Medição de Irradiâncias

Meteorologia Física II

03/04/2017

Por que medir?

- Estudo da transformação de energia no sistema Terra-atmosfera e sua variação espaço-temporal
- Avaliação do balanço de radiação na superfície e ao longo da atmosfera
- Balanço de energia à superfície

- Análise das propriedades e distribuição de constituintes da atmosfera
- Verificação de medições realizadas a bordo de satélites artificiais e seus algoritmos

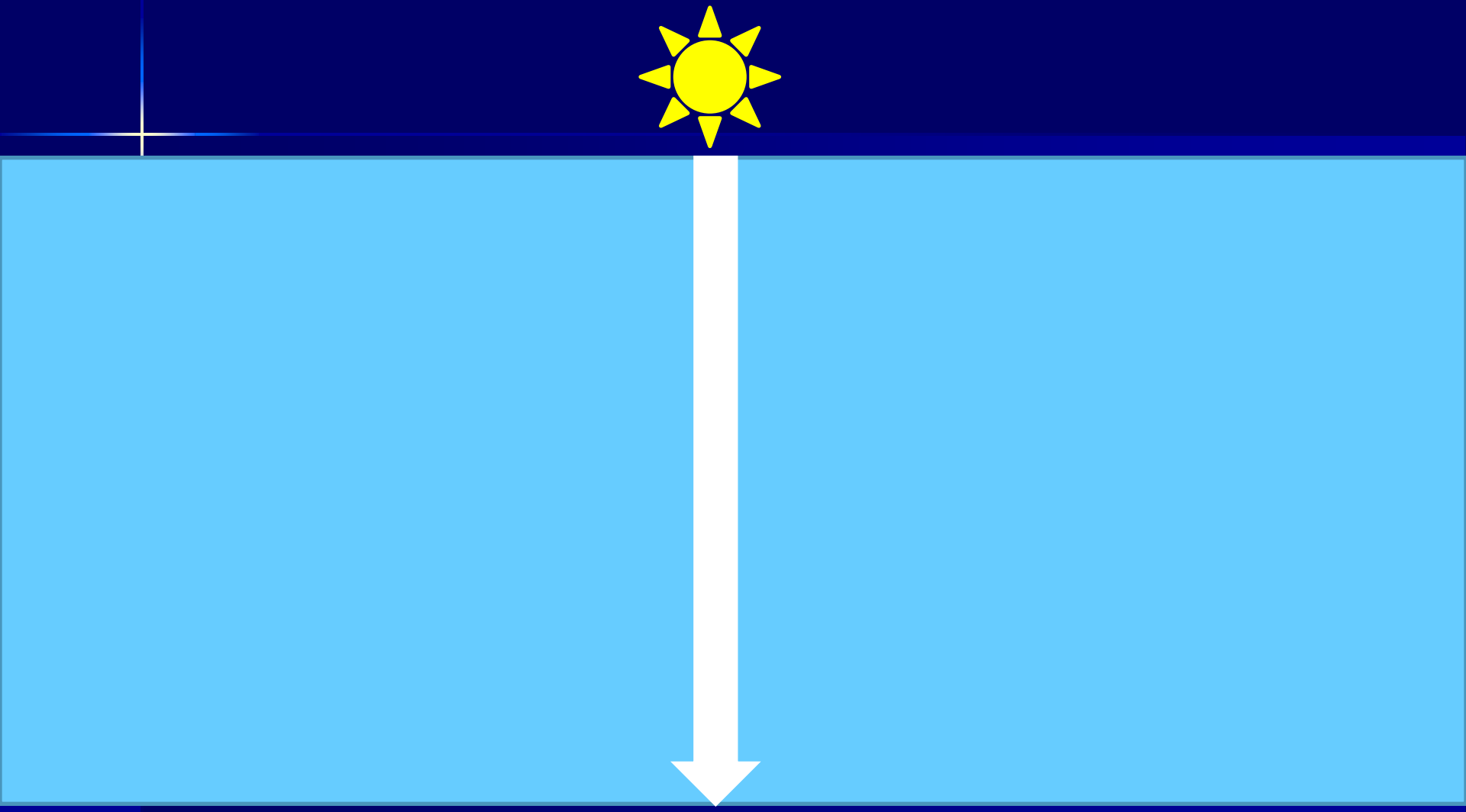
Principais grandezas medidas

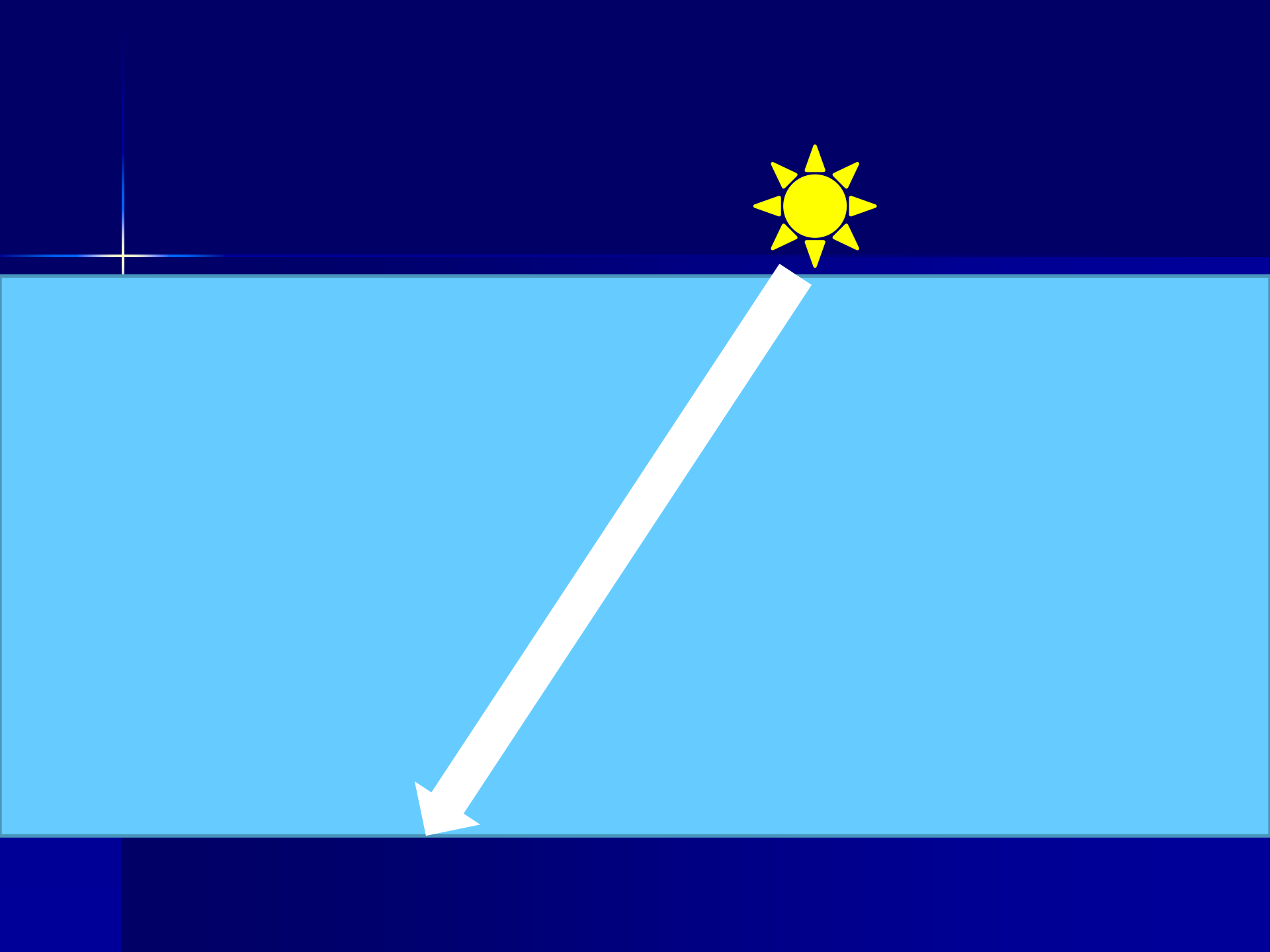
- Espectro solar (~0,3 a 4,0 μm):
  - Irradiância solar global incidente sobre uma superfície plana horizontal
  - O termo global indica que a radiação provém de todo hemisfério

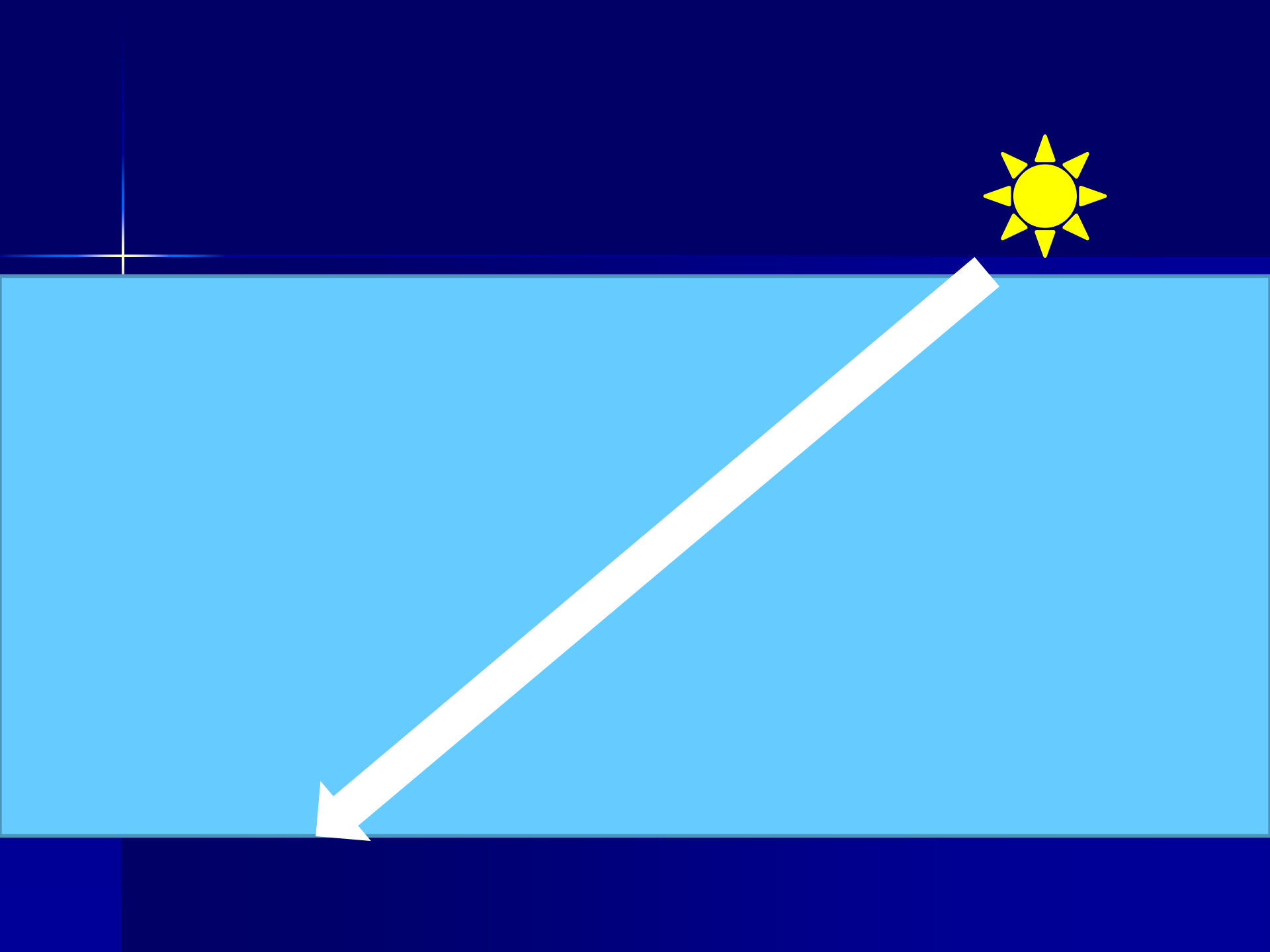
Radiação solar

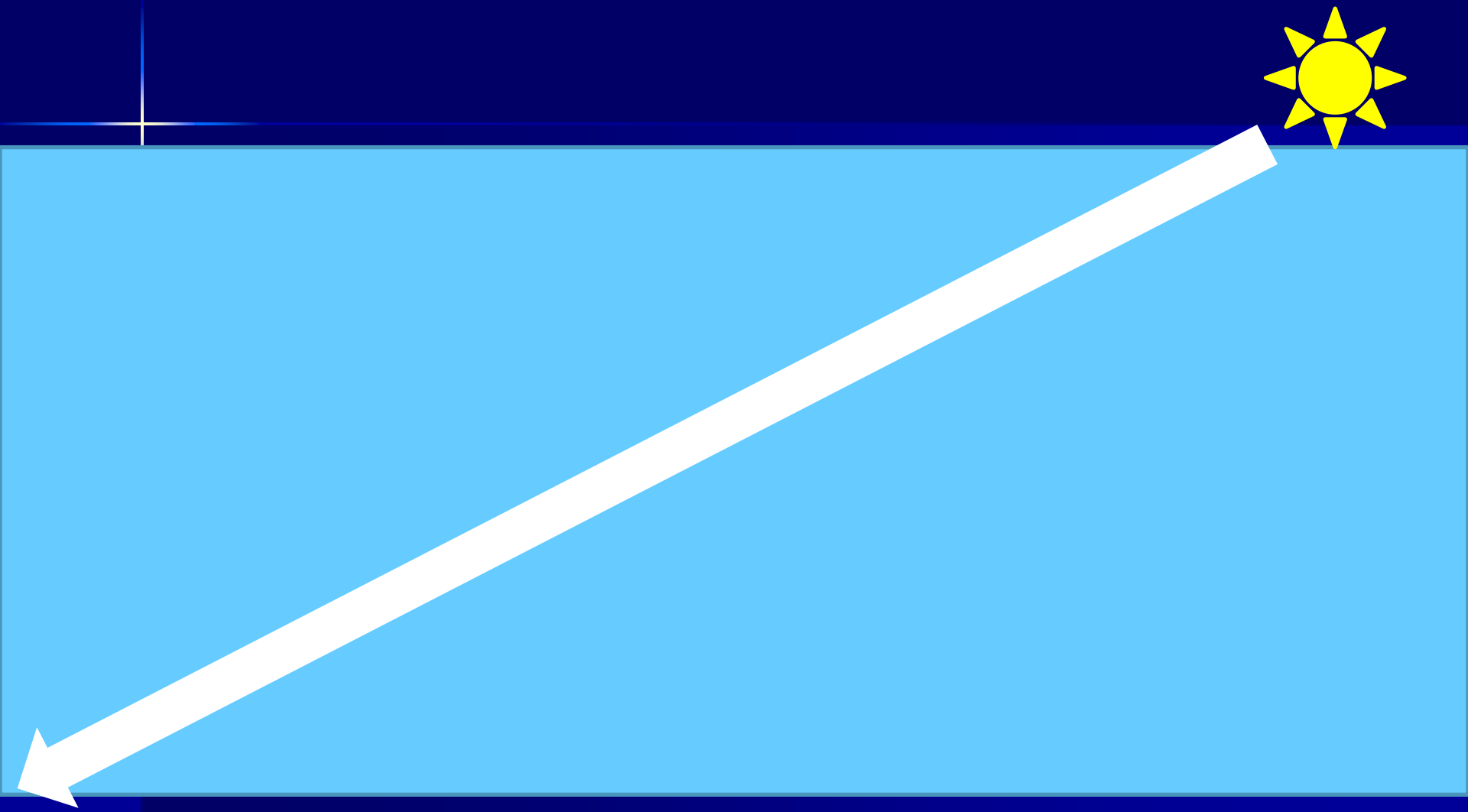
- Dois componentes:
  - Direta: transmissão decresce com
    - o aumento do ângulo zenital solar (aumento do caminho óptico)
    - Aumento da concentração dos constituintes atmosféricos **opticamente ativos** (partículas de aerossol, gases, nuvens, cristais de gelo)

=> aumento de atenuação!



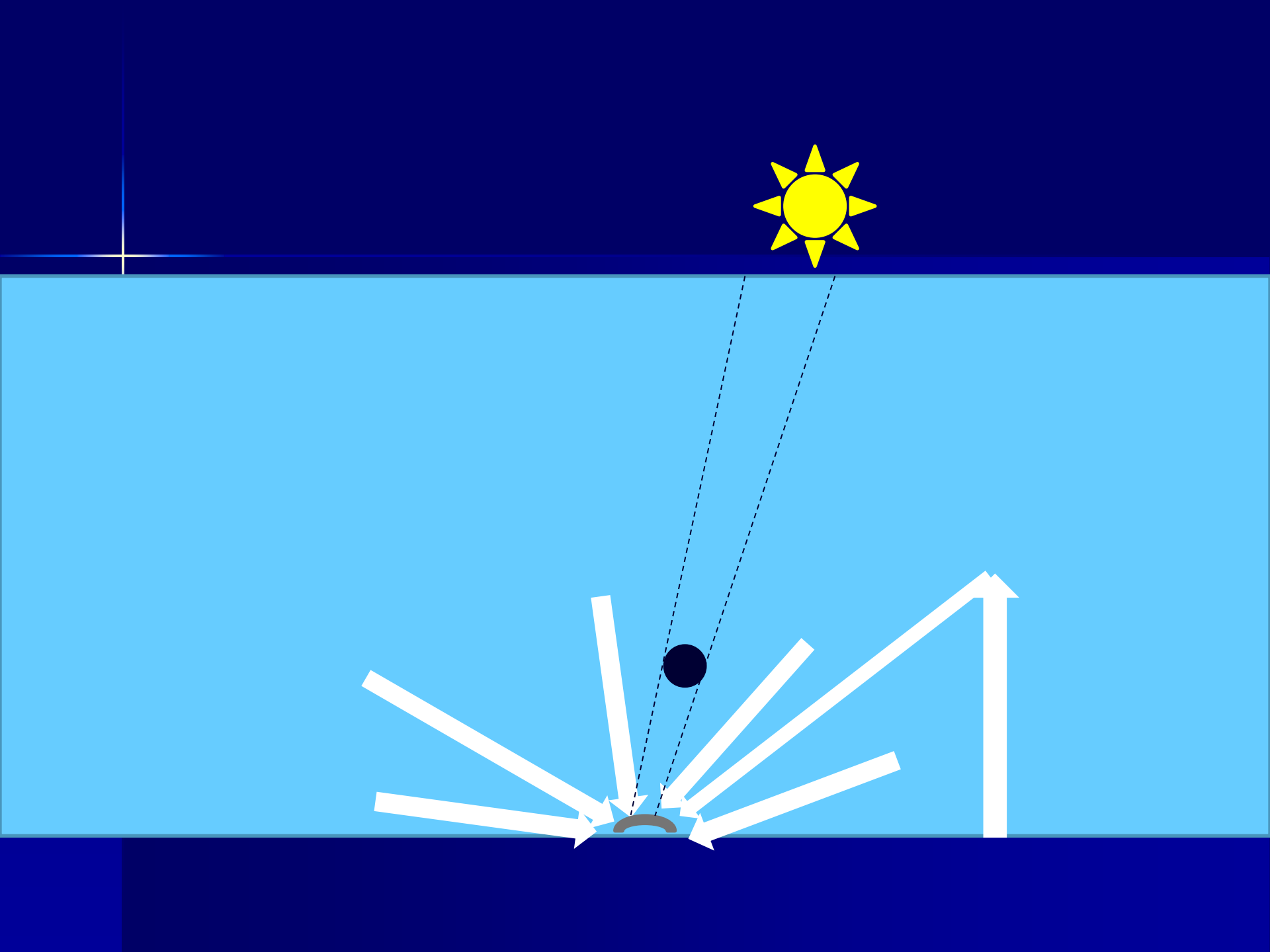






Radiação solar

- Dois componentes:
  - Difusa: proveniente de todo o céu
    - É resultante do espalhamento de radiação solar pelas moléculas de gases, partículas de aerossol, nuvens
    - Exclui-se a região do disco solar
    - Inclui-se a contribuição da reflexão da superfície que é novamente espalhada pela atmosfera ou por outras superfícies vizinhas



- A distribuição espectral dos dois componentes é diferente
- A radiação difusa é mais rica de radiação com comprimento de onda mais curto que a direta. A explicação será apresentada em aula futura! Não perca!!!

- Irradiância solar global:

$$\epsilon_g = \epsilon_s + \epsilon_d \qquad (4.1)$$

$$\epsilon_s = \epsilon_o \, t_D \qquad (4.2)$$

Onde t_D é ???

a transmitância direta (fração do feixe incidente que não sofreu interação ao atravessar a atmosfera)

e ϵ_o é a irradiância solar incidente no topo da atmosfera

Para radiação monocromática:

$$t_D(\lambda) = \exp(-\delta(\lambda)) = \exp(-\tau(\lambda)/\cos\theta_o) \qquad (4.3)$$

$\delta(\lambda)$: espessura óptica de extinção ou de atenuação da atmosfera

$\tau(\lambda)$: profundidade óptica de extinção da atmosfera

θ_o : ângulo zenital solar

Espectro terrestre (~4 a 100 μm)

- Em geral: irradiância isotrópica e difusa
- Emitida por todo o sistema Terra-atmosfera
- Medem-se, em particular:
  - Irradiância emitida pela superfície
  - Irradiância emitida pela atmosfera

Radiação Total

- Soma da radiação solar com a radiação terrestre
- Cobre todo o intervalo espectral desde 0,3 a 100 μm

Medidas em bandas espectrais estreitas

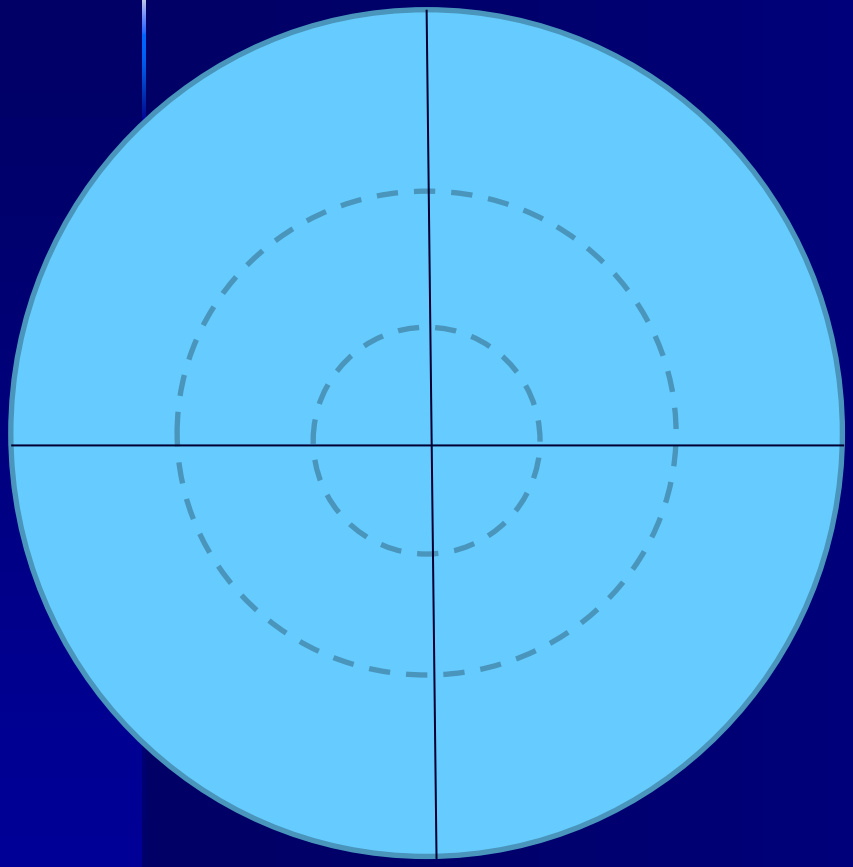
- Uso de filtros especiais
- Utilizadas para determinar a concentração de constituintes da atmosfera
- Exemplos: ozônio no UV, partículas de aerossol no visível, vapor d'água no NIR

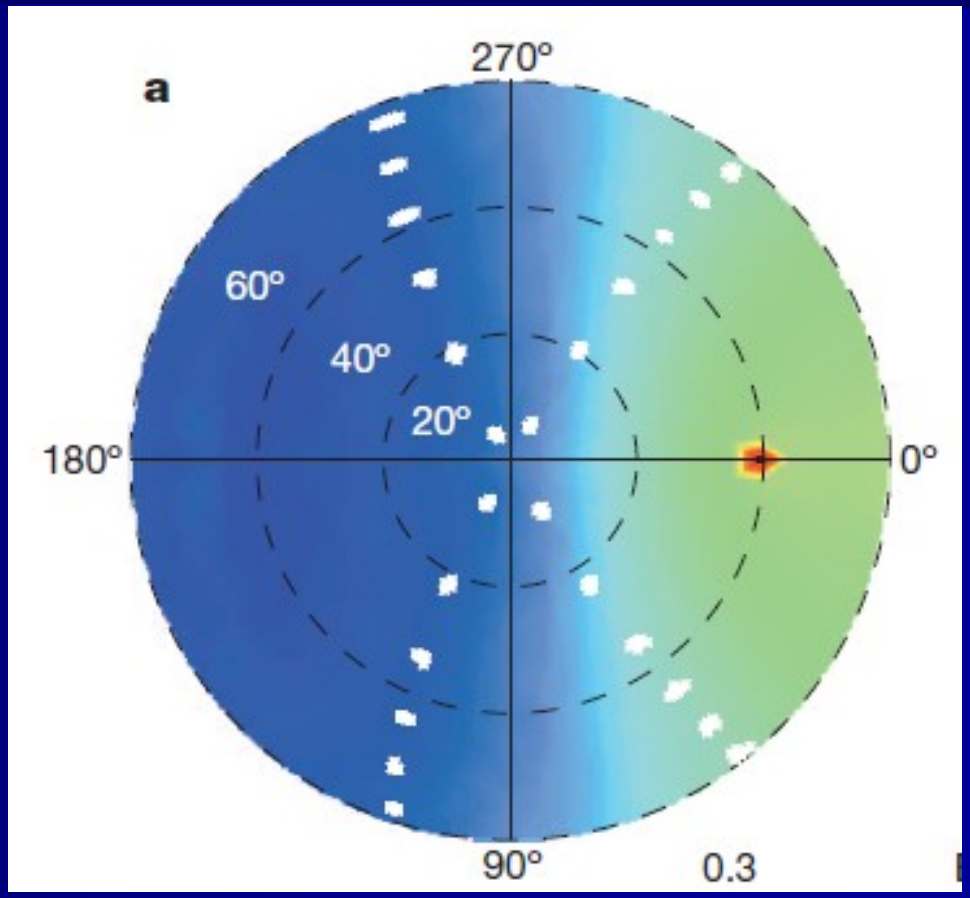
Medidas direcionais em ângulos sólidos pequenos

- Obtenção de radiâncias em diferentes orientações
- Estudo do espalhamento de radiação pelos constituintes atmosféricos e reflexão pela superfície

Superfície

- Lambertianas – reflexão isotrópica
- Não lambertianas – depende da geometria




a
270°
60°
40°
20°
180°
0°
90°
0.3

Instrumentos Convencionais

- Denominação geral: **Radiômetros**
- Outras:
  - Fotômetro (região do visível)
  - Pireliômetro
  - Piranômetro
  - Pirgeômetro

Cuidados experimentais

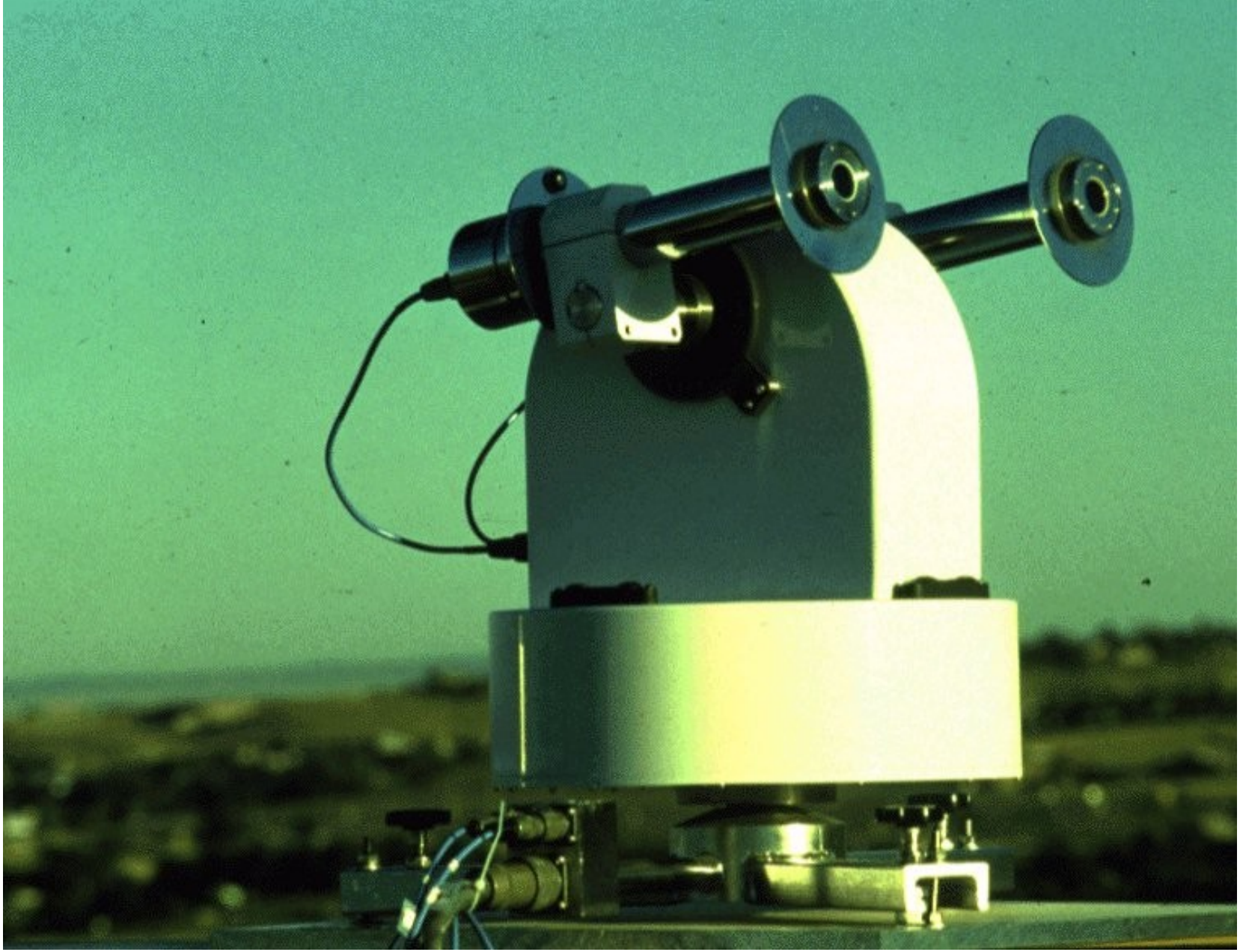
- Nivelamento
- Alinhamento
- Desobstrução do campo de visão
- Degradação dos sensores (sujeira, umidade):

- Calibração

- Limpeza dos sensores

Pireliômetro

- Radiação solar direta em incidência normal
- Instrumento com campo de visão estreito (colimador, com abertura entre 5 a 8º), montado em um sistema automático que acompanha o movimento do sol
- Detetores: calorímetros ou termopilhas



http://rredc.nrel.gov/solar/glossary/

Piranômetro

- Irradiância solar global proveniente de todo um hemisfério
- A superfície deve ser perfeitamente plana e horizontal
- Detetores: calorímetros, termopilhas ou fotodiodos (sensores do tipo fotovoltaicos)

http://rredc.nrel.gov/solar/glossary/

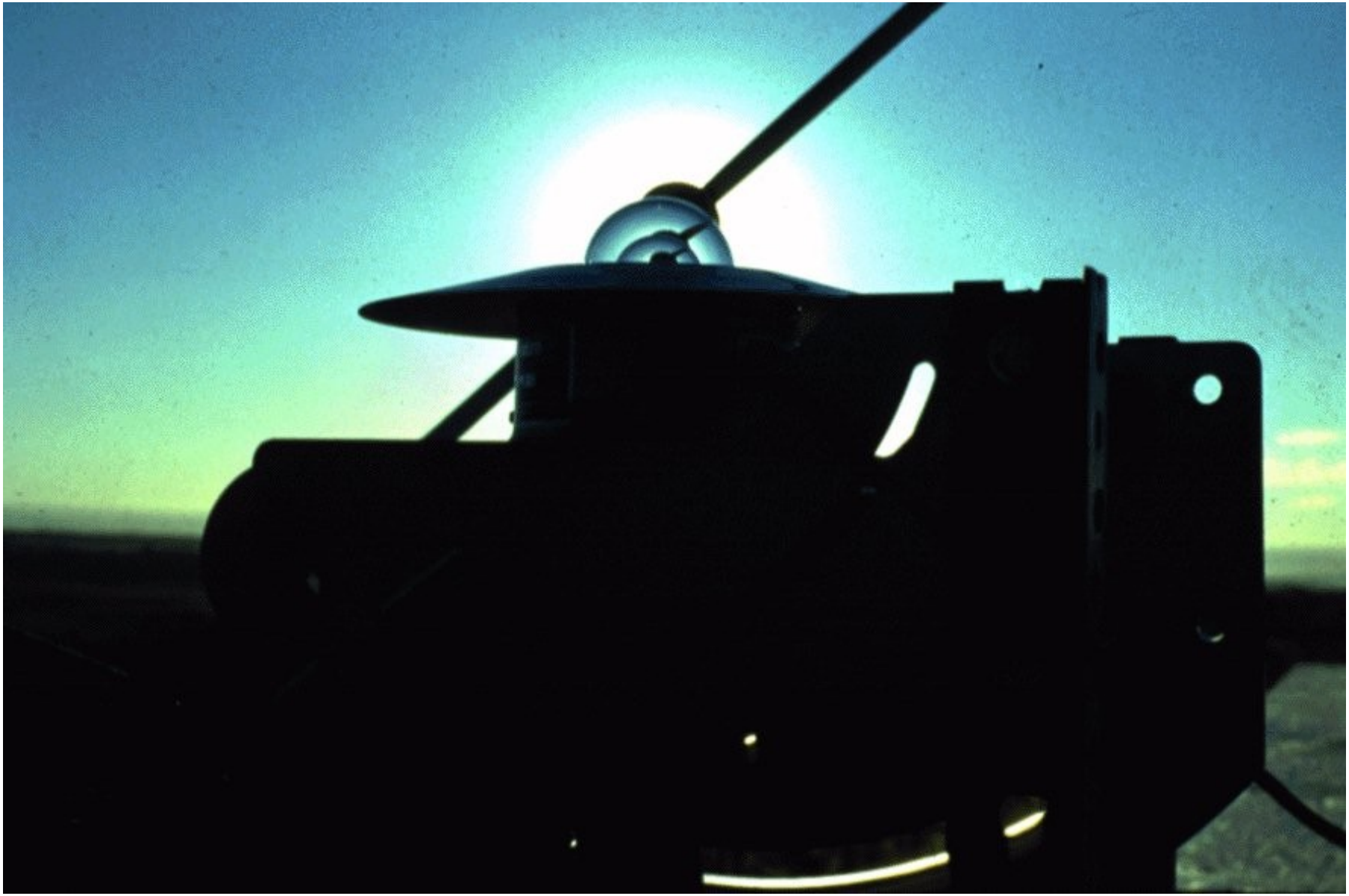
Actinógrafo bimetálico

- Totalmente mecânico
- Uma lâmina bimetálica negra, exposta à radiação solar e duas outras brancas mantidas à sombra

- Negra: deforma-se por variação de temperatura e absorção de radiação solar
- Brancas: deformam-se apenas por variação de temperatura
- acoplamento mecânico para compensar efeito térmico da lâmina negra
- deformação resultante = efeito da radiação, é transmitida a uma pena registradora

Piranômetro

- Com o auxílio de um sistema de sombreamento, pode-se medir a irradiância solar difusa
- Em geral utiliza-se faixa de metal curva, cuja inclinação é ajustada para acompanhar o movimento aparente do sol na abóbada celeste



http://eko-eu.com/products/solar-radiation-and-photonic-sensors/solar-monitoring-stations/sms-directdiffuseglobal

Regiões espectrais específicas

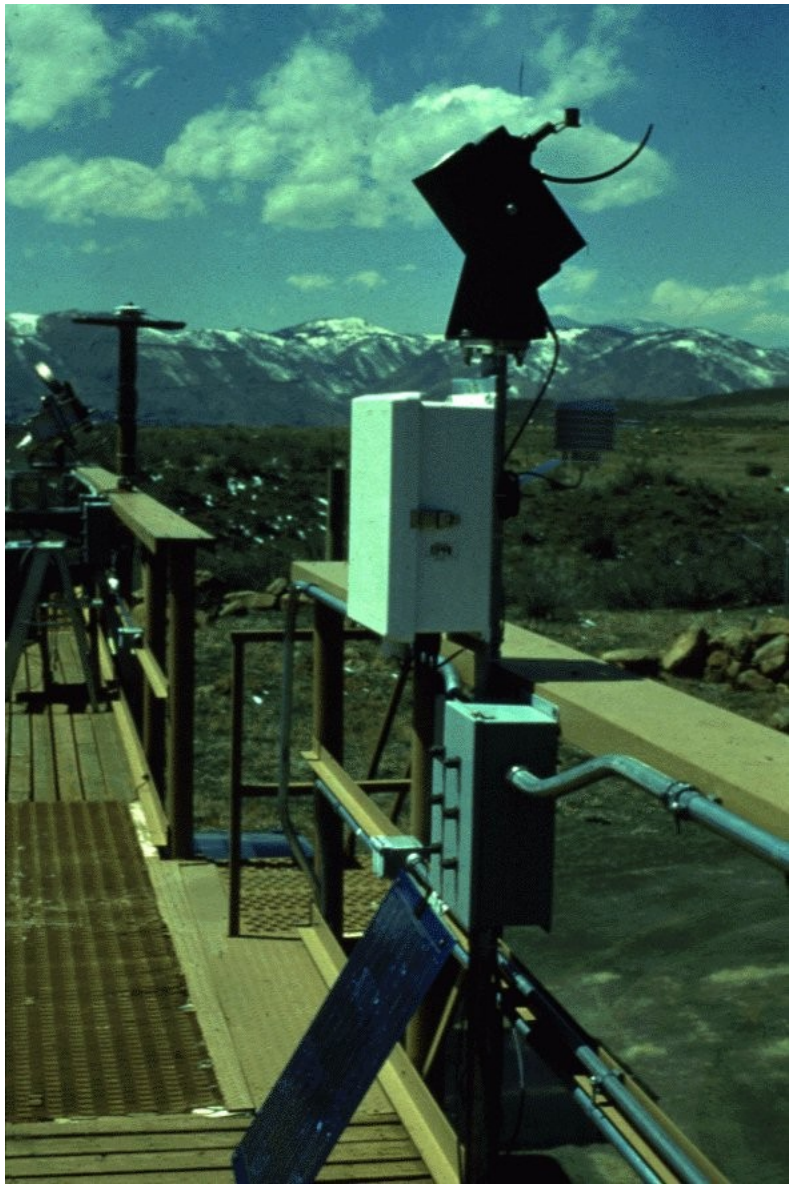
- UV-A e UV-B
- PAR (radiação fotossinteticamente ativa) ou visível

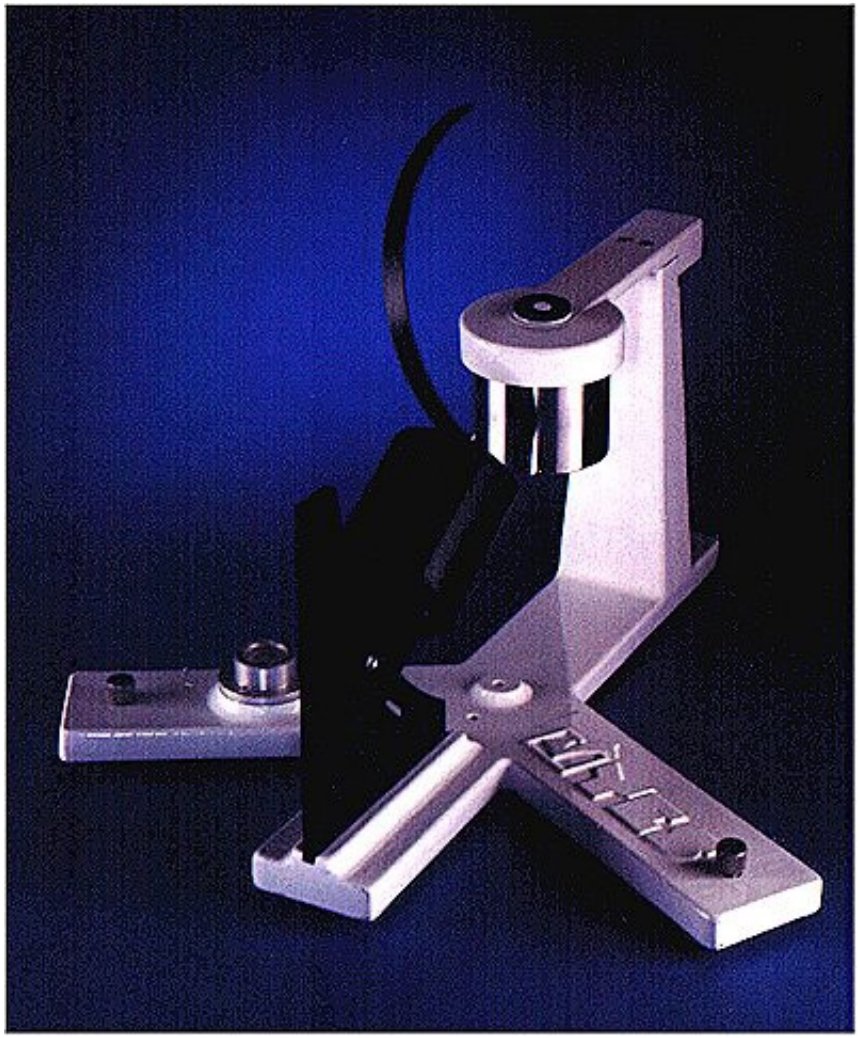
EKO
UV-B Radiometer
MS-212A

Kipp & Zonen
PAR LITE

Espectrais

- Multifilter Rotating Shadowband Radiometer (MFRSR) – medidas em determinados intervalos espectrais (centrados em 415, 500, 615, 673, 870 e 940 nm) de irradiância global e difusa
- Aerossol
- 415 e 500 nm: ozônio
- 940 nm: vapor d'água





Espectrais e direcionais

- Radiômetro solar/celeste:

  - irradiância espectral solar direta em incidência normal – fotômetro solar

  - irradiância espectral solar difusa celeste proveniente de diversas direções da abóbada celeste

- bandas espectrais: 340, 380, 440, 500, 670, 870, 940 e 1020 nm

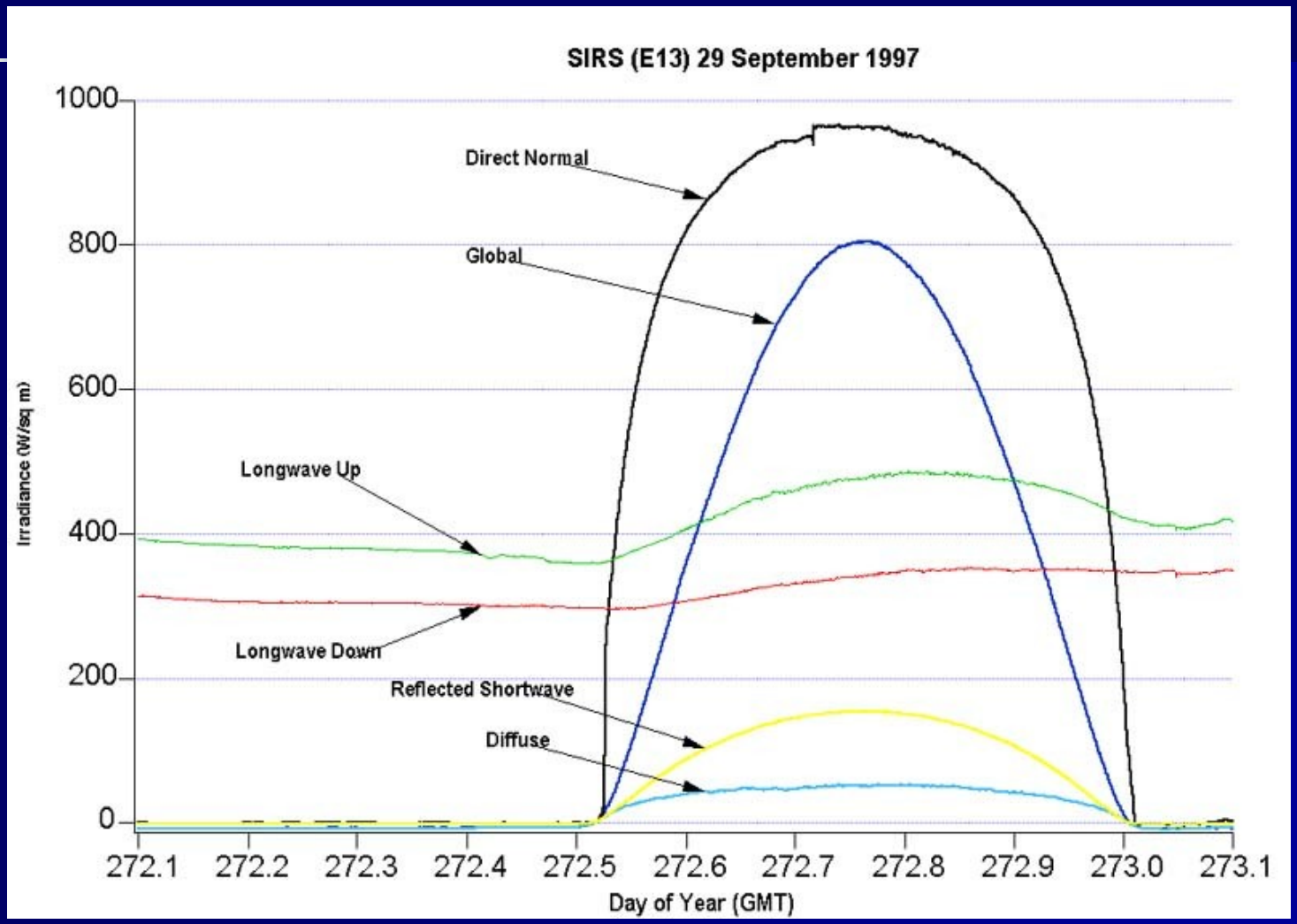
Pirgeômetro

- Irradiância de onda longa proveniente de todo um hemisfério
- Em geral possui um domo de silicio para filtrar radiação solar
- Detetores: termopilhas

http://www.cmdl.noaa.gov/star/instfset.html

http://www.kippzonen.com/image/common/cg1big.jpg

Exemplo – ciclo diurno



Aplicações

- Irradiância solar incidente e a refletida

  ➡ refletância da superfície

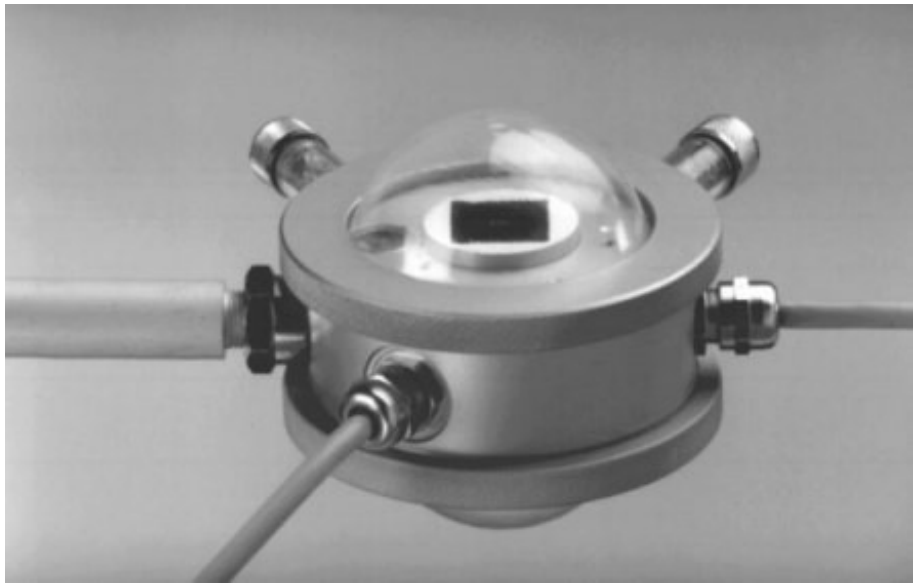
- Irradiância solar incidente, refletida, irradiâncias descendente e ascendente onda longa

  ➡ balanço de radiação à superfície (ou saldo de radiação)

Pirradiômetro

- Medidas do saldo de radiação total (onda curta mais onda longa) em um hemisfério
- Quando composto por sensores apontados para cima e para baixo – “net pirradiômetros”
- Detetores: termopilhas

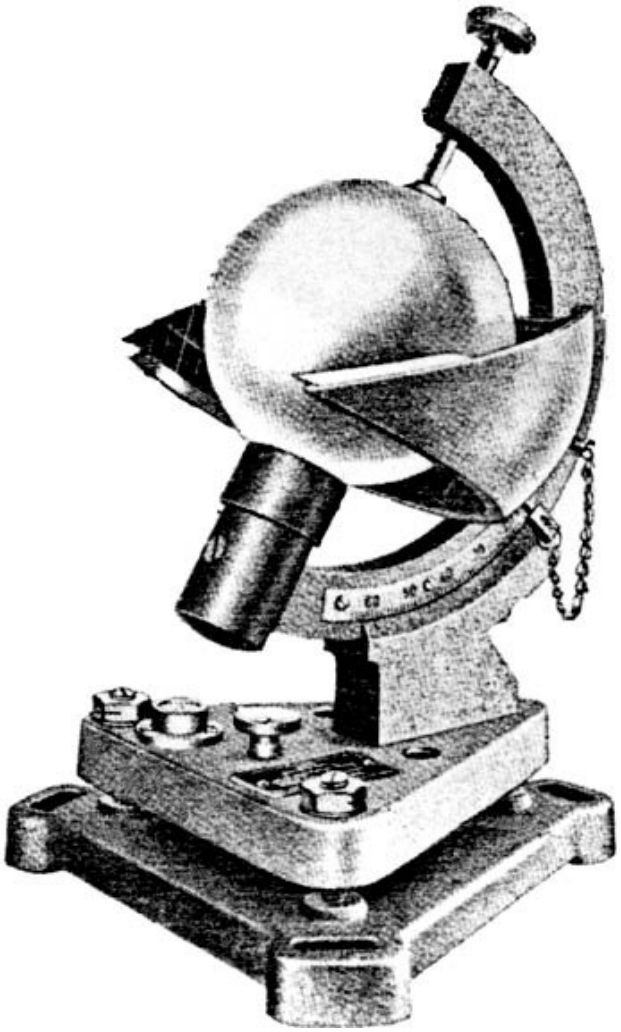
http://www.telecom.at/schenk/8111.html



http://www.kippzonen.com/product/cnr1.html

Heliógrafo

- Medida de insolação: intervalo de tempo em que o disco solar permanece visível, entre o nascimento e o ocaso do Sol.
- Esfera de vidro focaliza os raios solares em uma tira de papel especial (heliograma), onde há uma escala de tempo impressa
- Raios focalizados queimam o heliograma



Heliógrafo de Campbell-Stokes

Terra

- Características de alguns sensores a bordo do satélite

(http://terra.nasa.gov)

CERES – Clouds and the Earth's Radiant Energy System

- Bolômetro termistor de varredura em banda larga
- Bandas espectrais:

  - onda curta: 0,3-5,0 μm – radiação solar refletida

  - onda longa: 8-12 μm – radiação térmica emitida pela Terra na janela atmosférica

  - total: 0,3 a >200 μm – radiação total

- Calibração “on-board” com o auxílio de um difusor de radiação solar, uma lâmpada de Tungstênio e um par de cavidades de corpo negro que podem ser controladas para diferentes temperaturas

MISR – Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer

- Radiômetro espectral com câmeras CCD para medir radiâncias em 9 ângulos diferentes
- Bandas espectrais: 446, 558, 672 e 866 nm
- Monitoramento da concentração e tipo de partículas de aerossol
- Quantidade, tipos e alturas de nuvens
- Distribuição da cobertura da superfície da terra

MODIS – MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer

- Radiômetro (fotodiodos) de varredura com filtros espectrais de interferência
- Intervalo espectral: 0,4 a 14,4 μm
- Determinar:

  - temperatura da superfície (continente e oceano) e detecção de pixels de fogo;

  - cor dos oceanos;

  - mapas globais de vegetação

  - características de nuvens

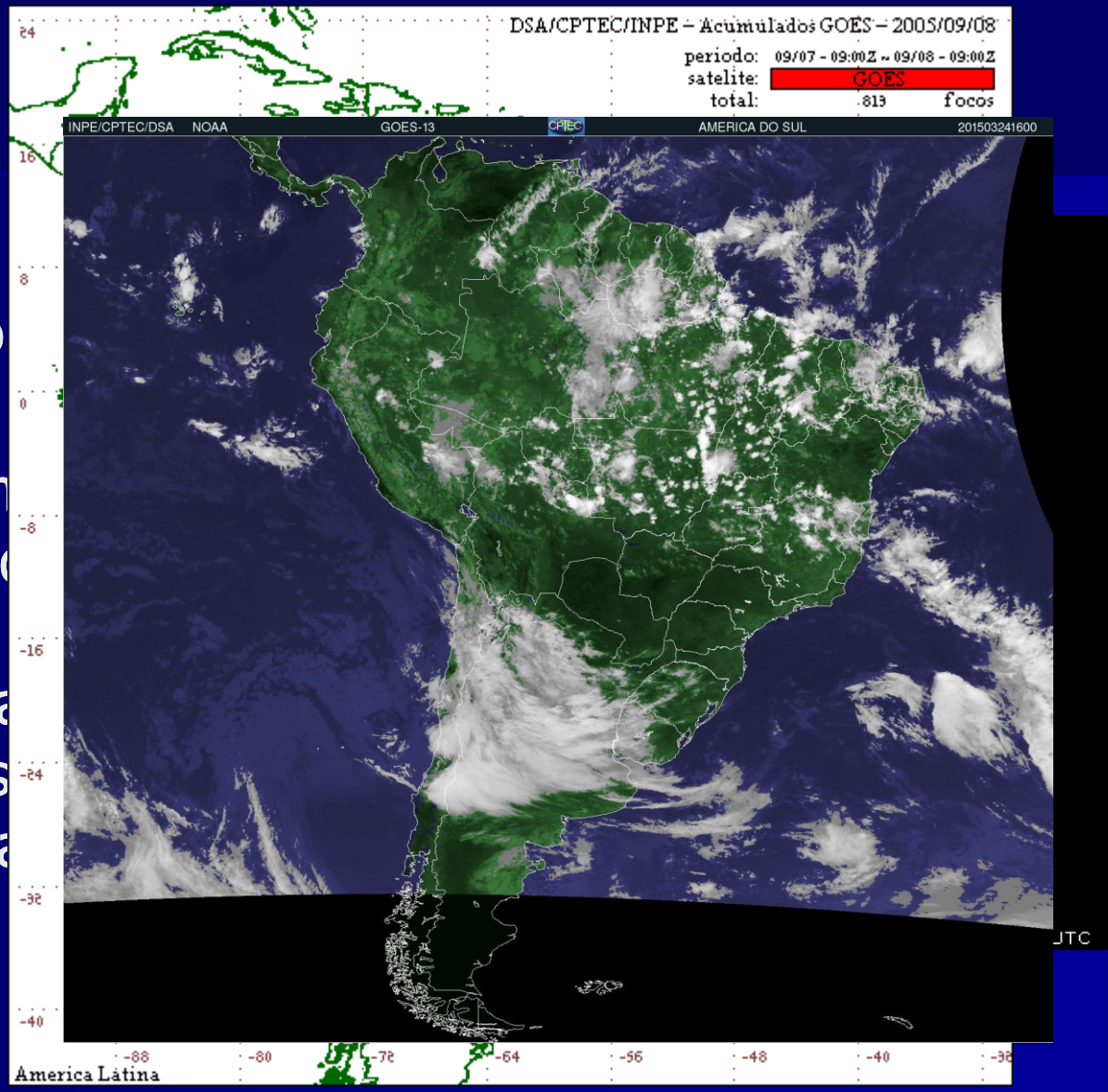
  - concentração das partículas de aerossol e suas propriedades

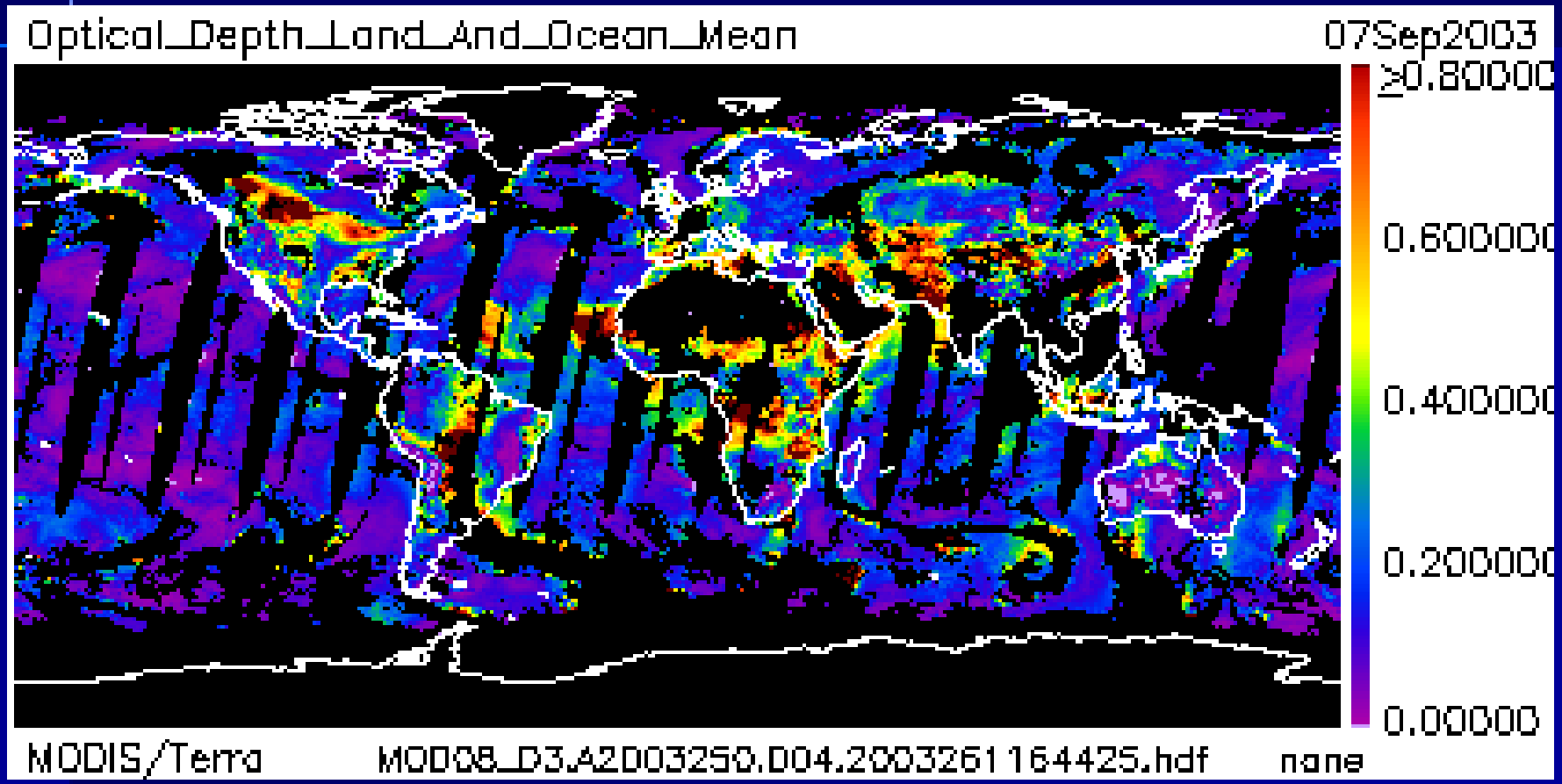
MOPITT – Measurements Of Pollution In The Troposphere

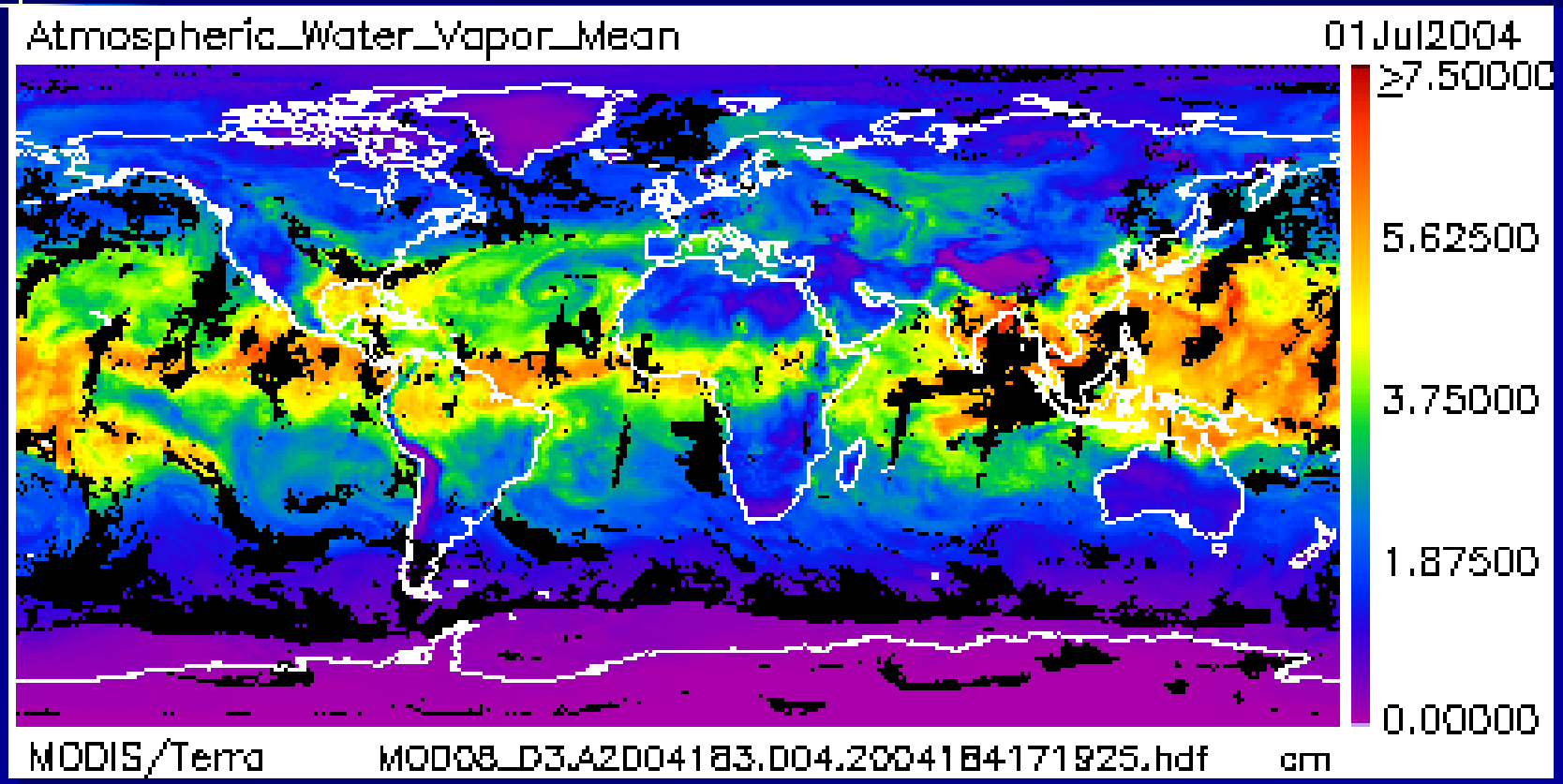
- Radiômetro de varredura – radiação infravermelha em três bandas de absorção do CO e do CH_4
- Bandas espectrais: 2,3 (CH_4), 2,4 (CO) e 4,7μm (CO)
- Calibração é realizada no próprio satélite com uma cavidade de corpo negro de alta temperatura

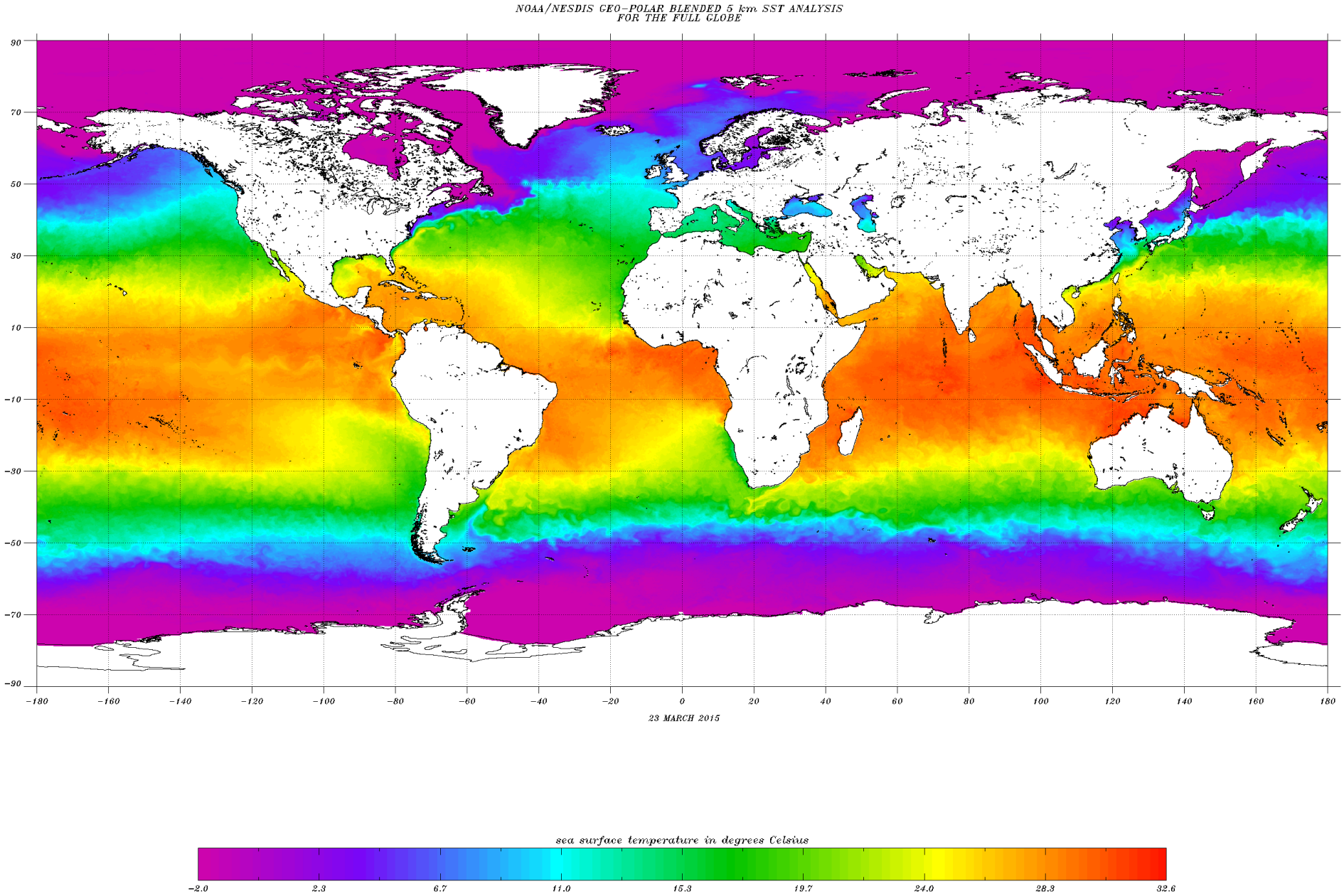
Sensoriamento remoto

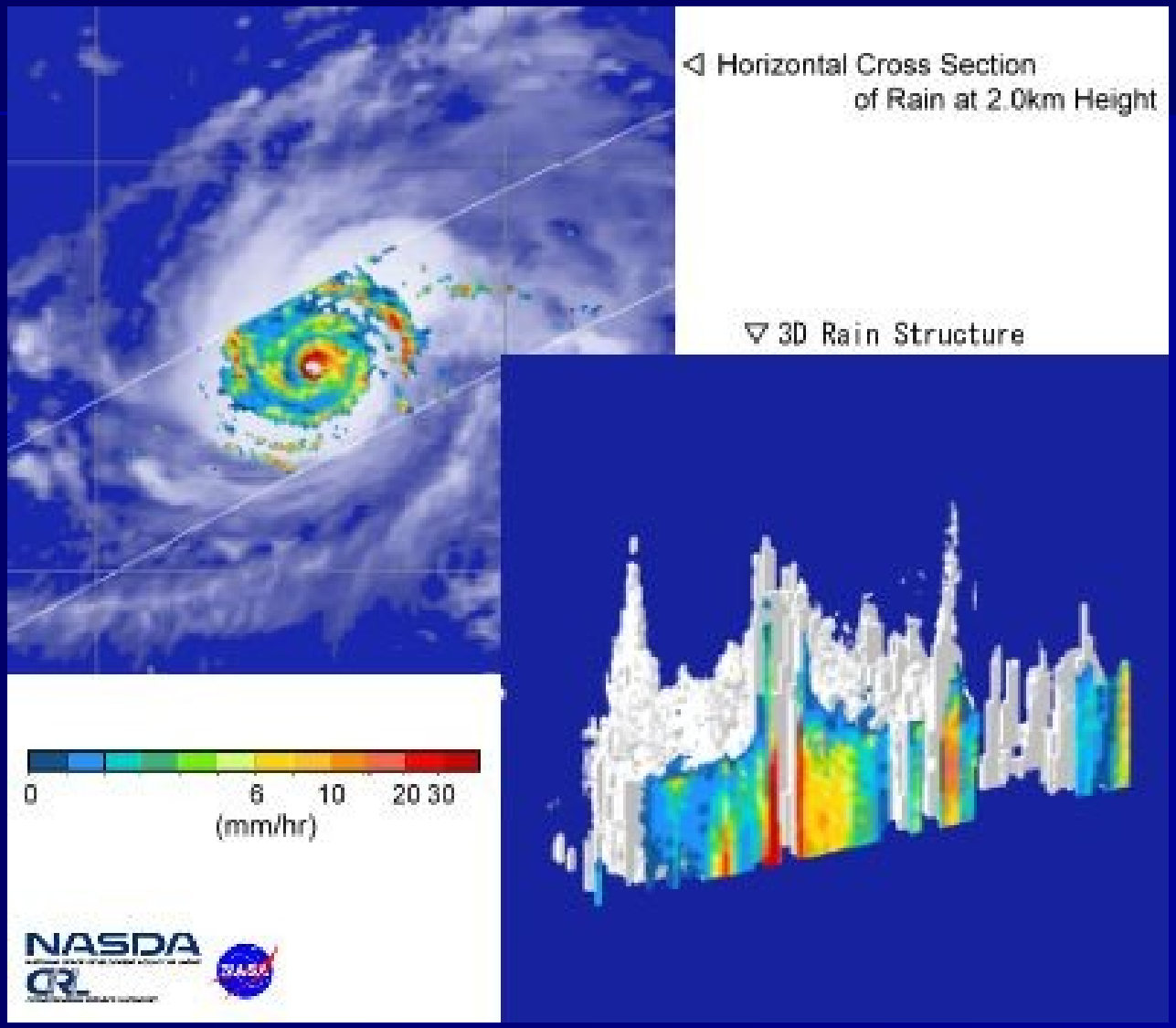
- Meteorologia
- Controle de po
  atmosféricos
- superfícies – m
  de solo, focos
  queimadas,
  produtividade a
  áreas alagadas
  reservas natura




Optical_Depth_Land_And_Ocean_Mean
07Sep2003
≥0.80000
0.60000
0.40000
0.20000
0.00000
MODIS/Terra
MOD08_D3.A2003250.D04.2003261164425.hdf
none


Atmospheric_Water_Vapor_Mean
01Jul2004
≥7.50000
5.62500
3.75000
1.87500
0.00000
MODIS/Terra
MOD08_D3.A2004183.D04.2004184171925.hdf
cm


NOAA/NESDIS GEO-POLAR BLENDED 5 km SST ANALYSIS
FOR THE FULL GLOBE
90
70
50
30
10
-10
-30
-50
-70
-90
-180
-160
-140
-120
-100
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
23 MARCH 2015
sea surface temperature in degrees Celsius
-2.0
2.3
6.7
11.0
15.3
19.7
24.0
28.3
32.6


◁ Horizontal Cross Section
of Rain at 2.0km Height
▽ 3D Rain Structure
0
6
10
20 30
(mm/hr)
NASDA

Apresentação de Seminário

- Cada grupo de no máximo 3 estudantes pesquisará no mínimo dois radiômetros manufaturados pelas empresas listadas. A ideia é simular uma apresentação com finalidades comerciais, isto é, como representante comercial da empresa.
- Enviar por e-mail os nomes dos estudantes do grupo e a empresa escolhida até sexta-feira, dia 07/04

- Devem constar, no mínimo, as características técnicas do instrumento (grandeza radiométrica medida, região espectral, precisão, dizer se o detector de radiação é térmico ou fotossensível) e áreas de aplicação.

- O seminário deverá ter duração mínima de 10 minutos e máxima de 15 minutos. O término antes do prazo acarretará a perda de um ponto, e após o prazo, de dois pontos na nota final, que poderá variar entre 0 a 10.
- **Data de apresentação: 17/04/2017**

Sugestões de empresas:

- Kipp & Zonen
- Eko Instruments
- Eppley
- Solar Light
- Gamma Scientific
- Delta OHM
- Cimel