

Radiofrequências: uma forma de radiação não-ionizante

Vantagens tecnológicas, efeitos fisiológicos, precauções epidemiológicas

Paulo Crespo (crespo@lip.pt)



Prelecção realizada em nome do DEPARTAMENTO DE FÍSICA DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA, no âmbito da iniciativa BIG BANG 2011/12



Escola Básica 2,3/S de Penacova, 2011-12-14

Radiofrequências: uma forma de radiação não-ionizante

Vantagens tecnológicas, efeitos fisiológicos, precauções epidemiológicas

Índice:

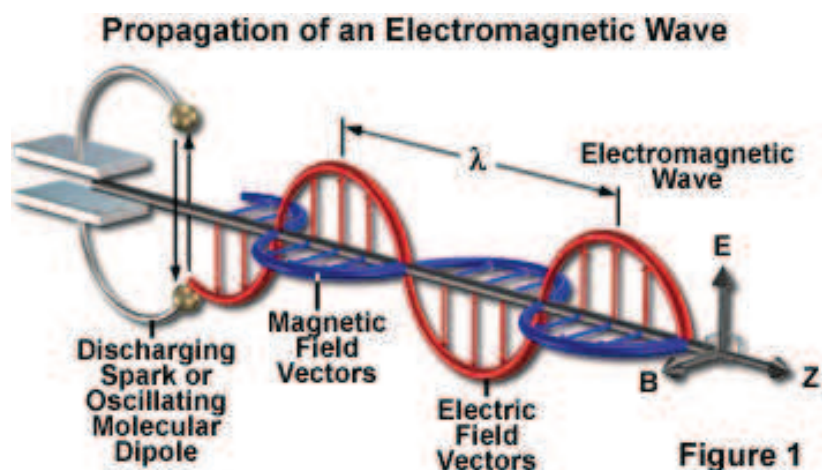
1. Radiação electromagnética?
 - 1.1 O que é, como é gerada?
 - 1.2 Onde está?
 - 1.3 Como se mede a sua energia e potência? ← Vide exemplos: medidor de campo electromagnético na presença de (1) telemóvel desligado e em comunicação, e (2) forno micro-ondas.
2. Radiação ionizante *versus* radiação não-ionizante: o efeito fotoeléctrico
 - 2.1 Efeitos fisiológicos da radiação ionizante
 - 2.2 Efeitos fisiológicos da radiação não-ionizante
3. Ondas rádio (radiofrequências)
 - 3.1 Vantagens para a sociedade
 - 3.2 Desvantagens (fisiológicas) para a sociedade
 - 3.3 Consequentes leis de *radioprotecção para radiação não-ionizante*
4. Precauções adicionais
5. Agradecimentos

1. Radiação electromagnética (EM)

1.1 O que é, como é gerada?

É a propagação, no espaço, de um campo eléctrico ortogonal a um campo magnético.

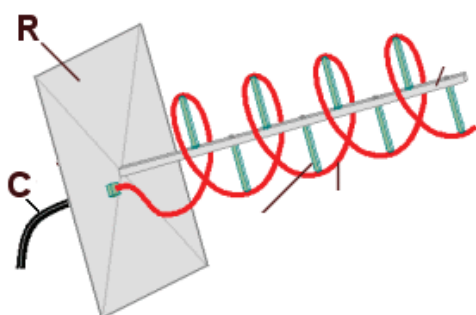
- **Onda electromagnética:** Exemplo de uma onda EM linearmente polarizada.



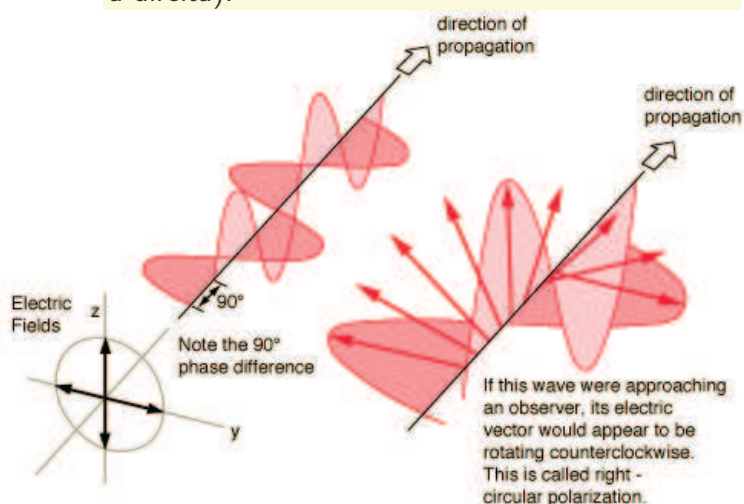
1. Radiação electromagnética (EM)

1.1 O que é, como é gerada?

- **Antenas e polarização da luz:** Onda EM polarizada circularmente no espaço



Em condições **espaciais e temporais** específicas, uma antena helicoidal (imagem à esquerda) cria uma onda EM com polarização circular que se propaga na direcção do seu eixo central (imagem à direita).



1. Radiação electromagnética (EM)

1.1 O que é, como é gerada?

- Oscilações de cargas (e não só: côm nuclear) no núcleo: dão origem aos raios gama (forma de radiação nuclear, não é a única)
- Oscilações de carga nos electrões centrais do átomo (mais energéticos): dão origem aos raios X (radiografia, TAC – tomografia axial computerizada)
- Oscilações de carga nos electrões medianos do átomo (energia média): dão origem aos raios ultra-violeta (sol, solário, relâmpago)
 ↑ Energia mais elevada: radiação electromagnética **ionizante**
- ↓ Menor energia: radiação electromagnética **não-ionizante**
- Oscilações de carga nos electrões periféricos do átomo (menos energéticos): dão origem à radiação visível (luz solar, lâmpada, vela, fogo, pirilampo, relâmpago)
- Oscilações entre átomos e/ou moléculas carregadas: dão origem à radiação infra-vermelha (reconhecida pelo nosso corpo como *calor*)
- Oscilações de electrões ditos “livres” (e.g. em materiais bons condutores, como o metal), ou “quase-livres” (e.g. átomo de hidrogénio no meio inter-estelar): dão origem a radiação com frequência idêntica à frequência dessas oscilações (*ondas rádio*)
- Oscilações de electrólitos no corpo humano (e.g. *pacemaker* natural do coração): dão origem a campos electromagnéticos fisiológicos essenciais à vida ← Vide exemplos no final: electrocardiograma (ECG), electrooculograma (EOG), e electroencefalograma (EEG)

1. Radiação electromagnética (EM)

1.2 Onde está?

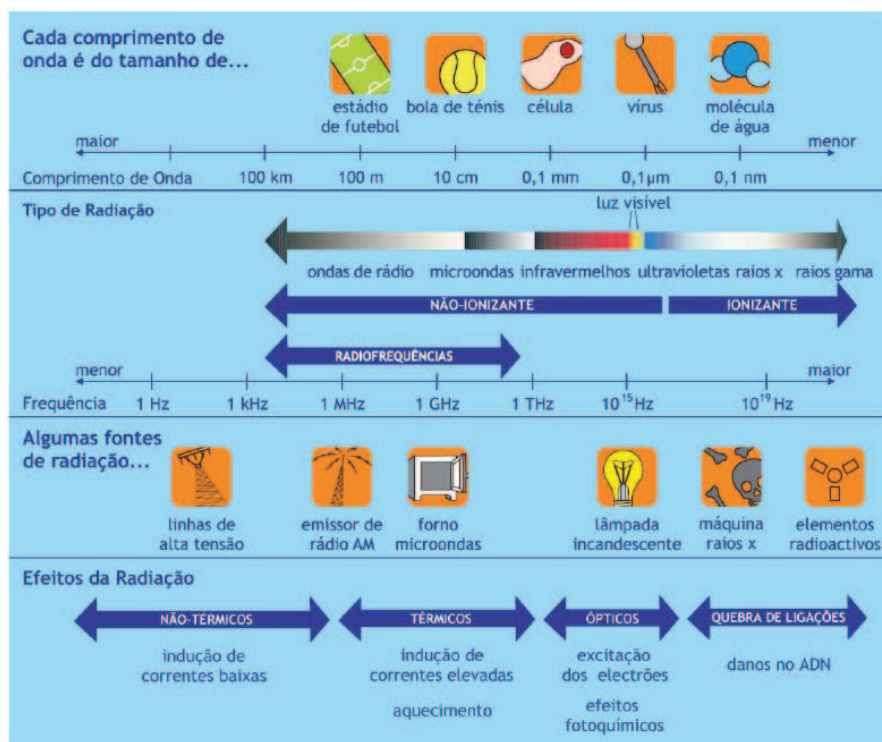
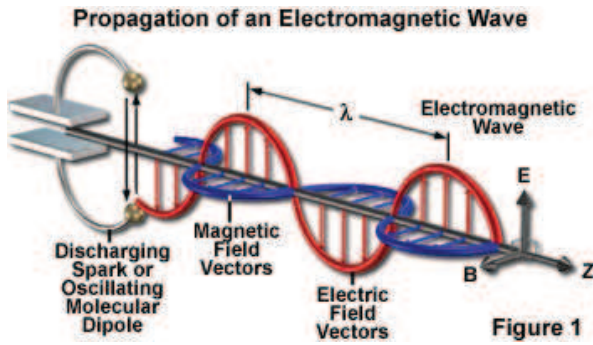


Fig. 1. Espectro electromagnético, fontes de radiação e os seus efeitos.

Retirado de: C. Oliveira, D. Sebastião, D. Ladeira, M. Antunes, L.M. Correia, Fontes de campos electromagnéticos em radiofrequência, em *Radioproteção*, vol. 2, p. 73, 2010

1. Radiação electromagnética (EM)

1.2 Como se mede a sua energia e potência?



Energia: A **energia** ϵ de uma onda electromagnética a propagar-se no vazio (ar \cong vazio) à **velocidade** c (velocidade da luz no vazio) relaciona-se com o seu **comprimento de onda** λ :

$$\epsilon = h \frac{c}{\lambda},$$

sendo $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ a **constante de Planck**, e $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

Densidade de potência: A energia por unidade de área (m^2) e por unidade de tempo (s) (i.e. a densidade de potência) é dada em cada instante pelo módulo do **vector de Poynting** $\|\vec{S}\|$:

$$\|\vec{S}\| = E \cdot \frac{B}{\mu_0},$$

sendo $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$ a permeabilidade magnética do vazio, E a intensidade do campo eléctrico e B a intensidade do campo magnético que se propagam.

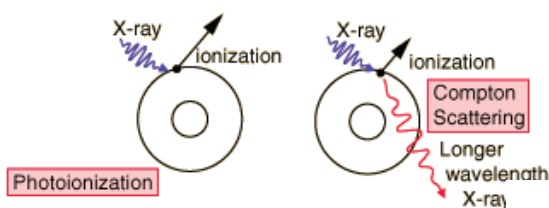
Unidades:

- $[E] = \text{V/m}$ ← Unidade fornecida por um medidor de campo eléctrico
- $[B] = \text{T} = \text{tesla} = \text{V}\cdot\text{s/m}^2$
- $\left[\frac{B}{\mu_0}\right] = \text{A/m}$ ← Unidade fornecida por um medidor de campo magnético
- $[S] = \text{W/m}^2 = \text{J}/(\text{s}\cdot\text{m}^2) = \text{V/m}\cdot\text{A/m}$ ← Potência por unidade de área (radioprotecção)

2. Radiação ionizante versus radiação não-ionizante

2.1 Efeitos fisiológicos da radiação ionizante

- Ionização (efeito fotoeléctrico) e suas consequências:** Extracção de um electrão, que é ejectado com E_{e^-} tal que: $E_{e^-} = E_f - E.I.$



Acção directa da radiação:

Acção indirecta (química) da radiação:

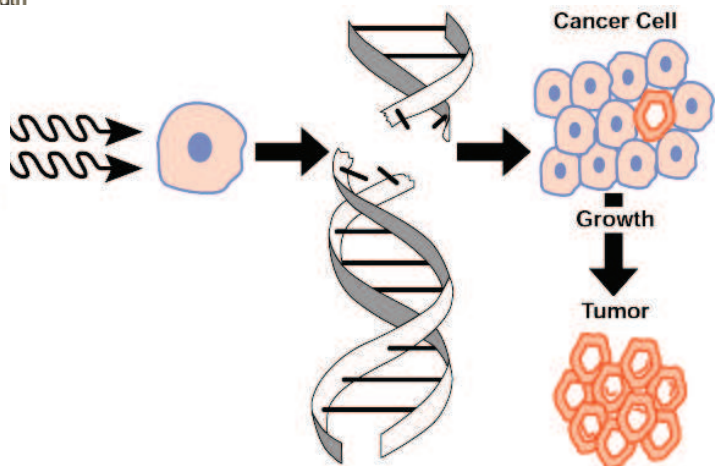
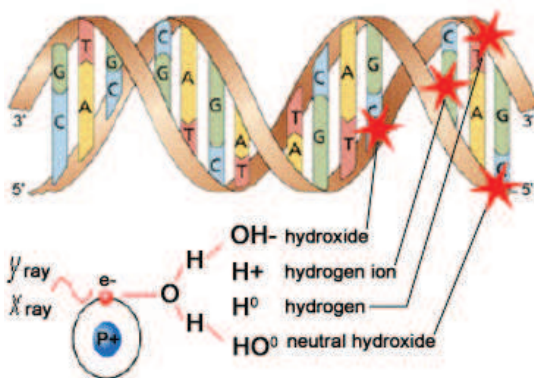
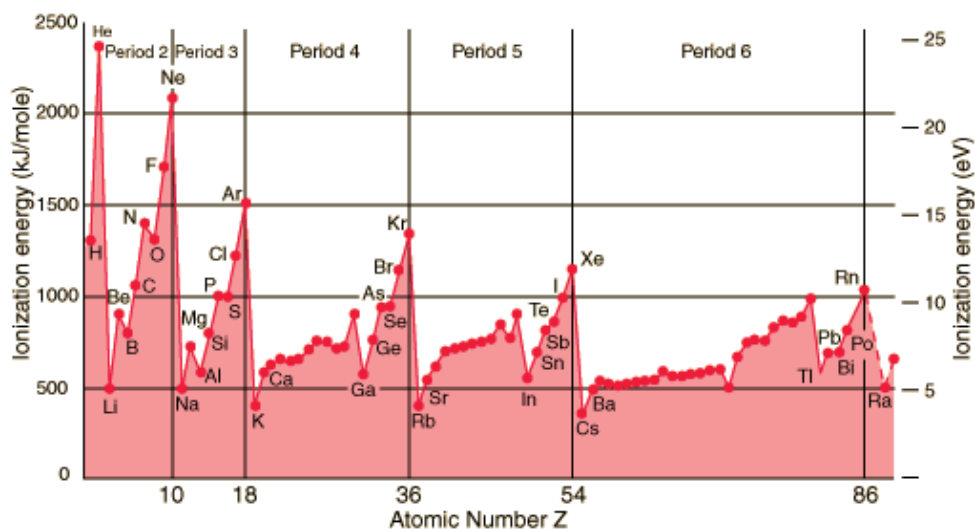


Figure 1. Development of cancer from mutation produced by ionizing radiation.

2. Radiação ionizante versus radiação não-ionizante

- **Ionização e suas consequências:** Extracção de um electrão, que é ejectado com E_{e^-} tal que: $E_{e^-} = E_f - E.I.$



2. Radiação ionizante versus radiação não-ionizante

2.1 Efeitos fisiológicos da radiação não-ionizante

- **Efeitos imediatos são conhecidos:**
 - Aumento de temperatura do tecido biológico (preponderante a frequências elevadas, $f \gtrsim 1$ GHz)
 - Indução de correntes neurológicas / musculares (preponderante a frequências menos elevadas, $f \lesssim 1$ GHz), induzindo efeitos no sistema simpático e parassimpático, conscientes e não-conscientes (e.g bradicardia)
- **Efeitos de longo-prazo difíceis de estabelecer (em estudo a nível mundial):**
 - Vide transparências 12 e 14
 - Importa mencionar que há tecidos mais susceptíveis, e.g. o cérebro em formação

3. Ondas rádio (radiofrequências)

3.1 Vantagens para a sociedade

- **Televisão**
 - Canais emitidos por antena
- **Rádiodifusão**
- **Comunicações rádio**
 - Bombeiros
 - Polícia
 - Outros serviços (e.g. táxis)
 - Internet sem fios
 - Comunicações por telemóvel
 - Comunicações com satélites (investigação, comercial e.g. GPS)

3. Ondas rádio (radiofrequências)

3.2 Desvantagens para a sociedade

- **Fontes de campos RF (100 kHz a 300 Gz):** Radiodifusão e telecomunicações.

Abnormalities and pathological changes in electrocardiographic (ECG) recordings in workers of Radio Transmitting Centres (RTC) exposed to 10-30 MHz RFs and in non-exposed workers of radio link stations.

	Whole population (N = 76)	RF-exposed workers (N = 38)	Nonexposed Controls (N = 38)	Statistical significance
Total number of workers with ECG abnormalities (standard and/or Holter)	46 (61.0%)	28 (74.0%)	18 (47.0%)	$\chi^2 = 4.46$ $p < 0.05$
General Assessment of ECG recordings				
Normal (0)	30	10	20	$\chi^2 = 11.72$ $p < 0.01$
Slight abnormalities without clinical risks (1)	30	18	12	
Moderate disturbances, incl. lowering of -ST (2)	12	7	5	
Pathological changes with clinical risks (3)	4	3	1	
Predominant types of abnormalities and pathological changes in ECG recordings				
Conduction disturbances	19	12	7	$\chi^2 = 17.34$ $p < 0.01$
Intraventricular	5	3	2	
Intra-atrial	4	3	1	
RBBB	7	4	3	
Other	3	2	1	
Rhythm disturbances	28	19	9	
ExV	21	14	7	
ExSV	7	5	2	
Repolarization disturbances (incl. lowering of ST)	16	10	6	

NS – not significant (chi-square test, $p > 0.05$);

RBBB – right bundle branch block;

ExV – ventricular extrasystoles;

ExSV – supraventricular extrasystoles;

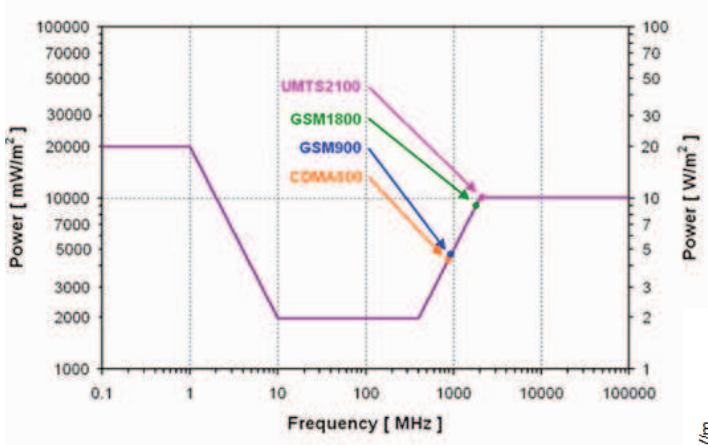
ST – S-T fragment of the ECG recording.

Retirado de: S. Smigielski, E. Sobiczewska, R. Kubacki, Z. Ciolek
 Cardiovascular symptoms in subjects occupationally exposed to
 HF electromagnetic fields
 An epidemiologic study of personnel of radio transmitting centres (RTC)
 exposed to intervals of 10–30 MHz RFs during 12-hr shifts,
 Department of Microwave Safety,
 Military Institute of Hygiene and Epidemiology, Warsaw, 2000

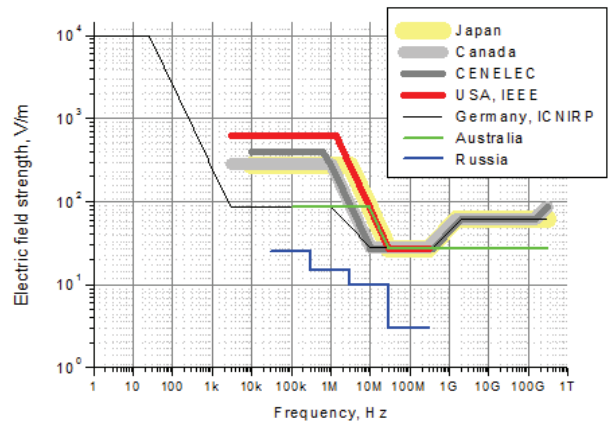
3. Ondas rádio (radiofrequências)

3.3 Leis de radioproteção para radiação não-ionizante

Potência em radiofrequência (limites para o público, especificações recomendadas pela ICNIRP)



ICNIRP: International Committee for Non-Ionizing Radiation Protection.



4. Precauções adicionais

No entanto, valores de potência **10 000 vezes inferiores aos recomendados**, mas emitidos durante anos, mostram correlação (epidemiológica) com problemas cardiovasculares.

- Este exemplo: Telecomunicações GSM.

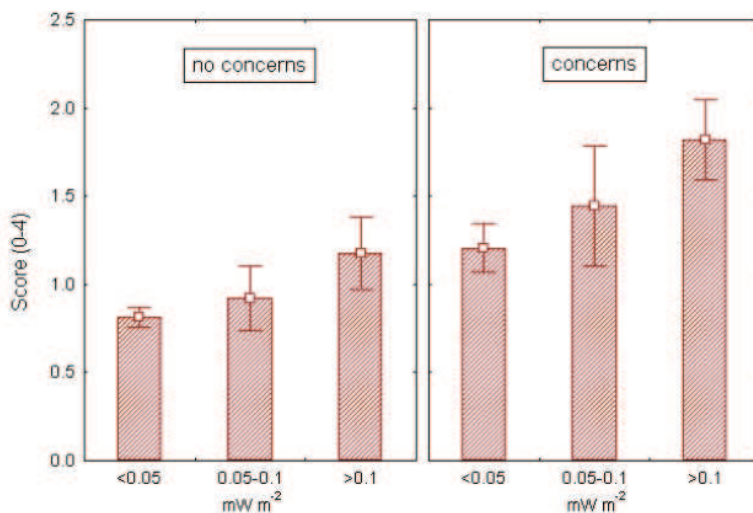


Fig. Error! Unknown switch argument.: Mean (±SEM) of cardiovascular symptoms score for exposure categories and stratified according to concerns expressed by subjects about negative influence of the base-station on health.

Retirado de: H.P. Hutter, H. Moshammer, M. Kundi
Mobile telephone base-stations: effects on health and wellbeing,
Medical Faculty, University of Vienna, 2002

4. Precauções adicionais

- Fontes de campos RF (100 kHz a 300 Gz): Conhecimento, conhecimento, conhecimento:

Broadband EMF Meter

LAPLACE

TriField



Preço ~ 450 EURO

Gauss Meter	
0-3 Range	0.2 - 3 milligauss
0-100 Range	0.3 - 100 milligauss
Frequency Range	50 - 500Hz flat
Accuracy	±20% to 50MHz
Electric Field	
Range	10V/m - 100KV/m
Frequency Range	40 - 100KHz
Accuracy	±25 %
RF Field Strength	
Range	0.01 - 1 KW/m
Frequency Range	100KHz - 2.5GHz flat
Indication	Analogue meter with rotary range change switch
General	
Power	9V (PP3) internal battery Battery test reading on meter
Dimensions	150x90x30mm

4. Precauções adicionais

- Em caso de dúvida, minimizar exposição através de:
 - 1) Diminuição do tempo de exposição (e.g. telemóveis)
 - 2) Aumento da distância à fonte (limite legal pode vir a provar-se não ser suficiente em caso de exposições muito prolongadas)
 - 3) Aproveitamento do efeito de blindagem proporcionado e.g. por prédios, paredes espessas
 - 4) Evitar efeito de reflexão na proximidade de e.g. prédios, paredes espessas
- Em caso de dúvida e inexistência de medidor de campo, solicitar medição à ANACOM:

21 434 8500, ou monitor.sul@anacom.pt

5. Agradecimentos

- Iniciativa BIG BANG, Departamento de Física da Universidade de Coimbra:
Prof. Doutor João Gil e Prof^a Doutora Constaça Providência.
- Prof^a Dr^a Ana Paula Fernandes, Escola EB 2,3/Secundária de Penacova.
- Alunos da disciplina de Física, 12^o, desta escola, concretamente os cinco elementos do projecto na área das *ondas electromagnéticas*.
- A todos, alunos, docentes e não-docentes, pela vossa atenção.

Transferência de Conhecimento e de Tecnologia

DEPARTAMENTO DE FÍSICA - U. C.

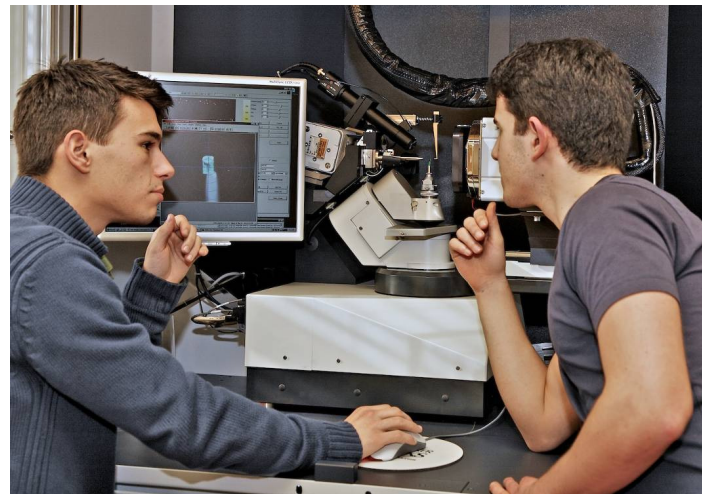
<http://www.fis.uc.pt>



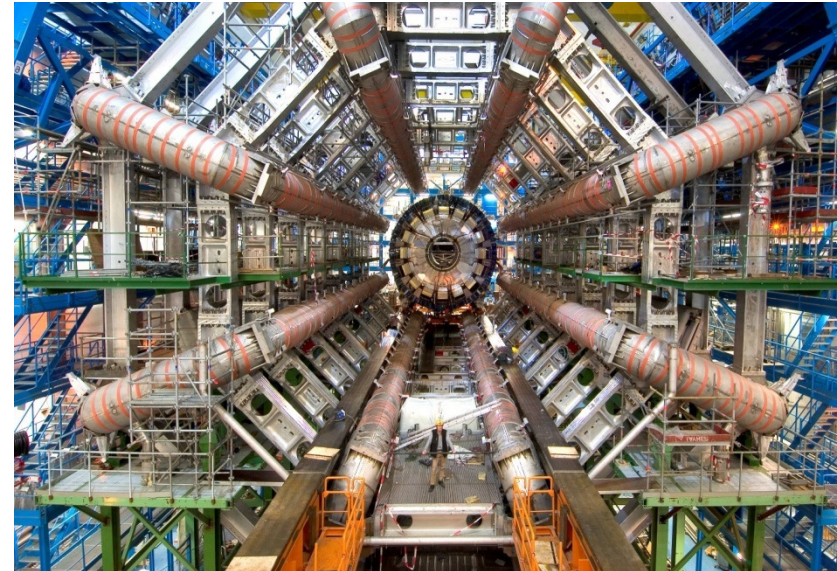
**Licenciaturas
Mestrados**



**Física
Engenharia Física
Engenharia Biomédica**



Transferência de Conhecimento e de Tecnologia



Investigação Científica

Transferência de Conhecimento e de Tecnologia



Carreiras de sucesso em **grandes indústrias** nacionais e transnacionais:

Siemens, Ford Electrónica, TAP, EDP, Sonae, Soporcel, Revigrés, Roca, Renova

ou em **empresas de base tecnológica:**

Critical Software

ISA – Intelligent Sensing Anywhere

ENEIDA

BlueWorks

jeKnowledge - Associação Conhecimento Prévio

Instituto Pedro Nunes incubadora de empresas da Univ. Coimbra

CISION
LPM

ID: 23816241

Publico
P

13-02-2009 | Economia

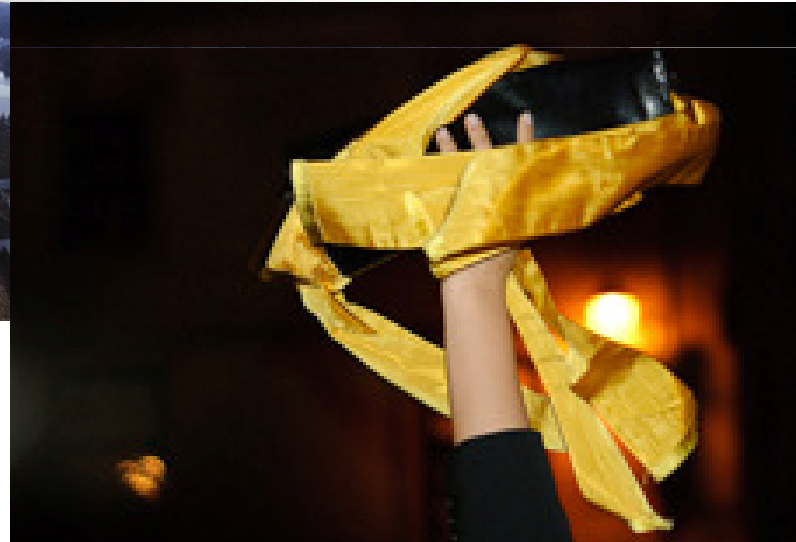
Capa

Ninho dourado

Mais de mil empregos criados e mais de 130 empresas fora do papel. Com muita exigência, mas também com um forte espírito de cooperação, a incubadora do IPN em Coimbra tornou-se a segunda melhor do mundo. Aqui dentro, nada nasce nem cresce sozinho



Coimbra



Universidade de Coimbra



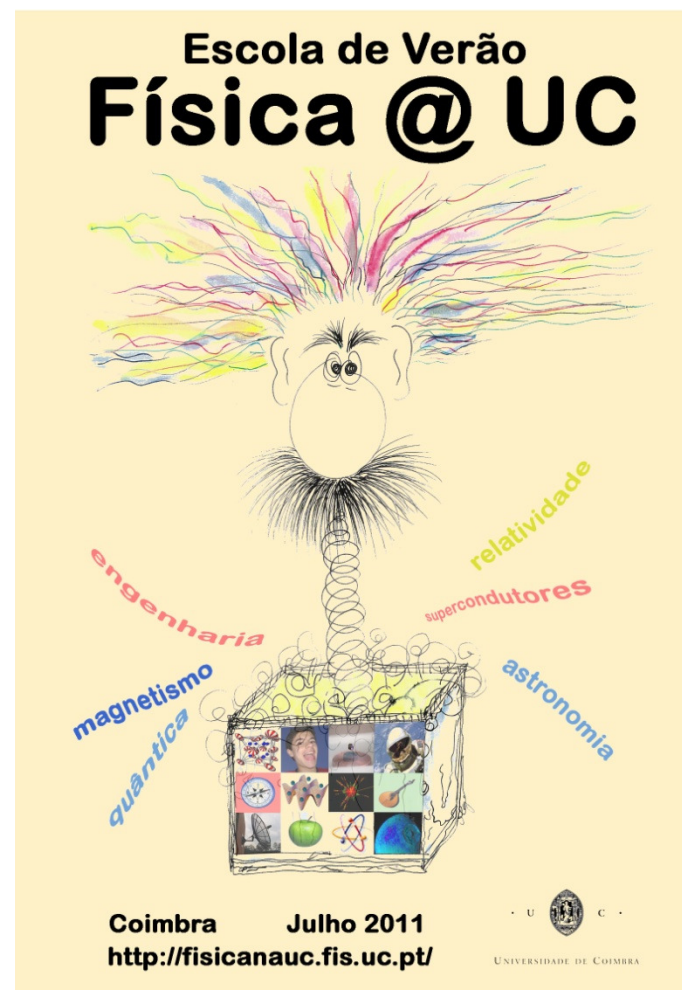
Mais Física



<http://algol.fis.uc.pt/quark/>



spf SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA • Ministério da Educação • Agência Nacional para a Inovação em Ciência e Tecnologia • fundação edp



• U  C •
UNIVERSIDADE DE COIMBRA