

ADEQUAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA USO INDUSTRIAL

Arthur Pinto Chaves*

CHAVES, A.P. Adequação de matérias-primas para uso industrial. *Rev. do Museu de Arqueologia e Etnologia*, São Paulo, Suplemento 2: 15-25, 1997.

RESUMO: As matérias-primas minerais possuem algumas características próprias e peculiares, que afetam a sua utilização industrial. A produção cerâmica, vidreira ou metalúrgica de uma dada comunidade é sempre afetada pelas características das matérias-primas disponíveis e muitas vezes pode ser identificada a partir das mesmas: distribuição de tamanhos das partículas do minério, espécies minerais presentes, teor do mineral útil, presença de contaminantes, entre muitas. Este trabalho faz uma revisão rápida dos efeitos destas características sobre os produtos finais: cerâmica vermelha ou branca, vidros, metais e argamassas.

UNITERMOS: Matérias-primas — Cerâmica — Metalurgia — Vidros.

Conceitos importantes

A importância dos minerais para o nosso cotidiano é algo que passa despercebido muitas vezes. Entretanto, as paredes da sala em que você está foram construídas com areia, cal e cimento portland (calcário) e argila vermelha. Você pode ler estas páginas graças à iluminação que vem de uma lâmpada de vidro (feito de quartzo e feldspato) e com filamento de tungstênio. A energia elétrica chega até ela através de condutores de cobre ou alumínio, revestidos de plásticos (obtidos a partir do petróleo). Os pisos da sala podem eventualmente ser de granito, mármore ou ardósia ou então de lajotas ou ladrilhos cerâmicos (feitos de argila). Você mesmo, se usou talco está usando um produto mineral. Se você é do sexo feminino, provavelmente está maquiada com cosméticos cujos pigmentos são minerais. Damasceno, 1988, reproduz uma figura extremamente instrutiva, que recomendamos ao leitor.

(*) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas.

A crosta terrestre tem uma composição média razoavelmente constante (veja a Tabela 1, teores em %). Os processos geológicos que a crosta terrestre vem sofrendo desde tempos imemoriais resultam na concentração de certos elementos em determinados locais, ou seja, na formação de depósitos minerais. Como nem todos os elementos ou seus compostos se concentram na mesma proporção de sua abundância relativa, a familiaridade com um elemento não tem nada a ver com ela. O chumbo, que

Tabela 1
composição média da crosta terrestre
(Newton, 1964)

elemento	%	elemento	%	elemento	%
O	46,59	Mn	0,008	Th	1x10 ⁻⁴
Si	27,72	Zr	0,005	Co	1x10 ⁻⁵
Al	8,13	Ni	0,020	Cd	1x10 ⁻⁵
Fe	5,01	V	0,017	Hg	1x10 ⁻⁶
Ca	3,63	Cu	0,002	Ag	1x10 ⁻⁷
Na	2,85	U	0,001	Pt	1x10 ⁻⁷
K	2,60	W	0,001	Au	1x10 ⁻⁷
Mg	0,63	Zn	1x10 ⁻⁴	Ir	1x10 ⁻⁸
Ti	0,10	Pb	1x10 ⁻⁴	Pd	1x10 ⁻⁹

todos nós já vimos e pegamos — objetos fundidos, soldas, pesos para linha de pescar, fechamento de garrafas de vinho de boa qualidade — tem a mesma abundância relativa que o tório, que certamente nenhum de nós já viu. O ouro, que é familiar a todos, é muito mais raro que o cádmio, berílio, tório, vanádio e zircônio: ele entra na crosta terrestre com uma participação de apenas um milionésimo por cento e entretanto é familiar não somente a nós, homens modernos, mas conhecido desde a mais remota antiguidade. A sua disponibilidade e a familiaridade com ele provêm de sua capacidade de se concentrar localmente, ou seja, de formar jazidas.

Em certas regiões privilegiadas, os processos de formação de jazidas ocorrem de maneira muito mais intensa, de modo que elas apresentam uma concentração muito grande de depósitos de diferentes elementos. É o caso, no Brasil, da Serra dos Carajás (PA) e do Quadrilátero Ferrífero (MG), das Montanhas Rochosas nos EUA, dos Andes no Peru e Chile, do Witwatersrand na África do Sul. Em outras regiões existem extensões imensas sem nenhuma ocorrência mineral de interesse. A luta para obter o controle econômico ou político dos recursos minerais é um dos aspectos mais significativos da política internacional e deveria ser considerada com maior detalhe no estudo da História.

Mineral é toda substância inorgânica, de ocorrência natural, de composição química definida, encontrada na crosta terrestre. Por esta definição, petróleo, xistos betuminosos e carvão mineral não são minérios, embora sejam objeto de estudo da Geologia.

Minério é todo agregado natural de minerais do qual um ou mais metais, ou ainda, substâncias de interesse industrial, podem ser extraídas *com lucro*. Esta última expressão distingue uma jazida — depósito economicamente explorável — de depósito e ocorrência. Mina é uma jazida em exploração (mesmo que suspensa).

Dos 92 elementos, cerca de 70 apresentam características metálicas. Os metais são divididos em *ferrosos* e *não-ferrosos*. O primeiro grupo engloba os metais utilizados na siderurgia — o ferro e os elementos de liga: Mn, Cr, Ni, Co — e o segundo todos os demais. Esta divisão se deve à extraordinária importância do ferro quando comparada à dos outros metais: ele é o metal de uso mais difundido e o mais importante entre todos. A tonelagem de gusa produzida no mundo é cerca de 50 vezes maior que a de qualquer outro metal e 20 vezes maior que a de todos os não-ferrosos juntos. Isto se deve a:

1) existem na natureza enormes depósitos de minério de ferro de alto teor;

2) os minérios de ferro são facilmente redutíveis a ferro metálico;

3) como consequência de 1 e 2, o ferro pode ser produzido a preços muito baratos, inferiores ao de qualquer outra matéria-prima metálica;

4) o Fe tem propriedades magnéticas únicas;

5) as ligas de Fe e C, chamadas aços têm propriedades tecnológicas únicas: são forjáveis (podem ser conformadas) a quente e a frio; são endurecíveis por têmpera e as características de tenacidade e de dureza podem ser controladas.

Dentre os metais não-ferrosos, os mais importantes são o alumínio, estanho, chumbo, cobre, zinco e níquel, pelo que são chamados “não-ferrosos básicos”. Raramente, entretanto, um metal é usado puro. *Liga* é uma substância metálica formada de dois ou mais elementos: *aço* é a liga de Fe e C, *latão*, a liga de Cu e Zn, *bronze*, a liga de Cu e Sn, *aços-liga* são ligas de Fe, C e com outros elementos, como Mn, Cr, Ni, V, etc.

Quando um metal torna-se escasso ou quando seu preço sobe muito é usual promover-se a sua *substituição* por outro metal ou por alguma substância alternativa. O cobre para uso em linhas de transmissão vem sendo gradativamente substituído pelo alumínio; o aço nos automóveis vem sendo substituído pelo plástico e mais recentemente, por materiais cerâmicos. Latas de cerveja de folha de Flandres (chapa de aço revestida de estanho) estão sendo substituídas por latas de alumínio revestidas de plástico.

Maneiras como ocorrem alguns recursos minerais

Alguns metais ocorrem como tais na natureza, na forma de *metais nativos*. É o caso do ouro, de cobre nativo, e da prata. Ferro e ligas de ferro com outros elementos, de composição bastante semelhante aos aços são encontradas em meteoritos. Aliás, é uma curiosidade etimológica que a palavra siderurgia origina-se da palavra latina *sideris* = céu, em consequência do uso destes meteoritos para fazer artefatos de aço. A legenda arturiana refere que a sua espada Excalibur era feita de material proveniente de um meteorito.

As pedras preciosas também ocorrem como tal na natureza: diamantes, berilos, esmeraldas, águas-marinhas e rubis, entre muitas, sempre atraíram o

ser humano por causa da sua cor e brilho característicos.

A maior parte dos metais ocorre na forma de óxidos, carbonatos, silicatos ou sulfetos. A título de informação, registramos os minerais de minério dos elementos metálicos mais importantes e de interesse para a Arqueologia. Estas informações foram extraídas de Kirsch (1972).

• *chumbo*: galena (PbS) e cerussita ($PbCO_3$). O chumbo funde facilmente e é muito resistente à oxidação. Por isto, desde sempre foi utilizado em canalizações de esgotos e de água, enterradas ou não.

cobre: calcocita (Cu_2S), cuprita (Cu_2O), malaquita — azurita ($Cu_2(OH)_2/CO_3$ — $Cu_3(OH/CO_3)_2$). O cobre é um metal conhecido e utilizado desde muito tempo, puro ou ligado para dar o latão e o bronze. Ele é reduzido e fundido a temperaturas relativamente baixas, razão de sua difusão na Antiguidade. O principal supridor eram as minas do Sinai (Poss, 1979).

estanho: cassiterita (SnO). O estanho é também lavrado desde muito tempo para ser usado em ligas com o cobre, conhecidas como bronzes. O principal supridor era a Inglaterra, chamada pelos romanos de *Ilhas Cassitérides*, em decorrência da importância industrial e econômica destes recursos.

ferro: magnetita (Fe_3O_4), principalmente na Suécia, hematita (Fe_2O_3), atualmente o minério mais importante, e siderita (Fe_2CO_3), na fronteira entre a Alemanha e a França. Os teores de ferro contidos no minério puro são de respectivamente 72, 70 e 48%. Para ter o mesmo teor que uma siderita pura, um minério de hematita teria que ter 31 % de impurezas! Carregar num alto-forno 31 % de impurezas é um absurdo porque gastaríamos uma quantidade proporcionalmente maior de coque para aquecer esse minério e teríamos que escorificar essa contaminação. O volume de escórias dentro do forno cresceria proporcionalmente (ou seja, a parte do volume do alto-forno carregado com minério diminuiria). Em consequência, um minério de siderita a 45 % Fe é realmente um minério e impérios industriais foram construídos com ela. Já, uma matéria-prima mineral de hematita com 45 % Fe não pode ser considerada um minério.

prata: argentita (Ag_2S).

zinco: blenda ou esfalerita (ZnS). O zinco é importante para a fabricação do latão, em liga com o cobre.

Areias e cascalhos são materiais de construção importantes. Geralmente são utilizados materiais quartzosos (de sílica — SiO_2), mercê de sua estabilidade química e dureza. As areias quartzosas puras são a matéria-prima básica para a fabricação de vidros, vidrados e esmaltes. As areias comuns são usadas na confecção dos concretos e argamassas usados na construção civil. Outro uso muito importante é na confecção dos moldes de fundição.

Os *argilo-minerais* são uma classe de minerais de enorme importância industrial, em muitos ramos, dos quais faremos menção, neste trabalho apenas à cerâmica. Tratam-se de silicatos hidratados de alumínio, podendo conter também outros elementos. A sua unidade estrutural básica são tetraedros SiO_4 , que se ligam uns aos outros, formando estruturas complexas, das quais decorrem as propriedades desta família de minerais. Os argilo-minerais mais importantes para o nosso interesse são a caulinita, a montmorillonita, a illita e o talco.

A caulinita, sem dúvida o mais importante de todos, tem a fórmula estrutural $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. É utilizada na cerâmica, na fabricação de porcelanas, “stoneware” papel e como carga de plásticos e borracha. O talco é familiar a todos pela sua utilização cosmética, mas encontra aplicação também em cerâmica para uso elétrico e como carga para inseticidas.

Os feldspatos são silicatos de alumínio contendo íons como K^+ Na^+ Ca^{++} Ba^{++} e Sr^{++} . Estes íons são utilizados para deformar os tetraedros de SiO_4 e obter a estrutura vítrea. Os feldspatos são portanto a matéria-prima fundamental para vidros, esmaltes, vidrados e cerâmica fina.

A fluorita (CaF_2) modernamente é a matéria-prima fundamental para a obtenção do flúor e de seus compostos e para a metalurgia do alumínio. Desde sempre, entretanto, foi utilizada como fluxante dos processos metalúrgicos e de fabricação do vidro. O seu nome vem da palavra latina para *fluir*.

O *gipso* ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), quando calcinado transforma-se em anidrita ($CaSO_4$). Esta, quando umedecida, reverte rapidamente à forma anterior. Trata-se portanto de excelente material de moldagem, pintura e construção civil.

As *pedras naturais*, gabros, granitos, calcários, arenitos, basaltos e mármore, são utilizadas na construção civil desde tempos imemoriais. Elas podem ser utilizadas na forma de blocos cortados e aparados até a dimensão desejada ou na forma de ladrilhos cortados e polidos para o revestimento de

paredes e pisos. Depois da invenção do concreto, são usadas britas como agregado.

No Velho Mundo, *sais* como halita (NaCl) e silvita (KCl) são muito freqüentemente obtidos de depósitos minerais conhecidos como domos salinos. No Brasil, os sais de uso comum são obtidos apenas da água do mar.

O calcário é usado para fazer cales e cimentos. Outras fontes de CaCO_3 são ostras e conchas.

Peculiaridades de um projeto mineiro

Os empreendimentos mineiros diferem dos projetos industriais de outra natureza em vários aspectos, que lhes são próprios e raramente encontrados nos demais. Esta característica os diferencia e obriga a sua consideração mediante um enfoque bastante particular, que tentaremos esclarecer (Chaves, 1995):

a. cada jazimento tem características extremamente individualizadas, independentemente de semelhanças geológicas, topográficas ou de proximidade geográfica. Em consequência *cada nova jazida exige um projeto de lavra e um processo de beneficiamento desenvolvidos especialmente para ela*. Não se pode transferir pura e simplesmente a tecnologia de um local para outro.

b. os empreendimentos mineiros têm um prazo de maturação muito longo. Tomada a decisão de desenvolver um alvo potencialmente promissor, há uma série de trabalhos a serem executados — mapeamento de superfície, pesquisa geológica, caracterização tecnológica do minério, desenvolvimento do processo de beneficiamento, projeto das instalações, preparação da mina, processo de licitação de empreiteiras, obras civis, quase sempre obras de infra-estrutura operacional ou social, montagens eletro-mecânicas, posta-em-marcha — para só então começar a produção. Estes serviços têm uma dependência lógica uns com os outros e não há como “queimar etapas”. Em consequência, demoram: uma mina subterrânea leva em torno de oito a dez anos para se concretizar.

c. rigidez locacional: as jazidas são recursos naturais e assim se localizam onde Deus as colocou, muitas vezes em locais longínquos, de difícil acesso, ou com recursos escassos. Via de regra, à medida que uma nação se desenvolve, as novas descobertas minerais vão acontecendo em lugares cada vez mais remotos e carentes de infraestrutura, pois os lugares desenvolvidos já são explorados e conhecidos em detalhe. A necessidade de gerar

toda a infraestrutura necessária para o funcionamento do empreendimento, os custos de transporte e as peculiaridades de tal localização implicam em custos adicionais que oneram pesadamente o projeto.

d. transitoriedade: as jazidas se esgotam, e, uma vez exauridas, chegou ao fim a atividade industrial. A vida do empreendimento mineiro é portanto limitada. Ao fim de sua vida útil o projeto tem que ser fechado, as unidades desativadas e a equipe despedida. Nos Estados Unidos existem muitas “cidades fantasmas” que serviam de base a minas que foram desativadas e por isso perderam sua função e foram abandonadas.

e. conteúdo ético: como os recursos minerais são naturais e não renováveis, em princípio eles pertencem a toda a humanidade e não somente aos poucos privilegiados que têm acesso à sua exploração. Eles precisam, por isto, serem trabalhados de uma maneira tal que os preserve ao máximo. A mineração tem portanto um conteúdo ético que poucas atividades humanas têm. Isto significa, na pesquisa, a correta avaliação das reservas, na lavra, a remoção econômica máxima do minério ali existente e no beneficiamento, a recuperação máxima dos valores contidos no minério lavrado.

f. a mineração compete com a natureza e com as demais atividades econômicas pelo solo, pelas águas e pelo ar. Se o projeto não for corretamente elaborado, de modo a controlar o impacto ambiental, os danos podem vir a ser muito extensos e o custo de sua reparação poderá inviabilizar o empreendimento. Faz, portanto, parte integrante do bom projeto de mineração a consideração de todos os impactos sobre o meio ambiente, físico e antrópico, a sua avaliação, a tomada de medidas para a sua minimização durante a vida do empreendimento e a restauração das áreas lavradas ao fim da vida da mina. A preservação ambiental é parte intrínseca da atividade de mineração.

g. a mineração é uma atividade industrial básica. Isto tem duas implicações fundamentais: a primeira é de que ela deve dar lucro. A segunda é que ela se situa na origem de uma cadeia de atividades industriais sucessivamente mais complexas e que adicionam valor às matérias-primas e produtos até a situação em que possamos utilizá-las de acordo com a nossa conveniência e conforto. Como a primeira etapa dessa longa cadeia, necessariamente, os minérios e concentrados têm que ser baratos ou os produtos finais tornar-se-ão excessivamente caros. O

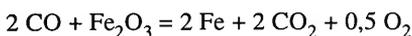
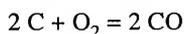
mesmo vale para todas as outras atividades básicas; produção de ácido sulfúrico e soda cáustica, siderurgia, indústrias de cimento, fertilizantes, cal etc.

Processos de produção de alguns produtos industriais

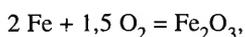
A figura 1, adaptada da Enciclopédia Mirador, 1979, p. 2253/4, mostra o processo de fabricação industrial de produtos cerâmicos. As diferentes matérias primas são moídas, dosadas e misturadas, tomando-se cuidado para eliminar contaminações de partículas grosseiras ou materiais metálicos. A umidade é acertada em um filtro-prensa e a mistura (denominada “barbotina”) é alimentada ao processo.

Este inicia-se com a conformação da peça cerâmica. Três técnicas básicas são mostradas: *no anelamento*, a peça é conformada a partir da superposição de anéis sucessivos de diâmetro adequado. *O torneamento* é o processo artesanal e semi-industrial mais importante (admite-se que seja usado desde 3.000 a.C.): uma bola de barbotina é colocada sobre a placa revolvete do torno, que gira em rotações superiores a 100 rpm (Enciclopédia Mirador, 1979, p. 2249ss). Com as mãos, o oleiro vai conformando a bola até atingir o formato desejado. A moldagem consiste em verter a barbotina dentro de um molde com a forma desejada. A peça é *polida*, o que consiste no acabamento superficial e em sequência, queimada. Ela adquire estabilidade dimensional e resistência mecânica. Ela recebe então a decoração e a cobertura de vidrado. É novamente queimada para fixar o vidrado em sua superfície.

A figura 2 esquematiza o processo de fabricação de aço. As matérias primas são dosadas e alimentadas ao alto-forno. Elas são o minério, na forma de minério granulado ou de sinter ou então de pelotas, que são finos de minério aglomerado, coque e fluxantes (calcário, fluorita e areia). Ar é insuflado para dentro do forno e queima o coque, gerando o calor necessário para a fusão e monóxido de carbono. Este reage com o óxido de ferro que constitui o minério, gerando o ferro metálico, fundido e que escorre para a parte inferior do forno.



Como há o risco de que o oxigênio reaja com o ferro reduzido,



é necessário impedir o contacto destas duas substâncias. Isto é conseguido gerando uma fase fundida que sobrenada o metal líquido e que se denomina *escória*.

Da mesma forma que o ferro foi reduzido, outros óxidos presentes no minério ou nas demais matérias-primas o são, tais como o silício, o fósforo, o enxofre, o manganês e o próprio carbono. O metal que se acumula no fundo do forno é uma fase metálica composta principalmente de ferro mas contendo esses outros elementos. É o material que se chama *gusa*.

De tempos em tempos escória e gusa são vazados do alto-forno. O gusa é encaminhado a uma operação de refino, que é executada em aparelhos chamados *conversores*. Nestes, o banho metálico é oxidado, removendo os elementos indesejáveis para a escória, na forma de óxidos e diminuindo o teor de carbono até o valor desejado. O produto obtido é o *aço*, que então é conformado através das operações de lingotamento e laminação, até dar a enorme variedade de produtos industriais tais como chapas grossas e finas, trilhos, tubos, barras, palanquilhas, arames etc.

Vidros são materiais que estão num quarto estado da matéria. No estado gasoso, os átomos ou moléculas que compõem o material estão numa situação de agitação tal que não permanecem ligados e se movimentam o tempo todo em diferentes direções. Diminuindo o nível de energia, traduzido pela temperatura do sistema, diminui também esta agitação e as moléculas ou átomos já conseguem permanecer juntas, mas numa situação de agitação ainda intensa o suficiente para impedir a manutenção de uma forma fixa. Trata-se do estado líquido. Baixando mais ainda a temperatura, os átomos e moléculas diminuem o seu grau de agitação, limitando-se agora a vibrar em torno de posições fixas. A forma é mantida e o estado é o sólido. Átomos e moléculas se dispõem em arranjos geométricos fixos e constantes, denominados cristais. *Todos os corpos sólidos são cristalinos.*

O quartzo é um sólido cristalino composto de tetraedros de SiO_4 . Nos vidros, esta estrutura cristalina é deformada pela entrada de cátions na rede, até um ponto em que ela é arrebatada. A estrutura do sólido cristalino que é o quartzo, mostrada na figura 3, transforma-se na estrutura desordenada mostrada na figura 4 (Kirsch, 1972: 166-7). Este material, o vidro, não é, portanto, um sólido pois

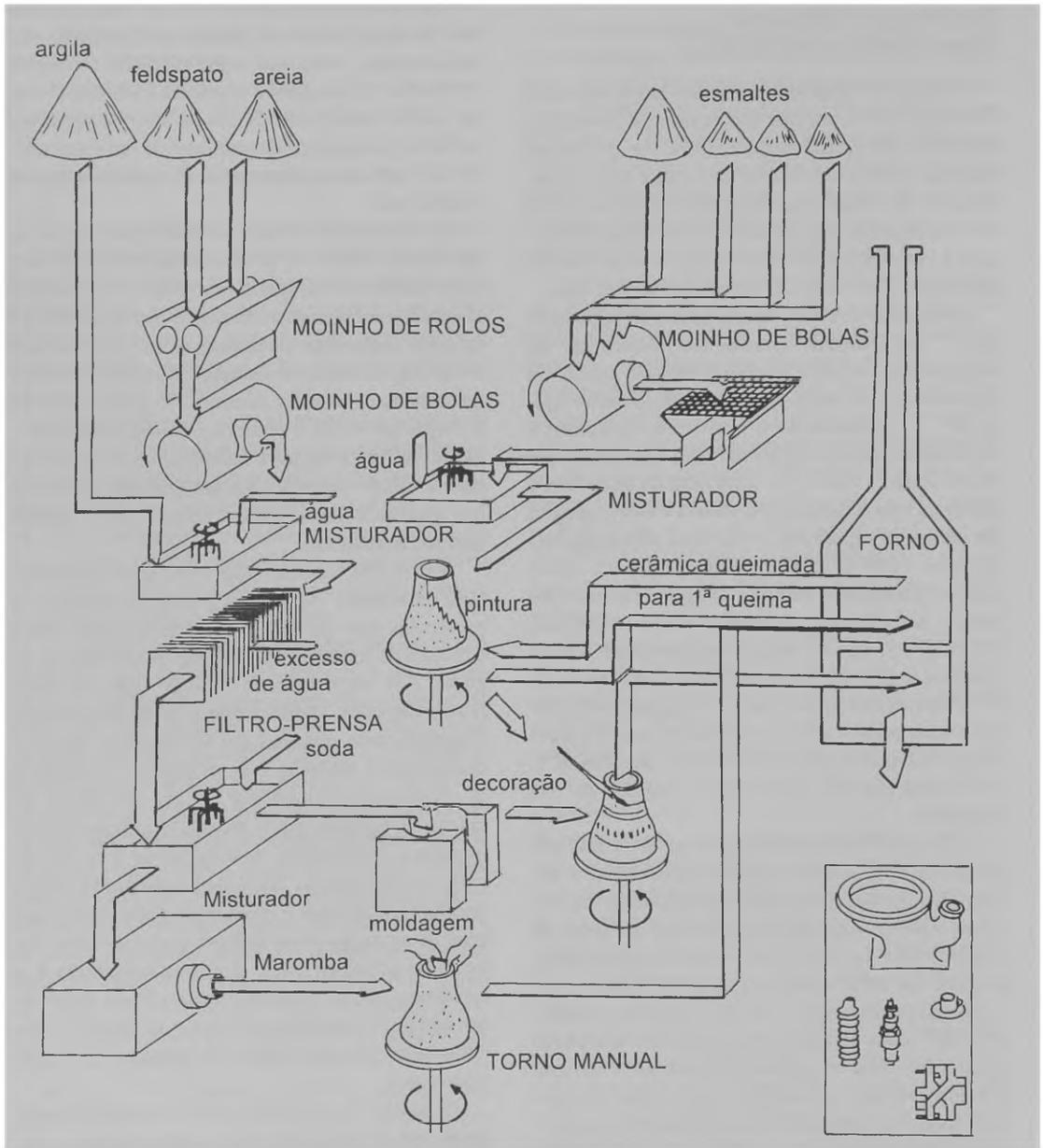


Fig. 1 — Fabricação cerâmica.

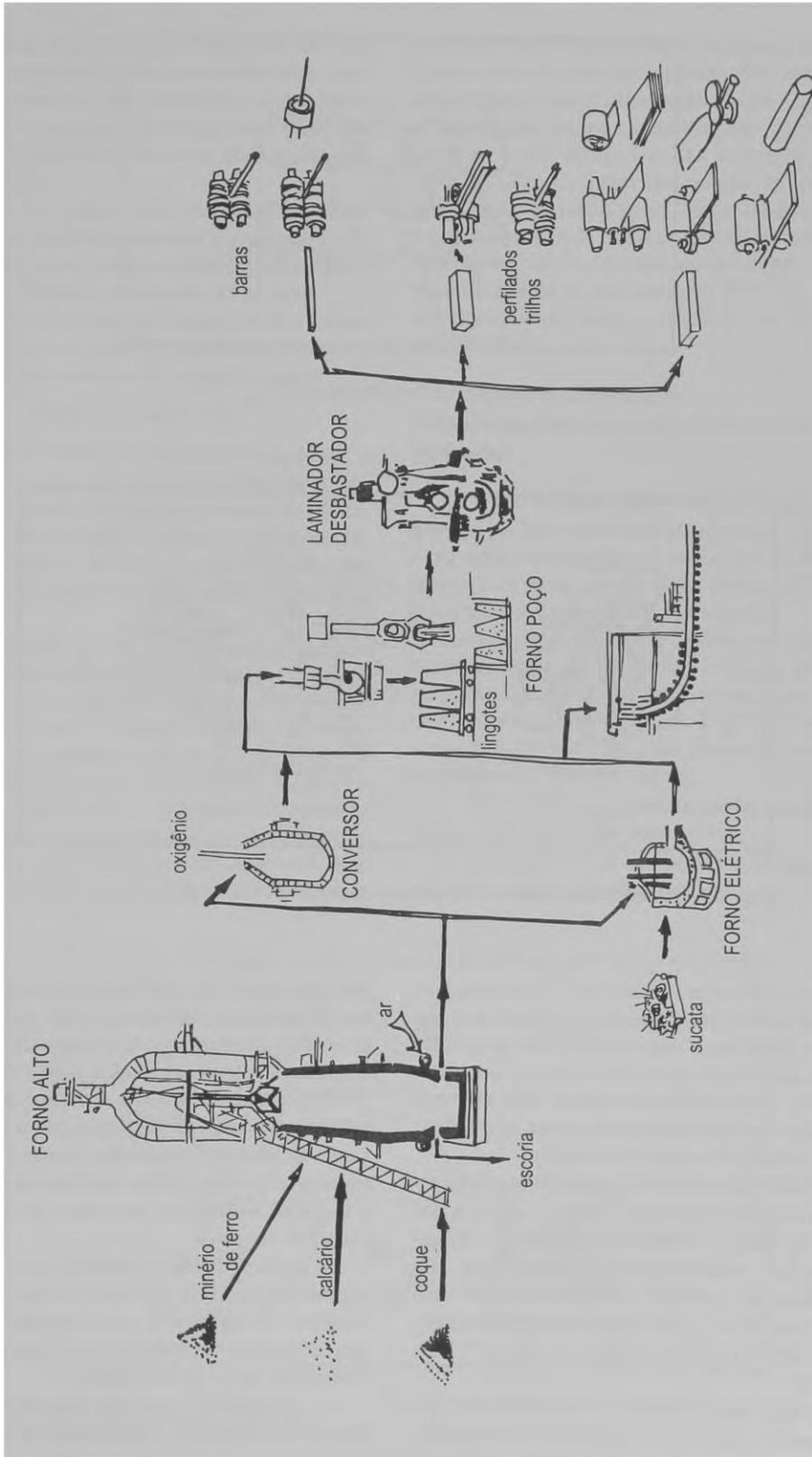


Fig. 2 — Fabricação do aço.

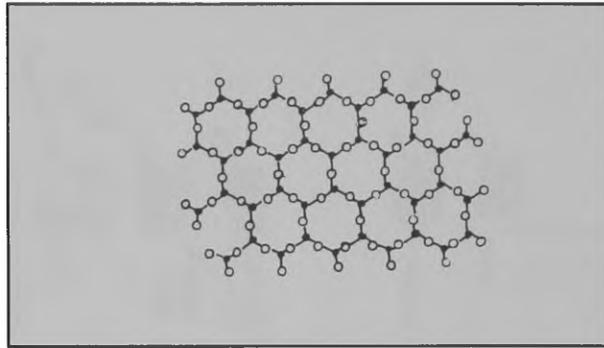


Fig. 3 — Estrutura cristalina do quartzo.

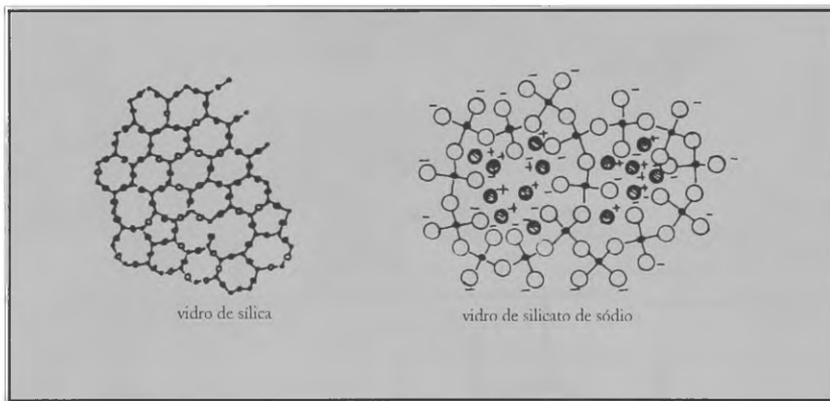


Fig. 4 — Arranjo dos átomos em estruturas vítreas.

não tem a estrutura cristalina. Sua estrutura estatisticamente desordenada mais parece a de um líquido. Entretanto, tem rigidez. Suas propriedades mecânicas são isotrópicas. Não tem ponto definido de fusão como os sólidos, mas amolece num intervalo de temperaturas. Trata-se portanto de um estado diferente da matéria.

Os vidros são fabricados juntando materiais ditos formadores de estrutura, como o quartzo nos vidros de sílica, e materiais *modificadores de estrutura*. Não existem apenas vidros de sílica. Há os também de germânio, antimônio, arsênio, fósforo e boro (Kirsch, 1972: 166). Os modificadores são os cátions Ca^{++} S^{++} Ba^{++} Li^+ , Na^+ K^+ , Rb^+ Cs^+ e Pb^{++}

Vidrados são coberturas vítreas aplicadas sobre superfícies cerâmicas porosas, de modo a dar-

lhes acabamento e impermeabilizá-las. Os azulejos utilizados em construção civil são biscoitos de cerâmica cobertos com vidro. Esmaltes são coberturas vítreas aplicadas sobre superfícies metálicas. Vidro e aço têm o mesmo coeficiente de dilatação térmica, de modo que o comportamento térmico do composto é muito bom. O esmalte protege a superfície metálica da oxidação e o metal dá resistência mecânica (exceto ao impacto) ao conjunto.

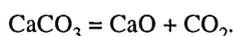
Os vidros, vidrados e esmaltes podem ter a sua cor ou transparência alteradas mediante a adição criteriosa de pigmentos e opacificantes. Necessitam também de engobes (adesivos) para melhorar a aderência ao metal ou cerâmica.

Os ligantes são materiais utilizados em construção civil para unir os elementos de construção,

tijolos ou pedras. O cimento portland tão utilizado no mundo moderno é um desenvolvimento relativamente recente e não interessa à Arqueologia. As edificações do Brasil colonial eram feitas por estruturas de pedras ligadas com óleo de baleia e cheias de adobe.

O barro é o ligante mais simples, usado tanto para unir os tijolos como como argamassa de revestimento. Gesso também é extensamente utilizado. Mas, realmente importantes são as cales.

Cales são o produto da calcinação dos carbonatos contidos em calcários, dolomitas, margas e conchas. O carbonato se decompõe segundo



O óxido de cálcio ou cal virgem reage com o oxigênio do ar, através da água, revertendo a carbonato e fazendo a ligação mecânica desejada. As margas são calcários silicosos ou carbonosos. Quando queimam dão um ligante parecido com o cimento portland e de poder muito maior que o da cal.

O barro pode ser utilizado como argamassa e como elemento estrutural. No interior do Brasil são utilizadas moradias de “pau-a-pique”, em que uma estrutura de madeira trançada sustenta um enchimento de barro batido. Construções de adobe ou de taipa também são muito difundidas. A taipa é a terra socada entre formas deslizantes de madeira. O adobe são tijolos de barro secados ao sol. Basicamente são argilas arenosas e calcárias com boas propriedades plásticas e devendo secar de maneira

uniforme dando uma estrutura resistente. Eventualmente são adicionados materiais fibrosos como palha (*Encyclopaedia Britannica*, 1964, 1: 161).

Os tijolos, telhas e manilhas são queimados antes de serem utilizados. São utilizados desde 8.000 a.C. Em Ur foram encontrados tijolos tanto queimados como secos ao sol. O escritor de Gênesis registra a prática da construção civil ao tempo da Torre de Babel: “*E disseram uns aos outros: vinde, façamos tijolos, e queimemo-los bem. Os tijolos serviram-lhes de pedra, e o betume, de argamassa*” (Gn 11:3).

Transformações da matéria-prima durante utilização

Os argilo-minerais absorvem água avidamente. Esta água é-lhes incorporada por absorção, adsorção e por penetração entre as lamelas dos cristais. A presença da água torna a argila úmida, plástica e passível de ser modelada e conformada.

Durante a queima, outros fenômenos têm lugar. Acompanhem o que acontece com uma pasta de caulinita, cuja estrutura é mostrada na figura 5, durante o seu aquecimento (Kirsch, 1972: 156-7):

- 100-150 °C: a água dos poros e adsorvida é evaporada. O volume reduz-se;
- 200-300 °C: as impurezas orgânicas são oxidadas, caso a atmosfera seja oxidante;
- 400-500 °C: as impurezas sulfetadas são oxidadas, caso a atmosfera seja oxidante;

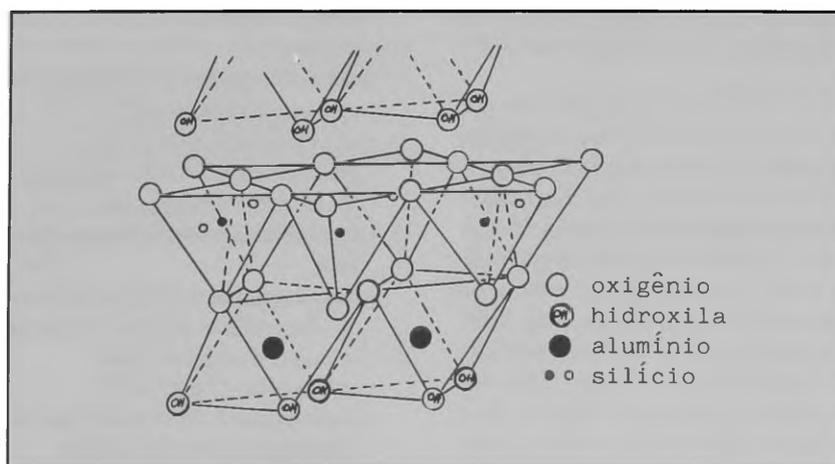


Fig. 5 — Estrutura da caulinita.

— 400-600 °C: os grupos -OH ligados estruturalmente são evaporados;

— 600-900 °C: SiO₂ e Al₂O₃ ficam como componentes residuais amorfos, com grande capacidade de reação;

— 500-920 °C: os carbonatos presentes decompõem-se, despreendendo CO₂;

— a partir de 950 °C: SiO₂ e Al₂O₃ começam a recombinar-se dando uma fase de composição 3Al₂O₃·2SiO₂, denominada mullita.

— 1200 °C: a mullita está formada e o quartzo presente transformou-se na sua variedade alotrópica de alta temperatura, a cristobalita.

— 1650-1775 °C: a massa funde-se depois de formar uma fase vítrea. Este fenômeno se estende por várias centenas de graus. Quando óxidos de ferro e álcalis estão presentes, ou fluorita, os pontos de fusão são mais baixos.

O produto queimado tem portanto propriedades e composição diferentes das da matéria-prima inicial. Na cerâmica denominada branca ou fina, o produto é composto por mullita, vidro, cristobalita, óxido de ferro (pouco) e grãos de quartzo. Já a cerâmica denominada vermelha, que corresponde aos produtos de olaria, não usa apenas argila. Aliás, a composição típica leva 25 a 50 % de minerais não argilosos. Não se deseja uma argila muito plástica, razão pela qual o conteúdo de minerais da família da caulinita é restrito a menos que 30 %.

Necessidades de adequação das matérias-primas

Certas utilizações exigem que as partículas da espécie mineral tenham tamanhos adequados. Por exemplo:

— *minério de ferro usado "in natura" em alto forno* não pode ser fino, senão impediria a passagem do ar soprado para dentro dele. Não pode também ser excessivamente grosso, pois então a reação de redução demoraria muito até chegar ao centro da partícula. O minério de ferro natural utilizado em alto forno é chamado "lump" e deve, por isso, ter tamanho entre 2 e 8" admitindo um máximo de 20 % de partículas com tamanho inferior a 2"

— o *vidro* é fabricado num processo contínuo a partir de uma matéria-prima básica que é a areia. Não é possível admitir finos, pois poderiam levantar-se poeiras no início do processo produtivo que se depositariam sobre o vidro já acabado, mas ainda quente, prejudicando a qualidade da sua su-

perfície. Não podem ser partículas muito grossas, entretanto, pois elas poderiam não fundir totalmente no processo de fabricação, de modo que o produto acabe apresentando defeitos discerníveis visualmente.

Geralmente, as matérias-primas industriais devem atender exigências tanto químicas como granulométricas. Eventualmente podem ser exigidas outras propriedades e ainda, uma mesma substância mineral pode ter que atender exigências diferentes para diferentes aplicações. Os exemplos que se seguem, de especificações comerciais, são auto-explicativos.

a — *areia para vidraria*:

- granulometria: - 30 #, <2 % 140 #, teor mínimo de ferro (0,02 % máximo), para não afetar a cor do vidro, isenção de minerais refratários como a turmalina, por exemplo, para evitar a ocorrência de defeitos punctuais, admite "impurezas" que venham a ser adicionadas no processo de fabricação do vidro, como alumina, cal (ou carbonato de cálcio), feldspato e outros.

b — *areia para concreto* (Knöfel, 1984):

- granulometria: +3/8" -3/8"+4# -4+16# 16+50# -50+100#
% retida 0 0 a 5 20 a 55 70 a 90 90 a 98
forma das partículas: grãos cúbicos ou esféricos são melhores que grãos chatos, compridos ou em discos.
composição química:
SO₃ < 1 % para concreto armado
< 5 % para concreto ciclópico
matéria orgânica < 0,25 %
álcalis < 1 %

total das impurezas < 3% do peso do agregado

c — *talco para cosméticos*:

- alvura superior a 92 GEG,
• granulometria: 99,6 % menor que 44 mm, pH entre 6,5 a 9,5, teor controlado de elementos tóxicos: As < 3 ppm, isenção total de minerais aciculares (por exemplo, tremolita, o popular "pó de mico").

d — *talco para carga de papel*:

- alvura entre 77 e 87 GEG, granulometria: 95 % menor que 44 mm, partículas de formato lamelar.

e — *cal para construção civil* (Knöfel, 1984: 165):

- pureza baixa — admite silicatos, não admite a presença de MgO,

- finura máxima para dar reação rápida e massa homogênea, calcinação total.
- f — *cal para conversores LD*:
- mínimo teor de silicatos,
 - admite MgO,
 - granulometria entre 4 e 40 mm — partículas mais finas são sopradas para fora do conversor, partículas mais grosseiras podem não fundir. calcinação total.

Conclusão

Foram revistas as características da indústria mineral, das indústrias imediatamente correlacionadas a ela e das matérias-primas básicas. O conhecimento destes fatos e o dos processos de fabricação é básico para que o historiador e o arqueólogo possam se situar dentro do contexto industrial e econômico do seu objeto de estudo.

CHAVES, A.P. Adequation of raw-materials for industrial purposes. *Rev. do Museu de Arqueologia e Etnologia*, São Paulo, Suplemento 2:15-25, 1997.

ABSTRACT Mineral raw materials have some peculiar characteristics that affect their industrial utilization. Ceramic, glass or metallurgical production of a given community is always affected by the characteristics of the available raw materials and many times may be identified from them: size distribution of the particles, mineral species present, grade of the ore mineral, presence of contaminants, among many other. This paper makes a quick review of the effects of these characteristics on final products as red or white pottery, glasses, metals and cements.

UNITERMS: Raw Materials — Pottery — Metallurgy — Glasses.

Referências bibliográficas

- CHAVES, A.P.
1995 The profile of the Brazilian mining professionals, Rio de Janeiro, CNPq/CETEM, Série Qualidade e Produtividade, 7, 24 p.
- DAMASCENO, E.C.
1988 Importância econômica e social da mineração. Informativo NEP. Núcleo de Ligação Industrial, EPUSP, set-out. 88, ano 1, 2 p.
- ENCICLOPÉDIA MIRADOR INTERNACIONAL
1979 Encyclopaedia Britannica do Brasil Ltda., São Paulo.
- ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA
1964 Encyclopaedia Britannica do Brasil Ltda., São Paulo.
- KIRSCH, A.
1972 Mineralogia aplicada para engenheiros, técnicos e estudantes. São Paulo, Polígono.
- KNÖFEL, D.
1984 Inorganic binders. W. Baumgart; A.C. Dunham; G.C. Amstutz (Eds.). In: *Process mineralogy of ceramic materials*. Enke Verlag, Stuttgart.
- NEWTON, J.
1964 *Extractive Metallurgy*. J. Willey, N. York.
- POSSEL, J.R.
1979 Timna — mine and metallurgical cradle. *World mining*, Apr. 79: 65-7.