

- I. UNIDADES DE ENERGIA. CONVERSÕES
  
- II. RELAÇÃO ENTRE MASSA DE COMBUSTÍVEIS E ENERGIA. PODER CALORÍFICO
  
- III. EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA. FATORES DE EMISSÃO DE ENERGIA

Júlia Seixas  
mjs@fct.unl.pt

# Sistema internacional de Unidades

**Table 1. SI base units**

Base quantity	Name	Symbol
	SI base unit	
length	meter	m
mass	kilogram	kg
time	second	s
electric current	ampere	A
thermodynamic temperature	kelvin	K
amount of substance	mole	mol
luminous intensity	candela	cd

Conhecido na física como sistema MKS (Metro, Kilo, Segundo)

**Table 5. SI prefixes**

Factor	Name	Symbol	Factor	Name	Symbol
$10^{24}$	yotta	Y	$10^{-1}$	deci	d
$10^{21}$	zetta	Z	$10^{-2}$	centi	c
$10^{18}$	exa	E	$10^{-3}$	milli	m
$10^{15}$	peta	P	$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{12}$	tera	T	$10^{-9}$	nano	n
$10^9$	giga	G	$10^{-12}$	pico	p
$10^6$	mega	M	$10^{-15}$	femto	f
$10^3$	kilo	k	$10^{-18}$	atto	a
$10^2$	hecto	h	$10^{-21}$	zepto	z
$10^1$	deka	da	$10^{-24}$	yocto	y

Derived quantity	Name	Symbol	Expression in terms of other SI units	Expression in terms of SI base units
<b>Table 3. SI derived units with special names and symbols</b>				
			<b>SI derived unit</b>	
plane angle	radian <sup>(a)</sup>	rad	-	$m \cdot m^{-1} = 1$ <sup>(b)</sup>
solid angle	steradian <sup>(a)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	-	$m^2 \cdot m^{-2} = 1$ <sup>(b)</sup>
frequency	hertz	Hz	-	$s^{-1}$
force	newton	N	-	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
pressure, stress	pascal	Pa	$N/m^2$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
energy, work, quantity of heat	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
power, radiant flux	watt	W	$J/s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
electric charge, quantity of electricity	coulomb	C	-	$s \cdot A$
electric potential difference, electromotive force	volt	V	$W/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
capacitance	farad	F	$C/V$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
electric resistance	ohm	$\Omega$	$V/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
electric conductance	siemens	S	$A/V$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
magnetic flux	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
magnetic flux density	tesla	T	$Wb/m^2$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
inductance	henry	H	$Wb/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Celsius temperature	degree Celsius	$^{\circ}C$	-	K
luminous flux	lumen	lm	$cd \cdot sr$ <sup>(c)</sup>	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
illuminance	lux	lx	$lm/m^2$	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$
activity (of a radionuclide)	becquerel	Bq	-	$s^{-1}$
absorbed dose, specific energy (imparted), kerma	gray	Gy	$J/kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$
dose equivalent <sup>(d)</sup>	sievert	Sv	$J/kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$
catalytic activity	katal	kat	-	$s^{-1} \cdot mol$

O **joule**, símbolo J, é a unidade de energia no Sistema Internacional de Unidades (SI). Em princípio, deve usar-se sempre esta unidade!

Nas unidades SI:

$$J = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} :$$

Onde: kg é o kilogram, m é o metro, s é o segundo.

Se usarmos 1 Joule para levantar um objeto por 1 metro contra a gravidade da terra ( $9,8\text{m/s}^2$ ), esse objeto é ....

... uma maçã (102gr) !

# I. UNIDADES DE ENERGIA. CONVERSÕES

## Definições

**British Thermal Unit (Btu):** Unidade de energia. Quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de uma libra (unidade inglesa de massa) de água em um grau Fahrenheit (1 °F) sob pressão atmosférica normal.

**Caloria (cal):** Unidade de energia. Quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de um grama de água em 1 °C, de 14,5 °C a 15,5 °C, sob pressão atmosférica normal.

**Joule (J):** Unidade de trabalho, de energia e de quantidade de calor. O joule é o trabalho produzido por uma força de 1 newton que leva o ponto de aplicação dessa força a deslocar-se por uma distância de 1 metro na direção da força.

**Newton (N):** Unidade de força. O newton é a força que, quando aplicada a um corpo de massa igual a 1 quilograma,

atribui-lhe a aceleração constante de 1 metro por segundo quadrado na direção da força.

**Tonelada equivalente de petróleo (tep):** Unidade de energia. A tep é utilizada na comparação do poder calorífero de diferentes formas de energia com o petróleo. Uma tep corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão.

**Watt (W):** Unidade de potência. O watt é a potência de um sistema energético no qual é transferida, contínua e uniformemente, a energia de 1 joule por segundo.

**Watt-hora (Wh):** Unidade de energia. Energia transferida uniformemente por um sistema de potência igual a 1 watt durante uma hora.

# I. UNIDADES DE ENERGIA. CONVERSÕES

... mais definições de energia, e conversões

1 Joule (J) é a unidade MKS de energia, igual á força de um Newton atuando ao longo de um metro.

1 Watt é a potência de um Joule de energia por segundo

1 kilowatt é igual a mil Watts.

1 kilowatt-hora é a energia produzida pela potência de um kilowatt durante uma hora. ( $E = P t$ ).

**1 kilowatt-hora(kWh) =  $3.6 \times 10^6$  J = 3.6 milhões Joules**

1 caloria de calor é o montante necessário para fazer aumentar 1 grama de água em 1°C.

**1 caloria (cal) = 4.184 J**

A **tonelada equivalente de petróleo** (tep) é uma unidade de energia definida como o calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru, aproximadamente 42 gigajoules.

A BTU (British Thermal Unit) é o montante de calor necessário para aumentar uma libra de água em 1 °F..

1 British Thermal Unit (BTU) = 1055 J

**1 BTU = 252 cal = 1.055 kJ**

1,000 kWh = 3.41 milhões BTU

<http://www.onlineconversion.com/energy.htm>

## II. RELAÇÃO ENTRE MASSA DE COMBUSTÍVEL E ENERGIA. PODER CALORÍFICO

Podemos considerar duas formas de definir o poder calorífico: **Poder Calorífico Superior** (P.C.S) e **Poder Calorífico Inferior** (P.C.I).

**Poder Calorífico Superior (P.C.S):** O P.C.S é dado pela soma da energia libertada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água que se forma numa reacção de combustão.

**Poder Calorífico Inferior (P.C.I):** O P.C.I é apenas a energia libertada na forma de calor. Para combustíveis que não contenham hidrogénio na sua composição, o valor de P.C.S é igual ao do P.C.I, porque não há a formação de água e não se gasta energia na sua vaporização.

O valor de aquecimento ou poder calorífico de uma substância, geralmente um combustível ou alimentos, é a quantidade de calor libertado durante a combustão de um determinado montante do mesmo. O valor calórico é uma característica para cada substância. É medido em unidades de energia por unidade de substância, geralmente massa ou volume, tais como: kcal/kg, kJ/g, kJ/mol ou Btu/m<sup>3</sup>.



## II. RELAÇÃO ENTRE MASSA DE COMBUSTÍVEL E ENERGIA. PODER CALORÍFICO

$$\text{Energia (GJ)} = \text{Consumo (t)} * \text{PCI (MJ/kg)}$$

ou

$$\text{Energia (GJ)} = \text{Consumo (Nm}^3\text{)} * \text{PCI (MJ/kg)}$$

Table 3-7 – Low Heating Value per fuel type

Fuel	LHV/NCV	
Lignite	16.42 (15.57 - 17.02)	MJ/kg
Hard Coal	25.62 (24.45 - 27.23)	MJ/kg
Fuel-oil	40.24 (39.42 - 41.15)	MJ/kg
Orimulsion	28.00	MJ/kg
Diesel oil	43.30	MJ/kg
Natural Gas	38.16 (36.02 - 39.16)	MJ/Nm <sup>3</sup>
GPL	47.44 (47.28-48.55)	MJ/kg
Biomass	7.8	MJ/kg

LHV=PCI

Orimulsion- Orimulsion is a registered trademark name for a bitumen-based fuel that was developed for industrial use by Intevep, the Research and Development Affiliate of Petroleos de Venezuela SA (PDVSA)

Fonte: National Inventory Report, APA 2016  
([http://www.apambiente.pt/\\_zdata/Inventario/NIR\\_global\\_20160415.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/Inventario/NIR_global_20160415.pdf))



### Exemplo 1: Consumos totais da Central Termoelétrica de Sines (2010) (EDP, 2011)

- carvão é a principal matéria-prima utilizada no processo de produção de electricidade
- o fuelóleo, que é utilizado no acendimento das caldeiras, antes da queima a carvão e nas variações de carga, sempre que um queimador a carvão é desligado;
- o gasóleo é utilizado nas máquinas diesel que produzem energia eléctrica em situações de emergência, nas bombas diesel de incêndio e na caldeira auxiliar;
- o gás propano é usado no acendimento inicial dos queimadores, antes da queima a fuelóleo.
- para minimizar os impactes ambientais associados aos arranques dos grupos, recorreu-se à queima de uma mistura de 60% de fuelóleo com 40% de gasóleo, que se denominou de light-fuel.

	2010		
	tonelada	GJ/t	GJ
	A	B	A*B
Carvão	1823921	25,62	46728856
Fuelóleo	9794	40,24	394111
Gasóleo	339	43,30	14679
Propano	23	47,44	1091
TOTAL	X	X	47138736 GJ 47139 TJ 47,14 PJ

## Exemplo 2: Quanto representou a produção de renováveis no total de combustíveis fósseis consumidos (Jan e fev 2016)? (DGEG, 2016)

	Produção Mensal (GWh)											
	2015										2016	
	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev
<b>Total Renovável</b>	2 827	1 969	2 322	1 445	1 631	1 534	1 514	2 299	1 954	2 111	3 947	4 244
<b>Hídrica</b>	1 288	874	872	592	474	427	503	782	789	647	2 228	2 411
>30MW	1 156	800	768	548	445	407	474	667	654	551	1 905	2 103
em bombagem	100	68	93	54	78	94	70	116	116	145	123	97
>10 e <=30 MW	59	28	40	16	11	6	10	55	63	39	154	145
<= 10 MW	73	46	65	28	18	15	19	60	72	58	169	162
<b>Eólica</b>	1 199	779	1 084	503	794	742	661	1 204	859	1 176	1 445	1 560
<b>Biomassa</b>	201	185	209	204	209	213	209	194	187	182	169	163
c/ cogeração	135	121	138	136	142	144	140	125	121	122	123	114
s/ cogeração	67	64	71	68	67	69	69	69	66	60	46	49
<b>RSU</b>	52	43	54	38	36	56	57	51	48	56	52	50
Fração Renovável	26	22	27	19	18	28	29	25	24	28	26	25
<b>Biogás</b>	25	23	24	24	26	26	25	26	25	26	26	21
<b>Geotérmica</b>	18	17	18	17	17	15	15	18	17	17	18	17
<b>Fotovoltaica</b>	70	69	88	86	93	83	72	50	54	36	35	46

	2015 (ktep)											2016	
	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
<b>Total</b>	<b>14 089</b>	<b>14 268</b>	<b>14 484</b>	<b>14 543</b>	<b>14 664</b>	<b>14 754</b>	<b>14 809</b>	<b>14 851</b>	<b>14 959</b>	<b>15 022</b>	<b>15 010</b>	<b>14 901</b>	<b>14 829</b>
Gás natural	3 505	3 551	3 629	3 689	3 787	3 861	3 916	3 953	4 021	4 077	4 102	4 085	4 069
Prod. do petróleo	7 646	7 664	7 675	7 637	7 638	7 645	7 639	7 648	7 665	7 661	7 614	7 573	7 571
Carvão	2 937	3 053	3 181	3 217	3 239	3 248	3 253	3 250	3 274	3 283	3 294	3 243	3 189

## Exemplo 2: Quanto representou a produção de renováveis no total de combustíveis fósseis consumidos (Jan e fev 2016)?

(DGEG, 2016)

ktep	Total	Gás natural	Prod.	
			petróleo	Carvão
Jan	14901	4085	7573	3243
Fev	14829	4069	7571	3189

GWh	TOTAL	Hídrica	Eólica	Biomassa	RSU	Biogás	Geotermica	Fotovoltaica
Jan	3947	2228	1445	169	52	26	18	35
Fev	4244	2411	1560	163	50	21	17	46

Passar tudo a Joules

1 tep=42 GJ

TJ	Total	Gás natural	Prod.	
			petróleo	Carvão
Jan	625842	171570	318066	136206
Fev	622818	170898	317982	133938

**Resposta:**  
Jan: 2,3%; Fev 2,5%

1kWh=3,6MJ

TJ	TOTAL	Hídrica	Eólica	Biomassa	RSU	Biogás	Geotermica	Fotovoltaica
Jan	14209,2	8020,8	5202	608,4	187,2	93,6	64,8	126
Fev	15278,4	8679,6	5616	586,8	180	75,6	61,2	165,6

### III. EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA. FATORES DE EMISSÃO DE ENERGIA

$$\text{Emissões CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{)} = \text{Consumo energia (t)} * \text{Fator Oxidação (\%)} * \text{FE (gCO}_2\text{/t)}$$

$$\text{Emissões CH}_4 \text{ (t CH}_4\text{)} = \text{Consumo energia (t)} * \text{FE (gCH}_4\text{/t)}$$

$$\text{Emissões N}_2\text{O (t N}_2\text{O)} = \text{Consumo energia (t)} * \text{FE (gN}_2\text{O/t)}$$

Table 3-3 – Emission Factors for energy production sector. Greenhouse Gases

Fuel	UCO <sub>2</sub> <sup>(i)</sup> kg/GJ	Fac <sub>ox</sub> <sup>(iii)</sup> 0..1	FossilC %	CH <sub>4</sub> <sup>(i)</sup> g/GJ	N <sub>2</sub> O <sup>(i)</sup> g/GJ
Lignite	101.0	0.980	100	1.0	1.5
Hard Coal	92.0 <sup>(ii)</sup>	0.980	100	0.7 <sup>(ii)</sup>	1.4 <sup>(ii)</sup>
Fuel-oil	77.4	0.990	100	0.8	0.3
Orimulsion	77.0	0.990	100	3.0	0.6
Natural Gas	56.1	0.995	100	1.0	1.0 – 3.0
LPG	63.1	0.995	100	1.0	0.1
Biomass	112.0	1.000	0	11.0	7.0
Diesel	74.1	0.990	100	3.0	0.6

(i) IPCC (2006); (ii) IPCC (1997);

Fonte: National Inventory Report, APA 2016  
([http://www.apambiente.pt/\\_zdata/Inventario/NIR\\_global\\_20160415.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/Inventario/NIR_global_20160415.pdf))

### III. EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA. FATORES DE EMISSÃO DE ENERGIA

Outros fatores de emissão:

Refinarias: Tabela 3-10

Indústria Extrativa: Tabela 3-65;

Indústria da Construção: 3-66

Indústria do ferro e Aço: tabelas 3-69 e 3-70

Indústria Química: Table 3-71

Indústria da pasta e papel: 3-72

Indústria Cerâmica: Tabela 3-74

Indústria do Vidro: Tabela 3-76

Aviação: tabela 3-82 (Atenção: ler a metodologia)

Transportes rodoviários: tabela 3-90 (Fuel-based); Fatores Emissão Implícitos(ver slides seguintes)

Transportes marítimos: Tabela 3-107

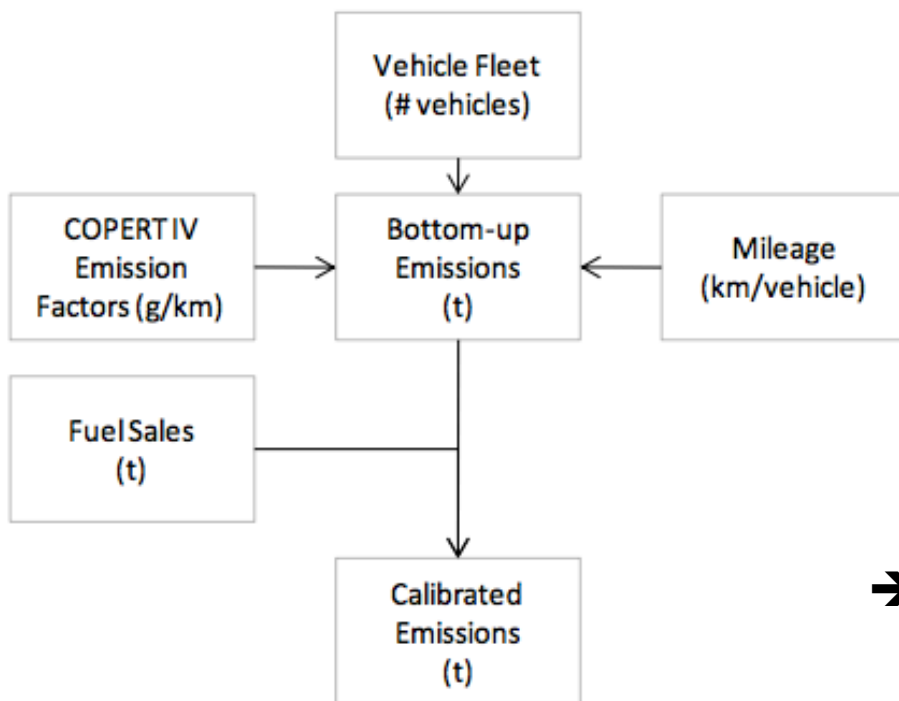
Setor dos serviços: Tabela 3-118

Setor Residencial: tabela 3-121

....

Fonte: National Inventory Report, APA 2016  
([http://www.apambiente.pt/\\_zdata/Inventario/NIR\\_global\\_20160415.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/Inventario/NIR_global_20160415.pdf))

### III. EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA. FATORES DE EMISSÃO DE ENERGIA



➔ Fatores de Emissão Implícitos

Figure 3-59 – General scheme of methodology applied for road transport emissions estimates (Passenger cars, light duty vehicles and motorcycles)

Fonte: National Inventory Report, APA 2016  
([http://www.apambiente.pt/\\_zdata/Inventario/NIR\\_global\\_20160415.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/Inventario/NIR_global_20160415.pdf))

### III. EMISSÕES DE GASES COM EF FATORES DE EMISSÃO DE EN

### Fatores de Emissão Implícitos

#### Fuel combustion activities - sectoral approach (Sheet 3 of 4)

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	IMPLIED EMISSION FACTORS		
	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
	(t/TJ)	(kg/TJ)	
<b>I.A.3 Transport</b>			
Liquid fuels	72,16	4,92	2,18
Solid fuels	NO	NO	NO
Gaseous fuels	55,82	92,00	0,10
Other fossil fuels <sup>(4)</sup>	NO	NO	NO
Biomass <sup>(5)</sup>	73,33	1,55	2,36
<b>a. Domestic aviation<sup>(6)</sup></b>			
Aviation gasoline	69,33	39,02	2,00
Jet kerosene	70,79	3,05	2,00
Biomass	NO	NO	NO
<b>b. Road transportation<sup>(7)</sup></b>			
Gasoline	68,61	15,86	1,60
Diesel oil	73,33	1,55	2,29
Liquefied petroleum gases (LPG)	62,75	12,14	2,83
Other liquid fuels <i>(please specify)</i>			
Gaseous fuels	55,82	92,00	0,10
Biomass <sup>(5)</sup>	73,33	1,55	2,29
Other fossil fuels <i>(please specify)</i> <sup>(4)</sup>			
<b>i. Cars</b>			
Gasoline	68,61	10,11	1,65
Diesel oil	73,33	0,56	2,85
Liquefied petroleum gases (LPG)	62,75	12,14	2,83
Other liquid fuels <i>(please specify)</i>			
Gaseous fuels	NO	NO	NO
Biomass <sup>(5)</sup>	73,33	0,56	2,85
Other fossil fuels <i>(please specify)</i> <sup>(4)</sup>			
<b>ii. Light duty trucks</b>			
Gasoline	NO	NO	NO
Diesel oil	73,33	0,58	1,98
Liquefied petroleum gases (LPG)	NO	NO	NO
Other liquid fuels <i>(please specify)</i>			
Gaseous fuels	NO	NO	NO
Biomass <sup>(5)</sup>	73,33	0,58	1,98
Other fossil fuels <i>(please specify)</i> <sup>(4)</sup>			
<b>iii. Heavy duty trucks and buses</b>			
Gasoline	NO	NO	NO
Diesel oil	73,33	4,68	1,23
Liquefied petroleum gases (LPG)	NO	NO	NO
Other liquid fFuels <i>(please specify)</i>			
Gaseous fuels	55,82	92,00	0,10
Biomass <sup>(5)</sup>	73,33	4,68	1,23
Other fossil fuels <i>(please specify)</i> <sup>(4)</sup>			
<b>iv. Motorcycles</b>			
Gasoline	68,61	53,89	1,25
Diesel oil	NO	NO	NO
Liquefied petroleum gases (LPG)	NO	NO	NO
Other liquid fuels <i>(please specify)</i>			

Fonte: Common Report Format, APA 2016  
([http://www.apambiente.pt/\\_zdata/Inventario/PRT\\_2016\\_1994\\_16042016\\_051700\\_submitted.zip](http://www.apambiente.pt/_zdata/Inventario/PRT_2016_1994_16042016_051700_submitted.zip))