

# **Introdução a Física Atmosférica - PGF5321**

Professor Dr. Henrique de Melo Jorge Barbosa

## **Registros Instrumentais de Temperatura no Globo**

**Alex Sandro Alves de Araujo**

Instituto de Física da USP - IFUSP

[alex.fate2000@gmail.com](mailto:alex.fate2000@gmail.com)

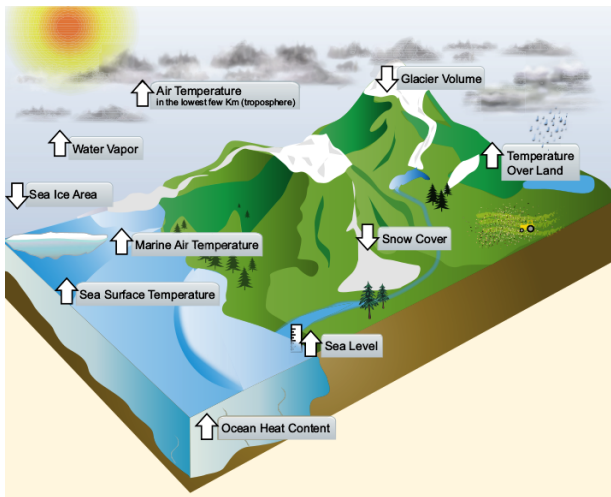
5 de abril de 2018

## Estrutura da Apresentação

### Mudanças na temperatura no período de 1850 - 2012 IPCC 2013 ([Hartmann et al., 2013](#))

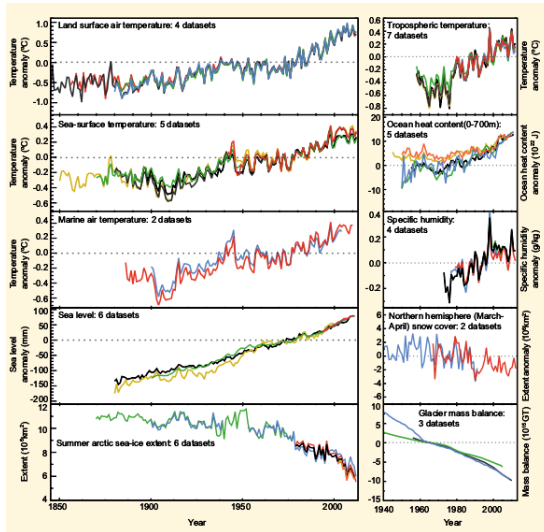
- Introdução
- Superfície Terrestre
- Superfície do Mar e Ar Marinho
- Superfícies Terrestres e do Mar
- Maiores Altitudes
- Referências

## Como sabemos que o mundo aqueceu?



Análise independente de muitas componentes do sistema climático que seriam esperados mudar com o aumento da temperatura global. Modificado de [Hartmann et al. \(2013\)](#).

## Como sabemos que o mundo aqueceu?



Múltiplos indicadores independentes das mudanças climáticas. Modificado de [Hartmann et al. \(2013\)](#).

## Medidas Diretas

- Considera-se o período aproximadamente **a partir de 1850** como sendo aquele para o qual há registros instrumentais **razoavelmente confiáveis** de temperatura da superfície terrestre, com cobertura quase global. Existem registros anteriores, especialmente mais esparsos e com instrumentação menos padronizada. Os dados de temperatura vêm de medidas realizadas em estações terrestres.



Estação meteorológica no aeroporto de Mildura, em Victoria, na Austrália. [► Wikipedia](#)

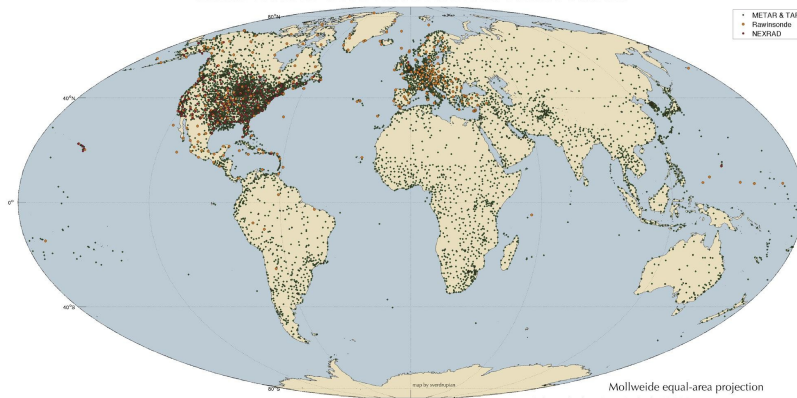


*Stevenson screen.*  
Proteção para instrumentos meteorológicos.

[► Wikipedia](#)

## Distribuição de Estações Terrestres

Global Weather Observation Network: Surface Stations

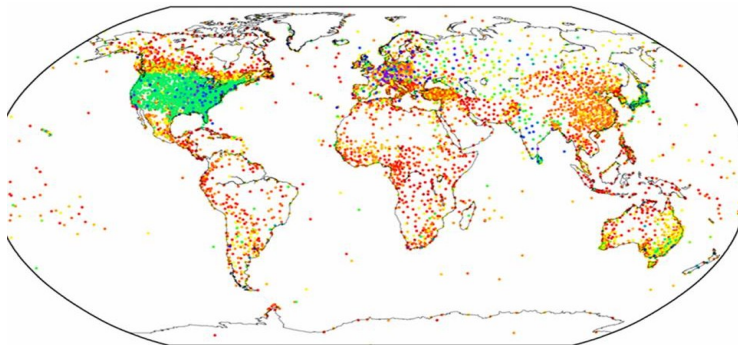


Surface weather observations stations listed at NCAR RAL  
<http://weather.rap.ucar.edu/surface/stations.txt>

Atualizado em 28/03/2018 ▶ Havana-Moon

## Conjuntos de Dados 1: GHCN

- **Global Historical Climatology Network (GHCN)** Possui observações climatológicas para as médias mensais de temperatura (1) máxima, (2) mínima e (3) observada, assim como a (4) precipitação acumulada mensal. Dados para 7280 estações em 226 países e territórios ([Lawrimore et al., 2011](#)).



YEARS

▶ NOAA

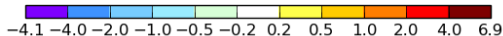
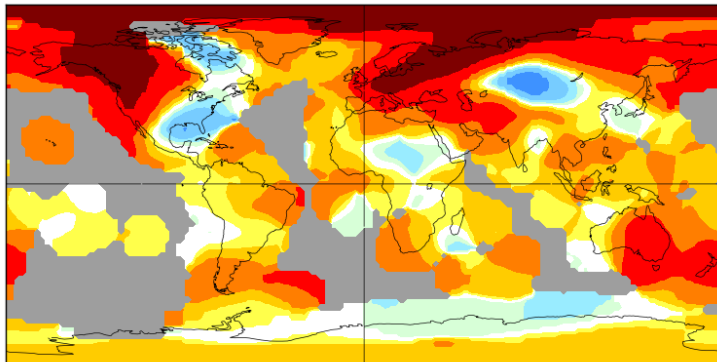
## Conjuntos de Dados 2: GISS

- **Goddard Institute for Space Studies (GISS)** usa dados do GHCN, do ERSST (caso inclua áreas oceânicas) e SCAR (estações antárticas) ([Hansen et al., 2010](#)).

January 2018

Tsurf(°C) Anomaly vs 1950-1980

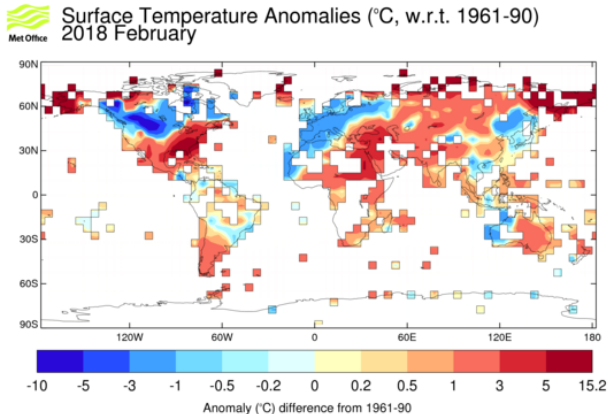
1.04





## Conjuntos de Dados 3: CRUTEM4

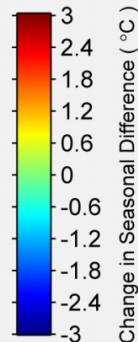
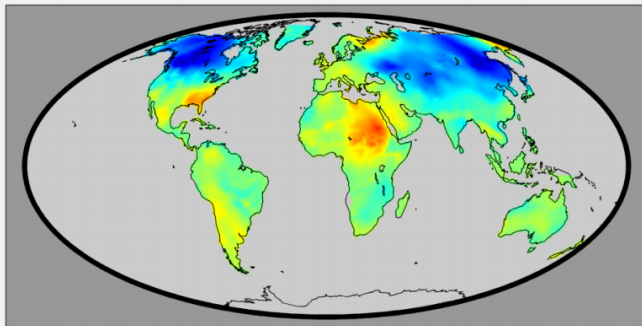
- Esse *data set* (**CRUTEM4**) é uma revisão, melhoramento e atualização do **Climatic Research Unit (CRU) temperature database (CRUTEM3)**, que foi por último documentado em 2006. Os dados mensais vem de um total de 5583 estações ao redor do globo.



## Conjuntos de Dados 4: Berkeley

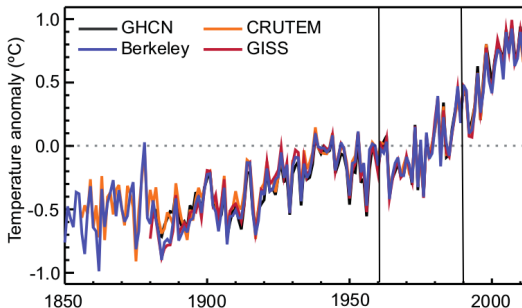
- **Berkeley** é a junção de 14 *databases* para chegar numa coleção de 14,4 milhões de observações de temperatura mensal a partir de 44.455 locais (Rohde et al., 2013).

Change in Seasonal Range (1980-2010 vs. 1900-1930)



► Berkeley Earth

## Medidas Globais e Suas Incertezas



Data Set	Tendências em graus Celsius por década				
	1880–2012	1901–2012	1901–1950	1951–2012	1979–2012
CRUTEM	$0.086 \pm 0.015$	$0.095 \pm 0.020$	$0.097 \pm 0.029$	$0.175 \pm 0.037$	$0.254 \pm 0.050$
GHCN	$0.094 \pm 0.016$	$0.107 \pm 0.020$	$0.100 \pm 0.033$	$0.197 \pm 0.031$	$0.273 \pm 0.047$
GISS	$0.095 \pm 0.015$	$0.099 \pm 0.020$	$0.098 \pm 0.032$	$0.188 \pm 0.032$	$0.267 \pm 0.054$
Berkeley	$0.094 \pm 0.013$	$0.101 \pm 0.017$	$0.111 \pm 0.034$	$0.175 \pm 0.029$	$0.254 \pm 0.049$

**Figura:** média anual global da anomalia de temperatura do ar na superfície terrestre em relação à climatologia de 1961–1990, a partir das últimas versões dos quatro *data sets*. **Tabela:** estimativas das tendências e os respectivos intervalos de 90 % de confiança para cinco períodos comuns. Adaptado de [Hartmann et al. \(2013\)](#).

## Medidas Globais e Suas Incertezas

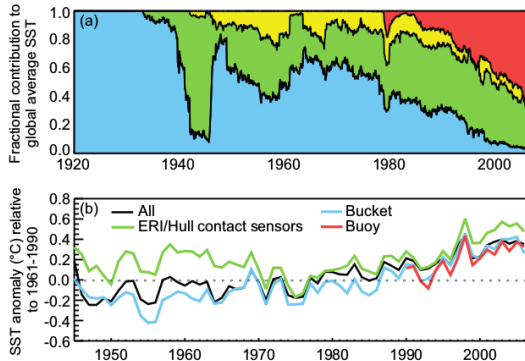
- Resumindo, é certo que a temperatura do ar na superfície terrestre **tem aumentado desde o século 19**, e que esse aumento é particularmente notável **a partir de 1970**. Vários *data sets* regionais e globais analisados independentemente sustentam essa conclusão.
- Existe pouca confiança nas mudanças anteriores a 1880, devido ao **reduzido número de estimativas**, técnicas de medidas **não padronizadas**, as **grandes distâncias** entre as estações e, particularmente, a **pequena amostragem** delas.
- A confiança também é baixa em relação ao detalhe espacial e na magnitude das tendências encontradas em regiões esparsamente amostradas como a **Antártica**, por exemplo.

**Em relação as faixas de temperaturas diurnas**, de acordo com os estudos citados em **Hartmann et al. (2013)**:

- Globalmente, estimou-se que as faixas de temperatura diária têm caído desde 1950, com tendências de  $(-0,04 \pm 0,01^\circ)$  por década de 1950 a 2011, e de  $-0,066^\circ$  por década de 1950 a 2004.
- Em vista disso, e com os resultados anteriores de anomalia, segue logicamente que as temperaturas médias máximas e mínimas sobre a superfície terrestre ambas aumentaram mais do que  $0,1^\circ$  por década desde 1950.

## Medidas Diretas na Superfície do Mar

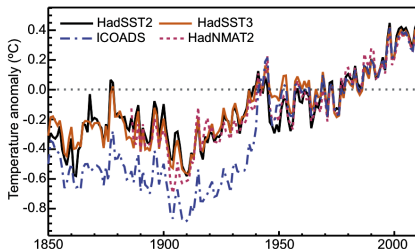
- As medidas *in situ* são basicamente realizadas com (1) baldes, (2) sensores de contato e (3) boias ancoradas e à deriva.



*International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS)*. Nas figuras vemos (a) as observações por baldes (azul), *engine room intake ERI* e sensores de contato (verde), boias ancoradas e à deriva (vermelho) e medidas desconhecidas (amarelo), e (b) as médias globais anuais de anomalia da temperatura da superfície do mar, baseadas nos diferentes tipos de dados (Hartmann et al., 2013).

## Medidas Diretas na Superfície do Mar e no Ar Marinho

- Medidas baseadas no *International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set* (ICOADS).

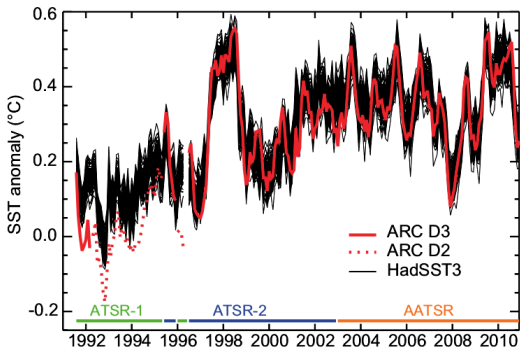


Data Set	Trends in °C per decade				
	1880–2012	1901–2012	1901–1950	1951–2012	1979–2012
HadSST3 (Kennedy et al., 2011a)	0.054 ± 0.012	0.067 ± 0.013	0.117 ± 0.028	0.074 ± 0.027	0.124 ± 0.030
HadSST2 (Rayner et al., 2006)	0.051 ± 0.015	0.069 ± 0.012	0.084 ± 0.055	0.098 ± 0.017	0.121 ± 0.033

**Figura:** anomalia de temperatura relativa à climatologia de 1961 a 1990. Baseado nas medidas de temperatura da superfície do mar sem (ICOADS) e com correções (HadSST2 e seu sucessor HadSST3) e nas medidas noturnas de temperatura do ar marinho *Night Marine Air Temperature NMAT* (HadNMAT2). **Tabela:** estimativas das tendências e os respectivos intervalos de 90 % de confiança para cinco períodos comuns (Hartmann et al., 2013).

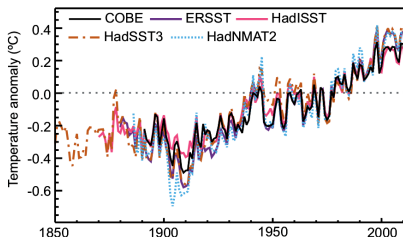
## Medidas Indiretas da Superfície do Mar por Satélite

- Apesar da necessidade das medidas de satélite serem calibradas com os dados *in situ*, o satélite fornece resolução espacial sem precedentes. Utilizam-se sensores infra vermelhos, entre outros. Medidas a partir de 1981.



Média global mensal da anomalia de temperatura da superfície do mar em relação à climatologia de 1961-1990. Dados a partir de satélites (três missões do *The Along Track Scanning Radiometer ATSR*) e de medidas *in situ* corrigidas (HadSST3). As inversões baseadas em três canais espectrais (ARC D3) são mais acuradas do que as baseadas em apenas dois (ARC D2) (Hartmann et al., 2013).

## Interpolação de Dados de Satélite com Medidas Diretas



Data Set	Trends in °C per decade				
	1880–2012	1901–2012	1901–1950	1951–2012	1979–2012
HadISST (Rayner et al., 2003)	0.042 ± 0.007	0.052 ± 0.007	0.067 ± 0.024	0.064 ± 0.015	0.072 ± 0.024
COBE-SST (Jshii et al., 2005)	–	0.058 ± 0.007	0.066 ± 0.032	0.071 ± 0.014	0.073 ± 0.020
ERSSTv3b (Smith et al., 2008)	0.054 ± 0.015	0.071 ± 0.011	0.097 ± 0.050	0.088 ± 0.017	0.105 ± 0.031
HadSST3 (Kennedy et al., 2011a)	0.054 ± 0.012	0.067 ± 0.013	0.117 ± 0.028	0.074 ± 0.027	0.124 ± 0.030

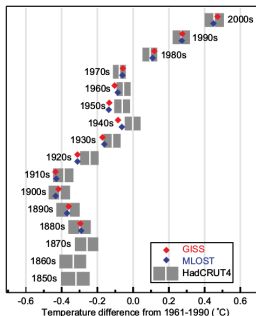
**Figura:** anomalia da temperatura média mensal global sobre a superfície marinha (COBE, ERSST, HadISST e HadSST3) e da temperatura noturna no ar marinho (HadNMAT2), em relação à climatologia de 1961–1990. Os produtos interpolados espacialmente são mostrados como linhas sólidas, e os produtos não interpolados por linhas pontilhadas. **Tabela:** estimativas de tendências e os intervalos de 90 % de confiança para os dados interpolados (incluindo o HadSST3, mostrado para comparação). O traço indica falta de dados (Hartmann et al., 2013).

- Resumindo, é certo que a temperatura média global da superfície do mar e do ar marinho cresceram desde o começo do século 20.



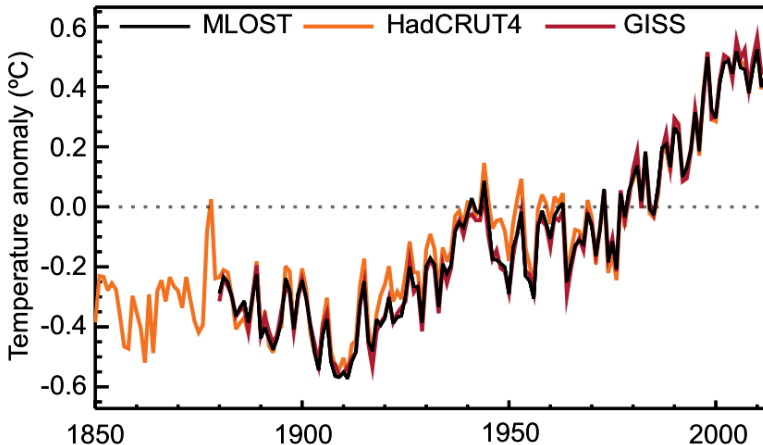
## Combinação de Temperaturas Superficiais Terrestres e Marinhas

- O HadCRUT (Morice et al., 2012) é o *data set* combinado que leva em consideração uma grande quantidade de fontes de incerteza. Os outros dois, GISS (Hansen et al., 2010) e MLOST (Vose et al., 2012b), tem estimativas incompletas, o que torna inviável avaliar seus níveis de significância.



Data Set	Trends in °C per decade				
	1880–2012	1901–2012	1901–1950	1951–2012	1979–2012
HadCRUT4 (Morice et al., 2012)	0.062 ± 0.012	0.075 ± 0.013	0.107 ± 0.026	0.106 ± 0.027	0.155 ± 0.033
NCDC MLOST (Vose et al., 2012b)	0.064 ± 0.015	0.081 ± 0.013	0.097 ± 0.040	0.118 ± 0.021	0.151 ± 0.037
GISS (Hansen et al., 2010)	0.065 ± 0.015	0.083 ± 0.013	0.090 ± 0.034	0.124 ± 0.020	0.161 ± 0.033

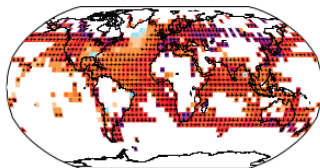
## Combinação de Temperaturas Superficiais Terrestres e Marinhas



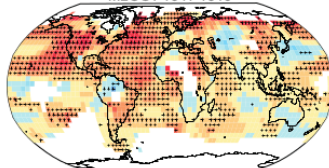
Anomalia das médias anuais de temperaturas superficiais terrestres e marinhas combinadas, em relação à climatologia de 1961-1990. As incertezas não estão mostradas ([Hartmann et al., 2013](#)).

## Combinação de Temperaturas Superficiais Terrestres e Marinhas

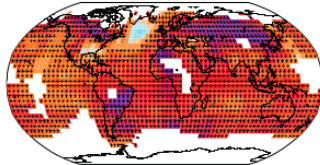
HadCRUT4 1901-2012



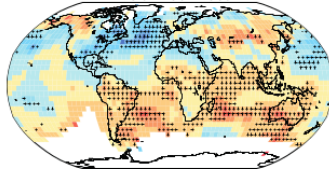
MLOST 1911-1940



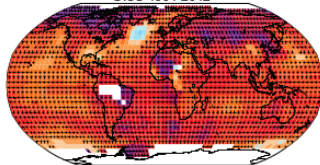
MLOST 1901-2012



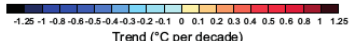
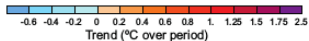
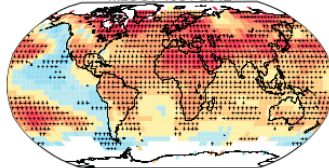
MLOST 1951-1980



GISS 1901-2012

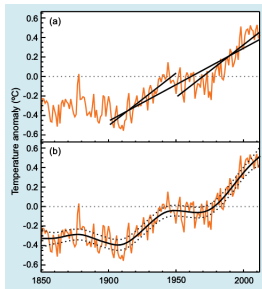


MLOST 1981-2012

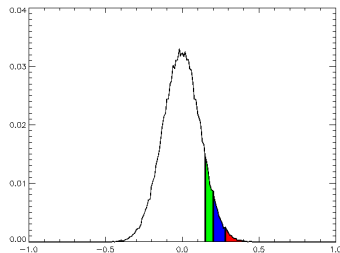


## Combinação de Temperaturas Superficiais Terrestres e Marinhas

- Resumindo, é certo que a temperatura média da superfície **tem aumentado desde o século 19**, e que esse aumento é particularmente notável **a partir de 1970**. Os anos de 2000 têm sido os mais quentes. O aquecimento foi de  $0,85^{\circ}\text{C}$  ( $0,65$  a  $1,06^{\circ}\text{C}$ ) no período de 1880-2012,  $0,89^{\circ}\text{C}$  ( $0,69$  a  $1,08^{\circ}\text{C}$ ) no período de 1901-2012 e  $0,72^{\circ}\text{C}$  ( $0,49$  a  $0,89^{\circ}\text{C}$ ) no período de 1951-2012.
  - Para o período mais longo, de 1901 a 2012, quando o cálculo das tendências regionais é suficientemente completo, **quase todo o globo** sofreu aumento da temperatura superficial.
- Parênteses sobre intervalos de confiança (99 %, 95 % e 90 %):



Hartmann et al. (2013)



## Radio Sondas, Satélites e Outras Tecnologias

- Sem entrarmos em detalhes, os resultados sumarizados são os seguintes:

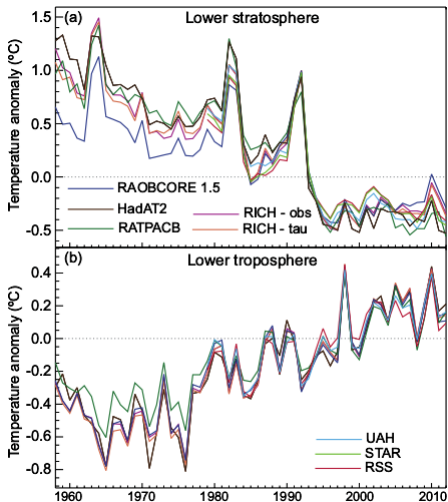
**Table 2.8** | Trend estimates and 90% confidence intervals (Box 2.2) for radiosonde and MSU data set global average values over the radiosonde (1958–2012) and satellite periods (1979–2012). LT indicates Lower Troposphere, MT indicates Mid Troposphere and LS indicates Lower Stratosphere (Figure 2.23. Satellite records start only in 1979 and STAR do not produce an LT product.

Data Set	Trends in °C per decade					
	1958–2012			1979–2012		
	LT	MT	LS	LT	MT	LS
HadAT2 (Thorne et al., 2005)	0.159 ± 0.038	0.095 ± 0.034	-0.339 ± 0.086	0.162 ± 0.047	0.079 ± 0.057	-0.436 ± 0.204
RAOB CORE 1.5 (Haimberger et al., 2012)	0.156 ± 0.031	0.109 ± 0.029	-0.186 ± 0.087	0.139 ± 0.049	0.079 ± 0.054	-0.266 ± 0.227
RICH-obs (Haimberger et al., 2012)	0.162 ± 0.031	0.102 ± 0.029	-0.285 ± 0.087	0.158 ± 0.046	0.081 ± 0.052	-0.331 ± 0.241
RICH-tau (Haimberger et al., 2012)	0.168 ± 0.032	0.111 ± 0.030	-0.280 ± 0.085	0.160 ± 0.046	0.083 ± 0.052	-0.345 ± 0.238
RATPAC (Free et al., 2005)	0.136 ± 0.028	0.076 ± 0.028	-0.338 ± 0.092	0.128 ± 0.044	0.039 ± 0.051	-0.468 ± 0.225
UAH (Christy et al., 2003)				0.138 ± 0.043	0.043 ± 0.042	-0.372 ± 0.201
RSS (Mears and Wentz, 2009a, 2009b)				0.131 ± 0.045	0.079 ± 0.043	-0.268 ± 0.177
STAR (Zou and Wang, 2011)					0.123 ± 0.047	-0.320 ± 0.175

Hartmann et al. (2013)

## Radio Sondas, Satélites e Outras Tecnologias

- Sem entrarmos em detalhes, os resultados sumarizados são os seguintes:



## Referências



Hartmann, D.L., A.M.G. Klein Tank, M. Rusticucci, L.V. Alexander, S. Brönnimann, Y. Charabi, F.J. Dentener, E.J. Dlugokencky, D.R. Easterling, A. Kaplan, B.J. Soden, P.W. Thorne, M. Wild and P.M. Zhai, 2013: Observations: Atmosphere and Surface. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.



Lawrimore, J. H., M. J. Menne, B. E. Gleason, C. N. Williams, D. B. Wuertz, R. S. Vose, and J. Rennie, 2011: An overview of the Global Historical Climatology Network monthly mean temperature data set, version 3. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 116, D19121.



Hansen, J., R. Ruedy, M. Sato, and K. Lo, 2010: Global surface temperature change. *Rev. Geophys.*, 48, RG4004.



Rohde, R., et al., 2013a: A new estimate of the average Earth surface land temperature spanning 1753 to 2011. *Geoinfor. Geostat.: An Overview*, 1, doi:10.4172/ gigs.1000101.

## Referências



Jones, P. D., D. H. Lister, T. J. Osborn, C. Harpham, M. Salmon, and C. P. Morice, 2012: Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 117, D05127.



Kennedy, J. J., N. A. Rayner, R. O. Smith, D. E. Parker, and M. Saunby, 2011a: Reassessing biases and other uncertainties in sea surface temperature observations measured in situ since 1850: 2. Biases and homogenization. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 116, D14104.



Rayner, N. A., et al., 2006: Improved analyses of changes and uncertainties in sea surface temperature measured in situ since the mid-nineteenth century: The HadSST2 dataset. *J. Clim.*, 19, 446–469.



Rayner, N. A., et al., 2003: Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 108, 37.



Ishii, M., A. Shouji, S. Sugimoto, and T. Matsumoto, 2005: Objective analyses of sea surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe collection. *Int. J. Climatol.*, 25, 865–879.



## Referências



Smith, T. M., R. W. Reynolds, T. C. Peterson, and J. Lawrimore, 2008: Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880– 2006). *J. Clim.*, 21, 2283–2296.



Kennedy, J. J., N. A. Rayner, R. O. Smith, D. E. Parker, and M. Saunby, 2011a: Reas- sessing biases and other uncertainties in sea surface temperature observations measured in situ since 1850: 2. Biases and homogenization. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 116, D14104.



Morice, C. P., J. J. Kennedy, N. A. Rayner, and P. D. Jones, 2012: Quantifying uncertain- ties in global and regional temperature change using an ensemble of obser- vational estimates: The HadCRUT4 data set. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 117, 22



Vose, R. S., et al., 2012b: NOAA's Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 93, 1677–1685.

**FIM**

**OBRIGADO !**