



**CRIATIVIDADE TECNOLÓGICA  
NA  
ENGENHARIA DE PROCESSOS INORGÂNICOS**

**ABRAHAM ZAKON**

**Prof. Associado  
Eng<sup>o</sup> Químico, M. Sc., D. Eng.**

**Laboratório de Cimentos e Cerâmicos  
Departamento de Processos Inorgânicos  
Escola de Química - Centro de Tecnologia  
Universidade Federal do Rio de Janeiro**

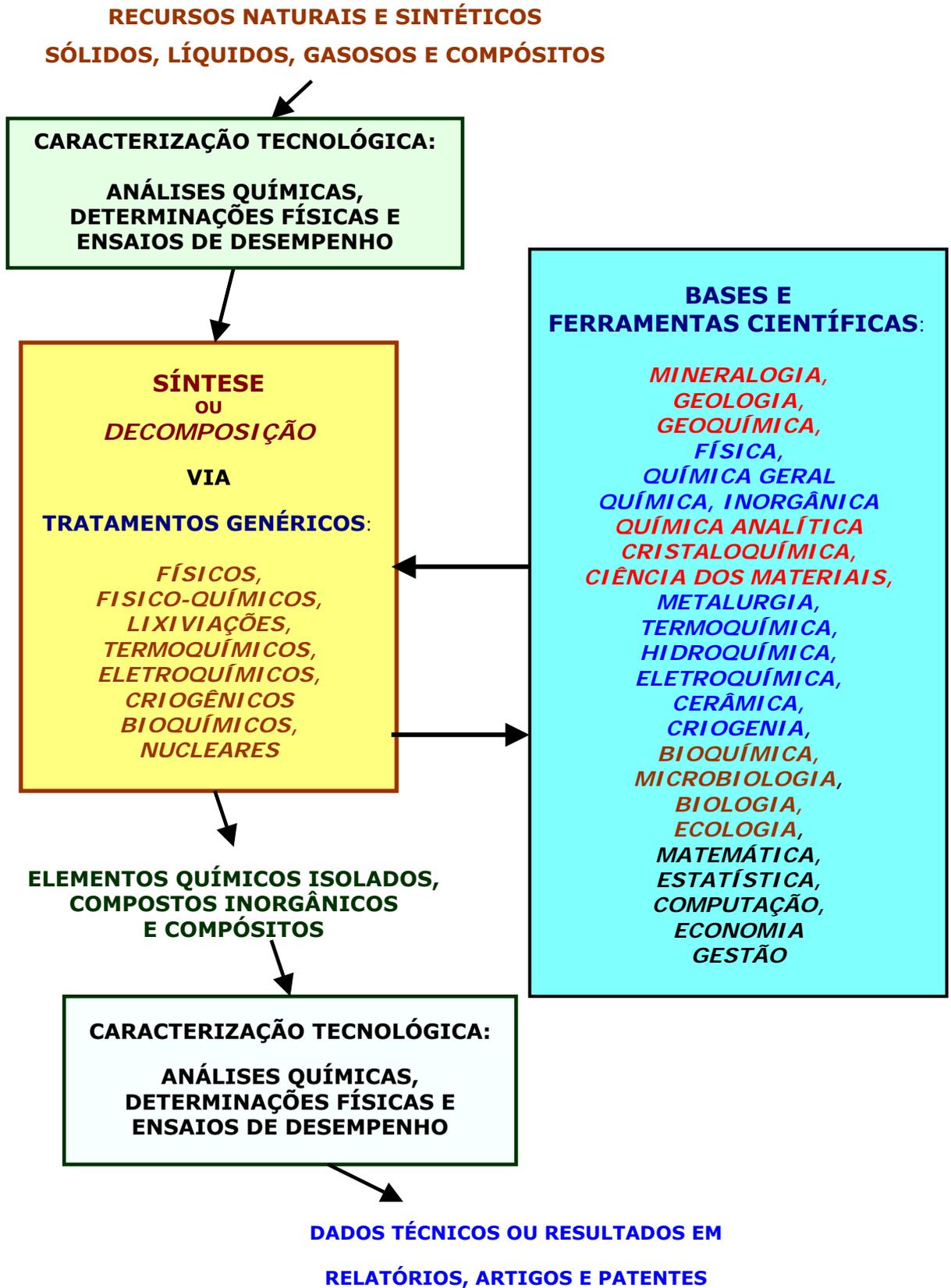


**Arequipa - Outubro de 2008**

**PARTE 1.3**

**AS ENGENHARIAS DE PROCESSOS INORGÂNICOS**

## O ÂMBITO DA ENGENHARIA DE PROCESSOS INORGÂNICOS



**PROCESSOS QUÍMICOS INORGÂNICOS  
PARA  
EXTRAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO  
DE  
RECURSOS NATURAIS E MANUFATURADOS**

**A PRINCIPAL FONTE DE MATÉRIAS-PRIMAS  
DAS TECNOLOGIAS INORGÂNICAS**

**É A NATUREZA:**

**SOLOS, RIOS, MARES, LAGOS, OCEANOS, NUVENS E AR.**

**NATURAIS  
OU  
ESPONTÂNEOS**

**Resultam de  
fenômenos e efeitos**

**geoquímicos,  
biológicos e  
bioquímicos**

**cuja investigação  
científica  
pode inspirar sua  
exploração a  
serviço da  
Humanidade.**

**INDÚSTRIAS  
DE EXTRAÇÃO,  
CONVERSÃO E TRANSFORMAÇÃO**

**Produzem  
reagentes químicos e  
materiais de engenharia**

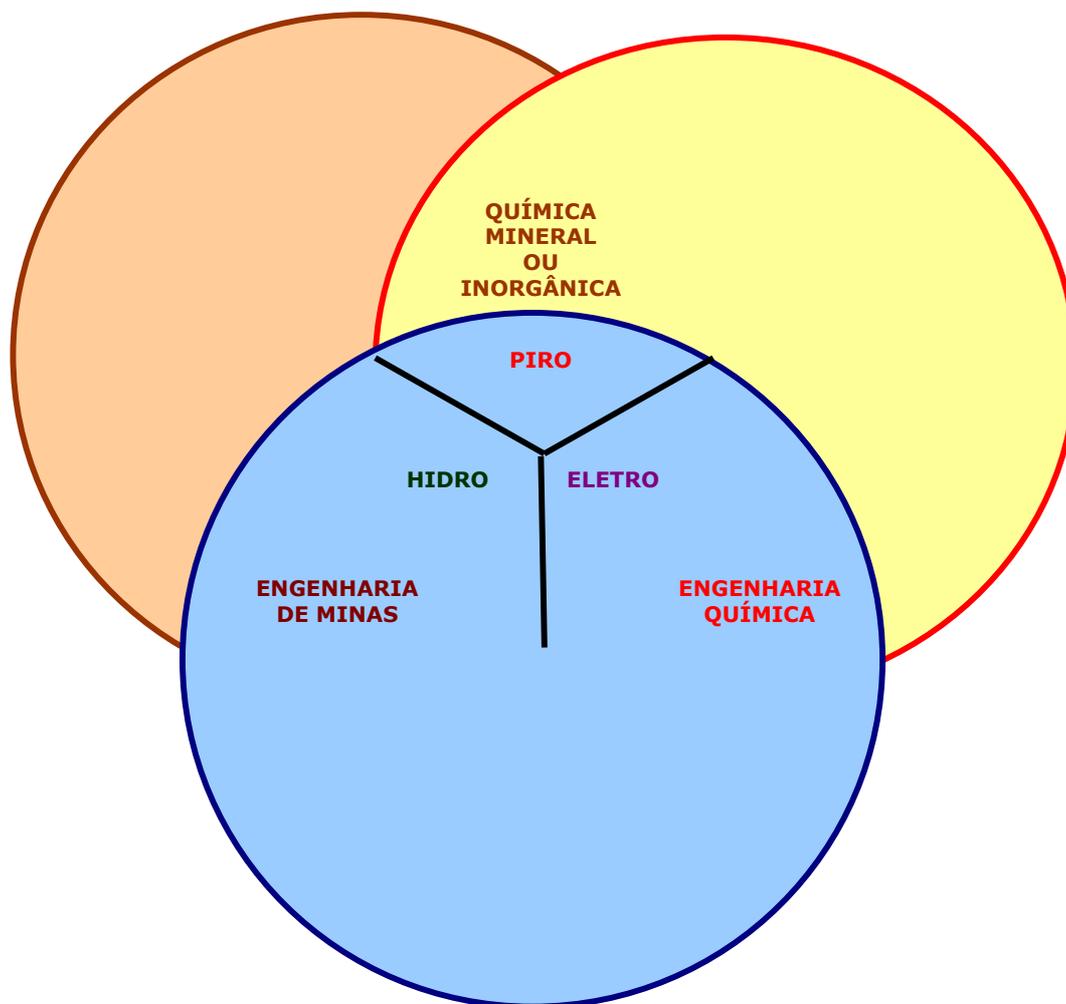
**e, também,  
problemas de**

**corrosão de instalações e  
produtos manufaturados,  
formação de  
sucatas e rejeitos sólidos,  
líquidos, lixívias, lamas,  
e emissões gasosas poluentes**

**cujas soluções podem surgir  
da Química Mineral  
(Inorgânica),  
Mineralogia e  
Microbiologia.**

**AS PESSOAS PRODUZEM  
LIXO, REJEITOS E EMISSÕES FLUIDAS E RADIANTES DIVERSAS  
EM SUAS  
ATIVIDADES E EMPREENDIMENTOS  
URBANOS, RURAIS, INDUSTRIAIS, MILITARES  
QUE PODEM SER INCINERADOS  
E TRATADOS POR  
PROCESSOS FÍSICOS E QUÍMICOS SUSTENTÁVEIS.**

**AS BASES DA METALURGIA EXTRATIVA  
APLICÁVEIS ÀS  
TECNOLOGIAS CERÂMICAS  
E  
AOS PROCESSOS DE DESPOLUIÇÃO**

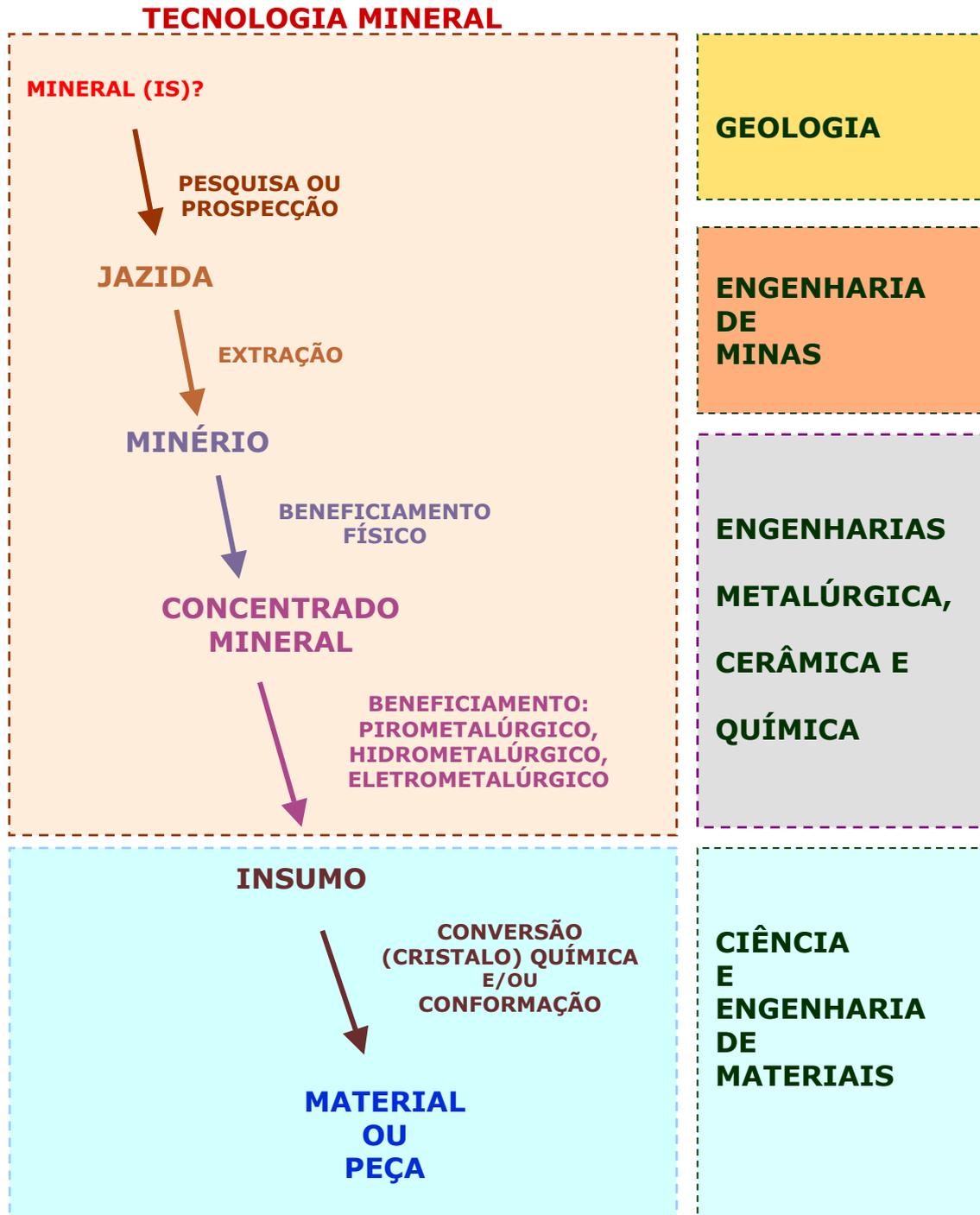


**OBSERVAÇÕES:**

- (1) **PIROMETALURGIA** – utiliza temperaturas elevadas para extrair metais dos minérios.
- (2) **HIDROMETALURGIA** – emprega soluções químicas para o mesmo fim.
- (3) **ELETROMETALURGIA** – envolve o uso de corrente elétrica para provocar uma reação química de oxidação-redução com finalidade extrativa.

# ETAPAS DA TRANSFORMAÇÃO DE UM MINÉRIO EM PRODUTO ÚTIL

(adaptado de Veiga e Paschoal, 1991 e Strauch, 1980)



## DO MINÉRIO AO METAL – TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS

(adaptado de Strauch, 1980)

ESPECIALIDADE	ETAPA
<b>I - GEOLOGIA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pesquisa ou Prospecção</li> <li>- Exploração</li> </ul>
<b>II - MINERAÇÃO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento</li> <li>- Lavra ou Exploração</li> </ul>
<b>III – TRATAMENTO DE MINÉRIOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparação                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fragmentação                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- Britagem</li> <li>- Moagem</li> </ul> </li> <li>• Controle de Tamanho                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- Peneiramento</li> <li>- Classificação</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>- Concentração</li> <li>- Acabamento da Concentração                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espessamento</li> <li>• Filtração</li> <li>• Secagem</li> <li>• Aglomeração</li> </ul> </li> <li>- Descarte do Rejeito                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espessamento</li> <li>• Estocagem</li> </ul> </li> </ul>
<b>IV – METALURGIA EXTRATIVA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- HIDROMETALURGIA</li> <li>- PIROMETALURGIA</li> <li>- ELETROMETALURGIA</li> </ul>
<b>V - OPERAÇÕES AUXILIARES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amostragem</li> <li>- Manuseio                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estocagem</li> <li>• Transporte</li> </ul> </li> <li>- Controle</li> </ul>

### Referência:

STRAUCH, P.C. – **Tratamento de Minérios, Uma Introdução** – texto inédito, Rio de Janeiro, 1980

## **OBJETIVOS DA MINERALOGIA INDUSTRIAL E ENERGÉTICA**

- 1º - ESTABELECEM CRITÉRIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA QUE PERMITAM INDICAR UM MINÉRIO PARA SOFRER UM PROCESSO DE BENEFICIAMENTO FÍSICO, FÍSICO OU FÍSICO-QUÍMICO E ORIENTAR A SELEÇÃO E O PROJETO DOS RESPECTIVOS EQUIPAMENTOS.**
  
- 2º - ORIENTAR O PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE CRISTALOQUÍMICO DA QUALIDADE.**
  
- 3º - REFERENCIAR O DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS DE SÍNTESE DE MINERAIS SINTÉTICOS E NOVOS MATERIAIS.**
  
- 4º - ORIENTAR PROJETOS DE RECICLAGEM DE GANGAS E REJEITOS SÓLIDOS, DE QUALQUER ORIGEM APÓS AÇÃO NATURAL OU HUMANA NA NATUREZA.**

**AS CINZAS DA INCINERAÇÃO DE LIXOS SÃO MINERAIS SINTÉTICOS.**

**OS RECURSOS DA MINERALOGIA POSSIBILITAM DESENVOLVER SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA AS CINZAS DA INCINERAÇÃO DE LIXOS.**

# **GRUPOS DE VARIEDADES DOS MINERAIS E ROCHAS INDUSTRIAIS E ORNAMENTAIS**

**1° - ROCHAS ORNAMENTAIS**

**2° - ROCHAS DE SÍLICA E QUARTZO**

**3° - AREIAS INDUSTRIAIS**

**4° - ROCHAS ALUMINOSSILICÁTICAS (ÍGNEAS ÁCIDAS):**

**4.1 - FELDSPATOS**

**4.2 - MICAS**

**5° - ROCHAS ÍGNEAS BÁSICAS**

**6° - ARGILAS OU ROCHAS ARGILOSAS**

**7° - ROCHAS COMBUSTÍVEIS ORGÂNICAS**

**8° - ROCHAS FERTILIZANTES E CORRETIVAS DE ACIDEZ DE SOLO**

**9° - PEDRAS PRECIOSAS**

**10° - MINERAIS RADIOATIVOS PARA COMBUSTÍVEIS NUCLEARES**

Ref.: LINS, F.A.F. – **Panorama da Produção e Consumo de Rochas e Minerais Industriais no Brasil** – in: LUZ, A.B. e LINS, F.A.F – **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações** – CETEM/MCT, 2005.

SCHOBENHAUS, C. e COELHO, C.E.S. (Coordenadores) – **Principais Depósitos Minerais do Brasil, Volumes I (Recursos Minerais Energéticos), II (Ferro e Metais da Indústria do Aço), III (Metais Básicos Não-Ferrosos, Ouro e Alumínio)**, Departamento Nacional da Produção Mineral e Companhia Vale do Rio Doce, Brasília, 1985, 1986, 1988.

SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E.T.; COELHO, C.E.S. (Coordenação Geral) – **Principais Depósitos Minerais do Brasil- Volumes IV - Parte A (Gemas e Rochas Ornamentais), Parte B (Rochas e Minerais Industriais) e Parte C (Rochas e Minerais Industriais)**, Departamento Nacional da Produção Mineral, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Brasília, 1991, 1997 e 1997.

# CLASSIFICAÇÃO DOS MINERAIS

(adaptado de Lins (2005); Schobbenhaus e Coelho (1985, 1986, 1988)  
e Schobbenhaus e Coelho (1991, 1997, 1997))

## A – MINERAIS METALÍFEROS PARA METALURGIA EXTRATIVA

- FERROSOS – Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Mo, Nb, V, Wf
- NÃO-FERROSOS:
  - BÁSICOS – Cu, Zn, Pb, Sn
  - LEVES – Al, Mg, Ti, Be
- PRECIOSOS – Au, Ag, Pt, Os, I, Pd, Ru, Rh
- RAROS – Sc, In, Ge, Ga, etc.

## B – ÓXIDOS E SAIS PARA BENEFICIAMENTO E CONSUMO INDUSTRIAL

### - PARA CONSTRUÇÃO:

- ORNAMENTAIS – granito, gnaiss, quartzito, mármore, ardósia
- AGREGADOS – brita e areia
- AGLOMERANTES MINERAIS – calcário, argilas, areia, gipsita
- CERÂMICA VERMELHA E BRANCA – argilas, caulim, feldspatos, mica, sílica
- CERÂMICA REFRACTÁRIA – magnesita, bauxita, cromita,
- ISOLANTES CERÂMICOS – amianto, vermiculita, mica

- AREIAS INDUSTRIAIS – quartzosas, cromitas, olivinas, zirconita
- FUNDENTES METALÚRGICOS – fluorita, calcário, criolita
- REAGENTES QUÍMICOS – enxofre, barita, bauxita, fluorita, cromita, pirita
- ABRASIVOS – diamante, granada, quartzito, coríndon
- FÍLERS OU CARGAS – talco, gipsita, barita, caulim, calcita
- PIGMENTOS – barita, ocre, minerais de titânio

### - AGROMINERAIS:

- FERTILIZANTES – fosfatos, sais de potássio, enxofre, feldspato, gipsita
- CORRETIVO DE ACIDEZ DO SOLO – calcários

- PURIFICADORES DE EFLUENTES – bentonita, atapulgita, zeólitas, vermiculita, calcário

## C- GEMAS OU PEDRAS PRECIOSAS

- diamante, esmeralda, safira, turmalina, opala, topázio, águas marinhas, ametista

## D – ÁGUAS MINERAIS E SUBTERRÂNEAS

## E – MINERAIS ENERGÉTICOS

- RADIOATIVOS – urânio e tório
- COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS – petróleo, turfa, linhito, carvão e antracito

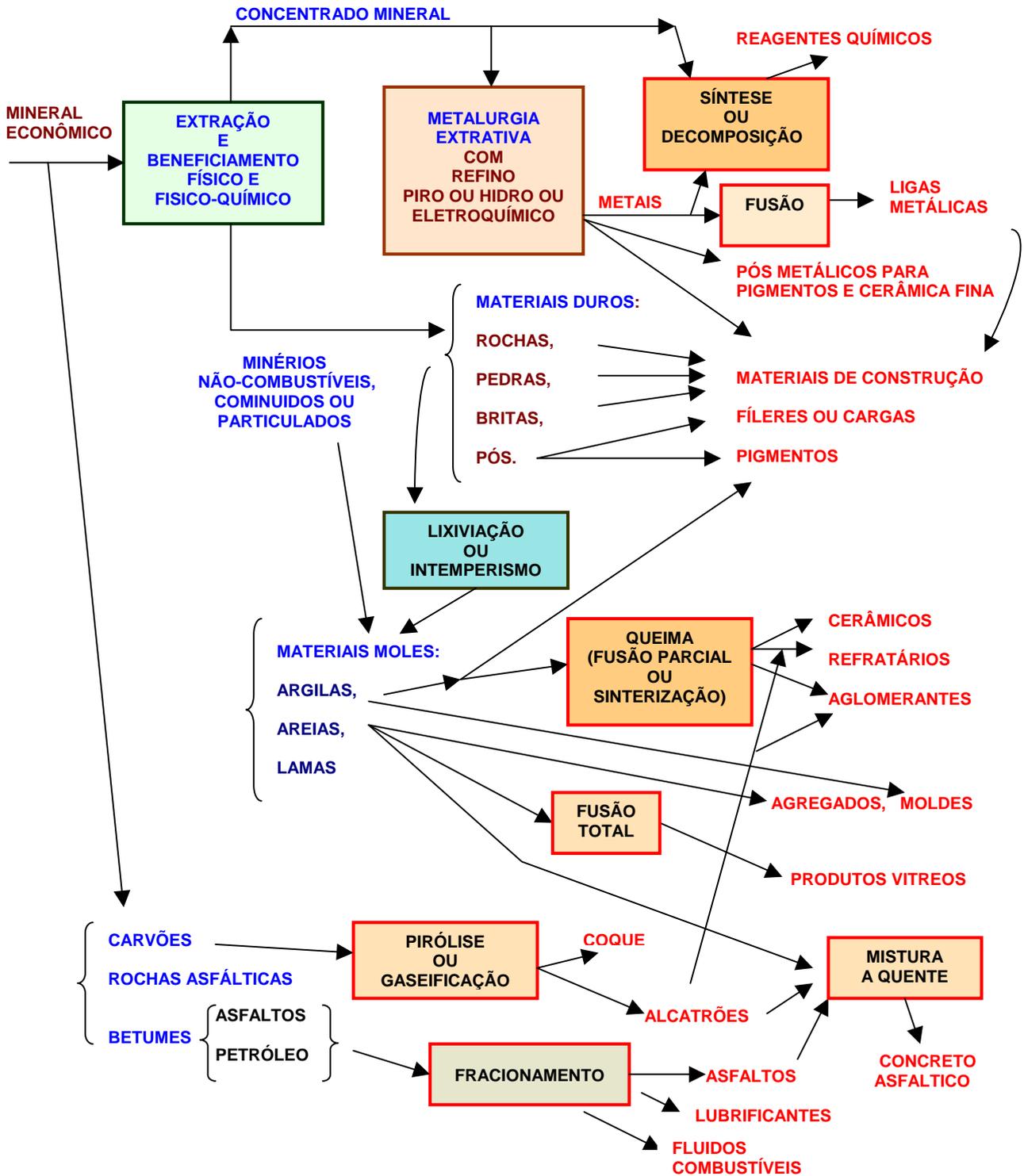
### Referências:

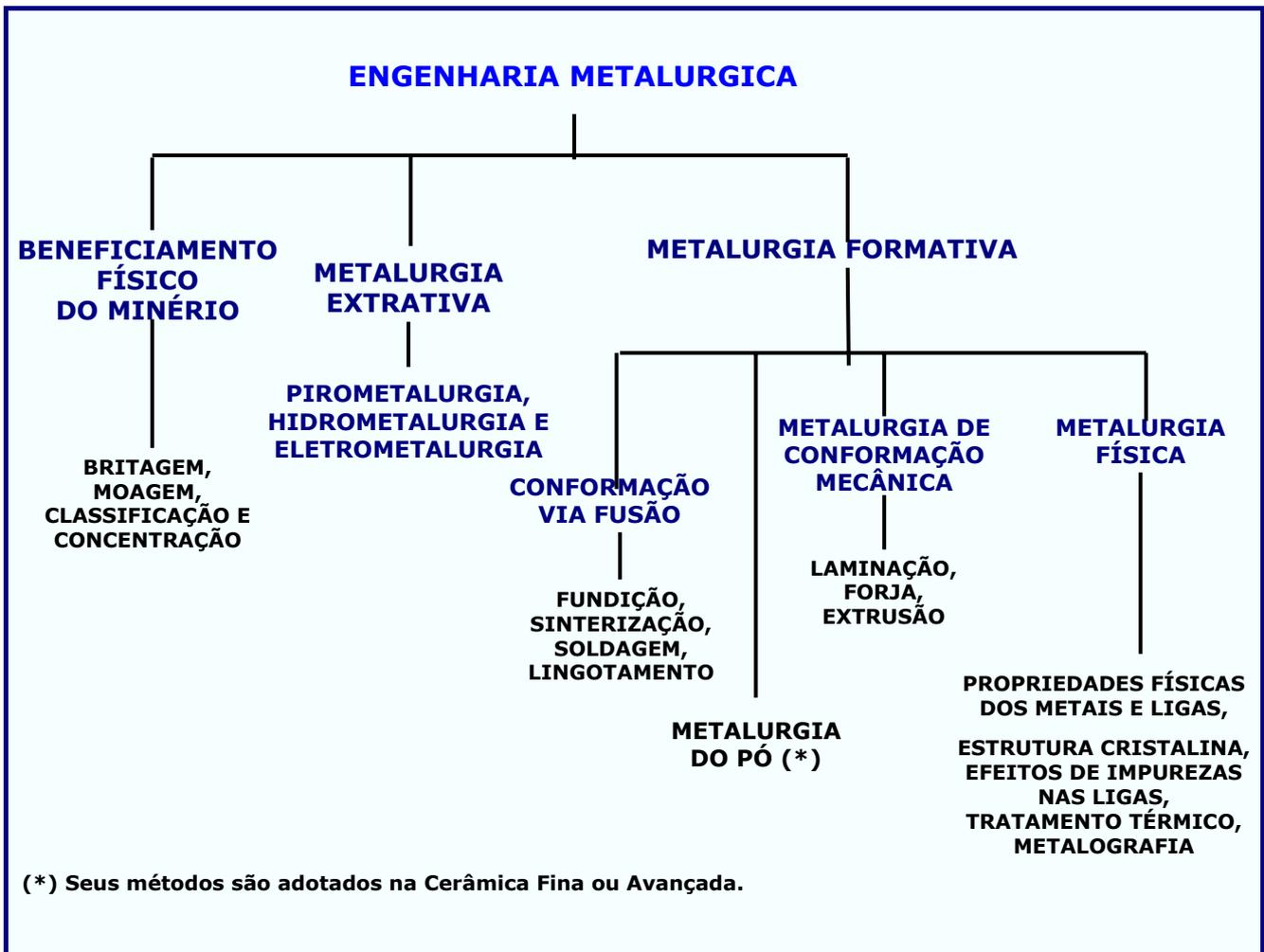
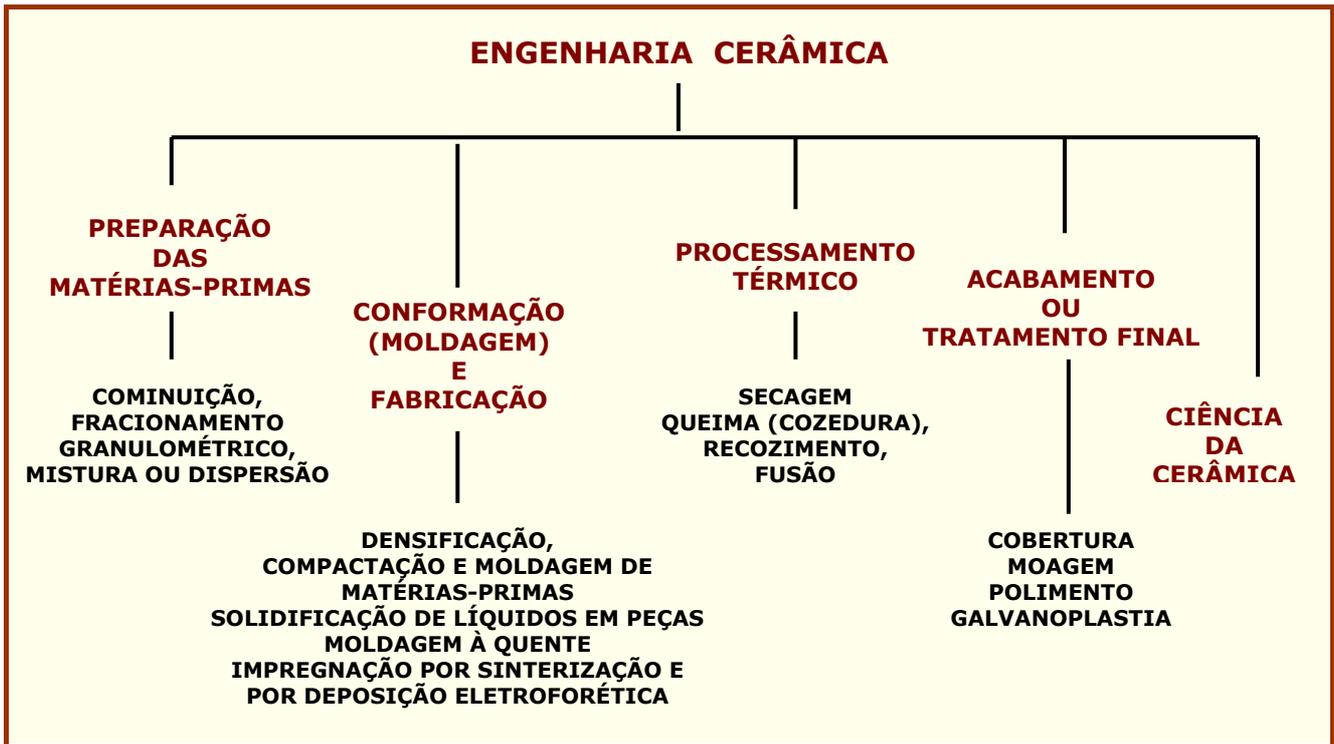
LINS, F.A.F. – **Panorama da Produção e Consumo de Rochas e Minerais Industriais no Brasil** – in: LUZ, A.B. e LINS, F.A.F – **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações** – CETEM/MCT, 2005.  
SCHOBHENHAUS, C. e COELHO, C.E.S. (Coordenadores) – **Principais Depósitos Minerais do Brasil, Volumes I (Recursos Minerais Energéticos), II (Ferro e Metais da Indústria do Aço), III (Metais Básicos Não-Ferrosos, Ouro e Alumínio)**, Departamento Nacional da Produção Mineral e Companhia Vale do Rio Doce, Brasília, 1985, 1986, 1988.  
SCHOBHENHAUS, C.; QUEIROZ, E.T.; COELHO, C.E.S. (Coordenação Geral) – **Principais Depósitos Minerais do Brasil- Volumes IV - Parte A (Gemmas e Rochas Ornamentais), Parte B (Rochas e Minerais Industriais) e Parte C (Rochas e Minerais Industriais)**, Departamento Nacional da Produção Mineral, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Brasília, 1991, 1997 e 1997.



# ROTAS GENÉRICAS DA OBTENÇÃO DE MATERIAIS NATURAIS (MINÉRIOS) E SINTÉTICOS

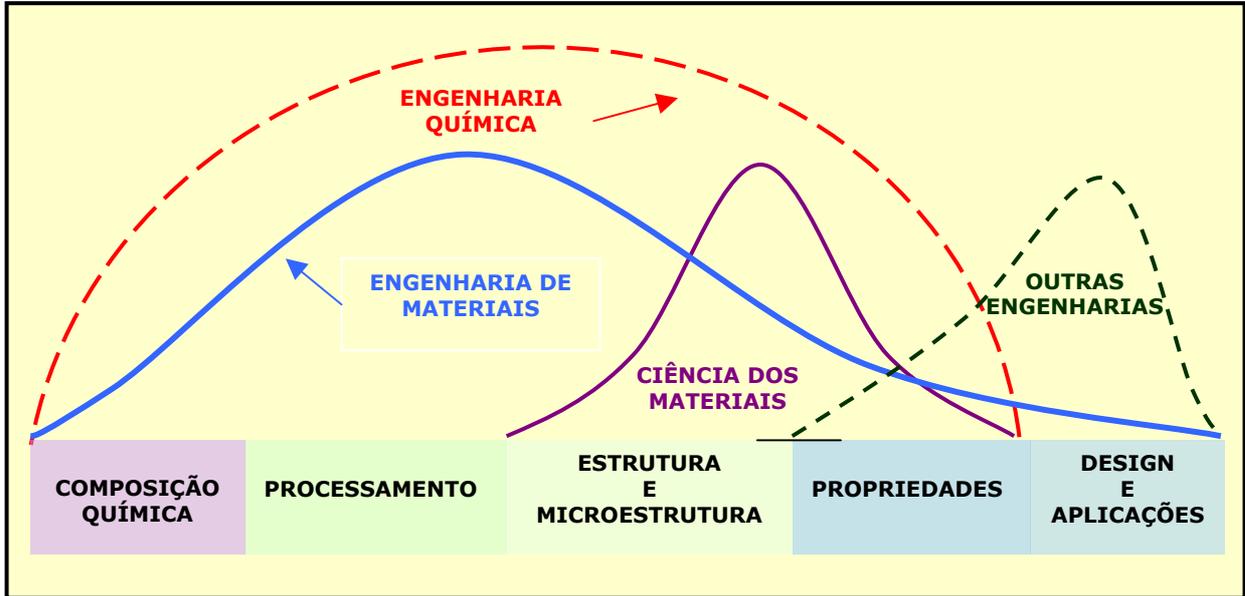
(sem incluir as etapas de conformação de produtos)





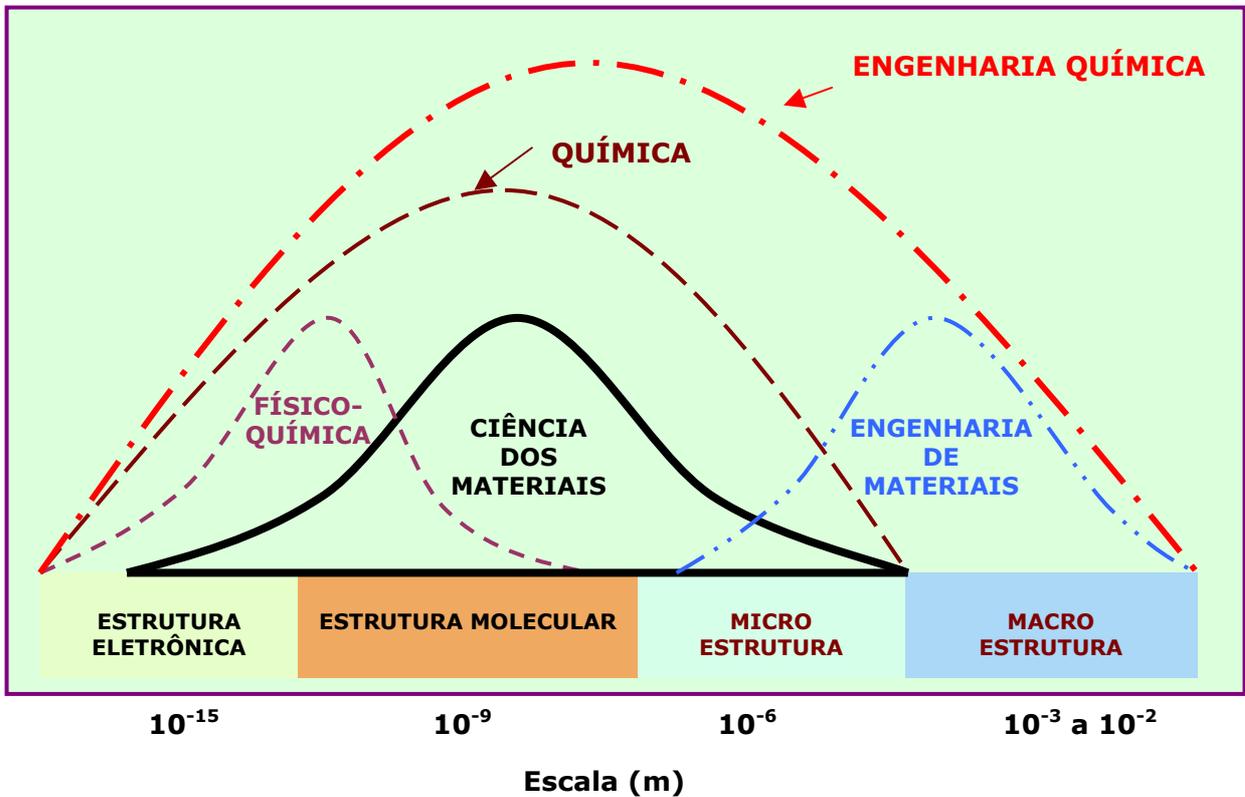
## RELAÇÕES ENTRE A SEQUÊNCIA DE FABRICAÇÃO DE COMPONENTES, PEÇAS ARTEFATOS E EQUIPAMENTOS COM A ENGENHARIA QUÍMICA, A CIÊNCIA DOS MATERIAIS E AS DEMAIS ENGENHARIAS

(adaptada de Zanoto, 1991)



## ABRANGÊNCIA DAS CIÊNCIAS BÁSICAS E DAS ENGENHARIAS QUÍMICA E DE MATERIAIS EM FUNÇÃO DA ESCALA

(adaptada de Zanoto, 1991)



## PROPOSTAS DE NOVAS HABILITAÇÕES PLENAS DE ENGENHARIA QUÍMICA

**Engenheiro Químico Industrial (\*)**

**Engenheiro Químico Biotecnológico (atual Engenheiro de Bioprocessos)**

**Engenheiro Químico Ambiental**

**Engenheiro Químico de Saneamento**

**Engenheiro Químico de Águas e Utilidades**

**Engenheiro Químico de Energia**

**Engenheiro de Petroquímica**

**Engenheiro Químico de Materiais e Catalisadores (\*\*)**

**Engenheiro de Química Fina e Fármacos**

**Engenheiro de Processos Químicos**

**Engenheiro Químico de Segurança Industrial**

**Engenheiro Químico Gestor Tecnológico**

(\*) As habilitações ou modalidades Engenharia Química Industrial e Engenharia de Alimentos são reconhecidas pelo Conselho Federal de Química no Brasil.

O **Eng. Químico Industrial** reunirá atributos dos antigos Químicos Industriais e Eng. Químicos.

A **Engenharia de Alimentos** é antiga e reconhecida no mercado internacional.

(\*\*) A **Engenharia de Materiais** pode ser diferenciada da **Engenharia de Catálise**.

Um **Engenheiro de Materiais de Construção** não necessita dos conhecimentos amplos enfocados em catálise, embora conheça e utilize a Ciência dos Materiais.

De modo análogo, um **Engenheiro de catálise e catalisadores** não necessita, a rigor, de todos os conhecimentos da produção e caracterização tecnológica dos materiais de construção.

Referência:

ZAKON, A.; AMORIM, R.M.; SÁ, B.P.; ROCHA NETO, M.M.; PORTO, D.S.; LIMA JR., E.B.; PINHEIRO, .P.G. - **Duas escolas numa só: engessar ou flexibilizar o ensino da Engenharia Química?** - *Química e Derivados*, XXXVII (409) 40-50, outubro (2002).