latitudes: devido à ação de fortes ventos combinados à diferença de temperaturas na interface;

Fluxo positivo: da atmosfera para o oceano - $T_w < T_a$

- Regiões equatoriais porque em média a temperatura do ar é superior à do oceano.

Resultados



- Q_i varia muito e é $f(\theta)$.
- Q_b varia pouco e é $f(TSM)$.
- Q_l é $> Q_s$ e é $f(\vec{v}, h)$.
- Q_s é $f(\Delta_T(ar - mar))$.
- Q_T varia no tempo?

Muito Obrigado!