

## **CAPÍTULO 4**

# **TECNOLOGIA ESPACIAL NO ESTUDO DE FENÔMENOS ATMOSFÉRICOS**

**Jorge Conrado Conforte<sup>1</sup>**

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE**

---

<sup>1</sup> conrado@ltd.inpe.br



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4-7</b>
<b>2. APLICAÇÕES DOS DADOS COLETADOS PELOS SATÉLITES</b>	
<b>METEOROLÓGICOS .....</b>	<b>4-10</b>
<b>2.1 VENTO .....</b>	<b>4-11</b>
<b>2.2 PRECIPITAÇÃO .....</b>	<b>4-12</b>
<b>2.3 SONDAGENS ATMOSFÉRICAS .....</b>	<b>4-14</b>
<b>2.4 RADIAÇÃO .....</b>	<b>4-17</b>
<b>2.5 OZÔNIO .....</b>	<b>4-19</b>
<b>2.6 MEDIDAS DE CO .....</b>	<b>4-19</b>
<b>2.7 TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR .....</b>	<b>4-21</b>
<b>3. CONCLUSÃO .....</b>	<b>4-21</b>
<b>4. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>4-22</b>



## LISTA DE FIGURAS

1 - PRIMEIRA IMAGEM OBTIDA PELO SATÉLITE TIROS1 .....	4-7
2 - DISPOSIÇÃO DOS SATÉLITES METEOROLÓGICOS DE ACORDO COM SUAS ÓRBITAS .....	4-9
3 - ÓRBITA DO SATÉLITE TRMM .....	4-9
4 - IMAGENS SATÉLITE GOES-E INFRAVERMELHO, VISÍVEL, INFRAVERMELHOR(VAPOR D'ÁGUA) E MICROONDAS SATÉLITE DMSP (SENSOR SSM/I) .....	4.10
5 - VENTO ESTIMADO USANDO DADOS DO SATÉLITE GOES-8 .....	4-12
6 - PRECIPITAÇÃO ESTIMADA USANDO DADOS DO CANAL INFRAVERMELHO DO SATÉLITE GOES .....	4-13
7 - CAMPO DE PRECIPITAÇÃO OBTIDO ATRAVÉS DO RADAR METEOROLÓGICO DO SATÉLITE TRMM .....	4-13
8 - PERFIL VERTICAL DE TEMPERATURA OBTIDO ATRAVÉS DE DADOS DO SATÉLITE NOAA 14 .....	4-15
9 - CAMPO DE TEMPERATURA EM 500 HPA OBTIDO A PARTIR DE DADOS DO SATÉLITE NOAA 14 .....	4-16
10 - CAMPO DE UMIDADE RELATIVA 1000 HPA OBTIDO A PARTIR DE DADOS DO SATÉLITE NOAA 14 .....	4-17
11 – RADIAÇÃO DE ONDA CURTA ABSORVIDA, OBTIDA A PARTIR DE DADOS DO SATÉLITE NOAA .....	4-18
12 - RADIAÇÃO DE ONDA LONGA EMITIDA, OBTIDA A PARTIR DE DADOS DO SATÉLITE NOAA .....	4-18
13 - OZÔNIO MEDIDO EM 09/06/2000, A PARTIR DO SATÉLITE ERS-2	4-19
14 - CONCENTRAÇÃO DE CO MEDIDA PELO SENSOR MOPITT DO	

**SATÉLITE TERRA ..... 4-20**

**15 - EMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR SATÉLITE NOAA ..... 4.21**

## 1. INTRODUÇÃO

Os primeiros satélites, com instrumento meteorológico a bordo, foram lançados em 17 de fevereiro de 1959 (Vanguard 2) e 7 de agosto de 1959 (Explorer 6) mas, devido a problemas com estes satélites as informações obtidas, não tiveram grande utilidade. O primeiro satélite que teve sucesso na obtenção de dados meteorológicos foi o Explorer 7, lançado em 13 de outubro de 1959 com um radiômetro desenvolvido por Verner Suomi e seus colaboradores da Universidade de Wisconsin. Com as informações obtidas foram feitos os primeiros mapas aproximados da radiação refletida e emitida (na faixa do infravermelha) pelo sistema terra e a atmosfera. O primeiro satélite com finalidade de aplicação exclusivamente meteorológica foi lançado em 1 de abril de 1960, o TIROS 1, na Figura 1 pode-se observar a primeira imagem transmitida por este satélite.

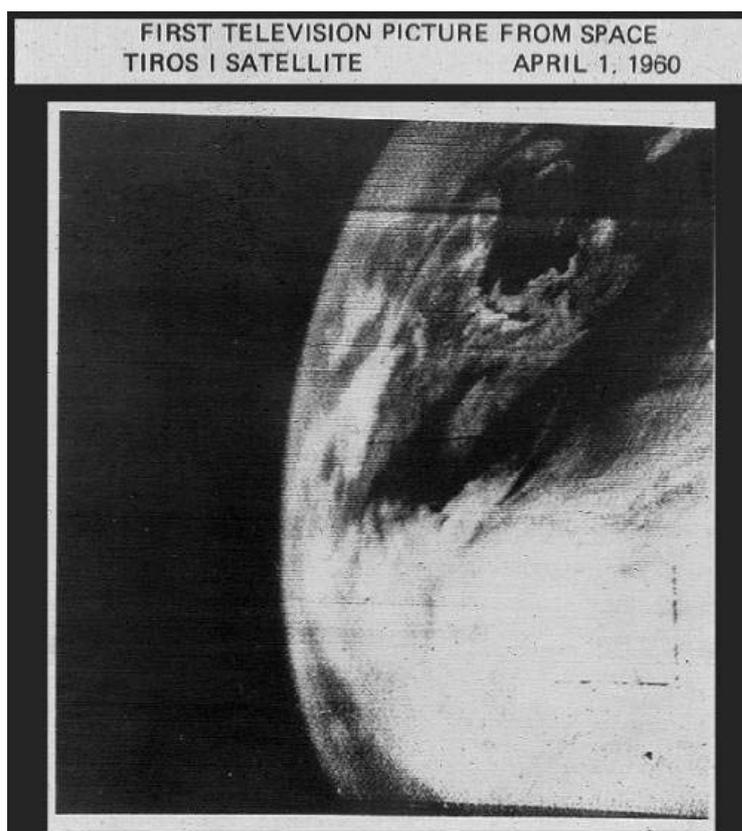


Fig. 1 - Primeira imagem obtida pelo satélite TIROS 1

Após o lançamento deste satélite, e com o avanço na área de eletrônica e informática, e com o desenvolvimento de novos sensores e softwares, os dados obtidas pelos satélites meteorológicos puderam então ser aplicados aos mais diversos campos de interesse da meteorologia.

Os satélites meteorológicos podem ser classificados de acordo com sua órbita em três diferentes classes:

## ***GEOESTACIONÁRIOS***

### ***POLARES***

### ***TROPICAIS***

Os satélites de órbita geoestacionária são assim denominados pois aparentemente eles se mantêm fixos sobre um mesmo ponto na superfície da Terra. Estão localizados a 36.000 km acima da superfície da Terra, permitindo desta forma um monitoramento contínuo dos fenômenos atmosféricos que se desenvolvem na área de visada do satélite. A principal característica deste satélite é a obtenção de uma nova imagem a cada 30 minutos. Outro fator importante associado a este tipo de satélites está relacionado com a área de cobertura, bem superior aos demais tipos de órbita acima mencionados, em razão da altitude em que está posicionado. Em função de estarem colocados sobre a linha do equador as regiões polares não são monitoradas pelos satélites geoestacionários.

Os satélites de órbita polar estão posicionados geralmente entre 700 e 800 km acima da superfície da Terra. Têm em geral um período orbital de 98 a 102 minutos o que fornece um total de aproximadamente 14 órbitas por dia. Em função da sua altitude, estes satélites cobrem uma faixa bem estreita da Terra por onde estão se deslocando. A principal característica deste satélite é que as regiões polares têm um monitoramento mais detalhado. Na Figura 2, podemos observar a rede de satélites meteorológicos que são utilizados no monitoramento dos principais fenômenos meteorológicos.

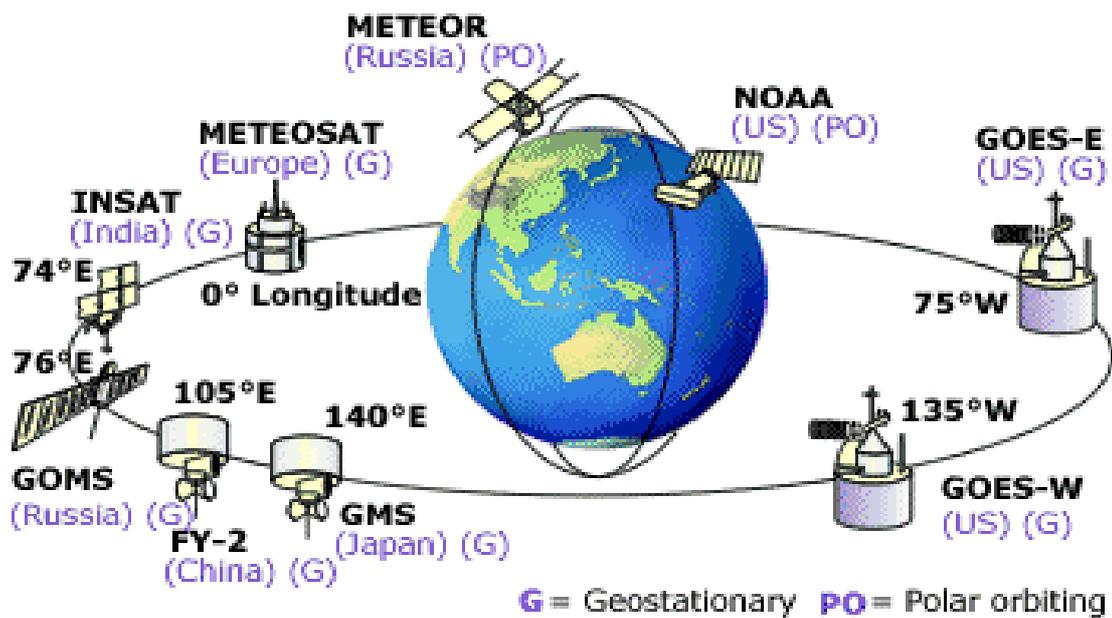


Fig. 2 - Disposição dos satélites meteorológicos de acordo com suas órbitas.

Nesta figura não está incluída a órbita do primeiro satélite com objetivo exclusivo de adquirir informações meteorológicas na região tropical, ou seja o satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), lançado em 27/11/1997. Este satélite está localizado numa órbita inferior ao dos tradicionais satélites de órbita polar, ele está posicionado a 350 km acima

da superfície terrestre, com uma inclinação de 35° em relação a linha do equador, Figura 3.

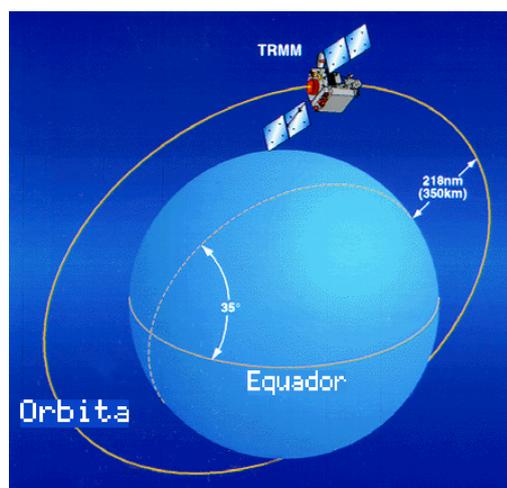


Fig. 3 - Órbita do satélite TRMM.

## 2. APLICAÇÕES DOS DADOS COLETADOS PELOS SATÉLITES METEOROLÓGICOS

Os satélites meteorológicos atualmente operacionais obtêm informações em três faixas do espectro eletromagnético, isto é: na faixa do infravermelho, visível, infravermelho (vapor d'água) e microondas. A seguir estão imagens obtidas pelos satélites nestas faixas de observação Figura 4.

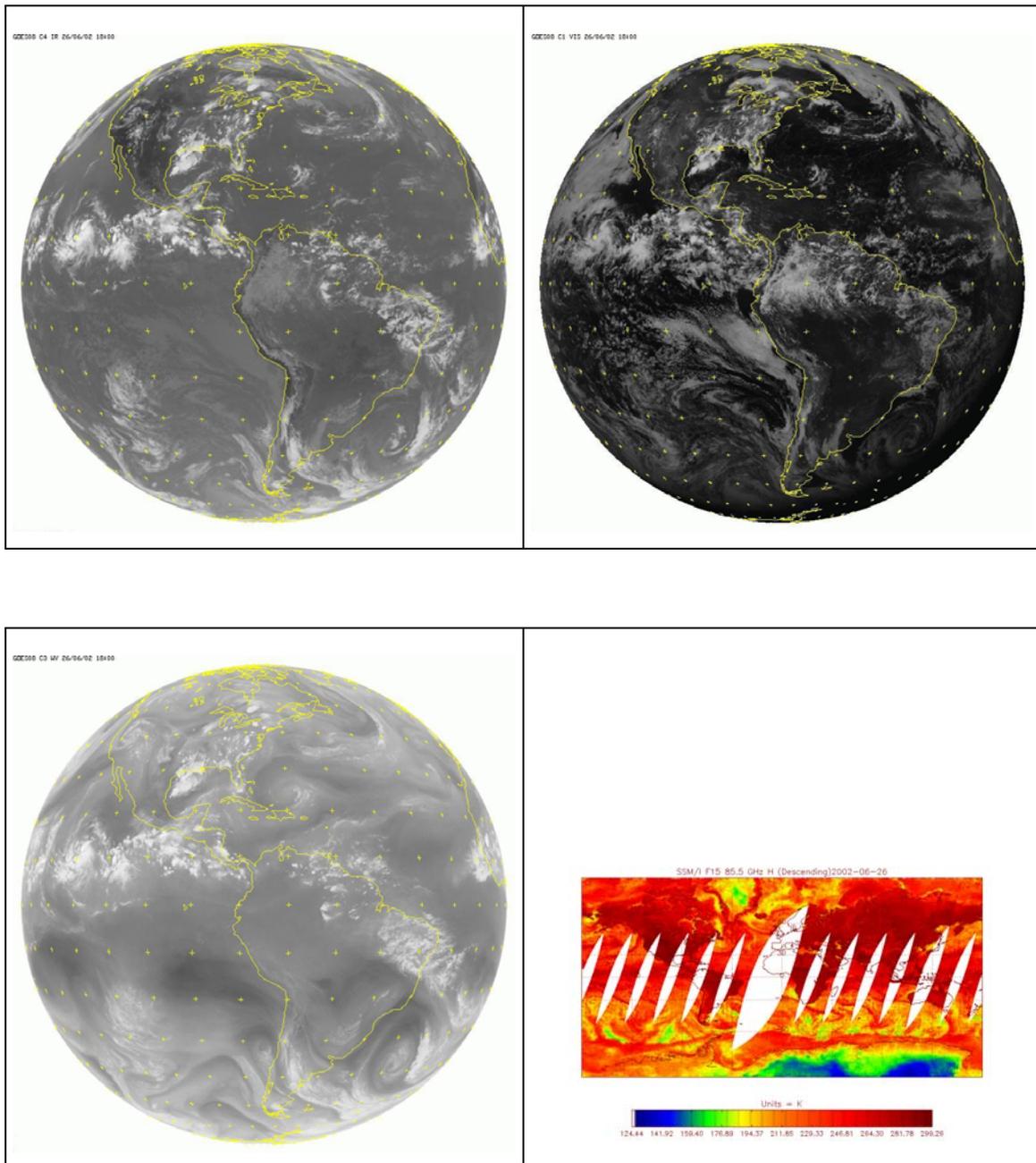


Fig. 4 - Imagens do satélite GOES-E na faixa do infravermelho, visível, infravermelho (vapor d'água) e microondas satélite DMSP (sensor SSM/I)

Inicialmente, a aplicação principal dos dados coletados pelos satélites meteorológicos, tinha como objetivo principal a observação dos deslocamentos dos sistemas frontais e o desenvolvimento de sistemas locais. Estas informações eram utilizadas para a análise subjetiva das condições meteorológicas predominantes em pequena ou grande escala.

Com o desenvolvimento de softwares, diversas metodologias foram desenvolvidas para a aplicação das informações coletadas por estes satélites. Deve-se salientar a importância que os dados coletados por estes satélites têm para determinadas regiões, seja pela carência de uma rede de observações adequada ou por se encontrarem em regiões remotas (florestas, desertos, oceanos, etc). A seguir serão mostradas resumidamente, algumas aplicações usando os dados obtidos através dos satélites meteorológicos.

## **2.1. - VENTO**

A metodologia de extração de ventos usando dados de satélites geoestacionários é realizada usando-se informações de duas imagens sucessivas (intervalo de 30 minutos). A velocidade do vento é estimada calculando-se o deslocamento da nuvem nas duas imagens e dividindo-se então pelo intervalo de tempo entre estas imagens. Eles são estimados para três níveis da atmosfera, alto, médio e baixo, sendo atribuída para cada nível uma cor para representá-los.

Na Figura 5, pode-se observar a velocidade do vento estimada usando-se esta metodologia.

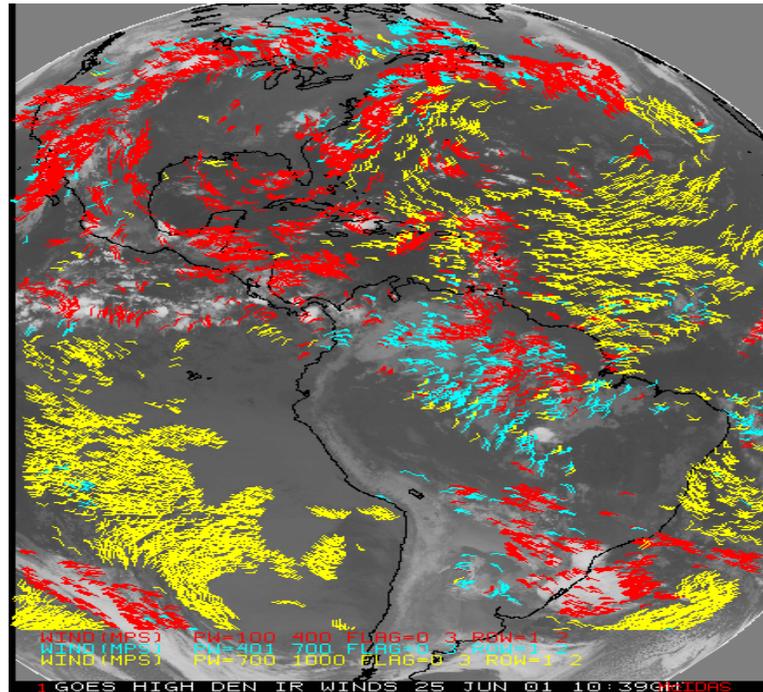


Fig. 5 - Vento estimado usando dados do satélite GOES –8.

## 2.2 - PRECIPITAÇÃO

A precipitação é outra variável que pode ser avaliada usando informações obtidas pelos diversos sensores a bordo dos satélites meteorológicos (que operam nas bandas do visível, infravermelho, e microondas). As técnicas que utilizam os dados dos sensores nas bandas do visível, infravermelho e microondas são denominadas de técnicas indiretas de avaliação da precipitação, pois estes sensores não medem diretamente a precipitação. Somente através do radar meteorológico, a bordo de satélite é possível avaliar diretamente a precipitação, o satélite TRMM no presente momento é o único que nos permite obter medidas diretas de precipitação. Na Figura 6, podemos observar o campo de precipitação estimado usando informação do canal infravermelho do satélite GOES.

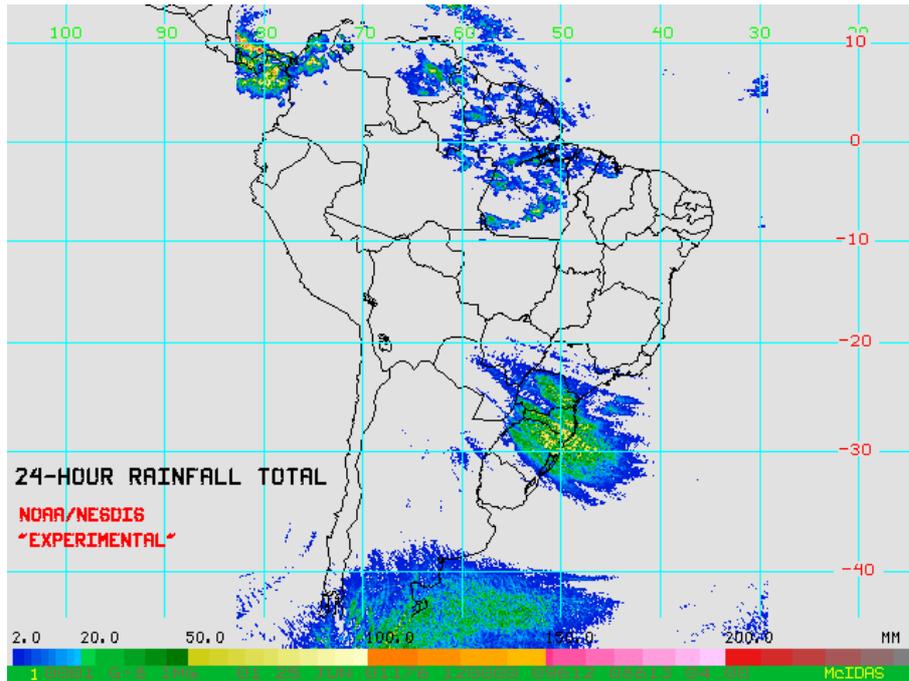


Fig. 6 - Precipitação estimada usando dados do canal infravermelho do satélite GOES.

Na Figura 7 observa-se o campo de precipitação obtido pelo radar meteorológico a bordo do satélite TRMM.

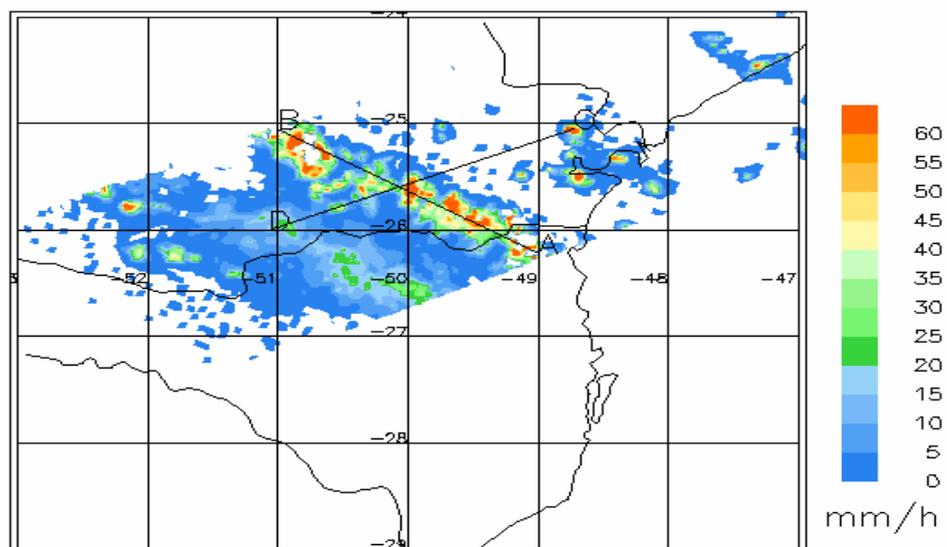


Fig. 7 - Taxa de precipitação obtida através do radar a bordo do satélite TRMM

### 2.3 - SONDAGENS ATMOSFÉRICAS

Um produto de fundamental importância obtido através dos satélites meteorológicos são as sondagens atmosféricas. A sondagem da estrutura vertical da atmosfera nos fornece a variação dos campos de temperatura, umidade e vento, campos estes que são de fundamental importância no conhecimento da estabilidade da atmosfera. No Brasil, em somente algumas estações da rede de observação meteorológica, é feita uma única observação por dia. Esta carência de informações não nos permite o conhecimento preciso da estrutura vertical da atmosfera. Com os sensores **HIRS** (**H**igh **R**esolution **I**nfrared **R**adiation **S**ounder) e **AMSU** (**A**dvanced **M**icrowave **S**ounding **U**nit), instalados a bordo dos satélites polares da série NOAA, podemos obter a variação dos campos de vento, temperatura e umidade na vertical.

Nas figuras 8, 9 e 10 podemos observar o perfil vertical de temperatura e umidade para a cidade de Cuiabá, e os campos de temperatura e umidade obtidos com informações derivadas dos dados recebidos pelos sensores a bordo do satélite NOAA-14.

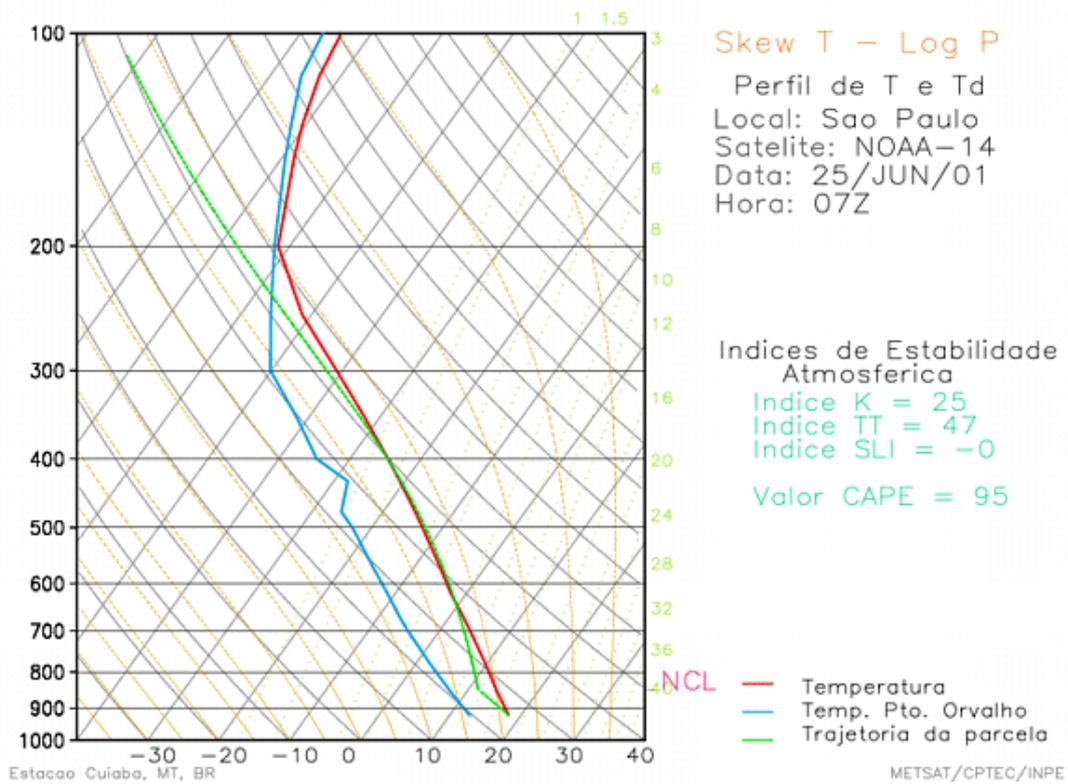


Fig. 8 - Perfil vertical de temperatura obtido através de dados do satélite NOAA 14.

Estes perfis verticais são de fundamental importância em meteorologia, pois eles nos permitem avaliar a estabilidade da atmosférica, ou seja, se existe a possibilidade do desenvolvimento de sistemas convectivos.

TEMPERATURA EM 500 hPa (Celsius)  
NOAA-14 Data: 25/JUN/01 (07Z)

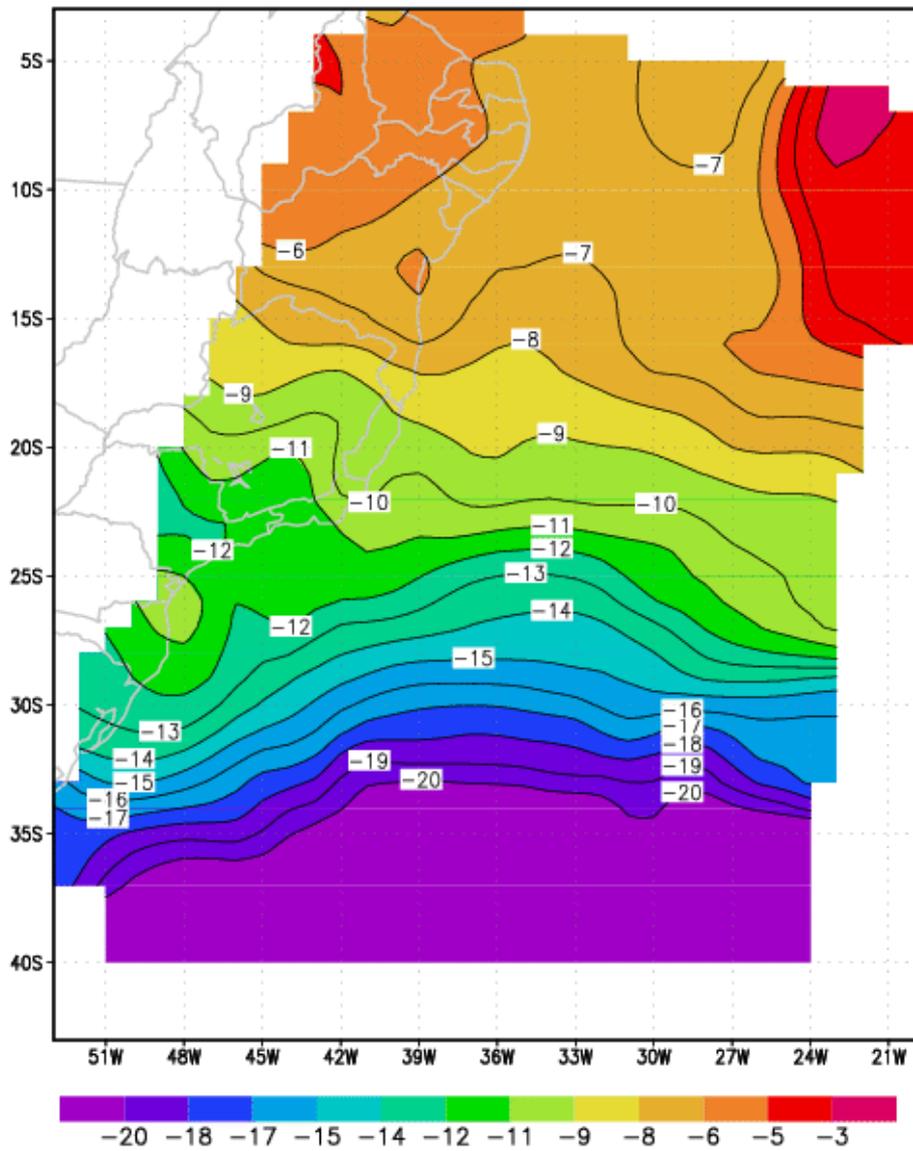


Fig. 9 - Campo de temperatura em 500 hPa obtido a partir de dados do satélite NOAA-14

UMIDADE RELATIVA EM 1000 hPa (%)  
NOAA-14 Data: 25/JUN/01 (07Z)

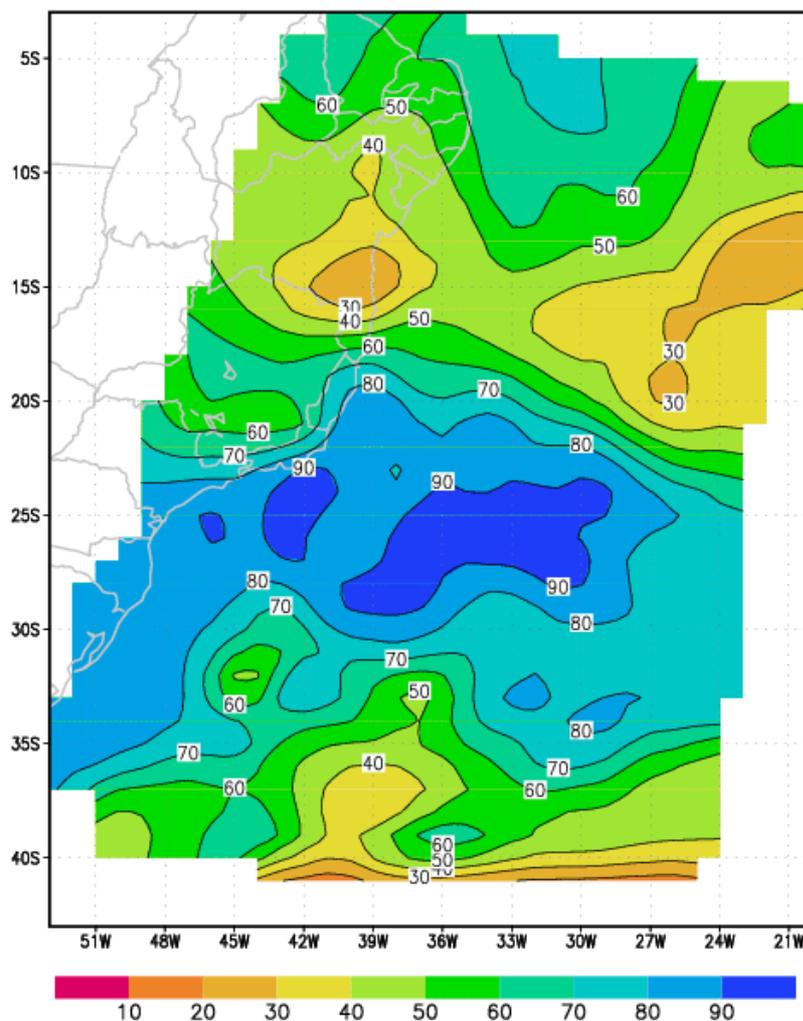
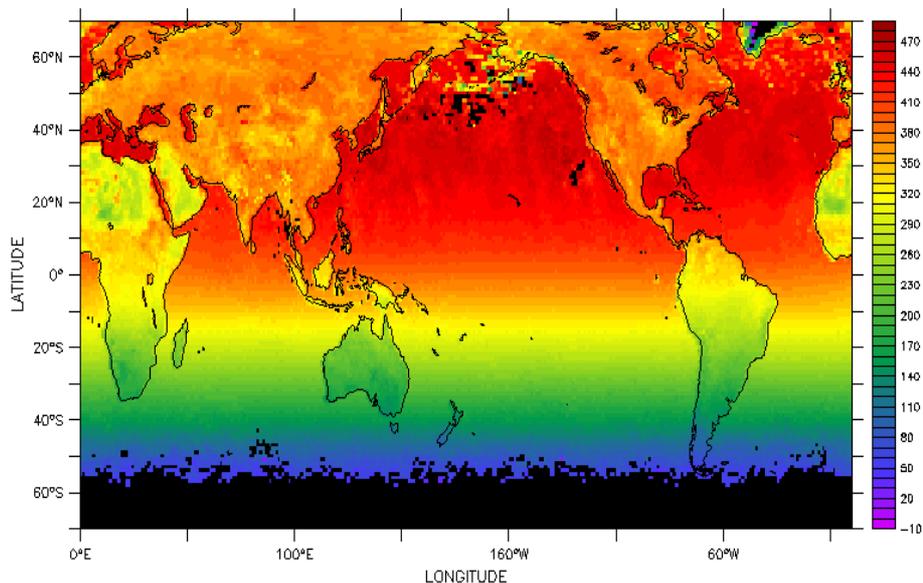


Fig. 10 - Campo de umidade relativa 1000 hPa , obtido a partir de dados do satélite NOAA-14

## 2.4 - RADIAÇÃO

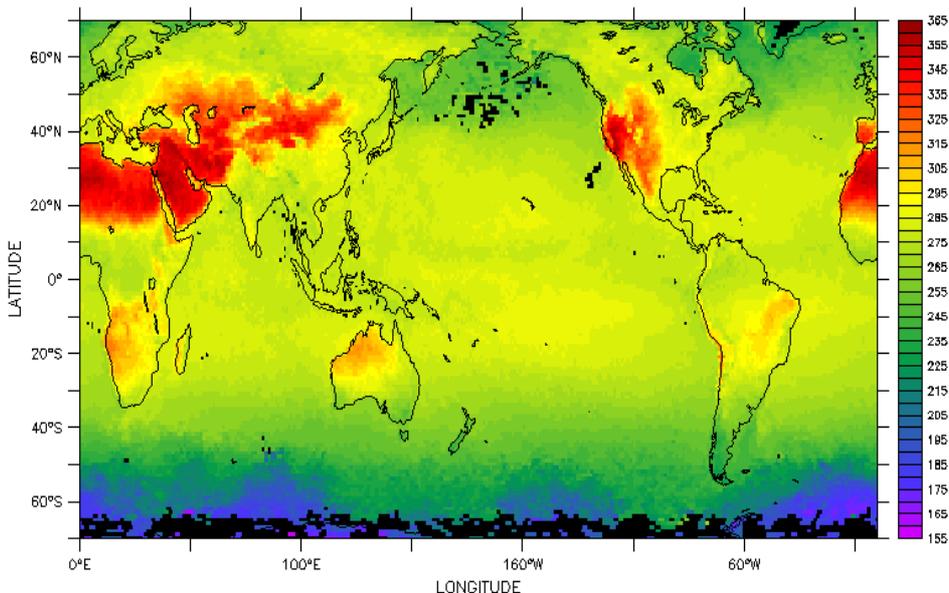
A radiação solar que atinge o topo da atmosfera é da ordem de  $1365 \text{ Watts/m}^2$ , deste total em média, somente a metade atinge a superfície da terra, trinta por cento é refletida para o espaço e 20 por cento é absorvida pelas nuvens, poeiras e gases do efeito estufa. Portanto, a medida da radiação atmosférica usando satélites, é de fundamental importância para uma melhor compreensão do clima. Nas Figuras 11 e 12 podemos observar a medida da radiação de onda curta e longa realizada a partir das informações coletadas pelos satélite da série NOAA.



Absorbed Solar Flux ( $W/m^2$ )(Clear Skies, Ascending Node)

MAX=482 MIN=-8

Fig. 11 - Radiação de onda curta absorvida, obtida a partir de dados do satélite NOAA.



Outgoing Longwave Radiation ( $W/m^2$ )(Clear Skies, Ascending Node)

MAX=361 MIN=157

Fig. 12 - Radiação de onda longa emitida, obtida a partir de dados do satélite NOAA.

## 2.5 - OZÔNIO

O primeiro dado disponível relacionado com a diminuição da camada de ozônio foi observado na estação Antártica japonesa Syowa em 1982. O cientista inglês J. Lovelock, foi quem descobriu a influência do CloroFluorCarbono (CFC) como o principal mecanismo na diminuição do ozônio na região Antártica. A partir de 1978, com o satélite de órbita polar Nimbus 3, vem sendo realizadas medidas da concentração de ozônio na atmosfera. Na figura 13, podemos observar o resultado da medida feita pelo satélite ERS-2, na qual a camada de ozônio atingiu o seu nível mais baixo, em 9 de setembro de 2000.

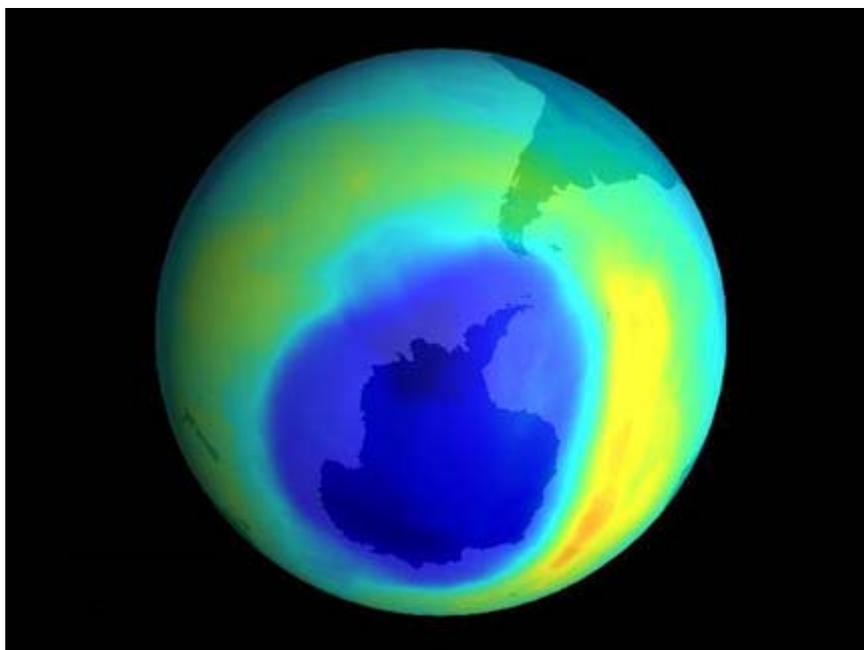


Fig. 13 - Ozônio medido em 9/6/2000 a partir do satélite ERS-2.

## 2.6 - MEDIDAS DE CO

A medida do CO na atmosfera tornou-se possível com o lançamento do satélite TERRA em 19 de dezembro de 1999, um projeto comum dos Estados Unidos, Canadá e Japão. Este satélite tem a bordo o sensor **MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere)**, cuja finalidade principal é a medida da poluição. Os dados obtidos por este sensor são de fundamental importância, pois o CO é um dos principais gases associado com o efeito estufa. Na Figura 14 podemos ver os primeiros resultados obtidos com os dados deste sensor.

Nesta figura pode-se observar a grande concentração de CO na América do Sul e África, concentração associada principalmente com o efeito das queimadas nestas duas regiões.

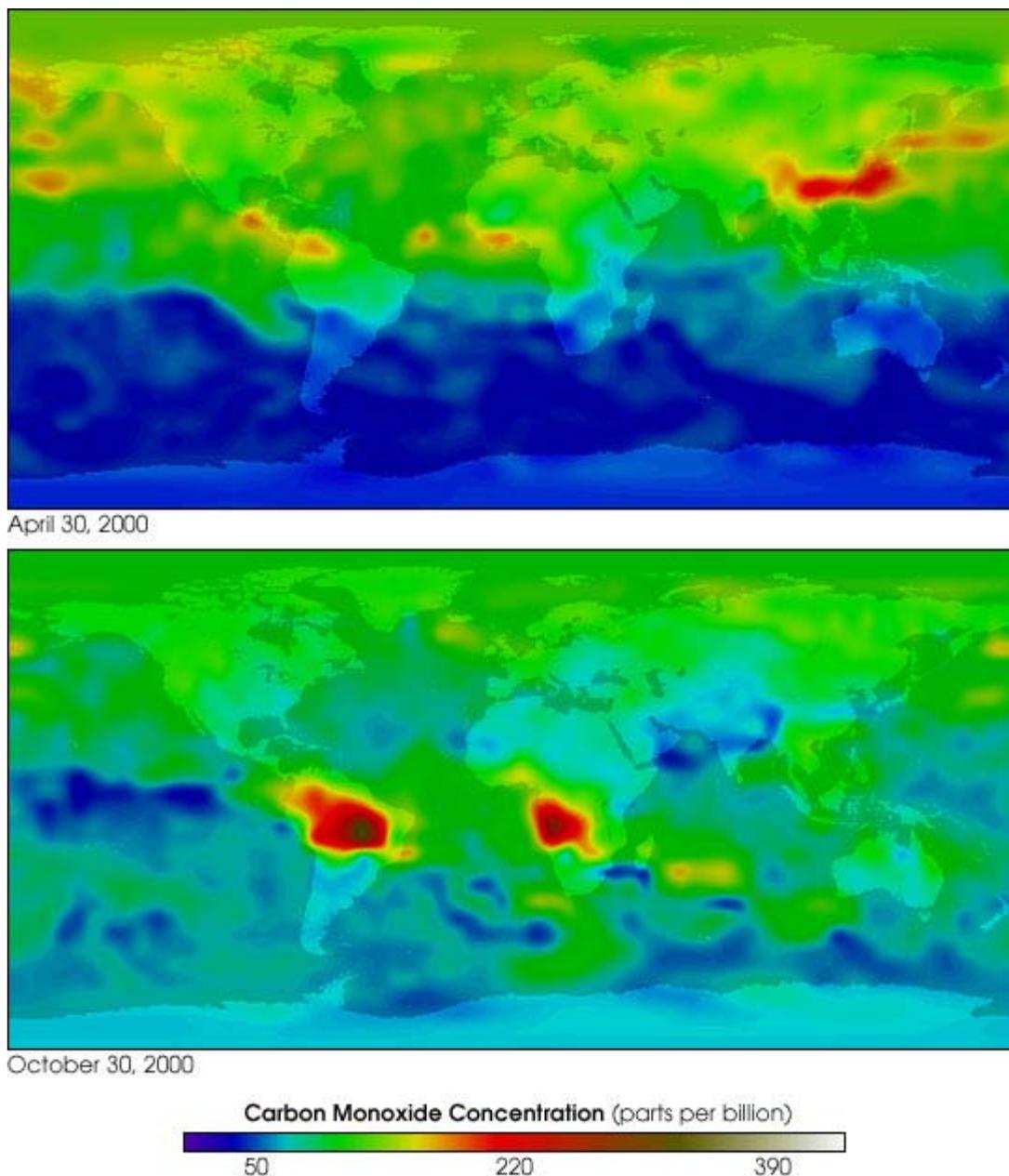


Fig. 14 - Concentração de CO medida pelo sensor MOPITT do satélite TERRA.

Os dados obtidos por satélites meteorológicos também podem ser aplicados em diversas áreas, entre estas podemos citar: no alerta de ocorrência de geadas e nevoeiros. O uso de dados de satélites meteorológicos para as mais diversas aplicações, é um campo que ainda não esgotou todas as possibilidades, pois para cada novo sensor lançado a bordo dos satélites, novas metodologias de uso podem ser desenvolvidas.

## 2.7 - TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR

Um produto de fundamental importância que pode ser obtido através de dados de sensores que operam no infravermelho e microonda é a temperatura da superfície do mar. Esta variável tem as mais diversas aplicações, seja nas atividades de pesca bem como no conhecimento do padrão de circulação dos oceanos. Na Figura 15, podemos observar a variabilidade da temperatura da superfície do mar em escala global com os dados obtidos através dos satélites da série NOAA.

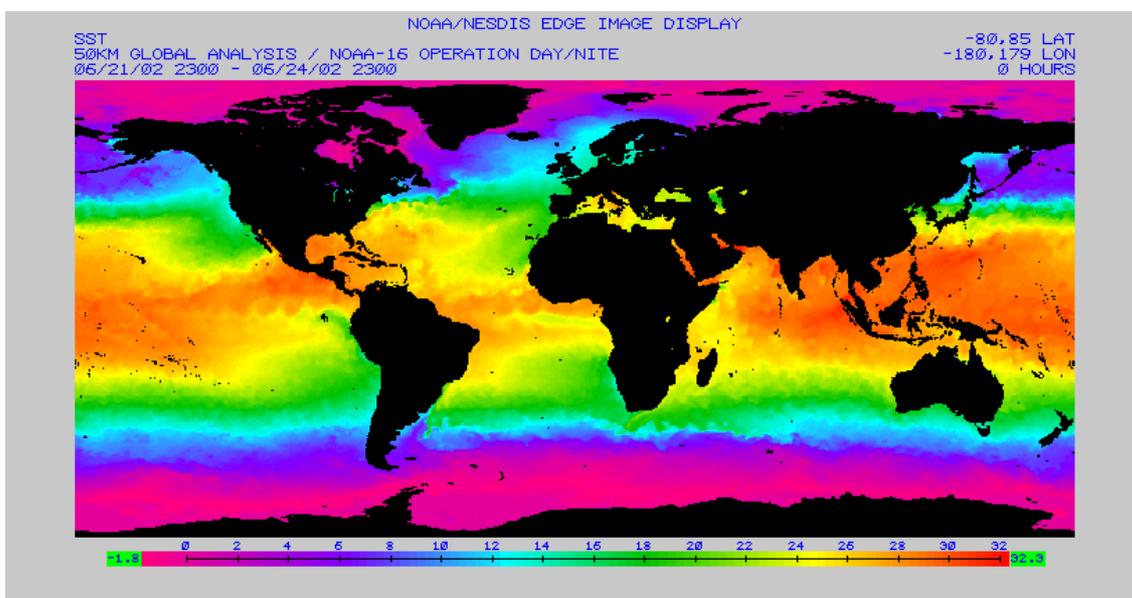


Fig. 15 - Temperatura da superfície do mar satélite NOAA.

## 3. - CONCLUSÃO

Foram mostrados acima resumidamente algumas aplicações que podemos obter através de dados obtidos pelos satélites meteorológicos. Porém, podemos citar também algumas que não foram mostradas tais como: monitoramento de geadas, monitoramento de nevoeiro, umidade do solo, monitoramento de aerossóis, monitoramento de raios, etc. Comparando a primeira imagem transmitida pelo satélite TIROS, com as imagens de alta qualidade hoje obtidas pelos atuais satélites, bem como os produtos gerados usando os dados destes satélites, nota-se que um grande progresso foi feito a

partir de 1 de abril de 1960. Progresso este que têm sido de grande utilidade para a humanidade.

#### **4. - BIBLIOGRAFIA**

Kidder, S.Q.; Vonder Harr, T.H. **Satellite Meteorology: an introduction.**  
Academic Press, 1995.

<http://www.cptec.inpe.br>

<http://terra.nasa.gov>

<http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

<http://trmm.gsfc.nasa.gov>

<http://auc.dfd.dlr.de/GOME/main.html>