

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS



Operações Unitárias I - 7500059

Apresentação da disciplina

Profa. Dra. Bianca Chierregato Maniglia

biancamaniglia@usp.br

biancamaniglia@iqsc.usp.br

Programa resumido

- ✓ Introdução aos Processos Químicos;
- ✓ Fundamentos de Balanço de Material;
- ✓ Fundamentos de Balanço de Energia;
- ✓ Introdução a Transferência de quantidade de Movimento;
- ✓ Dimensionamento de Tubulações. Bombas. Medidores de vazão de fluidos.

Técnicas de realização de balanços globais de massa e energia em processos químicos e capacitação de projeto e operação de equipamentos da Indústria Química.

Método

Aulas expositivas e de exercícios utilizando quadro negro e recursos multimídia.

Critério

A critério do docente (provas, seminários, exercícios, etc).

$$\mathbf{NF = [(2 \times P1 + 2 \times P2 + 1 \times E)]/5}$$

Norma de Recuperação

70% de presença e média menor do que 5,0 e maior ou igual a 3,0.

Bibliografia

- HIMMELBLAU, D. M. Engenharia Química - Princípios e Cálculos, Prentice/Hall do Brasil, 1998.
- FELDER, R.M.; ROUSSEAU, R.W., Elementary Principles of Chemical Processes, J. Wiley & Sons, 1986.
- McCABE, W.L.; SMITH, J.C.; HARNOTT, P. - Unit Operation of Chemical Engineering. ed. - Madrid, McGraw Hill, 1993.
- FOUST, A.S.; WENGEL, L.A... ou FOUST, A.S. et al. - Princípios das operações unitárias. Trad. H. Macedo. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1982.
- GOMIDE, R., Estequiometria Industrial, Edição do Autos, 1979.
- BENNET, C.O., Fenômenos de Transporte: quantidade de movimento, calor e massa, Mcgraw-Hill do Brasil, 1978.
- MACINTYRE, A.J., Bombas e Instalações de Bombeamentos, Ed. Guanabara Dois, 1982.
- APOSTILA DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS I - Profa. Dra. Elisabete M. Assaf. => @e-disciplinas

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS



Operações Unitárias I

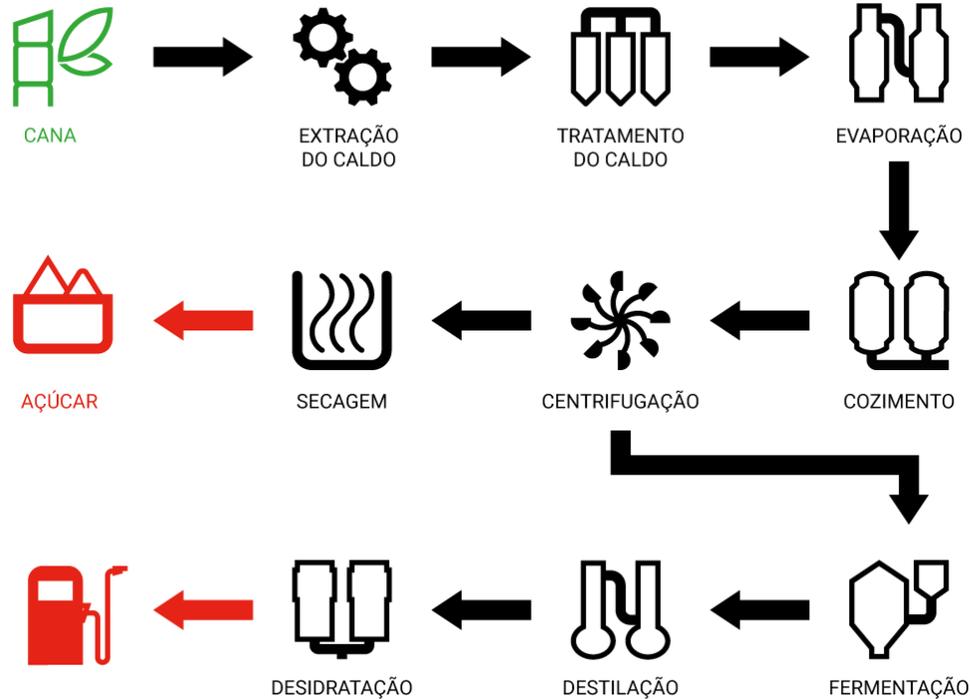
**Introdução aos Processos Químicos: conceitos;
unidades e variáveis de processo**

Profa. Dra. Bianca Chierregato Maniglia

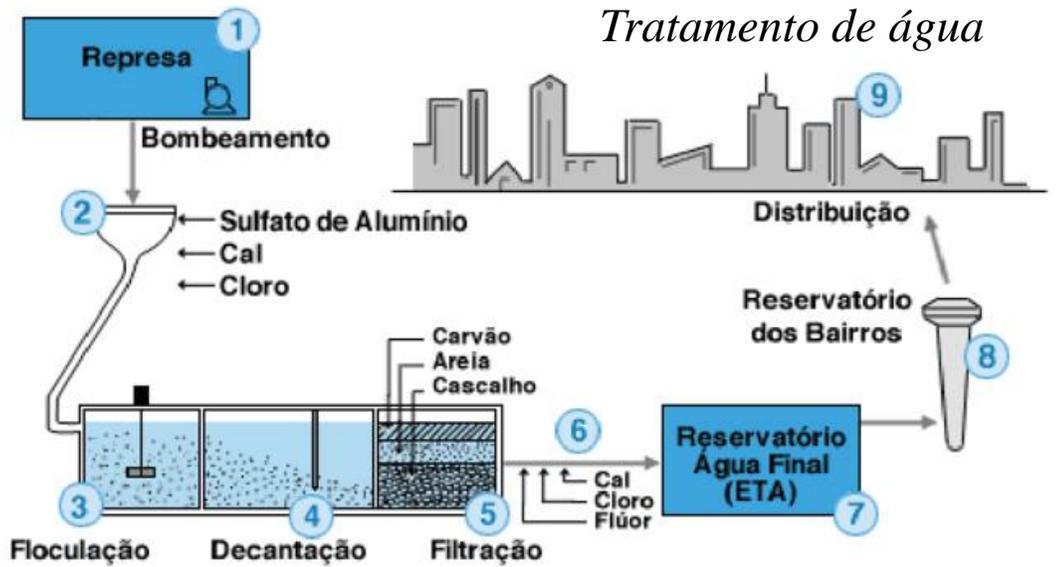
biancamaniglia@usp.br

biancamaniglia@iqsc.usp.br

Processos químicos



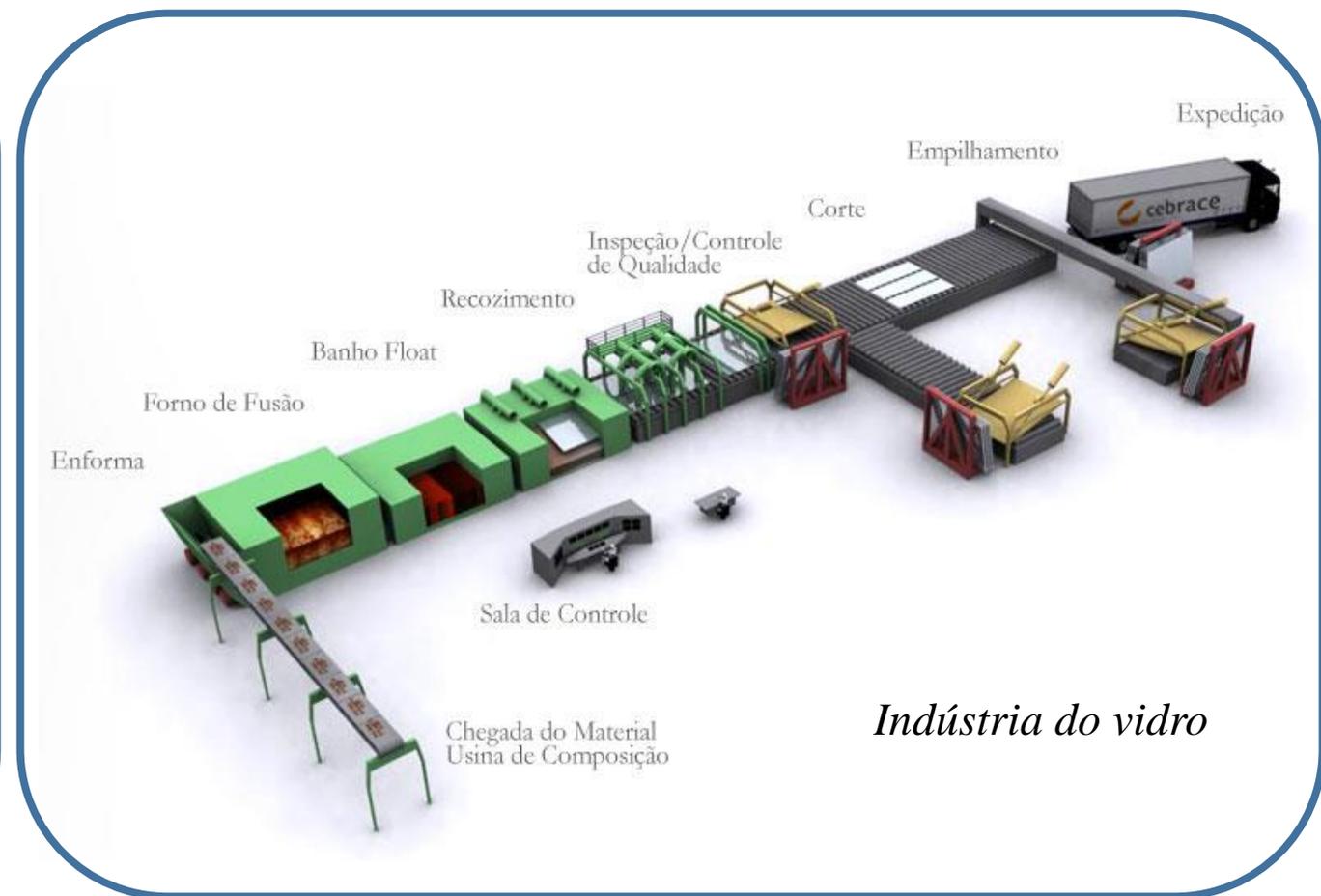
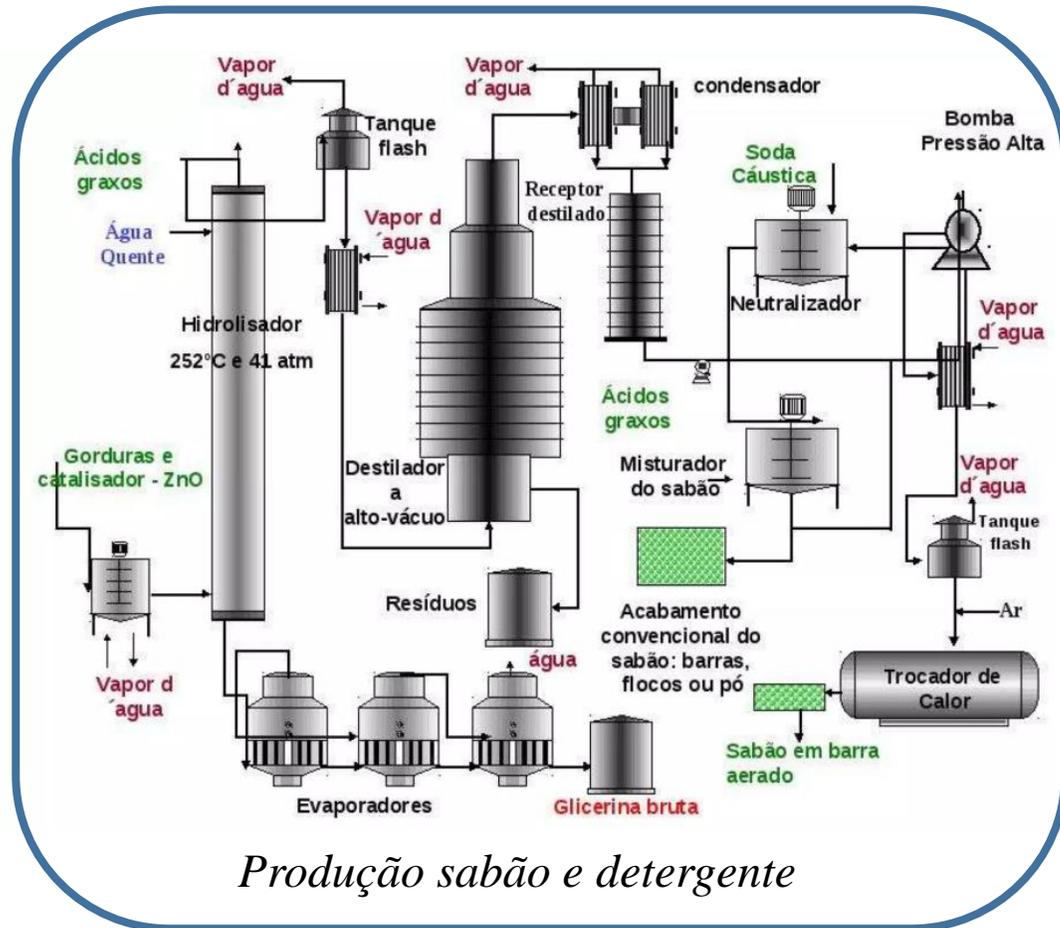
Produção de açúcar e álcool



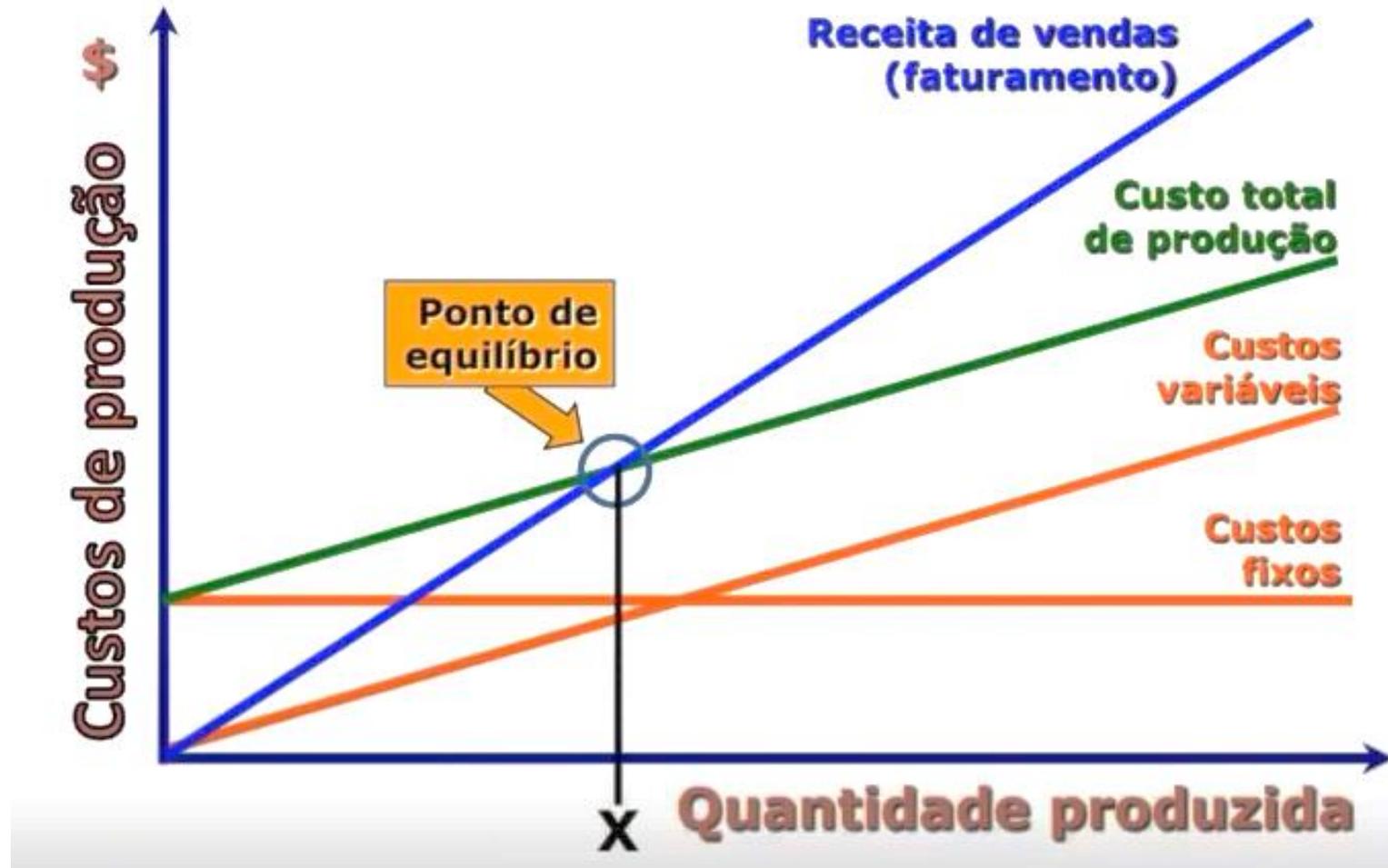
Indústria petrolífera

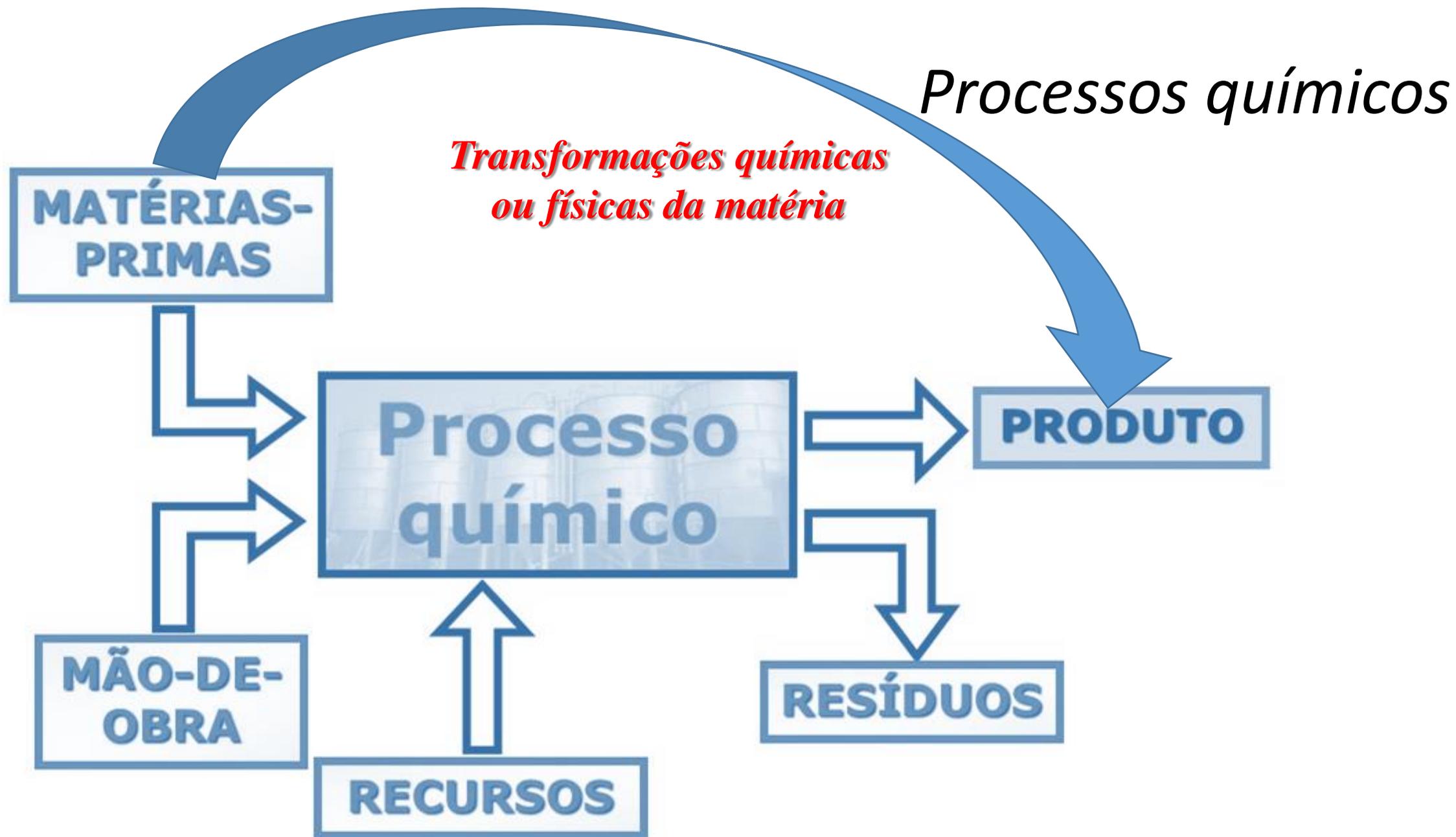


Processos químicos



Por que estudar processos?





PROCESSO

- É o estudo e acompanhamento das variáveis que agem na OPERAÇÃO (especificação da matéria prima e equipamentos para realizar as diversas funções).

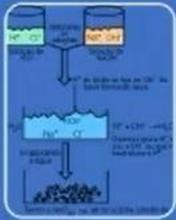
OPERAÇÃO

- É a ação direta do homem e equipamentos sobre a matéria prima e seus produtos (funções que devem ser executadas).

Quando a matéria prima não sofre transformação química para a obtenção de produtos, dizemos que ela foi submetida às OPERAÇÕES UNITÁRIAS; quando a matéria prima sofre transformação química, temos a chamada CONVERSÃO QUÍMICA ou PROCESSO UNITÁRIO.

Processos unitários

- Conversões químicas



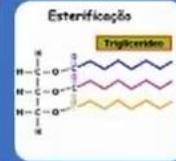
Neutralização



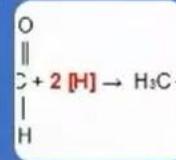
Combustão



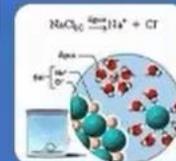
Polimerização



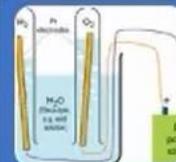
Esterificação



Redução



Hidratação



Eletrólise

Operações unitárias

- Processos de separação
- Transferência de massa
- Transferência de calor

Transferência de calor



Condensação



Ebulição



Evaporação

Transferência de massa



Destilação



Extração



Absorção



Adsorção



Secagem

Operações unitárias

Classificações

Operações envolvendo sólidos



Fragmentação



Peneiramento



Transporte



Armazenamento

Operações envolvendo fluidos



Bombeamento



Mistura



Compressão



Agitação

Operações envolvendo separações

Filtração

Peneiração

Sublimação

Cristalização

Exemplo



Representação => FLUXOGRAMA



FLUXOGRAMA

Obtenção de ácido fosfórico => processo via úmida

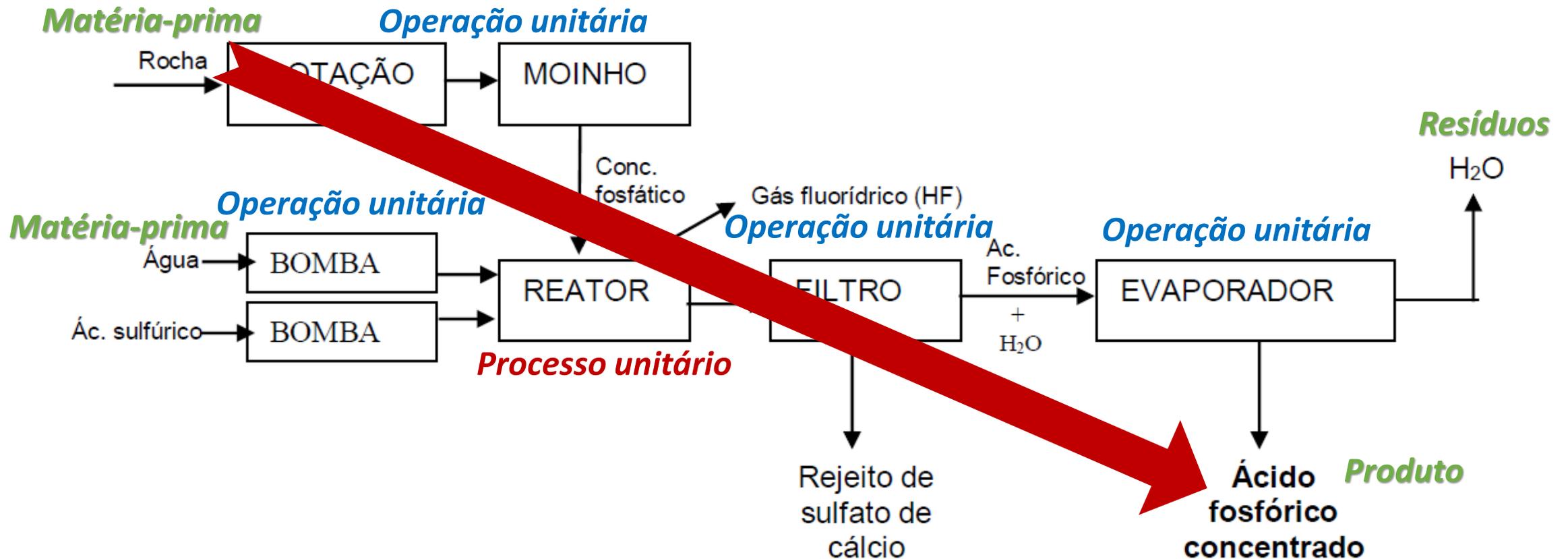
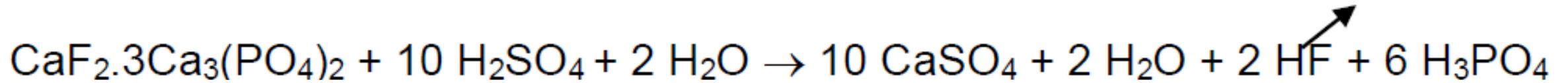
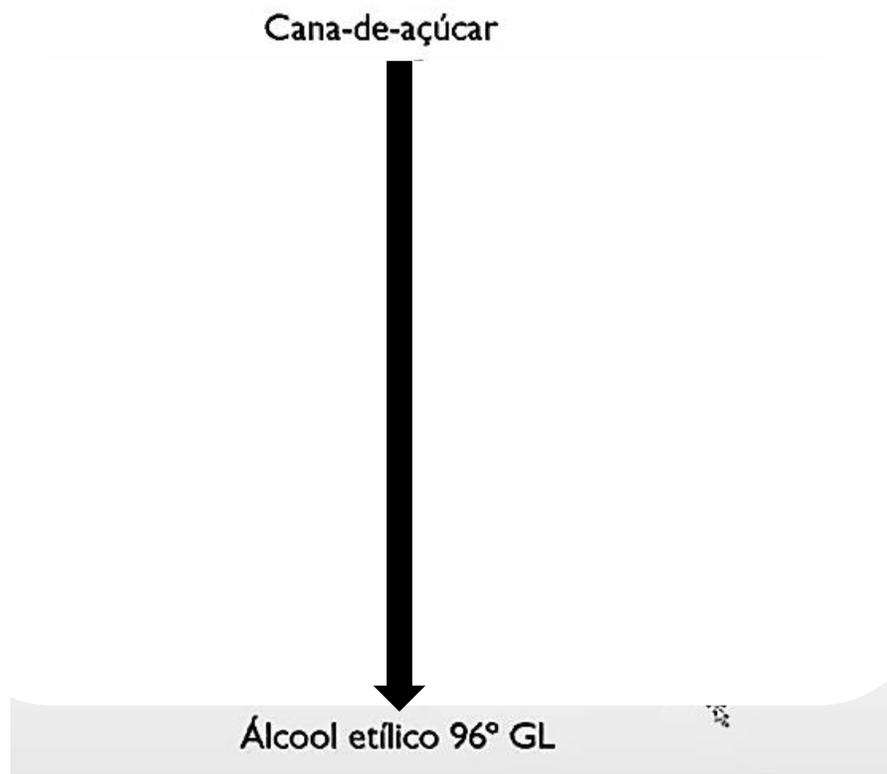


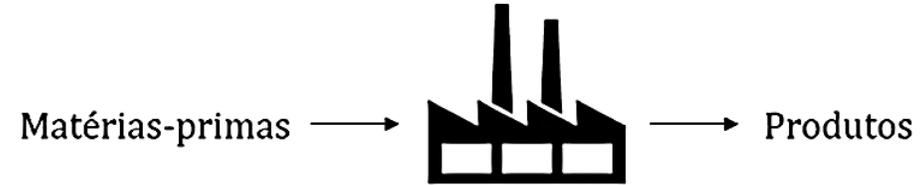
Figura 1. Diagrama de blocos do processo de fabricação de ácido fosfórico por via úmida.

Exercício

Partindo-se da CANA, quais deveriam ser as operações e processos unitários necessários até a produção de ETANOL. Descreva o processo através de diagrama de blocos.



Revisando Conceitos



Análise dos Processos químicos

➤ Unidades e dimensões

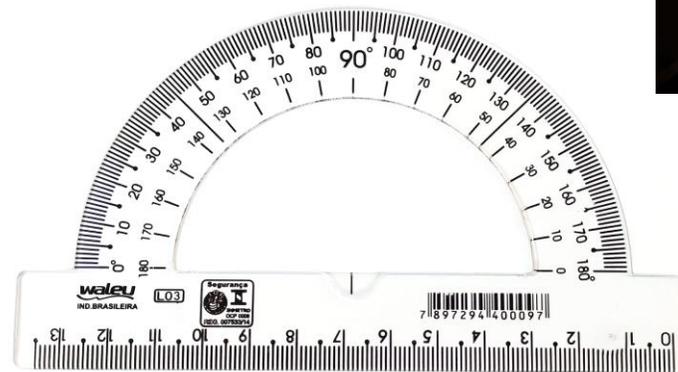
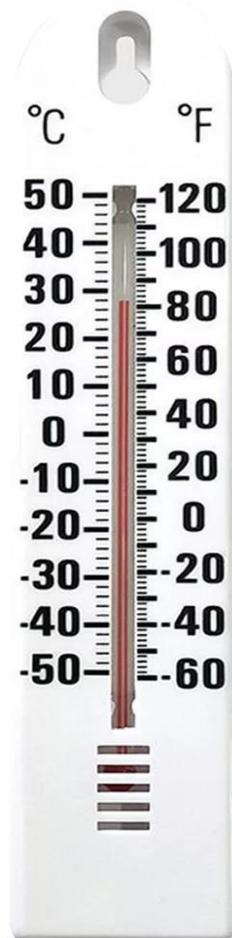
Valor unitário e unidade

**Massa,
Volume,
Temperatura**

Conservação da massa e energia

Informações termodinâmicas

INDÚSTRIA QUÍMICA



Unidade e dimensões

$$5 \text{ kg} - 4 \text{ kg} = 1 \text{ kg}$$

$$5 \text{ kg} - 10 \text{ L} = ??$$



$$5 \text{ kg} - 4 \text{ kg} = 1 \text{ kg}$$

$$5 \text{ kg} - 4 \text{ g} = ??$$



ATENÇÃO

CONVERSÃO DE UNIDADES

$$\begin{aligned} 1 \text{ kg} & \text{-----} 1000 \text{ g} \\ X \text{ kg} & \text{-----} 4 \text{ g} \\ X & = 0.004 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ kg} & \text{-----} 1000 \text{ g} \\ 5 \text{ kg} & \text{-----} X \text{ g} \\ X & = 5000 \text{ g} \end{aligned}$$

$$5 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 5000 \text{ g}$$

Unidade e dimensões

- **Multiplicação ou divisão**

$$\frac{4 \text{ cm}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ cm/s}$$

$$\frac{2 \text{ cm}}{1 \text{ s}} \times 1 \text{ s} = 2 \text{ cm}$$

$$2 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 2 \text{ m}^2$$

$$\frac{\cancel{2 \text{ cm}}}{\cancel{1 \text{ cm}}} = 2$$

Sistemas de unidades

Unidades múltiplas

Unidades básicas

QUANTIDADE	UNIDADE	SIMBOLO
Comprimento	metro	m
Massa	kilograma	kg
Tempo	segundo	s
Temperatura	Kelvin	K
Corrente elétrica	ampére	A
Intensidade luminosa	candela	Cd
Moles	grama-mol	g-mol ou mol

Mega (M)	= 10^6
kilo (k)	= 10^3
centi (c)	= 10^{-2}
mili (m)	= 10^{-3}
micro (μ)	= 10^{-6}
nano (n)	= 10^{-9}

Unidades derivadas

QUANTIDADE	UNIDADE	SÍMBOLO	EQUIVALENTE EM TERMOS DE UNIDADES BÁSICAS
Volume	litro	L	0,001 m ³
Força	Newton	N	1 kg.m/s ²
Pressão	Pascal	Pa	1 N/m ²
Energia	Joule	J	1 N.m=1 kg.m ² /s ²
Trabalho	grama-caloria	cal	4,184 J
Potência	Watt	W	1 J/s = 1 kg.m ² /s ³

Sistemas de unidades

Tabela I.4. Unidades do CGS.

massa	grama	g
comprimento	centímetro	cm
força	dina	1 g.cm/s ²
pressão	dina/cm ²	
energia	erg	1 dina.cm = g cm ² /s ²

Tabela I.5. Unidades do SAE.

Comprimento	foot (pé)	ft
Massa	libra-massa	lbm
Tempo	segundo	s

SAE: Sistema Americano de Engenharia

Grandeza	Unidade	Símbolo	Valor em outras unidades
Tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 60 min = 3600 s
	dia	dia	1 dia = 24 h = 1440 min = 86400 s
	ano	ano	1 ano = 365 dias = 8760 h = 525 600 min = 31 536 000 s

Sistemas de unidades - conversão

Grandeza	Unidade		Símbolo	Valor em unidade fundamental do SI
Comprimento	Múltiplos	Quilômetro	km	1 km = 1000 m = 10^3 m
		Hectômetro	hm	1 hm = 100 m = 10^2 m
		Decâmetro	dam	1 dam = 10 m = 10^1 m
	Submúltiplos	Decímetro	dm	1 dm = 0,1 m = 10^{-1} m
		Centímetro	cm	1 cm = 0,01 m = 10^{-2} m
		Milímetro	mm	1 mm = 0,001 m = 10^{-3} m

Múltiplos			Base	Submúltiplos		
Quilograma	Hectograma	Decagrama	Gramas	Decigrama	Centigrama	Miligrama
kg	hg	dag	g	dg	cg	mg
1000 g	100 g	10 g	1 g	0,1 g	0,01 g	0,001 g

Sistemas de unidades - conversão

$F \sim m \cdot a$, onde F = força; m = massa; a = aceleração da gravidade

SISTEMA	Unidade natural	Unidade derivada
SI	$\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	1 N
CGS	$\text{g} \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$	1 dina
AES	$\text{lbm} \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$?

“O produto de uma unidade de massa (lbm) pela aceleração da gravidade ao nível do mar e 45 ° de latitude, que é 32,174 ft/s²”.

$$1 \text{ lbf} = 32,174 \text{ lbm.ft/s}^2$$

RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES

$$g_c = \frac{1 \frac{\text{kg.m}}{\text{s}^2}}{1 \text{ N}} = \frac{1 \frac{\text{g.cm}}{\text{s}^2}}{1 \text{ dina}} = \frac{32,174 \frac{\text{lbm.ft}}{\text{s}^2}}{1 \text{ lbf}}$$

Fator de conversão

Sistemas de unidades - conversão

RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES

$$g_c = \frac{1 \frac{\text{kg.m}}{\text{s}^2}}{1 \text{ N}} = \frac{1 \frac{\text{g.cm}}{\text{s}^2}}{1 \text{ dina}} = \frac{32,174 \frac{\text{lbm.ft}}{\text{s}^2}}{1 \text{ lbf}}$$

Fator de conversão

Então, para o nível do mar e 45° de latitude, teremos:

$$F = \frac{m \cdot a}{g_c}$$

$g = 9,8066 \text{ m/s}^2$	$g/g_c = 9,8066 \text{ N/kg}$
$g = 980,66 \text{ cm/s}^2$	$g/g_c = 980,66 \text{ dina/g}$
$g = 32,174 \text{ ft/s}^2$	$g/g_c = 1 \text{ lbf/lbm}$

Notar que: g = aceleração da gravidade

g_c = fator de conversão

Sistemas de unidades

libra-massa (lb _m)	slug	quilograma (kg)	unidade técnica de massa (utm)
1	0,03108	0,4536	0,0463
32,1740	1	14,5939	1,4882
2,2046	0,06852	1	0,1020
21,6170	0,67197	9,80665	1

Massa

Comprimento

metro (m)	centímetro (cm)	pé (ft)	polegada (in)	milha (mi)
1	100	3,2808	39,3696	$6,214 \times 10^{-4}$
10^{-2}	1	0,0328	0,3937	$6,214 \times 10^{-6}$
0,3048	30,48	1	12,0000	$1,894 \times 10^{-4}$
0,0254	2,54	0,0833	1	$1,578 \times 10^{-5}$
1609	160900	5280	63360	1

Sistemas de unidades

Apostila => Pag. 113

TABELA DE FATORES PARA CONVERSÃO DE ALGUMAS UNIDADES
(Felder, M.R.; Rousseau, R.C. "Elementary Principles of Chemical Process")

Massa	1 kg = 1000 g = 0,001 ton.métrica = 2,20462 lbm 1 lbm = 453,593 g	
Comprimento	1 m = 100 cm = 1000 mm = 10 ⁶ micra (μ) = 10 ¹⁰ angstroms (Å) = = 39,37 in = 3,2808 ft = 1,0936 jardas = 0,0006214 milhas 1 ft = 12 inch = 30,48 cm 1 jarda = 3 pés 1 pol. = 2,54 cm	
Volume	1 m ³ = 1000 L = 10 ⁶ cm ³ = 10 ⁶ mL = 35,3145 ft ³ = 264,17 gal. 1 ft ³ = 1728 in ³ = 7,4805 gal. = 0,028317 m ³ = 28,317 L 1 gal. = 3,785 L	
Força	1 N = 1 kg.m/s ² = 10 ⁵ dinas = 10 ⁵ g.cm/s ² = 0,22481 lbf 1 lbf = 32,174 lbm.ft/s ² = 4,4482 N = 4,4482x10 ⁵ dinas 1 kgf = 9,8 N	
Pressão	1 atm = 1,01325x10 ⁵ N/m ² (Pa) = 1,01325 báreas = 1,01325x10 ⁶ dinas/cm ² = 760 mmHg a 0°C (torr) = 10,333 m H ₂ O a 4 °C = 14,696 lbf/in ² (psi) = 33,9 ft H ₂ O a 4°C = 29,921 in Hg a 0°C	
Energia	1 J = 1 N.m = 10 ⁷ ergs = 10 ⁷ dina.cm = 2,778x10 ⁷ kW.h = 0,23901 cal = 0,7376 ft.lbf = 9,486x10 ⁻⁴ BTU	
Potência	1 W = 1 J/s = 0,23901 cal/s = 0,7376 ft.lbf/s = 9,486x10 ⁻⁴ BTU/s = 1,341x10 ⁻³ HP	
Temperatura	T (K) = T(°C) + 273,15 ΔT (°C) = ΔT (K) T (°R) = T(°F) + 459,67 ΔT (°R) = ΔT (°F) T (°R) = 1,8 T (K) ΔT (K) = 1,8 ΔT (°R) T (°F) = 1,8 T (°C) + 32 ΔT (°C) = 1,8 ΔT (°F)	
Fator de conversão da Lei de Newton	$g_c = 1 \frac{\text{kg.m/s}^2}{\text{N}} = 1 \frac{\text{g.cm/s}^2}{\text{dina}} = 32,174 \frac{\text{lbm.ft}}{\text{s}^2.\text{lbf}}$	
Constante dos gases	8,314 m ³ .Pa/mol.K 0,08314 L.bar/mol.K 0,08206 L.atm/mol.K 62,36 L.mmHg/mol.K 0,7302 ft ³ .atm/lb.mol.°R	10,73 ft ³ .psia/lb.mol.°R 8,314 J/mol.K 1,987 cal/mol.K 1,987 BTU/lb.mol.°R

EXEMPLOS

metro (m)	centímetro (cm)	pé (ft)	polegada (in)	milha (mi)
1	100	3,2808	39,3696	$6,214 \times 10^{-4}$
10^{-2}	1	0,0328	0,3937	$6,214 \times 10^{-6}$
0,3048	30,48	1	12,0000	$1,894 \times 10^{-4}$
0,0254	2,54	0,0833	1	$1,578 \times 10^{-5}$
1609	160900	5280	63360	1

- **Exemplo I.1)** Converter 36 in para seu equivalente em ft.

$$36 \text{ in} \times \frac{3,2808 \text{ ft}}{39,3696 \text{ in}} = X \text{ ft} \Rightarrow \mathbf{3 \text{ ft}}$$

Grandeza	Unidade	Símbolo	Valor em outras unidades
Tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 60 min = 3600 s
	dia	dia	1 dia = 24 h = 1440 min = 86400 s
	ano	ano	1 ano = 365 dias = 8760 h = 525 600 min = 31 536 000 s

- **Exemplo I.2)** Converter a aceleração de 1 cm/s^2 para seu equivalente em km/ano^2 .

$$\frac{1 \text{ cm}}{\text{s}^2} \times \frac{1 \text{ km}}{100000 \text{ cm}} \times \left(\frac{31536000 \text{ s}}{1 \text{ ano}} \right)^2 = ? \frac{\text{km}}{\text{ano}^2} \Rightarrow \mathbf{9.94 \times 10^9 \frac{\text{km}}{\text{ano}^2}}$$

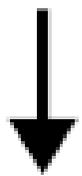
Exercício I.3) Água tem densidade $62,4 \text{ lbm/ft}^3$. Quanto pesam 2 ft^3 de água:

- a) ao nível do mar, latitude 45° (ou seja $g = 32,174 \text{ ft/s}^2$)?
- b) no pico de uma montanha onde a aceleração da gravidade é $30,139 \text{ ft/s}^2$?

metro (m)	centímetro (cm)	pé (ft)	polegada (in)	milha (mi)
1	100	3,2808	39,3696	$6,214 \times 10^{-4}$
10^{-2}	1	0,0328	0,3937	$6,214 \times 10^{-6}$
0,3048	30,48	1	12,0000	$1,894 \times 10^{-4}$
0,0254	2,54	0,0833	1	$1,578 \times 10^{-5}$
1609	160900	5280	63360	1

Homogeneidade Dimensional e Quantidades Adimensionais

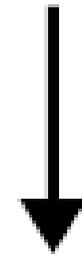
$$V \text{ (m/s)} = V_0 \text{ (m/s)} + g \text{ (m/s}^2\text{)} \times t \text{ (s)}$$



$$\frac{\text{m}}{\text{s}}$$



$$\frac{\text{m}}{\text{s}}$$



$$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



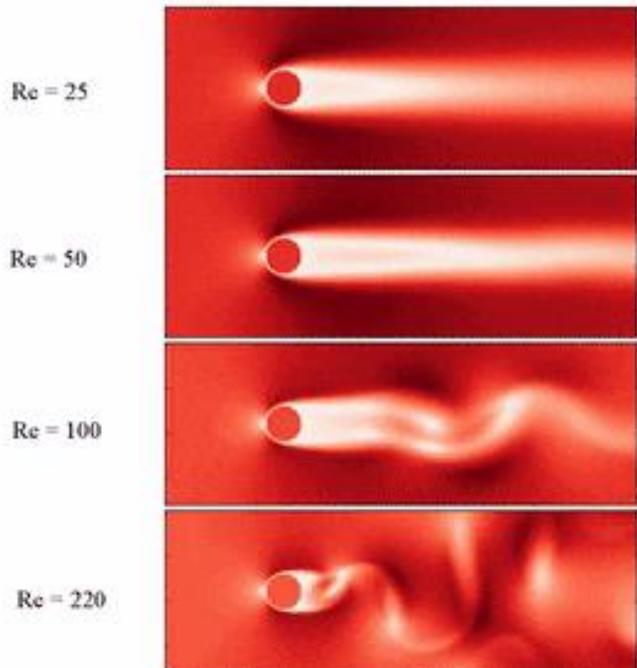
· s

$$= \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Quantidades Adimensionais

$$\frac{2 \cancel{\text{cm}}}{1 \cancel{\text{cm}}} = 2$$

$$\text{Re} = \frac{\rho(\text{g/cm}^3) \cdot v(\text{cm/s}) \cdot d(\text{cm})}{\mu(\text{g/cm.s})} \text{ Adimensional}$$



- ✓ ρ = densidade do fluido
- ✓ μ = viscosidade do fluido
- ✓ d = diâmetro da tubulação
- ✓ v = velocidade do fluido