

① Minerais consistem em importantes fontes primarias de materia prima para a industria, isto pois, são solidos extraídos naturalmente por processos geológicos, são inorgânicos, possuem estrutura cristalina e composição química definida, com variações admitidas em função da presença de impurezas.

Por ocorrerem na natureza, serem gerados por processos geológicos, estes são encontrados associados a outros minerais. A fração do mineral que apresenta valor para a industria é denominado minério. Já a fração associada a ele sem valor, corresponde a ganga, o conjunto de minerais que deve ser removido do minério para garantir a pureza necessária no desenvolvimento de um determinado processo industrial.

Uma vez que os minerais possuem arranjo ordenado de seus átomos e composição química contida, sabe-se que suas propriedades físicas e químicas também serão características. Assim, uma fração qualquer deste mineral (ou amostra) representará as propriedades de todo conjunto.

~~As propriedades minerais~~

Os minerais podem ser classificados em função do grupo aniónico que o compõem, como carbonatos (CO_3^{2-}), sulfatos (SO_4^{2-}), sulfetos (S^{2-}), halogenados (Cl^-), silicatos (são os mais abundantes na natureza), e metais nativos (Me^0) e óxidos. Podem também ser classificados quanto a sua utilização, como minerais metálicos (fonte de metais ferrosos - Fe_2O_3 e não ferrosos - FeS_2), minerais energéticos (fonte de energia - Uranio, carvão mineral) e rochas e minerais industriais (quartzo, calcita, feldspato, dentre muitas outras com amplo emprego como matéria prima para a industria).

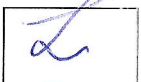
As propriedades minerais refletem tanto sua composição química quanto sua estrutura cristalina, podendo ser ~~grupos~~ conhecidas e definidas para o processamento mineral, sua aplicação e sua identificação.

Dentre eles podem ser citados o hábito (forma que reflete o arranjo atômico cristalino), cor (características dos minerais e fortemente influenciada pela presença de impurezas), brilho (corresponde à capacidade de refletir a luz incidente sobre superfície mineral), Togo (corresponde à capacidade de um mineral em ser riscado removendo faixas de sua superfície que apresentará uma coloração característica. Apesar de muito importantes, estas propriedades podem ter um caráter de definição ou identificação. Isto é exemplificado quando comparamos o minério de ouro de pirita, apesar de ambos terem coloração dourada e brilho metálico, o togo obtido pela fricção da pirita sobre a superfície de uma porcelana branca terá coloração esverdeada, ao passo que o ouro será dourado.

Em termos de processamento industrial, as propriedades de dureza (capacidade de riscar ou ser riscado por outro mineral), tenacidade (reflete a coesão entre os átomos na estrutura - o que define se o material pode ser trilhado, por exemplo), direção (ocorrência de direções preferenciais para rompimento de ligações em ~~função~~ função de presença de ligações fracas), fratura (ausência de direções preferenciais de rompimento das ligações químicas), solubilidade (capacidade de dissolver em determinados solventes, como ácidos diluídos) são propriedades extremamente úteis na condução do processo de beneficiamento do mineral e de sua aplicação na indústria, além da densidade, radioatividade, dentre outras.

Sabendo que os minerais ocorrem associados à ganga, os minérios necessitam ser submetidos a operações que promovam a remoção destas impurezas. Estas operações unitárias são denominadas "Beneficiamento mineral" e tem por objetivo separar e concentrar o minério, assumindo as características físicas e químicas para uma dada aplicação industrial.

O conhecimento das propriedades minerais permite a escolha de técnicas que explorem a diferença em uma dada propriedade para promover a separação minério / ganga, tais como a densidade de modo a se empre-



por técnicas de concentrações gravimétricas, a hidrofobicidade que permite o uso da flotação e a susceptibilidade magnética que irá separar as minerais sulfureis a um campo magnético.

Estas propriedades são igualmente de fundidos na rota de processamento na indústria. Na produção de materiais cerâmicos, por exemplo, os minerais devem, após beneficiamento, ser cominuidos, ~~misturados~~ misturados a água ou a um agente que aumenta sua moldabilidade, em seguida, são conformados e expostos a elevadas temperaturas para que alcancem as propriedades e características desejadas. O processamento cerâmico reflete exatamente a incapacidade de moldar e fundir os ~~materiais~~ materiais primos a temperaturas baixas devido a sua elevada dureza, elevado ponto de fusão e baixa ductibilidade.

L

JD

② O ácido fosfórico (H_3PO_4) tem papel fundamental na produção de fertilizantes fosfatados sendo obtido para esta aplicação através da digestão da rocha fosfática por ácidos minerais (H_2SO_4), denominada via úmida.

Para tal a rocha fosfática que ~~corresponde~~ corresponde a rochas ricas em minerais do grupo apatita é utilizada como fonte de fósforo. As rochas do apatita são consideradas a única fonte de fósforo economicamente viável para a indústria. Os minerais do grupo apatita são fosfatos de cálcio (com substituições possíveis de PO_4^{3-} por CO_3^{2-} , de cálcio por magnésio, urânio, ferro, dentre outros) que possuem fórmula $Ca_5(PO_4)_3(Cl, F, OH)$.

As rochas podem ser de origem ígnea ou sedimentar, neste caso são ricas em material carbonático, o que torna seu beneficiamento e digestão mais fáceis, mas

Apatita não são a forma predominante no Brasil.

Lavra

O beneficiamento da rocha fosfática tem início com a sua extração do solo, normalmente por LAVRA = céu aberto com emprego do método por bancadas.

Britagem

O mineral "run of mine" consiste em grandes blocos minerais que serão submetidos à britagem, (podendo ocorrer até a britagem terciária) comumente são usados britador mandíbulas na britagem

Moagem

primária e britador cônico na secundária.

Separação Magnética

O produto da britagem é submetido à moagem onde será realizada a liberação do mineral apatítico da ganga associada (argilo minerais, quartzo, dolomita, calcita). A moagem costuma ser feita com moedores de bola ou de rolos.

Deslamagem

O material cominuído é submetido à separação magnética de baixo campo para remover a fração magnética e evitar interferências no processo de flotação.

Flotação

Concentrado fosfático

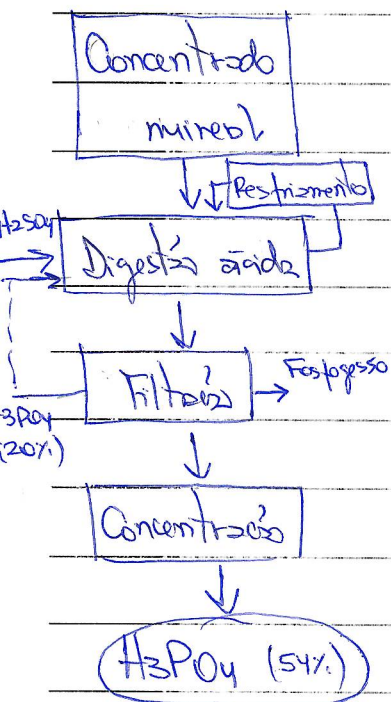
L

J

A feição má magnética é, em seguida, submetida a deslamagem para que partículas muito finas, de diâmetro inferior a 20 μm , sejam removidas.

A concentração é realizada por flotação direta dos minerais de zafira, podendo ser empregados como coletor ácidos graxos e depressor úmido de milto ou carboximetil celulose (CMC), para um meio com pH alcalino. Estas características ou condições são preferenciais para a separação de minerais silíceos, enquanto para ganga carbonática o processo é dificultado devido às semelhanças nas propriedades de superfície do carbonato e do fspato.

O concentrado mineral deve apresentar concentração mínima de P_2O_5 equivalente a 30%, a $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ deve ser de até 1/6 (o que garante a sua reatividade) e ser isento ou apresentar o mínimo de ferro, alumínio e arsênio.

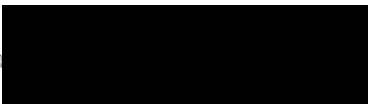


A produção de H_3PO_4 por via úmida pode ser classificada em função do subproduto gerado, o sulfato de cálcio que pode ser desidratado ou hidratado. Uma vez que o processo desidratado é o mais empregado, este é representado no fluxograma ao lado.

O concentrado mineral de zafira é misturado ao ácido sulfúrico em reatores com agitação, com manutenção da temperatura na ordem de 70-85°C. É também adicionado ácido fosfórico diluído, o fim de evitar a occlusão de partículas do mineral devido à formação de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ na superfície destas.

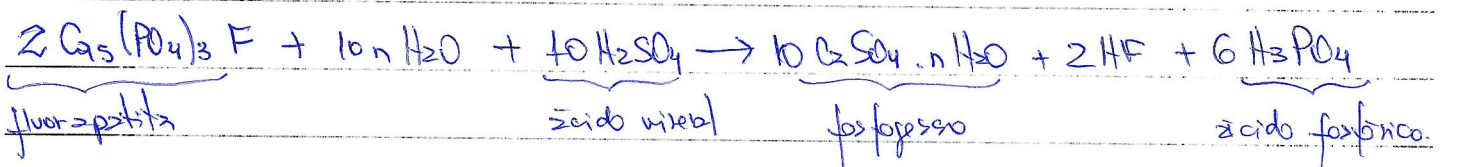
[Handwritten signature]

[Handwritten initials]

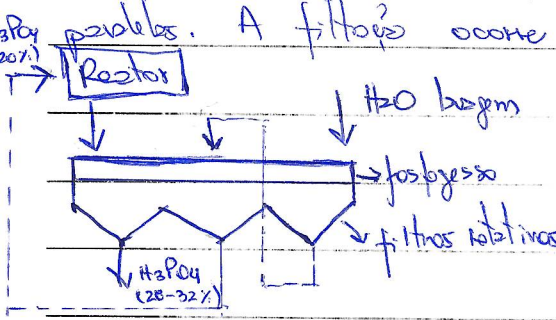


A manutenção da temperatura é conseguida através do resfriamento de parte da polpa em resfriadores ou (f) pela insuflação de ar na superfície da polpa. As condições da temperatura são definidas no subproduto gerado, o sulfato de cálcio na forma de dihidrato. A temperaturas mais elevadas o sulfato (f) de cálcio pode precipitar na forma de ~~di~~ hemidrato ($CaSO_4 \cdot 1/2 H_2O$) ou anidro ($CaSO_4$), o que influencia diretamente na etapa de filtração. Isto pois o aumento da temperatura reduz a solubilidade do sulfato mas inibe o crescimento dos cristais, dificultando a sua separação de H_3PO_4 , desta forma cristais de dihidrato são preferíveis pois ocorrem em (f) tamanho superior e são mais bem formados.

A reação global do digestão sendo do mineral fluorapatita (mais usada na indústria) é apresentada a seguir:



A etapa de filtração deve separar o ácido produzido dos subprodutos sólidos (fosfógeno), de feições de nicho indesejadas e produtos formados por reações paralelas. A filtração ocorre em três etapas, como está ilustrado abaixo:



O ácido que sai dos reatores é filtrado e separado com concentrações entre 28-32% de P_2O_5 , este poderá ser concentrado chegando a até 54% de P_2O_5 em evaporadores a vácuo.

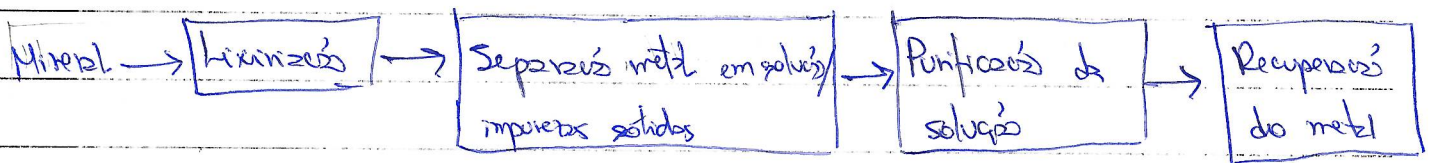
A fase sólida do primeiro filtro é enviada ao segundo filtro, onde está lavada com o filtrado do terceiro reator, e o filtrado do segundo corresponde ao ácido diluído (20% de P_2O_5) que é

reciclado para o setor. Na terceira etapa do filtro, é obtido o fosfógeno, em volume expressivo, uma vez que para cada tonelada de ácido produzido, cerca de cinco toneladas do resíduo são geradas.

Dado a semelhança com o mineral gipsita, o fosfógeno pode ser empregado na produção de cimento Portland ou outras ~~de~~ áreas de construção civil. Entretanto, cerca de 50% do resíduo ainda vai para destinação final em aterros, em função deste poder apresentar ~~de~~ acidez residual, presença de elementos radioativos e outras impurezas (terras raras, por exemplo) que podem interferir negativamente nas propriedades do cimento.

③ A) Os processos metalúrgicos têm por objetivo a extração e purificação de espécies metálicas através de diferentes técnicas que serão definidas em função das características químicas do metal, como a reatividade, e sua concentração. Podendo inclusive ser utilizadas mais de uma técnica de modo sequencial.

A hidrometalurgia é empregada utilizando soluções que extraem a espécie metálica do mineral transferindo-a para a solução, que posteriormente ~~será~~ será enviada da solução para recuperação e purificação, seguindo as etapas:



O mineral sofre uma dissolução seletiva devido à ação de um agente lixivante (ácido, base, sal) que transfere ions metálicos para solução, mantendo a ~~ganha~~ ganha insolúvel (sólido), o que demonstra a seletividade do processo. As reações ocorrem a temperaturas relativamente baixas (inferiores a 100°C) o que torna a cinética mais lenta.

Por a rota hidrometalúrgica podem ser usados minerais de concentrações reduzidas o que faz com que processos hidrometalúrgicos venham ganhando representatividade na metalurgia extractiva.

O ~~metal~~ metal dissolvido em solução é separado da fase sólida (filtração, por exemplo) e a solução é purificada, reduzindo os contaminantes e isolando as ~~espécies~~ espécies metálicas (extraída por solvente), para então ser recuperada ~~por~~ e o metal ser obtido por redução (eletroprodução, por exemplo).

A rota hidrometalúrgica é ~~considerada~~ considerada de baixo investimento para implantação e manutenção, bem como gera resíduos das soluções empregadas

L

S

que podem apresentar toxicidade.

Os processos pirometúrgicos ~~envolvem~~ envolvem o emprego de calor para reduzir a estabilidade de óxidos metálicos, podendo reduzir o nível a elevadas temperaturas. Como são realizados em temperaturas elevadas, a cinética das reações é favorecida, entretanto, a seletividade é baixa. Bem como, a temperatura elevada envolve grande consumo de combustíveis e demanda reatores com resistências térmica elevada, o que torna o investimento de implantação e a manutenção elevada.

Outra característica é que os minérios devem apresentar elevada concentração para que se justifique o investimento. Em algumas operações além do calor, é necessário o emprego de reagentes que auxiliem as reações com o carbono (C - redução carbotérmica), Oxigênio (óxido oxidante), o cloro (no óxido com halogênios).

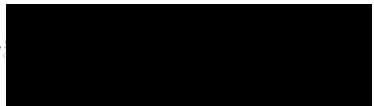
O quadro abaixo ilustra as principais diferenças entre as duas rotas.

Hidrometalurgia

Soluções aquosas
Reações a baixa temperatura
Mineral de baixa concentração
Cinética lenta
Alta seletividade
Uso de reagentes (ácidos e extratores orgânicos)
Soluções residuais tóxicas

Pirometurgia

Ação da temperatura
Emprego de elevadas temperaturas
Mineral de concentração elevada
Cinética favorecida
Baixa seletividade
Uso de reagentes (C, H, Mg, Cl, Al)
Gera resíduos gasosos (CO_2 , SO_2) e sólidos (escórias)



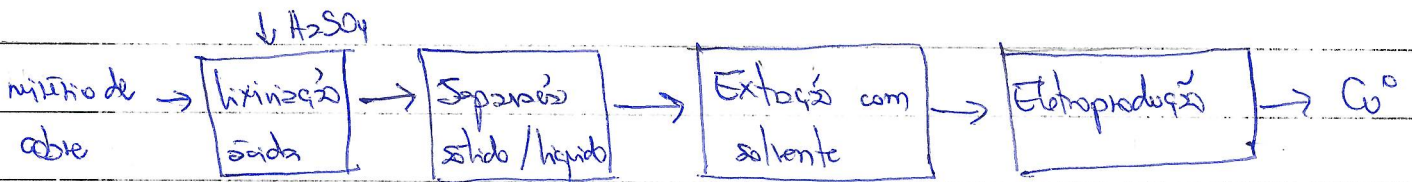
3 B) Hidrometalurgia do Cobre

Minérios de cobre com menor concentração podem ser extraídos por processos hidrometalúrgicos, mediante a lixiviação com ácido sulfúrico segundo a reação: $CuO + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + H_2O$

E posteriormente ser extraído com uso de extração por solvente, utilizando solvente catiónico, a fim de reduzir as impurezas da solução.

Seguida por reprecipitação com ácido, e regeneração do solvente orgânico.

A solução final conseguida com cobre pode ser submetida a processos de eletrometalurgia para eletroprodução (~~obtenção do cobre metálico~~).



Pirrometalurgia do Cobre

Sulfetos de cobre podem ser convertidos por ustulação a óxido de cobre: $CuS + O_2 \rightarrow CuO + SO_2$

Sendo esta uma fase termodinamicamente mais favorável para a redução do cobre, em forma eletrolítica

