

# lição jubilar

Professor Doutor  
*João Corte-Real*

11 de Setembro de 2014



EcoHCC'2011 – Closing Ceremony

*João Corte-Real*



**J**oão Alexandre Medina Corte-Real nasceu em 1942 e licenciou-se em Ciências Geofísicas pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa em 1963. Doutorou-se em Meteorologia/Climatologia em 1978 na Universidade de Lisboa, tendo sido aprovado com Distinção e Louvor. As provas constaram de discussão de uma tese intitulada "*O Ciclo da Energética da Circulação Geral da Atmosfera no Hemisfério Sul*" e interrogatório sobre os seguintes dois temas, previamente sorteados: "*Dinâmica de Climas*" e "*Sismograma Sintético*".

Em 1998 prestou Provas de Agregação, que constaram, para além da discussão do *curriculum*, da discussão do Programa da Disciplina de Física Geral III (Termodinâmica), do 2º ano do Tronco Comum das Licenciaturas do Departamento de Física e da discussão da Lição intitulada "*Regimes de Circulação Atmosférica e Geradores de Tempo: Aplicação ao estudo da variabilidade do clima e de impactes de uma alteração climática na zona mediterrânica*".

Fez o Estágio para Meteorologista do Serviço Meteorológico Nacional em 1964.

Colaborou na Unidade de Previsão Matemática do Tempo do Serviço Meteorológico Nacional entre 1970 e 1979.

Entre Março de 1980 e Dezembro de 1980 deslocou-se ao Department of Atmospheric Science da Universidade de Missouri-Columbia (Columbia, MO, USA), a convite do Professor Ernest C. Kung, Director do "Global Circulation Project", tendo realizado trabalhos de investigação no domínio da "Energética Regional das Regiões Polares do Hemisfério Norte", retornando entre Março de 1984 e Fevereiro de 1985 onde realizou trabalhos de investigação no domínio da "Análise Espectral de Transportes de Calor para as Latitudes Elevadas do Hemisfério Norte durante Episódios de Bloqueio".

Foi sub-director do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (1988-1990), e Presidente eleito do Comité Nacional do IGBP (*International Geosphere-Biosphere Programme*); entre outras funções que exerceu e ainda exerce, foi membro de comités de acompanhamento da Comissão Europeia e avaliador de projectos europeus.

Entre 1998 e 2002: foi membro do "External Advisory Group" (EAG) for the Global Change, Climate and Biodiversity Key Action – Programme for Research, Technological Development and Demonstration under the Fifth Framework Programme, da Comissão das Comunidades Europeias.

Entre 1998 e 1999 foi membro (Relator) da Comissão Portuguesa de Acompanhamento (CPA) do Instituto de Meteorologia (IM), criada no âmbito do Ministério da Ciência e da Tecnologia (MCT) para elaborar um Parecer sobre o Relatório do Grupo Internacional de Avaliação (GIA) do referido Instituto.

Entre 1998 e 2001 foi membro do "Steering Committee" da Acção Concertada ECLAT 2: "A Concerted Action Towards the Improved Understanding and Applications of Results from Climate Model Experiments in European Climate Change Impacts Research".

Entre 1999-2001 foi perito no “Working Group Research” do Programa Europeu das Alterações Climáticas (ECCP – European Climate Change Programme).

Desde 2000, dá supervisão e aconselhamento científico a cursos e trabalhos operacionais e de investigação, com ênfase na *Previsão Numérica de Tempo e Simulação de Clima para os Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa* promovido pela Agência CRIA (Agência dos Países de Língua Oficial Portuguesa para a Área do Clima e das Respectivas Implicações Ambientais).

Ainda que exercendo funções na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) até 2001 e a seguir, na Universidade de Évora, como professor, também deu aulas: no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, na Escola Naval, na Academia Militar, no Instituto Superior Técnico, no Instituto Superior de Matemáticas Aplicadas e Gestão, na Academia da Força Aérea, na Universidade Aberta de Lisboa, entre outras.

Colaborou e continua colaborando com diferentes instituições nacionais e internacionais, onde, por vezes, se encontram alguns dos ex-alunos (EUA, Canadá, Brasil, Noruega, Nova Zelândia, Holanda, Alemanha, Inglaterra, África).

Foi Professor durante 38 anos na FCUL, Lisboa, onde constituiu, em 1991, o Grupo de Meteorologia/Climatologia, do Departamento de Física e do Instituto de Ciência Aplicada e Tecnologia (ICAT), com 21 membros, nos domínios da investigação em climatologia dinâmica, e climatologia estatística, da variabilidade climática, das alterações climáticas e seus impactes, e da simulação numérica da circulação atmosférica à escala regional.

Professor Catedrático da Universidade de Évora, aposentado desde Janeiro de 2008, convidado do Departamento de Engenharia Rural da mesma Universidade desde Setembro de 2008, onde em 2007, cria o sub-grupo ASC\_ICAAM - “Água, Solo e Clima” do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, sendo seu coordenador até Abril de 2012. Este Grupo era constituído por uma equipa interdisciplinar, centrada em temas de investigação fundamental e aplicada, relativos à água. Houve uma reorganização no ICAAM e actualmente colabora no Grupo Soil, Water and Climate | Solo, Água e Clima.

Desde 2011 colabora no Programa Doutoral da Astrofísica Computacional do Instituto de Investigação e Formação Avançada da Universidade de Évora (IIFA\_UÉ).

Desde 2013 é Professor convidado do Departamento de Paisagem, Ambiente e Ordenamento, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, colaborando nos 2º e 3º Ciclos.

Desde 2011 é ainda Professor Convidado do DAT – Departamento de Aeronáutica e Transportes da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologia, Lisboa.

É também Coordenador do DREAMS (Centre for Interdisciplinary Development and Research on Environment, Applied Management and Space) da Universidade Lusófona, Lisboa, criado em 2013.

Ao longo da sua docência orientou mais uma centena de alunos em todos os níveis e participou em mais de 2 dezenas de Projectos (Nacionais, Europeus e Africanos) e publicou mais de uma centena de artigos científicos.

Entre outros organismos, é membro do Programa Mundial de Investigação do Clima (WCRP) da Organização Meteorológica Mundial (WMO), sediado em Genebra.

No presente, a sua área de investigação principal centra-se na variabilidade climática e seus impactes, na modelação de cenários regionais, na Física das nuvens e precipitação, na dinâmica da atmosfera, na hidroclimatologia e na ec hidrologia.

*Global thermodynamics and the intensity of the  
general circulation of the atmosphere*

João Corte-Real



# *Abstract*

In my lecture, I shall attempt to illustrate some of the profound links that exist between global thermodynamics and the general circulation of the atmosphere.

Thermodynamics is the study of energy and its relation to matter. The general circulation of the atmosphere is characterized by energy transformations which ultimately convert solar energy into the kinetic energy of atmospheric motions.

How thermodynamics can help in understanding the chain of events that accomplish that conversion, is the subject of this lecture. As will become clear, both the cause of atmospheric motion and its maintenance against friction, are of thermodynamic character.

In 1903, in a famous paper concerning the energy of storms, Max Margules introduced a quantity, which he named available kinetic energy, which measures the energy available for conversion into kinetic energy, for adiabatic flow.

In 1955, Edward Norton Lorenz, wrote a fundamental paper on the subject, published by *Tellus*, in which he not only completely clarified the concept of energy available for conversion into kinetic energy, but did it in such a way to be applicable to the general circulation itself.

However, Lorenz did not do it by applying the thermodynamic theory of availability. That is what I will attempt to show in this presentation.





Commemorative lecture

Global Thermodynamics and the Intensity of the General Circulation of the Atmosphere

João Alexandre Medina Corte-Real

Évora University\_ICAAM, Évora, 7006-554, Portugal.
University Lusófona\_DAT/DREAMS, Lisbon, 1749-024, Portugal

jmc@uevora.pt ou joao.cortereal@ulusofona.pt



Introduction

In my talk, I shall attempt to illustrate some of the profound links that exist between global thermodynamics and the general circulation of the atmosphere.

Thermodynamics is the study of energy and its relation to matter. The general circulation of the atmosphere is characterized by energy transformations which ultimately convert solar energy into the kinetic energy of atmosphere motion.

How thermodynamics can help in understanding the chain of events that accomplish that conversion is the subject of this lecture. As will become clear, both the cause of atmospheric motion and its maintenance against friction are of thermodynamic character.

But, what is the general circulation of the atmosphere?

There is not a unique answer to this question; it can signify different things to different persons.

Here, it means the collection of all quantitative statistical properties of the large-scale atmospheric motion.

Why is it important to study the general circulation?

For several reasons; here are a few of them:

1. The general circulation defines the environment for other scales of motion and phenomena
2. The general circulation defines the climate, when the atmosphere is considered as the internal system. Understanding it is a requirement to understand the anthropogenic global effects upon the environment (global change) and to generate climate projections.
3. The general circulation plays a role in weather forecasting, namely at the medium and seasonal ranges.

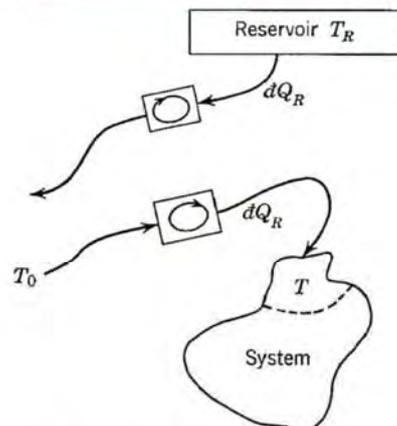
## Thermodynamics

João Corte-Real  
 EcoHCC14, Tomar, Setempler 2014

7

## Thermodynamics

Consider a system  $S$  surrounded by  
 an environment or atmosphere,  $A$ ,  
 whose values of temperature and  
 pressure,  $T_0$  and  $p_0$ , are constant.



George N. Hatsopoulos and Joseph H. Keenan (1965). Principles of  
 General Thermodynamics. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.

João Corte-Real  
 EcoHCC14, Tomar, Setempler 2014

8

System  $\mathcal{S}$  can exchange heat and volume with the atmosphere; if  $\mathcal{S}$  in combination with  $\mathcal{A}$  is not in a state of stable equilibrium, than work can be delivered to other systems, with no effects other than those in  $\mathcal{S}$  and  $\mathcal{A}$ .

This work does not include the work of expansion of  $\mathcal{S}$  into  $\mathcal{A}$  and is, therefore useful work.

The maximum useful work that can be obtained, for a given change of state of  $\mathcal{S}$ , from  $\mathcal{S}_1$  to  $\mathcal{S}_2$ , in the presence of  $\mathcal{A}$ , is

$$W_{u,max.}^{1 \rightarrow 2} = \Phi_1 - \Phi_2$$

where the property

$$\Phi = E - T_0 S + p_0 V$$

Is named the availability function.

Note that

1. Maximum useful work is delivered only if the process from  $S_1$  to  $S_2$  is reversible.

In such a case the total entropy of the combined system  $S \cup A$  takes the same value in the initial and final states of the process.

2. In general

$$W_{u,}^{1 \rightarrow 2} \leq W_{u, \text{máx.}}^{1 \rightarrow 2} = -\Delta\Phi$$

3. Spontaneous changes of  $S$  can only occur to states of lesser values of the availability function; that is, for spontaneous changes of  $S$ , from  $S_1$  to  $S_2$

$$-\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 \geq 0$$

4. The state of  $\mathcal{S}$  for which

$$\Phi = \Phi_{min.}$$

is the state of stable equilibrium of  $\mathcal{S}$  in the presence of  $\mathcal{A}$ .

In this state

$$p = p_0$$

$$T = T_0$$

These conditions are necessary, although not sufficient, for  $\mathcal{S} \cup \mathcal{A}$  being in a stable state.

5. Let's denote the stable state of  $\mathcal{S}$ , in the presence of  $\mathcal{A}$ , by  $\mathcal{S}_0$   
Should  $\mathcal{S}$  be found in state  $\mathcal{S}_0$ , no useful work can be delivered by the  
combined system  $\mathcal{S} \cup \mathcal{A}$ .

Such state is called the dead state or the reference state of  $\mathcal{S}$  in the  
presence of  $\mathcal{A}$ , and is determined by  $\mathcal{A}$ . In the dead state

$$\Phi = \Phi_{min.}$$

6. Therefore, for a given state of  $\mathcal{S}$ , distinct from  $\mathcal{S}_\theta$ , the highest value of the useful work that can be obtained is

$$\Lambda = \Phi - \Phi_{min.} \geq 0$$

$\Lambda$  is the availability, the available energy or exergy of  $\mathcal{S}$ , in the presence of  $\mathcal{A}$ .

7.  $\Lambda$  is effectively delivered only if the transition from the actual state to the dead state is accomplished by a reversible process.

8. When applying this theory to the atmosphere we have to
- Replace useful work by kinetic energy
  - Take integrals of the various specific properties, over the entire mass of the atmosphere (global thermodynamics)
  - Define the reference state, a difficulty which does not have a unique answer.

The expression of  $\Lambda$ ,

$$\Lambda = (E - T_0S + p_0V) - (E - T_0S + p_0V)_{min}.$$

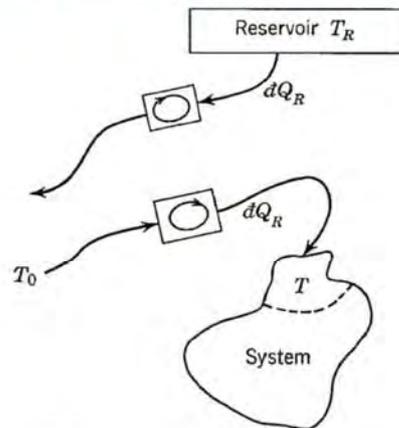
can be transformed into a simpler, approximate formula, by expanding  $E$  up to the second order, around the dead state. The result is the bilinear form

$$\Lambda \approx \frac{1}{2} \{ \Delta S \Delta T - \Delta V \Delta p \}$$

The available energy of a system, in the presence of a given environment, can be increased (generated) if the system receives an amount of heat  $Q_r$  from a reservoir at a temperature  $T_r$  different from that of the atmosphere,  $T_0$ ; the same happens if an amount of work  $W$ , is transferred to the system from a mechanical reservoir.

### Thermodynamics

Consider a system  $S$  surrounded by an environment or atmosphere,  $A$ , whose values of temperature and pressure,  $T_0$  and  $p_0$  are constant.



George N. Hatsopoulos and Joseph H. Keenan (1965). Principles of General Thermodynamics. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.

Under these circumstances

$$W_u = -\Delta\Phi + Q_r \left(1 - \frac{T_0}{T_r}\right) + W - T_0\Delta_i S$$

where  $\Delta_i S = (\Delta S)_{UNIV} \geq 0$  is the entropy production. (Second Law)

In terms of rates, the previous expression can be written as

$$\dot{W}_u = -\dot{\Phi} + \dot{Q}_R \left(1 - \frac{T_0}{T_R}\right) + \dot{W} - T_0\sigma_S$$

where  $\sigma_S \geq 0$  is the rate of entropy production due to irreversible processes.

For a change from the actual state to the dead state,

$$\dot{\Lambda} = -\dot{\Phi} + \dot{Q}_R \left(1 - \frac{T_0}{T_R}\right) + \dot{W}$$

or

$$\dot{\Lambda} = -\dot{\Phi} + G(\Lambda)$$

Note that while all the power  $\dot{W}$  contributes to the generation of available energy, only the fraction  $N = 1 - \frac{T_0}{T_R}$  of the heat transferred to the system is used to generate available energy. N can thus be considered as a coefficient of efficiency.

## Criteria of Stable Equilibrium

If a thermodynamic system is in state of stable equilibrium with energy  $E_0$ , volume  $V_0$ , entropy  $S_0$ , temperature  $T_0$ , pressure  $p_0$  ...

then

1.  $E_0$  is the lowest value of  $E$ , when compared to the values of energy in all other allowed states, with the same entropy  $S_0$  and volume  $V_0$  (Principle of Minimum Energy)
2.  $S_0$  is the highest value of  $S$ , when compared to the values of entropy in all the other allowed states, with the same energy  $E_0$  and volume  $V_0$  (Principle of Maximum Entropy).

## Available Energy and the General Circulation

The strengths of the systems that form the weather patterns (cyclones, anticyclones, etc.) are measured in terms of their kinetic energy.

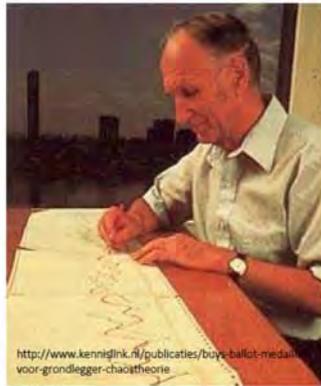
In 1903, in a famous paper concerning the energy of storms, Margules introduced a quantity which measures the energy available for conversion into kinetic energy (under adiabatic flow).



**Max Margules** was a mathematician, physicist, and chemist. In 1877 he joined the Central Institute of Meteorology and Geodynamics (ZAMG) in Vienna as a volunteer. In Vienna received his PhD in Electrodynamics.

In his free time he studied physical and physico-chemical problems. The [Duhem–Margules equation](#) and the [Margules' Gibbs free energy equation](#) are examples of his free-time devotion. In 1900 his interest switched to meteorology and deployed his thermodynamic knowledge. This led to the [Margules formula](#), a formula for characterizing the slope of a front.  
([http://en.wikipedia.org/wiki/Max\\_Margules](http://en.wikipedia.org/wiki/Max_Margules))

In 1955, Edward Lorenz, wrote a fundamental paper on the subject, published by Tellus, in which he not only completely clarified the concept of energy available for conversion into kinetic energy, but did it in such a way to be applicable to the general circulation itself.



<http://www.kennislink.nl/publicaties/buyt-balk-medaille-voor-grondlegger-chaostheorie>



**Tellus**  
**Volume 7, Issue 2, pages**  
**157-167, May 1955**

João Corte-Real  
 EcoHCC14, Tomar, Setempler 2014

29

However, Lorenz did not do it by applying the thermodynamic theory of available energy briefly exposed in the previous slides.  
 That is what I will attempt to show you in the remaining part of this presentation.



**Edward Norton Lorenz**, matemático y meteorólogo estadounidense ...  
[miradaregional.com](http://miradaregional.com)  
 450x630 - 41.1KB



Professor Edward Lorenz on 6 Nov 2007.

The abstract for this article can be found in this issue, following the table of contents.  
 DOI: 10.1175/JASMS-D-13-0009L.1  
 In final form 27 September 2013  
 ©2014 American Meteorological Society

João Corte-Real  
 EcoHCC14, Tomar, Setempler 2014

30

## Illustrating the General Circulation of the Atmosphere

### MEAN SEA LEVEL PRESSURE — JANUARY

The high and low pressure areas are very apparent on the chart.

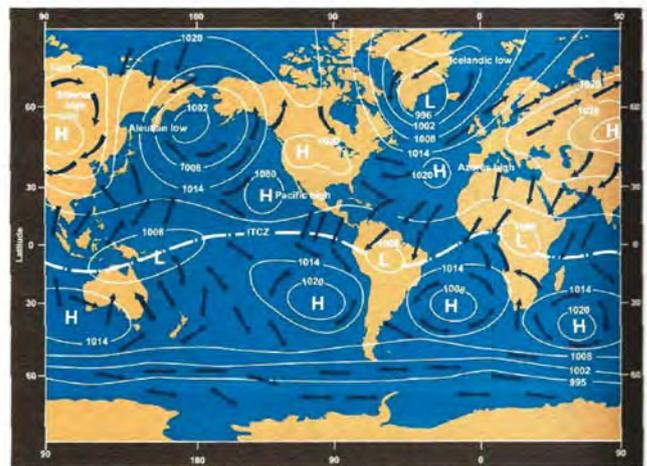


Figure 25.7 – Global pressure distribution in January

Meteorology - JAA ATPL  
 Training - Edition 2 -  
 Atlantic Flight Training  
 Ltd., Jeppesen. Neu-  
 Isenburg, Germany.  
 (2007) Meteorology (Rev  
 Q407).

**MEAN SEA LEVEL PRESSURE — JULY**

The sun is now overhead the Tropic of Cancer.

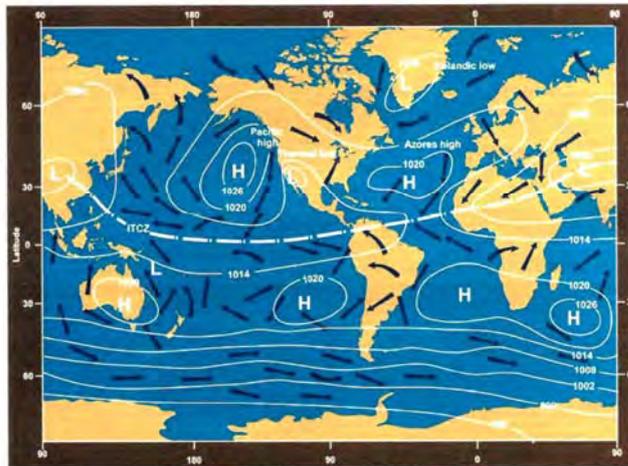
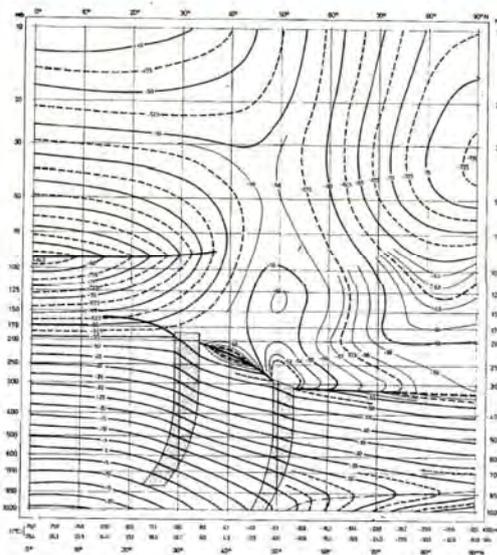


Figure 25.8 – Global pressure distribution in July

Meteorology - JAA ATPL Training - Edition 2 - Atlantic Flight Training Ltd., Jeppesen. Neuenburg, Germany. (2007) Meteorology (Rev Q407).

João Corte-Real  
 EcoHCC14, Tomar, Setembro 2014

33

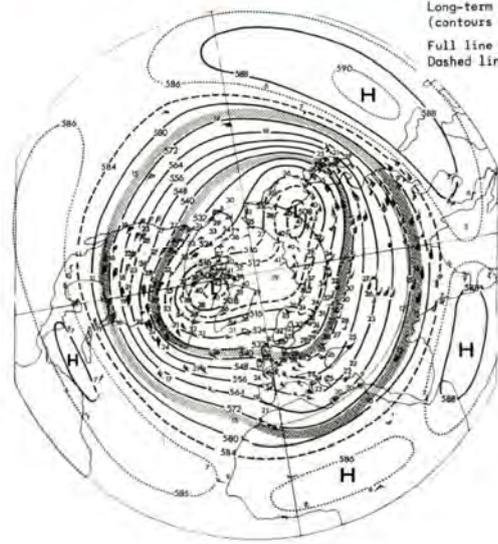


Long-term mean meridional cross section of the air temperature, northern hemisphere, January.  
 (Tropopause locations indicated by full lines, polar front and subtropical front by shaded regions, Arctic inversion = dash-dotted line)

Compendium of Meteorology - Class I and Class II Meteorological Personnel (WMO - n° 364) - Vol I - Synoptic Meteorology F. Defant and H.T. Morth. Ed. Aksel Wiin-Nielsen (1978), Geneva, Switzerland.

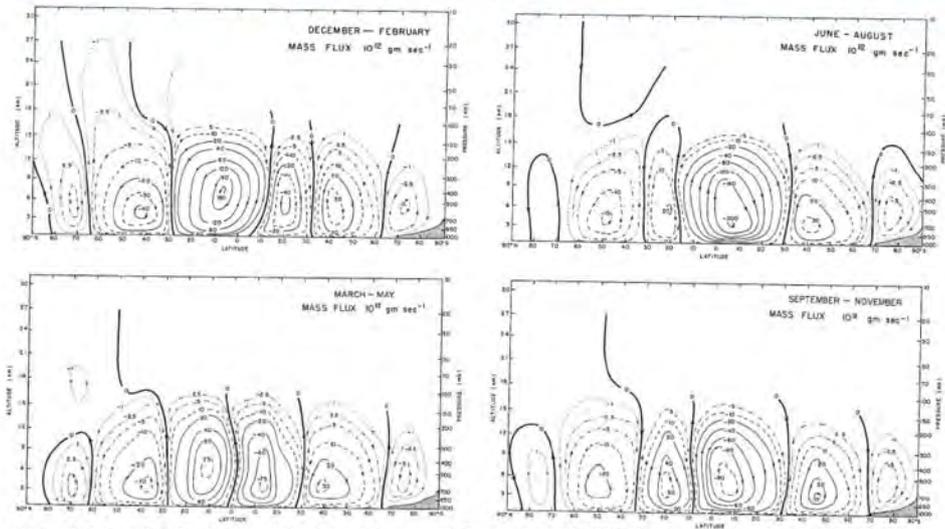
João Corte-Real  
 EcoHCC14, Tomar, Setembro 2014

34



Long-term averaged 500 mb map (northern hemisphere, winter (January))  
 (contours in geopotential metres, last digit omitted)  
 Full line = polar jet  
 Dashed line = approximate intersection of the subtropical front)

Compendium of Meteorology - Class I and Class II Meteorological Personnel (WMO - n<sup>o</sup> 364) - Vol I - Synoptic Meteorology F. Defant and H.T. Morth. Ed. Aksel Wiin-Nielsen (1978), Geneva, Switzerland.



Reginald E. Newell, John W. Kidson, Dayton G. Vincent and George J. Boer (1972). The General Circulation of the Tropical Atmosphere and Interactions with Extratropical Latitudes - Vol I. The MIT Press, London, England.

## The Atmosphere

João Corte-Real  
EcoHCC14, Tomar, Setemprer 2014

37

## The atmosphere as a mixture of perfect gases

$$p = R_a \rho T \quad R_a = \frac{R}{M_a}$$

$$i = i(T) = c_V T \quad c_p - c_V = R_a \quad s = c_p \ln \theta$$

$$\theta = 1000^k T p^{-k} \quad k = \frac{R_a}{c_p}$$

João Corte-Real  
EcoHCC14, Tomar, Setemprer 2014

38

## Barotropic Atmosphere

## Baroclinic Atmosphere

## Energy Forms

- Kinetic Energy      **K**
- Potential Energy    **P**
- Internal Energy      **I**

## Energy Forms

$$K = \iiint_V \rho \frac{1}{2} (u^2 + v^2 + w^2) dV$$

$$P = \iiint_V \rho (gz) dV$$

$$I = \iiint_V \rho (c_v T) dV$$

João Corte-Real  
EcoHCC14, Tomar, Setempler 2014

41

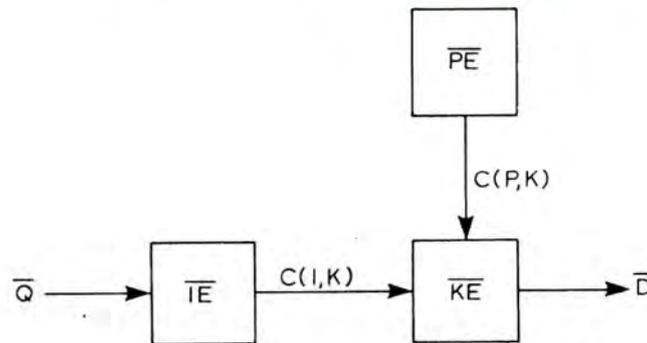
**Table 6.1**  
Kinds and Amounts of Energy in the Global Atmosphere

Name	Symbol	Formula	Amount $\times 10^6 \text{ J m}^{-2}$	% of total
Internal energy	IE	$c_v T$	1800	70
Potential energy	PE	$gz$	700	27
Latent energy	LH	$Lq$	70	2.7
Kinetic energy	KE	$\frac{1}{2}(u^2 + v^2)$	1.3	0.05
Total energy	IE + PE + LH + KE		2571	100

Dennis L. Hartmann (1994). Global Physical Climatology(International geophysics; v. 56). Academic Press,

João Corte-Real  
EcoHCC14, Tomar, Setempler 2014

42



B.W. Atkinson (1981). Dynamical Meteorology - An Introductory Selection. Methuen. New York, USA.

### Hydrostatic Equilibrium

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = -g$$

$$dp = -\rho g dz$$

### Hydrostatic Energy Forms

$$\left\{ \begin{array}{l}
 K_H = \iiint_V \rho \frac{1}{2} (u^2 + v^2) dV = \iiint_M \frac{1}{2} (u^2 + v^2) dx dy \frac{dp}{g} \\
 P = \iiint_V \rho (gz) dV = \iiint_M z dx dy dp = \iiint_M R_a T dx dy \frac{dp}{g} \\
 I = \iiint_V \rho (c_v T) dV = \iiint_M c_v T dx dy \frac{dp}{g}
 \end{array} \right.$$

$$dm = dx dy \frac{dp}{g} \quad P/I = \frac{R_a}{c_v} \quad TPE = P + I$$

### Energy Forms (continuation)

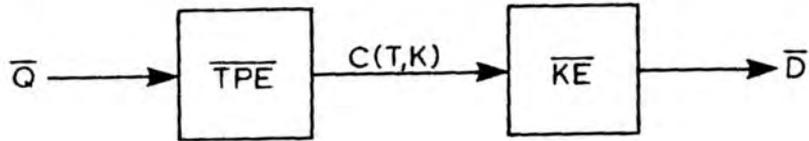
$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{\partial}{\partial t} (TPE) = H - C \\
 \frac{\partial}{\partial t} K_H = C - D
 \end{array} \right.$$

with

$H = \{\dot{Q}\}$  = total heating rate

$D = -\{\vec{v} \cdot \vec{F}_a\}$  = total dissipation rate

$C = -\{\omega\alpha\} = -\{\vec{v} \cdot \nabla\Phi\}$  = total conversion rate of TPE in  $K_H$  by isentropic processes



B.W. Atkinson (1981). Dynamical Meteorology - An Introductory Selection. Methuen. New York, USA.

### Energy Forms (continuation)

In long term:  $\bar{H} = \bar{C} = \bar{D} > 0$

$$\{\bar{S}\} = \{\bar{\theta}\} = 0$$

then:  $\left\{\frac{\bar{Q}}{T}\right\} = \left\{\frac{\bar{Q}}{p^k}\right\} = 0$

but  $\dot{Q} = \dot{Q}_n + \dot{Q}_a \quad \dot{Q}_a > 0$

*Energy Forms (continuation)*

Consequently:

$$\left\{ \frac{\dot{Q}_n}{T} \right\} < 0 \quad \left\{ \frac{\dot{Q}_n}{p^k} \right\} < 0 \quad \left\{ \dot{Q}_n \right\} = 0$$

Heating:

- Takes place at higher temperatures
- Takes place at higher pressures

$$TPE = APE + UPE$$

$$APE = TPE - (TPE)_{\min}$$

$$TPE = APE + UPE \text{ (Global)}$$

How to define the dead state?

In fact, the atmosphere can be led to different stable states, depending on the nature of the processes taking place on it.

Among all the allowed dead states there is one possessing the lowest value of **TPE**.

Thermodynamics tells us that the stable state with minimum **TPE** can only be attained from the actual state, by a conceptual reversible process.

Therefore the dead state with minimum **TPE** is a state with the same total entropy of the actual state. This is the reference state.

Therefore

$$APE = TPE(\text{actual state}) - TPE(\text{reference state})$$

or

$$APE = \int_M c_p(T - T_r)dm$$

For this relationship being useful it is necessary to show that all meteorological fields in the reference state, can be computed from the corresponding fields characterizing the actual state.

Since the actual and reference states have the same total entropy, and since, for an ideal gas, entropy is related to potential temperature, it means that in both states, the mass of the atmosphere limited by the surfaces of equal potential temperature,  $\theta = \theta_1$  and  $\theta = \theta_2$ , say  $m(\theta_1, \theta_2)$  is the same in the actual and reference states.

Therefore

$$m(\theta_1, \theta_2) = m_r(\theta_1, \theta_2)$$

From here it is easy to demonstrate that

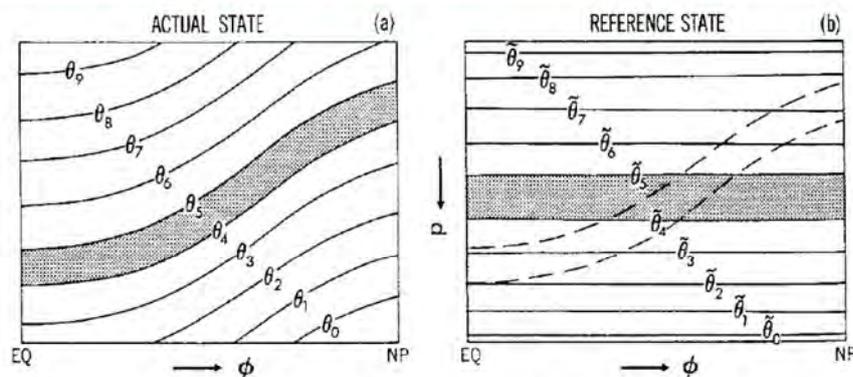
$$p_r(\theta, t) = \tilde{p}(\theta, t)$$

$$T_r(\theta, t) = T \frac{p_r}{p}$$

$$APE = \int_M c_p(T - T_r) dm = \int_M c_p N T dm$$

with

$$N = 1 - \left(\frac{p_r}{p}\right)^k$$



**FIGURE 14.2.** Schematic diagram of the actual state (a) and the reference state (b) used to compute the available potential energy in the atmosphere. The reference state is obtained by an isentropic redistribution of the atmospheric mass so that the isentropic surfaces become horizontal. During the redistribution the area (i.e., the mass) between two isentropic surfaces remains the same. Note that in a stable state the potential temperature  $\theta$  increases with height.

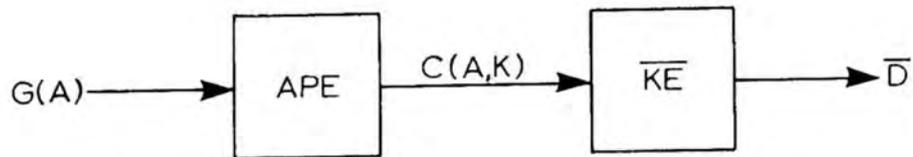
Physics of Climate. José P. Peixoto and Abraham H. Oort. Springer, 1992, New York, USA.

$$\frac{\partial}{\partial t} = (APE) = G - C$$

$$\frac{\partial}{\partial t} K_H = C - D$$

with

$$G = \left\{ \dot{Q} \left( 1 - \left( \frac{p^r}{p} \right)^k \right) \right\} = \left\{ \dot{Q} \left( 1 - \frac{T_r}{T} \right) \right\}$$



B.W. Atkinson (1981). Dynamical Meteorology - An Introductory Selection. Methuen. New York, USA.

The previous equality was transformed by Lorenz in order to express  $APE$  in terms of mean values computed not over isentropic surfaces but over isobaric surfaces.

The result is

$$APE = \frac{1}{2} \int_M c_p \gamma \overline{T'^2} \frac{dp}{g}$$

In here,  $\gamma$  is a static stability parameter and  $\overline{T'^2}$  is the variance of temperature over an isobaric surface.

It should be noted that  $\gamma$  is inversely proportional to the stability index or in other words, the less stable is the actual state of the atmosphere the higher is  $\gamma$ .

Lorenz's approximate formula for APE

$$A = \iiint_M \frac{1}{2} c_p \gamma (T - \tilde{T})^2 dm$$

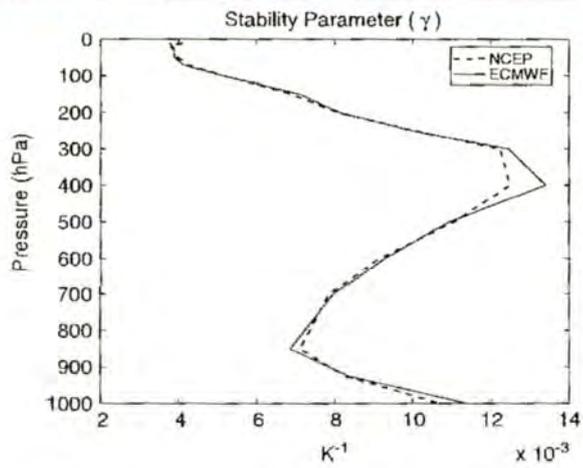


Figure 12. Vertical profile of the static stability parameter,  $\gamma$ , averaged over 1979–2001 for NCEP (dashed line) and ECMWF (thin line) Reanalyses.

However, this approximate expression for  $APE$ , can be directly obtained from the thermodynamic bilinear form expressing, also approximately, the available energy of a system, in the presence of a given environment.

In summary: when the thermodynamic theory of availability is applied to the atmosphere, the dead state corresponding to a given actual state, being the state of lowest  $TPE$  subject to the constraint of having the same total entropy of the actual state, all the “exact” and approximate formulas derived by Lorenz, are recovered.

The operational formula to compute  $APE$  for any actual state of the atmosphere,

$$APE = \frac{1}{2} \int_M c_p \gamma \widetilde{T}^2 dm$$

Is very convenient in diagnostic studies of observed or simulated states of the atmosphere by numerical models, situations in which the meteorological fields are defined over isobaric surfaces.

Besides, this formula is physically very consistent:  $APE$  is higher the less stable is the atmosphere and the higher are the temperature contrasts over isobaric surfaces.

As we have seen in thermodynamic theory, the generation of available energy requires the presence of diabatic processes, positively correlated with temperature, or the supply of work to the system.

In the real atmosphere the generation of *APE* is due to diabatic processes which comprise: radiation, release of latent heat in the phase transitions of water, turbulent exchange of sensible and latent heat between the surface of the globe and the atmosphere.

Diabatic processes only generate *APE* if they lead to the establishment of thermal differentiated subsystems or the reinforcement of those already present in the atmosphere; in other words heating must be positively correlated with temperature (heat is received at higher temperature and released at lower temperatures).

Otherwise, *APE* is destroyed, as is normally the case in air mass modification processes.

Differential heating is therefore required for the generation of *APE* , implying a baroclinic atmosphere (hyperbaroclinic in frontal disturbances). And remember that baroclinicity can generate or intensify instabilities.

It should be stressed that, in the long-term, diabatic processes do not generate *TPE*, since these processes average to zero.

However, the same processes generate *APE*, with an efficiency *N*.  
In the long-term the heating of the atmosphere is due to friction alone.

Friction is a an irreversible process which generates entropy, therefore increasing not only *TPE* but, as well, *UPE*.

The contribution of friction to the generation of *APE* is therefore negligible.

From the established expressions for *TPE* and *APE* and from observed temperatures and wind intensities the following typical global estimates are easily obtained

$$\frac{APE}{TPE} \sim 1/200 = 0,5\%$$

$$\frac{K}{TPE} \sim 1/200 = 0,05\%$$

$$\frac{K}{APE} \sim 1/10 = 0,1 = 10\%$$

That is only **0,5%** of *TPE* is available for conversion into kinetic energy and only **10%** of this small amount appears as energy of motion!

The atmosphere seems therefore to be a rather inefficient thermal machine!

This conclusion is however misleading. In fact, Lorenz demonstrated that the rate of conversion of *APE* (or *TPE*) into *K*, although small, appears to be close to the maximum rate of conversion that is possible with the given distribution of solar radiation. Lorenz concludes that the general circulation is probably operating near its maximum possible intensity under the constraints of radiation and the rotation rate of the globe.

Besides, Lorenz points to the circumstance that for the general circulation to be operating at its maximum possible intensity, the north-south exchange processes (of heat and angular momentum) cannot be accomplished solely by symmetrical meridional circulations (e.g. Hadley and Ferrel cells) being required asymmetrical disturbances (e.g. Rossby waves in middle latitudes) which are the consequence of the well-known instability of a symmetric baroclinic flow.

## The Atmospheric Energy Cycle

A familiar approach in the study of the general circulation is the partitioning of the fields of motion and temperature, into zonal means and the superposed disturbances.

For any field

$$b = b(\lambda, \varphi, p, t)$$

$$b = [b] + b^*$$

$$b^2 = [b]^2 + b^{*2} + 2b^*[b]$$

$$[b^2] = [b]^2 + [b^{*2}]$$

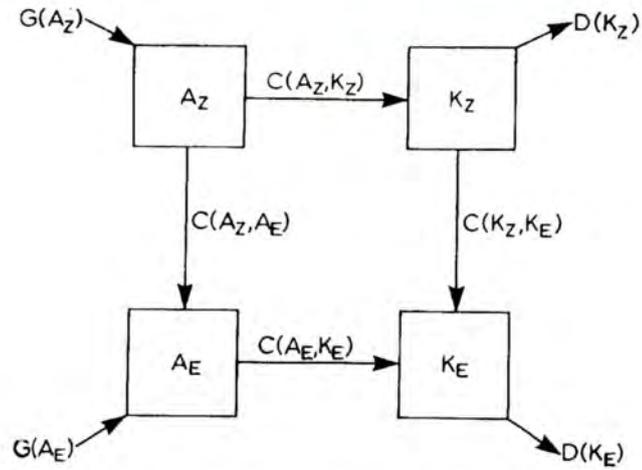
$$[\overline{b^2}] = [\overline{b}]^2 + [\overline{b^{*2}}]$$

In consequence the fields of available potential energy and kinetic energy are expressed as the sum of zonal fields and eddy fields, as

$$APE = A_z + A_E$$

$$K_H = K_z + K_E$$

This partitioning led Lorenz to the establishment of an energy cycle



B.W. Atkinson (1981). Dynamical Meteorology - An Introductory Selection. Methuen. New York, USA.

The components of the energy cycle are expressed as integrals over the entire mass of the atmosphere, which can be computed from observations (e.g. radiosonde data) or reanalysis data sets.

## Estimates of the Atmospheric Energy Cycle

João Corte-Real  
EcoHCC14, Tomar, Setempler 2014

83

## A Circulação Geral da Atmosfera e o Clima

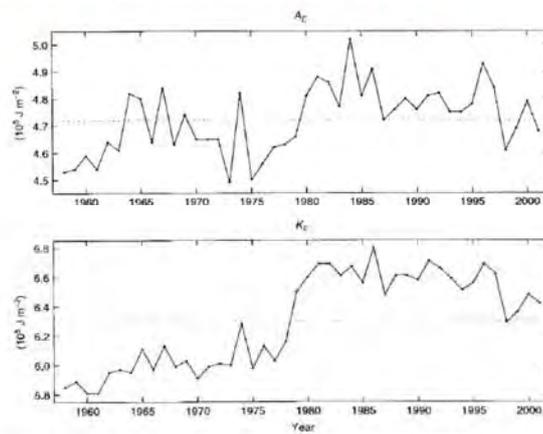


Figure 14. Variations of eddy available potential energy (top) and eddy kinetic energy (bottom) for ECMWF Reanalysis data. Dotted lines are averages over 1958-2001.

Copyright © 2008 Royal Meteorological Society

*Int. J. Climatol.* (2008)  
DOI: 10.1002/joc

João Corte-Real  
EcoHCC14, Tomar, Setempler 2014

84

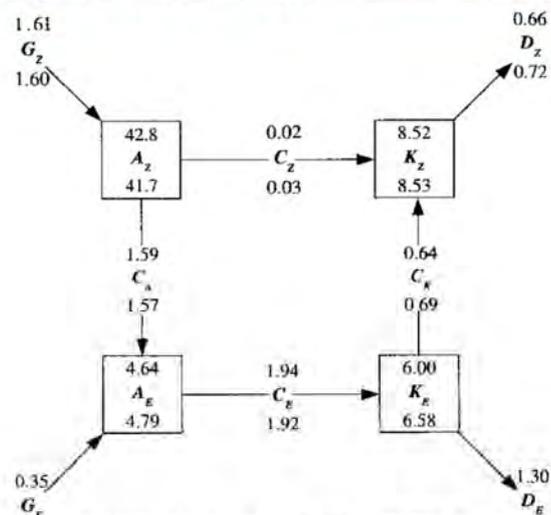
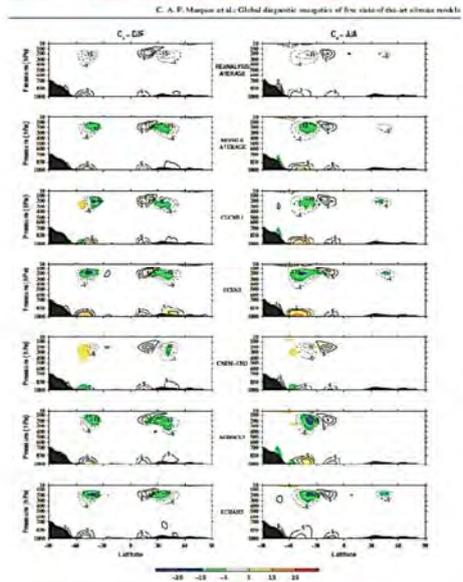
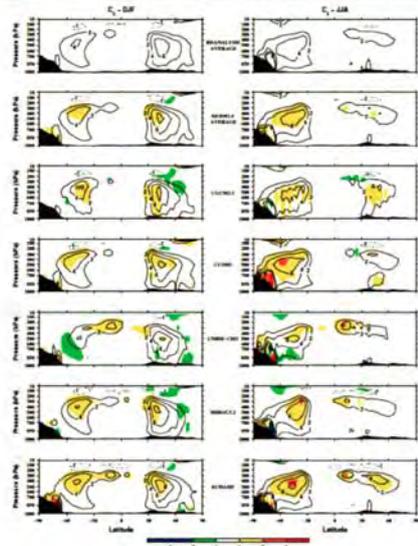


Figure 13. Energy cycle diagram for ECMWF Reanalyses. Averages over 1958–1978 (top values) and over 1979–2001 (bottom values). Energies are in units of  $10^5 \text{ J m}^{-2}$  and transformation rates are in  $\text{W m}^{-2}$ .



The same as in Fig. 6, but for the conversion rate from total available potential energy to total kinetic energy,  $C_t$ .

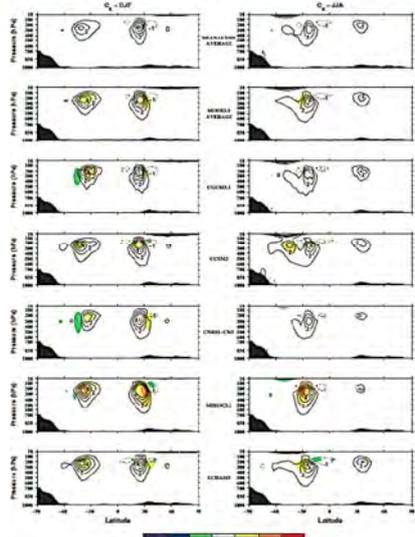
C. A. F. Marques et al.: Global diagnostic energetics of five state-of-the-art climate models



The same as in Fig. 4, but for the conversion rate from eddy available potential energy to eddy kinetic energy,  $C_p$ .

C. A. F. Marques et al.: Global diagnostic energetics of five state-of-the-art climate models

1781

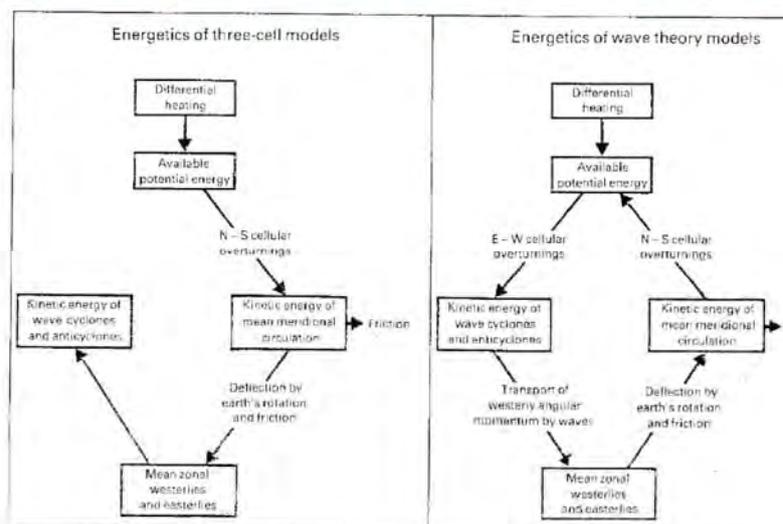


The same as in Fig. 4, but for the rate of transfer from eddy to eddy kinetic energy,  $C_p$ .

## Outlook of the General Circulation

João Corte-Real  
EcoHCC14, Tomar, Setempler 2014

89



João Corte-Real  
EcoHCC14, Tomar, Setempler 2014

90

# DREAMS

Centre for Interdisciplinary Development and Research on Environment, Applied Management and Space  
Centro Interdisciplinar de Desenvolvimento e Investigação em Ambiente, Gestão Aplicada e Espaço



"Understanding the human side of technology is an amazing research endeavor and a fundamental step towards the success of human-machine interaction and cooperation within safety-critical systems."

Roberto Abreu, Director, Investigador ICAAM e Director



Pólo da Mitra

**Thank you for your attention!**

João Corte-Real ([jmcr@uevora.pt](mailto:jmcr@uevora.pt) or [joao.cortereal@ulusofona.pt](mailto:joao.cortereal@ulusofona.pt))

Universidade de Évora, ICAAM (<http://www.icaam.uevora.pt>)

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, DAT/DREAMS (<http://www.ulusofona.pt/>)

technical support: [Regina Corte-Real](#)



*Orientações de teses de  
Mestrado e Doutorado*



## Teses de Mestrado

1. BUGALHO, M.L.A., (1996): *“Validação do Modelo HIRHAM: Fontes Aparentes de Calor e Humidade”*.
2. HENRIQUES, D.V., (1996): *“Contribuição Para o Estudo de Relações Empíricas entre o Ozono e a Dinâmica da Estratosfera: Aplicação na Modelação da Radiação Ultravioleta à Superfície”*.
3. Loureiro, Pedro M. Buisson V. Beltrão (1996): *“O Método Multigrid na Modelação Semi-Lagrangiana da Advecção”*. Mestrado em Ciências Geofísicas – área de Especialização: Meteorologia.
4. Macedo, Maria Emília Rua van Zeller de (1996). *“Aplicação do Radar Meteorológico na Previsão de Cheias”*. Mestrado em Ciências Geofísicas – área de Especialização: Meteorologia.
5. MADEIRA, C.P.F., (1996): *“Formulação de um Modelo 1-D de Transformação de Massas de Ar”*.
6. PRATES, F.M.R.M., (1996): *“Validação de um Modelo de Área Limitada na Região Euro-Atlântica”*. Mestrado em Ciências Geofísicas – área de Especialização: Meteorologia.
7. FRANCO, I.M., (1997): *“Modelação Estatística da Precipitação”*.
8. MEIRELLES, M.G.F.S.P., (1997): *“Estudo das Oscilações Quase Periódicas Intrasazonais Observadas nos Fluxos de Calor Latente”*.
9. MONTEIRO, M.J.C., (1997): *“O Método de Interpolação Óptima em Meteorologia. Aplicação à Análise Univariada em Altitude numa Área Limitada”*.
10. AMORIM, Lígia M.C.Pinto A. (1998): *“Utilização de Redes Neurais na Optimização da Previsão de Precipitação em Lisboa”*. Mestrado em Ciências Geofísicas – área de Especialização: Meteorologia.
11. ANTUNES, Silvia M.L., (1998): *“Caracterização da Variabilidade Climática Interanual em Portugal Continental”*. Mestrado em Ciências Geofísicas – área de Especialização: Meteorologia.
12. BERNARDINO, Mariana Stichini Vilela Hart de Campos, (1998): *“Desagregação de Séries Temporais de Precipitação”*. Mestrado em Ciências Geofísicas – área de Especialização: Meteorologia.

13. CARVALHO, Fernanda R.Silva, (1998): *“Modelo Espectral Simplificado de Transferência Radiativa em Céu Limpo para Portugal”*.
14. PRIOR, Victor Manuel Martins Soares (1998): *“Contribuição para a Investigação da Estrutura Termomecânica da Baixa Troposfera na Região da Grande Lisboa”*. Mestrado em Ciências Geofísicas – área de Especialização: Meteorologia.
15. CARVALHO, Fernando Luís Mourão de (1999): *“Simulação Numérica da Sobrelevação do Nível do Mar de Origem Meteorológica”*. Mestrado em Ciências Geofísicas – área de Especialização: Meteorologia.
16. SANTOS, Alice Maria Palma Soares (1999): *“Modelação do Transporte de Poluentes na Costa Ocidental Portuguesa”*. Mestrado em Ciências Geofísicas – área de Especialização: Meteorologia.
17. PEREIRA, Maria Margarida Sena Belo Santos, (2000): *“Evaluation of Precipitation Using a High Resolution Numerical Model”*. Mestrado em Ciências Geofísicas – área de Especialização: Meteorologia.
18. ANDRADE, Cristina Maria Mendes (2000): *“Variabilidade Recente de Algumas Componentes do Ciclo Hidrológico na Europa e no Mediterrâneo”*. Mestrado em Ciências Geofísicas – área de Especialização: Meteorologia.
19. DEUS, Ricardo J.R.C., (2003): *“Diagnóstico de extremos espaço-temporal para deteção de ilha de calor em regiões urbanas: Aplicação à região da “Grande Lisboa”*. Mestrado em Clima e Ambiente Atmosférico.
20. SOARES, Emanuel, (2004). *“Variabilidade sazonal e inter-anual da precipitação na região de Cabo Verde”*. Mestrado em Clima e Ambiente Atmosférico.
21. MARQUES, C.A.F. (2004). *“Simulações do clima à escala global para o período 1979-1993: Circulação e energia da atmosfera”*. Master of Science.
22. BARAI, E., (2005). *“Variabilidade da Zona de Convergência Inter-Tropical sobre a África Tropical”*. Master in Climate and Atmospheric.
23. AZEVEDO, M.G.C., (2005): *“Clima e Fenomenologia da Precipitação em Angola”* Master in Climate and Atmospheric Environment.
24. MARQUES, Filipa (2005). *“Variabilidade interdecadal da Zona Oceânica Portuguesa nos semestres de Inverno e de Verão”*. Mestrado em Clima e Ambiente Atmosférico.

25. MENEZES, Isilda.A.L.P.C., (2005): *"Extremos Meteorológicos em Portugal Continental Deduzidos de um Modelo Regional de Clima"*. Master in Climate and Atmospheric Environment.
26. MATEUS, Carlos Miguel Barão, (2006): *"Detecção e identificação de nevoeiros e nuvens na região sul de Portugal a partir de detecção remota multi-espectral de satélite"*, Master in Climate and Atmospheric Environment.
27. FREITAS, Clara Cristina Lebre: (2006). *"Condições Meteorológicas Sinópticas e de Mesoscala durante Episódios de Poluição Atmosférica por Matéria Particulada na Área da Grande Lisboa"*. Master in Climate and Atmospheric Environment.
28. BRITO, Ester Araújo de, (2007). *"Balanço da Energia Cinética de uma Onda de Leste na Região da Monção Africana"*.
29. TCHEDA, J. Lona, (2007): *"Dinâmica da Monção Oeste Africana (MOA) e a Variabilidade de Precipitação Sazonal no SAHEL: Impactos sobre as Populações e sobre os Ecossistemas"*. Master in Climate and Atmospheric Environment.
30. MENDES, Susana Margarida das Neves (2008): *"O Transporte Vertical de Momento Linear Num Caso de Convecção Profunda"*. Tese de Mestrado. Mestrado em Meteorologia e Oceanografia Física.
31. PEREIRA, Susana Cardoso (2008): *"As Ciências da Atmosféricas e o Meio Ambiente nas Escolas: Implementação de um Projecto"*. Mestrado em Meteorologia e Oceanografia Física.
32. SILVA, Malam. (2009). *"Meteorological Tropical Previsão do Tempo nas Regiões Tropicais Utilizando o Modelo BRAMS (Brazilian Regional Atmospheric Modeling System): Uma Aplicação para a Guiné-Bissau"*. Dissertação de Mestrado em Clima e Alterações Climáticas.
33. LOPES, Margarida Maria Correia Alves (2010). *"Contribuição para o Ensino da Meteorologia e do Clima"*. Mestrado em Clima e Ambiente Atmosférico.

## Teses de Doutoramento

1. WANG, Xiaolan (1995): *“Planetary Scale Circulation, Climate and Extreme Events in East Asia”*. Grau de Doutor em Física, Especialidade de Meteorologia. Universidade de Lisboa.
2. ZHANG, Xuebin (1995). *“Regional Climatic Variability and Climate Change. Scenarios”*. Grau de Doutor em Física, Especialidade de Meteorologia. Universidade de Lisboa.
3. AGUIAR, Ricardo Jorge Frutuoso de, (1996). *“Séries Sintéticas de Parâmetros Meteorológicos”*. Grau de Doutor em Física, Especialidade de Meteorologia. Universidade de Lisboa. Co-Orientação: Prof. Dr. Manuel Collares Pereira (INETI/ITE).
4. COSTA, Eduardo Damásio da, (1996). *“Variabilidade de Baixa Frequência na Região Euro-Atlântica”*. Grau de Doutor em Física, Especialidade de Meteorologia. Universidade de Lisboa.
5. QIAN, Budong (2000). *“Precipitation over Europe and Large-Scale Climatic Variability”*. Grau de Doutor em Física, Especialidade de Meteorologia. Universidade de Lisboa.
6. XU, Hong (2000). *“Downscaling Local Precipitation from Large-Scale Atmospheric Circulation”*. Grau de Doutor em Física, Especialidade de Meteorologia. Universidade de Lisboa.
7. BERNARDINO, Mariana Stichini Hart Campos (2003). *“Climate Change and Drought Regimes in Europe”*. Grau de Doutor em Física, Especialidade de Meteorologia. Universidade de Lisboa.
8. LIND, Pedro Gonçalves (2003): *“Pattern Evolutions in Diffusive-Advective Lattices of Discrete-Time Oscillators”*. Ph.D. Physics. Co-Orientação: Jason Gallas (UFRS, RS Brasil).
9. SANTOS, João Andrade dos (2005). *“Climate Variability in Europe and its Connection to the Stratosphere-Troposphere Circulation: a case study for Portugal”*. Doutoramento em Física. Universidade de Lisboa. Co-Orientador: Prof. Solange Mendonça Leite (UTAD).
10. PEREIRA, M. Margarida Belo S. Sena, (2006). *“Estimation and study of forecast error covariances using an ensemble method in a global nwp model”*. (Parametrização do Vapor d'Água em Modelos numéricos de Mesoescala). Doutoramento em Física, Universidade de Évora.
11. RAMOS, Andrea, (2006): *“Modelação Numérica do Transporte de Poluentes Atmosféricos em Portugal e suas Relações com as Condições Meteorológicas”*, Universidade de Évora.

12. CONDE, Fábio, (2006): *“Um Estudo Biometeorológico em São Paulo: Elaboração de um Índice de Risco Meteorotrópico (IRM) sobre a Morbilidade por Doenças Respiratórias na Cidade de São Paulo”*. Universidade de Évora.
13. ANDRADE, Cristina Maria Mendes (2010). *“The Large-scale Empirical Forcing Function”*. Doutoramento em Ciências do Ambiente. Universidade de Évora.
14. MOURATO, Sandra de Jesus Martins (2010). *“Modelação do Impacte das Alterações Climáticas e do uso do Solo nas Bacias Hidrográficas do Alentejo ”*.Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade de Évora. Co-Orientação: Prof. Madalena Moreira.
15. MARQUES, Carlos A.F. (2011): *“Global atmospheric energetics under present and future climate conditions”*. Doutoramento em Física. Universidade de Aveiro. Co-Orientação: Prof. Alfredo Rocha (Universidade de Aveiro).
16. MENDES, Susana Margarida das Neves (2011). *“Cumulus Momentum Fluxes in Cloud-Resolving Model Simulations of TOGA-COARE”*, Universidade de Aveiro. Co-Orientador: C. Bretherton.
17. TRANCOSO, A. R. (2012). *“Operational Modelling as a Tool in Wind Power Forecasts and Meteorological Warnings”*. Doutoramento em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico. Co-Orientador: Prof. Delgado Domingos.
18. SILVA, Luiz Tadeu da (2014). *“Vulnerabilidade Ambiental – Vulnerabilidade ao Escorregamento de Terras – Estudo de Caso: Bacia do Rio Bengalas, 2011”*. Doutoramento em Ciências do Ambiente. Universidade de Évora. Co-Orientação: Prof. Elsa Paula Morgado de Sampaio.



*“Ninguém pode, com seriedade científica, dizer que sabe o que vai acontecer no futuro. Nós não sabemos o que vai acontecer.”*



**Fakeclimate: Há um embate entre modelos de clima e as observações em climatologia?**

**João Corte-Real:** Para mim há dois aspectos, o aspecto das observações e o aspecto dos modelos. As minhas dúvidas em relação a posição oficial vem precisamente em relação as observações e não dos modelos. Porque as observações nos levam a concluir que, nos últimos 10 a 15 anos, aquela tendência que se observou de subida na temperatura média global parou. A temperatura média global continua acima do parâmetro de referência 61-90, mas agora flutua em torno de um determinado valor e a tendência que havia antes parece ter desaparecido.

O que na minha opinião não é consistente com o contínuo aumento das concentrações de gases do “efeito estufa”, se o fator de origem antropogénica estivesse dominando não deveríamos observar isso, que é uma estagnação dessa tendência, que aliás, não é só na temperatura média global. Por exemplo, o IGBP português (*Internacional Geosphere Biosphere Programme*), que é um programa internacional que existe há mais de 20 anos e que foi criado exatamente pra estudar as mudanças globais. Portugal desde uns 8 anos para cá faz parte deste comitê, o IGBP fez um encontro em 2010, e nesse encontro houve a intervenção de uma cientista espanhola da Universidade de Barcelona que afirmou que as temperaturas em Espanha estagnaram.

Portanto, as minhas dúvidas vem de observações e não de modelos. Quanto aos modelos, todos nós sabemos e todas as pessoas que trabalham com modelos sabem, que os modelos obviamente tem limitações. Porque as suas parametrizações são ainda deficientes em muitos campos importantes na dinâmica e na física da atmosfera, por exemplo, na física de nuvens, no papel dos aerossóis no sistema climático. Há muita coisa ainda por melhorar.

Agora, isso não significa que devemos deitar fora os modelos! Porque para podermos ter uma perspectiva do que será o clima no futuro isso só pode ser feito recorrendo a modelos, e isso não significa que precisam ser esses modelos, poderiam até ser outros, porém não devemos jogar os modelos fora. Eu pessoalmente gosto muito de modelos pois trabalhei na previsão numérica do tempo há muitos anos, no então serviço meteorológico nacional. Porém não devemos confundir projeções de modelos com realidade, porque nós já percebemos que os modelos nos fornecem resultados que não são confirmados pelas observações.

Temos que encarar os modelos com uma certa “distância” embora os continuemos a utilizar e a melhora-los, eu julgo que os modelos são de alguma forma uma grande conquista da ciência, porque aquilo que já se conseguiu mostra que já conseguimos perceber muita coisa, embora há muitas coisas que ainda não percebemos completamente e não conseguimos modelar. Eu não nego que o homem possa influenciar negativamente o sistema da atmosfera, porém não acho que isso seja dominante frente aos fatores naturais.

### **Para o modelo atual, qual a influência do sol e da variação de manchas solares?**

O sol é a principal fonte de energia para o sistema climático e por consequência as variações da atividade solar, que estão relacionadas a quantidade de energia recebida no sistema, eu julgo que não podem ser ignoradas. Diz-se que essas variações são muito pequenas e por isso o efeito será diminuto, no entanto, eu não sei se podemos tirar essa conclusão assim apressadamente.

Porque variações que percentualmente são pequenas mas distribuídas num período de tempo suficientemente longo perturbando continuamente o sistema não deveriam ser ignoradas. Por exemplo, este ano estamos numa intensificação da atividade solar e julga-se que essa intensificação terá pouco efeito a nível climático, exatamente porque ocorrerá num lapso de tempo relativamente pequeno, no entanto, variações da mesma ordem de grandeza distribuídas num intervalo maior podem ter como resultado perturbações significativas no clima. Tendo em vista o mínimo de Maunder que ocorreu no século XVIII, hoje estamos num ciclo de Gleissberg e estamos numa fase de atenuação da atividade solar associada a esse ciclo e por consequência julgo que o sol é um elemento essencial.

### **Porque o sol, sendo tão importante fica coadjuvante ou nem mesmo aparece nos modelos atuais?**

É que os modelos atuais cobrem um intervalo de tempo relativamente pequeno, por consequência não é possível incluir nos modelos atuais factores astronómicos de uma forma significativa.

### **Quanto ao IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), podemos confiar em seu modo de operação dentro da ONU? O que predomina a ciência ou a política?**

Repare, o IPCC é uma organização intergovernamental, como o próprio nome indica e portanto o IPCC é guiado por política. Como dizem os ingleses “*politically driven*” ou “guiado por política” e isso não significa que o IPCC não tenha uma componente científica. Mas as motivações são políticas e por consequência, todas essas políticas definidas pela ONU e a União Europeia não irão de encontro aos interesses das mesmas. Há algum tempo estive em um evento internacional e um cientista alemão perguntava o porquê de seus estudos sobre o efeito dos aerossóis na atmosfera não terem sido incluídos no relatório mesmo a pesquisa tendo sido concluída e computada. Não sei porquê razão o IPCC não incluiu os estudos desse cientista, mas não me espantaria que fossem por razões políticas. O IPCC não é inteiramente científico, ele é movido por razões políticas e essas razões podem ou não levar a incluir resultados científicos.

A União Europeia definiu como objetivo central o desenvolvimento de energias renováveis para combater as alterações climáticas, porém eu julgo que se o clima estiver mudando de fato, por uma razão ou outra, não haverá hipótese de contrariar essa alteração. As alterações dão-se. E o “lutar contra” pode ter efeitos que não podemos nem ao menos estimar, no fundo o “lutar contra as alterações climáticas” é uma bandeira. E o efeito dessa bandeira é desenvolver as energias renováveis. Porém, não estou contra o desenvolvimento de energias renováveis, porque acho que há um problema energético no mundo. Aqueles que produzem petróleo não estão no mundo ocidental, e muitas guerras e conflitos são travados por conta disto. Mas o que sou contra é que

a introdução dessas energias seja feita a custo de se meter medo as pessoas com as alterações climáticas.

### **Qual a sua opinião sobre o interesse internacional na Amazônia?**

*“Ao contrário do que os brasileiros pensam, a Amazônia não é deles, mas de todos nós.” – Al Gore (1989)*

Os grandes responsáveis pelas políticas mundiais apoiam sempre suas intervenções em grandes princípios que parecem muito indiscutíveis e muito bonitos e que toda a gente aceita. Mas o evocar desses princípios esconde apenas o interesse financeiro, e o lucro, e o poder desses países em controlar esses meios. Eles não podem falar assim, mas o que está por trás dessa afirmação como essa do Al Gore, é uma política de interesses econômicos e financeiros e de poder, isto é, os países continuam a crer que podem controlar os outros. Ouvimos muitas vezes dirigentes americanos dizer que a América continuará a ser a maior potência mundial, e eu vejo que essas motivações são de fato a origem das guerras e da corrupção e de tudo isso que vemos a acontecer no mundo.

Isto também se reflete no que se diz de clima, quando se fala de se desenvolver energias renováveis qual a motivação expressa? É a descarbonização do clima. E porquê a descarbonização? Porque senão haverá uma alteração climática provocada por nós e que será catastrófica. E o que está realmente por trás disso não são as alterações climáticas.

Alterações climáticas hoje, não significa duas coisas. Alterar ou evitar uma alteração do clima, “alterações climáticas” é um conceito único equivalente a “desenvolver energias renováveis”.

### **Nesse cenário, portanto, quais seriam os grandes interesses por trás do alarmismo?**

Nós vemos que as grandes intervenções são muito dependentes dos recursos que os países que sofrem a intervenção possuem. Hoje vemos o que passa na Síria, as pessoas protestam mas ninguém intervém, já na Líbia intervieram rapidamente. No Haiti houve aquele sismo, aquelas pessoas vivem em condições degradantes e ninguém intervém ali em força. Porquê? Porque o Haiti é um país sem interesses externos.

Debaixo dessas grandes ideias, e dessas mensagens de solidariedade, sustentabilidade e etc, continua-se a verificar de facto a procurar do poder e da riqueza. Nós vivemos num mundo de enganar. Na minha perspectiva, quando se fala da democracia em oposição a ditadura lá estão grandes princípios de liberdade e livre expressão porém nos países democráticos isso não se verifica! Enquanto que o ditador é ostensivamente opressor, não deixa falar, e se falar é preso, nas democracias se a pessoa fala ela é liquidada indiretamente. Portanto vivemos num mundo de hipocrisias de facto.

## **Quais as perspectivas das políticas ambientais em Portugal hoje?**

Em Portugal a política é o desenvolvimento de energias renováveis, embora tenha havido uma desaceleração nesse ponto devido a crise económica. Crise essa que resulta de corrupção, não se baseia só na crise internacional. Temos muita responsabilidade interna. Portanto, aqui em Portugal continuamos a ouvir falar de sustentabilidade e isso se confunde com as energias renováveis. Até porque essa é uma política europeia, temos pouca probabilidade de fazer políticas próprias que não tenham a ver com o que a Europa diz.

Nas energias renováveis de qualquer maneira, há um aspecto importante aqui, que eu recuso embora nada possa fazer. Boa parte das facturas que pagamos à EDP (distribuidora de Energia em Portugal) é para energias renováveis, isto é, as energias renováveis têm-se desenvolvido de uma forma privilegiada. Nós estamos a pagá-la! Elas não conseguem pagar-se, não são ainda competitivas. Até mesmo no uso doméstico, instalar energia solar em casa é ainda muito caro e o uso das instalações é de no máximo vinte anos, ora, vinte anos é muito pouco.

Por outro lado não há “free lunch”, isto é, não há nada perfeito. A própria utilização do petróleo e outros combustíveis fósseis também têm seus inconvenientes. Mas o que de facto acontece é que as energias renováveis não são ainda competitivas, e as pessoas estão sendo obrigadas a financiar essas iniciativas e conseqüentemente isso significa que algumas empresas estão tendo bons lucros.

## **E quanto a imposição das “energias renováveis” aos países pobres da América Latina e África?**

Os países em desenvolvimento, alguns deles têm os recursos, caso do Brasil. Mas outros não têm, e a pobreza em África é constrangedora. Não venham agora dizer que esses países não se podem desenvolver como os outros! E mais, eu julgo que esses países continuam de uma forma indireta a ser colonizados. Os países subdesenvolvidos precisam das fontes tradicionais de energia.

## **Fala-se muito de um aumento nos eventos extremos, como furacões, tornados, tempestades e isso por conta das mudanças climáticas. Essa é uma realidade? O que foi observado até agora?**

Os modelos de clima apontam nessa direção, mas nós sabemos que os modelos de clima estão enviesados, estão forçados para aquecer. Se aqueles processos físicos que se opõem ao forçamento associado ao aumento das concentrações de gases do efeito estufa não estiverem bem representados nos modelos, claro que eles vão aquecer demais.

E efetivamente os modelos de clima, quer os globais quer os regionais estão enviesados nesse sentido. Portanto os resultados dos modelos dão temperaturas superiores às observadas aqui na Península Ibérica e precipitações abaixo daquilo que é observado. Há um enviesamento para mais quente e mais seco.

Se me perguntarem assim: “Os extremos têm-se verificado com mais intensidade e com maior frequência?” Eu não saberia responder essa pergunta, pois não existe uma clara tendência. Há situações que poderão levar a pensar que sim, por exemplo, no passado era muito improvável a presença de tornados em Portugal, recentemente têm sido reportada a ocorrência de tornados. Mas nós não podemos basear-nos em factos individuais para tirar conclusões climáticas.

Houve há uns anos atrás, em 2005, um aumento do número de furacões no atlântico e toda a gente dizia “cá estão as alterações climáticas” portanto vamos passar a ter uma média maior de furacões e muito mais intensos, e de repente os furacões parece que desapareceram!

Excertos da entrevista ao Expresso a 21 de Novembro de 2009

João Corte-Real: "Mistura entre ciência e política é negativa"

Introdução de João Corte-Real (Universidade de Évora) à entrevista dada ao Expresso sobre as Alterações Climáticas.

As questões colocadas pelo Expresso reflectem as preocupações decorrentes dos relatórios do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC).

As posições do IPCC assentam na "teoria do aquecimento global de origem antropogénica", segundo a qual o aumento das concentrações de gases absorventes da radiação infravermelha (o dióxido de carbono, o metano, o óxido nitroso, etc.), provocado pela actividade humana (a queima de combustíveis fósseis), é o principal responsável pelo aumento da temperatura média global junto à superfície, daí decorrendo uma variedade de perturbações no sistema climático (na circulação atmosférica e no nível médio dos oceanos), adversas ao bem-estar e à segurança da Humanidade.

Uma das conclusões dos relatórios do IPCC é o aumento da frequência e intensidade de fenómenos extremos (secas, ondas de calor, precipitações devastadoras) potencialmente catastróficos.

Convém sublinhar que o IPCC é um Painel Intergovernamental, portanto politicamente orientado e não cientificamente orientado; tal não implica que as suas conclusões devam estar erradas, nem significa que as mesmas não tenham um suporte científico.

No entanto, a mistura entre ciência e política, que também significa mistura entre ciência e meios financeiros para a levar a cabo é, em meu entender, claramente negativa.

Em Portugal essa mistura levou a que a questão das alterações climáticas esteja nas mãos de pessoas que nunca investigaram nessa área, comportando-se como meros repetidores daquilo que outros fizeram, muitas vezes anunciando como novas coisas que já se sabem há muito tempo.

Por outro lado, a questão do clima e alterações climáticas está a ser confundida com a questão das energias alternativas (o Pacote Energia - Clima da UE), e o ensino superior em clima e alterações climáticas passou apenas a incluir quase só temas qualitativos.

Assim, a difícil e complexa ciência do clima passou à categoria de "soft ciência", relativamente à qual todos se sentem aptos a dar sentenças. Um tema com estas características não é certamente científico!

### **Modelos do clima não são previsões**

No que respeita às perguntas colocadas pelo Expresso, há que dizer o seguinte:

- As conclusões do IPCC assentam em modelos de clima, globais e regionais. Tais modelos permitem obter projecções ou cenários do clima futuro, à escala global ou regional, e não previsões desse mesmo clima; não há ainda previsões de clima. Aqueles cenários descrevem possíveis climas futuros, consistentes com as leis da física e com as hipóteses seleccionadas para correr os modelos, pelo que não são necessariamente prováveis.

- Por outro lado, os modelos de clima contêm representações ainda muito imperfeitas de processos físicos relevantes (a convecção em nuvens de desenvolvimento vertical, o papel dos aerossóis) do sistema climático, alguns deles com a potencialidade de se oporem ao aquecimento induzido pelo aumento gradual das concentrações de gases com efeito de estufa, que constitui o principal elemento "forçador" do clima e do aumento de temperatura nos modelos.
- Os modelos de clima nem sempre reproduzem bem o clima observado (por exemplo, valores simulados de tendências de temperatura na atmosfera tropical em altitude são significativamente diferentes dos observados); além disso, os cenários de clima por eles gerados referem-se a períodos de tempo futuros, pelo que as conclusões não podem ser transpostas para o presente de qualquer maneira; por exemplo, se um modelo antecipa para 2030-2050 uma maior frequência de secas extremas na Península Ibérica, não é claro que a ocorrência de um maior número de anos de seca no presente nessa região seja a confirmação dos resultados desse modelo.
- Recentemente, foi afirmado que a situação de temperaturas muito elevadas ocorrida no Verão de 2003 constituiu o anúncio paradigmático das situações futuras antecipadas pelos modelos de clima; no entanto, a equipa do autor destas linhas realizou um estudo cuja publicação foi negada, que não suporta essa conclusão. Dito de outra maneira: o mecanismo subjacente ao Verão de 2003 não é o mesmo que está associado às projecções do clima futuro fornecidas por modelos.

### **A subida da temperatura da Terra é uma tendência de longo prazo ou foi interrompida no século XXI?**

*“A tentativa de controlar a temperatura do Planeta controlando as emissões é ‘ingénua’ e não tem base científica num sistema como o climático”*

João Corte-Real (J.C.R.) - Nos modelos de clima trata-se de uma tendência de longo prazo. Na realidade, tal deveria verificar-se se o progressivo aumento observado das concentrações de gases com efeito de estufa fosse o controlador dominante da temperatura, mas o facto de a evolução temporal da temperatura estar a ser diferente neste século, apresentando uma tendência negativa, não suporta aquela conclusão. Há certamente outros mecanismos em causa que é preciso compreender. Os componentes minoritários da atmosfera, onde estão incluídos o vapor de água (principal componente gasoso absorvente da radiação infravermelha), o dióxido de carbono, o metano, etc., constituem na totalidade 0,04% da composição da atmosfera; se o equivalente em dióxido de carbono duplicasse, e se essa fosse a única alteração verificada, as leis da física implicariam um aumento de temperatura inferior a 1º C. Há, no entanto, que ter em conta o mecanismo de realimentação (feedback associado ao vapor de água), que é capaz de amplificar aquela subida de temperatura; a magnitude destes processos é dada por modelos, pelo que não constitui um valor observado ou previsto dedutivamente a partir de leis fundamentais. A ideia do aquecimento global, tendo embora um fundamento na física, não pode ser aplicada de forma simplista, pelo que a tentativa de controlar a temperatura do planeta

controlando as emissões de gases com efeito de estufa é 'ingénua' e não tem base científica num sistema não linear com mecanismos de realimentação, como é o caso do sistema climático.

**O aquecimento global é provocado pela actividade humana ou pelos ciclos naturais do clima e do Sol?**

J.C.R.- A temperatura média à superfície do planeta é determinada por vários processos, entre os quais estão todos os mencionados na pergunta. O que importa saber é se há processos dominantes (tendo em conta os mecanismos de realimentação) e se entre eles está a actividade humana; mas, os ciclos naturais (como a Oscilação Decadal do Pacífico, que vai agora entrar numa fase negativa) e a actividade solar podem ser os dominantes e não devem ser ignorados. Por outro lado, a importância da actividade humana não se limita ao carbono; a deflorestação intensiva e massiva (que modifica o albedo - isto é, a quantidade de luz solar reflectida - e as trocas de vapor de água com a atmosfera), a degradação dos solos (que altera o albedo e a humidade do solo), a poluição, são processos cruciais a ter em conta.

**A redução das emissões de CO2 fixada pelo Protocolo de Quioto tem mais custos ou mais benefícios económicos no longo prazo?**

J.C.R.- Não sei, nem sei se tal avaliação está feita. Essa questão é pouco relevante, pois o que está em jogo pode não ter preço. A questão das alterações climáticas transformou-se infelizmente num negócio, facto que arrasa completamente os aspectos científicos.

**O impacto do aquecimento global está a ser exagerado pelos media, cientistas, ambientalistas e políticos, ou estamos à beira de uma catástrofe?**

J.C.R.- Sim, está a haver um exagero inadmissível, com potenciais efeitos negativos na Ciência e na política séria. E não estamos à beira de uma catástrofe; a manutenção de um permanente "state of fear" é desonesta e, no longo prazo, contraproducente.

**As temperaturas na Antárctida estão globalmente a aumentar ou apenas numa pequena parte, a Península Antárctida? E no Ártico?**

*“Está a haver um exagero inadmissível sobre o aquecimento global, com potenciais efeitos negativos na Ciência”*

J.C.R.- As projecções das alterações globais para a Antárctica são de aumento da extensão gelada, associada a um aumento da precipitação com água na fase sólida; assim, o aumento da temperatura não é global, mas apenas na Península Antárctica. Quanto ao Ártico, o decréscimo da extensão e da espessura do gelo não é necessariamente devido ao aumento da concentração de gases com efeito de estufa; podem existir outras causas, como por exemplo o aumento de concentração atmosférica de poluentes absorventes da radiação solar ou a intensificação do transporte de ar quente. Ver-se-á se a fusão do gelo no Ártico vai ou não persistir.

**A maioria dos glaciares está a recuar? Porquê?**

J.C.R.- Não sei se a maioria dos glaciares está a regredir. Há, no entanto, glaciares e coberturas geladas cuja extensão tem decrescido. Mas a causa não é necessariamente o aumento da concentração de gases com efeito de estufa. Por exemplo, no Kilimanjaro (Tanzânia), a desflorestação na base da montanha pode ser a responsável por aquele decréscimo, pois implica aquecimento em lugar de evaporação de água que em seguida pode precipitar na fase sólida.

### **O nível do mar está globalmente a subir? Porquê?**

J.C.R.- Globalmente o nível médio do mar não apresenta uma tendência positiva; pode haver subida em certos locais e descida noutros. Não há tendência.

### **Há mais fenómenos climáticos extremos em todo o Mundo? Porquê?**

J.C.R.- São mais prováveis temperaturas máximas elevadas e menos prováveis temperaturas mínimas muito baixas. Daí a projecção de que a ocorrência de fenómenos extremos associados a temperaturas elevadas seja também mais provável. Por outro lado, o desequilíbrio no balanço energético à superfície ao aquecer a atmosfera vai ter como consequência a intensificação da dissipação do excesso de energia, que ocorre em sistemas meteorológicos depressionários, associados a ventos fortes e a precipitações abundantes. No entanto, a ocorrência de fenómenos extremos em número superior à média em anos eventualmente consecutivos, pode ser compensada por ocorrências em número inferior à média noutros anos (caso dos ciclones tropicais) sem que se manifeste necessariamente uma tendência. Assim, em certos casos não é clara a existência de tendências.