

## SISTEMAS DE PROCESSAMENTO

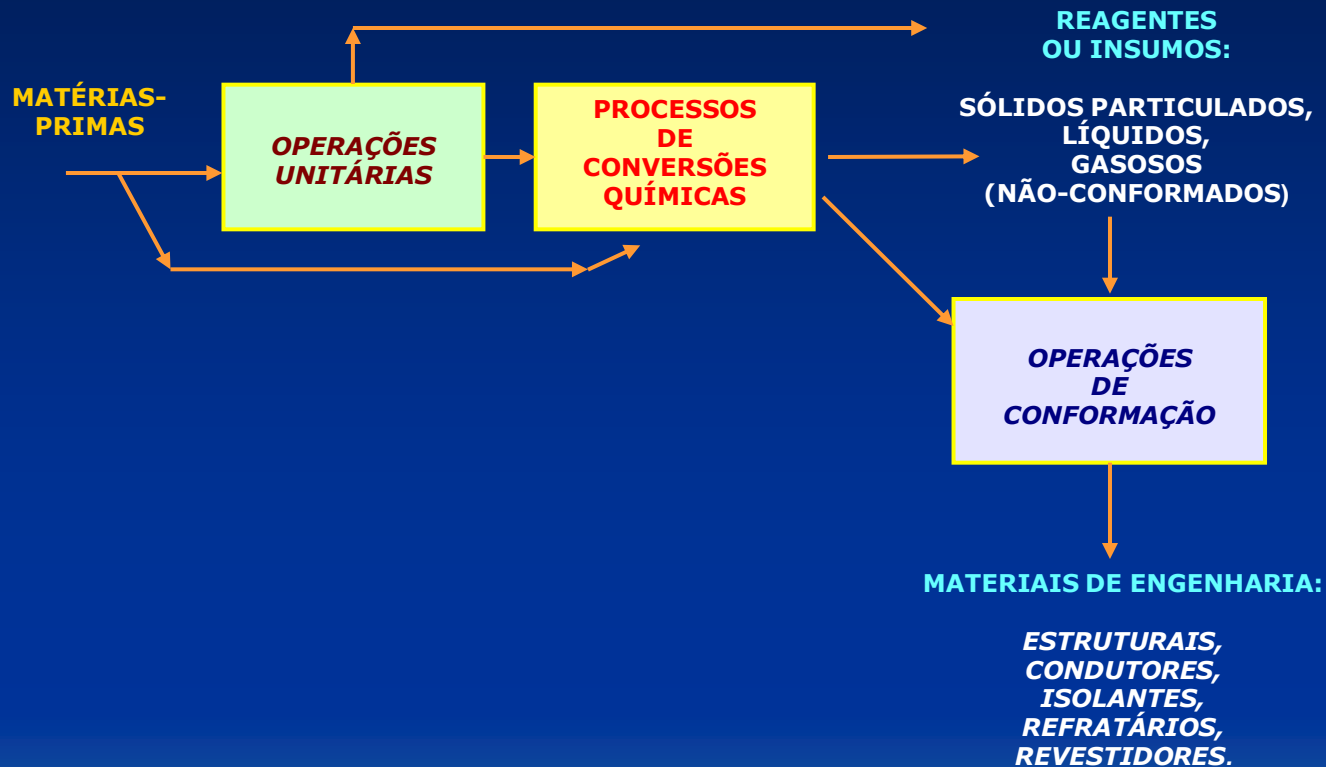
$\Sigma$  (equipamentos industriais + instrumentação de controle)

ou

$\Sigma$  (aparatos laboratoriais + instrumentação de controle)

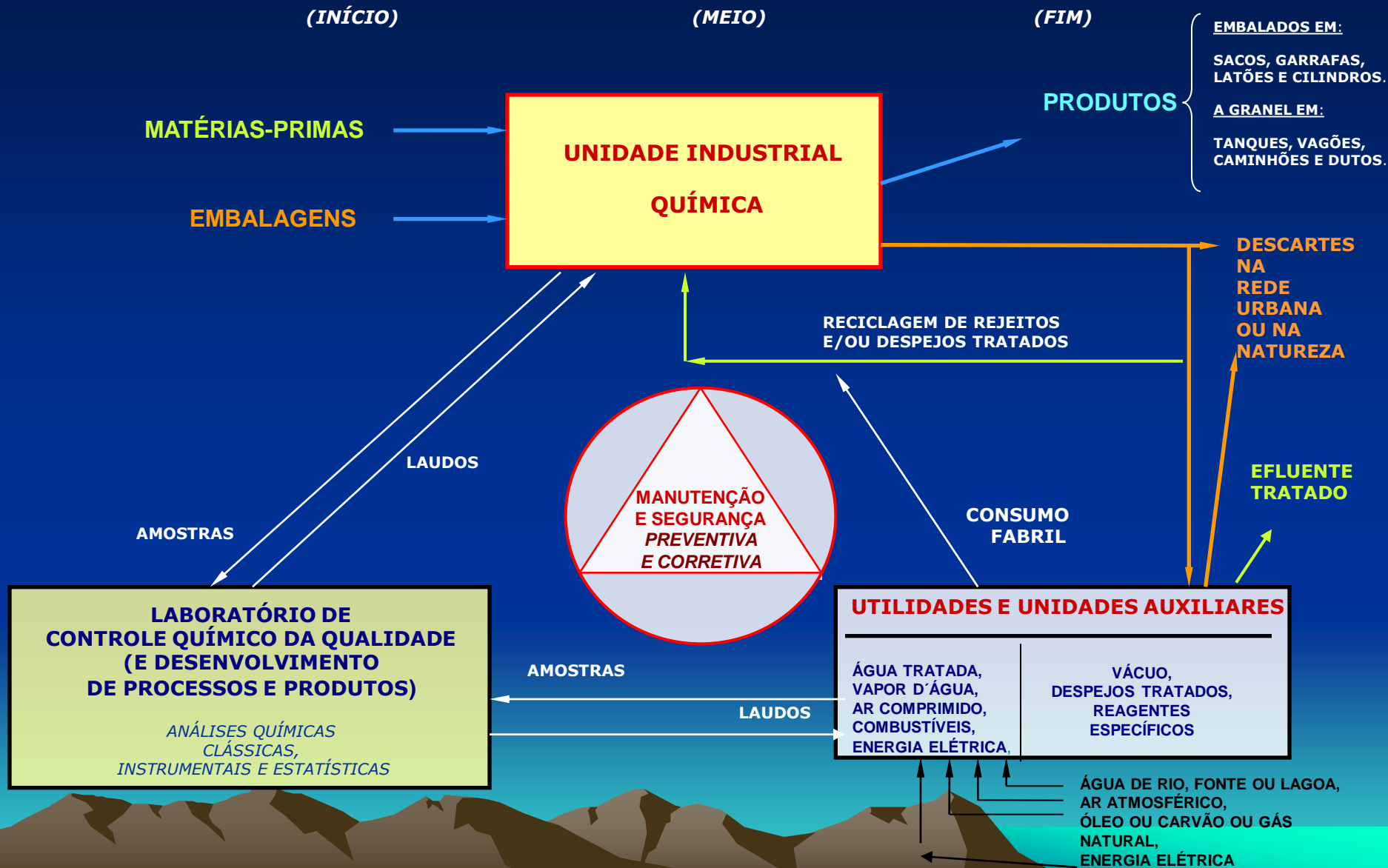
- QUALQUER MATERIAL OU INFORMAÇÃO PODE SER PROCESSADO.
- QUALQUER PROCESSO POSSUI INÍCIO, MEIO E FIM.
- ALGUNS PROCESSOS ABRANGEM ETAPAS DE RECICLAGEM OU RECICLO.
- QUALQUER PROCESSO UTILIZA INSTRUMENTAÇÃO DE CONTROLE  
MANUAL E/OU AUTOMATIZADA NA SUA OPERAÇÃO.

# COMPONENTES DE UM PROCESSO QUÍMICO INDUSTRIAL



**TRATAMENTOS =  $\Sigma$  (PROCESSOS FÍSICOS INDUSTRIAIS OU OPERAÇÕES UNITÁRIAS) +  $\Sigma$  (PROCESSOS DE CONVERSÕES QUÍMICAS - UNITÁRIOS OU COMPLEXOS)**

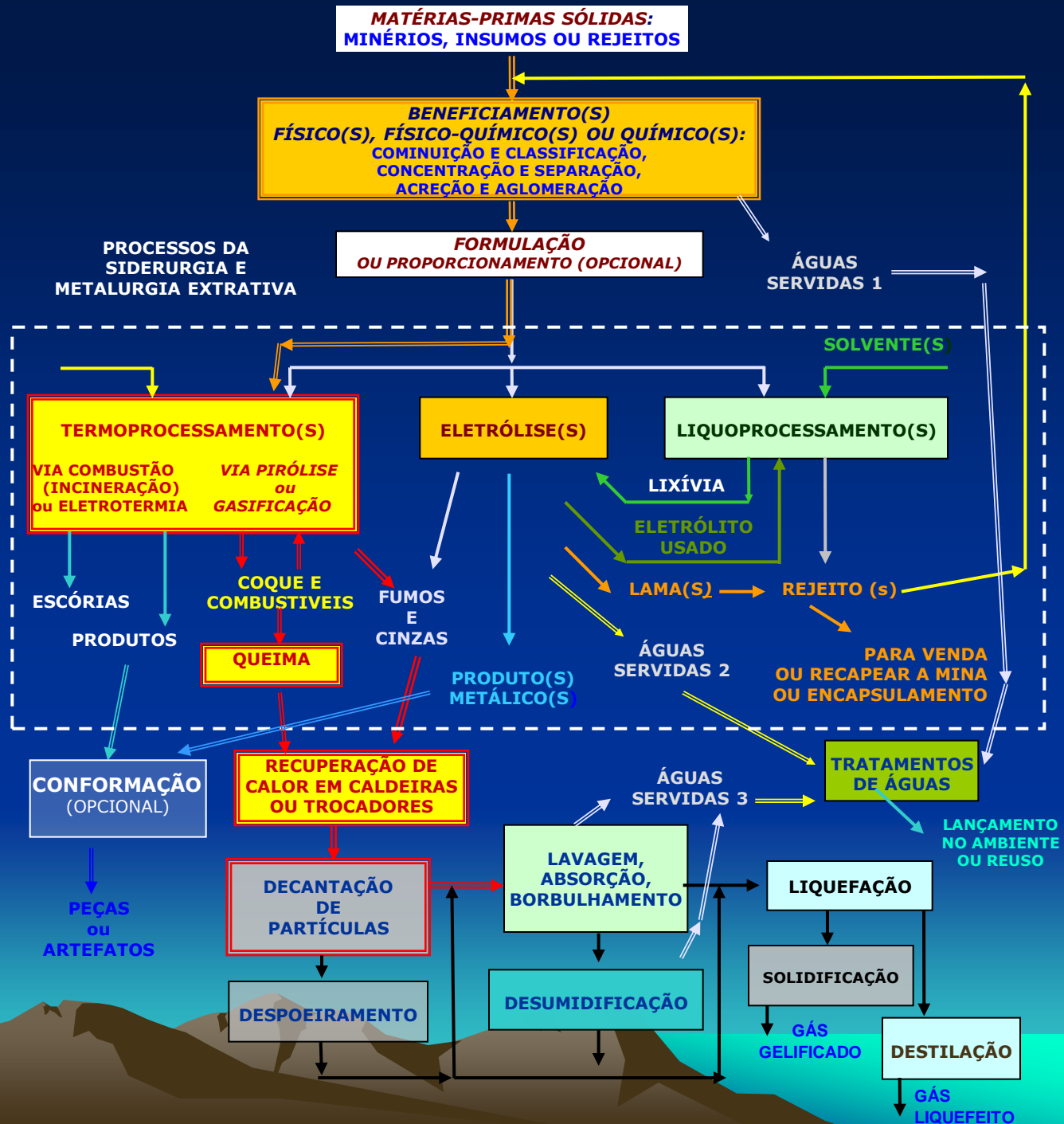
# ESTRUTURA OPERACIONAL DE UMA INDÚSTRIA QUÍMICA



# CONTROLE QUÍMICO E FÍSICO DA QUALIDADE PARA UMA UNIDADE DE PROCESSO INDUSTRIAL OU DE UTILIDADES



**TRATAMENTOS GERAIS DE MINÉRIOS LÍQUIDOS, E GASES PARA FINS INDUSTRIAIS E AMBIENTAIS**



# **INDÚSTRIAS QUÍMICAS CONSUMIDORAS DE MINERAIS E COMBUSTÍVEIS**

(adaptado de Shreve e Brink, Jr., 1980)

## **SEGMENTOS INDUSTRIAIS INORGÂNICOS**

- ÁGUAS
- SAL
- AGLOMERANTES MINERAIS E PEDRAS NATURAIS
- ÁLCALIS E CLORO
- GASES INDUSTRIAIS
- MATERIAIS CERÂMICOS TRADICIONAIS
- CERÂMICA DE ALTA TECNOLOGIA OU AVANÇADA
- VIDROS
- CARVÃO E DERIVADOS
- PRODUTOS METALÚRGICOS E SIDERÚRGICOS
- FERTILIZANTES, SEUS SUB-PRODUTOS E INSUMOS
- ELETROLÍTICAS
- ELETROTÉRMICAS
- PIGMENTOS
- FÍLERES OU CARGAS INORGÂNICOS
- RETARDANTES DE FOGO PARA MADEIRAS E SIMILARES

# SEGMENTOS INDUSTRIAIS ORGÂNICOS

(adaptado de Shreve e Brink, Jr., 1980)

- PRODUTOS CARBOQUÍMICOS
- EXPLORAÇÃO E REFINO DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E SIMILARES
- INDÚSTRIAS PETROQUÍMICAS
- FÍLERES E CARGAS ORGÂNICOS
- INTERMEDIÁRIOS DAS INDÚSTRIAS DE PROCESSOS ORGÂNICOS E CORANTES
- BORRACHAS
- RESINAS E PLÁSTICOS (CONFORMADOS E NÃO-CONFORMADOS)
- FIBRAS E DE PELÍCULAS SINTÉTICAS
- PRODUTOS DE ACABAMENTO E TINGIMENTO DE TEXTEIS
- DERIVADOS QUÍMICOS DA MADEIRA
- CELULOSE E PAPEL
- COUROS SINTÉTICOS
  
- PERFUMES
- AROMATIZANTES
- ADITIVOS ALIMENTARES
- INSUMOS AGROPECUÁRIOS
- ÁLCOOIS GRAXOS E ÁCIDOS GRAXOS PARA DETERGENTES, SABÕES E OUTROS FINS
- ARTIGOS DE LAVANDERIA (TENSIOATIVOS): DETERGENTES OU EMULSIFICADORES
- SABÕES E SUB-PRODUTOS
- CARBOIDRATOS: AÇÚCAR
- AMIDO E CORRELATOS

# SEGMENTOS INDUSTRIAIS DE ALIMENTOS, PRODUTOS DE FERMENTAÇÃO E FÁRMACOS

(adaptado de Shreve e Brink, Jr., 1980)

- ALIMENTOS
  - COUROS, PELES E OSSOS; GELATINAS, ADESIVOS E SUBPRODUTOS ANIMAIS
  - PRODUTOS DA AÇÃO FERMENTATIVA DE LEVEDURAS, BACTÉRIAS E FUNGOS
- ALIMENTARES*
- |                              |                |
|------------------------------|----------------|
| <i>PRODUTOS INDUSTRIAIS:</i> | <i>INSUMOS</i> |
|                              | <i>ENZIMAS</i> |
- PRODUTOS FARMACÊUTICOS (ANTIBIÓTICOS)*
- FÁRMACOS
- ANALGÉSICOS E ANTIPIRÉTICOS*  
*ANTIBACTERIANOS (ANTISSÉPTICOS)*  
*ANTIBIÓTICOS (ANTIMICROBICIDAS)*  
*ANTIISTAMÍNICOS*  
*DROGAS CARDIOVASCULARES*  
*ESTIMULANTES DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL*  
*DROGAS DERMATOLÓGICAS E DIURÉTICOS*



## **SEGMENTOS INDUSTRIAIS QUÍMICOS MISTOS, HETEROGÊNEOS OU COMPÓSITOS**

**(adaptado de Shreve e Brink, Jr., 1980)**

- ARMAS DE GUERRA QUÍMICA OU AGENTES QUÍMICOS TÓXICOS)**
- PIROTÉCNICOS. FÓSFOROS**
- PROPELENTES LÍQUIDOS E SÓLIDOS**
- EXPLOSIVOS MILITARES**
- EXPLOSIVOS INDUSTRIAIS**
- INSUMOS E PRODUTOS FOTOGRÁFICOS**
- INSUMOS E PRODUTOS DE (FOTO)COPIAGEM**
- TINTAS E CORRELATOS**
- AGROQUÍMICOS**
- GELATINAS E ADESIVOS VEGETAIS**

# UTILIDADES NAS INDÚSTRIAS (QUÍMICAS)

## ORIGENS DA ÁGUA (OU DO VAPOR)

(\*) FONTE NATURAL

(\*\*) TRATADA EM ESTAÇÃO INDUSTRIAL  
OU SISTEMA LOCAL

(\*\*\*) TRATADA EM ESTAÇÃO ESTADUAL  
OU MUNICIPAL

\*\*\*\* AS SIDERÚRGICAS INCLUEM  
ALGUMAS UNIDADES DE GASES  
INDUSTRIAIS NAS SUAS UTILIDADES.

## PRODUTOS OPCIONAIS

## APLICAÇÕES

1. **ÁGUA DE PROCESSO**

REAÇÕES QUÍMICAS (\*\*)  
LIMPEZA (\*\*)  
EXTRAÇÃO (\*\*)  
DISSOLUÇÃO (\*\*)  
RECICLADA (\*\*)

2. **ÁGUA DE CALDEIRA** (\*\*)

BAIXA, MÉDIA E ALTA PRESSÃO

3. **ÁGUA POTÁVEL E DE SERVIÇO**

CONSUMO HUMANO E ANIMAL (\*)  
USO SANITÁRIO (\*\*\*)  
LIMPEZA DE AMBIENTES (\*\*\*)

4. **ÁGUA PARA TORRE DE RESFRIAMENTO  
(E REFRIGERAÇÃO)**

ATENDIMENTO DE PROCESSO INDUSTRIAL (\*\*)  
CONDENSADORES EVAPORATIVOS (\*\*)  
SALMOURAS (\*\*)  
SISTEMAS DE AR CONDICIONADO  
OU MERCADO CONFORTO (\*\*)

5. **VAPOR D'ÁGUA**

PROCESSO QUÍMICO (\*\*)  
AQUECIMENTO (\*\*)  
TURBINAS A VAPOR (\*\*)

6. **AR COMPRIMIDO**

"DE SERVIÇO" EM LIMPEZA E AÇÕES MECÂNICAS  
DESUMIDIFICADO PARA CONTROLE PNEUMÁTICO

7. **VÁCUO**

OPERAÇÕES UNITÁRIAS  
INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE

8. **GASES INDUSTRIAIS** (\*\*\*\*)

**N<sub>2</sub> LÍQUIDO (CRIOGÊNICO)**

CONGELAR ALIMENTOS, SANGUE, PERECÍVEIS,  
ÁGUA EM TÚNEIS NOS SOLOS MACIOS E ÚMIDOS  
INERTIZAÇÃO CONTRA FOGO E EXPLOÇÃO  
ACIARIA, SOLDAGEM, COMBUSTÃO,  
TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS  
SOLDAGEM

**O<sub>2</sub> LÍQUIDO (CRIOGÊNICO)**

ACIARIA, CORTE E SOLDAGEM  
REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL E DE ALIMENTOS  
GASEIFICAÇÃO DE BEBIDAS

**ACETILENO**

**ARGÔNIO**

**CO<sub>2</sub> SÓLIDO OU LIQUEFEITO**

9. **COMBUSTÍVEIS**

QUEIMA EM CALDEIRAS E FORNOS  
MOTORES INDUSTRIAIS E VEÍCULOS

10. **ENERGIA ELÉTRICA**

COR. ALTERNADA EM MOTORES E APARELHOS,  
SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO E ELETRÔNICOS  
COR. CONTÍNUA EM MOTORES E APARELHOS,  
CÉLULAS ELETROQUÍMICAS

# USINAS TERMOELÉTRICAS CONSUMIDORAS DE COMBUSTÍVEIS NATURAIS OU RESIDUAIS

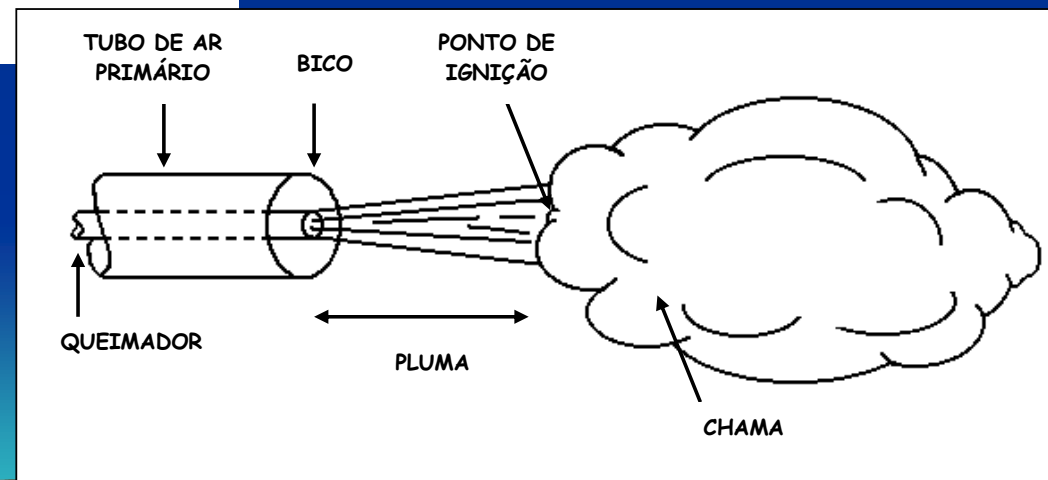
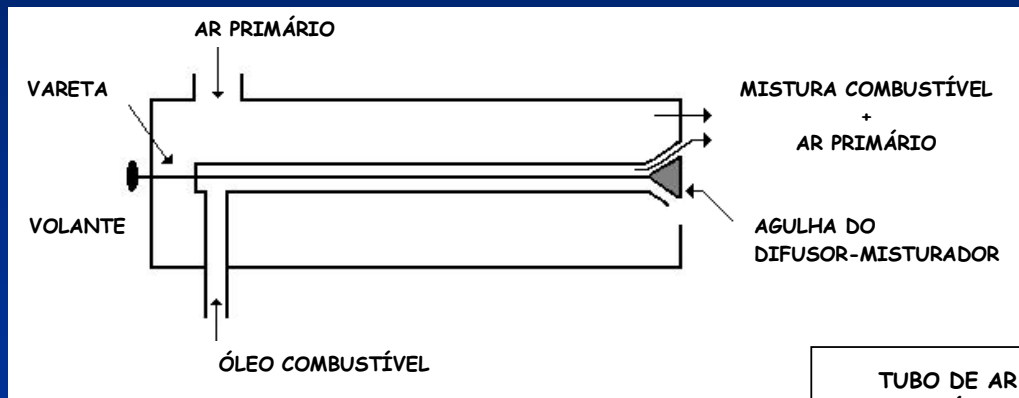
- **UTE de Carvão**
  - **UTE de (Petr)óleo**
  - **UTE de Gás natural**
  - **UTE de lixo ou resíduos sólidos municipais ou agropecuários**
- 
- **A combustão de carvão, óleo e gás natural demanda queimadores específicos com alimentação contínua de cada combustível .**
  - **As usinas incineradoras de resíduos consomem combustíveis fósseis, pelo menos, para iniciar o processo de combustão.**
  - **As usinas nucleares consomem combustíveis nucleares e sua concepção difere das termoelétricas mencionadas.**



# ESQUEMA DE UM QUEIMADOR GENÉRICO PARA ÓLEO, GÁS NATURAL OU CARVÃO MOÍDO

(adaptado de <http://www.eletrosul.gov.br/casa/img4.htm>)

- Uma usina termelétrica a óleo substitui carvão por diesel ou óleo pesado, bombeado diretamente do tanque de armazenagem para os queimadores da caldeira.
- Um processo análogo é usado para gás natural.



## PROCESSOS

## BÁSICOS

DE

## QUEIMA

DE

## COMBUSTÍVEIS

## INDUSTRIAIS

GÁS COMBUSTÍVEL

+ AR  
+ FAÍSCA

QUEIMA

RÁPIDA

GASES DA COMBUSTÃO  
OU  
EMISSIONES GASOSAS  
OU  
FUMOS  
QUENTES

LÍQUIDO  
COMBUSTÍVEL

ATOMIZAÇÃO  
ou  
VAPORIZAÇÃO

NÉVOA OU  
VAPORES  
+ AR  
+ FAÍSCA

QUEIMA  
RÁPIDA

EMISSIONES  
GASOSAS  
QUENTES

SÓLIDO  
COMBUSTÍVEL

MOAGEM  
OU  
PULVERIZAÇÃO

AQUECIMENTO

UMIDADE  
+  
VOLÁTEIS  
+ AR  
+ CALOR

QUEIMA  
RÁPIDA

CARBONO FIXO  
+ CINZAS

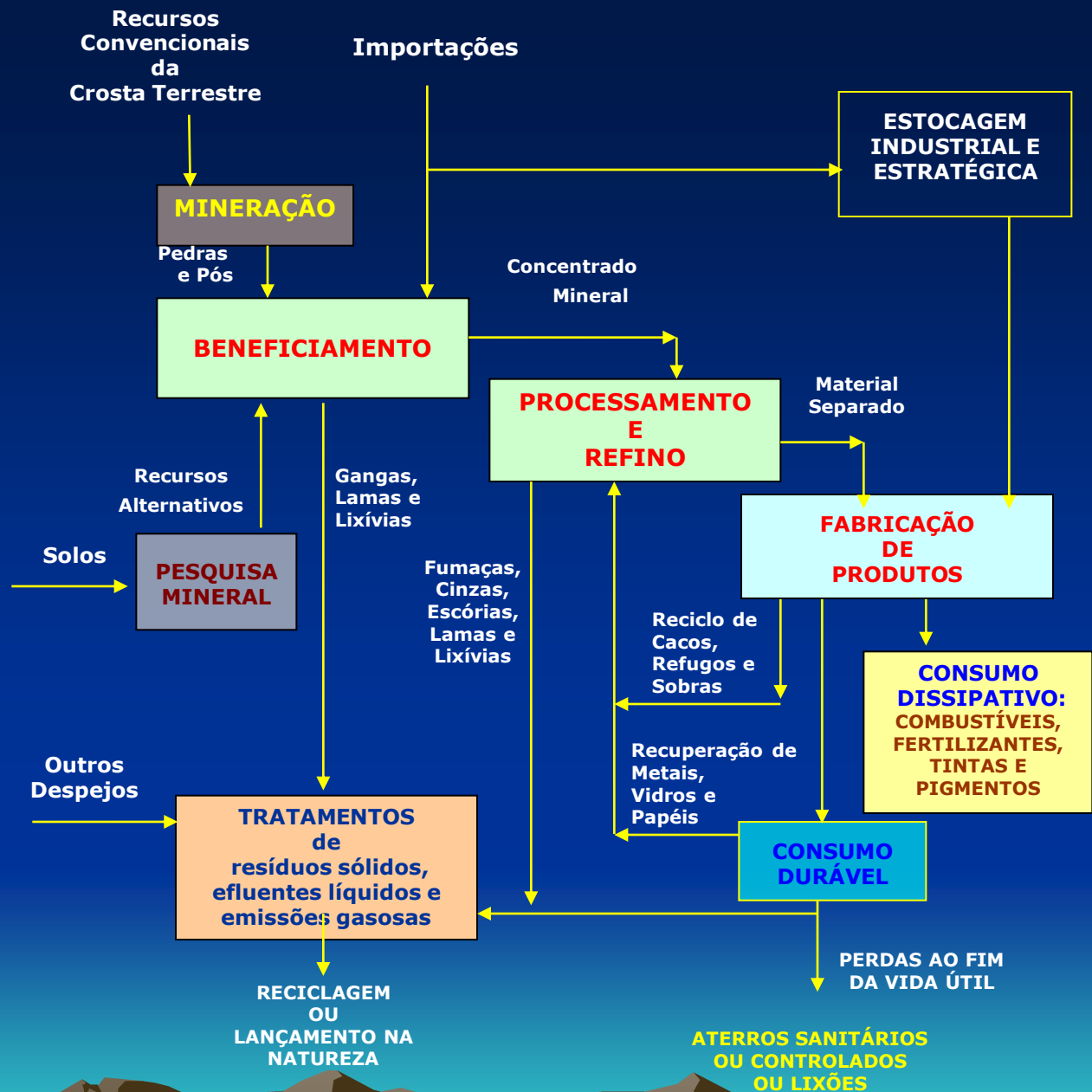
+ AR  
+ CALOR

QUEIMA  
LENTA

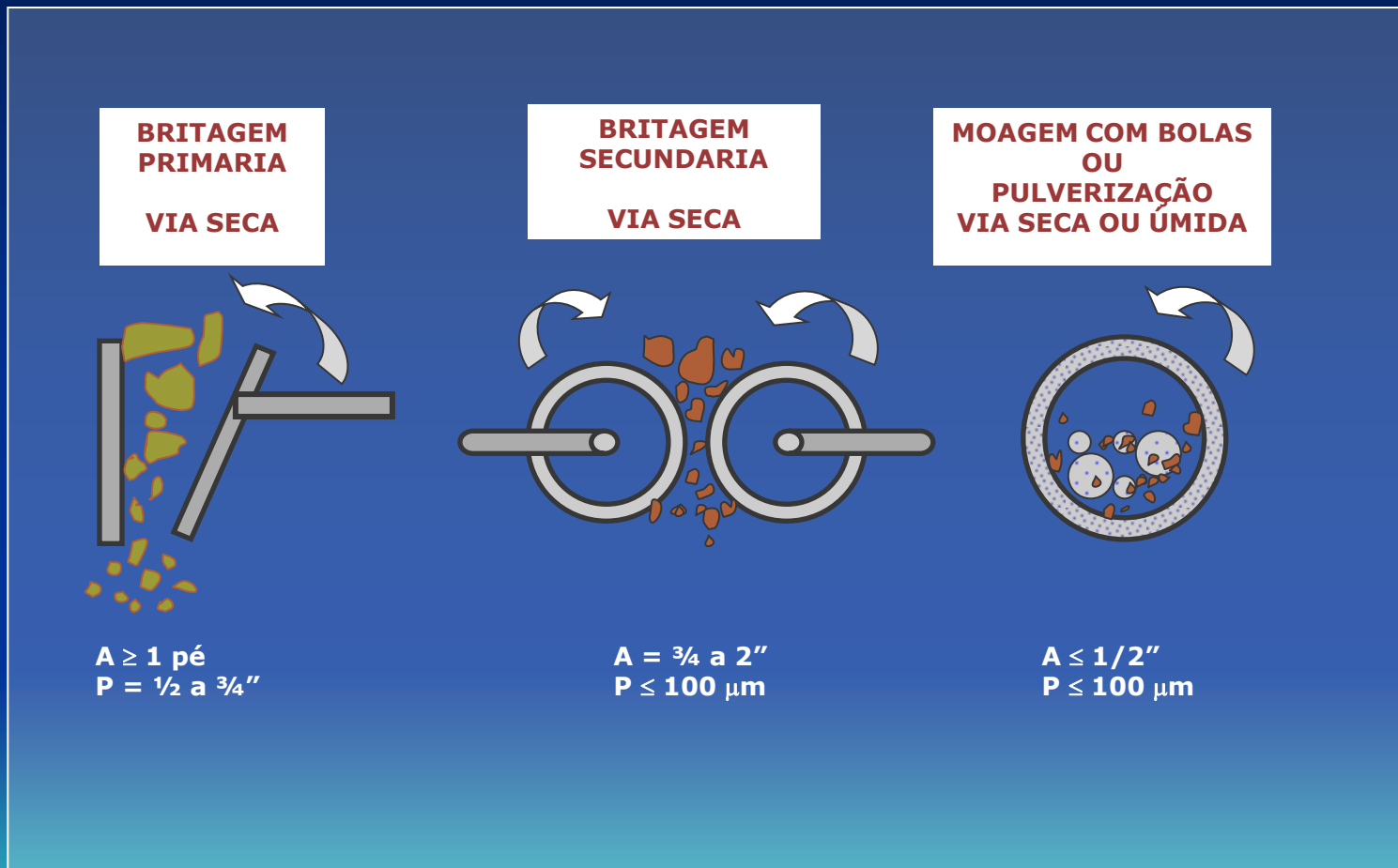
EMISSIONES  
GASOSAS  
QUENTES



# CICLOS E RECICLOS TECNOLÓGICOS DE MATERIAIS INORGÂNICOS



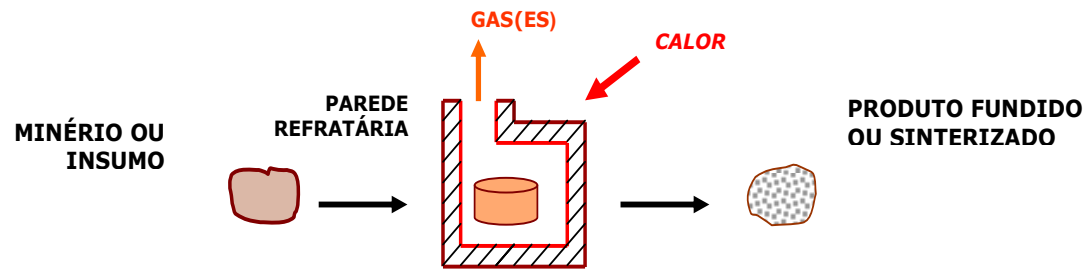
# PROCESSOS USUAIS PARA REDUÇÃO DE TAMANHOS DE MINÉRIOS



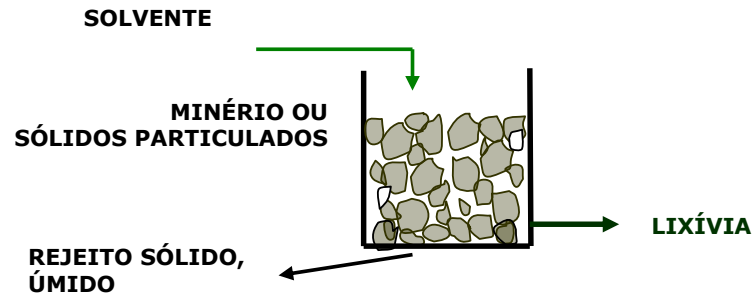
# AMBIENTES DE CONVERSÃO QUÍMICA PARA SÓLIDOS E MINÉRIOS

\* Uma estufa ou secador, estático ou rotativo, possui características construtivas similares a de um reator termoquímico, sendo, geralmente, construído para secar ou desidratar substâncias abaixo de 600 oC.

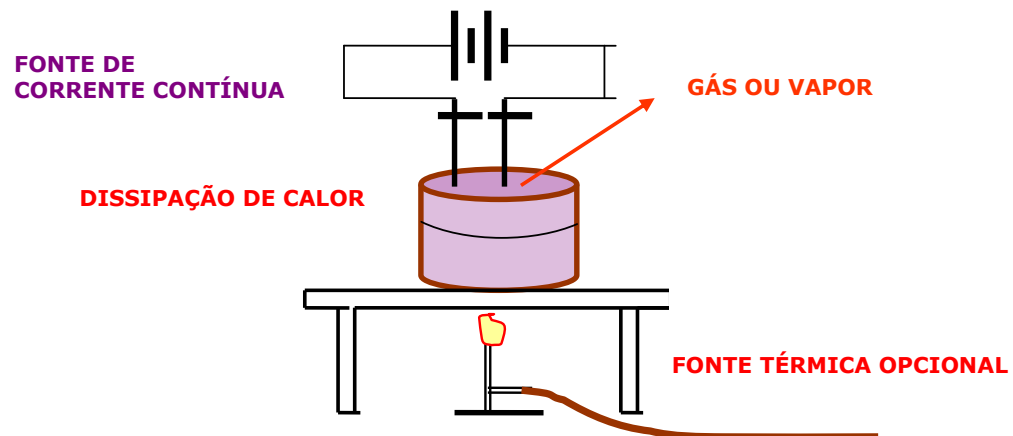
## REATOR TERMOQUÍMICO\* = FORNO OU CUBA



## REATOR HIDROQUÍMICO = TANQUE OU VASO RECHEADO

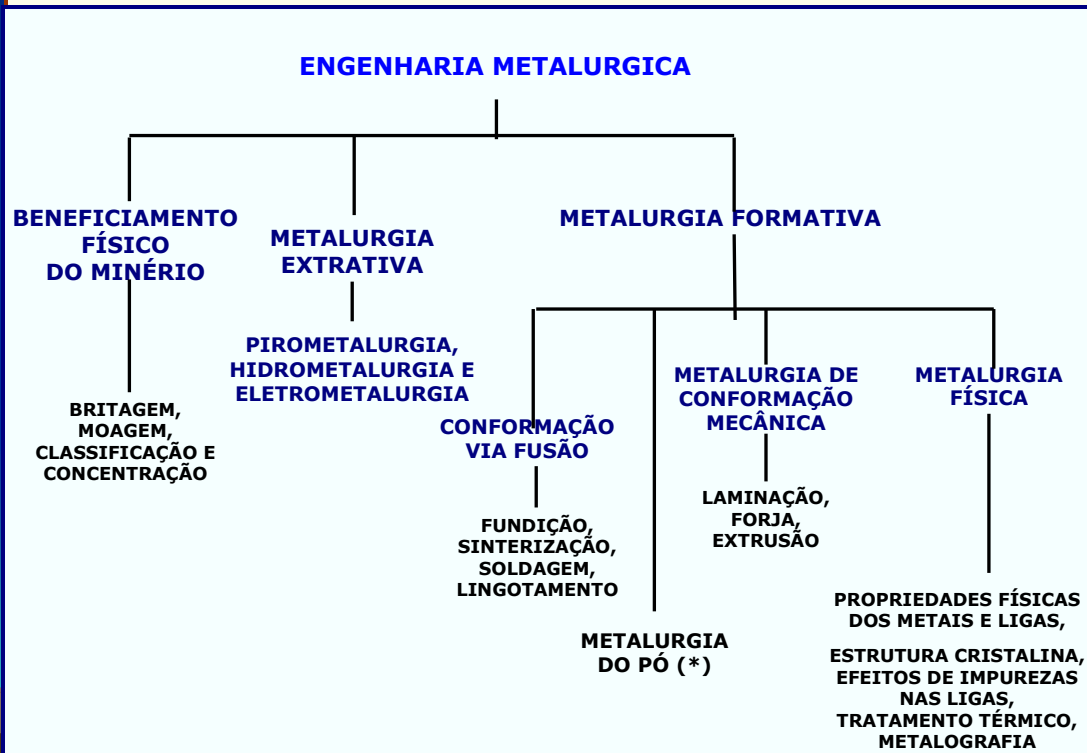
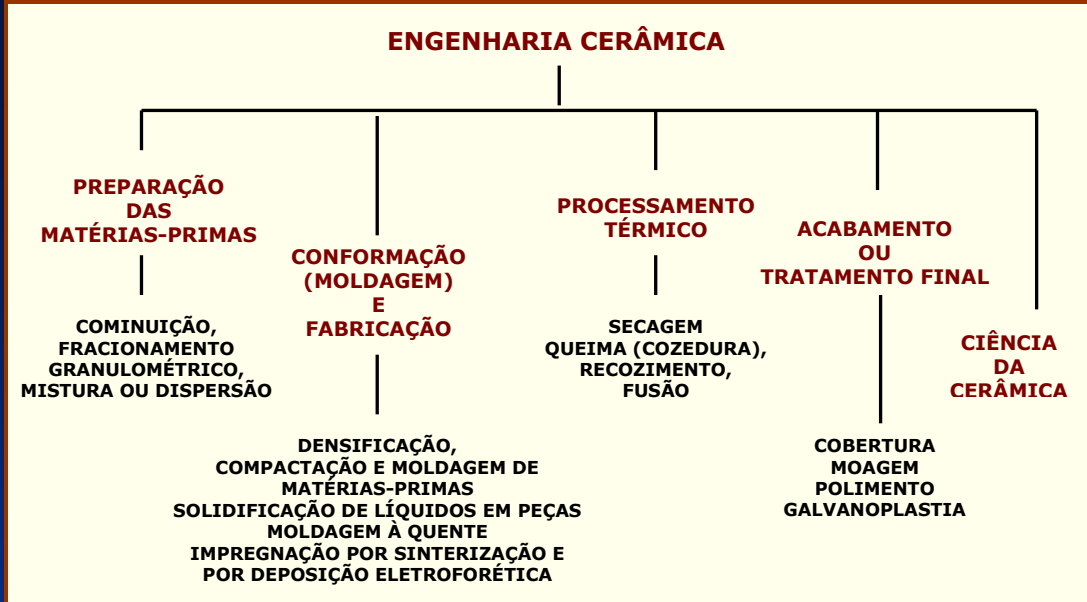


## REATOR ELETROQUÍMICO = CÉLULA ELETROLÍTICA ou CUBA ou CADINHO COM LÍQUIDO OU SAL FUNDIDO





# AS ANALOGIAS ENTRE AS ENGENHARIAS METALÚRGICA E CERÂMICA



(\*) Seus métodos são adotados na Cerâmica Fina ou Avançada.

# PROCESSOS INORGÂNICOS INDUSTRIAIS DIRETOS E INDIRETOS

## DIRETOS

- FÍSICOS – SEM REAÇÕES QUÍMICAS
- QUÍMICOS – REAÇÕES ÚNICAS OU MÚLTIPLAS NUM SÓ REATOR

## INDIRETOS

- ETAPAS QUÍMICAS DISTINTAS EM REATORES SEPARADOS
- COM AGENTE DE CONVERSÃO QUÍMICA NUM REATOR

**AGENTE DE CONVERSÃO** – É UMA MATÉRIA-PRIMA OU INSUMO QUE AJUDA A PRODUZIR UMA SUBSTÂNCIA, MAS NÃO APARECE NA SUA COMPOSIÇÃO FINAL.



# ROTAS TECNOLÓGICAS INORGÂNICAS DIRETAS

## ***A - DIRETAS – UMA OU VÁRIAS OPERAÇÕES UNITÁRIAS, SEM REAÇÕES QUÍMICAS***

**A.1 – Beneficiamento físico:**            *obtenção de britas e pó granítico*

**A.2 – Fracionamento criogênico:**    *produção de gases atmosféricos liquefeitos*

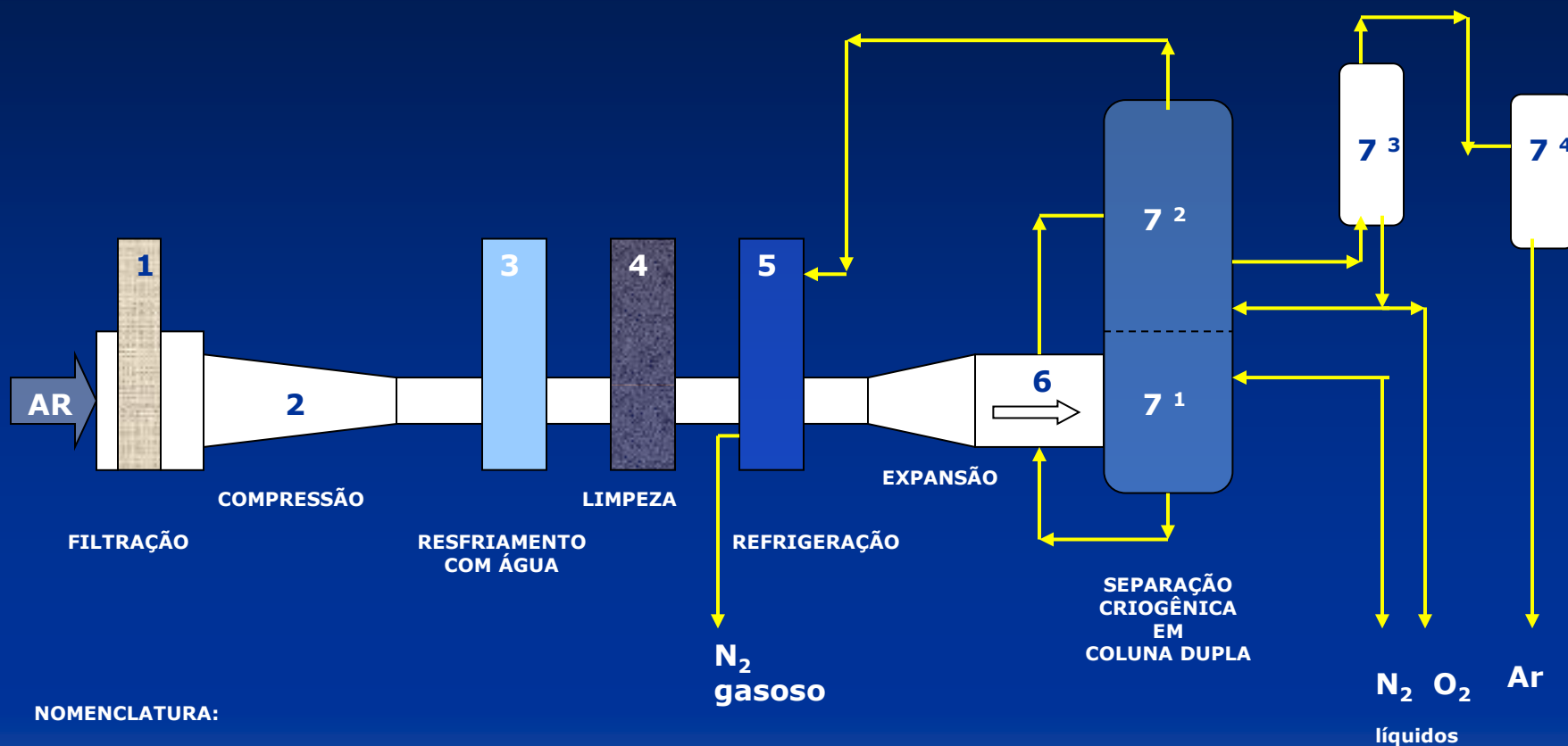
## ***B - DIRETAS - UMA OU VÁRIAS MATÉRIAS-PRIMAS REAGEM NUM SÓ REATOR:***

**B.1 – Exotérmicas:**                    **de combustão**

**B.2 – Endotérmicas:**                **produção de gesso, cal e cimento Portland**

**B.3 - Auto-sustentadas:**            **obtenção do aço a partir de ferro gusa**

# FRACIONAMENTO CRIOGÊNICO: PRODUÇÃO DE GASES LIQUEFEITOS DO AR



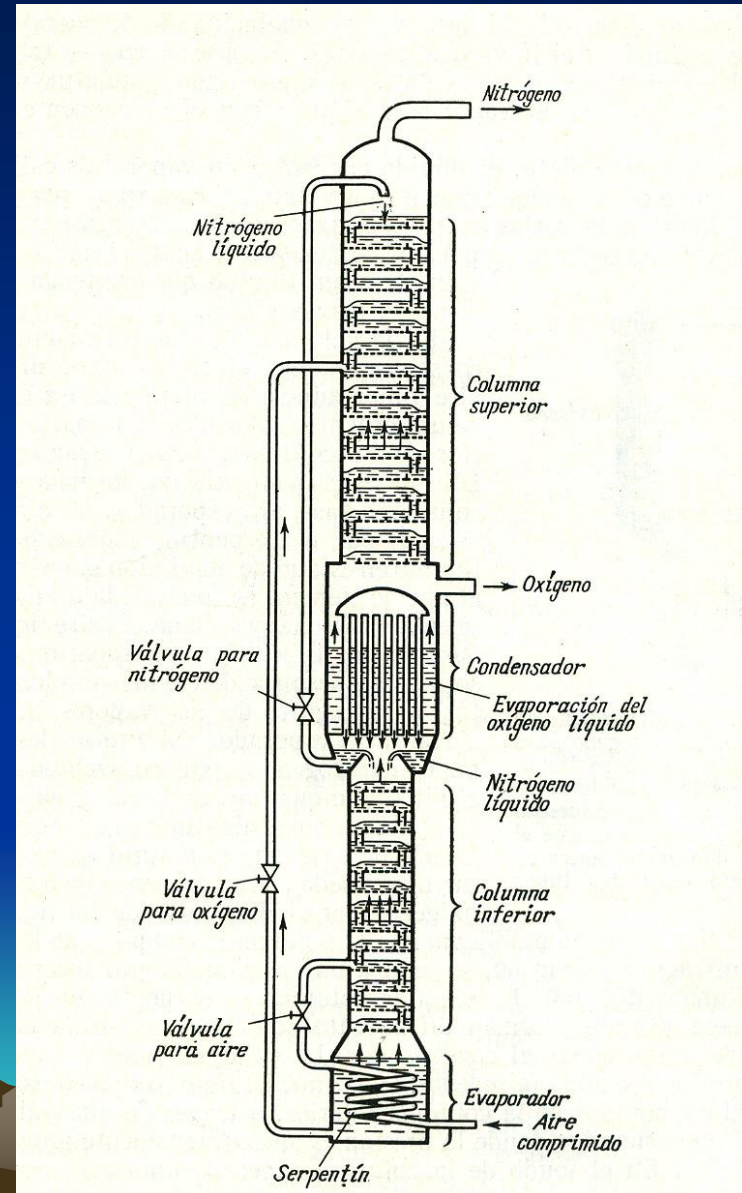
## NOMENCLATURA:

- 1 - Filtro de ar
- 2 - Compressor com resfriador intermediário
- 3 - Trocador de calor
- 4 - Coluna absorvedora de impurezas orgânicas (CO<sub>2</sub>, hidrocarbonetos e vapor d'água) contendo peneira molecular
- 5 - Refrigerador
- 6 - Máquina e válvula de expansão

- 7<sup>1</sup> - Coluna retificadora de N<sub>2</sub>
- 7<sup>2</sup> - Coluna Retificador de O<sub>2</sub>
- 7<sup>3</sup> - Coluna de Ar cru
- 7<sup>4</sup> - Coluna de Ar purificado.

(adaptado de GUEDES FILHO, E. - Gases para fins industriais, suas propriedades, seus benefícios - **Petro&gás**, no 8, págs. 18-24, julho 1987.)

# UNIDADE OU PLANTA DE FRACIONAMENTO CRIOGÊNICO DOS GASES DO AR ATMOSFÉRICO: $O_2$ , $N_2$ e Ar



# A COMBUSTÃO E SEUS POSSÍVEIS ESTÁGIOS

## REAGENTES:

AGENTE  
DE  
IGNIÇÃO  
+  
COMBUSTÍVEL  
+  
COMBURENTE

## CONVERSÕES QUÍMICAS NA QUEIMA:

Produzem temperaturas elevadas.

As reações em cadeia são muito rápidas

Vários mecanismos ainda são desconhecidos

## PRODUTOS:

CHAMA + LUZ  
+  
CALOR  
+  
EMISSÕES  
GASOSAS  
+  
CINZAS  
+  
FULIGEM

- **Oxidação** ou queima invisível
- **Ignição**
- **Queima visível** ou inflamação (ao rubro ou com chama)
- **Explosão**

COOPER, T. - **An Introduction to Mining Chemistry** - Leonard Hill Books Limited, London, 1963.

FERREIRA, C.M. - **Combustão** - in: **Curso de Informação sobre Combustíveis e Combustão** - Instituto Brasileiro de Petróleo, Rio de Janeiro, 1975.

KERN, D.Q. - **Processos de Transmissão de Calor** - Trad. Adir M. Luiz, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.

PERRY, R.H. e CHILTON, C.H. - **Manual de Engenharia Química, 5a** - Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.

# COMPONENTES DAS CHAMAS



## A chama

- É o volume espacial onde a oxidação se realiza.
- Resulta do movimento da massa incandescente.
- Pode ser luminosa ou não.

**A queima de um gás em bico de Bunsen revela:**

**um cone interno azulado débil**

– onde ocorre a ignição inicial da mistura ar-gás;

**um cone interno brilhante (reduztor)**

– onde ocorre a redução do C dos hidrocarbonetos do gás, e formação de partículas de C, que incandescem e brilham\*.

**um manto externo azulado (oxidante)**

– produz a oxidação completa do gás pelo  $O_2$  do ar.



# CRIATIVIDADE TECNOLÓGICA EM QUEIMADORES

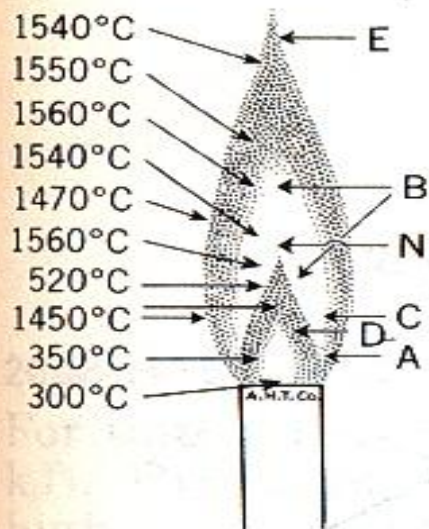


Fig. 1

**Bunsen-type Burner in use on artificial gas.**

- E. Upper oxidizing zone—strongest when air holes are open.
- B. Fusing zone.
- N. Upper reducing zone.
- C. Lower oxidizing zone.
- D. Lower reducing zone.
- A. Base—relatively low temperature.

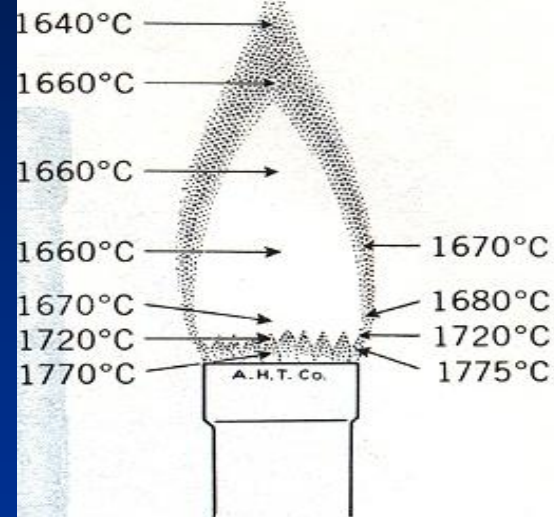


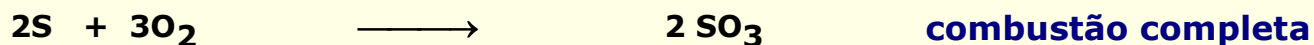
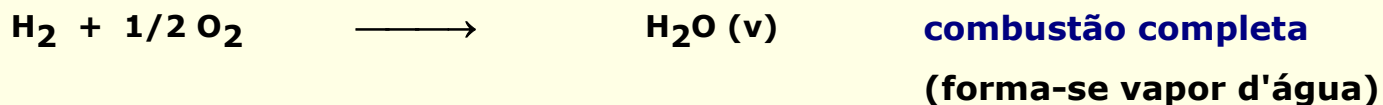
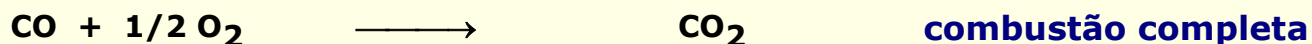
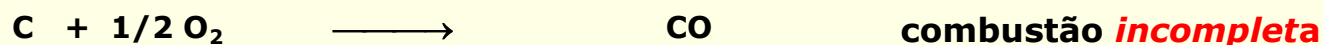
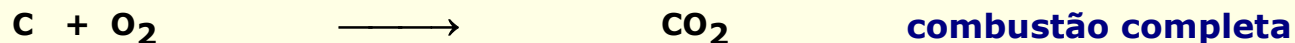
Fig. 2

**Meker-type Burner in use on artificial gas.**



# REAÇÕES QUÍMICAS CLÁSSICAS POSSÍVEIS NUMA COMBUSTÃO INDUSTRIAL

Combustível = f (C, H, S)  $\longrightarrow$  sólido ou líquido ou gasoso



# TERMODESTRUÇÃO OU CRAQUEAMENTO DE COMBUSTÍVEIS E MATERIAIS

## *Termodecomposição ou Termodestruição*

---

**DESTRUIÇÃO PARCIAL ou TERMOCONVERSÃO**

**Pirólise = decomposição na ausência de  $O_2$  ou ar**

**Gasificação = decomposição com  $O_2$  ou ar insuficiente**

**TERMODESTRUÇÃO TOTAL**

**Incineração = queima total com  $O_2$  estequiométrico ou com excesso de ar.**

**PIRÓLISE  
OU  
CARBONIZAÇÃO OU COQUEIFICAÇÃO  
DESTILAÇÃO DESTRUTIVA DE  
CARVÃO, BIOMASSA E SIMILARES**

***(INCLUSIVE INCINERAÇÃO DE LIXOS)***

CARVÃO  
ou  
XISTO  
ou  
MADEIRA  
Ou  
LIXO



**RETORTA**

OPERANDO  
COM  
AQUECIMENTO LENTO  
SEM AR

(454 A 1300°C)



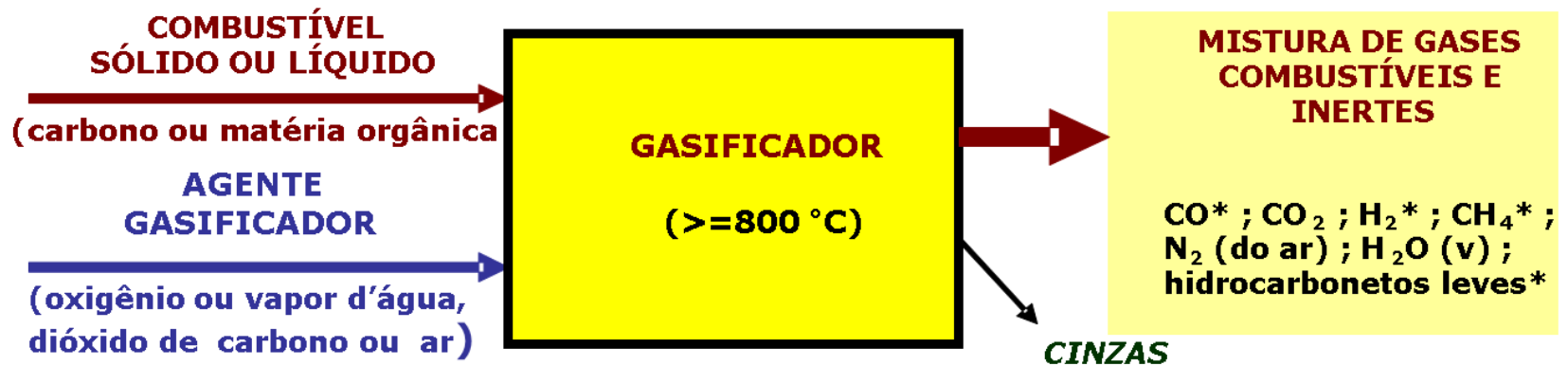
**PRODUTOS:**

**SÓLIDOS:** Coque (RICO EM C)  
e/ou CINZAS

**LÍQUIDOS:** Água, alcatrão, óleo cru leve

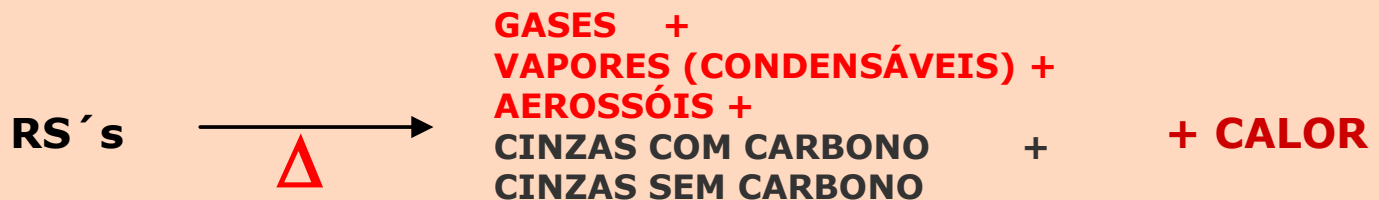
**GASOSOS:**  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  
 $CH_2=CH_2$ ,  
 $CO$ ,  $CO_2$ ,  
 $H_2S$ ,  
 $NH_3$ ,  $N_2$

# GASIFICAÇÃO DE MATERIAIS NÃO-COQUEIFICÁVEIS



Notas: O calor necessário à gaseificação provém da combustão de parte do gás combustível gerado  
\* Cada composto assinalado nos produtos gasosos é uma fração combustível gerada ou liberada

# PRODUTOS DA INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS A 1000 °C



## EM RESUMO:

**PIRÓLISE** – opera em atmosfera redutora.

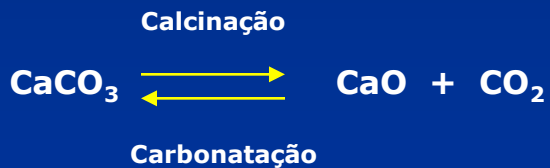
**GASIFICAÇÃO** – ocorre em ambiente redutor ou oxidante.

**INCINERAÇÃO** - opera com 40 a 100% de excesso de ar.

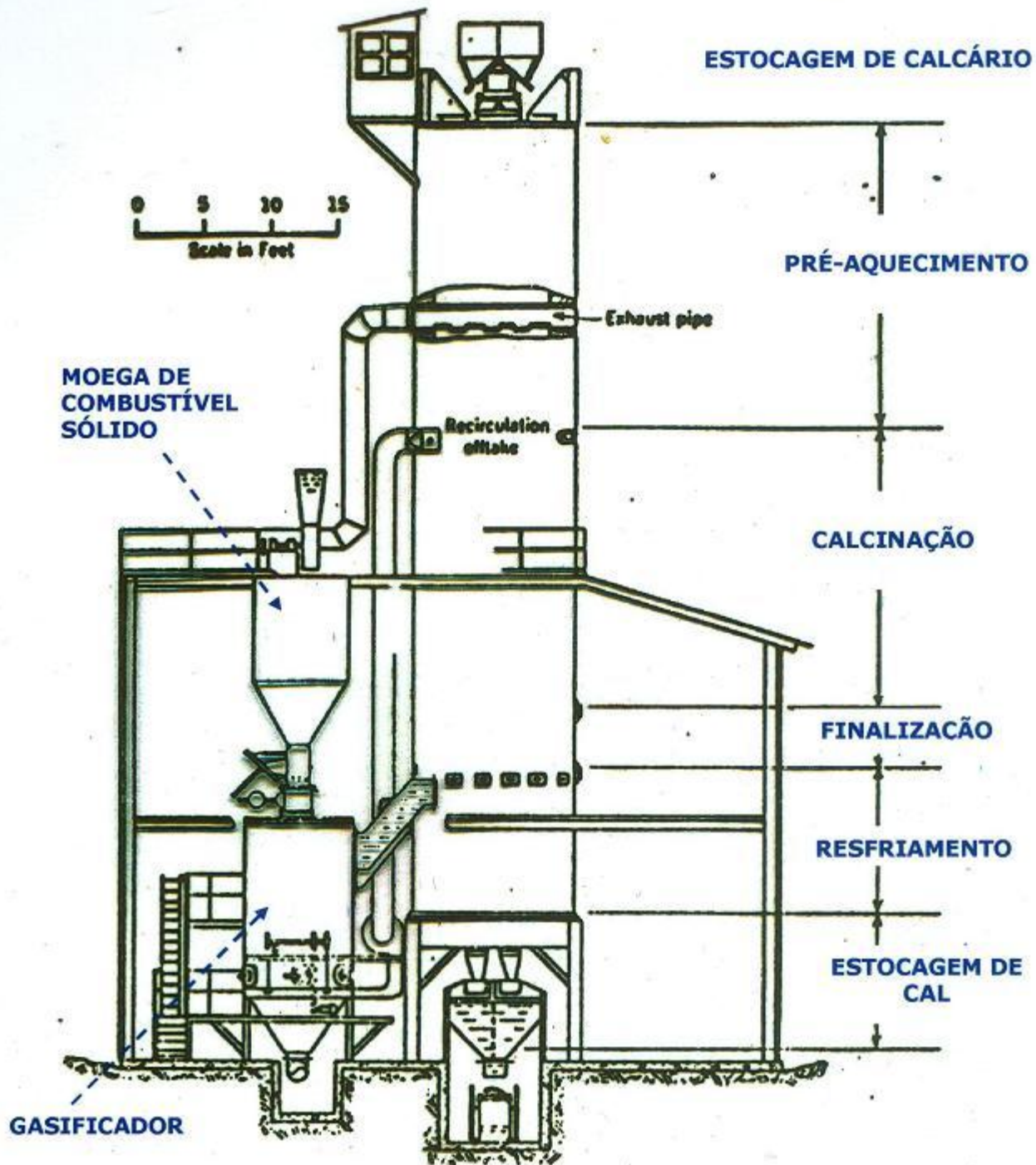
A gasificação é uma variante da pirólise que consome matérias primas não-coqueificáveis para produzir gases combustíveis e cinzas. A incineração é o caso limite da pirólise e da gasificação,

# **CALCINAÇÃO, GASIFICAÇÃO E RECICLAGEM DE CO<sub>2</sub> NA PRODUÇÃO DE CAL VIRGEM**

**FORNO AZBE DE CAL  
 COM GASIFICADOR**



Temperatura de Calcinação: 1000 - 1300°C



*As matérias primas: calcário  
argila, óxido de ferro são  
alimentadas após uniformização*

*Os materiais são submetidos a altas  
temperaturas para favorecer reações  
químicas necessárias para a formação  
do clínquer.*

*O clínquer é depois misturado e moído com gesso e  
outras adições para a produção do cimento*

**SECAGEM DA  
FARINHA  
SEGUIDA DE  
CALCINAÇÃO  
E  
CLINQUERIZAÇÃO**

**NA  
PRODUÇÃO  
DO  
CLÍNQUER  
DE  
CIMENTO  
PORTLAND:**

**COMBUSTÃO  
DE  
GÁS NATURAL  
E  
REDUÇÃO QUÍMICA  
DO MINÉRIO  
E  
GASIFICAÇÃO DO  
COQUE**

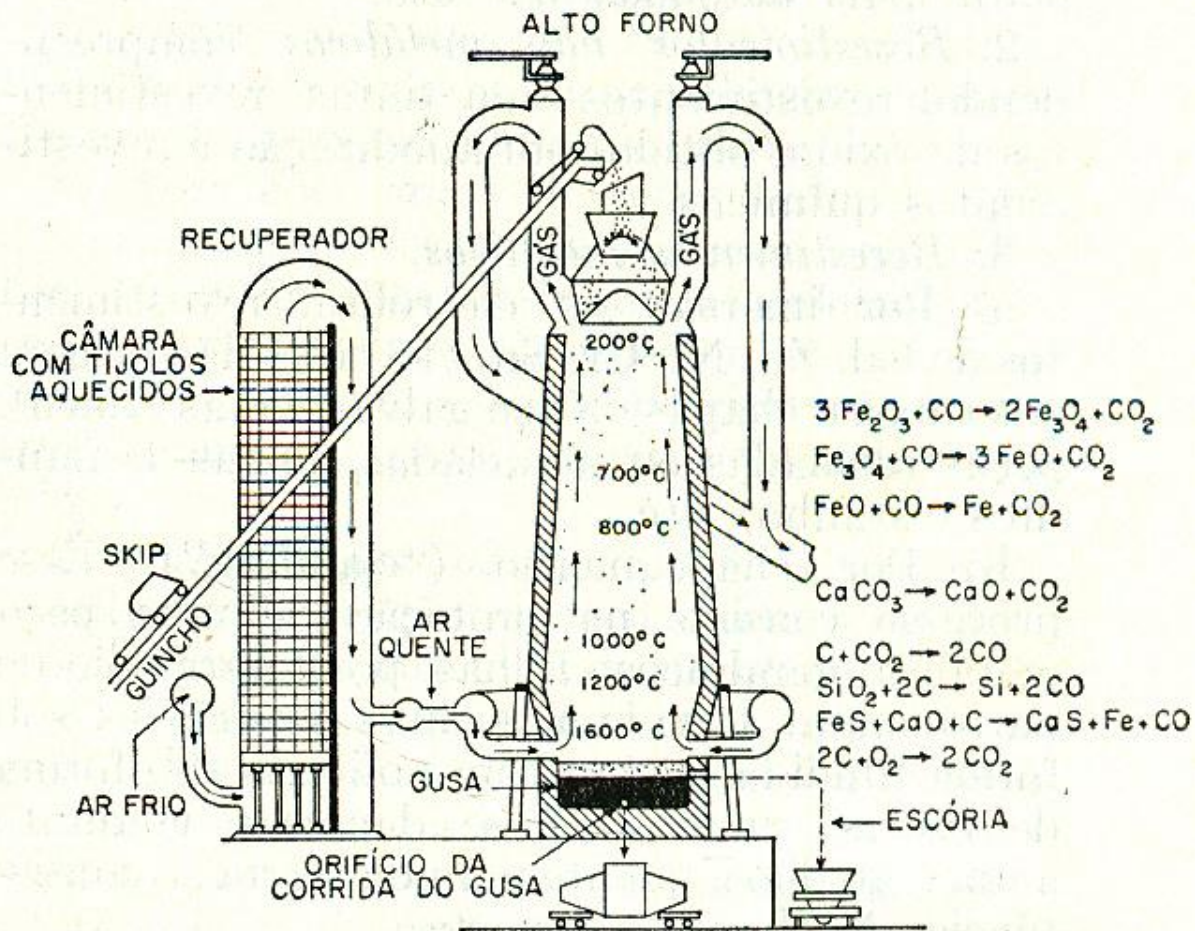
**EM  
ALTO-FORNO  
SIDERÚRGICO**

**NA  
PRODUÇÃO  
DE  
FERRO GUSA**





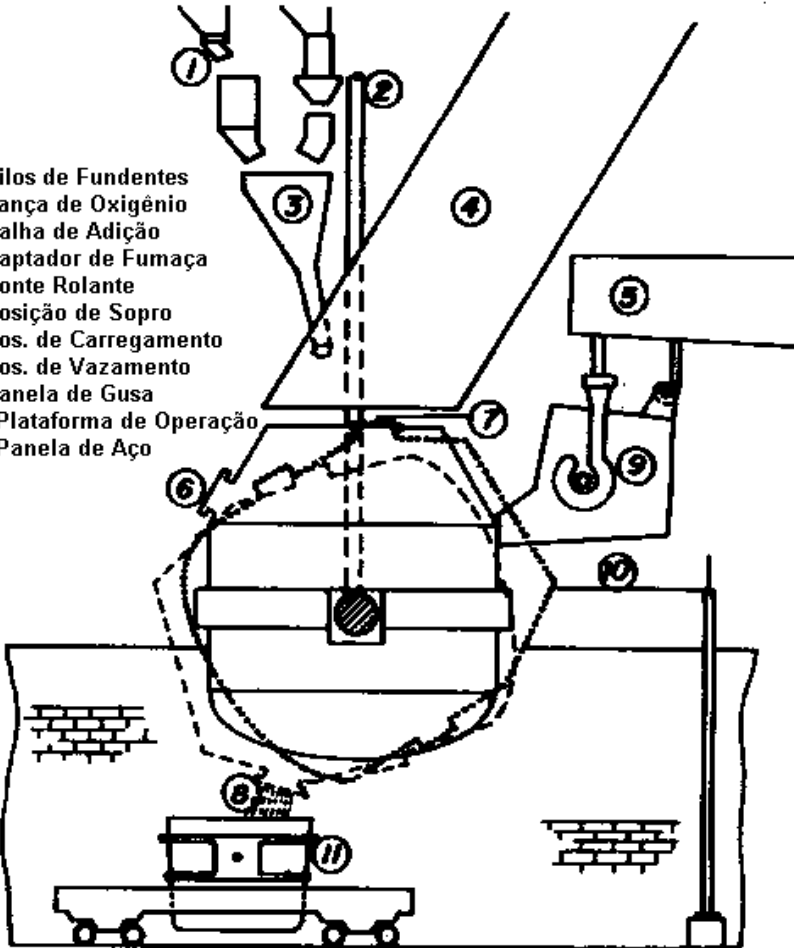
# REPRESENTAÇÃO DE UM ALTO-FORNO SIDERÚRGICO



Desenho esquemático do corte de um alto-forno com as principais reações que nêle são desenvolvidas.

# CONVERSOR LD DE ACIARIA PARA OPERAÇÃO TERMICAMENTE AUTOSUSTENTÁVEL

- 1 - Silos de Fundentes
- 2 - Lança de Oxigênio
- 3 - Calha de Adição
- 4 - Captador de Fumaça
- 5 - Ponte Rolante
- 6 - Posição de Sopros
- 7 - Pos. de Carregamento
- 8 - Pos. de Vazamento
- 9 - Panela de Gusa
- 10 - Plataforma de Operação
- 11 - Panela de Aço



# SISTEMAS E EQUIPAMENTOS ANÁLOGOS

3ª PARTE –

EQUIPAMENTOS

DE

OPERAÇÕES UNITÁRIAS

E

CONVERSÕES QUÍMICAS

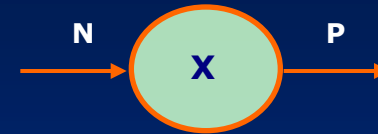
MATEMÁTICO OU FÍSICO



BF - BLOCO FUNCIONAL OU SISTEMA,  
onde ocorre uma transformação  
ou transfêrencia física

E - valor do sinal de entrada  
ou da perturbação ou do estímulo.  
S - valor de saída ou do desempenho.

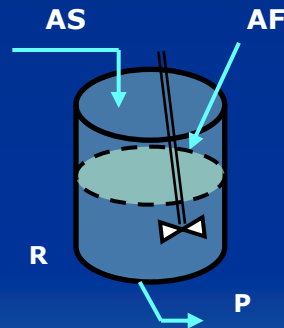
BIOLÓGICO



X - MICROORGANISMO TRANSFORMADOR.

N - nutriente.  
P - produto liberado ou excretado

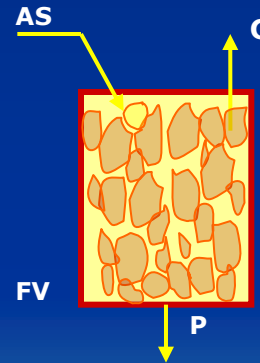
REATOR QUÍMICO  
ou BIOQUÍMICO



R - REATOR QUÍMICO EM  
AMBIENTE LÍQUIDO

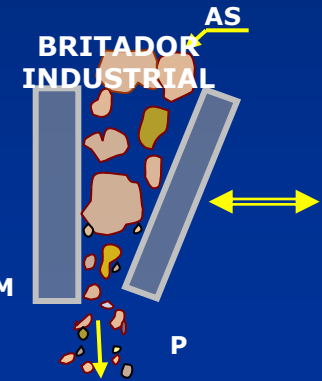
A - alimentação  
F - fluido  
S - sólido ou substrato  
P - produto removido

REATOR  
TERMOQUÍMICO



FV - FORNO VERTICAL

AS - alimentação sólida  
P - produto sólido  
ou fundido  
G - produto gasoso  
ou vaporizado



BM - BRITADOR DE MANDIBULAS

AS - alimentação de  
rochas ou artefatos  
ou britas graúdas  
P - minério ou artefato britado

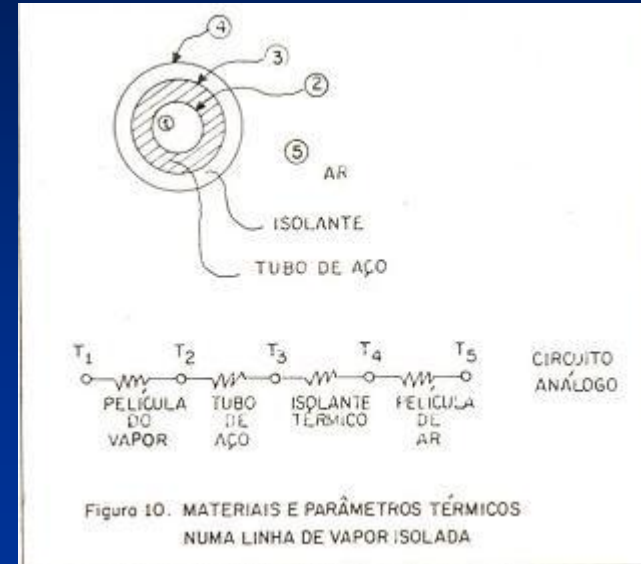
# OBJETIVOS OU FUNÇÕES DAS OPERAÇÕES UNITÁRIAS

- (a) *estocagem e escoamento de fluidos, pastas e sólidos particulados;*
- (b) *transmissão de calor entre sólidos e fluidos,*
- (c) *separação de fases por ação mecânica, magnética, eletrostática, térmica, físico-química;*
- (d) *mistura e agitação de fluidos para: dispersar uma fase ou promover reações químicas;*
- (e) *manipulação de sólidos, para reduzir ou aumentar suas dimensões*

# GRUPOS DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS SEGUNDO OS MODELOS MATEMÁTICOS\*

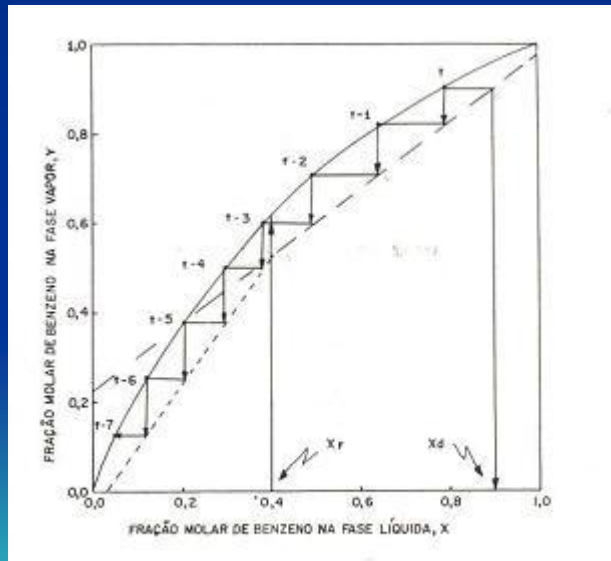
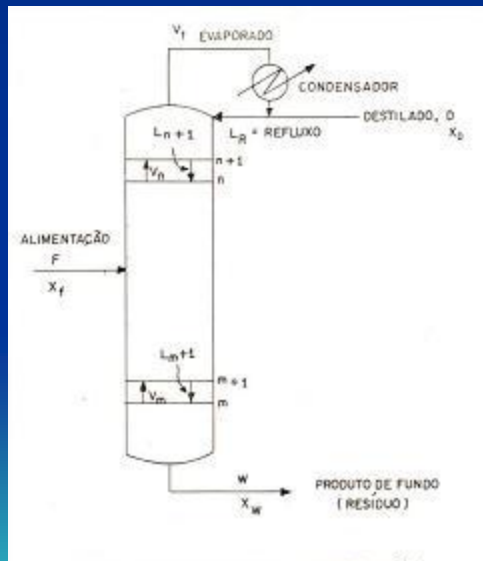
(a) operações de transporte - em regime cinético ou de velocidade de transferência:

Ex.: - transferência de calor entre dois fluidos separados;  
- transferência de calor e massa em processos de ebulição, evaporação, condensação, cristalização, umidificação e desumidificação.



(b) operações em estágios de equilíbrio ou contatos ideais:

Ex.: destilação, extração, absorção, lixiviação.



\* adaptado de Brown e colaboradores (1955) e Foust, Wenzel, Clump, Maus, Andersen (1982)

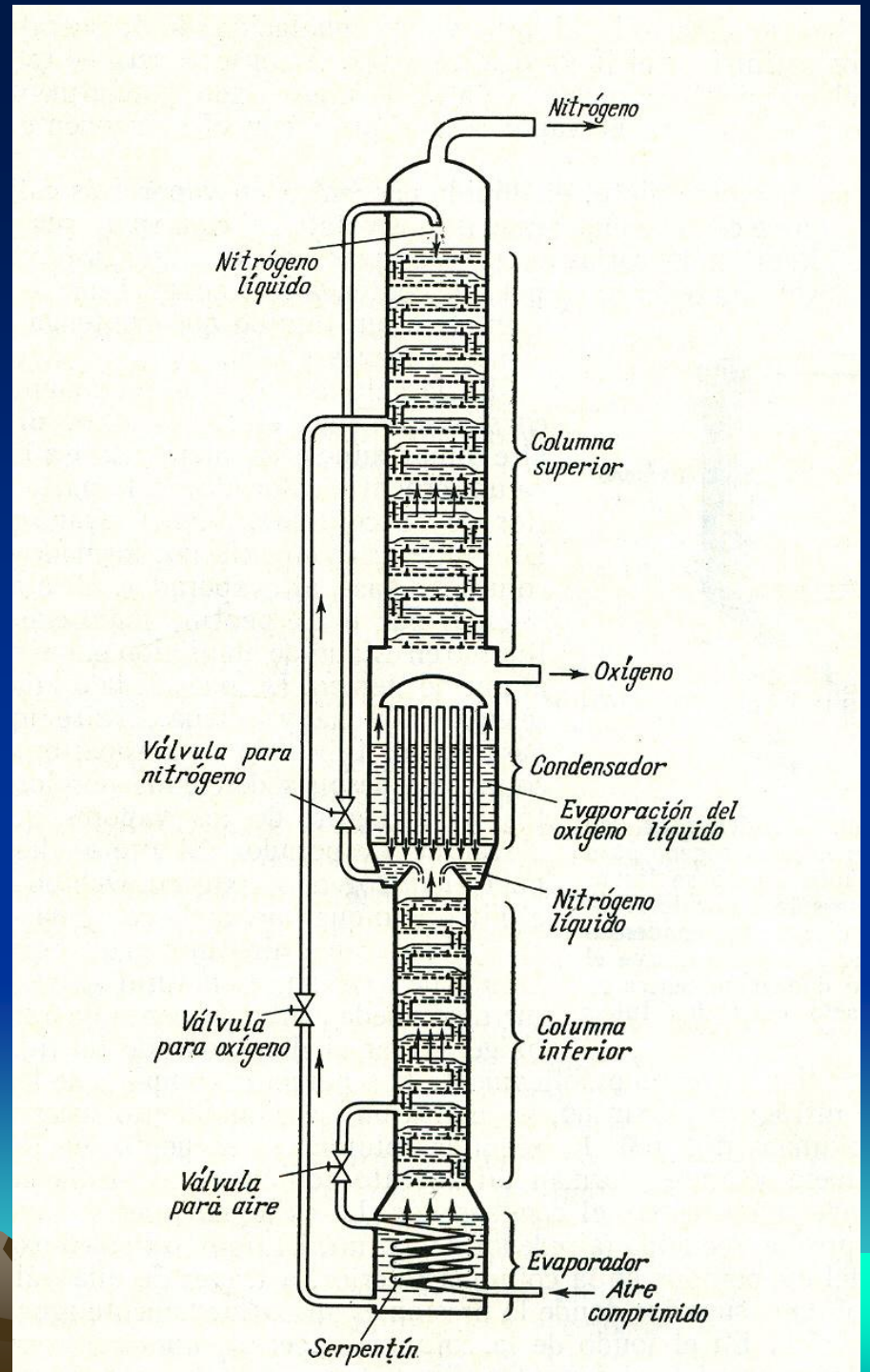
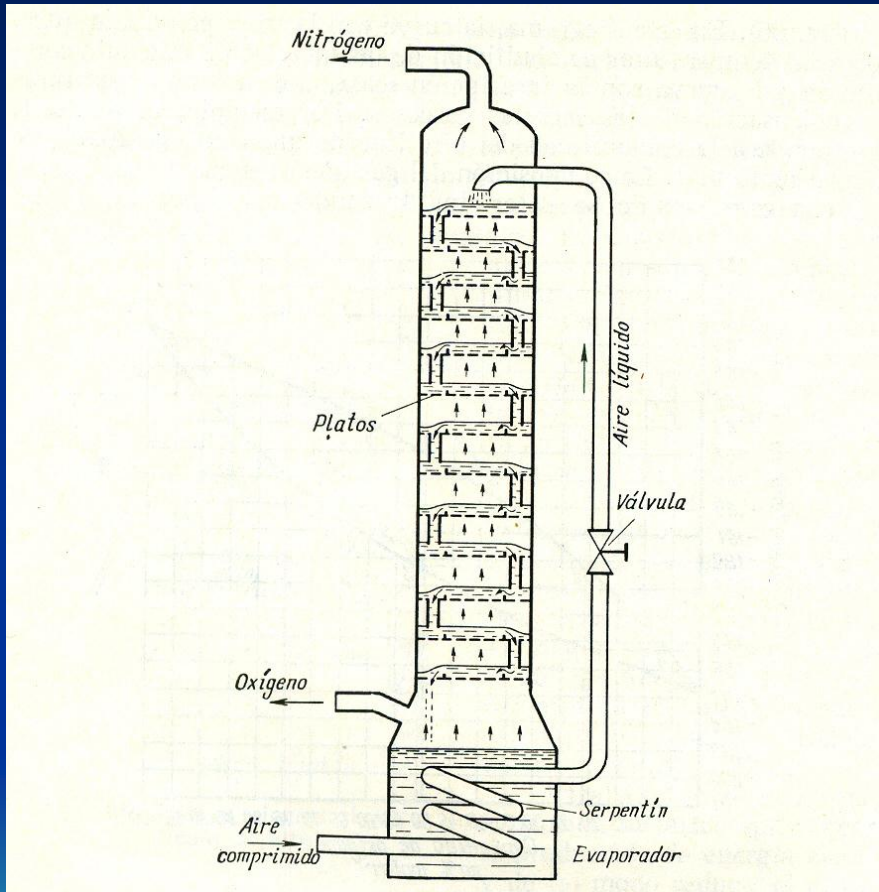
\*\* figuras extraídas de ZAKON, A. - Métodos Tentativos, Aproximativos e Iterativos na Engenharia Química, Revista Brasileira de Engenharia Química, 5 (1):11-20, março de 1981.

# Equipamentos de Operação Unitária - 1



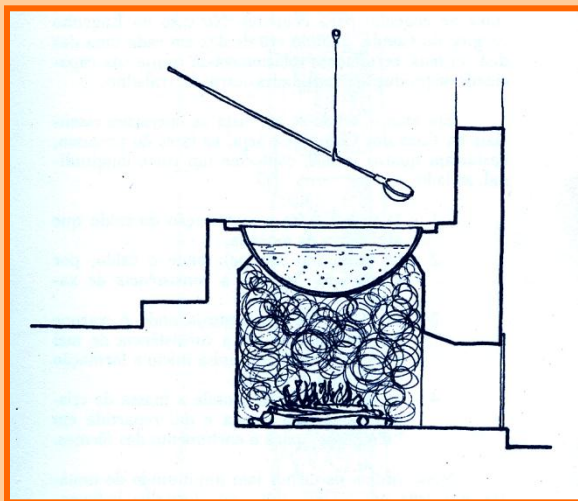
**Unidade ou Planta de  
Fracionamento  
Criogênico  
dos  
Gases do Ar  
Atmosférico:  
*O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> e Ar***

# SEPARAÇÃO CRIOGÊNICA DOS GASES DO AR ATMOSFÉRICO EM COLUNAS SIMPLES E DUPLA



# CALDEIRAS NO BRASIL COLONIAL

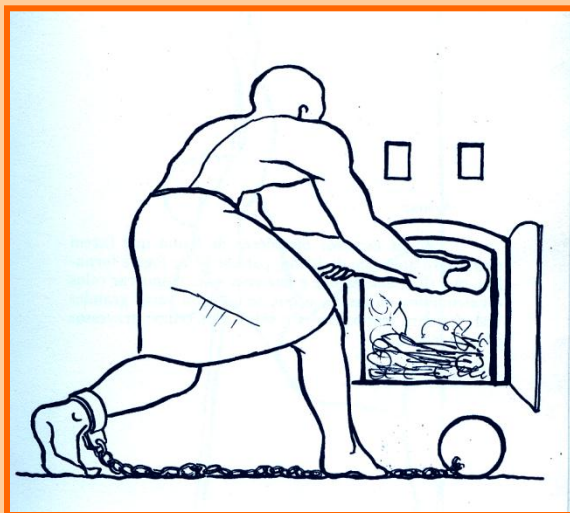
**CASA  
DOS  
COBRES  
OU  
CALDEIRAS**



**CASA  
DAS  
FORNALHAS**



**METEDOR  
DE  
LENHA**

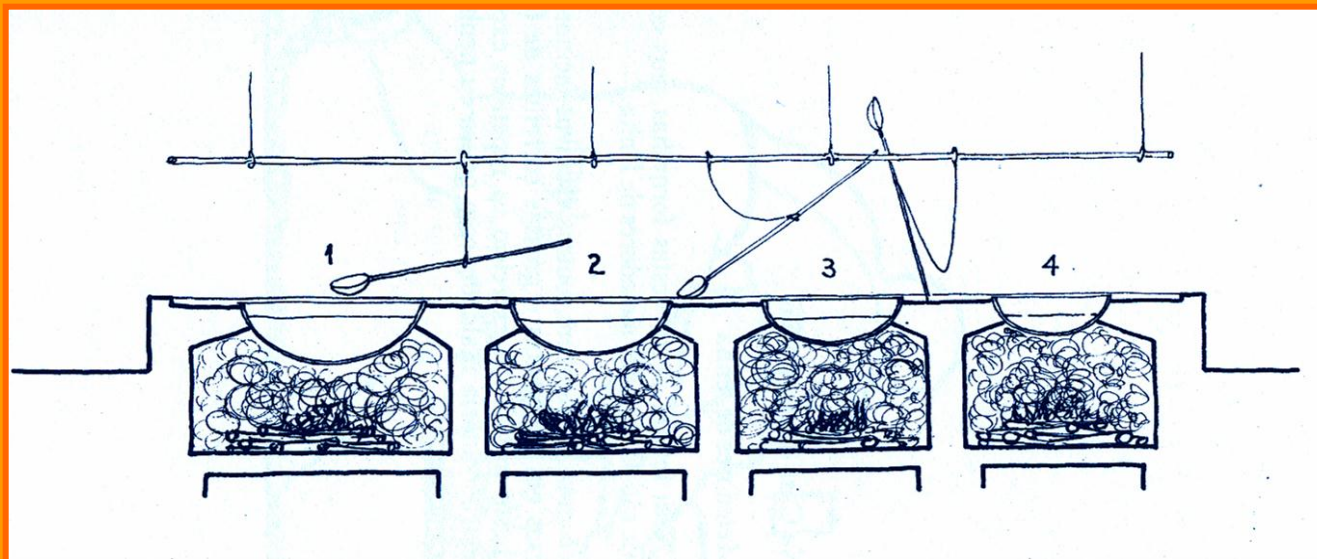


ERA NECESSÁRIO EMPURRAR TORAS  
E EXTENDÊ-LAS NO LASTRO  
USANDO TRASFOGUEIROS  
(VARAS GRANDES)  
E SOBRE ELAS CRUZAR TRAVESSOS E  
LENHA MIÚDA PARA FAZER O PRIMEIRO  
APARELHO DA LENHA



# TERNO DE ASSENTAMENTO DE CALDO DE CANA COZIDO

## EVAPORAÇÃO A MÚLTIPLO EFEITO



**1º TACHO (PURIFICADOR)** – RECEBE O CALDO E RETIRA A SUA “IMUNDÍCIE” (“CACHAÇA”).

**2º TACHO (DO XAROPE)** – PARA EVAPORAR O CALDO E AUMENTAR A VISCOSIDADE.

**3º TACHO (DE COZIMENTO)** – PARA CONCENTRAR O XAROPE ATÉ OBTER O MEL E INICIAR A CRISTALIZAÇÃO DO AÇÚCAR.

**4º TACHO (DE BATER)** – PARA MISTURAR A MASSA DE CRISTAIS E MEL E REPARTÍ-LO EM “TÊMPERAS”