



Cimento Portland

PCC 3222
2022

Objetivos da aula

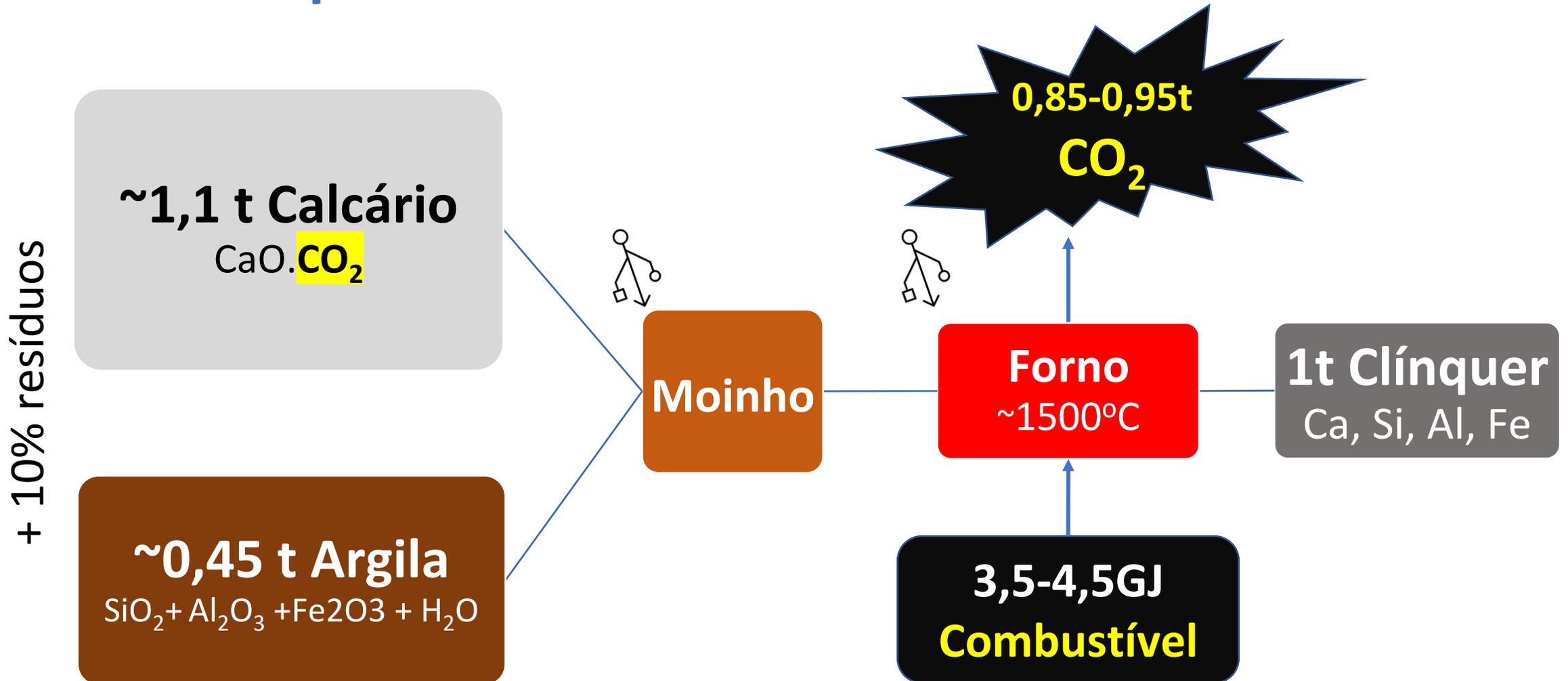
- Apresentar o cimento Portland (produção, composição, principais propriedades)
- Compreender como são gerados os impactos ambientais do processo
- Entender como a produção afeta as propriedades do cimento





Clínquer Portland:

matéria prima fundamental do Cimento Portland



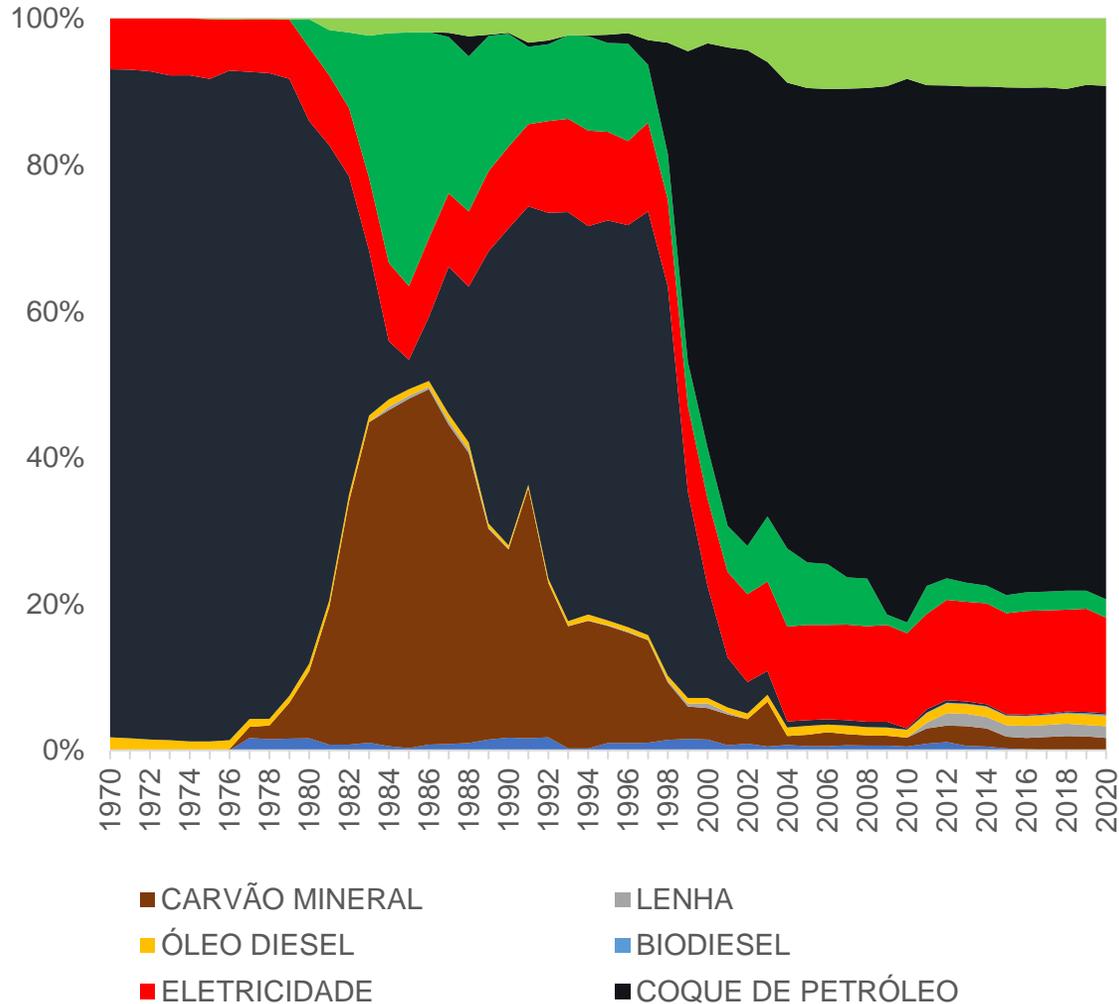


Forno rotativo



Matriz energética do cimento é variável.

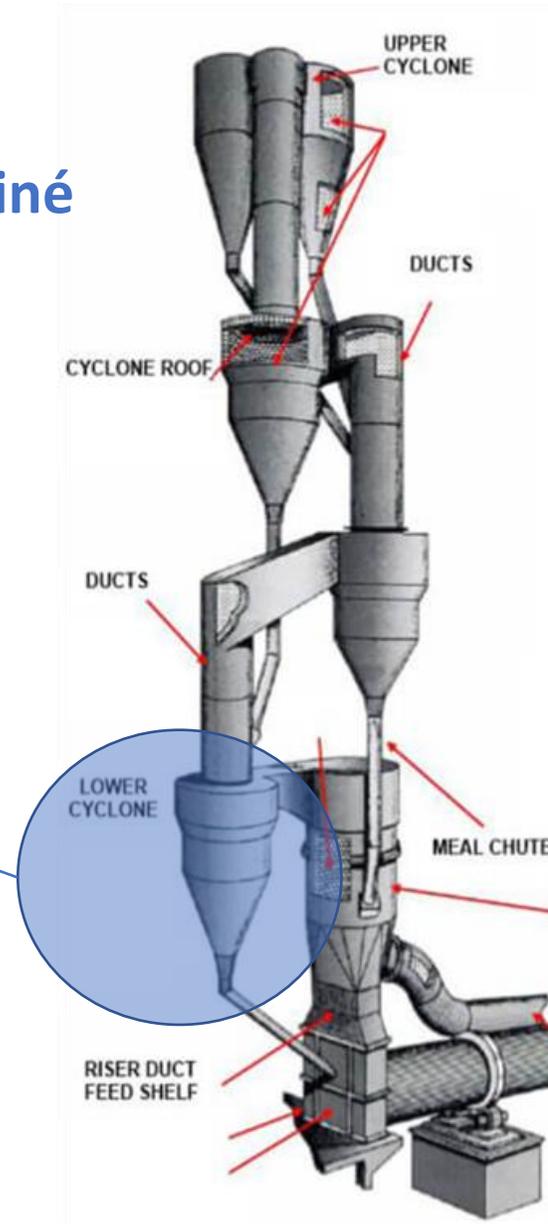
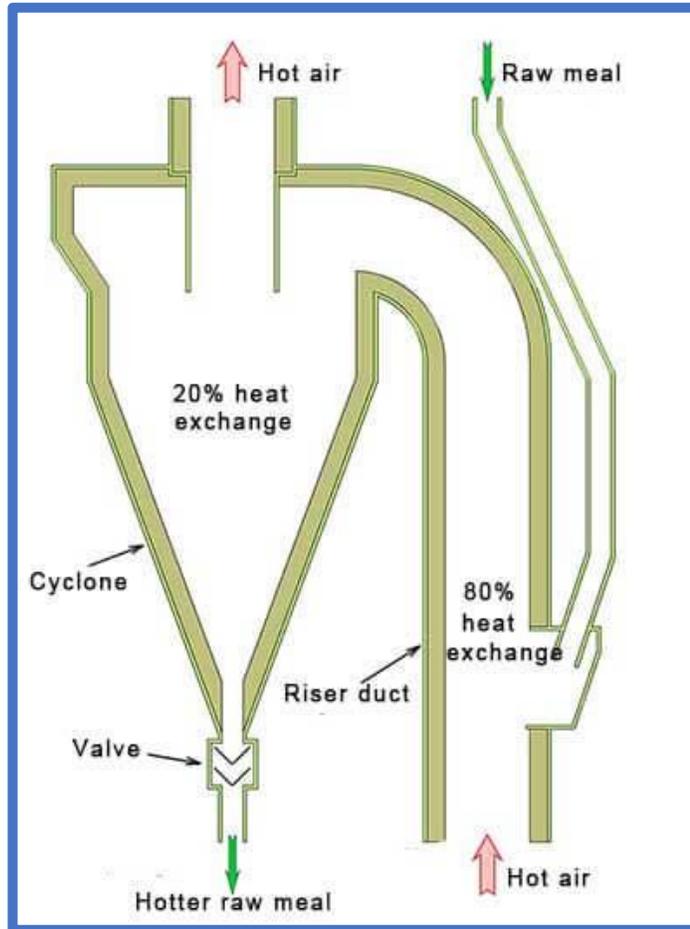
Resíduos são parte crescente da energia.



Pneus velhos são combustível importante.

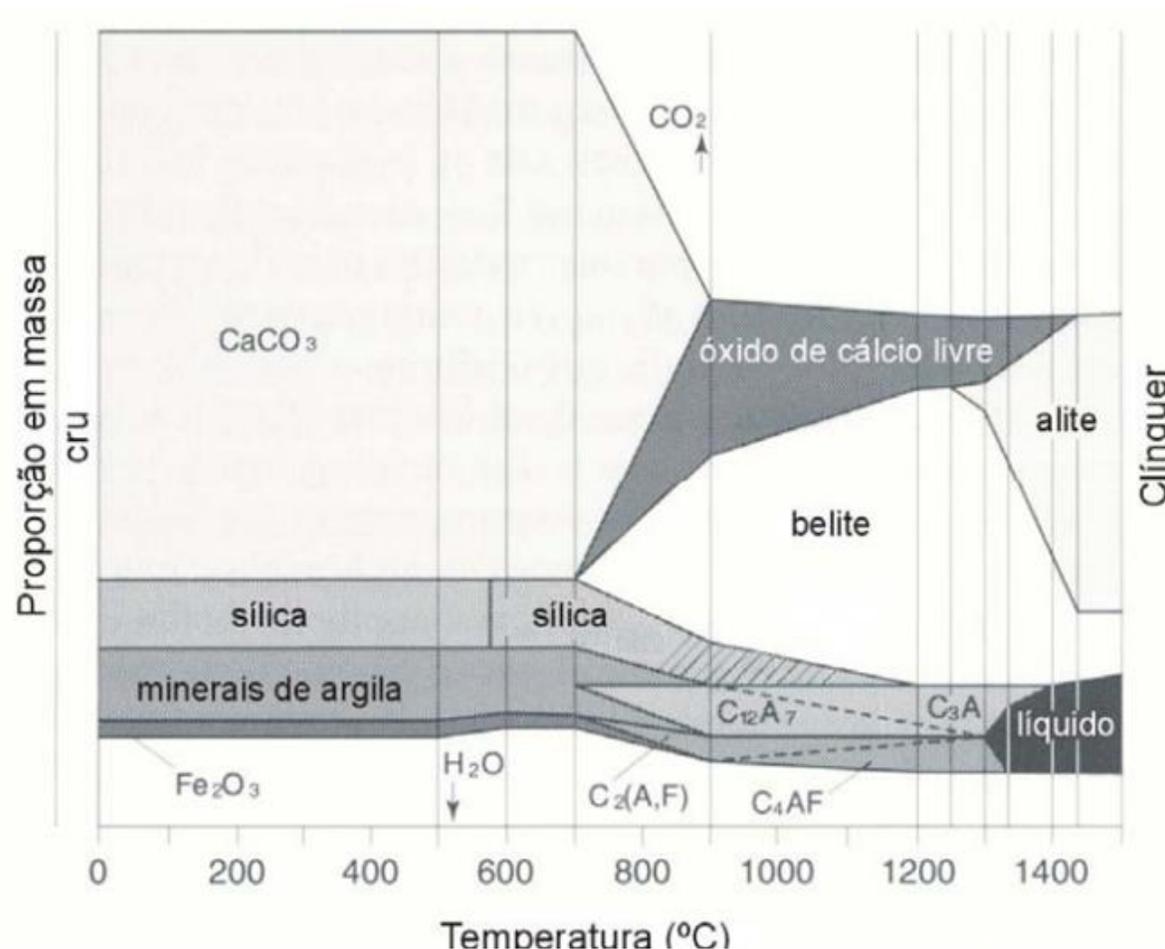
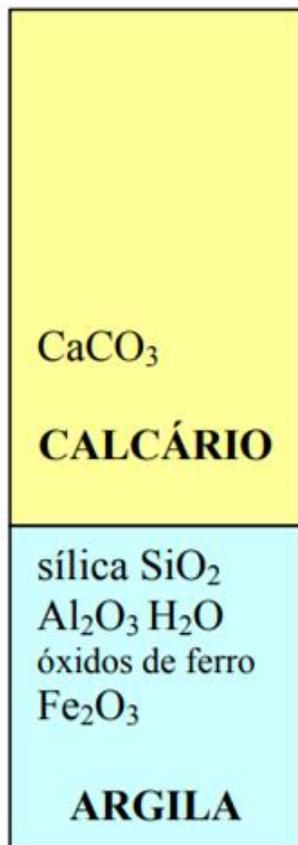
Eficiência energética

Pre-calcinador aproveita calor da chaminé



Formação de fases do clínquer

Transformações das matérias primas durante calcinação



Fonte: Jackson (1998)



Clínquer

Reações a alta temperatura

- **Oxidação do combustível**



- **Decomposição das matérias primas**



- **Fusão parcial** produz novos minerais (clínquer)

*E: energia

Exercício 1

- O clínquer contém 62% de CaO.
 - Quantos kg de (CaCO_3) são necessários para produzir 1kg de clínquer?
 - Na prática se usa um calcário impuro. Qual é a quantidade de calcário com 48% de CaO necessária para produzir 1kg de clínquer?
- Estime a emissão de CO_2 devido a descarbonatação do calcário.



<https://forms.gle/agHKnERXjQ3LF8LY8>

Solução 1

- Calcinação ($>900^{\circ}\text{C}$): $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

Ca=40 g/mol; C=12g/mol; O=16 g/mol

$\text{CaCO}_3=40+12+16*3=100$ g/mol

$\text{CaO} = 40 + 16 = 56$ g/mol

100 g CaCO_3 – 56g CaO (*calcário puro*)

111 g CaCO_3 - 62g CaO

Calcário puro – 1,11kg de calcário para 1kg de clínquer

Calcário 48% CaO \rightarrow 1,29kg de calcário para 1kg de clínquer

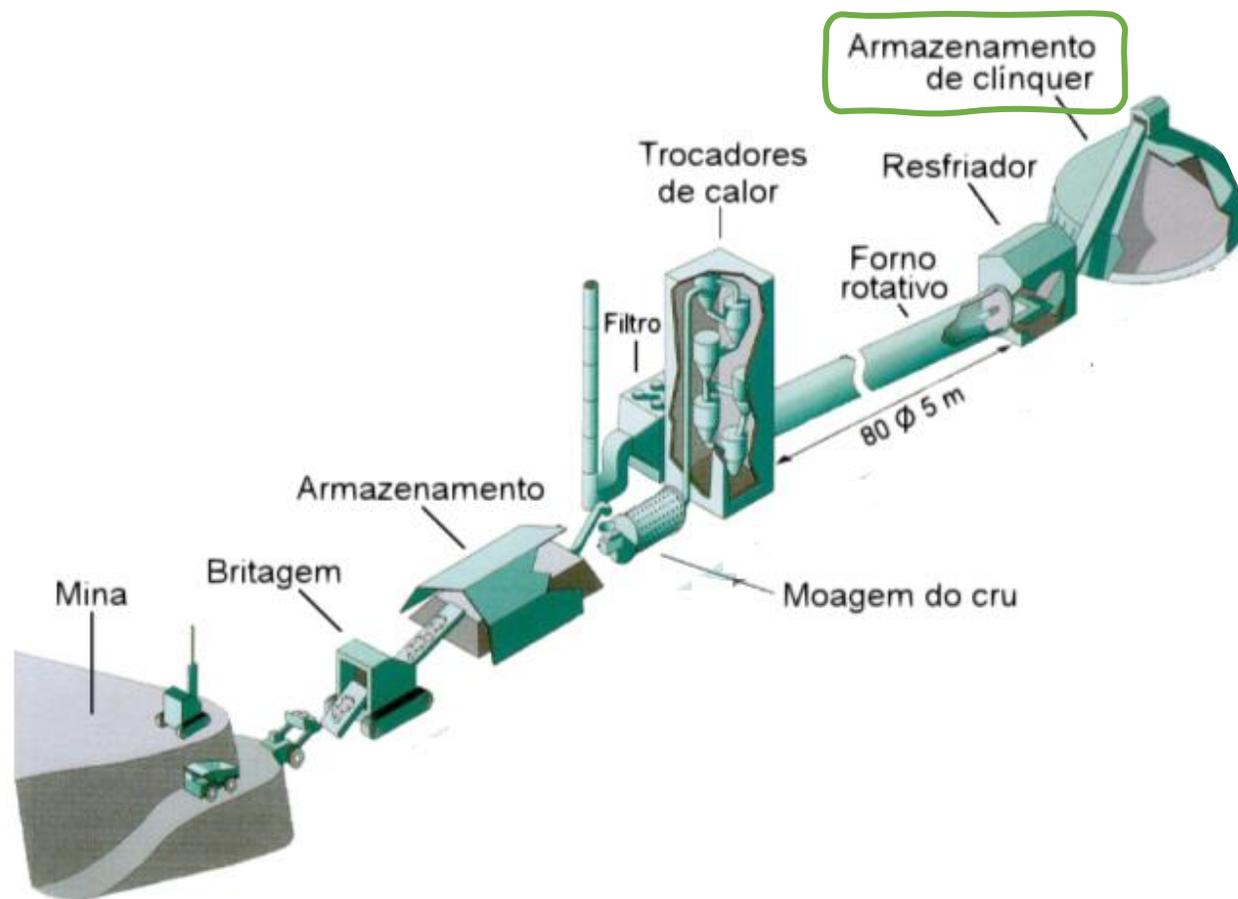
Emissão de CO₂ na calcinação do clínquer

- Descarbonatação do calcário
 - 528 kg CO₂/ t de cimento portland
- Combustível (energia necessária)
 - 350-450 kg CO₂/t de clínquer
- Total = 800 – 1000 CO₂ / t de clínquer Portland

Composição química do clínquer

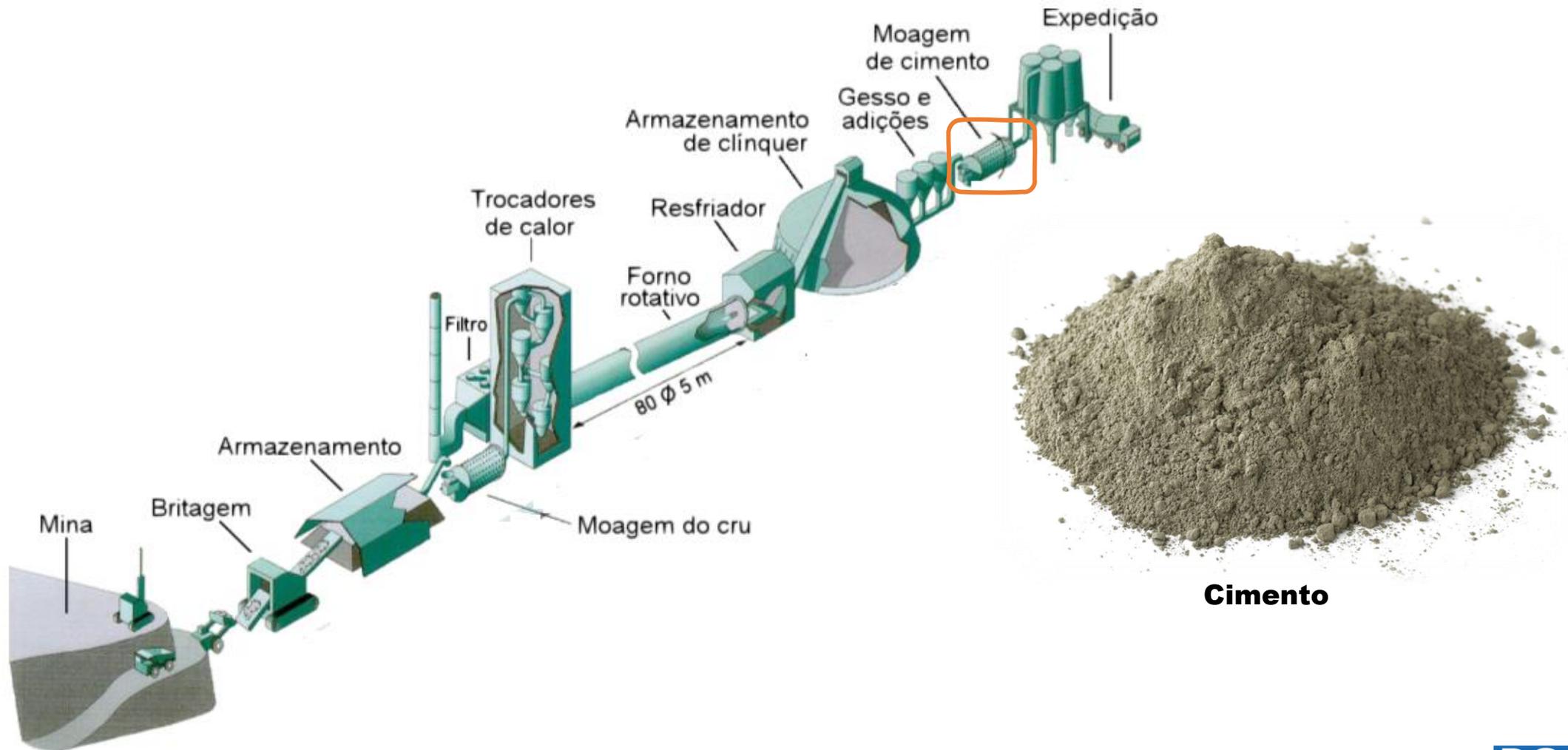
Fonte	Óxido	Código	Massa (%)
Calcário	CaO	C	61–67%
Argila	SiO ₂	S	19–23%
	Al ₂ O ₃	A	2,5–6%
	Fe ₂ O ₃	F	0–6%
Combustível	SO ₃	Š	1,5–4,5%

Resumo: Fluxo de produção de clínquer Portland

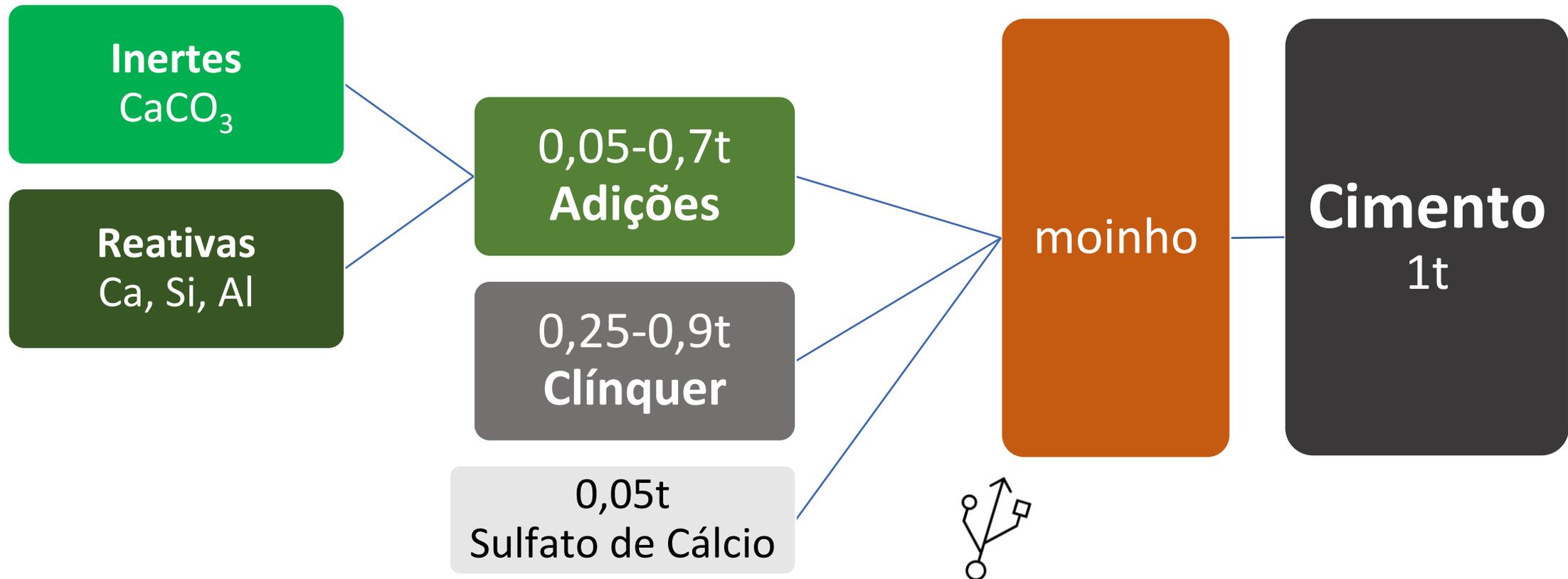


Clínquer

Resumo: Fluxo de produção de cimento Portland

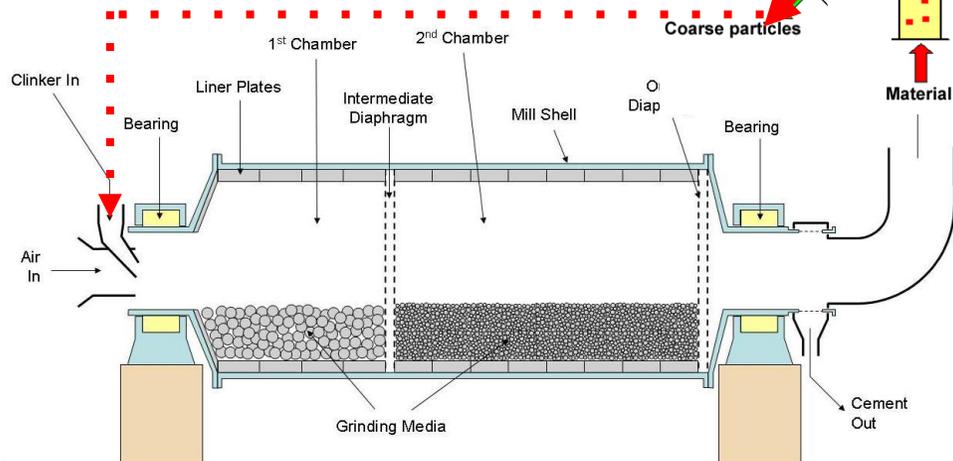
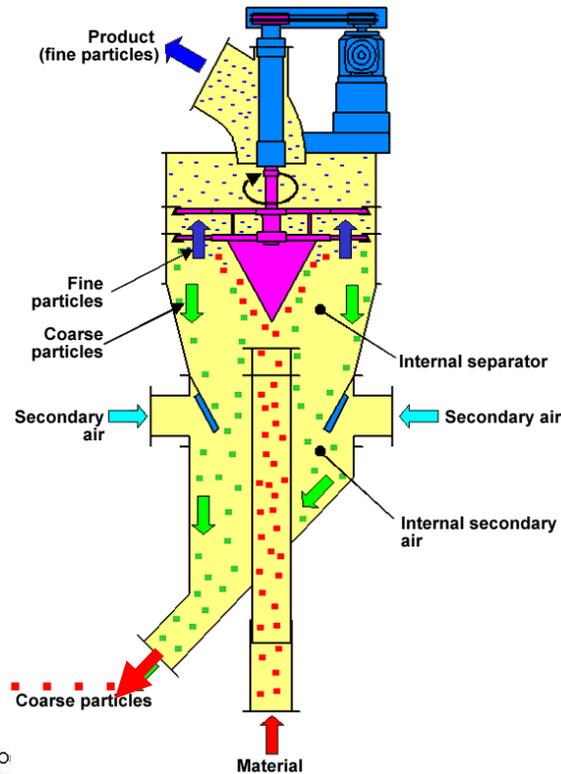


Cimento Portland: clínquer + adições



Moagem em circuito fechado

Ciclone:
massa das partículas
controla a trajetória



Permite controlar a

finura

(distribuição granulométrica e
área específica).





Micro-partículas ($d < 50 \mu\text{m}$) solúveis em água

Exercício 2

São necessários 3,3 GJ de energia para se produzir 1 t de cimento Portland. O coque de petróleo tem poder calorífico de 31GJ/t

- Qual a quantidade de coque de petróleo necessária para gerar essa energia?
- Qual a quantidade de CO₂ gerada pela queima?

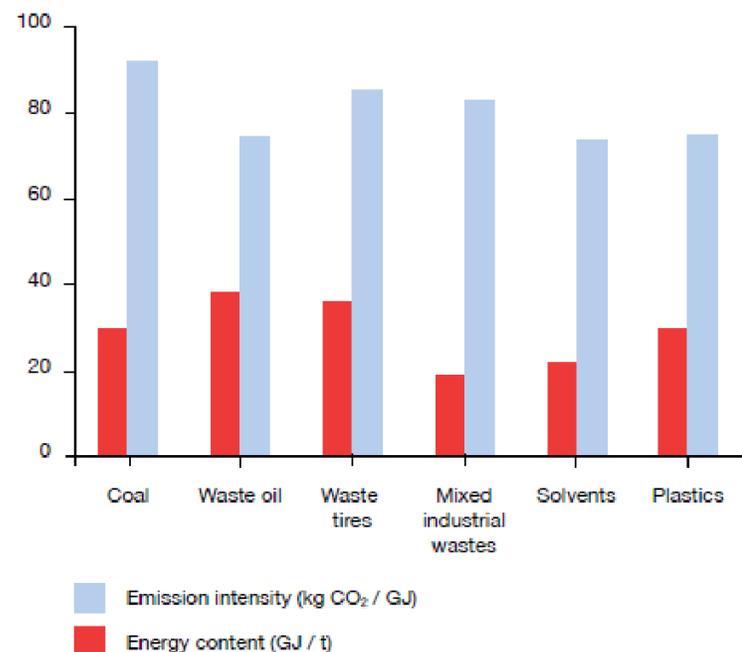


<https://forms.gle/Ayn4wRpkMDVv5p1f7>

Combustíveis: fatores de emissões

Figure 3.p

Alternative fuels compared to coal:^[BB]



Fuel type		Emission intensity tCO ₂ /TJ	Energy content GJ / t
Coal		92	29
Straw		0	15
Wood	Dry	0	20
	Wet	0	11
Rapeseed		0	25
Corn		0	15
Sewer sludge (dry)		0	14
Vegetable oils		0	40
Cow dung		0	11
Coconut husk		0	14

Fonte: WWF. A blue print for a climate friendly cement industry

Solução 2

- Estimando a quantidade de coque

Poder calorífico inferior 31GJ / t

Coque (t) = 3,3 / 31 = 0,1t/t = 100kg/t de cimento

- **Fator de emissão de CO₂ do coque**

Admitindo que o coque é puro carbono.

$C + O_2 \rightarrow CO_2$; $CO_2 = 12 + 16 \cdot 2 = 44$ g/mol; $CO_2/C = 44/12 = 3,67$ (*).

$CO_2 = 100 \cdot 3,67 = 367$ kg

367 kg CO₂/t cimento

Solução 2

- Emissão de CO₂ da calcinação de acordo com o IPCC
- IPCC, pet coke emite 100,8tCO₂/TJ
- 100,8 kgCO₂/GJ
- 3,3 GJ/t cimento
- IPCC = 333 kg CO₂/t de cimento < **367 kg CO₂/t cimento** carbono puro
- **Qual a razão da diferença**