

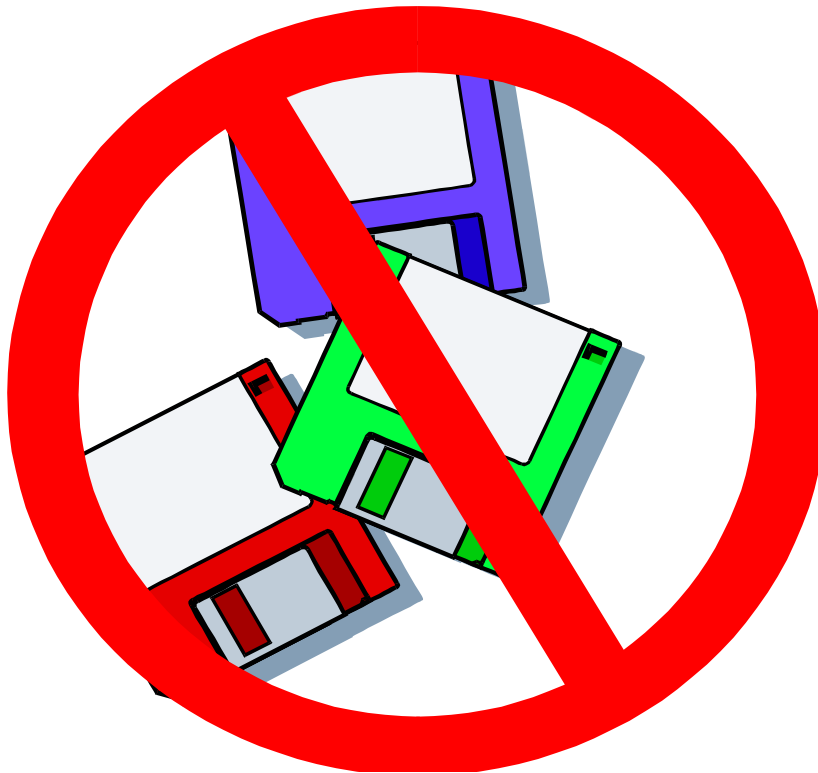
Onda Plana em Meio Dissipativo

Sistema biológico

SEL 413 Telecomunicações

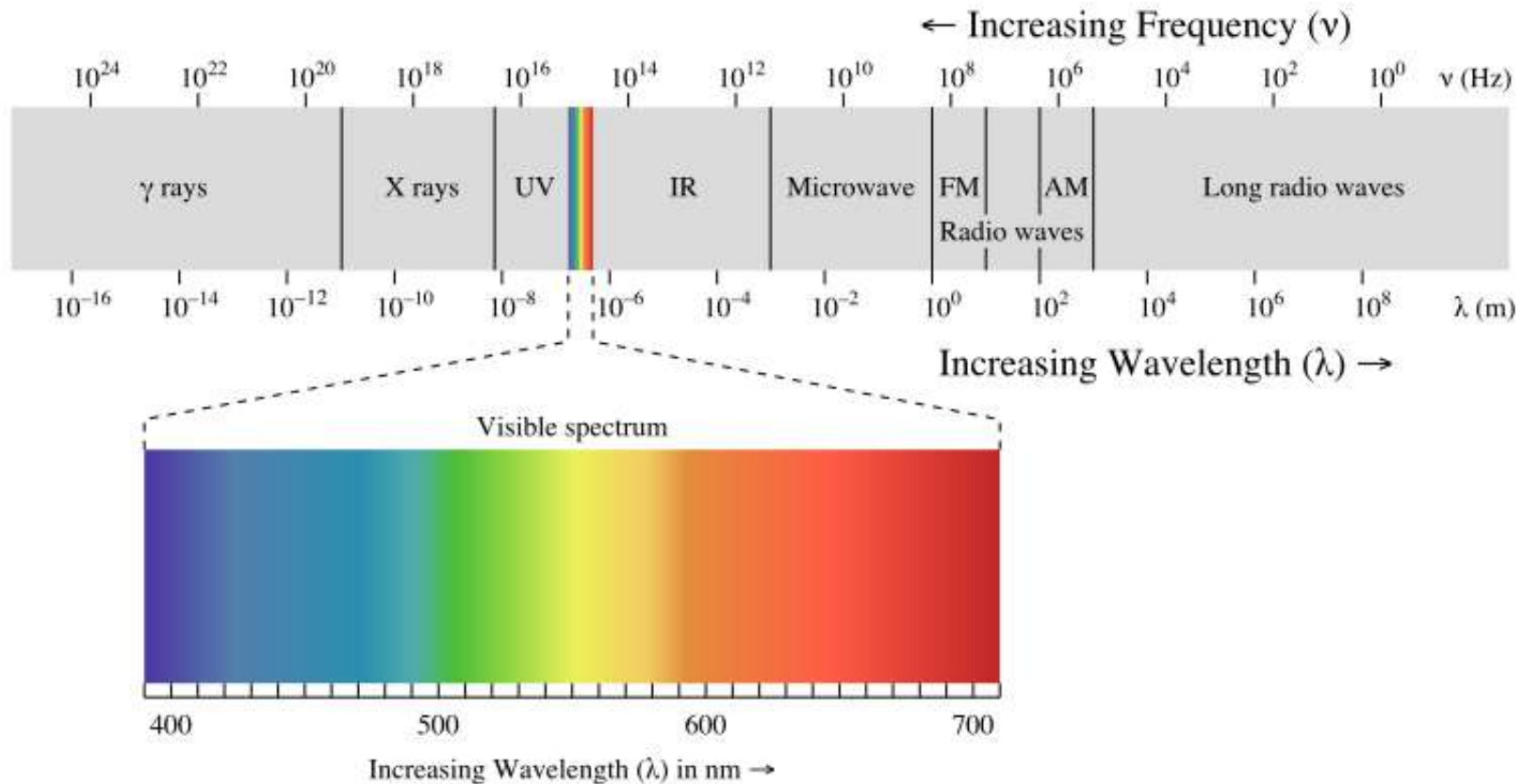
Amílcar Careli César
Departamento de Engenharia Elétrica da EESC-USP

Atenção!



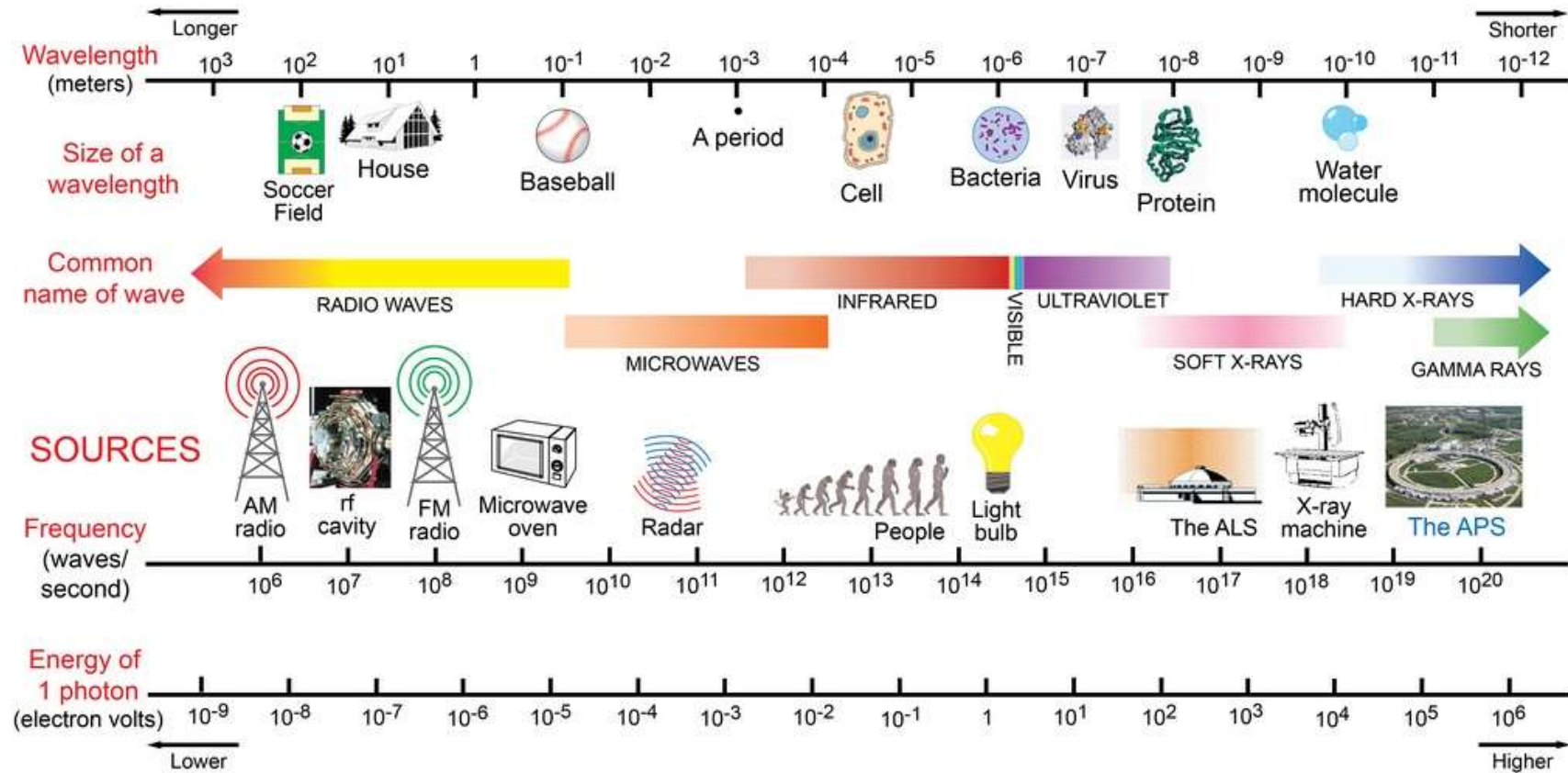
- ✓ Este material didático é planejado para servir de apoio às aulas de **SEL-413: Telecomunicações**, oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de engenharia aeronáutica.
- ✓ Não são permitidas a reprodução e/ou comercialização do material.
- ✓ solicitar autorização ao docente para qualquer tipo de uso distinto daquele para o qual foi planejado.

Espectro eletromagnético



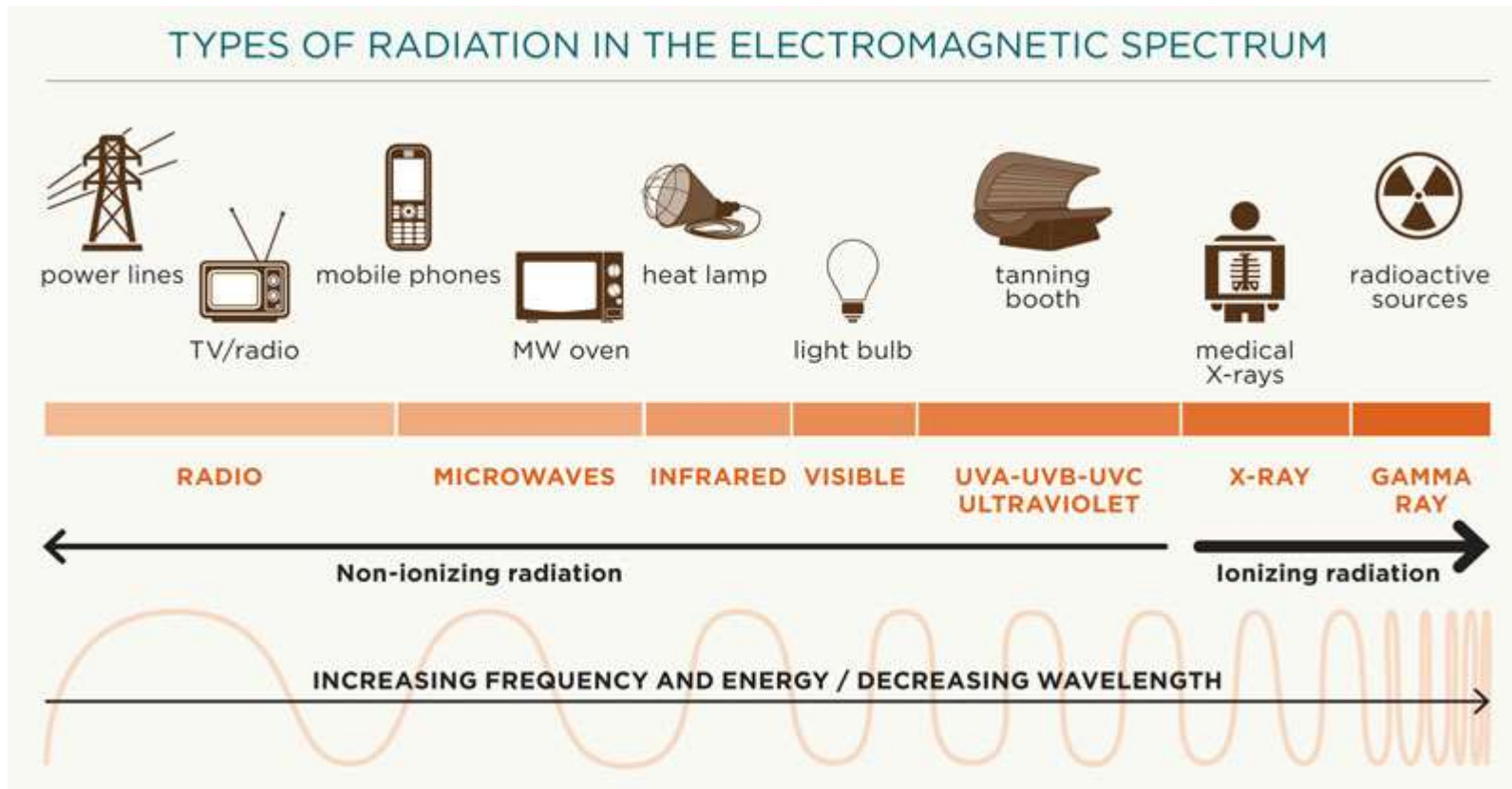
<https://en.wikipedia.org/wiki/Light>

Faixas de radiação eletromagnética (1)



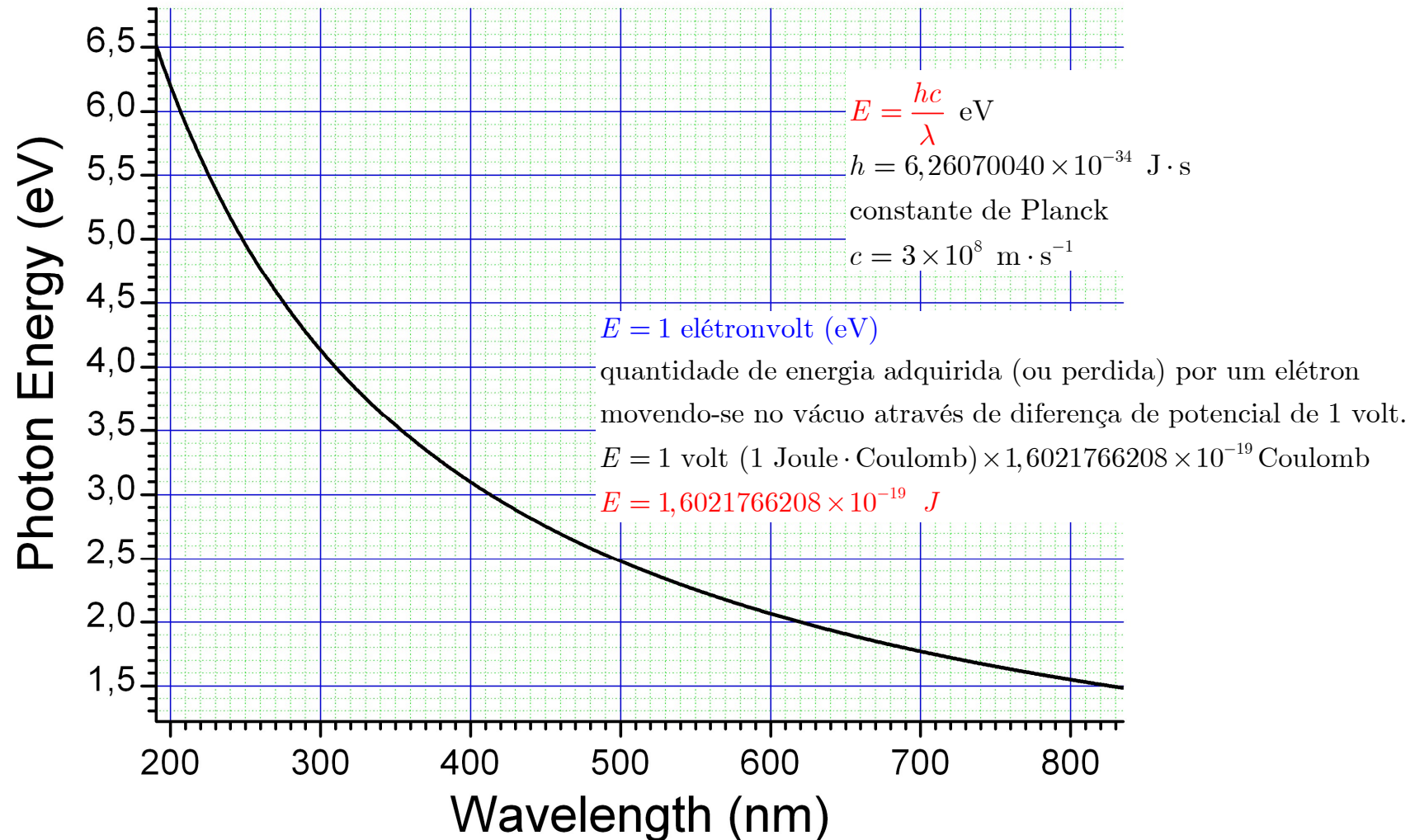
<http://www.silentvector.org/>

Faixas de radiação eletromagnética (2)



www.alive.com/lifestyle/electromagnetic-fields/

Energia do fóton



<https://en.wikipedia.org/wiki/Electronvolt>

Propriedades dielétricas de tecidos

Tecido	Cte. dielétrica	Condutividade (S/m)
pele	35	0,6
cérebro (matéria branca)	38	0,8
cérebro (matéria cinzenta)	49	1,1
músculo	58	1,4
gordura	6	0,08
sangue	62	1,5
cartilagem	35	0,6
esôfago	35	0,6
crânio	8	0,11

modelo de cabeça YALE University,
915 MHz

M. Okoniewski; M.A. Stuchly, "A study of the handset antenna and human body interaction", IEEE-MTT, vol. 44, no. 10, pp. 1855-1864, out. 1996

Tecido biológico

$$\epsilon = \epsilon_0 \left[\epsilon_r - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0} \right] \quad k = k_R + jk_I \quad d_p = \frac{1}{k_R} \quad \text{freq}=850 \text{ MHz}$$

Tecido	Permissividade complexa	$\sigma/(\omega\epsilon_r\epsilon_0)$	$k \text{ (m}^{-1}\text{)}$	Profundidade de penetração (cm)
Pele/cartilagem	$\epsilon_0 (35-j12,7)$	0,363	106,9-j19,0	5,3
Crânio	$\epsilon_0 (8-j2,3)$	0,291	50,9-j7,3	13,8
Cérebro (matéria branca)	$\epsilon_0 (38-j17,0)$	0,446	112,3-j23,9	4,2
Cérebro (matéria cinzenta)	$\epsilon_0 (49-j23,3)$	0,475	128-j28,9	3,5

Os tipos de efeitos

✓ Efeito térmico

- interação entre a radiação eletromagnética e a matéria que, fazendo vibrar as moléculas, produz aquecimento.

✓ Efeitos não-térmicos

- causados diretamente por campo eletromagnético induzido
- Exemplos são os efeitos bioquímicos ou eletrofísicos
 - como alteração na mobilidade de íons de cálcio, particularmente nos tecidos do cérebro
- Os resultados das pesquisas sobre efeitos não-térmicos têm sido polêmicos e ainda não desfrutam de consenso na comunidade científica

Unidades de medidas de radiação e exposição humana

- Densidade de potência (S), watts por metro quadrado (w/m^2)
 - unidade de medida da potência incidente sobre uma determinada área
- Taxa de absorção específica (SAR), watts por quilograma (w/kg)
 - medida da absorção de radiação eletromagnética por massa de tecido



Medida de SAR

Ponta de prova para medida em molde de corpo humano. O molde é preenchido com mistura de líquido que simula as propriedades do tecido humano.

Ref.: <http://electronics.howstuffworks.com>

✓ Absorção depende da frequência

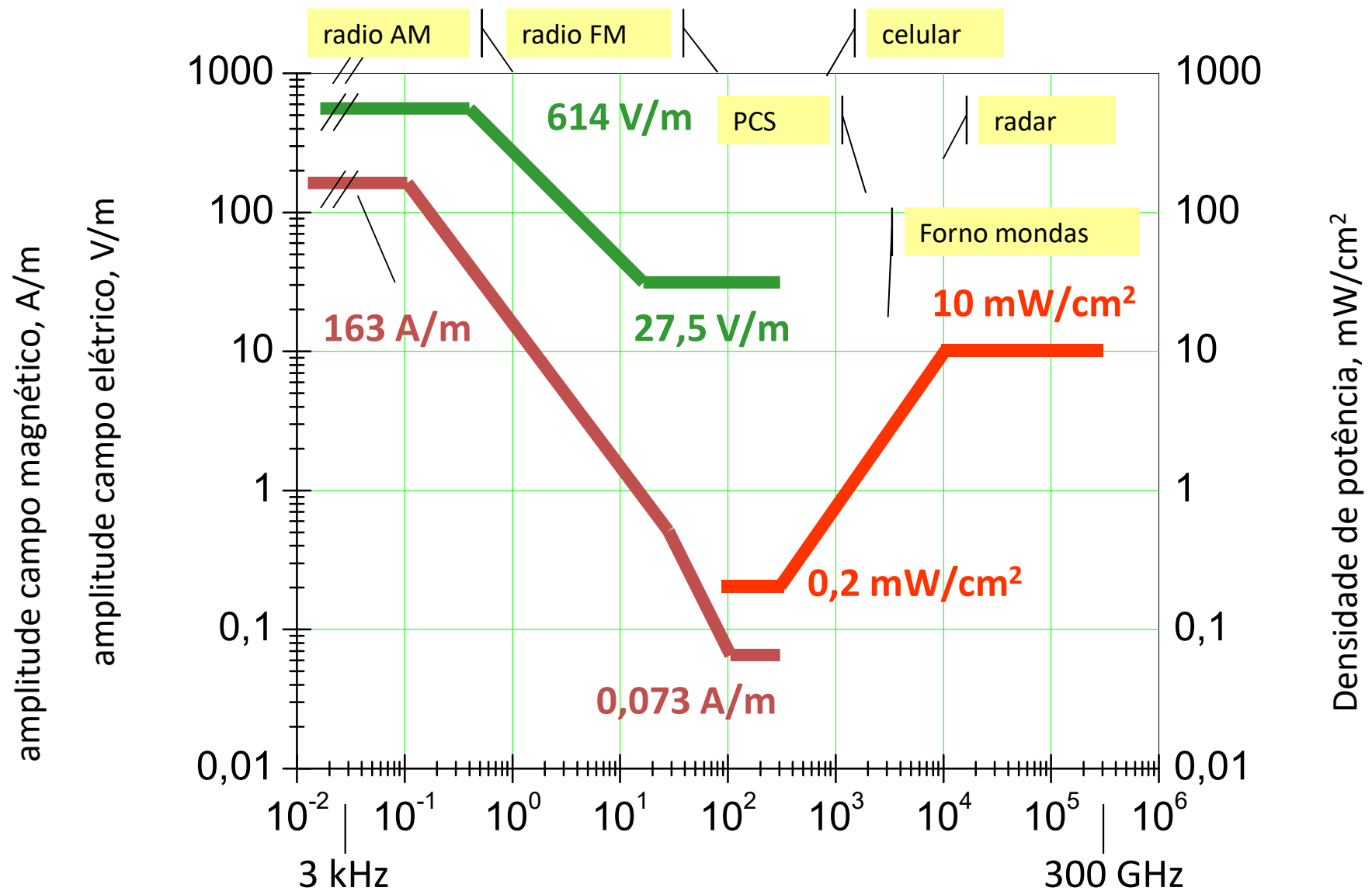
- Para frequências abaixo de 100 kHz
 - , a absorção é desprezível, sem elevação mensurável da temperatura do corpo.
- Para frequências acima de 100 kHz, há quatro faixas distintas.
 - Para frequências entre 100 kHz e 20 MHz
 - a absorção no tronco decresce rapidamente com o aumento da frequência, ocorrendo absorção significativa no pescoço e nas pernas.
 - Para frequências entre 20 MHz e 300 MHz
 - há absorção no corpo todo
 - Entre 300 MHz e vários GHz
 - há absorção local significativa e não-uniforme.
 - Acima de 10 GHz
 - a absorção ocorre principalmente na superfície do organismo.

Bases para as limitações

✓ Faixa 10 MHz a 300 GHz

- Efeito principal é o aquecimento
- Aumento da temperatura acima de 20 C pode causar danos à saúde
 - alterações em funções renais e neuromusculares e dano ocular, dentre outros
- 30 minutos de exposição
- SAR abaixo de **4 W/kg**
- aumento inferior a 1 grau Celsius na temperatura interna do corpo.
- Valor de SAR média de corpo inteiro de **0,4 W/kg** foi adotada para restrição em caso de exposição ocupacional
- Fator de segurança adicional **5** foi adotado para a restrição de exposição do público em geral, resultando em um limite de **0,08 W/kg**.

Exposição à radiação eletromagnética (IEEE C95.1, 1991)



Limites de exposição

Faixa de freqüências	Densidade de potência de onda plana equivalente (W/m^2)	
	Público em geral	População ocupacional
10 a 400 MHz	2	10
400 a 2000 MHz	$f/200$	$f/40$
2 a 300 GHz	10	50

Freqüência	Densidade de potência de onda plana equivalente (W/m^2)	
	Público em geral	População ocupacional
850 MHz	4,25	21,25
1800 MHz	9,00	45,00
2450 MHz	12,25	61,25

Característica da exposição	Faixa de freqüências	Taxa de absorção específica-SAR (W/kg)		
		SAR média de corpo inteiro	SAR localizada (cabeça e tronco)	SAR localizada (membros)
ocupacional	100 kHz a 10 MHz	0,4	10	20
	10 MHz a 10 GHz	0,4	10	20
Público em geral	100 kHz a 10 MHz	0,08	2	4
	10 MHz a 10 GHz	0,08	2	4

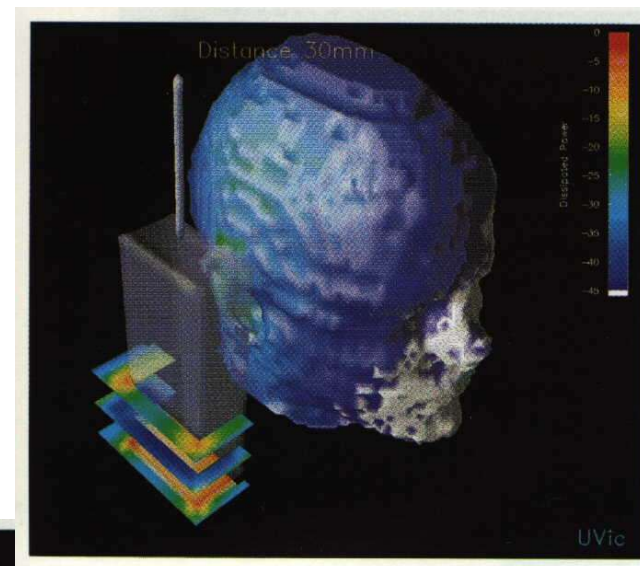


f em MHz
Adotados pela ANATEL

Ref.: "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Field (up to 300 GHz)", Health Physics, vol. 74, nº 4, pp. 494-522, 1998.

Absorção de radiação

- Limite de potência estabelecido pelo FCC
 - Aparelhos analógicos:
 - 0,74 a 0,76 W
 - Aparelhos digitais:
 - 0,20 a 0,40 W
 - Torres:
 - 10, 40, 50 W (cidades)
- A mão absorve uma quantidade expressiva de potência da antena



Fonte: M. Okoniewski e M.A. Stuchly, IEEE-MTT, vol. 44, no. 10, out. 1996