

UNIVERSIDADE DO BRASIL

Escola Nacional de Química

MINERALOGIA

e

GEOLOGIA ECONÔMICA

Notas organizadas pelo Professor

Oswaldo Eriksen de Oliveira

DIVULGAÇÃO DO D. A.

1953

m
03053

NOTA EXPLICATIVA

O Diretório Acadêmico da Escola Nacional de Química, fazendo editar este volume contendo notas de aula de Mineralogia e Geologia Econômica do ano de 1953 vem preencher parcialmente uma lacuna, no que diz respeito a obra texto da matéria.

Cumprе salientar que a dizer do Dr. Oswaldo Eriksen de Oliveira, não se trata de obra definitiva, mas uma compilação de trabalhos não só de nosso esforçado Mestre, como também, de vários de seus colegas químicos do D.N.P.M.

Apresentar este trabalho com uma feição mais ampla em futuro próximo é propósito do Professor Oswaldo Eriksen de Oliveira e nosso, si assim, Deus o permitir.

Rio. 9. 6. 53

Departamento Editorial do
Diretório Acadêmico da
Escola Nacional de Química

Universidade do Brasil

ESCOLA NACIONAL DE QUÍMICA

Notas de aula de

I - Mineralogia

Dr. Oswaldo Eriksen de Oliveira

- 1953

Mineralogia: - generalidades e Divisões. Minerais, rochas e minérios. Propriedades da matéria: escalares e vetoriais. Distinção entre matéria amôrfa e cristalina.

A Mineralogia é o estudo dos minerais. Mineral pode ser definido como "todo elemento ou composto natural formado por um processo inorgânico". Isto elimina todos os compostos ou produtos artificiais de laboratório, bem como os produtos formados por processo orgânico.

A Mineralogia é assim, a ciência que descreve, e classifica e correlaciona as diferentes espécies minerais. A fim de estudos, ela se divide:

1) - Mineralogia química.

A composição química, determinada pela análise, é o caráter mais importante do mineral, porque serve para definir e distinguir a espécie. Além disto, os minerais são classificados de acordo com a sua composição química.

2) - Cristalografia.

A maioria dos cristais que crescem sem interferências estranhas, assumem formas definidas e características pelas quais elas são conhecidas. Tais minerais, limitados por faces planas, arranjadas de acordo com as leis de simetria, são chamados cristais. A Cristalografia, estuda não só estas faces externas e as leis que regem o seu arranjo, mas também a estrutura interna, que é característica para cada espécie.

3) - Mineralogia física

Trata das várias propriedades físicas, tais como duresa, densidade, brilho, cor, etc.

4) - Mineralogia descritiva.

Descreve detalhadamente cada espécie mineral, incluindo a composição química, cristalografia e características físicas, juntamente com a ocorrência, associações e usos.

5) - Mineralogia determinativa.

Esta divisão inclui os métodos usados para a identificação mineral.

Mineral já foi definido acima. Rocha é um agregado de minerais. Geralmente os minerais constituintes das rochas, são espécies diferentes, como por exemplo o granito, constituído por quartzo, feldspato e mica. Há poucas exceções, como o calcário, rocha constituída exclusivamente por calcita, e o quartzito, rocha constituída por quartzo, unicamente. Sobre as rochas maiores estudos serão feitos na Geologia Econômica.

A palavra minério ("ore" da língua inglesa), está associada ao conceito de valor econômico; desde que um mineral possa apresentar valor econômico, dá-se o nome de minério. Na falta de outro termo, usa-se também para os minerais não-metálicos.

Assim, uma rocha contendo um teor muito baixo de um determinado elemento, pode ser um minério.

É o caso dos molibdenio, pois amostras contendo 0,4% de MoS_2 , é um minério daquele elemento. Enquanto isso, um minério de ferro para ser explorável (no nosso país), é necessário um teor que supere 60%.

Considerando o caso das propriedades dos minerais, podemos dividi-las em escalares e vetoriais.

Propriedades escalar, é aquela que não depende da direção, e vetorial aquela que depende da direção. A propriedade vetorial é dita contínua, quando variando a direção segundo a qual a propriedade é es-

tudada de um modo contínuo, a propriedade também varia continuamente; a propriedade vetorial é dita descontínua, quando fazendo variar a direção segundo a qual ela é estudada de um modo contínuo, a propriedade varia descontinuamente, isto é, de um modo brusco.

Como propriedades escalares, temos a densidade, a fusibilidade e a composição química dos minerais. Isto significa, que tomando-se um fragmento de quartzo por exemplo, a sua composição química é a mesma em qualquer parte do mineral, independentemente portanto da direção que se estuda a composição química.

Como propriedades vetoriais, temos as propriedades óticas, a dureza, propriedades térmicas, etc. pois variam segundo a direção que se estuda. Por exemplo, a dureza na cianita ou sistênio, é 5 numa direção e 7,25 noutra.

A grande maioria dos minerais, quando as condições de formação são favoráveis, ocorrem em formas definidas e características geomêtricamente, denominadas cristais. O estudo desses corpos e as leis que regem seu crescimento, forma e características geomêtricas é o objeto da Cristalografia. Si bem que a Cristalografia tenha se desenvolvido como um ramo da Cristalografia, atingiu tal desenvolvimento, que hoje é uma ciência própria.

Definindo cristal, podemos dizer que "é um corpo homogêneo limitado por faces planas, que são a expressão externa de um arranjo atômico interno ordenado". Modernamente, ha uma tendência em falar-se em "estado cristalino" em vez de cristal, que se refere a qualquer sólido que tenha uma estrutura atômica interna ordenada, possua ou não ele faces externas definidas.

Isso pelo fato, de haver substâncias cristalinas, que não apresentam faces definidas, devido

as condições de crescimento. Enquanto isto, podemos ter um bloco de vidro perfeitamente cortado, com faces externas definidas, mas que não é absolutamente um cristal, pois não apresenta um arranjo atômico interno ordenado.

O termo "estado cristalino" é mais geral, denotando um arranjo ordenado dos átomos na estrutura, referindo-se especificamente a expressão externa do arranjo atômico ordenado. O termo amorfo, é aplicado as substâncias que nota-se completa ausência de arranjo atômico interno.

O fato fundamental concernente aos cristais, é portanto, que os átomos que os compõem são arranjados de uma forma ordenada. Um cristal, pode ser desenhado como formado por um número infinito de minúsculas partículas, arranjadas em uma rede de 3 dimensões. O termo estrutura, é aplicado para essa configuração dentro de um cristal. É possível em muitos cristais, determinar não só a rede, mas também as suas dimensões e posições dos átomos. A unidade da estrutura deve ser considerada como a menor porção do cristal, que ainda possue as propriedades características do mesmo. Esta unidade, chamada célula unitária, pode ser imaginada como sendo repetida diversas vezes no espaço para construir o cristal.

Esses estudos são feitos através os raios-X.

Leis da cristalográfia

A Cristalografia é o estudo dos cristais. - Cristal é um corpo homogêneo limitado por superfícies planas que são a expressão externa de um arranjo atômico interno ordenado.

Si bem que a Cristalografia se tenha desenvolvido como um ramo da Mineralogia, atingiu um desenvolvimento tal, que hoje em dia é uma ciência própria.

O fato fundamental e mais importante a respeito dos cristais é que os átomos que os compõem são arranjados de uma forma ordenada. Dêse modo, o estudo da Cristalografia, é não só o estudo das faces externas, mas também o estudo da estrutura interna com as características para cada espécie.

1ª lei) - Da convexidade

"Os cristais apresentam-se sempre em formas poliedricas, convexas, isto é, de ângulos salientes".

É conveniente observar, que não raro, são encontradas na natureza, forma poliedricas com ângulos reentrantes. Isto significa que não estamos diante de um único cristal, mas sim de 2 ou mais, reunidos em grupamentos. A presença de ângulo reentrante, é o primeiro indicio de grupamento.

2ª lei) - Da constância dos ângulos diedros.

Essa lei é de Stenon e Romé de l'Isle.

"Na mesma espécie mineral o ângulo diedro formado por duas faces idênticas é constante".

Assim por exemplo, qualquer que seja o quartzo, o ângulo diedro formado por duas faces do prisma hexagonal, é de 120° .

Deve-se notar que a lei se refere a ângulo, não importante o tamanho das faces.

Goniometria - A medida dos ângulos dos cristais, é a goniometria. Existem dois tipos de goniometria: os de aplicação ou contato, e os de reflexão.

O goniometro de aplicação é o mais simples, e foi inventado por Carangeot, tendo servido para Romé de l'Isle estabelecer a lei da constância dos ângulos diedros. Consta de um semi-circulo graduado

de 0 a 180 graus, dando uma aproximação de 0,5 grau. Possui dois diâmetros metálicos, um fixo e outro móvel; o ângulo é lido diretamente.

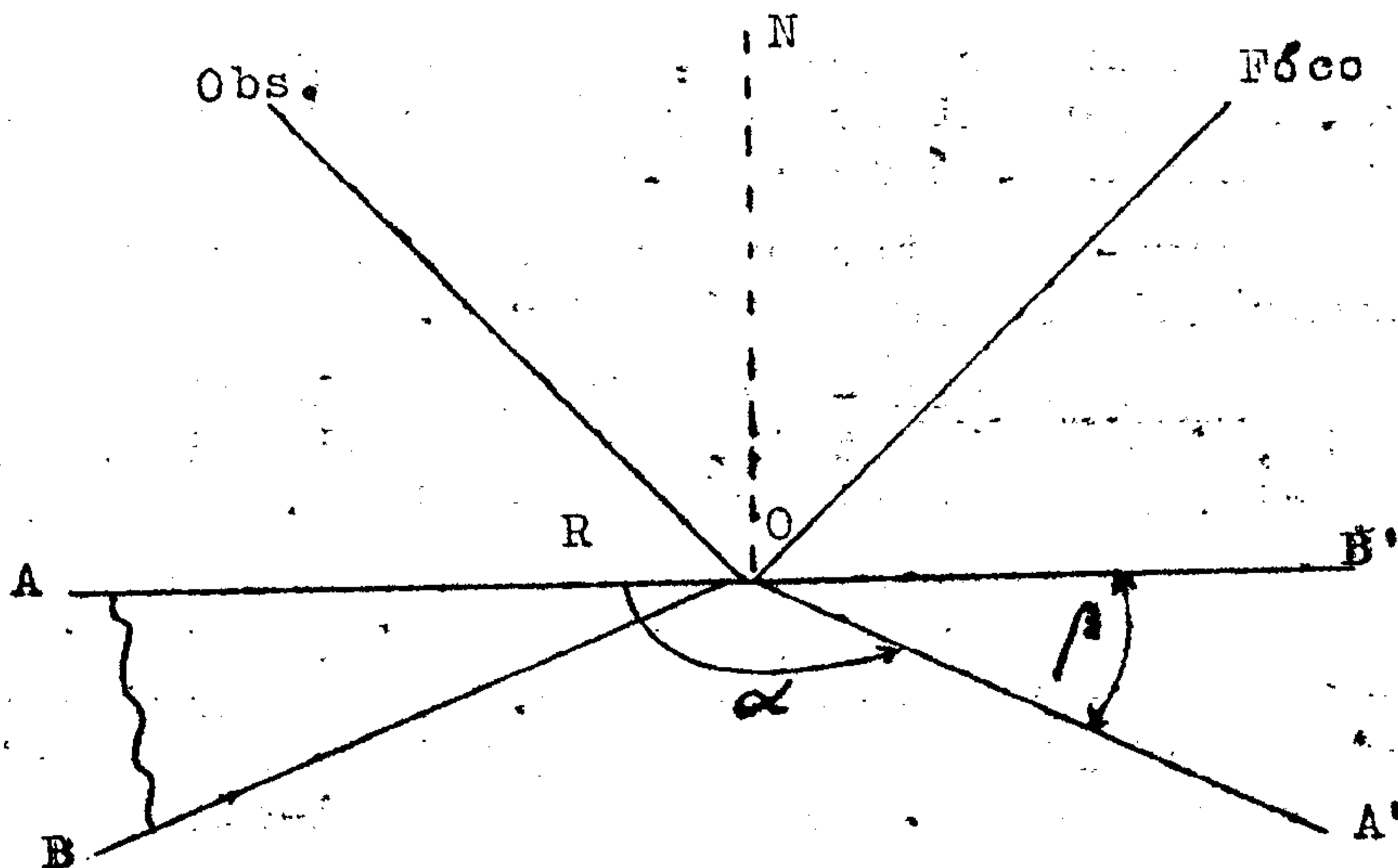
É um aparelho que tem o seu uso muito limitado, pois só pode ser aplicado a cristais de grandes dimensões, e dá uma aproximação de apenas 0.5 grau.

O goniometro de reflexão, tem uma aplicação muito maior, pois pode ser usado para cristais de pequeno tamanho, e dá uma precisão muito maior.

São baseados no seguinte:

Consideremos o ângulo diedro AOB , que queremos medir; ele é formado pelas faces AO e BO , cuja aresta está projetada no ponto O ; por conseguinte, AO e BO , são os traços das duas faces do diedro considerado com o plano do papel. Então concluímos que o ângulo plano do diedro é o ângulo AOB .

Suponhamos agora que coloquemos um foco luminoso a uma certa distancia do diedro, e que o raio luminoso se venha projetar sobre a face AO , o mais perto possível de O ;



Este raio luminoso se reflete e forma, como sabemos da Física, com a normal a face, um ângulo de reflexão igual ao ângulo incidente. Este raio refletido é recebido pelo observador colocado na direção R , de raio refletido.

Suponhamos, em seguida o diédro AOB girando em torno da aresta O . O observador ficando fixo, deixará de vê-lo imediatamente a face do foco luminoso; - continuando porém o diédro a girar, quando a face BO coincidir em direção com a face AO, o observador verá novamente a imagem do foco luminoso. Nessa posição, OB ocupará a posição OB' e OA a posição OA'. O ângulo de que girou o diédro é o ângulo α , que é evidentemente o suplemento do ângulo β , que mede o ângulo diédro. Logo: $\beta = 180 - \alpha$

3ª lei) - de Hauy ou da clivagem

A clivagem é a propriedade que têm os cristais de se deixarem separar por planos de determinada direção para cada cristal.

Podemos considerar 3 tipos de clivagem. Muito fácil, quando pode ser feita pela unha ou canivete, como no caso da mica e da gipsita; fácil, quando pode ser feita por meio de choque, como no caso da galena e o ortoclásio; difícil, quando é necessário usar-se um meio violento, tal como aquecimento e resfriamento brusco, como no caso do quartzo.

Por outro lado, pode ser completa ou incompleta; é completa, quando os planos de clivagem delimitam um sólido, isto é, determinam uma forma poliédrica. Para isto, são necessários pelo menos 3 planos de direções distintas. É incompleta quando o número de planos for inferior a 3, podendo ser 2 ou 1. Como completa, temos a galena, cuja clivagem é cúbica; como incompleta, temos a mica (1 plano) e o ortoclásio (2 planos).

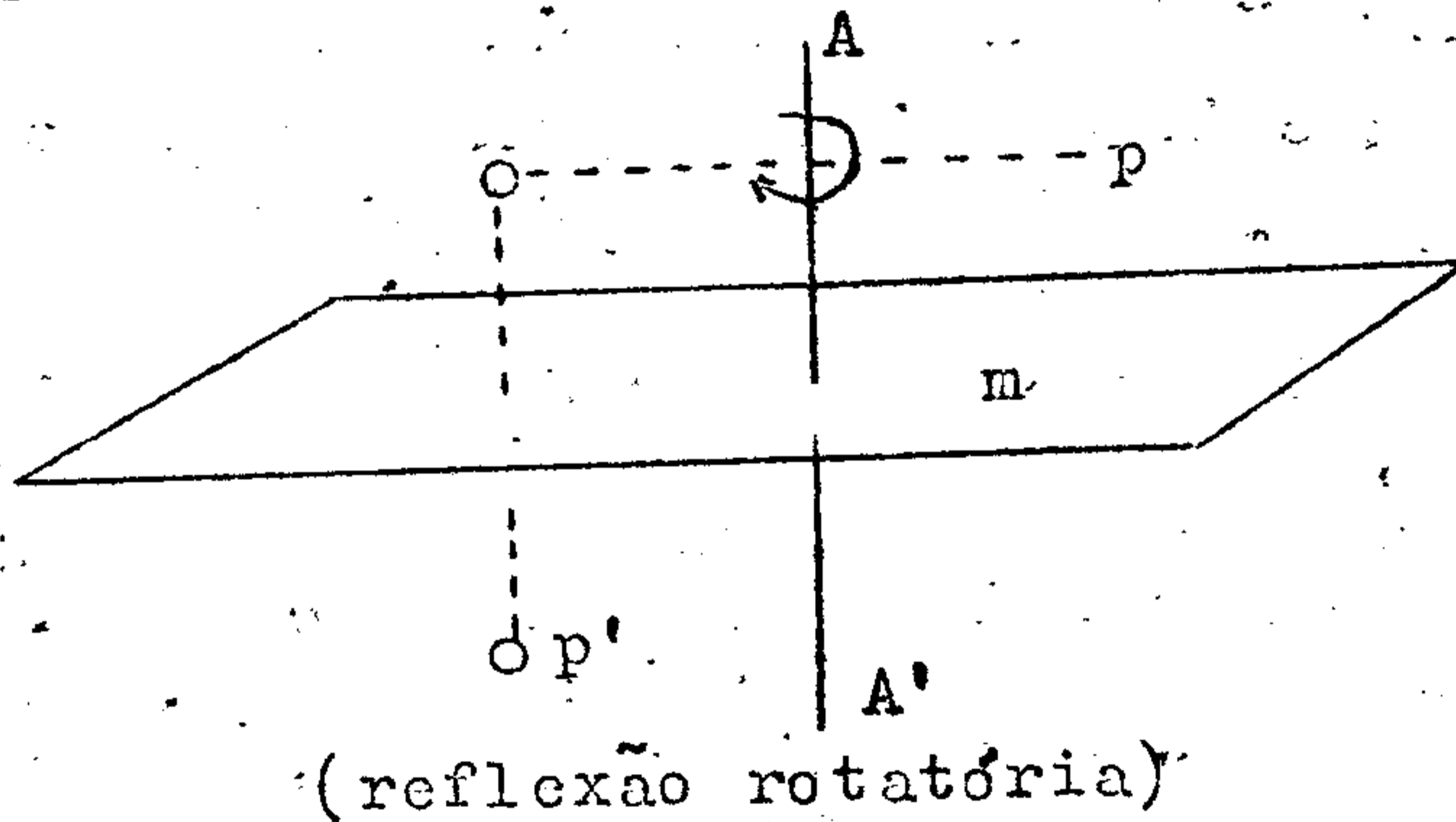
A lei da clivagem diz: - "na mesma espécie mineral, a direção dos planos de clivagem é constante".

Simetria:

Todos os cristais mostram pelo arranjo das suas faces, uma simetria definida que leva-nos a grupá-los em diferentes classes. As várias operações que podem ser executadas com um cristal e que resulta trazê-los em coincidência com a posição inicial são conhecidas como elementos de simetria.

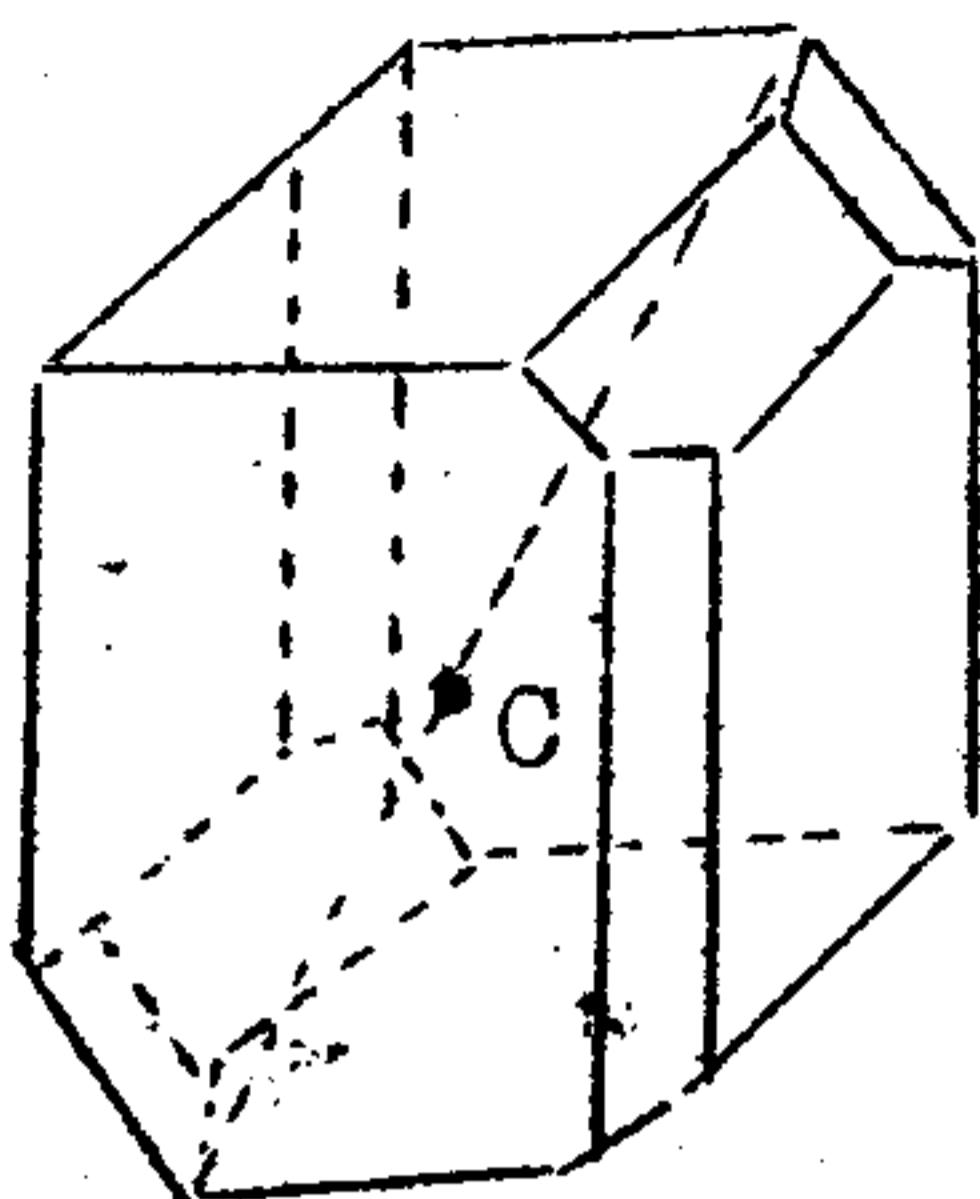
As operações fundamentais consistem:

- 1) - rotação em torno de 1 eixo
- 2) - reflexão dum plano
- 3) - rotação em torno dum eixo e reflexão no plano perpendicular ao eixo (reflexão rotatória).



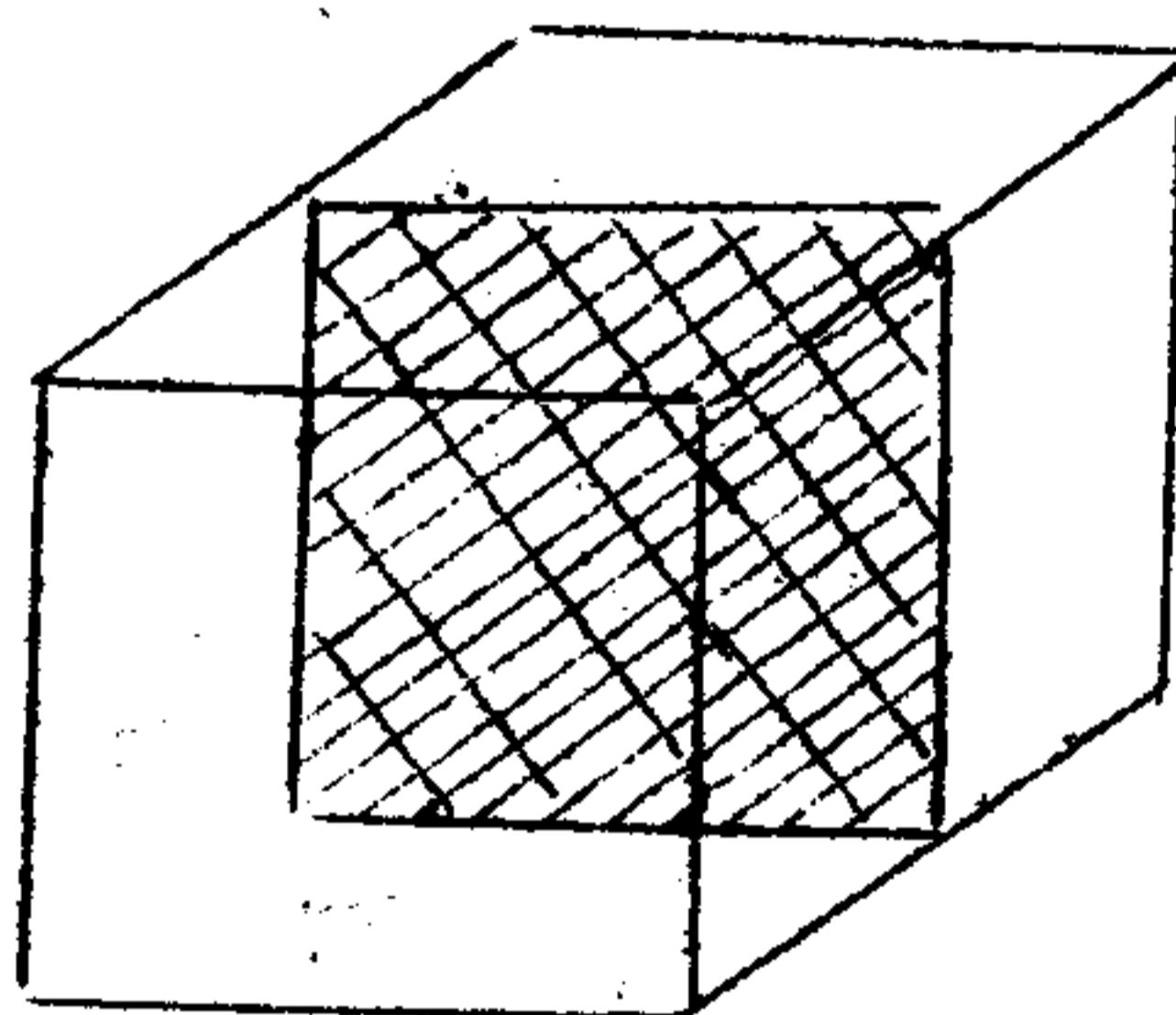
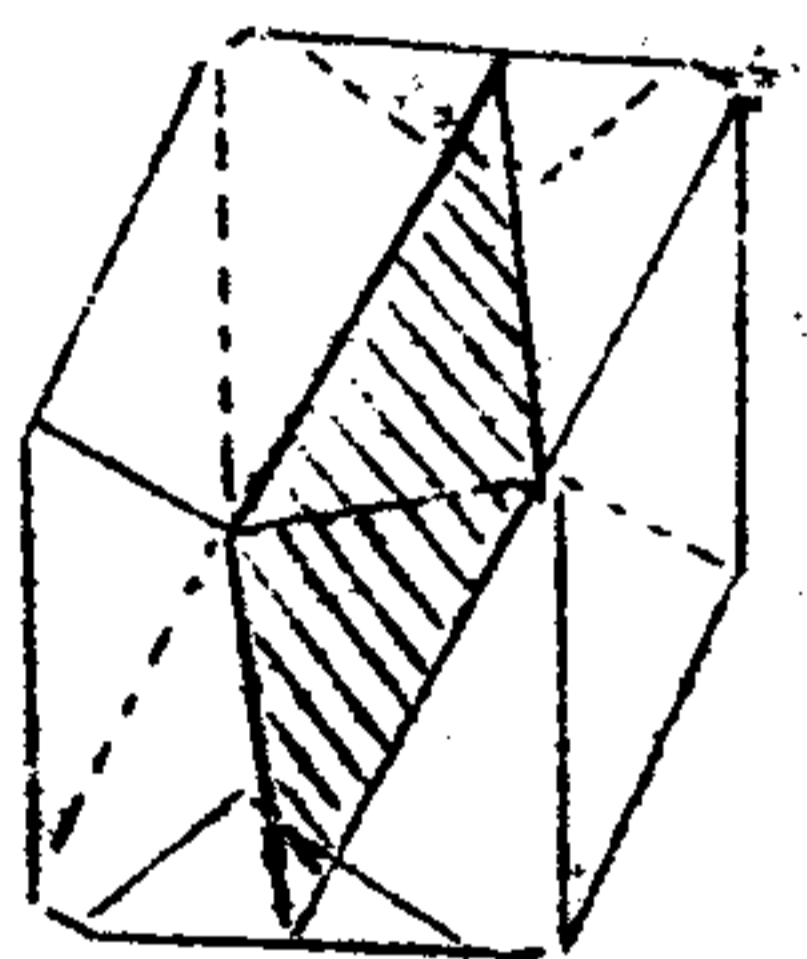
Centro de simetria

Diz-se que um cristal possui um centro de simetria, quando uma linha passando por um ponto de sua superfície através o centro, determina um ponto semelhante na linha e a igual distância.



Plano de simetria

É um plano imaginário, o qual divide o cristal em duas metades, as quais são um cristal perfeitamente desenvolvido e a imagem especular do outro.







Eixos de simetria

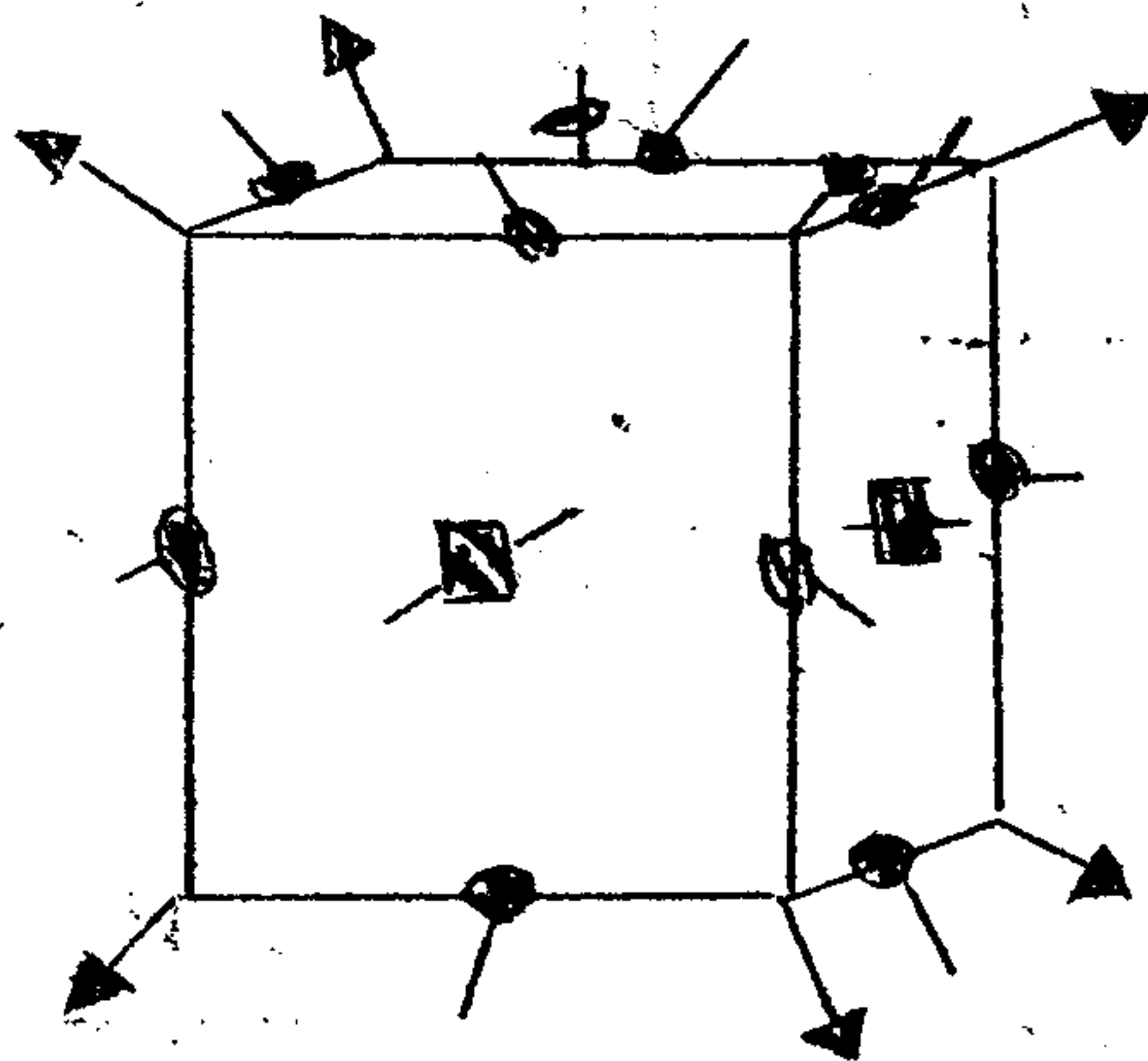
São linhas imaginárias através dum cristal, em torno do qual o cristal pode ser girado e ficar numa posição semelhante a inicial. Melhor definindo: uma linha tal, que após rotação em torno da mesma de $360/n$ o cristal assume uma posição semelhante.

O valor n determina o grau do eixo. Si $n = 1$, o cristal deve ter uma rotação de 360° ; si n é igual a 2, a rotação será de 180° , e o eixo é chamado binário; si n é igual a 3, a rotação será de 120° , e o eixo é ternário; si n é igual a 4, a rotação será de 90° , e o eixo quaternário; si o n é igual a 6, a rotação será de 60° , e o eixo senário.

Estudos feitos, demonstram ser impossível um grau superior a 6.

Gráficamente, os eixos são representados do seguinte modo:

| | | | | |
|----------|---|---|-------------|---|
| Binário |  | - | Quartenário |  |
| Ternário |  | - | Senário |  |



Eixos cristalográficos

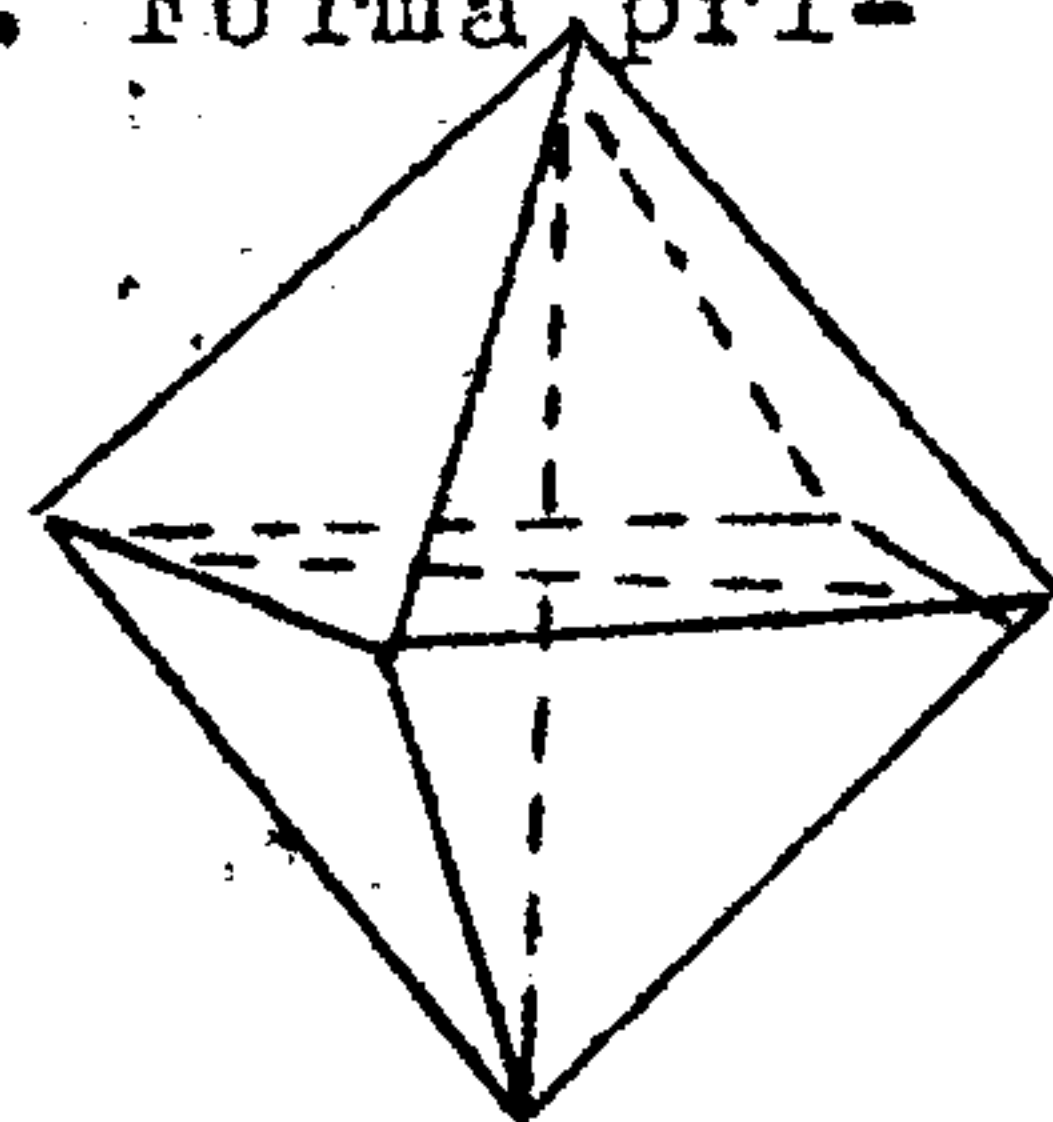
São linhas imaginárias passando através o centro ideal dos cristais, como eixos de referência.

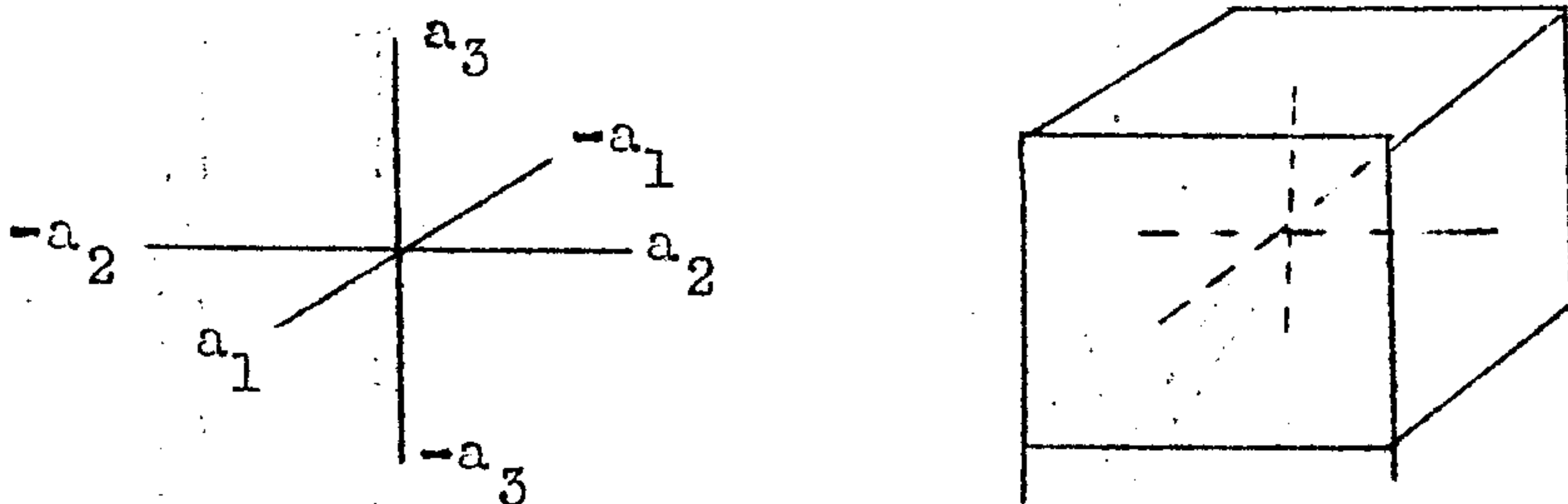
Todos, os cristais, com exceção dos pertencentes ao sistema hexagonal, são referidos a 3 eixos cristalográficos.

Sistemas cristalinos

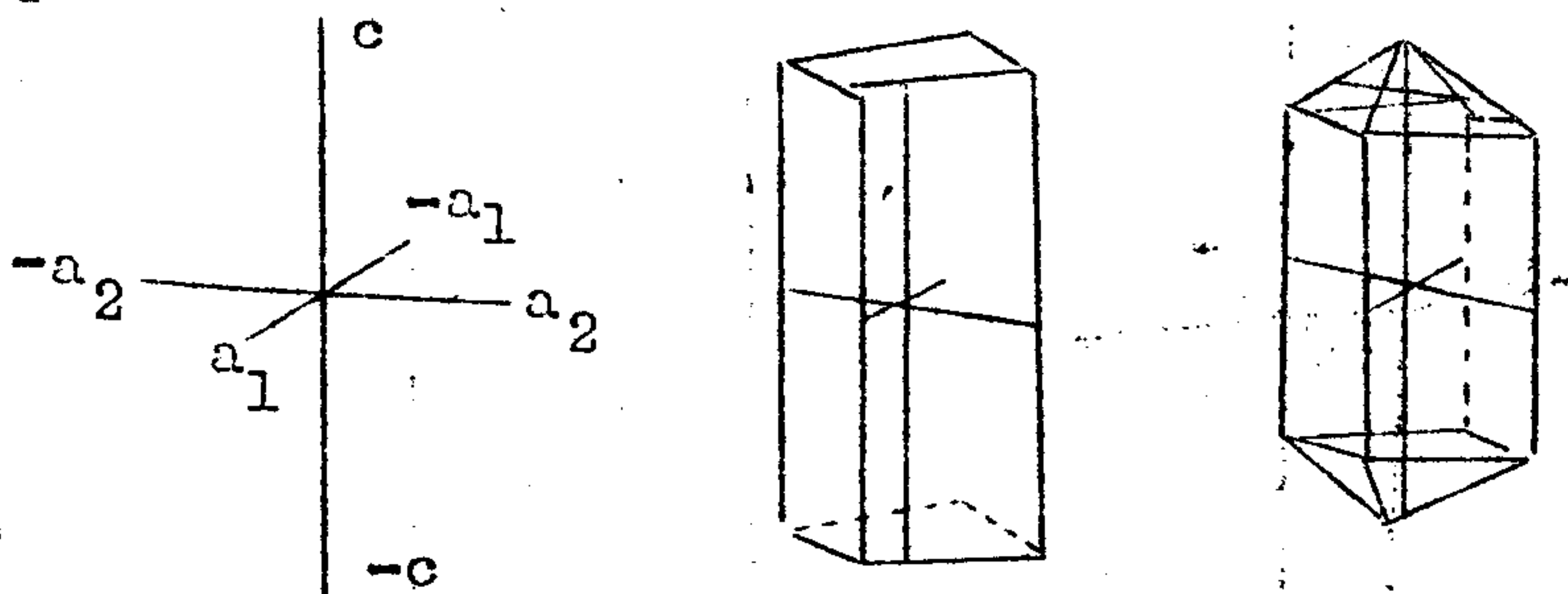
Existem 32 classes de cristais, que podem ser grupadas em 6 sistemas cristalinos:

- 1 - Sistema cúbico ou isométrico - 3 eixos de igual tamanho, e perpendiculares entre si. Forma primitiva: cubo, ou hexaedro regular.

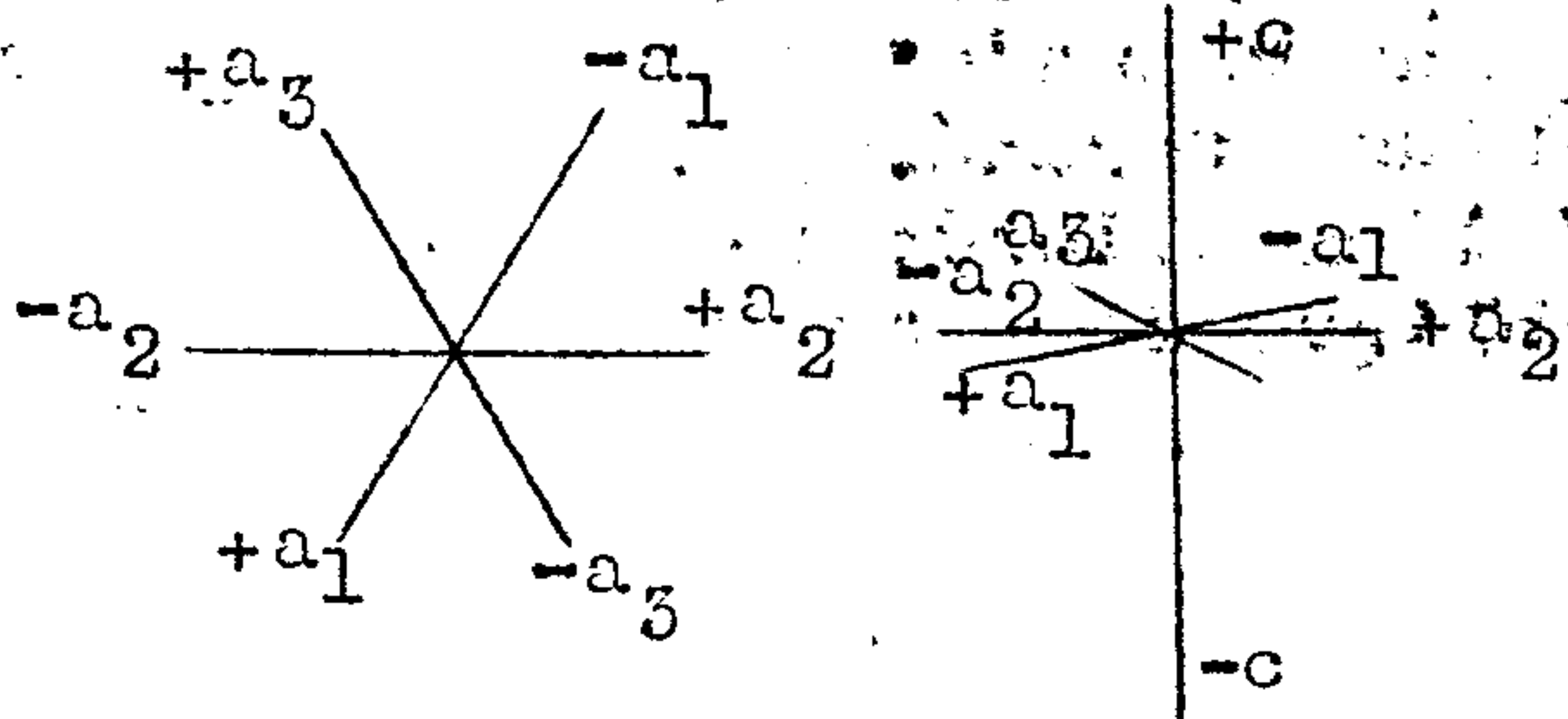


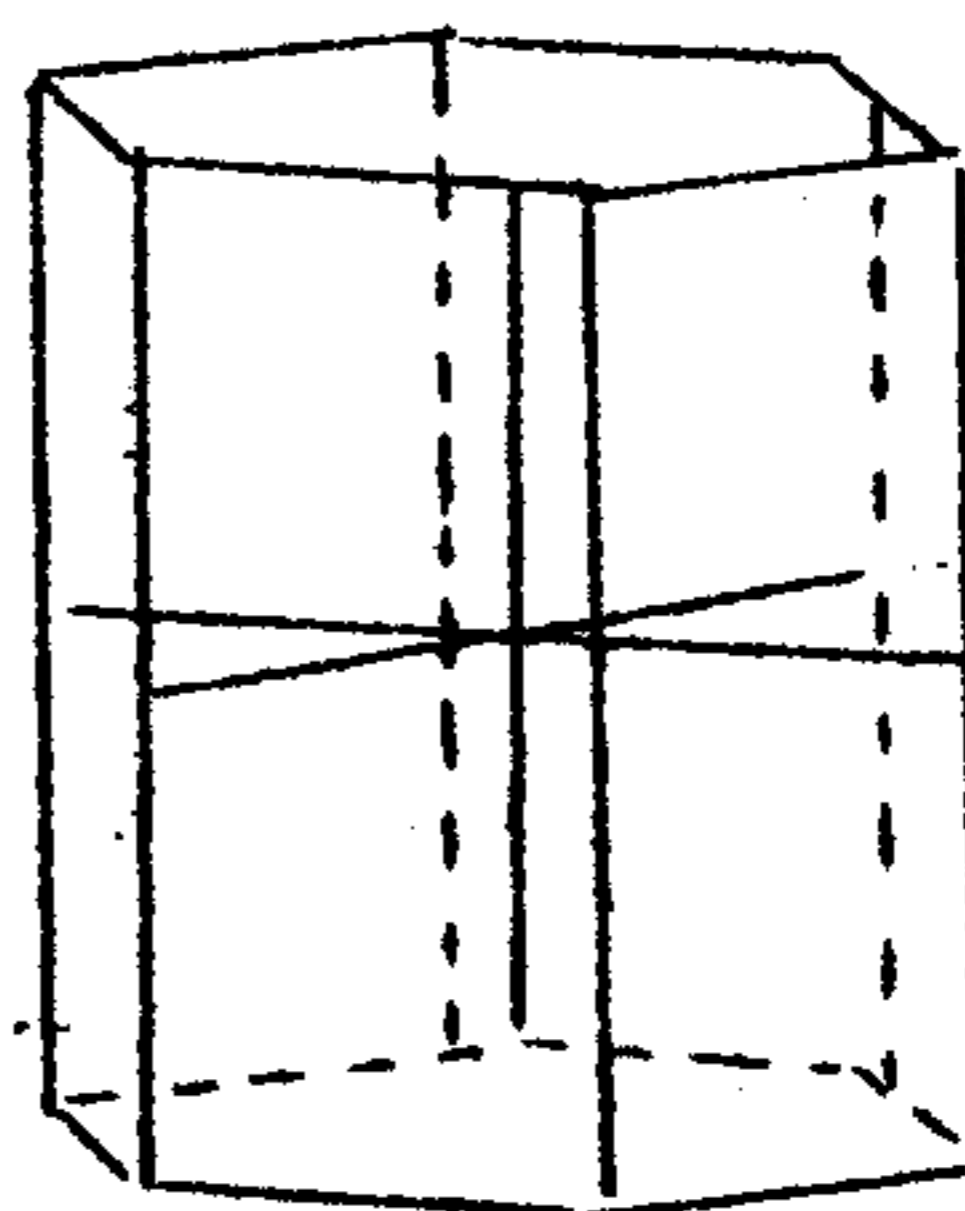
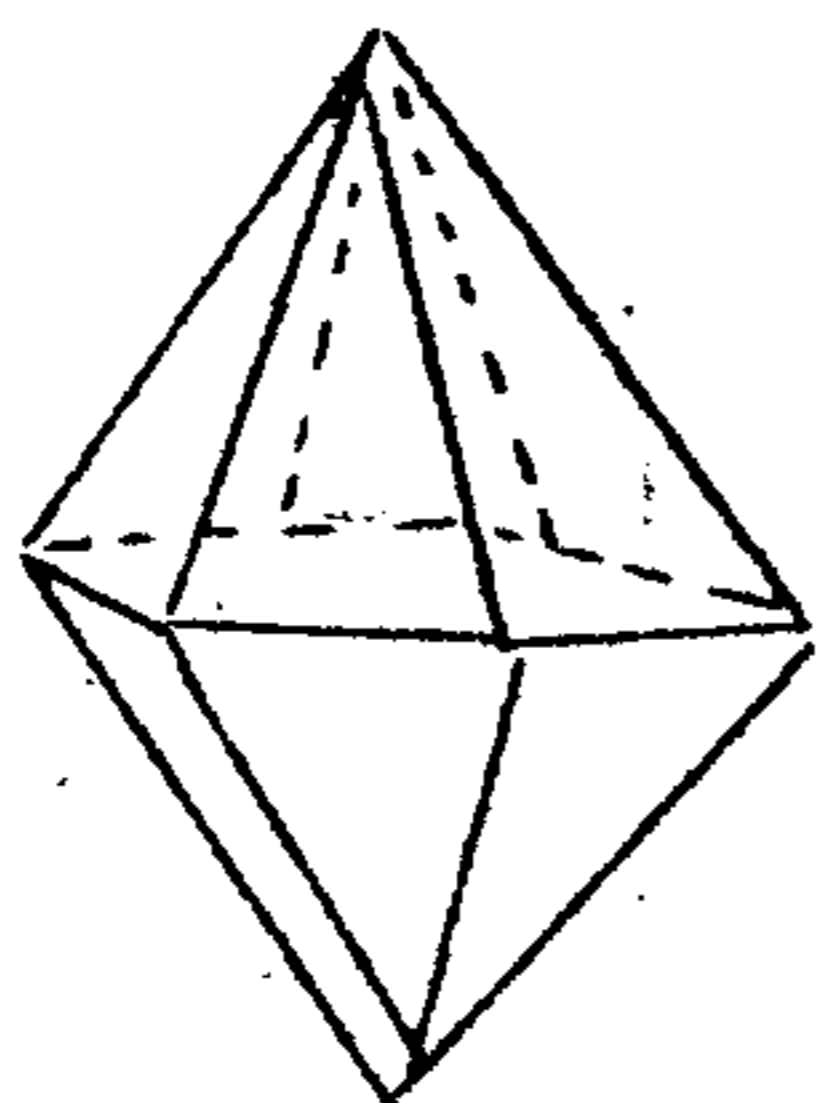


2 - Sistema quadrático ou tetragonal - Inclue todos os cristais que são referidos a 3 eixos mutuamente perpendiculares, sendo os 2 eixos horizontais de igual tamanho, mas o eixo vertical podendo ser maior ou menor que os horizontais. Forma primitiva - Prisma reto de base quadrada.



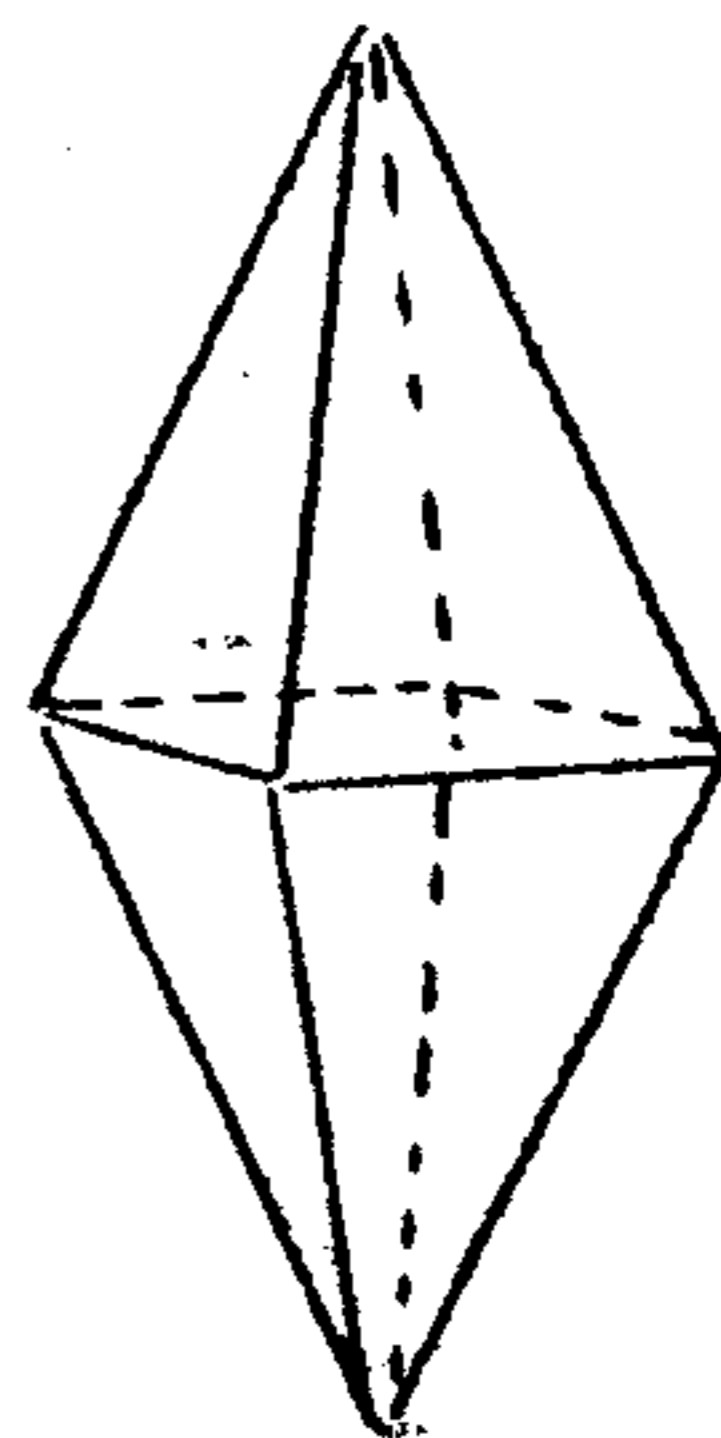
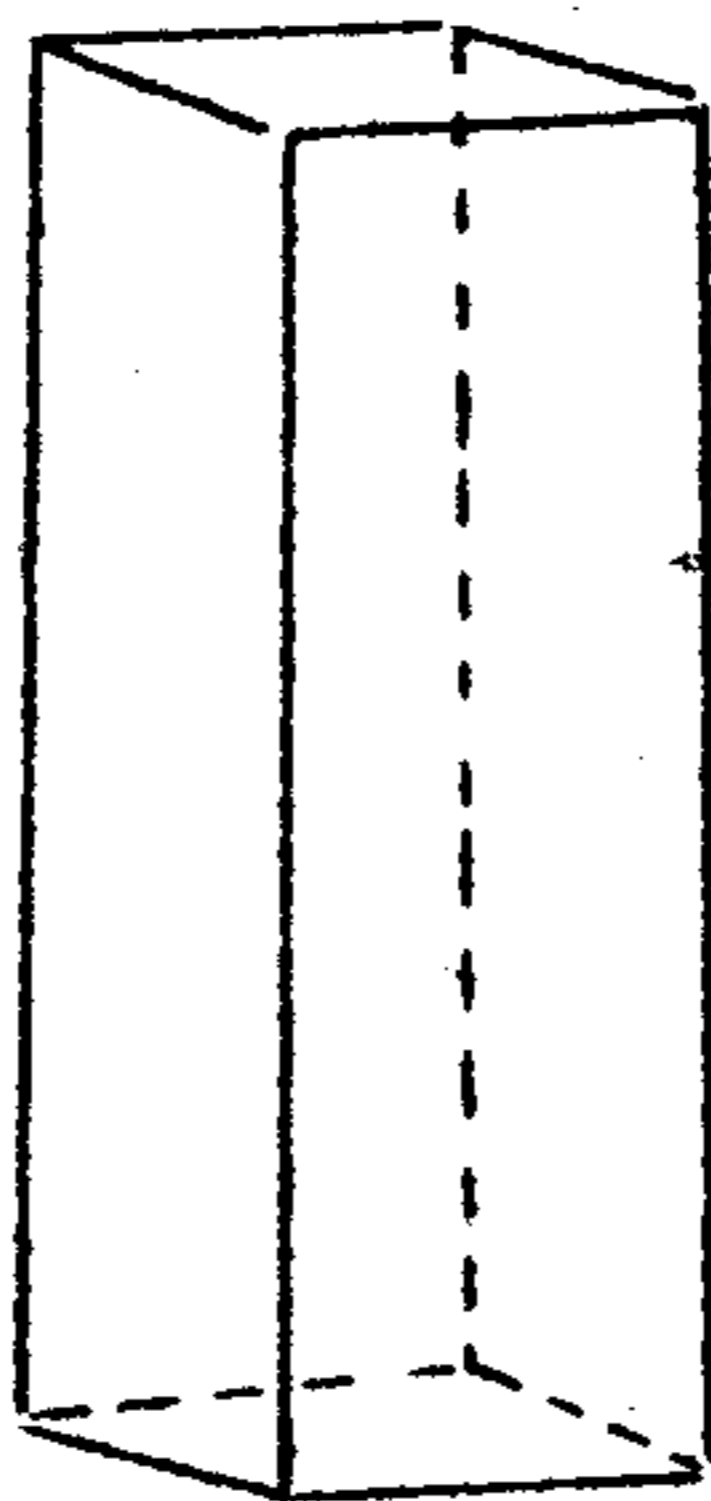
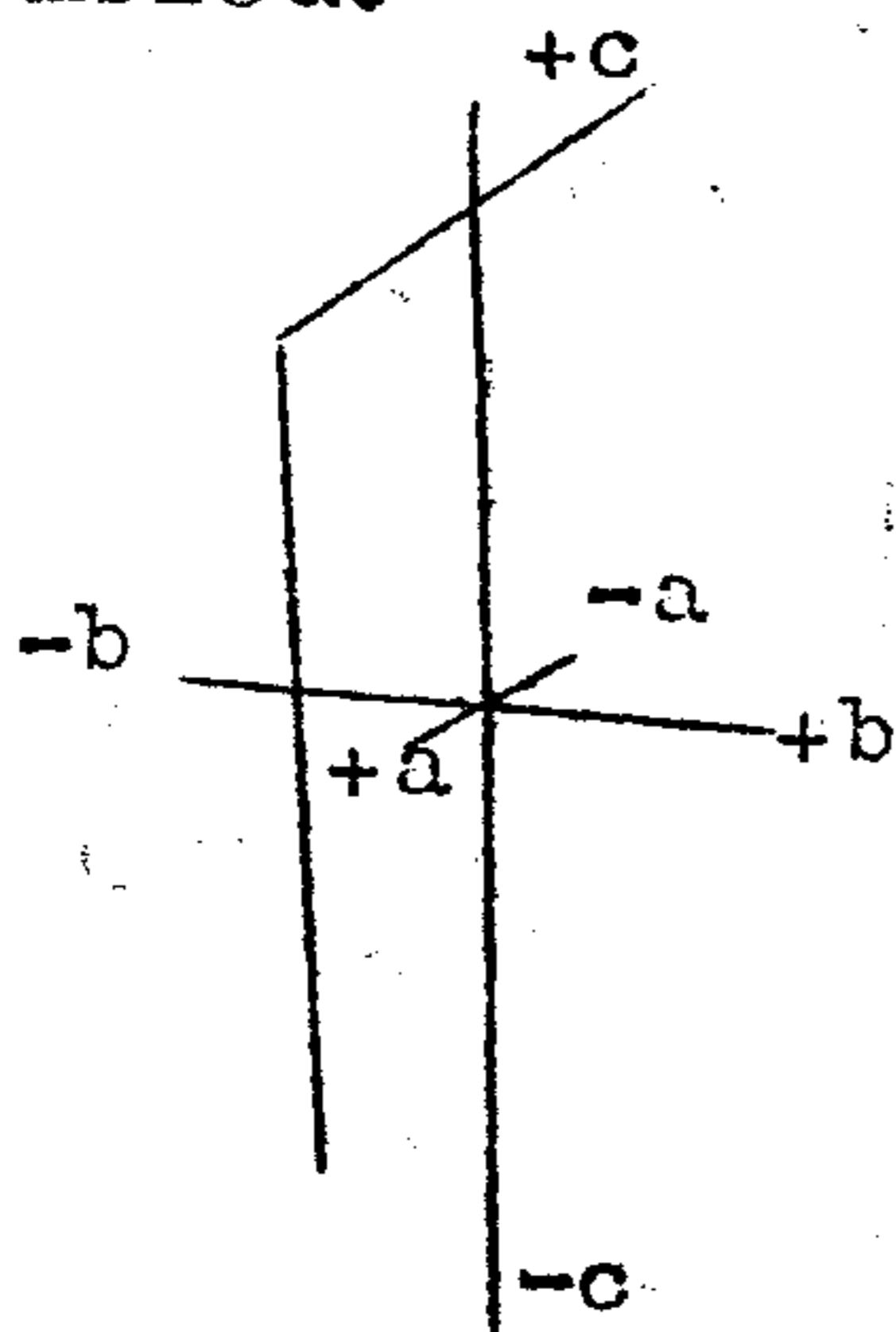
3 - Sistema hexagonal - É o único sistema que se refere a 4 eixos. 3 horizontais e 1 vertical. Os 3 horizontais, são de igual tamanho, se cortando em ângulos de 60 a 120 graus; o eixo vertical é perpendicular ao plano dos eixos horizontais, e de diferente dimensão dos mesmos. Forma primitiva: - Prisma reto de base hexagonal.





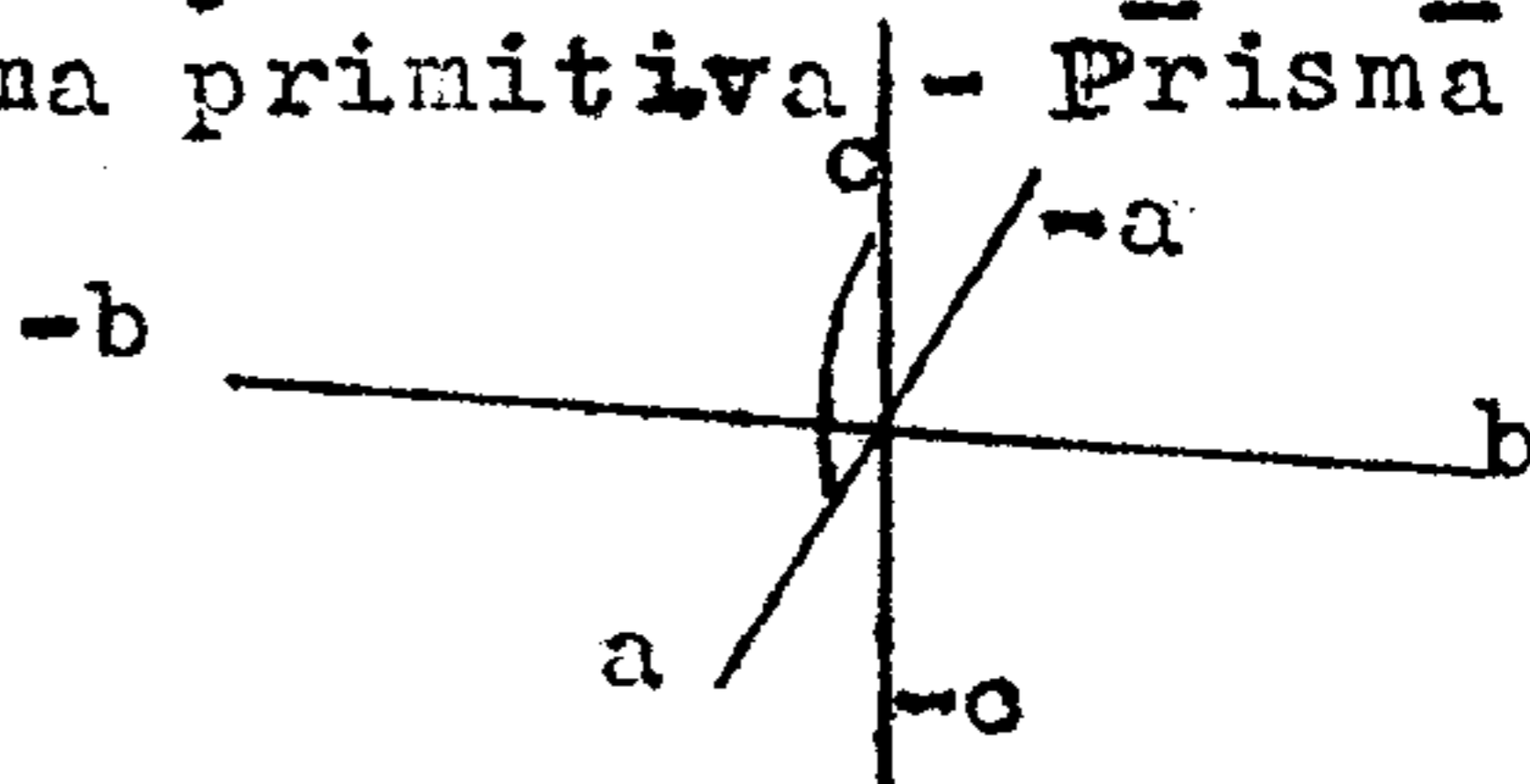
Sistema ortorombico

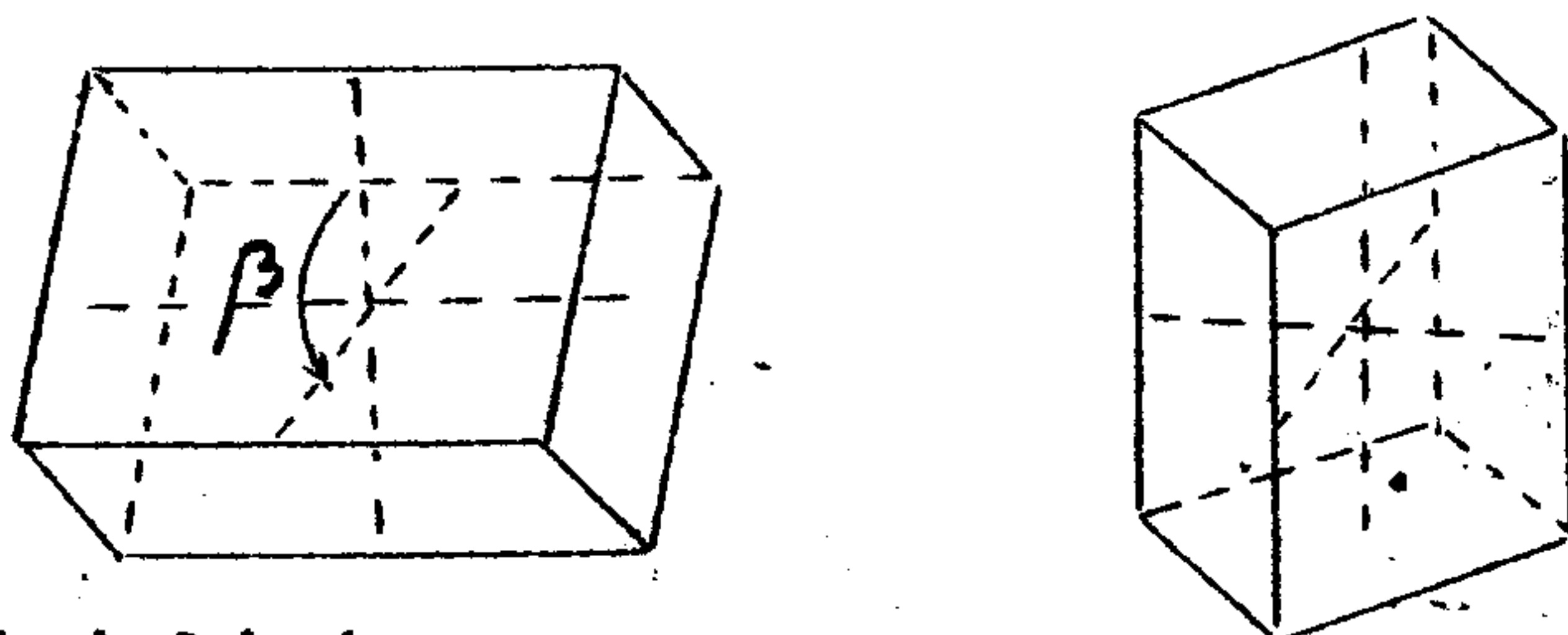
Inclue todos os cristais que são referidos a 3 eixos mutuamente perpendiculares, todos de diferentes tamanhos. Forma primitiva - Prisma reto de base rombica.



Sistema monoclinico

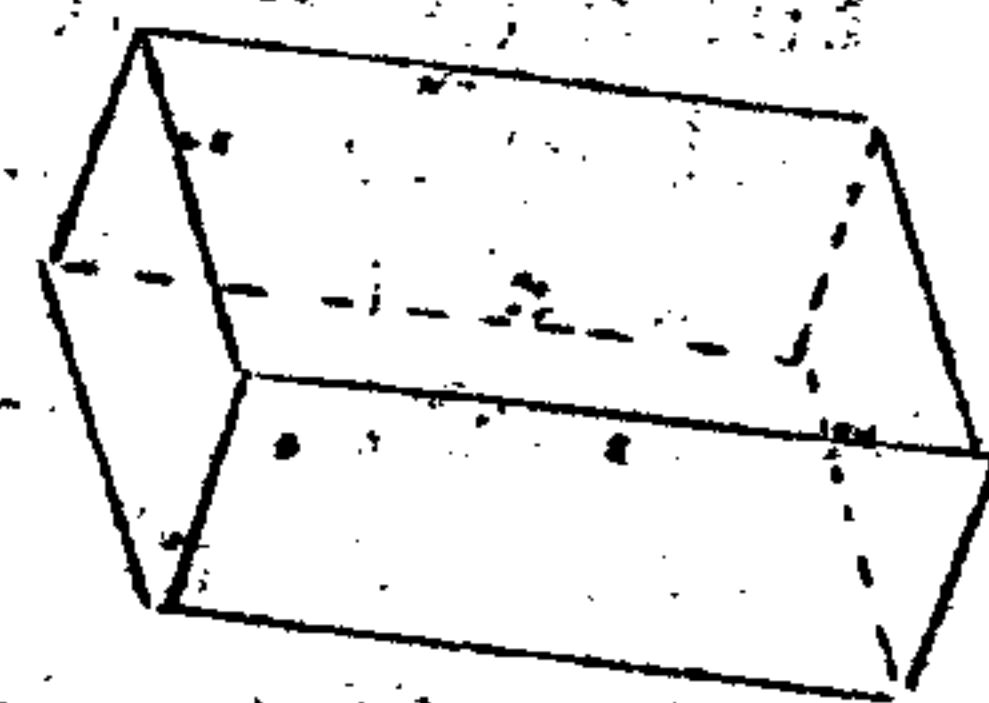
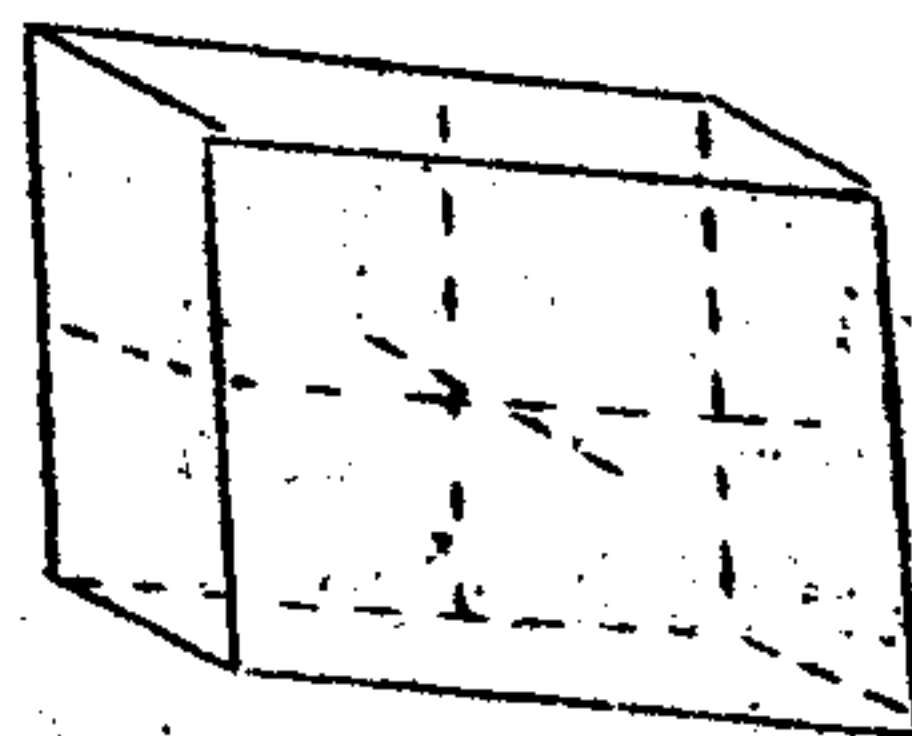
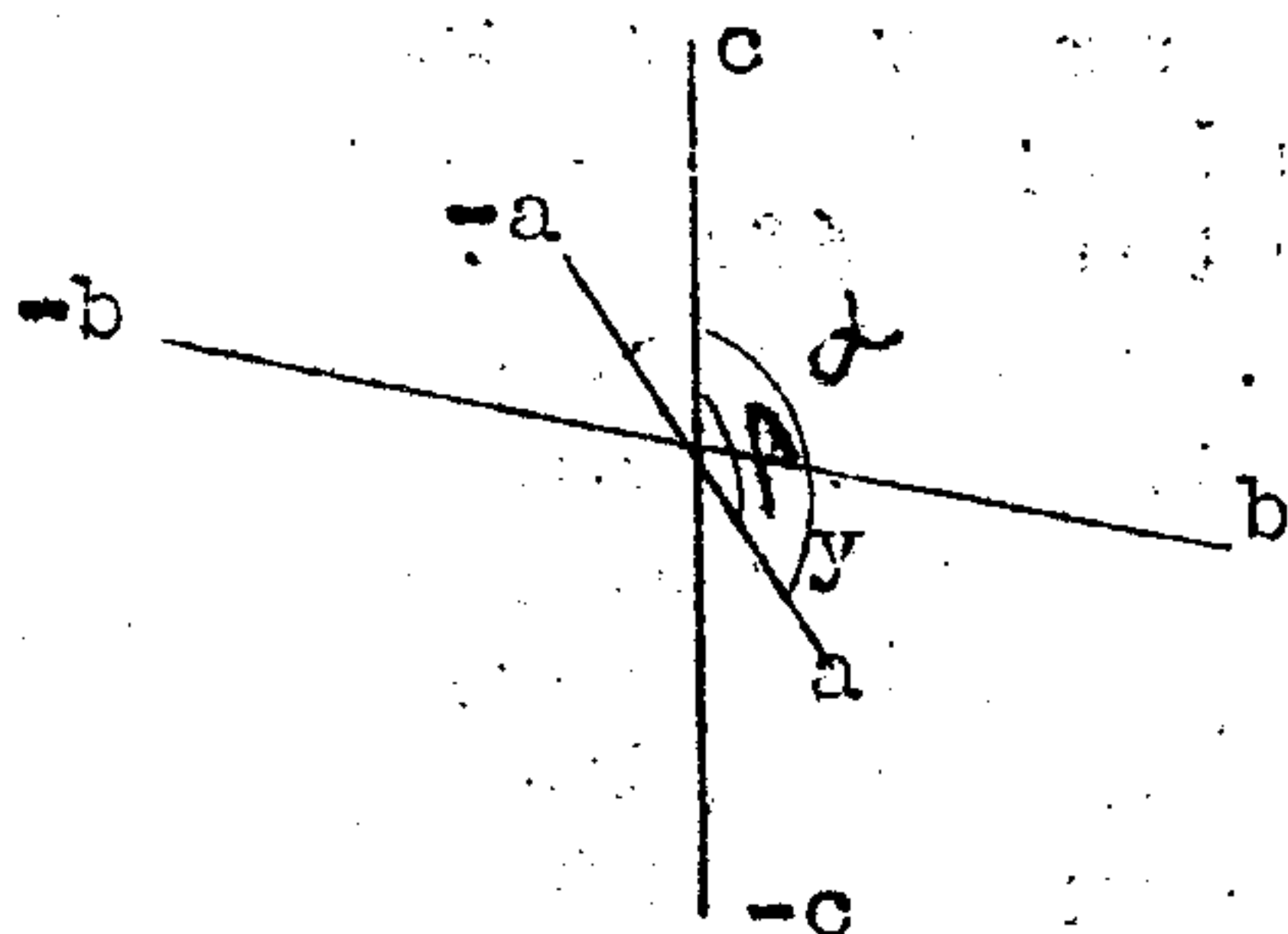
Inclue todos os cristais que possuem 3 eixos desiguais; dois estão em um plano e interceptam em ângulos agudos e obtusos; o terceiro eixo, é perpendicular ao plano dos outros dois. Os eixos a e b são chamados o clino e o orto eixos. O ângulo obtuso formado pelas direções positivas de c e a é identificado como β . Forma primitiva - Prisma obliquo de base rombica.





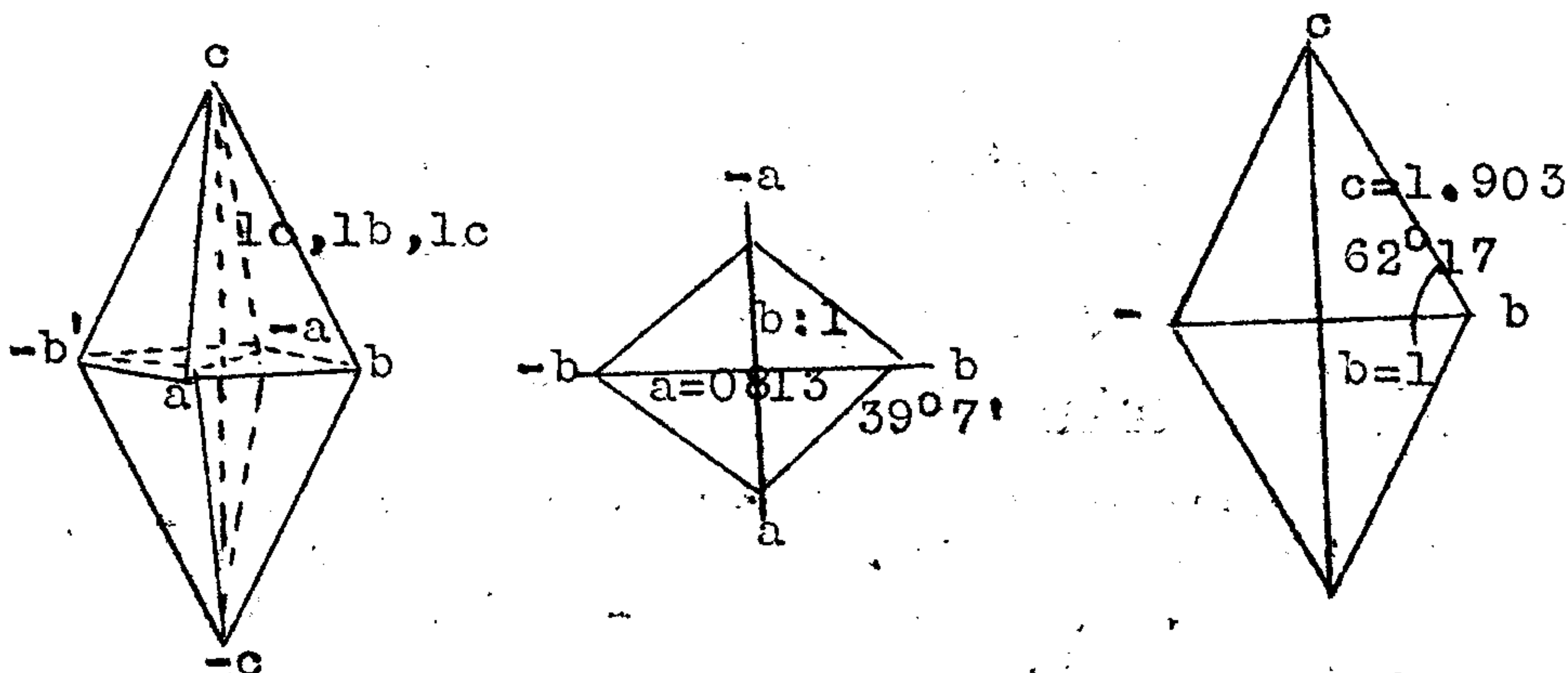
Sistema triclinico

Inclue todos os cristais que são referidos a 3 eixos desiguais, formando a intersecção ângulos oblíquos. Forma primitiva- Prisma obliquo de base paralelogamica.



Relação axial

Em todos os sistemas cristalinos, com exceção do cúbico, ha eixos diferindo em comprimento. Nestes sistemas, o comprimento de um dos eixos horizontais é tomado como unidade, e os outros expressos em termos d'ele. Uma relação axial, exprime assim, o comprimento relativo, e não absoluto dos eixos cristalograficos. Assim, a relação axial para o enxofre ortorombico é: $a:b:c = 0.813:1:1.903$, tanto para um cristal microscópico, como para um cristal de grande tamanho.



Tomemos por exemplo, o enxofre ortorombico, cuja relação axial foi dada acima; seleciona-se uma face que corte os 3 eixos cristalográficos. Esta seleção é feita arbitrariamente, sendo o comprimento \underline{b} tomado como unidade de comprimento. Temos portanto a relação $\underline{a} : 1 : \underline{c}$. Pelas figuras acima, temos: $\underline{b} = 1$ e $\underline{a} = \text{tg } 39^{\circ} 7' = 0.813$ e semelhantemente, $\underline{c} = \text{tg } 62^{\circ} 17' = 1.903$. Desde que a unidade de comprimento de \underline{a} e \underline{c} devem ser expressas sempre como tangentes de ângulos, segue-se que eles serão sempre números irracionais.

Os ângulos usados no cálculo de uma relação axial, são determinados pelos ângulos interfaciais do cristal.

Generalizando-se os casos para cada sistema, temos o seguinte:

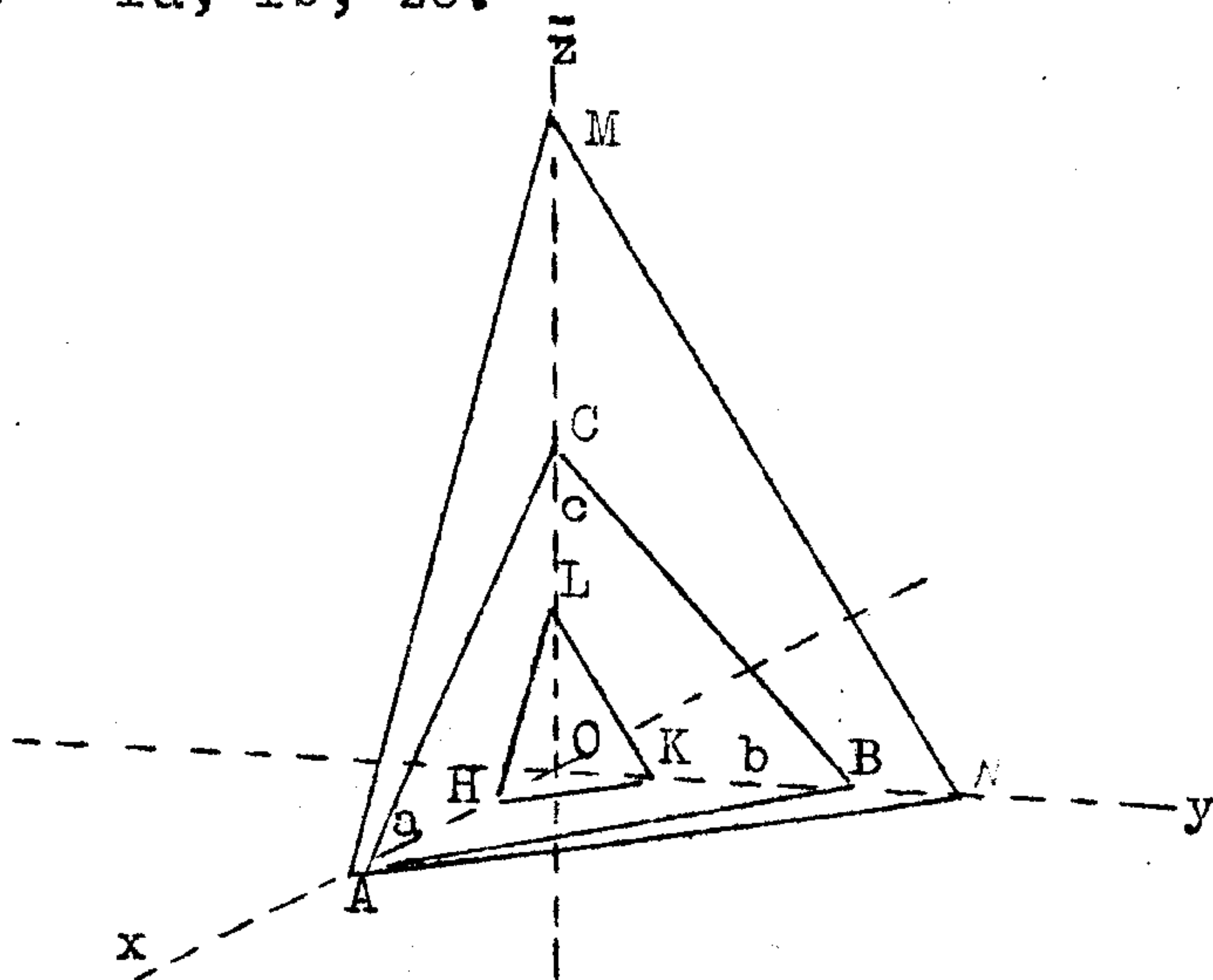
| | | | |
|---------|-------------|---|---------|
| sistema | isométrico | - | 1:1:1 |
| " | tetragonal | - | b:1:c |
| " | hexagonal | - | 1:1-1:c |
| " | ortorombico | - | a:b:c |
| " | monoclinico | - | a:b:c |
| " | triclinico | - | a:b:c |

No sistema triclinico, é necessária a relação angular entre os eixos.

Parâmetros

As faces dos cristais, são descritas de acordo com as relações dos eixos cristalográficos. Uma série de números que indicam as distâncias relativas as quais uma face intercepta os diferentes eixos, são chamados parâmetros.

Uma face que corta todos os 3 eixos a distâncias que são relativamente as mesmas, é dita ter os seguintes parâmetros: $1a, 1b, 1c$. Uma face que corta os 2 eixos horizontais a distâncias que são proporcionais as suas unidades de comprimento, e corta o eixo vertical a uma distância duas vezes a unidade de comprimento relativo, terá os seguintes parâmetros - $1a, 1b, 2c$.

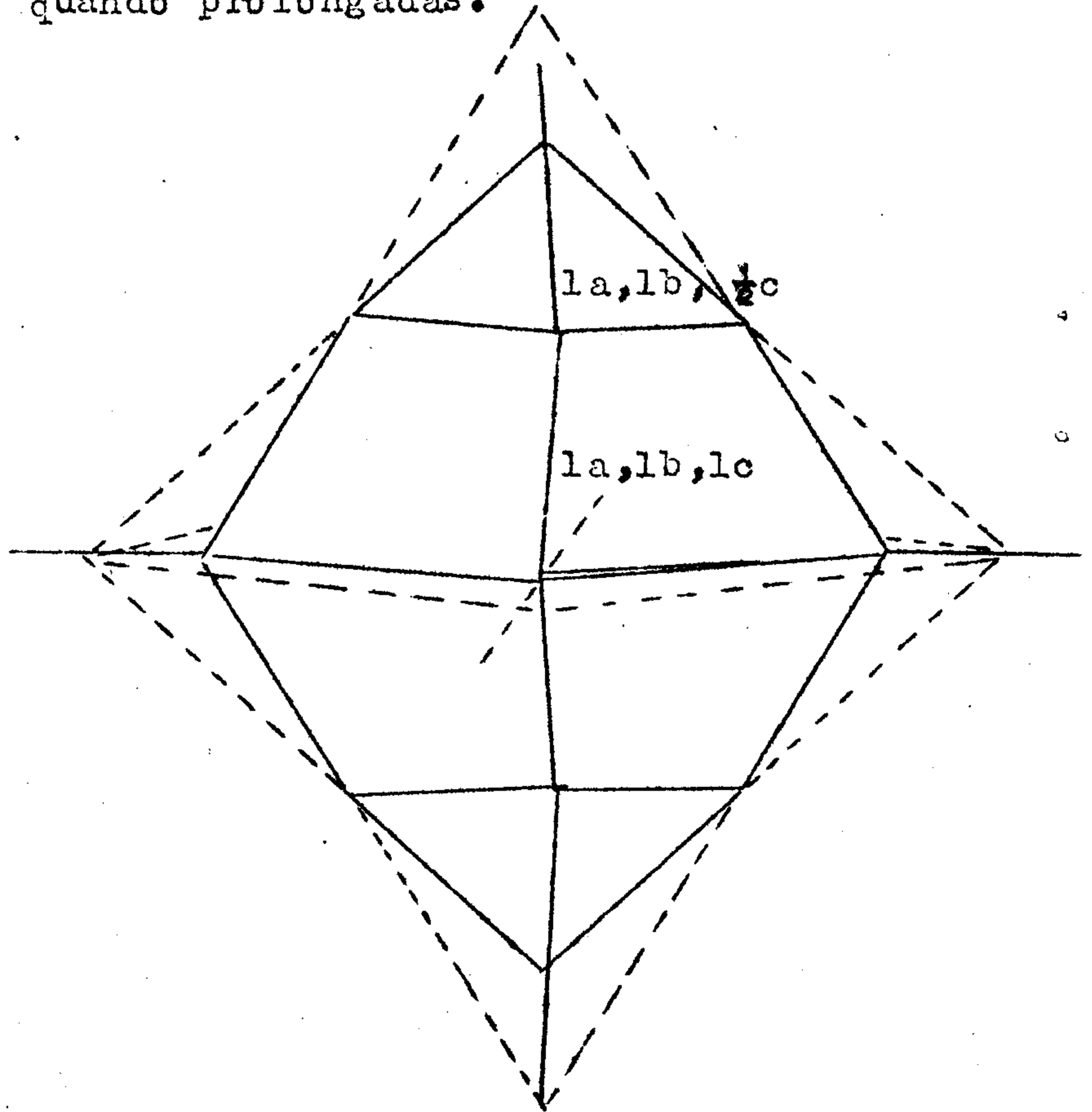


Na fig. acima, tomemos OX, OY e OZ , como as direções dos eixos cristalográficos, e OA, OB e OC , representando suas unidades de comprimento, designando-se sempre na mesma ordem, a, b e c . Então as intersecções para o plano HKL , são OH, OK , e OL ; para o plano ANM , são: OA, ON e OM . Em termos de unidades de comprimento dos eixos, são os seguintes parâmetros:

$$\begin{array}{ll} 1/4 a : 1/3 b : 1/2 c & (\text{plano KHL}) \\ 1a : 4/3 b : 2c & (\text{plano AMN}) \end{array}$$

Deve-se notar que os planos HKL e AMN são paralelos e cristalográficamente os mesmos.

Deve-se compreender que os parâmetros têm valor estritamente relativos. A forma abaixo são duas dipirâmides, tôdas duas interceptando os eixos cristalográficos quando prolongadas.



A pirâmide mais baixa intercepta os 2 eixos horizontais a distancias que são proporcionais as suas unidades de comprimento. Os parâmetros da fa-

ce desta dipirâmide, a qual corta as extremidades positivas dos 3 eixos, serão : l_a , l_b , l_c .

A pirâmide acima, deve cortar os 2 eixos horizontais, como mostrado pela linha pontuada, também as distâncias as quais, si bem que maiores do que na pirâmide mais baixa, são ainda proporcionais as suas unidades de comprimento. Ela corta o eixo vertical, entretanto, a distância a qual quando considerada em respeito as suas intersecções com eixos horizontais, é proporcional a $1/2$ da unidade de comprimento de c . Os parâmetros da face desta forma serão: l_a , l_b , $1/2c$. Disto vemos que os parâmetros l_a e l_b , não representam nos 2 exemplos a mesma distância, mas expressa somente valores relativos.

Notação de Miller. Índices.

Vários métodos de notação têm sido estudados para exprimir a intercessão da face de qualquer cristal sobre os eixos cristalográficos, e muitos têm sido usados.

O sistema de notação mais usado, é o de Miller.

Os índices de Miller de uma face, consistem numa série de números inteiros, os quais são derivados dos parâmetros por sua inversão, e si necessário, subsequente simplificação das frações.

Os índices de uma face são sempre dados por 3 números (4 no sistema hexagonal), referentes aos eixos a , b , e c , e assim as letras que representam os eixos, são omitidas.

Na explicação dos parâmetros, obtivemos num exemplo, os seguintes parâmetros para duas faces:

$$1/4a: 1/3b: 1/2c$$

$$1a: 4/3b: 2c$$

Os índices dessas faces seriam:

$$4a: 3b: 2c \quad \text{ou} \quad 432.$$

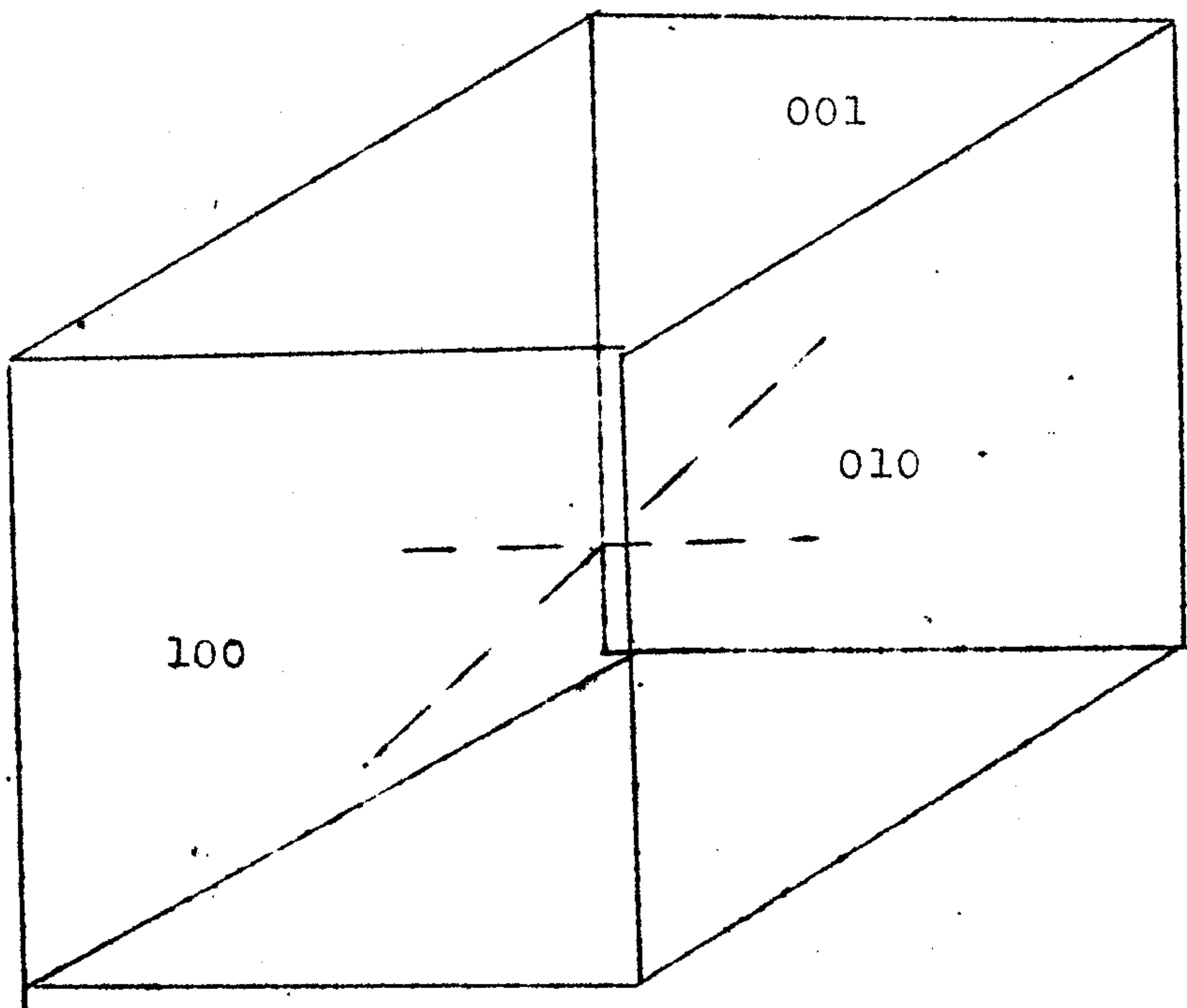
$$\frac{1}{1} a \cdot \frac{3}{4} b : \frac{1}{2} c \quad \text{ou} \quad 432.$$

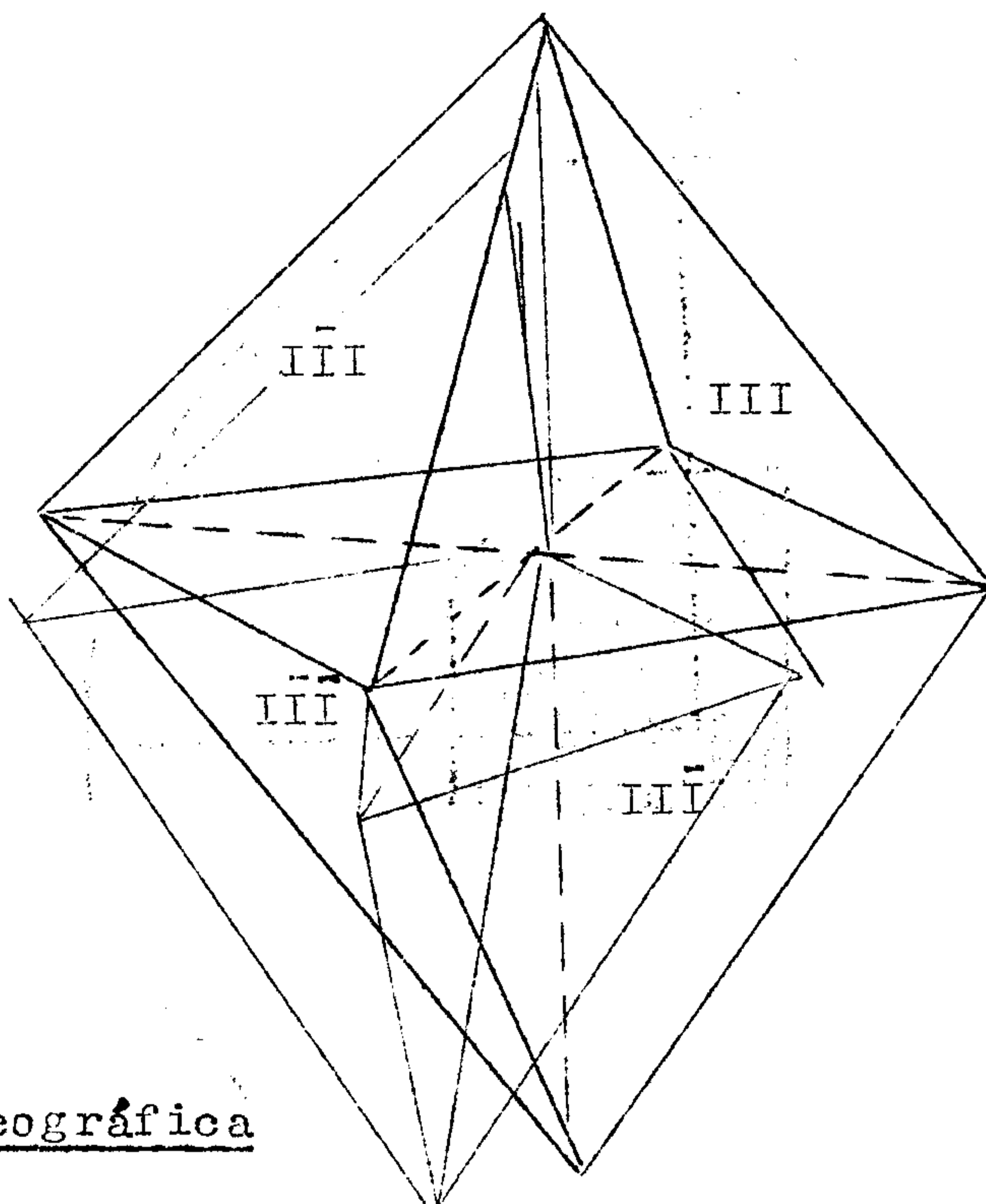
No sistema hexagonal, o índice do terceiro eixo, é a soma com sinal trocado, dos índices relativos ao primeiro e segundo eixo:

$$i_3 = - (i_1 - i_2)$$

Sempre que uma face fôr paralela a um eixo, o seu parâmetro será ∞ (infinito), e o índice sendo o inverso do parâmetro, será por conseguinte

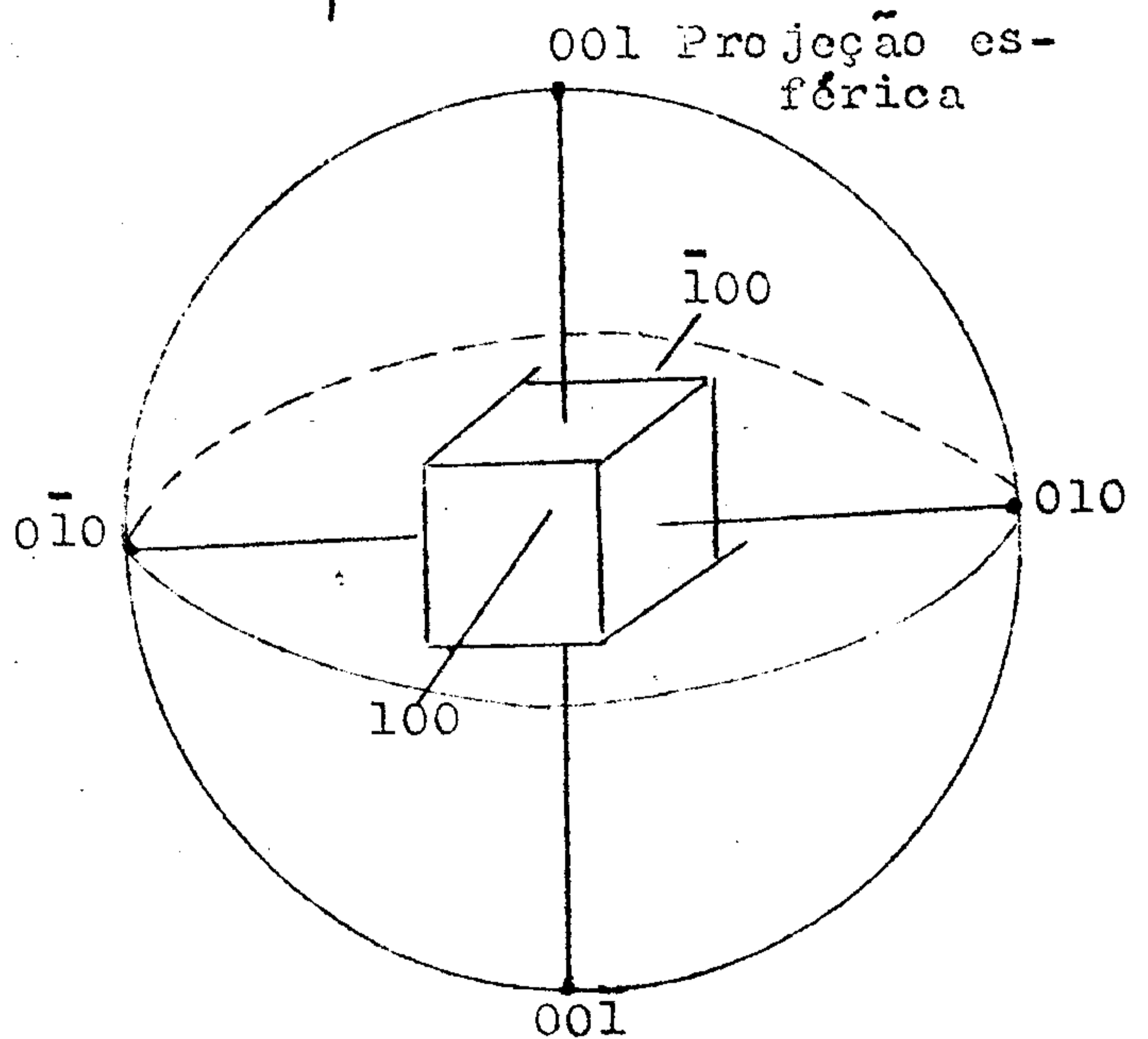
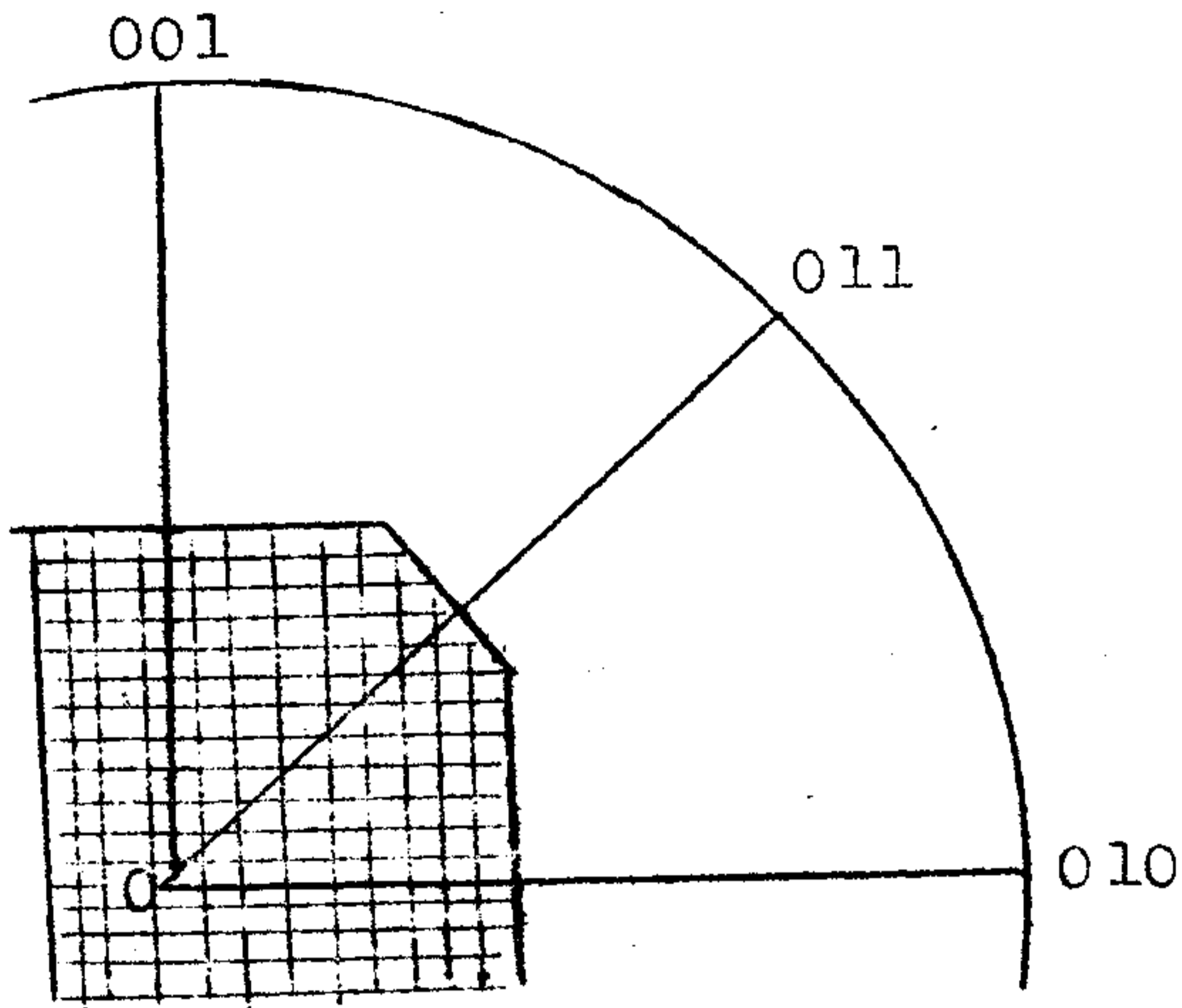
$$\frac{1}{\infty} = 0 \text{ (zero).}$$





Projeção estereográfica

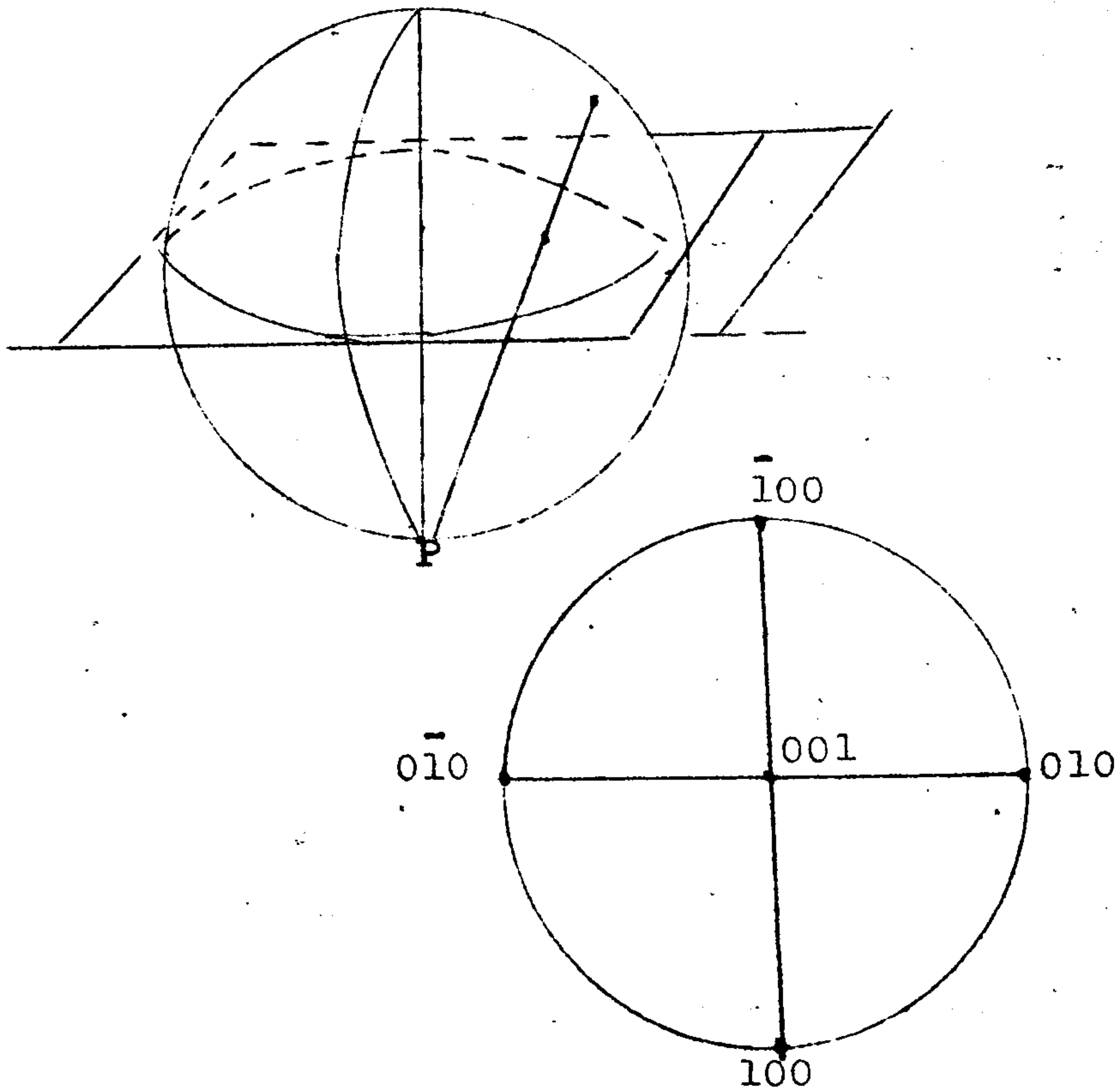
Si imaginarmos um cristal exatamente no centro de uma esfera, e das faces dêsse cristal, traçarmos normais, a essas faces, prolongadas até a superfície, sôbre essa esfera vamos determinar pontos, que são os polos (P). Teremos assim determinados sôbre a esfera, diversos polos que representam as faces na esfera.



Na projeção estereográfica, supomos um plano passando horizontalmente no centro da esfera, e determinando um círculo primitivo. Cada polo da esfera é projetado então no plano do papel, ligando-se ao ponto P na esfera, e o polo sendo representado por um ponto no plano. A metade superior do oris-

tal, projeta assim uma série de pólos dentro da primitiva, enquanto os polos de qualquer face normal ao papel, cái na própria primitiva.

Si a construção fôr aplicada a pólos no hemisfério inferior, o pólo irá ser determinado fóra da primitiva. É costume restringir a projeção a área da primitiva; para tal, liga-se o polo inferior não ao pólo sul, mas ao norte, e marca-se com um ponto com um anel em volta.



Projeção estereográfica

Pseudomorfozes.

A alteração química das espécies minerais sob a ação de agentes naturais, é objeto de grande importância e interesse, particularmente quando resulta em troca na composição química, em algum outro composto definido.

As pseudomorfozes ou falsas formas dos minerais, são alterações devidas a uma decomposição química, ou a incrustações sobre os minerais de substâncias químicas diferentes, resultando daí, o aparecimento de minerais com formas cristalinas que não são as próprias.

Podem ser classificadas:

- 1) - por substituição
- 2) - por deposição
- 3) - por alteração.

1) - Por substituição:

Esta classe de pseudomorfose, engloba os casos em que houve uma remoção gradual da matéria original, e uma correspondente e simultânea substituição por outra, sem haver, entretanto, nenhuma reação química entre os dois. Um exemplo típico, é o caso das madeiras fósseis, em que a matéria vegetal, foi substituída inteiramente por sílica.

A primeira fase do processo, é o enchimento dos poros e cavidades pela sílica em solução, e em seguida, pela gradual decomposição da fibra vegetal, cujo lugar é tomado pela sílica.

2) - Por incrustação:

Tal tipo, forma uma classe de menor importância. É o caso das crostas de quartzo formadas sobre a fluorita. Na maioria dos casos, a remoção do mineral original, é acompanhada duma deposição si-

multânea do segundo mineral.

3) - Por alteração:

Inclde um grande número de casos. A evidência da transformação, é oferecida pelo fato de em muitos casos, observar-se um núcleo do mineral original, no centro do mineral original.

As pseudomorfozes por alteração podem ser divididas do seguinte modo:

A) - Paramorfimos:

É a mudança da constituição molecular, sem alteração da substância química. Ex.: transformação da aragonita em calcita, ou do rutílo em brookita.

B) - Por perda

Transformação da cuprita (óxido de cobre), em cobre metálico.

C) - Por troca:

Resume-se no ganho de uma molécula e perda de outra. É o caso da transformação dum feldspato em caolín, no qual desaparece o Na_2O , e ganha água. Também é o caso da transformação das piritas em limonita, isto é, um sulfeto de ferro, alterando para um óxido de ferro.

D) - Por adição:

É o caso pseudomorfose da malaquita, que é um carbonato básico de cobre, proveniente do ganho de CO_2 da cuprita, óxido de cobre.

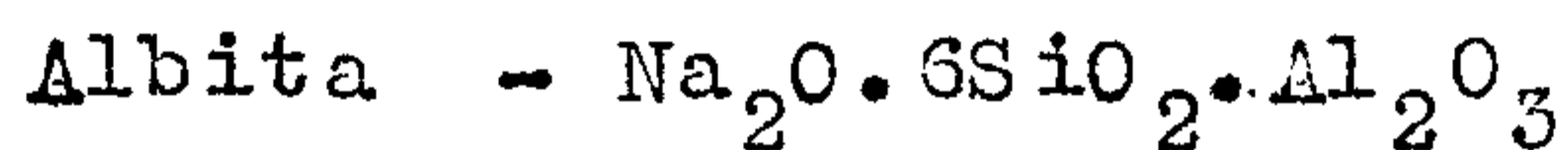
Isomorfismo:

É a propriedade que têm certos minerais, tendo uma composição química análoga, cristalizarem

em um mesmo sistema. Possuem propriedades parecidas. Exemplos:

| | | | |
|---------------|-------------------|-----------|-------------------|
| Aragonita | - CaCO_3 | Baritina | - BaSO_4 |
| Estroncianita | - SrCO_3 | Celestita | - SrSO_4 |
| Cerusita | - PbCO_3 | Gipsita | - CaSO_4 |
| Viterita | - BaCO_3 | Anglesita | - PbSO_4 |

Outra série é de feldspatos:



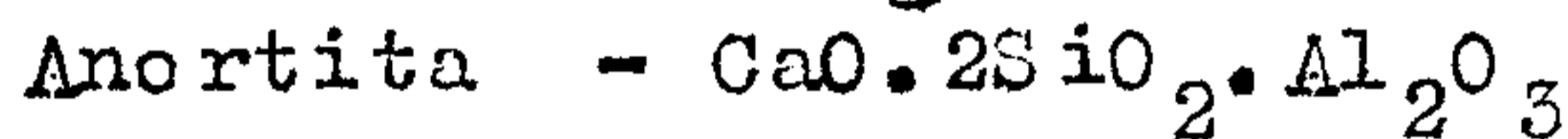
Oligoclásio

Andesita

Labradonita

Bytownita

estes têm composição intermediária.



Polimorfismo

É a propriedade que têm certos minerais, tendo uma composição química idêntica, cristalizam em sistemas diferentes. Possuem propriedades diferentes:

Calcita }
Aragonita } CaCO_3

Diamante }
Grafite } C

Pirita }
Marcassita } FeS_2

Rutilo

Anatásio

 TiO_2

Brookita

Habitus

A forma adquirida por um cristal, depende de muitos fatores, tais como pressão, temperatura e composição das soluções que os originam. Além disto, impurezas, diferenças de concentração e tempo de precipitação, contribuem para as variações observadas nos cristais.

Entretanto, a precipitação de um dado composto, resulta em uma forma característica, ou habitus.

Podemos distinguir os seguintes "habitus", si bem que conforme variados autores, possam haver muitas outras denominações.

- 1 - Isolado - acicular, capilar, piramidal e prismático.
- 2 - Grupo de cristais distintos - dendritico, reticulado, irradiado e drusa.
- 3 - Grupos paralelos - colunar, fibroso, globular, botricidal e reniforme.
- 4 - Lamelar - foliaceo e micaceo.
- 5 - Granular
- 6 - Mixto - estalacite e estalagmite, oolítico, massiço e geodo.

Os "habitus" acicular, capilar, piramidal, prismático, reticulado, irradiado, colunar, fibroso, globular, foliaceo, e massiço, estão descritos pelo próprio nome.

Dendritico-semelhante a ramificações vegetais.

Drusa - quando coberto com uma camada de pequenos cristais.

Botrcidal - quando numa forma globular em grupos.

Reniforme - em massas arredondas, com a forma de rins.

Micaceo - semelhante às micas.

Estalactite e estalagmite - em cilindros ou cones pendentes ou superpostos.

Oolítico - agregado mineral semelhante a óva de peixe.

Geodo - quando uma cavidade é recoberta pelo depósito de um mineral, mas não completamente cheia, o mineral mais ou menos esférico é chamado geodo.

Propriedades térmicas dos minerais

São as seguintes as principais: dilatação, condutividade e fusibilidade.

Dilatação

A dilatação é uma propriedade vetorial, isto é, depende da direção. Os estudos feitos a respeito da dilatação dos cristais, levaram as seguintes conclusões:

- 1 - o coeficiente linear de dilatação, varia nos cristais segundo as direções.
- 2 - em certos cristais, para determinadas direções, ha uma contração em vez de dilatação.

- 3 - o calor não altera o paralelismo das faces e arestas dos cristais.
- 4 - em virtude da dilatação diferente conforme direções distintas, os ângulos entre as faces podem apresentar variações, motivo pelo qual, certos autores, ao enunciarem a lei da constância dos ângulos diedros, fazem referência que esta constância é na mesma temperatura.
- 5 - os cristais conservam a sua simetria própria, desde que não sofram uma alteração química.
- 6 - no sistema cúbico, a dilatação é a mesma segundo todas as direções, não havendo portanto variação nos ângulos.

Nos sistemas dimétricos (tetragonal e hexagonal), existem 2 coeficientes de dilatação linear, enquanto nos sistemas trimétricos (ortorombico, monoclinico e triclinico), existem 3 coeficientes de dilatação linear.

Condutibilidade

A condutibilidade, é uma propriedade vetorial. Esse fato, pode ser demonstrado pela experiência de Senarmont, que consiste no seguinte:

Toma-se a face de um cristal e recobre-se de uma fina camada de cêra; em seguida, aquece-se o cristal, à temperatura de fusão da cêra. Esta funde, e espalha-se sobre toda a superfície da face, solidificando-se novamente pelo resfriamento. Em seguida, o centro da face é tocada por um estilete aquecido. Nota-se que a cêra funde-se formando figuras diferentes conforme o cristal.

Nos cristais do sistema cúbico, a cêra derretida tem forma circular. No sistema tetragonal, forma circular nas bases, e elíptica nas faces

laterais.

Estudos feitos sôbre a condutibilidade térmica, levaram as seguintes conclusões:

- 1) - A condutibilidade é dum modo geral, maior nos corpos cristalizados do que nos amôrfos. É o caso do quartzo, que apresenta uma condutibilidade de 3 a 70 vezes maior do que na sílica amôrfa.
- 2) - Quanto mais complicada a composição química, dum modo geral, tanto menor a sua condutibilidade.
- 3) - É maior na direção dos planos de olivagem.

Fusibilidade

Veremos apenas a escala de fusibilidade de Kolbe:

| | | |
|---|---------------|---------|
| 1 | - Stibinita | - 525° |
| 2 | - Calcopirita | - 800° |
| 3 | - Granada | - 1050° |
| 4 | - Actinolita | - 1200° |
| 5 | - Ortoclásio | - 1300° |
| 6 | - Bronzita | - 1400° |
| 7 | - Quartzo | - 1700° |

Propriedades óticas dos minerais

Brilho:

O brilho dos minerais, varia com a natureza da sua superfície. A variação da quantidade de luz refletida, produz graus diferentes de intensidade de brilho.

As espécies de brilho reconhecidas, são os seguintes:

1 - Metálico

É o brilho da prata, do ouro e do cobre. Em geral os minerais de brilho metálico, são opacos em lâminas delgadas.

O brilho metálico imperfeito, é denominado sub-metálico, que é o caso da tantalita e da volframita.

2 - Não metálico

A) - Adamantino é o brilho dos minerais de elevado índice de refração; é o caso do diamante.

B) - Vitreo - é o brilho de vidro; é o caso mais comum no reino mineral. Ex.: quartzo.

C) - Resinoso - é o brilho amarelo, semelhante a resina, tal como a blenda e o ambar.

D) - Graxo - é o brilho semelhante a óleo, como na nefekina.

E) - Perola - semelhante a perola, como a do talco.

F) - Sedoso - semelhante a seda; é o resultado de uma estrutura fibrosa, como na gipsita fibrosa.

Diafanidade

A quantidade de luz transmitida por um sólido, varia de intensidade, ou em outras palavras, maior ou menor quantidade de luz pode ser absorvida na passagem através uma dada substância. A quantidade de luz absorvida é mínima num corpo transparente, e máxima num corpo opaco.

Os corpos podem ser classificados segundo esta propriedade, do seguinte modo:

- 1 - Transparentes - quando os contornos de um objeto são vistos através o mineral-perfeitamente distintos.
- 2 - Semi-transparentes - quando os objetos são vistos, mas os contornos não são distintos.
- 3 - Translúcidos - quando a luz é transmitida, mas o objeto não é visto.
- 4 - Opacos - quando a luz não é transmitida, mesmo através superfícies finas.

Côr

A cor depende da natureza da luz absorvida na superfície, ou transmitida por uma substância.

Para muitos minerais, especialmente aqueles que possuem brilho metálico, a cor é definida, e serve como um importante meio de identificação.

O amarelo da pirita, o cinza da galena, o verde da malaquita, são exemplos nos quais a cor é uma propriedade importante.

Deve ser notado, que são comuns alterações na superfície, que podem alterar a cor. Quando observa-se a cor de um mineral, deve-se fazer em fratura recente.

Muitos minerais, entretanto, não mostram a mesma cor em seus diferentes espécimens; uma mudança na cor, é produzida na maioria das vezes, por uma mudança na composição. É o caso da substituição do zinco pelo ferro na blenda, passando a sua cor de branca a amarelo e pardo.

Também um mineral pode apresentar várias cores, sem uma aparente variação na composição; é o caso da fluorita, que pode ser branca, verde, azul,

violeta, amarela.

Os minerais são também muito comumente, coloridos devido a material estranho. É o caso do jaspé, variedade de quartzo colorida em vermelho, devido a presença de hematita em fina granulação.

Os minerais cuja cor é uma propriedade intrínseca dos mesmos, são chamados idiocromáticos; aqueles que possuem cor devida a material estranho, são chamados alochromáticos.

Dadas as considerações acima, vemos que a cor é uma propriedade que deve ser usada com cuidado, na identificação de minerais.

Pleocroismo.

A absorção seletiva, a qual a cor de um mineral é devida, mais especialmente pela luz transmitida, geralmente varia com a direção cristalográfica, na qual a luz vibra no mineral. É assim, um dos caracteres óticos que dependem da cristalização. O pleocroismo é a propriedade de apresentar diferentes cores em diferentes direções cristalográficas.

Pó

A cor do pó dum mineral, é conhecida como traço ou risco. É usada frequentemente na identificação de minerais, pois enquanto a cor é variável, o pó é na maioria das vezes, constante.

Apresenta uma maior importância nos minerais de brilho metálico, e para determiná-lo emprega-se uma placa de porcelana áspera.

Luminescência

Luminescência é o termo aplicado ao fenômeno de luz emitida por corpos frios; é um caso portanto, diferente da luz emitida pela elevação de temperatura de um corpo. Elevando-se a temperatu-

ra de um sólido a 400°C , usualmente causa o vermelho sombrio.

Os fenômenos de luminescência melhor conhecidos, são a fluorescência e a fosforescência.

Um excelente exemplo de produção de luz a temperatura ordinária, é a oxidação lenta do P, pelo ar húmido ou oxigênio.

Os minerais que se tornam luminosos durante a exposição à luz ultra-violeta, raios X ou raios catódicos, são chamados fluorescentes; si a luminescência persiste após haver-se cortado a fonte de luz, são chamados fosforescentes.

Não ha um limite nítido, para distinção entre fluorescência e fosforescência; por este motivo, é considerado por alguns, como sendo um único fenômeno, diferenciando apenas na velocidade relativa de absorção e emissão da luz.

A fluorita (CaF_2) apresenta quando exposta à luz ultra-violeta, uma fluorescência violeta; donde vem o nome do fenômeno.

Outros minerais que apresentam também o fenômeno, são por exemplo a wilemita (Zn_2SiO_4) a scheelita (CaWO_4), a calcita (CaCO_3), o diamante, e a autunita (fosfato de urânio e cálcio).

A fluorescência é uma propriedade que falha em alguns espécimens.

As prospecções de scheelita, usam a propriedade, nos estudos de campo.

No caso da wilemita, a propriedade é utilizada nos estudos de beneficiamento de minérios, a fim de serem examinadas as lamas e rejeitos, verificando-se deste modo, as perdas no processo.

Isotropia e anisotropia

Chamam-se substâncias isotropa, aquelas em que as propriedades óticas são as mesmas em tôdas as direções. Sua característica, é que a luz atravessa com a mesma velocidade tôdas as direções, desde que o seu equilíbrio molecular não seja perturbado por algum fator interno ou externo.

Si imaginarmos que a luz parte de um ponto dentro de um meio isotropo, a um dado momento, a resultante superficie de onda será uma esfera.

As únicas substâncias isotropas, são os corpos amôrfos, e os que cristalizam no sistema cúbico (vidro, opala, fluorita, etc.).

Anisotropas, são as substâncias em as propriedades óticas; variam conforme a direção, ou melhor, a velocidade com que a luz é propagada, varia com a direção de vibração.

Os minerais anisotropos, podem ser uniaxiais ou biaxiais.

Uniaxiais - minerais dos sistemas tetragonal e hexagonal.

Biaxiais - minerais dos sistemas ortorombico, monoclinico e triclinico.

Propriedades elétricas e térmicas dos cristais

Em geral, a maioria dos minerais, exceto aqueles que possuem brilho metálico, são não condutores.

A condutividade elétrica, é a mesma em tôdas as direções nos cristais dos sistemas cúbico, mas nos cristais dos outros sistemas ela varia com as direções.

Piroeletricidade

O desenvolvimento simultâneo de cargas elétricas positivas e negativas em diferentes partes do cristal, quando a sua temperatura é adequadamente variada, é o fenômeno da piroeletricidade.

Si um cristal apresenta uma carga positiva durante o aquecimento, uma carga negativa se desenvolverá no mesmo ponto, pelo resfriamento.

Dentre os minerais que apresentam boas condições para o desenvolvimento de tal fenômeno, podemos citar a boracita, a turmalina e o quartzo.

A experiência de Kundt, serve para comprovar a piroeletricidade. Consiste no seguinte:

Prepara-se uma mistura de enxofre e óxido de chumbo (Pb_3O_4), pelo atrito, provoca-se a eletrização, ficando as partículas de enxofre eletrizadas negativamente, e as de óxido de chumbo, positivamente. O enxofre será atraído para a parte positiva do cristal, e o óxido de chumbo para a parte negativa.

Piezoeletricidade

É o fenômeno do desenvolvimento de cargas elétricas em um corpo cristalizado, por pressão maior que a pressão atmosférica, ou por tensão.

A turmalina e o quartzo, apresentam o fenômeno muito claramente.

A piro e a piezo-eletricidade, são fenômenos muito parecidos, usando-se apenas agentes diferentes.

Aplicações das piezo-eletricidade:

- 1 - permite manter constante o comprimento das ondas hertezianas;

- 2 - é usada na produção de ondas ultra-sonoras; produzindo sons que ultrapassam o limite da audição;
- 3 - a pressão exercida sobre lâmina de quartzo, dá lugar a cargas elétricas, cujos valores são funções bem definidas das pressões, por este processo, pode-se avaliar variações de pressões em circunstâncias que não podem ser avaliadas por outros processos, como em caso de explosões, principalmente das armas de fogo;
- 4 - usa-se em aparelhos de rádio, radar, etc.

Magnetismo

Uns poucos minerais no seu estado natural, são capazes de ser atraídos por íman, ou seja, são magnéticos.

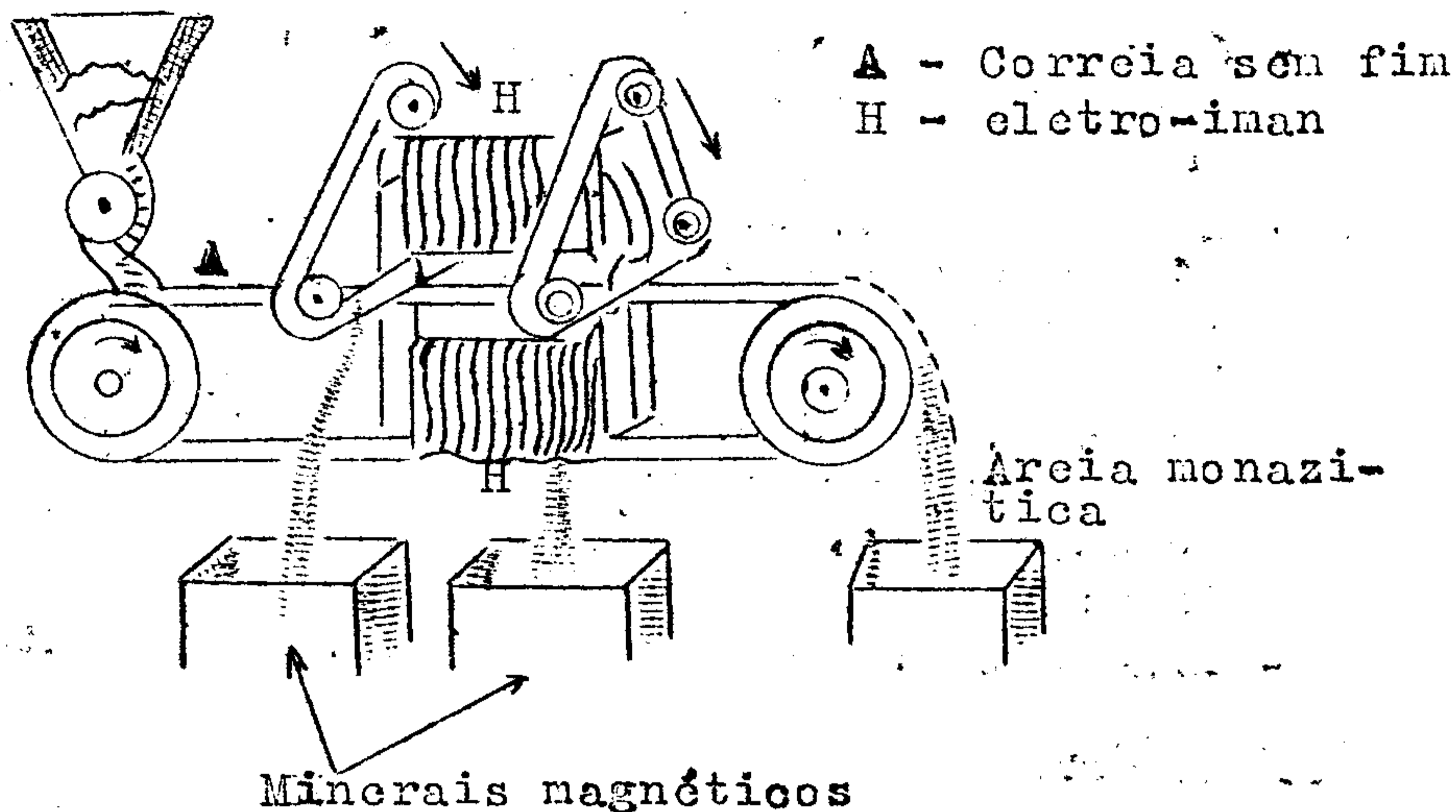
O principal é a magnetita (Fe_3O_4); também podem ser magnéticos, mas não tão intensamente, a ilmenita (principalmente quando aquecida), a pirrotita e a pirita.

A hematita e a franklinita (Fe, Zn, Mn), o $(Fe, Mn)_2O_3$, muitas vezes aparecem magnéticas, devida a presença de magnetita.

Sob a ação de um campo magnético muito forte, como entre os polos de um eletro-magneto, um grande número de minerais sofrem ação.

Tal processo é usado no beneficiamento de areias monazíticas, separando os diversos minerais que a acompanham, tais como granada, ilmenita, zircônita, magnetita, quartzo, etc.

Essa propriedade, é usada também em laboratório, a fim de se fazer a análise física de areias monazíticas. O esquema abaixo, esclarece de um modo resumido, o processo.



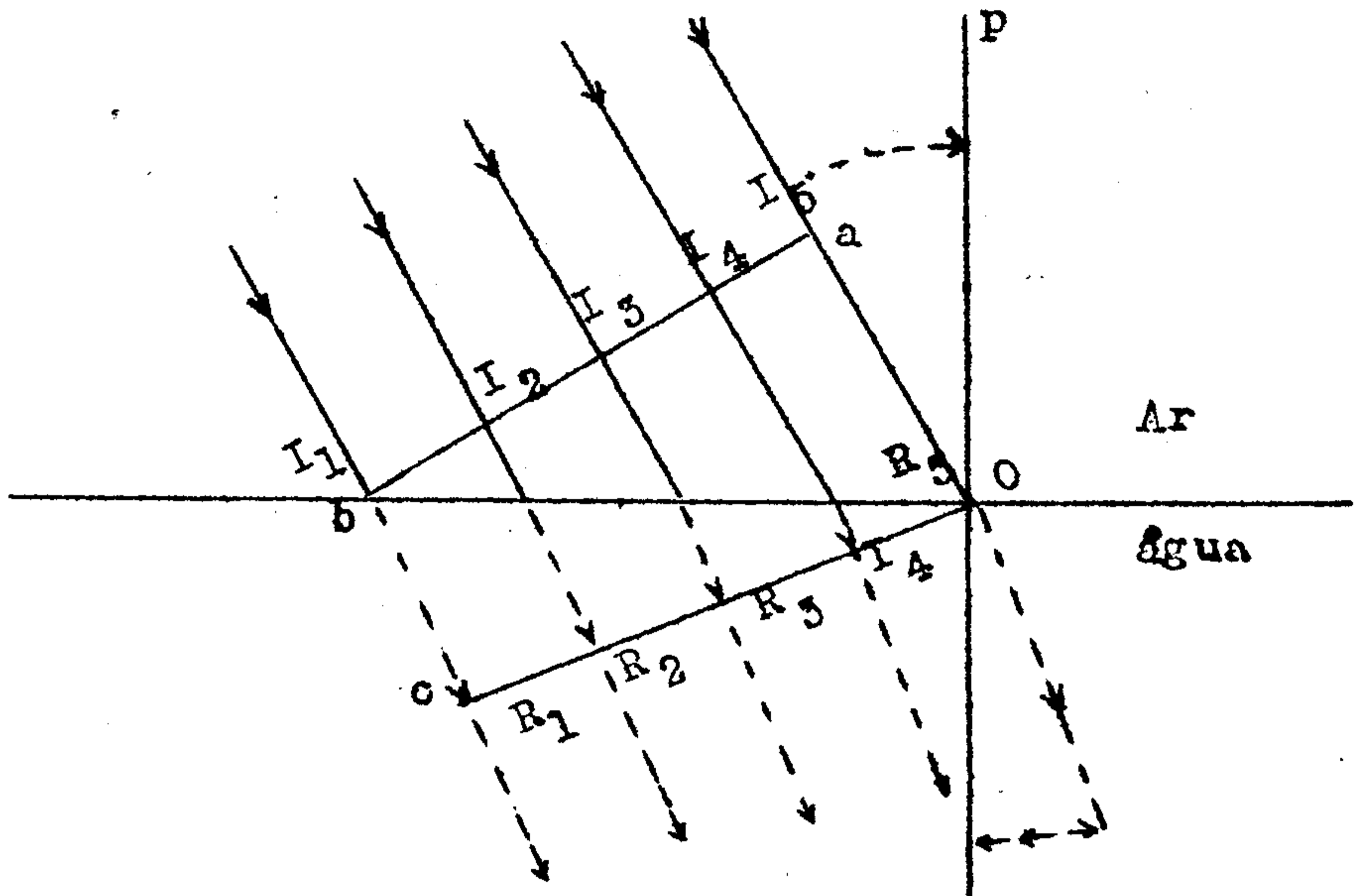
Refração da luz. Índice de refração

Quando a luz passa obliquamente de um meio para outro, no qual ela caminha com uma velocidade diferente, sofre uma mudança na sua direção. Esta mudança de direção, chama-se refração.

Suponhamos por exemplo, que temos dois meios, ar e água. Um raio incidente I_1 , atravessa a superfície da água obliquamente, fazendo um ângulo i , com a perpendicular P . Quando o traço do plano normal ao raio incidente I_1 , atinge a superfície no ponto I_3 , o ponto I_5 está ainda a considerável distância do plano. As posições I_2 , I_3 , I_4 , estão também acima da superfície.

Suponhamos que o raio avance até I_5 atingir R_5 .

Durante este avanço, o raio I_1 penetrou o meio mais denso (água), e com a velocidade diminuída, atingiu a circunferência de um círculo, com o raio



I_1R_1 , que representa a distância atravessada no meio mais denso. Semelhantemente, teremos as distâncias I_2R_2 , I_3R_3 , I_4R_4 . A tangente comum a estes círculos, representa a frente de onda.

Pela figura acima, deduzimos:

$$\text{sen } i = \frac{ao}{bo}$$

$$bo = \frac{ao}{\text{sen } i}$$

$$\text{sen } i = \frac{bc}{bo}$$

$$bo = \frac{bc}{\text{sen } r}$$

Portanto:

$$\frac{ao}{\text{sen } i} = \frac{bc}{\text{sen } r} \quad \frac{ao}{bc} = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$$

$$n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$$

Temos assim a lei de Snel, "a relação entre o seno do ângulo de incidência, e o seno do ângulo de refração, é constante".

Ângulo crítico. Reflexão total

Na fig.1 o ângulo r , é tal, que o ângulo i , é de 90° ; isto é, a luz percorre justamente sôbre o contato dos 2 meios. O ângulo r , quando esta condição é atingida, chama-se ângulo crítico.

Temos então a seguinte relação:

$$n = \frac{1}{\text{sen } r} \quad (\text{sen } 90 = 1)$$

Por exemplo, o diamante tem um índice de refração = 2.42.

$2.42 = \frac{1}{\text{sen } r}$; desta expressão, calcula-se que o ângulo crítico do diamante é $24^\circ 24'$.

Quando o ângulo crítico é excedido, tôda a luz é internamente refletida como na fig. 2. Este tipo de reflexão, é a reflexão total interna.

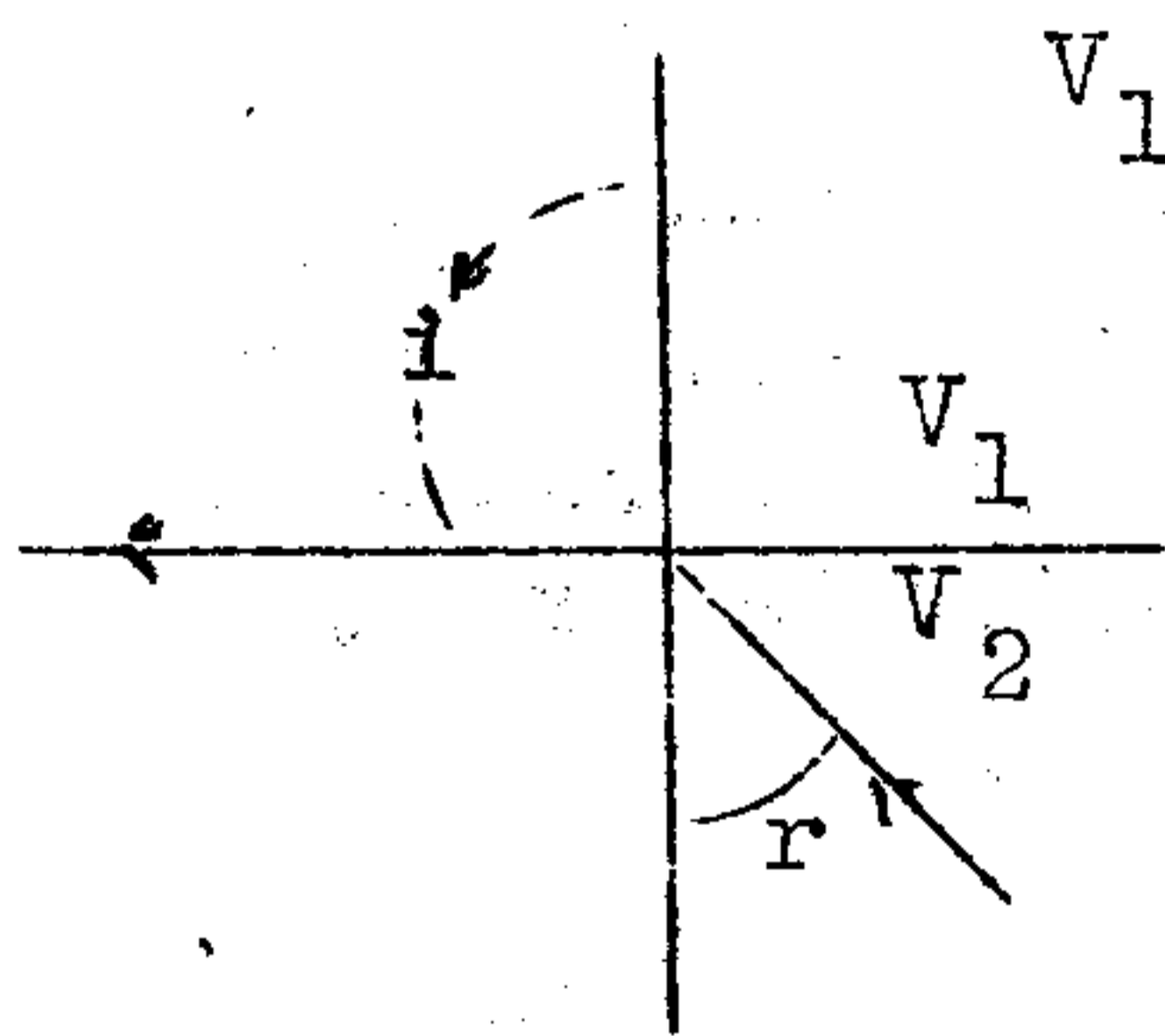


Fig.1

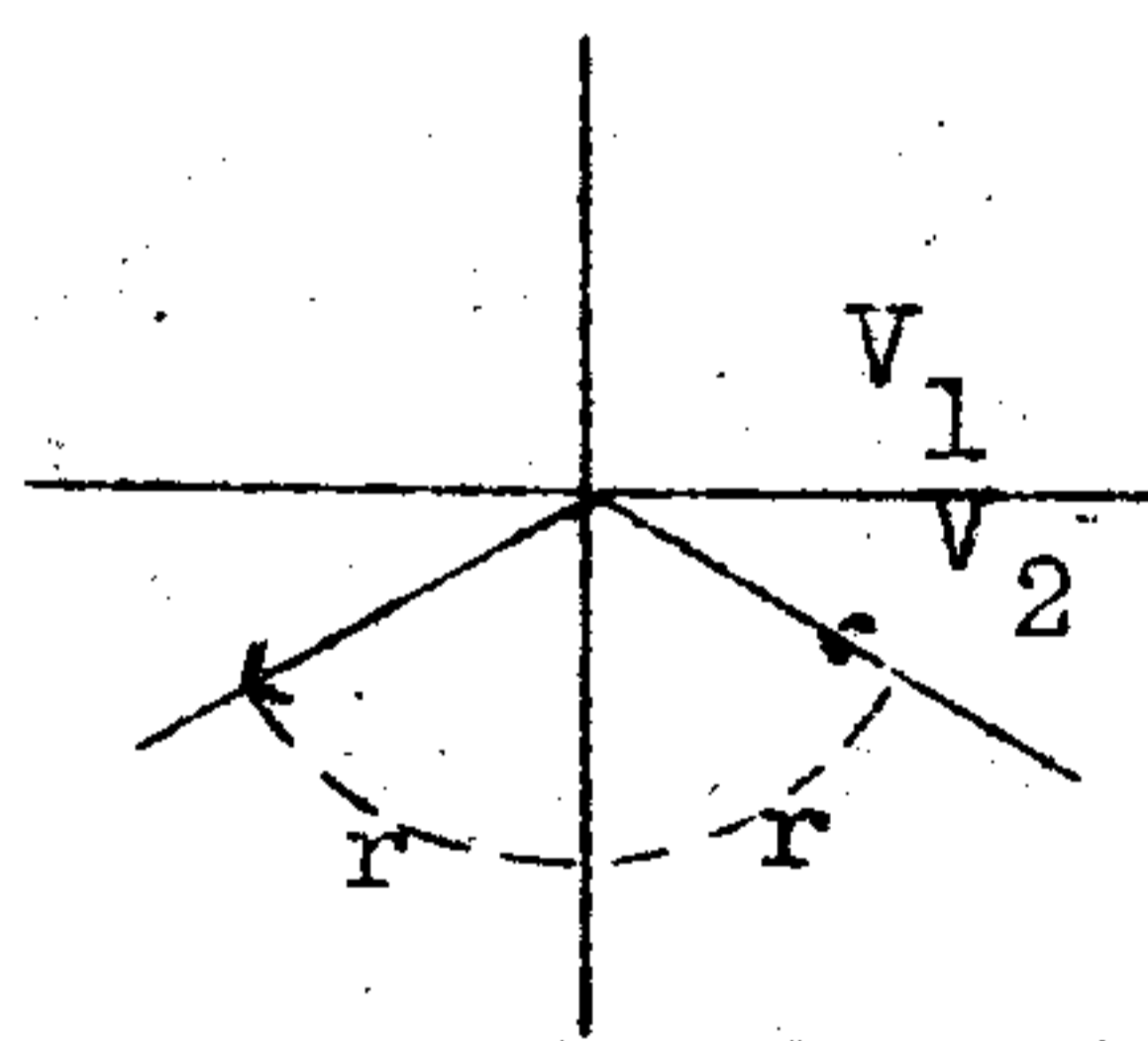


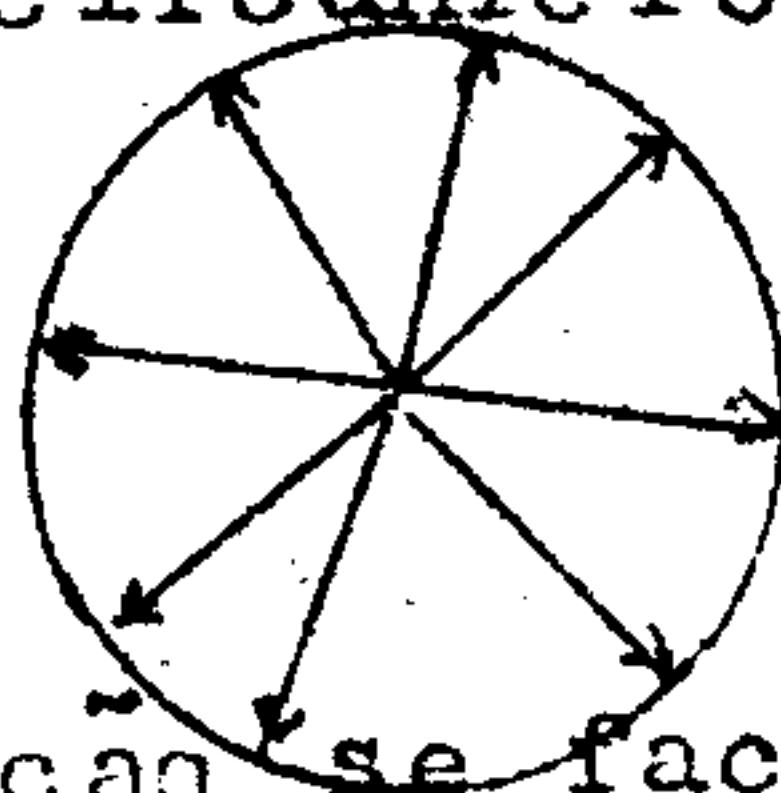
Fig.2

Refração das substâncias isotropas

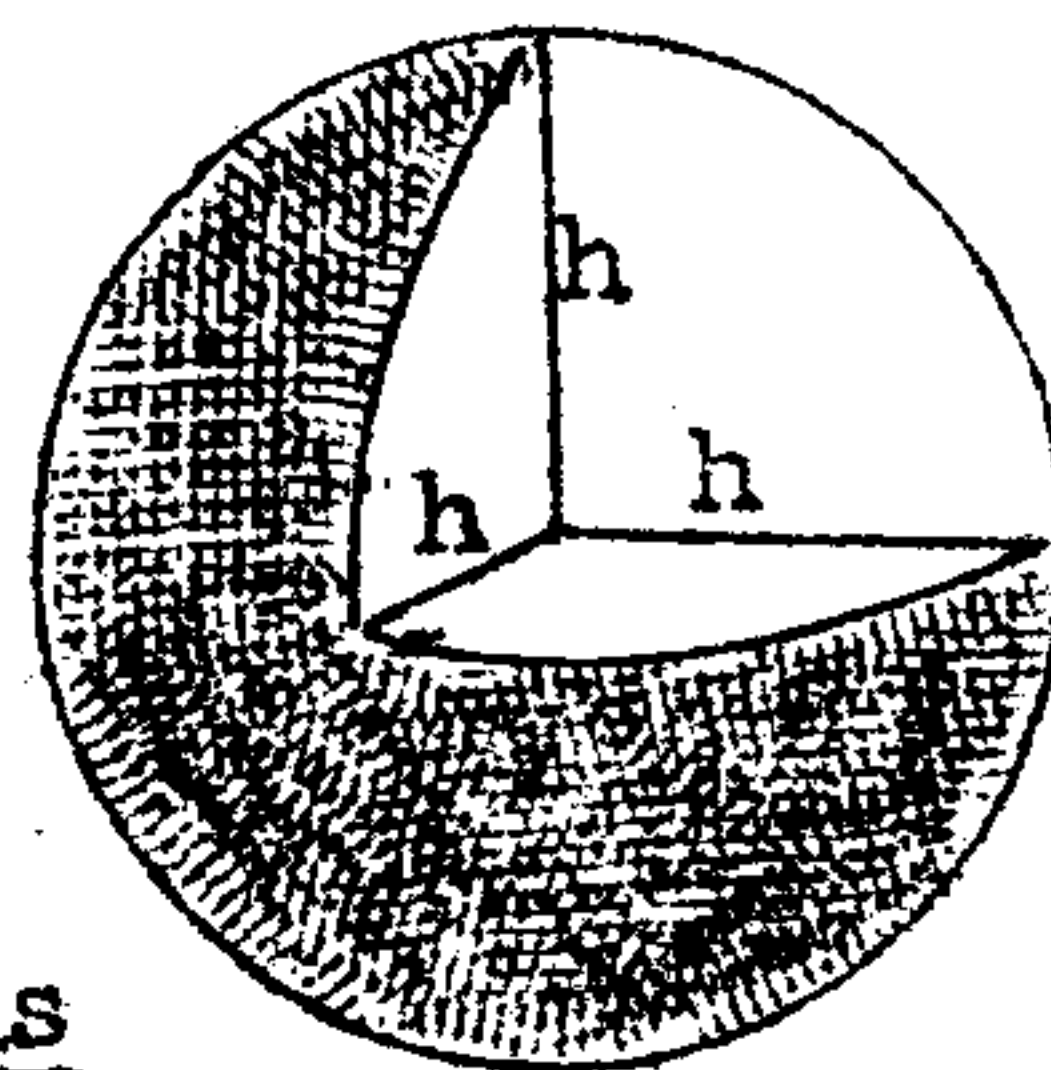
Os minerais isotropos, conforme já foi dito, são apenas os amôrfos e do sistema cúbico, nos quais, a luz atravessa com a mesma velocidade em todos os sentidos.

A luz, assim, sofre uma única refração ao atravessar um meio isotropo, ou em outras palavras, ha sòmente um índice de refração para um dado comprimento de onda.

Si dum determinado ponto, imaginarmos a luz caminhando em tódas as direções, em um dado momento, poderemos representar a propagação da luz nos meios isotropos, por uma circunferência; isto a representação no plano.



Caso esta representação se faça no espaço, teremos determinado uma esfera; essa representação no espaço, determina o que se chama a indicatriz ótica nos meios isotropos.



Refração nas substâncias anisotropas

Nas substâncias anisotropas, as propriedades óticas variam com as direções, ou melhor, a luz se propaga com diferentes velocidades conforme a direção.

1 - Minerais uniaxiais

A luz penetrando nos minerais uniaxiais, é refratada em 2 raios, que são polarizados em planos perpendiculares um ao outro, e que atravessam o cristal em diferentes velocidades, havendo desse modo, 2 diferentes índices de refração.

Um destes dois raios, vibra no plano dos eixos cristalográficos horizontais; o outro, vibra em ângulo reto com o primeiro, e sempre em um pla-

Mineralogia

no vertical que inclúe o eixo cristalográfico vertical.

O caracter ótico de um mineral uniaxial, é uniforme para tôdas as direções no plano dos raios horizontais, e assim, o raio cujas vibrações estão nesse plano, têm uma velocidade uniforme, não importando a direção de vibração. Como êste raio, segue a lei usual dos senos, êle é chamado raio ordinário (ω).

O raio que vibra em um plano que inclúe o eixo cristalográfico vertical, terá a sua direção de vibração mudando constantemente, em virtude da direção do seu caminho através o cristal mudar. Êste raio é chamado extraordinário (ϵ).

Quando a luz atravessa um cristal uniaxial em uma direção paralela ao eixo vertical, desde que tôdas as vibrações têm lugar no plano horizontal, êle comporta-se como si fosse isotropo, com uma única velocidade, e um único índice de refração (não há portanto dupla refração). Esta direção que não ha dupla refração, coincidente com o eixo vertical, é chamada eixo ótico, e como nesse grupo de minerais, há uma única tal direção, êle é chamado uniaxial.

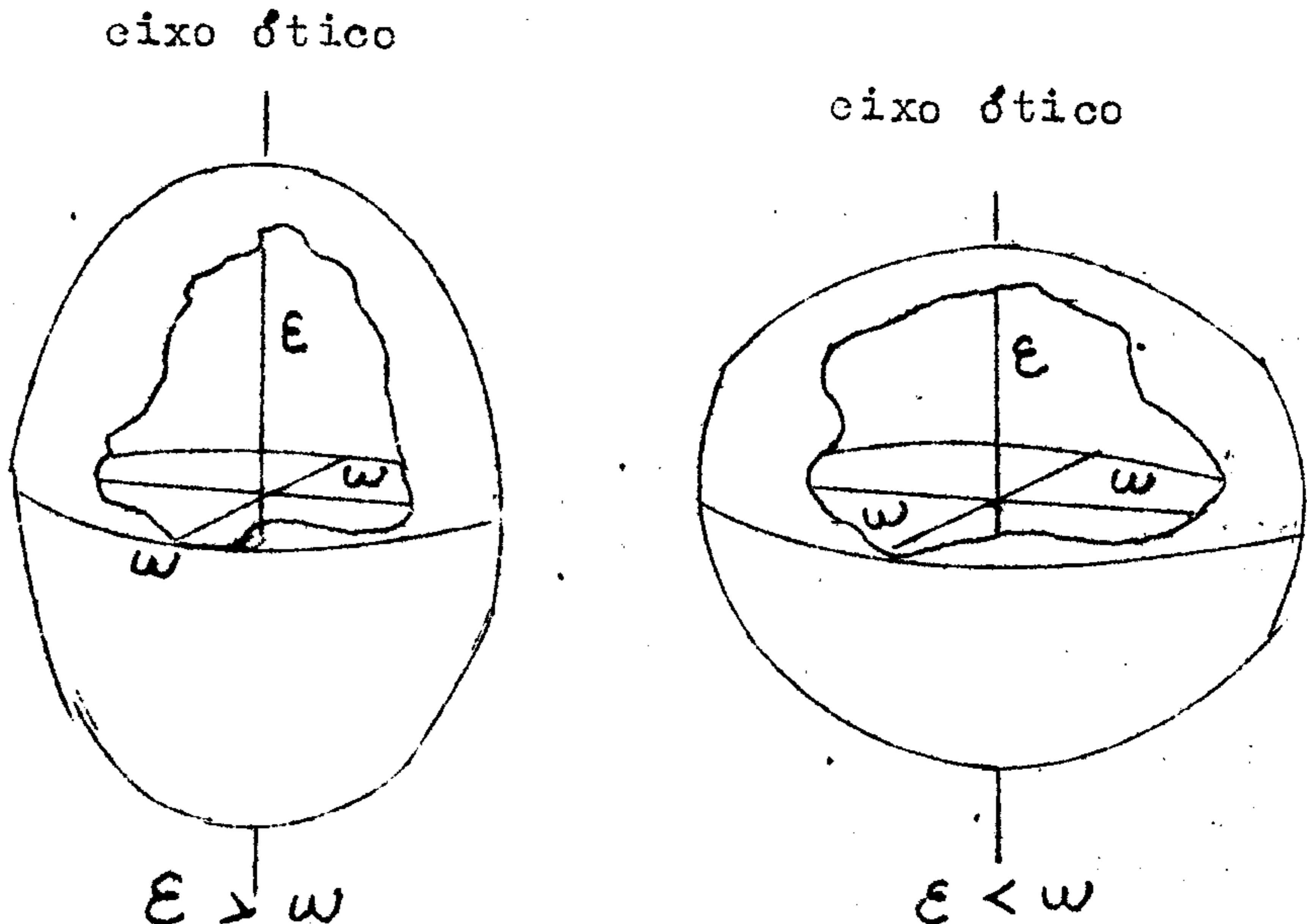
Logo que a direção de transmissão, torna-se inclinada, ao eixo vertical, a luz é dupla refratada, e como a inclinação aumenta a direção de vibração do raio extraordinário, afasta-se mais e mais do plano de vibração do raio ordinário, com a correspondente variação na velocidade e índice de refração.

A diferença entre os dois índices, torna-se máxima, quando a luz passa através o mineral, em uma direção horizontal com a direção de vibração do raio extraordinário, paralelo com o eixo vertical do cristal.

A mudança do índice de refração com a direção da propagação da luz ou vibração, pode ser visualizada em uma indicatriz uniaxial, uma figura geo-

métrica tri-dimensional, mostrando a variação dos índices de refração nas suas direções de vibração.

Por convenção, os minerais em que $\epsilon > \omega$, são denominados positivos, e naqueles em que $\epsilon < \omega$ são negativos.



2 - Minerais biaxiais

Tanto os minerais uniaxiais como os biaxiais, podem ser representados por um elipsoide de revolução; o caso dos uniaxiais já foi visto. Havendo apenas uma secção que determina uma circunferência, nestes minerais ha apenas um eixo ótico, que é a direção coincidente com o eixo normal à secção esférica.

Os minerais biaxiais, apresentam duas secções que determinam circunferências; em virtude disto, eles possuem dois eixos óticos.

A luz, penetrando nos cristais biaxiais, determina 3 direções, em ângulo reto uma em relação às outras, as quais são designadas X, Y e Z.

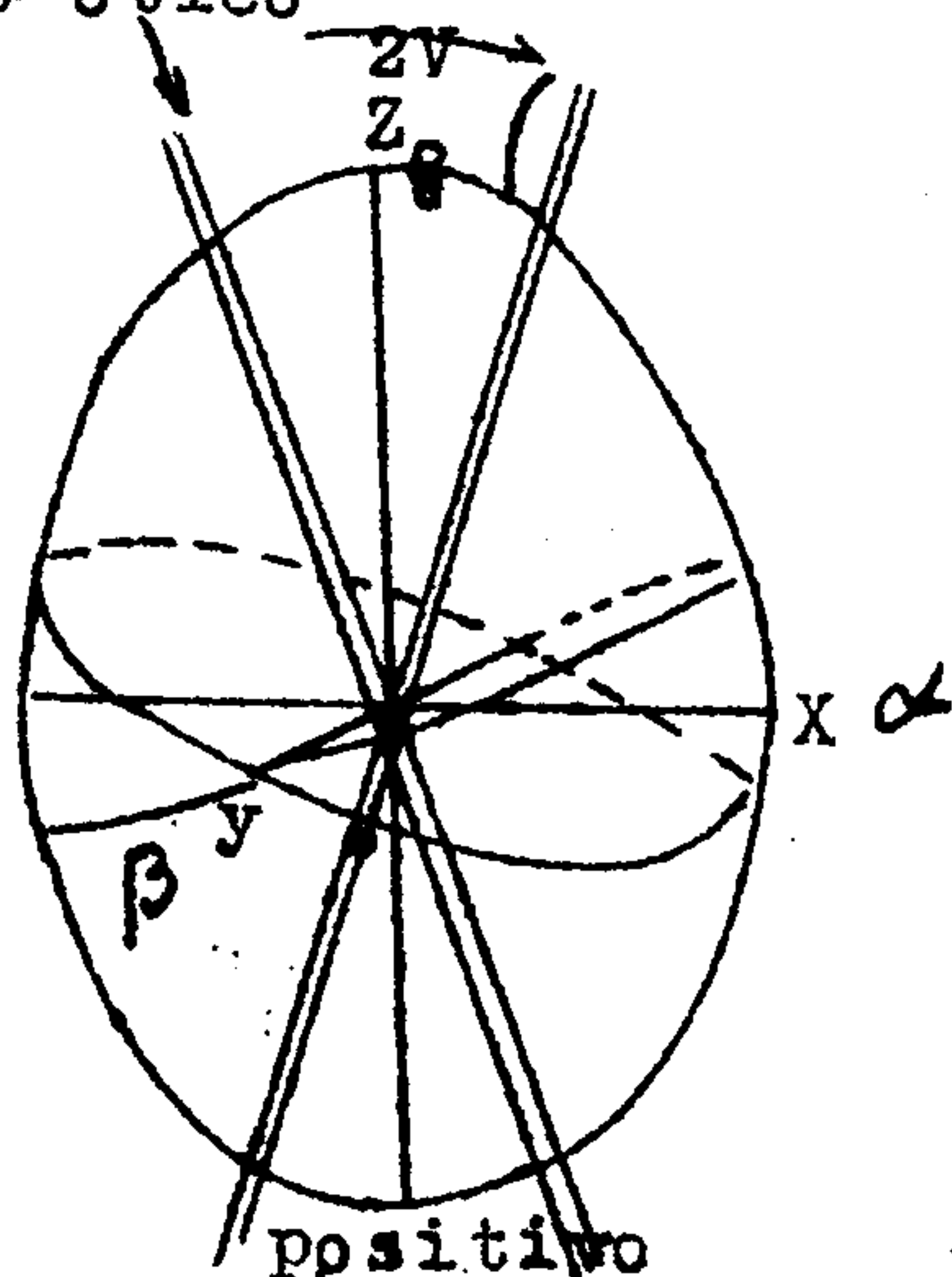
As relações entre os índices de refração, são melhores compreendidas, usando-se a indicatriz biaxial, um elipsoide triaxial, o qual possui 3 planos de simetria, e é construído de tal modo que os 3 índices de refração, são iguais aos 3 semi-eixos mutuamente perpendiculares.

Os 3 principais índices de refração, são designados α , β e γ , e iguais respectivamente a OX, OY e OZ; α é o menor índice, β o intermediário, e γ o maior.

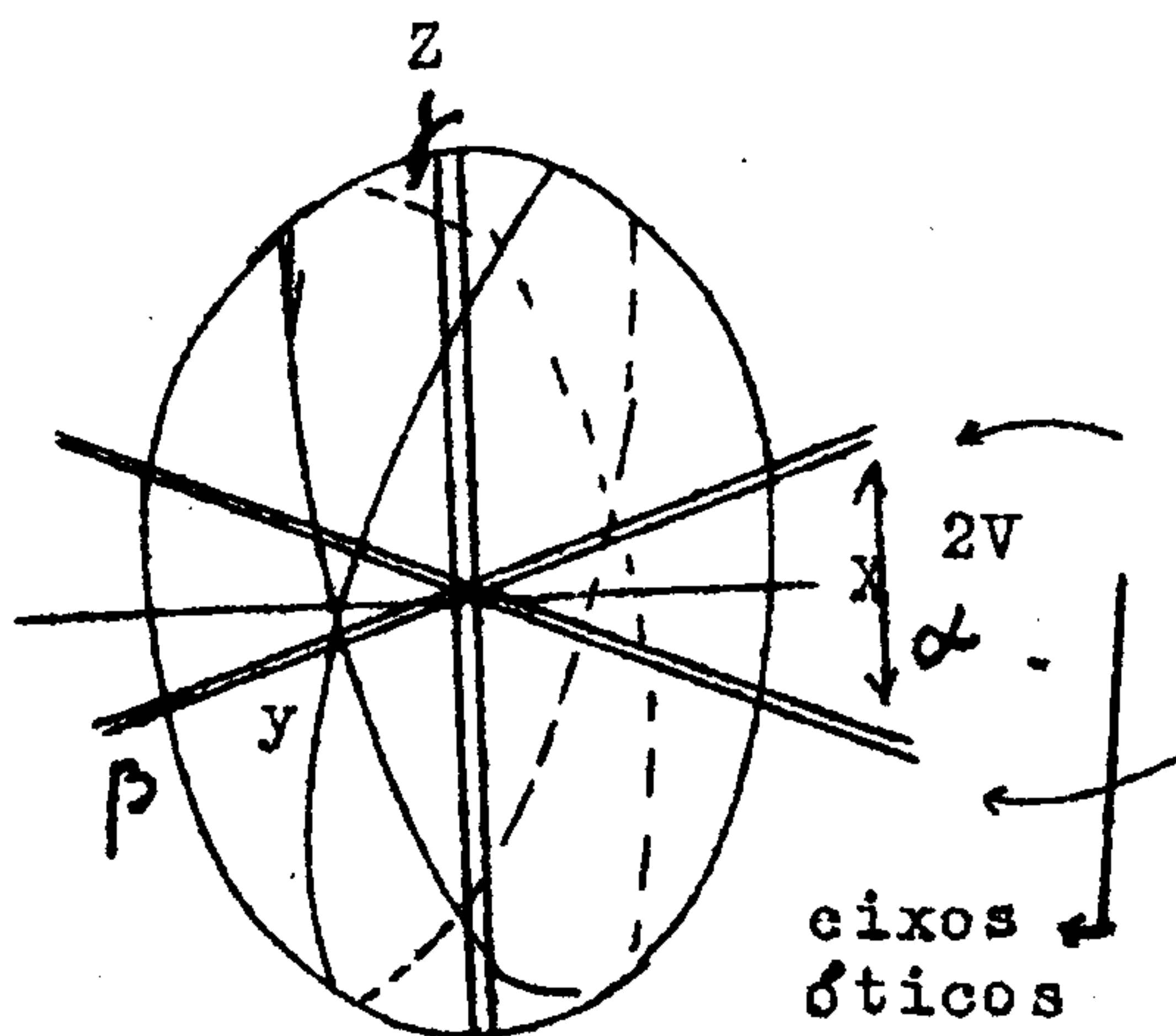
Os eixos óticos primários, são perpendiculares às secções circulares. O ângulo ótico $2V$, é o menor ângulo entre os eixos óticos, e está no plano XZ, o plano ótico.

Nos cristais positivos, o ângulo ótico é bissectado pelo eixo Z da indicatriz, e Z é descrito como a bissetriz aguda. Nos cristais negativos, X é a bissetriz aguda.

eixo ótico



positivo



negativo

eixos óticos

Principais índices de refração

O índice de refração, tem, como foi dito, um valor constante para cada substância, referido usualmente ao ar. Em relação aos corpos sólidos, é evidente pelo que foi explicado, que as substâncias isotropas, que são os corpos amorfos e do sistema cúbico, possuem um único índice de refração. Cristais dos sistemas tetragonal e hexagonal, têm 2 principais índices, e, correspondentes as velocidades da luz tendo certas direções definidas de vibrações. Os sistemas ortorombico, monoclinico e triclinico, têm semelhantemente 3 principais índices. Nos dois últimos casos, os meios chamados anisotropos, o índice de refração médio, é a média dos índices.

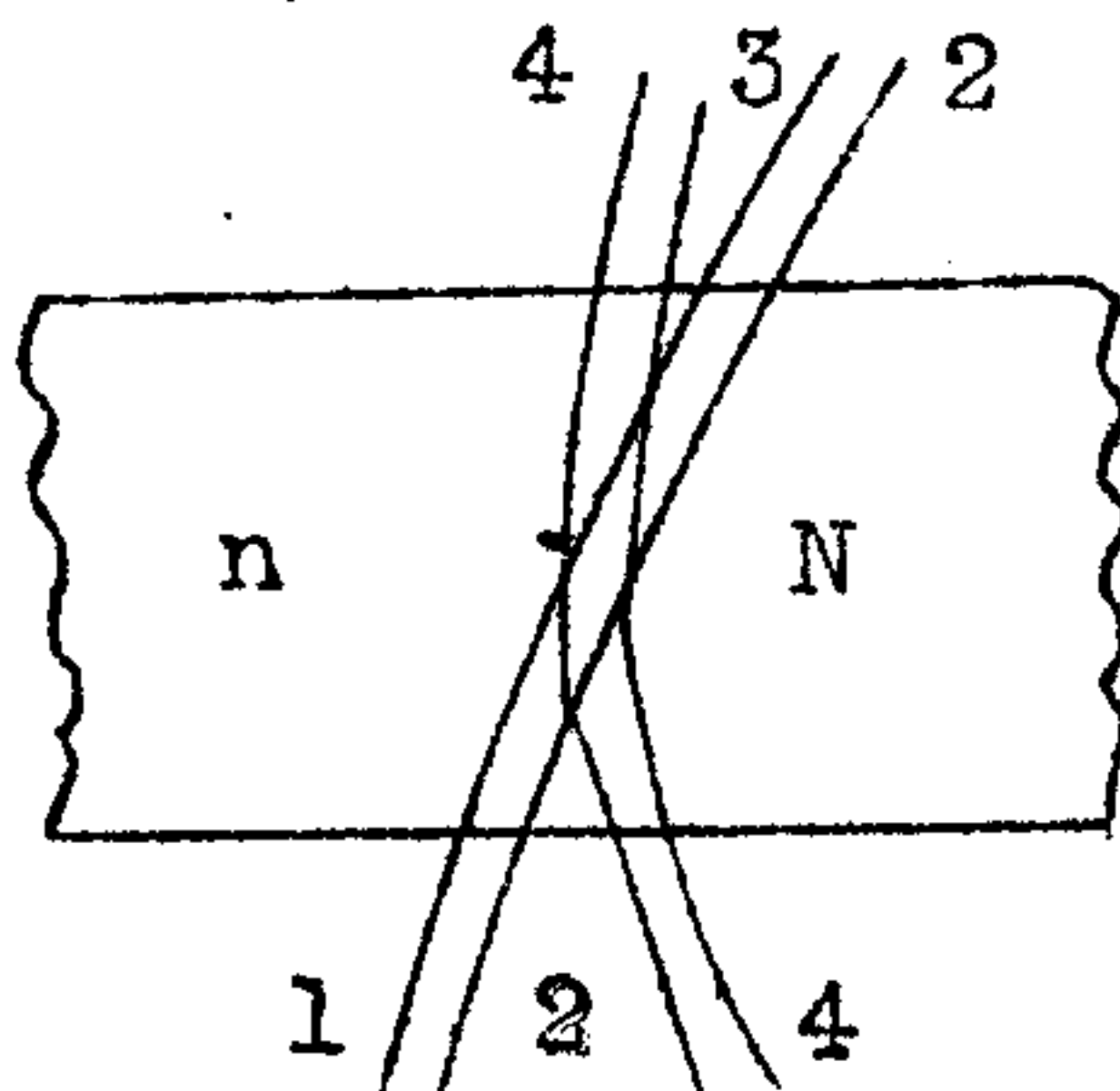
$$\frac{2\omega + \epsilon}{3}$$

$$\frac{\alpha + \beta + \gamma}{3}$$

Determinação do índice de refração. Linha de Becke

A linha de Becke, refere-se a um fenômeno associado ao contato vertical de duas substâncias de diferentes índices de refração, observado na lâmina sobre a platina do microscópio. É melhor observado usando uma objetiva de aumento médio, e iluminação reduzida.

Na fig. abaixo, substâncias de índices n e N ,



fazem um contato vertical. N é maior que n . Parte da luz nos raios 1 e 2, passando através o meio de índice n , e atingindo o contato dos dois meios,

é refletida, e parte é refratada no meio de índice N . A luz refletida no meio do índice n , não é mostrado na figura. A luz nos raios 3 e 4, passando através o meio N , é totalmente refletida. O efeito desse fenômeno, é uma concentração de luz no contato de dois meios.

No microscópio, a linha de Becke não é vista quando o microscópio está exatamente focado no fragmento. Entretanto, si o tubo do microscópio, é ligeiramente levantado, uma estreita linha luminosa (linha de Becke) aparece, justamente na parte interior ou na parte exterior do contato do fragmento mineral com o líquido. Si a linha de Becke move-se para o interior do fragmento quando o tubo do microscópio é levantado, o índice do fragmento é maior do que o do líquido; si a linha move-se para fora do mineral, o fragmento tem um índice menor que o líquido. Abaixando-se o tubo, dá-se o inverso. Dêsse modo, quando levata-se o tubo, a linha de Becke move-se sempre para o de maior índice.

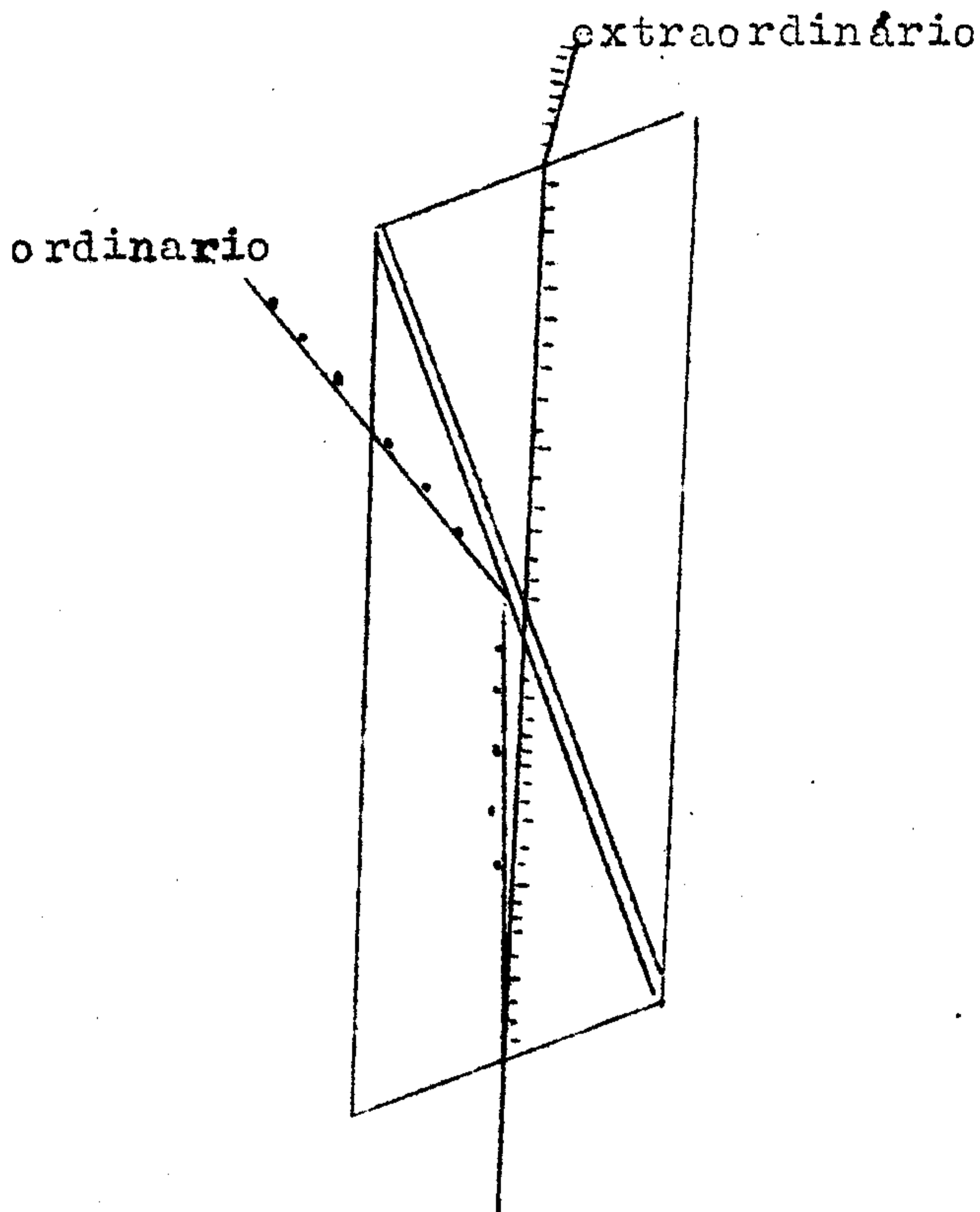
Luz polarizada

Os prismas de nicol no microscópio polarizante, utilizam o princípio da dupla refração para produzir luz polarizada.

Calcita óticamente clara é usada, e um prisma é feito de duas partes cimentadas com bálsamo do Canadá; as duas metades, formam um prisma segundo a figura. (fig. na página 45).

A luz penetrando na base do prisma, é refratada nos raios ordinário e extraordinário. O raio extraordinário, tem um índice $n = 1.516$, em relação ao ângulo de incidência do prisma; o raio ordinário, $n = 1.658$; e o bálsamo $n = 1.537$.

Ambos os raios penetram no prisma, e atingem o bálsamo. A obliquidade do raio ordinário excede



o ângulo crítico, entre o raio ordinário e o balsamo. Como resultado, não é refratado, mas refletido para o lado do prisma, sendo absorvido pelo tubo do microscópio.

Assim, o raio extraordinário é polarizado, segundo um plano de vibração; consequentemente, a luz emergindo do prisma, é constituída inteiramente pelo raio extraordinário.

Fim

Universidade do Brasil

ESCOLA NACIONAL DE QUÍMICA

Notas de aula de

II - Geologia Econômica

Dr. Oswaldo Eriksen de Oliveira

1953

GEOLOGIA

A Geologia é a ciência que trata da Terra. Trata da interpretação da sequência de acontecimentos, desde o início da Terra como um planeta definido no sistema solar, através muitas mudanças durante as longas idades geológicas, até os dias atuais.

Trata também, da composição, caráter e formação da crôsta terrestre, e dos agentes que estão continuamente alterando-a.

Geologia Económica - Classificação dos bens primários minerais

(Segundo M. da S. Pinto, boletim 86, da D.F.P.M.)

Metálicos:

Classes:

- I - Metais preciosos - minérios de ouro, prata, platina e platinoídeos.
- II - Metais não ferrosos - minérios de cobre, chumbo, zinco, estanho e alumínio.
- III - Ferro e metais de ferro-ligas - minérios de ferro, manganês, níquel, cromo, molibdênio, tungstênio, vanádio e cobalto.
- IV - Metais secundários e assemelhados - minérios de antimônio, arsênico, berilo, bismuto, cádmio, magnésio, mercúrio; rádio e urânio; selênio e telúrio; tântalo e nióbio; titânio e zircônio.

Energéticos:

Classes:

- V - Combustíveis - carvão, petróleo, gás; xistos pirobetuminosos, turfas.
- VI - Fissionáveis e associados - minérios de urânio, tório e de materiais para pilha atômica (berilo, grafita, cádmio, lítio, boro etc.).

Não-metálicos

Classes:

- VII - Materiais cerâmicos - argilas; feldspatos, etc.
- VIII - Materiais estruturais e de construção - pedras; cimentos hidráulicos; calcários; magnetita; gipsita; pigmentos; isolantes, asfaltos e betumes; pedras-mármorees para revestimento.

- IX - Materiais metalúrgicos e refratários - flu-
orita; grafita; refratários; areia para fun-
dição; calcáreo, etc.
- X - Materiais para indústria e manufatura - Ami-
anto; mica; talco; baritina; areias para vi-
dro; encorpantes e filtrantes; terra Fuller;
cristais para ótica e telecomunicações.
- XI - Materiais para indústria química - sal-gema
e salmouras; boratos; compostos sódicos; clo-
retos alcalino-terrosos; bromo e iodo; po-
tassa; enxofre; nitratos; minérios de lítio,
estroncio; piritas.
- XII - Materiais para agricultura (fertilisantes,
corretivos e inseticidas) - potássio, ni-
tratos; fosfatos; calcáreo; enxofre; miné-
rios de cobre e arsênico.
- XIII - Abrasivos - diamantes e carbonados; corin-
don; esmeril; granada e sílica.
- XIV - Gemas - diamantes; rubi e safiras; esmeral-
das, águas marinhas e berilos; opala, agata,
pedras coradas, etc.
- XV - Águas subterrâneas e águas minerais.

A geologia, tem como ciências auxiliares, na interpretação dos fenômenos por ela estudados, a química, a física, astronomia, biologia e outras ciências.

Estuda também, as rochas e suas relações; a água e seus efeitos sobre as rochas e crosta terrestre; a atmosfera e seus movimentos, etc.

Origem da terra

A Terra, é um planeta pertencendo ao sistema solar. Das pesquisas dos astrônomos, aprendemos que muitas das chamadas estrelas fixas, são sóis, movendo-se na sua própria órbita, como o Sol.

As investigações dos corpos celestiais, têm mostrado que, alguns existem em estado de gases incandescentes fortemente aquecidos, alguns como massas globulares em estado líquido, a altas temperaturas e outros, como o nosso planeta, como corpos sólidos escuros.

De acordo com a hipótese nebular, supõe-se que os corpos sólidos, eram gases incandescentes, e que eles tornaram-se primeiro líquido, e então sólidos, através a radiação do seu calor pelo espaço.

Quando o corpo globular, aquecido, tornou-se suficientemente frio, uma crosta sólida, a princípio, fina e quebradiça, formou-se na superfície. Como a perda de calor continuasse, a camada tornou-se cada vez mais espessa, e no seu esforço de adaptar-se às dimensões mais reduzidas da massa interior fundida, tornou-se enrugada, com sulcos e vales.

No curso do tempo, a massa ígnea, tornou-se fria bastante, para permitir a condensação dos vapores da água, que envolviam a Terra. Uma porção da água, depositou-se nas profundidades, e

formou os primeiros mares e lagos sôbre a Terra; enquanto isto, uma outra parte da água, penetrava na Terra, dando origem a seguir aos primeiros rios e fontes.

Interior da Terra

Do interior da Terra, quasi nada é conhecido, excéto que a densidade é maior, e que a temperatura aumenta com a profundidade, si bem que não duma maneira uniforme em diferentes lugares.

A densidade da Terra, foi determinada, sendo aproximadamente 5,5; a densidade média das rochas da crôsta terrestre é aproximadamente 3. Dêsse modo, a única explicação para o fato, é que o interior da Terra, seja formado por elementos de uma grande densidade.

O número de metros em profundidade na Terra, ou melhor, na crôsta terrestre, necessários ao aumento da temperatura de 1°C , é chamado o grau geotérmico. O grau geotérmico, depende dos seguintes fatores:

- 1 - condutibilidade térmica das rochas.
- 2 - proximidade de foco térmico, p. ex. vulcão.
- 3 - estrutura das rochas; assim as camadas inclinadas, possuem um grau geotérmico mais curto, que as camadas horizontais.
- 4 - Morfologia: o grau geotérmico, aumenta sôbre as serras, ao contrário do que se dá nos vales.

O grau geotérmico normal, é $33\text{m} = 1^{\circ}\text{C}$. A mina de Morro Velho, mostra um grau geotérmico aproximadamente de 55m.

Idade da terra

Muito antes que a ciência moderna se esforçasse para determinar a idade da Terra, já os an-

tigos haviam imaginado complicadas explicações a respeito. O "folk-lore" de muitos povos antigos, tais como os indús, gregos e outros, contêm muitas lendas sôbre a origem da Terra.

Uma das maiores dificuldades na expluão de tal questã, é a falta de dados preciosos dos antigos. Um exemplo bastante significativo, da influên- cia de tal falta de dados, é a respeito da teoria de Halley (1656-1742), em que o citado astrônomo, compreendendo que a salinidade do mar era resultado da acumulação de sais arrastado pelos rios, sugeriu que a quantidade total de sal dos oceanos, poderia servir para medir a idade dos mesmos. Mas naquela época, não havia recursos suficientes para tais dados, Halley lamentava que os antigos não tivessem deixado dados sôbre a salinidade dos oceanos, já que a salinidade, numa diferença de 2.000 anos, deveria fazer diferença.

O cálculo da idade dos oceanos, será então, aplicando-se tal processo:

$$\frac{\text{Na no oceano}}{\text{Na carregado pelos rios por ano}} = \text{idade do oceano}$$

Tal processo, ainda é encontrado nos modernos tratados de Geologia, o que nos leva a crêr, que o mesmo ainda é usado.

O que na realidade se necessita para medir tão imensos períodos, é um processo natural, cuja transformação atravez dos tempos, haja produzido resultados mesuráveis, e cuja lei de variação seja conhecida. A decomposição dos minerais radioativos, é o único processo que cumpre tão rígidas condições.

Os métodos radioativos, dependem da transformação de urânio e tório em hélio e chumbo, e da acumulação destes elementos residuais estáveis,

em minerais e rochas, que contenham o elemento "pai". O hélio, por ser um gás, tende a escapar, mas existem grandes probabilidades do chumbo ficar retido, que nos pode servir assim, de computador da idade terrestre. Sempre que um mineral tal como a uranita (ou pechblenda), tenha permanecido sem sofrer os efeitos dos agentes atmosféricos ou outras variações, então o chumbo de origem radioativas, achado em tal mineral, é função de dois fatores:

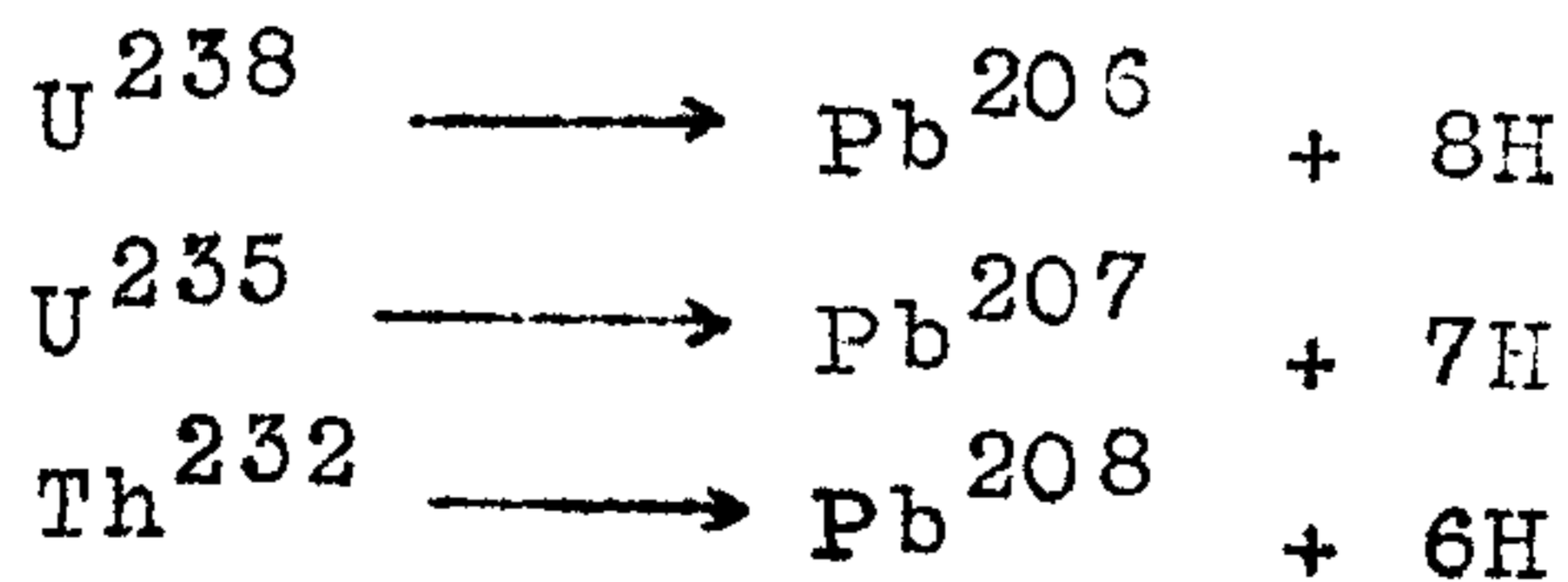
- 1 - a quantidade de urânio e tório (ou somente dêste) presentes na atualidade.
- 2 - o tempo transcorrido desde a cristalização do mineral.

É possível fazer-se a distinção entre o chumbo de origem radioativa e o chumbo ordinário.

O urânio "pai", contém dois isotopos quimicamente inseparáveis, U^{238} e AcU ou U^{235} , em proporções atômicas que têm o valor atual:

$$AcU/U^{238} = 1/139.$$

Como o AcU se decompõe muito mais rapidamente, esta razão era progressivamente crescente no passado. Os resultados das transformações atômicas, podem resumir-se da seguinte forma:



Observa-se que em cada caso, ha geração de um isotopo específico do chumbo. O chumbo ordinário, é uma mistura dos 3 isotopos, e de um quarto, Pb^{204} , que não se sabe si é resíduo de decomposição radioativa. E assim, si analisamos isotopicamente o chumbo de um mineral radioativo (por meio de espectrografo de

massa), e achamos que contém Pb^{204} , a proporção deste isótopo, nos indicará a proporção de chumbo ordinário na amostra.

A velocidade atual de produção de chumbo radioativo, é conhecida com extraordinária exatidão; mas como é natural, surge a questão si temos razão para crer que esta velocidade, permaneceu constante durante toda a evolução geológica. Esta dúvida foi dissipada por estudos efetuados por G.H.Henderson.

Em um dado momento, a velocidade de produção de um determinado isótopo do chumbo, depende somente da constante de desintegração e da quantidade do elemento "pai" então presente. Assim, a idade t_m de um mineral, pode facilmente ser calculada à base de qualquer das seguintes razões:

$$Pb^{206}/U, \quad Pb^{207}/U \quad e \quad Pb^{208}/Th,$$

nas quais êsses elementos representam as porcentagens dos elementos "pai" e dos isótopos de chumbo radioativo presentes no material em estudo.

As equações para t_m , estudadas por Keevil em 1939, são as seguintes:

$$t_m = 15,15 \times 10^9 \log_{10} (1 + 1,158 Pb^{206}/U) \text{ anos}$$

$$t_m = 2,37 \times 10^9 \log_{10} (1 + 1,159,6 Pb^{207}/U) \text{ anos}$$

$$t_m = 46,20 \times 10^9 \log_{10} (1 + 1,116 Pb^{208}/Th) \text{ anos}$$

Si um mineral permaneceu inalterado, os valores achados para t_m , devem concordar, o que muito poucas vezes acontece, já que nos minerais que têm aparência mais recente, é muito provável que se tenham produzido migrações dos elementos críticos. Entretanto, mesmo que êstes valores diferem consideravelmente, suas relações mútuas servem para estabelecer a verdadeira idade.

Si se produziu perda de radônio (membro gaso-

so da família do U_1) o mineral será então deficiente em Pb^{206} , e sua idade poderá ser estabelecida melhor, à base do Pb^{207} . Si houve perda de Pb, ou de U, ou de ambos, ou ganho de um ou de ambos, a idade real, ou uma boa aproximação será obtida pela relação Pb^{207}/Pb^{206} .

Os estudos sôbre a idade da Terra, baseados na radioatividade dos minerais, levou os investigadores, a conclusão, que a idade da Terra é de aproximadamente 3.550 milhões de anos.

Forma da terra

A Terra tem a forma de um elipsoide de revolução, de achatamento aproximadamente 1/300. Dado ao fato, de não ter a Terra, as formas regulares do elipsoide, diz-se que a Terra é um geoide. A Terra adquiriria sua forma atual, quando era um corpo fluido, animado de movimento de rotação, em torno do seu eixo; o achatamento polar, não é mais que uma consequência da força centrífuga, maior no equador que nas altas latitudes, e nula nos pólos.

O raio equatorial do geoide, mede 6.378.249m; o raio polar 6.356.515 m; a superfície da Terra, é aproximadamente 510 milhões de quilômetros quadrados, sendo 145 de terras e 365 de mares, ou seja, apenas 30% de terras, e 70% de mares.

As grandes elevações terrestres, e as grandes depressões oceânicas, nenhuma influência exercem sob a forma geral do geoide. Assim, as mais altas montanhas, não atingem 9.000 m de altitude (o Everest no Himalaia, 8.840 m), e as maiores depressões, não vão além de 9.500 m.

Divisões da Geologia

1 - Estática

É o estudo da crosta terrestre, na época atual.

- a) - Petrologia - estudo das rochas
- b) - Estratigrafia - é o estudo da disposição das camadas que formam a crosta terrestre.

2 - Dinâmica ou Física:

Estuda as causas e modificações da crosta terrestre, e os agentes e fatores geológicos que as produzem.

3 - Histórica:

Estuda os fenômenos passados, tendo por base, os estudos da G. dinâmica e da Biologia.

4 - Econômica:

Estuda as jazidas minerais, sob o ponto de vista econômico.

Revoltórios terrestres

A Terra é constituída por um núcleo central, e envoltórios.

O envoltório mais externo, é a atmosfera, podendo ser dividida em duas partes:

- a) - Estratosfera: - é a parte mais afastada do globo, constituída por gases ionizados, não tendo importância sob o ponto de vista geológico.
- b) - Troposfera - é a parte que está em contato com os mares e continentes, também gasosa, constituída por uma mistura de gases e vapores, tais como: nitrogênio, oxí-

gênio, gás carbônico, vapor d'água, e gases raros. É um importante agente geológico, pois está em contato com a crosta terrestre.

A Hidrosfera, é a parte líquida, constituída pelos mares, lagos, rios, etc., ocupando a maior parte da crosta terrestre. É descontínua.

A Litosfera é o envoltório sólido, contínuo. É constituída por 3 zonas fundamentais:

- a) - Região vadosa - é a parte atingida diretamente pela atmosfera e hidrosfera, estando portanto, em constante relação com aqueles envoltórios, por reações químicas e físicas;
- b) - Região freática - é a região mais interior, não atingida pela hidrosfera e atmosfera. Sofre as ações do centro da Terra (calor, infiltração de gases, etc.) e o peso das camadas superiores;
- c) - Região juvenil - é a camada mais profunda da litosfera, estando em contato direto com o núcleo central.

Núcleo central

É a maior parte da Terra, e a mais profunda. Dela não se pode fazer senão hipóteses, pois as maiores perfurações até hoje feitas, não ultrapassaram 6 km.

Costuma ser dividido em duas regiões distintas: - magmasfera, constituída de magma, matéria em fusão, e barisfera, região mais central, suposta muito densa, predominando o ferro e o níquel.

Composição química dos envoltórios

A atmosfera é uma mistura de gases, principalmente nitrogênio, oxigênio, argônio, gás carbônico e vapor d'água. Há pequenas quantidades de

hélium, ôzônio, amônia e gases sulfurosos. Estas substâncias, variam em proporções, e o vapor d'água varia consideravelmente com as condições atmosféricas.

A Hidrosfera, a parte líquida da Terra, é água, contendo em dissolução, gás carbônico e ar. Contém em dissolução alguns sais, tais como cloreto de sódio, de potássio, de magnésio, etc.

A água marinha, difere notavelmente das águas dos rios e lagos, na sua composição química. Numerosas análises, mostram que a relação entre os sais dissolvidos na água do mar, é praticamente constante.

A composição média da água do mar é a seguinte: NaCl-77.3%; $MgCl_2$ -10.9; $MgSO_4$ -4.7%; $CaSO_4$ -3.6%; K_2SO_4 -2.5%; $MgBr_2$ -0.22%; $CaCO_3$ -0.34%. Além destes compostos, existem em mínimas quantidades, iodo, ferro, prata, alumínio, cobre, etc.

A salinidade média dos oceanos, é 35g por litro.

A litosfera é constituída essencialmente por silicatos, em geral aluminosos.

Os elementos predominantes na crosta terrestre, são os seguintes:

oxigênio-46.7%; silício-27.7%; alumínio-8.1%; ferro-5.1%; Cálcio-3.7%; sódio-2.8%; potássio-2.6%; magnésio-2.1%.

Quanto à magmasfera, tem uma composição aproximada à da litosfera, e a barisfera, é constituída, como já foi dito, essencialmente por ferro e níquel, tendo sido denominada por Suess, de nife, assim como a litosfera foi denominada sial. O sima, é uma camada hipotética, subjacente ao sial, a cerca de 50 km de profundidade, no domínio das massas continentais, mas que constituem os fundos oceânicos.

cos.

Fosseis. Fossilização

Fóssil - Resto ou vestígio de animal ou planta, que existiram em épocas anteriores à atual. Prestam-se aos estudos do passado, não só na paleontologia, como na paleobotânica, que são exatamente as ciências que estudam os fósseis animais e vegetais.

Podem ser grupados em 3 categorias: restos animais e praticamente não alterados (insetos conservados em âmbar e mamutes em gelo); restos orgânicos alterados (silificação, etc.); objetos indicando presença original de organismos (impresões, pegadas, etc.).

Fossilização

É o conjunto de processos, pelos quais os restos e vestígios de vida do passado, são conservados.

A fossilização, só se verifica em condições muito especiais, tais como soterramento imediato, proteção à oxidação, ausência de decomposição bacteriana, etc. Em geral, só as partes mais resistentes dos organismos, escapam à destruição.

Os processos de fossilização, são os seguintes:

- 1 - permineralização
- 2 - substituição
- 3 - distilação.

A permineralização, consiste no preenchimento dos espaços internos dos restos fossilizantes; a substituição, subentende a substituição do material orgânico, tanto das partes moles como das partes duras. Pode ser a silificação, calcificação, piritização, etc. A distila-

ção, é a modalidade de fossilização em que os constituintes voláteis do material orgânico, escapam durante a degradação deste, deixando uma película de carbono, que preserva a forma do organismo. É o caso das folhas, etc.

A maioria dos fósseis, são encontrados nas rochas sedimentares; e desde que a maioria das rochas sedimentares são de origem marinha, não surpreende que a maioria dos fósseis pertençam a organismos que viveram no mar.

Argilas, calcários e arenitos argilosos, frequentemente apresentam fósseis em estado de conservação muito bom, principalmente nas espécies escuras que contêm matéria orgânica.

Os fósseis, são contemporâneos com as rochas ou sedimentos nos quais são encontrados.

As rochas ígneas, não contêm fósseis, mas blocos fossilíferos de rochas estratificadas, entre os detritos lançados pelos vulcões, são encontrados.

Os fósseis, servem para determinar as idades e posições relativas dos sedimentos nos quais se encontram, e também para determinar as condições em que se formaram as camadas.

Coluna Geológica

As divisões do tempo geológico, em ordem decrescente de importância são: Era, período e época.

A Era, é a divisão primária do tempo geológico, compreendendo os períodos:

| <u>Era</u> | <u>Período</u> |
|--------------|--|
| Cenozóica | { Quaternário Terciário |
| Mesozóica | { Cretáceo Jurássico Triássico |
| Paleozóica | { Permiano Carbonífero Devoniano Siluriano Cambriano |
| Proterozóica | { Pré-Cambriano |
| Arqueozóica | |

A era Cenozóica, a mais moderna das eras geológicas, caracteriza-se pelo grande desenvolvimento dos mamíferos; comporta fases orogenéticas (formação de montanhas) e de vulcanismo, importantes. Nela houve o aparecimento do homem.

A era Mesozóica, apresentou um grande desenvolvimento de amonites, que se extinguiram no fim do Cretáceo. Os moluscos se desenvolveram mais nesta era, do que na precedente; é a idade dos répteis.

A era Paleozóica, é a era em que houve predominância dos peixes; é também uma era de glaciação (modificação de uma parte da superfície terrestre pelos efeitos do gelo).

As eras Proterozóica e Arqueozóica, caracterizam-se pela quasi total ausência de fósseis na primeira, e fósseis desconhecidos na segunda.

Intemperismo. Ação dos agentes Geológicos

Intemperismo, é o conjunto de processos que ocasionam a desintegração e a decomposição das rochas e minerais, graças as ações dos agentes geológicos. Pelo intemperismo, formam-se novos minerais estáveis nas condições da superfície - tais como caulim, higrargilita, etc., sendo que o termo final formará o solo.

A forma de intemperismo, depende muito do clima. Nos climas quentes e húmidos (tropical), predomina o intemperismo químico, em clima sêco e quente (árido) e frio (nevoso), predomina o intemperismo mecânico.

Ação da atmosfera

A ação da atmosfera como agente geológico, abrange não só os efeitos por ela causados diretamente, como também os fenômenos meteorológicos produzidos por seu intermédio, e secundados pela ação da gravidade. Esses fenômenos meteorológicos, são o calor solar, descargas elétricas, etc.

A atmosfera, tem uma ação, que pode ser mecânica, produzida pelos seus movimentos, ou então química, proveniente dos elementos nela contidos.

A ação mecânica da atmosfera em movimento, que é o vento, se manifesta de 4 modos:

- 1 - toma materiais finos de solo;
- 2 - os transporta a distâncias variáveis;
- 3 - os acumula formando as dunas;
- 4 - o vento carregado de areia ataca as rochas, produzindo novo material para transporte, e agindo sobre as rochas expostas à sua ação.

A remoção dos fragmentos soltos, é denominada deflação, e o desgastamento das rochas executado pelo vento, é a corrosão, ou erosão eólica.

Dunas

A mais importante consequência do transporte eólico, é a formação de dunas, ou montículos de areia nas praias e desertos.

Para haver a formação de dunas, várias condições são exigidas. Estas condições, são as seguintes: regiões planas suficientemente extensas, massas arenosas consideráveis, e pequenos obstáculos capazes de reter a areia.

São de dois tipos: dunas marítimas e dunas desérticas.

Dado ao fato das dunas poderem causar danos de diversas naturezas, tais como destruição de agricultura, obstrução de portos, etc., em muitos casos torna-se necessário fixar-se as dunas. Para tal existem processos de engenharia próprios.

O vento pode ser também um agente de formação de rochas, dando origem a formações sedimentares, tais como o "loess" (sedimento eólico de granulação fina e homogênea, não consolidado, constituído principalmente por quartzo e parte de calcita), encontrado em algumas partes da Ásia, Europa e Argentina.

Ação química do vento

A ação química da atmosfera, é causada pelas substâncias químicas nela dissolvidas; são a radiação do interior da terra, e erupções de vulcões, gases e fontes quentes.

As mudanças bruscas de temperatura, é um fator geológico importante, na desagregação e decomposição das rochas. O aquecimento durante largos períodos, e o resfriamento brusco, pelas chuvas, causa fendilhamentos, que são fatores de alterações profundas nas rochas, pois a água pe-

netrando nas mesmas, age quimicamente sôbre a sua composição.

As descargas elétricas, têm pouca importância como fator geológico.

Ação da Hidrosfera

As águas da Terra, incluem os oceanos, lagos e rios, o vapor da atmosfera, e a água subterrânea que é contida no interior da Terra. Da água que é precipitada sôbre a terra, uma parte é levada pelos rios para o mar, outra parte é evaporada, e outra penetra no solo, e é mantida entre as rochas; esta água é chamada subterrânea. Água meteórica, é a que cai sôbre a terra, sob a forma de chuva.

A evolução contínua da crosta terrestre, é causada na sua maior parte, pela ação mecânica e química das águas.

Os rios em seu curso superior, isto é, quando descem as montanhas, desempenham um papel destruidor, sendo que essa ação é tanto maior, quanto maior for a inclinação dos vales por onde eles corre. Grandes fragmentos são trazidos pelos rios, e sendo depositados; os fragmentos vão em seguida diminuindo de dimensões, e na planície encontra-se apenas cascalho miúdo, areia, e argila. No curso médio e inferior, o trabalho das águas é geralmente de transporte dos detritos trazidos do curso superior.

Por fim, as águas correntes, acumulam, em determinados pontos do seu curso, o material detritico, que se chamam aluviões, e são capazes de criar extensas formações de acumulações chamadas aluvionares.

O material residual originado por intemperismo ou erosão "in situ", é denominado eluvionar (eluvião), em contraste com o material de aluviões, que é o que foi dito antes.

Nas regiões polares, o gelo e a neve, substituem

as águas da chuva e de correntes, como agente de erosão.

A neve nos altos picos, é pulverulenta e de granulação fina, e facilmente transportável pelo vento. São agentes de transporte de rochas e sedimentos, sendo agentes construtivos e destrutivos.

Quanto aos oceanos, todo o trabalho se deve ao movimento das águas, que desintegram as rochas da costa, e removem o material detritico carregado pelos rios. De ambos os fenômenos combinados, resulta uma variação contínua de relevo da costa, e da região submersa, até as profundidades onde alcançam os movimentos da água.

Ação química da água

Além da ação mecânica intensa das águas, as mesmas agem intensamente sobre a crosta terrestre, através as substâncias químicas nelas dissolvidas.

As principais ações que se produzem, são as seguintes:

Hidratação:

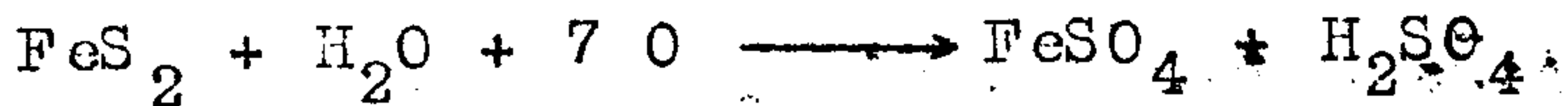
Muitos minerais quando expostos à ação da água, ou da humidade, possuem a propriedade de absorver a água, processo quimicamente chamado hidratação. A hematita (Fe_2O_3), hidrata-se facilmente, transformando-se em limonita $-Fe_2O_3 \cdot nH_2O$. A anhidrita, sulfato anidro de cálcio, transforma-se em gipsita $-CaSO_4 \cdot 2H_2O$; a olivina, transforma-se em serpentina, a smithsonita $-ZnCO_3$, em hidro-zincita ($2Zn CO_3 \cdot 3 Zn (OH)_2$).

Oxidação:

A oxidação das rochas pela atmosfera, é grandemente auxiliada pela humidade; sem humidade, a oxidação geralmente é muito pequena. No ca-

so dos silicatos, frequentemente se inicia após a ação de carbonatações. Quando o silicato contém o ferro sob a forma de óxido ferroso, (FeO); que é o caso mais comum, o mesmo se transforma em limonita. É o caso de silicatos tais como piroxênios, anfíbolios e olivina, podendo haver também uma oxidação à hematita, em vez de limonita; ao fenômeno de oxidação, acompanha a transformação da cor do mineral, que passa de verde escuro ou negro, à vermelho, amarelo ou pardo. Desoxidações locais podem se dar, (ou redução), pela matéria orgânica de vegetais no solo.

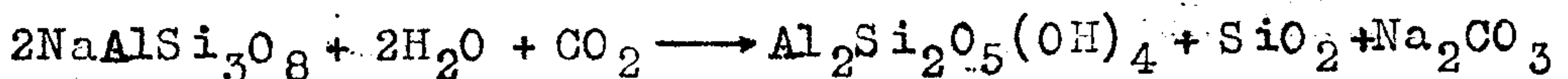
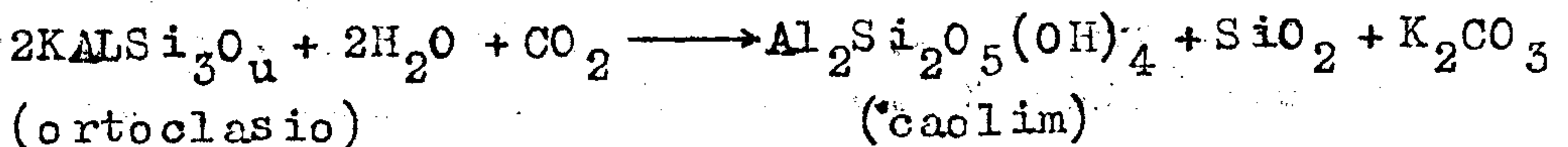
A oxidação de pirita (FeS₂), é também muito comum, segundo a reação:



Carbonatação:

Outro tipo de ação química é a carbonatação, pelo qual o CO₂ é adicionado a certas bases, particularmente aos óxidos de cálcio, magnésio, sódio e potássio, para formar carbonatos ou bicarbonatos desses metais. Toda água, contém CO₂ dissolvido, proveniente da atmosfera. A água carbonatada, é um agente muito mais forte que a água pura.

Assim, o ortoclásio, que é um feldspato, é transformado em caolim, que é um silicato hidratado de alumínio; a mesma coisa acontece com a albita, também um feldspato. O potássio ou o sódio, e o excesso de sílica, são removidos simultaneamente.



Esse fenômeno dá-se o nome de caolinização, sendo

de notar-se, que além da carbonatação, ha também uma ação de hidratação.

Quando a decomposição atinge um veio de pegmático, formado exclusivamente de quartzo e feldspato, o material resultante (caolim), é branco e puro, misturado com grãos de quartzo não atacado. Existindo porém na rocha, elementos ferruginosos, e silicato de alumínio hidratado, que fica como resíduo de decomposição, impregna-se de óxido de ferro mais ou menos hidratado, e coloro-se por conseguinte; esse fenômeno é chamado laterização.

A laterização, é um processo de intemperismo próprio de climas quentes e húmidos; os solos originados por esse processo, chamam-se lateríticos. Após desidratação, originam-se crôstas, cangas e concreções limoníticas-ricas em Fe_2O_3 , e bauxita-rica em Al_2O_3 .

Água subterrânea

A quantidade de água que penetra no solo, é determinada por vários fatores, que são os seguintes:

1 - Quantidade de precipitação

Dentro de certos limites, a quantidade de água que penetra no solo, é determinada pelas chuvas. Nas regiões desertas, a água em geral é profunda, e pouca água ocorre na superfície.

2 - Proporção de precipitação

Quanto mais rápida é a precipitação, menos água penetra no solo, em virtude da superfície tornar-se rapidamente saturada.

3 - Inclinação da superfície do solo

Evidentemente, nas superfícies inclinadas,

há uma menor penetração da água, pois a mesma pela ação da gravidade, correrá, ficando pouco tempo em contato com a superfície, não dando tempo para a penetração.

4 - Porosidade do solo e das rochas

Rochas estratificadas e decompostas, são usualmente mais favoráveis à penetração da água. A porosidade das rochas, varia de 1% aproximadamente, nos granitos, até mais de 40% nos arenitos pobremente cimentados.

5 - Quantidade e espécie de vegetação

Plantas e matéria orgânica derivada das plantas, impedem o escoamento das águas, e mais água penetra no solo nestas regiões; além disto, retardam a evaporação.

6 - Quantidade de humidade na atmosfera

Si a humidade é baixa, imediatamente após as chuvas, maior é a evaporação, antes de haver a penetração no solo. Isto se dá especialmente nas regiões áridas, onde a evaporação é muito rápida.

Ação dos seres vivos

Os animais e vegetais que vivem na superfície da terra, são também poderosos agentes geológicos. Vivos, animais e vegetais, escavam e desagregam as rochas mais resistentes. Pela morte, entram em decomposição, produzindo CO_2 , um dos principais agentes químicos, conforme já vimos.

São também formadores de rochas, bastando considerar-se o caso dos calcários, na sua maioria de origem animal, e também o carvão, de origem vegetal.

Os vegetais, protegem o solo, impedindo que a água corrente e o vento ajam diretamente sobre o mesmo; mas também são capazes de desagregar e des-

moronar as rochas, até mesmo as de mais dura consistência. Esta ação se processa pelas raízes, que penetrando pelas falhas, atuam como cunhas, podendo até transformar as rochas, em matéria incoerente.

A ação química e desagregadora das plantas, deve-se a formação do solo para cultivo, mistura de produtos minerais e orgânicos que resultam da putrefação dos restos vegetais.

Os organismos marinhos, são formadores dos recifes de corais que são constituídos por esqueletos de corais, frequentemente associados a crustas de algas calcáreas.

A ação do Homem, é praticamente nula, a não ser indiretamente, como por exemplo, pela destruição das florestas, ou na fixação das dunas.

A ação das bactérias - as bactérias cooperam largamente nas formações geológicas. São conhecidas bactérias capazes de decompor águas com detritos orgânicos sulfurosos, e produzir enxofre livre.

O salitre é produzido por ação de bactérias nítricas; essas mesmas bactérias decompõem os produtos amoniacais, e produzem ácido nítrico, composto de destruição de rochas.

-o-

ROCHAS

São agregados naturais, formados por um ou mais minerais, (inclusive vidro e matéria orgânica), constituindo parte essencial da crosta terrestre. Não é necessário que o material seja consolidado, como por exemplo, as areias e argilas.

As rochas podem ser divididas em duas grandes classes, que são:

- I - Magmáticas - ígneas ou eruptivas.
 II - Sedimentares.

As formas alteradas das rochas magmáticas e sedimentares, formam um terceiro grupo:

III - Metamórficas

De acordo com a sua origem, distinguem-se:

- | | |
|--------------------|--|
| I - Magmáticas | { 1. Intrusivas { Plutônicas Hipoabissais 2. Extrusivas ou Efusivas { Vulcânicas Piroclásticas |
| II - Sedimentares | { 1. Clásticas ou mecânicas 2. Químicas 3. Organógenas |
| III - Metamórficas | { 1. Orto-metamórficas, provenientes das magmáticas 2. Para-metamórficas, provenientes das sedimentares. |

Estudo das rochas de origem magmáticas

São rochas provenientes da consolidação do magma.

Seus componentes formam-se segundo as leis da cristalização de soluções mixtas.

As intrusivas, são aquelas que se formam sem atingir a superfície da terra; as principais formas são: batólitos, lacólitos, diques, sills e

necks, que se distinguem pela forma ou pela relação com as rochas encaixantes.

As rochas efusivas, são aquelas que são originadas por efusão, isto é, derramamento de lava em um vulcão.

As rochas plutônicas, são aquelas consolidadas em regiões profundas da terra, provavelmente em profundidades superiores a 1.600 m.

As rochas hipoabissais, são as que se solidificaram a uma profundidade menor.

Vulcânicas, são provenientes de magma extravasado à superfície da terra; e finalmente piroclásticas, são os tufo vulcânicos, constituída de fragmentos de tamanho médio e fino, enquanto as vulcânicas apresentam textura porfirica.

Batólito - designação de E. Suesse, hoje aplicada a grandes massas de rochas plutônicas, contínuas em profundidade, não possuindo assim um embasamento. Em geral o termo é aplicado às massas eruptivas cujos afloramentos se estendem por mais de 100 quilômetros quadrados.

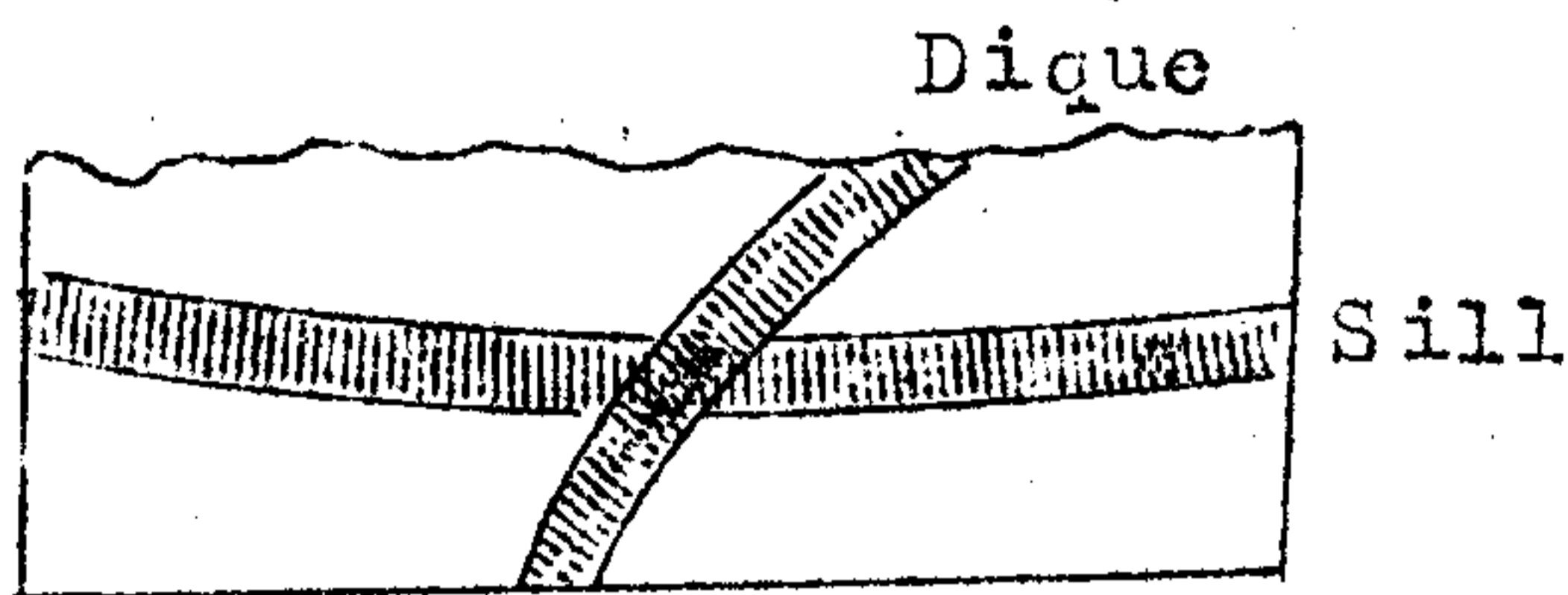


Lacólito - intrusão de massa eruptiva lenticiforme, de secção horizontal geralmente circular.



Dique e sill - massa rochosa de forma tabular discordante, preenchendo uma fenda aberta em outra rocha (dique); quando o dique é concordante às camadas, chama-se sill. Os diques são na

maioria de rochas magmáticas, raramente de sedimentares, como por exemplo, diques de arenito.



As rochas ígneas, como o nome indica, são aquelas que foram formadas pelo resfriamento e consequente solidificação, de um material fluido e quente, denominado magmas.

Na maioria das rochas ígneas, uma ordem mais ou menos definida de cristalização dos minerais que as constituem pode ser determinada. Em geral, os minerais mais básicos, ou seja, os que contêm menor quantidade de sílica, cristalizam primeiro, e os mais ácidos, depois. Entre os minerais mais comuns das rochas ígneas a ordem usual de cristalização é a seguinte: - óxidos de ferro, primeiro, então os minerais ferro-magnesianos como piroxênios, em seguida os feldspatos, e por fim o quartzo; também na fase de cristalização da magnetita (óxido de ferro), há a cristalização dos minerais acessórios das rochas, tais como zirconita, ilmenita, hematita e rútilo.

Um magma ígneo, pode ser considerado como uma solução, de composição complexa, na qual os vários elementos presentes, estão mais ou menos livres.

As condições nas quais os minerais das rochas se formam, são mais ou menos complexas. Eles cristalizam em geral, na ordem da sua solubilidade.

O conjunto de minerais encontrados nas rochas ígneas, depende principalmente da composição química do magma. Se o magma, tem uma alta percenta-

gem de sílica, a rocha conterá os minerais ricos em sílica, e quartzo; são usualmente de cor clara. Por outro lado, si o magma é pobre em sílica, a rocha resultante, será formada pelos minerais pobres em sílica, e notar-se-á a ausência de quartzo; são em geral de cor escura.

Além da grande variação da composição química, ha também uma grande variação no tamanho dos cristais que as constituem; este tamanho dos cristais que formam as rochas, é determinado principalmente pelo tempo de cristalização. Si uma rocha é formada a grandes profundidades, ela deve ter esfriado muito lentamente, e foi gasto um grande período para o seu resfriamento e cristalização. Ela teve oportunidade, em virtude da cristalização lenta, de desenvolver cristais de tamanho considerável. Uma rocha em tais condições, pode ser muitas vezes, reconhecida a olho nu, dada a sua textura.

Por outro lado, si o magma foi solidificado à superfície da terra, houve um resfriamento e cristalização muito rapidamente; nestas condições, os cristais não tiveram oportunidade de crescer.

Minerais formadores das rochas ígneas

1 - Quartzo. 2 - Feldspatos: ortoclásio, microclina e plagioclásio. 3 - Nefelina. 4 - Sodali-ta. 5 - Leucita. 6 - Micas: muscovita, biotita e flogopita. 7 - Piroxênios: Augita, aegirita, hiperstenio. 8 - Anfibólios: hornblenda, riebecki-ta e arfvedsonita. 9 - Olivina. $2(\text{Ng Fe}) \text{O} \cdot \text{SiO}_2$.

Minerais acessórios

1. Zirconita - 2. Esfeno - 3. Magnetita - 4. Ilmeni-ta - 5. Hematita - 6. Apatita - 7. Pirita - 8. Ruti-lo - 9. Corindon - 10. Granada.

Segregação magmática

Durante o processo de solidificação de um magma, certos minerais cristalizam primeiro. Nos casos em que certos constituintes formam uma percentagem muito grande da composição do magma, estes minerais podem gradualmente afundar no magma, e lentamente agrupar-se em grandes massas irregulares, conhecidas como segregações magmáticas. Corpos de magnetita, ilmenita, cromita e cassiterita, são frequentemente formados por este processo; é um modo importante da formação de minérios.

Esta diferenciação, acredita-se ser devido a gravidade.

Classificação das rochas magmáticas baseadas na composição química.

| | |
|---------------|-----------------------------|
| Rochas ácidas | - com mais de 65% de sílica |
| " neutras | - sílica entre 55-65% |
| " básicas | - menos de 55% de sílica. |

Principais rochas magmáticas

A identificação das rochas, só é possível, mediante o uso do microscópio polarizante, em lâminas delgadas; em muitos casos, ha necessidade de apelar para outros meios, tais como análise química completa, etc.

As rochas abaixo dadas, são as de origem plutônica, e as correspondentes de origem vulcânica, que se diferenciam apenas pela textura (tamanho absoluto e relativo dos grãos dos minerais).

Granito e riolito-granito, uma das rochas ígneas mais comuns, compoe-se de feldspatos, quartzo e mica; em alguns granitos a mica é branca (musco-

vita), e em outros é negra (biotita). O granito é de profundidade, e essencialmente livre de vidro.

Si um magma semelhante ao que formou o granito, extravasa á superfície da terra, a massa fundida irá esfriar, com conseqüente solidificação, antes que as moléculas se organizem formando cristais; a rocha resultante será parcial ou totalmente um vidro. A rocha formada é um riolito, e no caso de ser essencialmente um vidro, será a obsidiana.

Si um granito e um riolito, forem submetidos á análise química, se observará que possuem uma composição muito parecida.

Sienito e traquito - Si um magma menos silicoso, solidifica, teremos uma rocha com menos sílica que o granito; si houver tão pouca sílica, que não se forme quartzo, mas somente feldspato e minerais escuros, teremos então um sienito; a espécie correspondente, formada á superfície da terra, finamente cristalisada, ou vitrificada, é o traquito.

Diorito e andesito - O diorito é uma rocha cristalina, formada por feldspato, principalmente de sódio e cálcio - e um ou mais mineral escuro - biotita, piroxenio ou anfibólio; a rocha vulcânica correspondente, é o andesito.

Gabro e basalto - Contêm essencialmente os mesmos minerais que o diorito, mas é mais ferro-mangnesiano, e contém menos feldspato.

Peridotito - Rocha formada essencialmente por olivina e piroxenio; si composta quasi só de piroxenio, é chamado um piroxenito, e si de olivina, um dunito. A rocha vulcânica correspondente é muito rara (basalto).

Rochas sedimentares

As rochas sedimentares, são formadas pelos produtos de decomposição de rochas pré-existent, quando denominadas clásticas ou mecânicas.

Químicas, quando provenientes da precipitação de sais dissolvidos nas águas dos mares, rios e lagos; e finalmente organógena, quando de origem animal ou vegetal.

As rochas sedimentares, são de origem secundária, pois todas elas são formadas por compostos ou substâncias já existentes.

Todas elas, em geral, são caracterizadas por um arranjo paralelo dos seus constituintes, formando camadas, e se diferenciam umas das outras, pelas diferenças em espessura, tamanho dos grãos e cor.

A composição mineralógica, resulta das rochas que elas procedem e dos seus produtos de alteração, tais como silicatos, quartzo, caolim, clorita, etc.

As rochas sedimentares, podem ser brancas, ou fortemente coloridas. A cor geralmente é devida à matéria orgânica, ou vários óxidos de ferro.

Clásticas ou mecânicas

As rochas clásticas, são derivadas da decomposição de rochas pré-existent, que foram transportadas pelas águas, até encontrarem condições tais que foram depositadas, em camadas praticamente horizontais.

As principais rochas clásticas são as seguintes: arenito - formada por grãos de areia, cimentados usualmente um carbonato (calcita), material argiloso finamente dividido, ou um óxido de ferro, ou mesmo sílica. O principal constituinte dos arenitos, é o quartzo; quando o mesmo possui uma quantidade e-

levada de feldspato, é chamado arkose. Os grãos geralmente são arredondados, mas podem ser angulares.

Conglomeratos - São formados por grãos de um tamanho superior ao de areia, reunidos por um cimento. É o equivalente consolidado de cascalho. Quando os fragmentos são angulares, chama-se brecha.

Argilas - A argila resultante da decomposição dos silicatos, deposita-se, e dá origem aos chamados argilitos, que não apresentam estratificação; quando nota-se a estratificação, denomina-se xisto-argiloso.

Areias - Na sua maioria são quartzo, mas como as areias das praias brasileiras. As rochas sob a ação dos agentes geológicos, libertam o quartzo, que é arrastado pelas águas até os mares; pelo rolamento constante, os grãos tornam-se arredondados. Raramente as areias são puras, contendo também outros minerais da rocha matriz, que resistem as ações mecânicas; é o caso da monazita, granada, zirconita, etc., muito encontrada em areias.

Sedimentares de origem química

Quando uma solução salina evapora, os sais dissolvidos são precipitados em uma ordem definida, o menos solúvel primeiro, e o mais solúvel por último.

Gipsita, anidrita e sal gema, são as rochas mais importantes, originadas por esse processo.

A gipsita é o primeiro mineral a precipitar em grandes quantidades, sendo que em virtude do seu modo de formação, é frequentemente associada à outros depósitos salinos; a anidrita, segue-se à gipsita na sequência de precipitação.

A halita, segue na sequência da precipitação, à gipsita e anhidrita, formando os depósitos de salgema. Em alguns depósitos, ha também precipitação de silvita, carnalita e outros sais, o depósito tornando-se então uma fonte de potássio.

Travertino, é o carbonato de cálcio precipitado das fontes nas cavernas, formam estalactites e estalagmites.

Sedimentares organógenas

Muitos organismos vivos dos mares, secretam carbonato de cálcio, construindo conchas protetoras. Com a morte do animal, a concha calcárea deposita-se no fundo do mar, e quando a vida marinha é abundante, ha formação dos depósitos; são formados em águas rasas, locais onde existiram lagos, etc.

Quando parte do cálcio é substituído por magnésio, temos as dolomitas.

As diatomitas, são formadas pelas carapaças silicosas das algas diatomáceas. Coquins, é um calcário formado na costa da Flórida, parcialmente consolidado.

Deste grupo, fazem parte também o guano, salitre, carvões fósseis, etc.

Rochas metamórficas

Tanto podem ser originárias das rochas magmáticas, como das rochas sedimentares. Metamorfismo, é a transformação sofrida por uma rocha, pela ação de temperatura, pressão, gases e vapor d'agua, marcada por uma recristalização total ou parcial, nova textura ou estrutura, ou pelo seu conjunto.

Em geral, as rochas metamórficas são divididas em 2 grupos:

- 1 - aquelas formadas por metamorfismo regional;
- 2 - aquelas formadas por metamorfismo de contato.

Metamorfismo regional

O metamorfismo é processado por meio da alta temperatura e alta pressão, conjuntamente com a ação da água e outros agentes químicos. É o tipo de metamorfismo que não tem relação com o magma.

Geralmente há transformação em minerais mais estáveis, nas novas condições.

As principais rochas formadas por esse processo, são as seguintes:

Gneiss - derivada dos metamorfismo do granito

Xistos - são caracterizados pela presença de laminação, ou "xistosidade", ao longo do qual as rochas podem se quebrar facilmente. Existem os mica-xistos, clorita-xisto, talco-xisto, etc.

Quartzito - originado pelo metamorfismo sobre os arenitos.

Mármore - calcário metamorfoisado.

Serpentina - metamorfismo do peridotito.

Metamorfismo de contacto

Quando um magma penetra na crosta terrestre, ela causa em virtude do calor, e soluções que o acompanham, uma maior ou menor alteração nas rochas. Estas alterações desse tipo, são o que constitui o metamorfismo de contato; os minerais que são atingidos, o são diretamente ou estão muito próximos do local do metamorfismo.

Dois tipos podem ser reconhecidos:

- 1 - termal, devido ao calor agindo sobre os minerais;

2 - hidrotermal, onde as soluções, juntamente com o calor, agem sôbre os minerais.

O mais importante metamorfismo, tem lugar quando ha contato da rocha em fusão, com zona de calcáreo.

Quando um calcáreo puro, é submetido ao metamorfismo termal, ele recristalisa, e transforma-se em mármore, mas sem desenvolvimento de nenhuma nova espécie. Por outro lado, si o calcáreo fôr impuro, ha desenvolvimento de novos minerais; é comum, quartzo juntamente com os calcáreos impuros, e então, ha formação de wolastonita, que é o silicato de cálcio. A reação de dolimita com quartzo, pode produzir diópsídio, Si argila é presente, pode haver formação de corindon, espinélio, grossularia, etc. dada a presença de alumínio. Si ha material carbonaceo, o mesmo pode se transformar em grafita.

As maiores mudanças, são verificoadas pelo hidrotermal. Por êsse processo, as soluções introduzem novos elementos, que reagem com o calcáreo.

Jazidas minerais

Chama-se jazida mineral, a toda concentração local de uma ou mais substâncias úteis. Inclue assim, tanto os minerais propriamente ditos, como também, quaisquer substâncias naturais, mesmo substâncias de origem orgânica, como carvão, petróleo, etc.

A formação de depósitos minerais é complexa. Existem muitos tipos de depósitos, geralmente contendo muitos minerais e ganga mineral. São formados por diversos processos, e mais de um processo podem tomar parte na formação dos depósitos minerais.

Entre os agentes que entram na formação dos depósitos minerais, a água tem um papel dominan-

te; pode agir como vapor, água quente magmática, água meteórica, ou água dos oceanos, rios e lagos.

Outros agentes, são a temperatura, pressão, gases, vapores, sólidos em solução, atmosfera, organismo, magma, etc.

Diferentes processos, podem produzir diferentes tipos de depósitos do mesmo metal. Depósitos de minério de ferro, por exemplo podem ser formados por processo magmático, metasomatismo, substituição, sedimentar, etc.

A distinção entre eles, é de importância econômica; um depósito formado por processo sedimentar, espera-se que ele apresente as características das rochas sedimentares - continuidade lateral, uniformidade de composição, etc., enquanto um formado por processo hidrotermal, deve ser lateralmente restrito, e provavelmente de forma irregular.

Os vários processos que podem dar origem aos depósitos minerais, são os seguintes:

- 1 - concentração magmática
- 2 - sublimação
- 3 - metasomatismo
- 4 - hidrotermal
- 5 - oxidação e enriquecimento secundário
- 6 - sedimentação
- 7 - concentração residual e mecânica
- 8 - metamorfismo.

1) - Concentração magmática

Certos acessórios ou constituintes pouco comuns do magma, podem tornar-se concentrados em corpos de riqueza suficiente para constituir um valioso depósito mineral.

São caracterizados por sua relação com as rochas intrusivas, sendo que constituem produtos que cristalizam do magma.

Existem vários tipos de depósitos magnéticos; iremos estudar alguns.

Segregação magnética

A segregação magnética, conforme já foi dito, é uma diferenciação por gravidade, de certos minerais que entram na composição dum magma, dando origem a concentrações de importância.

O material mais denso, afunda, o mais leve fica na parte superior, e o intermediário no meio do magma.

Nestas segregações, os minerais metálicos que formam os depósitos, não são constituintes das rochas, mas acessórios.

Um caso importante, é a formação da cromita, por esse processo; a percentagem média de cromo na crosta terrestre, é cerca de 0.01%. Em um magma de peridotito, ele atinge a 0.2%; mas nas segregações, atinge 40-60% de Cr_2O_3 .

Depósitos de importância formados por esse processo, são os de cromo, níquel, titânio, platina, ferro etc. Diamante e outras gemas podem ser formadas por esse processo.

Pegmatitos

Os pegmatitos, são também diferenciações magnéticas, mas eles representam em geral, os produtos mais leves do magma. Geralmente são compostos por grandes cristais, predominando feldspato, quartzo e mica. São encontrados comumente como dique. Acredita-se que o boro, fluor e cloro, provavelmente como gases, auxiliam o crescimento dos

cristais.

Acredita-se que a formação dos diques de pegmatitos, é relacionada diretamente com a cristalização das maiores massas dos associados às rochas plutônicas. A presença de voláteis na massa líquida do magma (água, boro, fluor, cloro e fósforo), diminui a viscosidade e assim facilita a cristalização. Tal produto final, é também enriquecido com os elementos menos comuns que se achavam disseminados na magma. Quando esse líquido residual é injetado nas rochas quasi cristalizadas, sua fluides natural permite uma formação de grandes cristais, e a concentração de minerais pouco usuais.

2) - Sublimação

É um processo sem grande importância. Refere-se aos compostos que foram volatilizados, e subsequentemente redepositados, à baixa temperatura e baixa pressão, sem passar pelo estado líquido.

Em torno dos vulcões, ha muitos depósitos desse tipo, mas nunca apresentam valor econômico. Supõe-se ser esta a origem do enxofre.

3) - Metasomatismo

É um fato bem conhecido, que em determinadas condições, as soluções podem atacar os minerais das rochas, por penetração, dissolvendo-os em parte ou totalmente, e depositando novo material no lugar do material removido. Esta substituição chama-se metasomatismo, e é um importante fator na formação de depósitos minerais.

Os processos metasomáticos, são complexos, e na sua forma mais simples, podemos citar o caso de rochas fossilíferas, onde a matéria orgânica foi substituída por minerais comuns, tais como carbonato de cálcio, etc.

4) - Hidrotermal

As jazidas hidrotermais, são aquelas formadas por soluções quentes, contendo substâncias dissolvidas, do magma.

É muito comum, pelos processos hidrotermais, a formação de veios, ou vieiros; esses veios, são massas minerais tabuliformes, preenchendo fendas de uma rocha encaixante.

Para haver a formação de depósitos hidrotermais, são necessárias as seguintes condições:

- 1 - soluções mineralizadoras, capazes de dissolver e transportar a matéria mineral;
- 2 - fendas nas rochas, através as quais as soluções possam penetrar;
- 3 - reações químicas que resultam em depósitos;
- 4 - suficiente concentração, para o depósito ter valor industrial.

Um veio típico, consiste de um depósito mineral, que encheu as cavidades entre as paredes das rochas, e mostra-se bem definido na massa rochosa; frequentemente, aparecem dum modo irregular, e não é bem definido na massa rochosa.

É um fato aceito universalmente, que a matéria dos veios é depositada de soluções aquosas. Alguns depósitos são formados pelo processo de secreção lateral, no qual a água subterrânea circulando através as rochas, dissolveu material disseminado nas rochas, que mais tarde se depositou como um veio.

Entretanto, os veios de importância econômica, acredita-se terem sido formados por soluções magmáticas quentes ascendentes.

Lindgren, dividiu os depósitos hidrotermais nos seguintes grupos:

1 - Depósitos hipotermiais

Formados a grandes profundidades, a grandes pressões e elevadas temperaturas. (300-500°C).

A evidência desses fatos, é mostrada pela presença de minerais de alta-temperatura, tais como anfibólios, piroxenios, granadas, apatita, ilmenita, topazio, cassiterita, etc.

Os minerais de maior importância, formados por esse processo, são: cassiterita, volframita, scheelita, ouro nativo, galena, calcopirita.

2 - Depósitos mesotermiais

Formados a profundidades médias; a elevadas pressões e temperaturas (200-300°C), si bem que inferiores ao caso anterior.

É difícil prever a exata profundidade, mas Lindgren, supoe que estejam dentro da faixa de 4.000-12.000 pés.

Os principais minerais são pirita, calcopirita, galena, esfalerita, ouro.

Depósitos epitermais

Formados a pequena profundidade, sob moderatas pressões e temperaturas (50-200°C). Os principais minerais são ouro, prata e mercúrio.

5) - Oxidação e enriquecimento secundário

Em muitos veios minerais, certos minerais pertencem ao veio original, é obvio, enquanto outros foram formados posteriormente. Estas duas classes de minerais, são respectivamente conhecidas como primária e secundária.

Os veios primários, são aqueles que foram originalmente depositados pelas águas ascendentes nas aberturas das rochas. Os minerais secundários, formaram-se dos primários por alguma

reação química. Estas mudanças, se fazem muitas vezes pela ação oxidantes das águas, vindo da superfície da terra, e descendo através os veios. Sob estas condições, vários novos minerais são formados; blenda transforma-se em smithsonita; sulfetos de cobre em malaquita, azurita, cobre nativo.

Como as águas descendentes, perdem o seu oxigênio, numa distância relativamente pequena, próximo da crosta terrestre, os minerais secundários são encontrados somente na parte superior do veio.

Juntamente com a formação de minerais secundários, ha frequentemente uma migração dos metais de valor, no veio. Como a superfície da terra, é constantemente abaixada pela erosão, o conteúdo metálico da parte superior de muitos veios, pode ser notavelmente enriquecido, por uma concentração. Consequentemente, a zona de minerais secundários, é frequentemente uma zona de enriquecimento secundário.

Este é um fato importante, porque as partes superiores de um veio, podem ser as partes mais ricas do mesmo, nas partes mais profundas, por conseguinte, pode haver um decréscimo em materiais de valor econômico.

A idéia que os veios são mais ricos à medida que se aprofunda, não é verdadeira, na maioria das vezes.

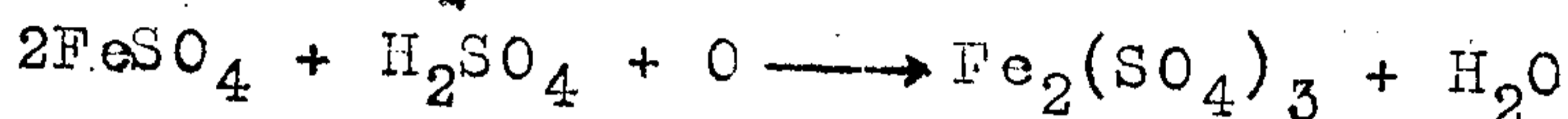
A parte das jazidas minerais, oxidadas, é chamada zona de oxidação.

Existem duas principais ações nas zonas de oxidação:

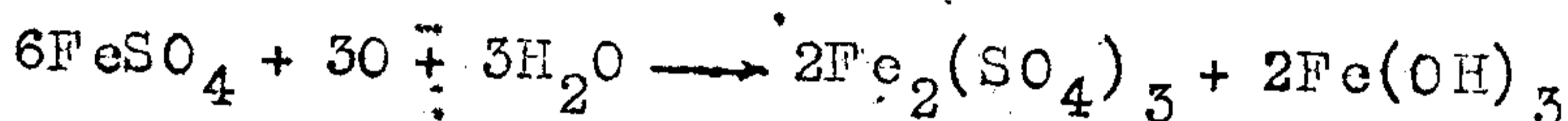
- 1) - a oxidação, solubilização e remoção dos minerais úteis;

- 2) - a transformação "in situ" dos minerais metálicos, em compostos oxidados.

A maioria dos depósitos minerais, contém pirita. Este mineral, oxidado, dá sulfato de ferro e ácido sulfúrico:



O sulfato ferroso, oxida-se a sulfato férrico e hidróxido férrico:



O sulfato férrico, hidrolisa em hidróxido férrico e ácido sulfúrico:



As reações acima dão idéia da importância da pirita, nas ações de oxidação.

O hidróxido férrico, transforma-se na hematita e goetita, que caracterizam tôdas as zonas de oxidação.

"Gossan" ou "chapéo de ferro", é a expressão dada à zona de enriquecimento de limonita e hematita.

6) - Sedimentação

Os processos de sedimentação, resultam não só nas rochas sedimentares comuns, mas também na formação de valiosos depósitos minerais, tais como depósitos de ferro, manganês, carbonatos, cobre, fosfatos, argilas, diatomitos, enxofre, magnetita, etc.

Estas substâncias, podem ser olhadas como méras rochas sedimentares, mas que apresentam va-

lor econômico; a sua formação, é por conseguinte, idêntica à das rochas sedimentares que já estudamos.

A formação dos depósitos sedimentares, envolvem primeiro, uma adequada forma de material; segundo, a concentração por solução ou outro processo; terceiro, o transporte, e finalmente o depósito. Subsequentemente, ocorre a compactação, as alterações químicas, etc.

Os materiais que entram nessa formação, são derivados principalmente daqueles que sofreram ações de intemperismo.

Evaporação

A formação de depósitos de valor industrial por evaporação, é semelhante ao processo de formação de rochas sedimentares por precipitação química.

Na evaporação das águas salinas, quando ha saturação da solução, o sal é precipitado. Os menos solúveis precipitam primeiro, e os mais solúveis depois.

A precipitação da gipsita e da anhidrita, das águas do mar, só se dá quando o volume se reduziu $1/5$, e o cloreto de sódio, a redução de volume deve ser de $1/10$, para haver precipitação.

A maioria dos depósitos em todo o mundo, são de gipsita e halita; a falta dos outros sais, significa que a água nao foi totalmente evaporada. Consequentemente, a evaporação foi interrompida, por novas águas do mar ou da chuva.

Após o depósito da gipsita, anhidrita e halita, os clorretos e sulfatos de magnésio e potássio, são os outros mais que depositam. Os minerais de potássio, só depositam quando a evaporação é quasi total, motivo por que raramente êles são depositados.

Os depósitos de Stassfurt, representam o único

depósito completo de sais oceanicos. Ha 30 minerais conhecidos nêle, mas muitos foram formados posteriormente por reações secundárias. Dêsse depósito de Strassfurt, os principais minerais de potássio, são os seguintes: Carnalita - $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ - kainita - $MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$ - langbeinita - $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ - polihalita - $K_2SO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2H_2O$ - **silvita** - KCl . Dêsses, a silvita é o mais rico, contendo 63.2% de K_2O .

Quanto aos lagos, podem formar depósitos mais ricos do que o mar, dada as condições próprias; o Lago Salgado de Utah, (Salt Lake City), chegou a apresentar uma salinidade 7 vezes maior que a do mar, e seus sais são do tipo oceanico. Outros lagos, são caracterizados por elevada percentagem em carbonato de sódio, sulfato de sódio ou boratos, dependendo da localização, em relação aos sedimentos, rochas magmáticas, etc.

Dêsse modo, em geral os lagos possuem uma composição química parecida com a do mar, mas em maiores proporções.

As águas subterrâneas, possuem uma composição parecida com a do mar e lagos, mas em concentração muito menores.

Carbonato de cálcio é invariavelmente presente, e elementos comuns são: magnésio, potássio, sódio, ferro, manganês, etc.

Os depósitos de importância comercial, são de nitratos, com iodo, algum boro, carbonato de cálcio, etc.

Os depósitos do Chile, de nitrato, são originados das águas subterrâneas.

A origem dêsses nitratos é controversa. Accita-se que os nitratos foram transportados pelas águas subterrâneas, e depositadas pela

evaporação. A fonte de nitrato, é que tem sido caso para divergências; as hipóteses mais aceitas, são as seguintes:

- 1) - excremento animal, posteriormente lixiviado;
- 2) - fixação do nitrogênio por descargas elétricas sobre os Andes;
- 3) - decomposição e fixação bacteriana.

Esses depósitos de nitrato, são chamados "caliche".

7) - Concentração residual e mecânica

Concentração residual resulta da acumulação de minerais de valor, quando os constituintes indesejáveis da rocha são removidos durante o processo de intemperismo. Os resíduos vão sendo acumulados, até a sua pureza e volume tornarem-no de valor comercial.

A primeira condição para tal, é evidentemente, a rocha conter o material de valor; em segundo lugar, é preciso que as condições climáticas sejam favoráveis à decomposição química. É preciso também que seja material resistente à erosão.

Uma formação de calcáreo contendo óxido de ferro, poderá ser lentamente dissolvida, deixando o óxido de ferro insolúvel como resíduo. Como camada após camada do calcáreo, vão desaparecendo, o óxido de ferro de cada camada persiste, e acumula-se como resíduo insolúvel, até eventualmente, formar-se um depósito de valor comercial.

Concentrações mecânicas, são provenientes da separação natural pela gravidade, por meio da água em movimento, pelo qual os minerais mais pesados são concentrados em depósitos denominados "placers".

Envolve dois estágios: primeiro a liberação

dos minerais estáveis da matriz, por intemperismo; segundo a sua concentração. Ocorre com os minerais de elevado peso específico, resistência química aos agentes de intemperismo, e durabilidade (maleável; dureza, etc.) Minerais que possuem essa propriedade, e ocorrem muitas vezes em "placers", são: ouro, platina, cassiterita, magnetita, cromita, ilmenita, rutilo, cobre nativo, monazita, gemas, etc.

8) - Metamorfismo

Os processos de metamorfismo, já estudados anteriormente, dão origem a um grande número de jazidas minerais.

Por esse processo, um grande número de minerais não-metálicos são formados, tais como: asbestos, grafito, talco, andalusita, cianita, granada, etc.

Conceito de minério

Minério, é o mineral ou associação de minerais, que podem, sob condições favoráveis, ser trabalhados comercialmente para a extração de um ou mais metais. Na falta de uma designação adequada, o termo é extensivo também aos minerais não metálicos.

Em geral, ocorrem como combinações, e muito raramente como elemento.

Um único metal, pode ser extraído de diferentes minerais. Assim, ha muitos minérios de cobre, como calcopirita, cuprita, calcosita, bornita, malaquita, etc.

Também, mais do um metal, pode ser obtido de um único minério; estanita, por exemplo, é fonte de estanho e cobre.

Denomina-se ganga, a parte não aproveitável

como um sub-produto; por exemplo, fluorita, pode ser aproveitada para fluxo; quartzo para abrasivo ou concreto; calcáreo, para fertilizante ou fluxo.

O termo minério, envolve não só considerações geológicas, como econômicas.

Assim por exemplo, uma jazida relativamente pobre em pirita, contendo ouro, pode ser um minério, desde que o ouro obtido, cubra as despesas de extração, e apresente juntamente com a extração da pirita, lucro.

A exploração de uma jazida, depende de vários fatores, tais como, localização, transporte, energia, mercado e preço. Uma jazida de ferro, por exemplo mesmo sendo riquíssima no metal, pode ser abandonada, si as condições forem desfavoráveis.

O teor de um minério, quanto mais elevado melhor; o teor mínimo, é fixado pelas considerações econômicas, e varia de acordo com a natureza do depósito, localização, preço do metal, e custo de extração. Materiais idênticos, podem ser um bom minério numa localidade, e sem valor em outro lugar.

Os minérios de ferro brasileiros, atingem até 70% de ferro metálico; em alguns países, minério de cobre com 0.8% de cobre metálico, são exploráveis; minérios de ouro com 1% de metal, podem ser explorados.

A respeito do preço, devemos assinalar, que em geral, o preço dos não-metálicos é comparativamente mais baixo que os metálicos, exceto para umas poucas espécies, como as gemas.

Os progressos tecnológicos, também influem no valor dos minérios; é o caso do berílio, até pouco tempo uma simples curiosidade mineralógica, hoje de grande importância em determinados tipos de ligas.

Dados sobre alguns minérios

| Metal | Teor | | Forma |
|------------|--------|-------|----------------------------------|
| | Mínimo | Médio | |
| Cobre | 0.7 | 1-5 | Cu % |
| Chumbo | 3 | 5-10 | Pb % |
| Zinco | 3 | 10-30 | Zn % |
| Níquel | 1.5 | 1.5-3 | Ni % |
| Alumínio | 30 | 55-65 | Al ₂ O ₃ % |
| Berílio | 8 | 10-12 | BeO % |
| Crômo | 32 | 35-50 | Cr ₂ O ₃ % |
| Manganês | 35 | 45-55 | Mn % |
| Molibdenio | 0.4 | 1-3 | MoS ₂ % |
| Vanádio | 2 | 3-8 | V ₂ O ₅ % |

A relação acima, é apenas de uns poucos minérios de importância.

Convém notar, que apenas 1% de toda a superfície da Terra, contém jazimentos de importância econômica; desse modo, nota-se em todos os países, deficiências de determinados minérios.

Todo o país, procura tornar-se auto-suficiente, e a importação de minérios, é consequência das seguintes causas:

- 1 - uma ligeira deficiência para as suas necessidades industriais;
- 2 - má qualidade comercial;
- 3 - custo de extração nacional maior que o produto importado;
- 4 - falta total do material.

I - Metais preciosos: ouro, prata, platina e platinoides.

Ouro:

Minérios: consiste exclusivamente de ouro nativo, e pequenas quantidades de teluretos (AuTe_2) e elettrum (contendo prata). Quasi todo o ouro contém prata, mas quando o teor de prata é elevado, chama-se elettrum.

A "ganga" comum do ouro é o quartzo, mas carbonatos, turmalina, fluorita, são também as vezes presentes.

O ouro é tão comumente associado a prata, que são quasi sempre estudados juntos.

O ouro é também encontrado em certos sulfetos, tais como calcopirita, arsenopirita e estibnita.

A maior parte dos depósitos de ouro, são de origem magmática; também é encontrado em "placers".

Os únicos minerais em que o ouro está combinado, são os teluretos; fora disto, é sempre ouro livre.

É usado para moedas, e em joalheria, odontologia, etc.

No Brasil, é encontrado em quasi todos os Estados, em depósitos filoneanos ou em "placers". As minas de Nova Lima (St. John d'El Rei Mining Co.), tem uma produção diária de 12 quilos; os depósitos dessas minas, são filões de quartz mineralizados, com pirita, arsenopirita, etc.

No Rio Grande do Sul, é encontrado nos minérios de cobre do Camaquã e Seival.

Prata:

Muita prata é extraída como sub-produto de ouro, chumbo, cobre e zinco; muitas jazidas dos minérios acima, só podem ser trabalhadas econômica-

mente, em virtude da prata presente.

Os principais minérios, são: prata nativa, argentita Ag_2S - cerargirita - AgCl ; polibasita - $\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$, etc. Ocorre também em soluções sólidas com o ouro.

A maioria dos depósitos, são de origem hidrotermal.

70% da prata produzida no mundo, é usada para fins monetários; outra parte é usada em solda, indústria elétrica, prateamento de objetos, e o consumo na indústria fotográfica tem aumentado consideravelmente.

No Brasil, não foram ainda encontradas jazidas propriamente de prata, mas é um valioso subproduto da mineração de ouro, chumbo e zinco. Muitas galenas brasileiras são argentíferas, podendo dar até 4g/tonelada de prata.

As minas de ouro de Morro Velho e Passagem em Minas Gerais, contém prata. O minério de zinco de Januária, M. Gerais, também contém prata.

Os maiores produtores de prata no mundo são: México (33% da produção mundial), Estados Unidos (16%) e Canadá (10%).

Os produtores de ouro, são: África do Sul (35%), Estados Unidos (15%) e Canadá (13%).

Platina e platinóides

A platina, ocorre nativa, ou com outros metais, tais como osmio, irídio, paládio, ródio e rutenio, formando os chamados platinóides.

A maioria da platina, é obtida como subproduto na refinação de outros metais, principalmente níquel.

A platina, ocorre associada com rochas bási-

cas, onde foi concentrada por processo magmático; ocorre também em "placers". A maioria da platina do mundo, é associada ao níquel ou cromita.

Os principais usos, são em joalheria, eletricidade, e odontologia; usa-se também em ligas com irídio, ródio, etc.

No Brasil, em pequena quantidade em placers, em M. Gerais. No mundo: Rússia, Canadá e África do Sul.

II - Metais não-ferrosos

A classe dos metais não-ferrosos, inclui o cobre, chumbo, zinco, estanho e alumínio. Em seguida ao ferro, são os principais metais para indústria, e são indispensáveis na civilização moderna. São usados intensamente, e de grande comércio internacional.

Cobre

Os minérios de cobre, ocorrem em muitas formas. São divididos em 4 grandes grupos: nativo, sulfetos, oxidados e complexos. Cada um requer um tratamento metalúrgico diferente, e diferentes teores em cobre para formar depósitos comerciais. Existem cerca de 165 minerais de cobre conhecidos, mas os de importância econômica são os seguintes:

| <u>Mineral</u> | <u>Composição</u> | <u>Cu %</u> |
|------------------|-------------------|-------------|
| <u>Nativo:</u> | | |
| Cobre nativo | Cu | 100.0 |
| <u>Sulfetos:</u> | | |
| Calcopirita | $CuFeS_2$ | 34.5 |
| Bornita | Cu_5FeS_4 | 63.3 |
| Calcosita | Cu_2S | 79.8 |

| <u>Mineral:</u> | <u>Composição:</u> | <u>Cu%</u> |
|------------------|---|------------|
| Covelita | CuS | 66.4 |
| Enargita | Cu ₃ AsS ₄ | 48.3 |
| Tetraedrita | Cu ₈ Sb ₂ S ₇ | 52.1 |
| Tenantita | Cu ₈ As ₂ S ₇ | 57.0 |
| <u>Oxidados:</u> | | |
| Cuprita | Cu ₂ O | 88.8 |
| Tenorita | CuO | 79.8 |
| Malaquita | CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂ | 57.3 |
| Azurita | 2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂ | 55.1 |
| Crisocola | CuSiO ₃ ·2H ₂ O | 36.0 |
| Antlerita | Cu ₃ SO ₄ (OH) ₄ | 54.0 |
| Atacamita | CuCl ₂ ·3Cu(OH) ₂ | 59.4 |

As principais gangas dos minerais de cobre, são a rocha matriz, quartzo, dolomita, siderita, rodocrosita, baritina e zeolito. A maioria dos minérios de cobre são livres de outras associações, exceto para ouro, prata e molibdenio.

Origem

A maioria dos depósitos de cobre, foram formados por soluções hidrotermais; ha casos de metasomatismo para uns poucos. Muitos depósitos foram completamente oxidados, e ha muitos deles em que o valor econômico, é decorrente do enriquecimento secundário.

Teôr

O tipo de minério, e o seu teor, importam em variações no seu tratamento industrial. Os minérios mais pobres, são os de cobre nativo, cujo tratamento é simples, e que podem atingir

teões até de 0.6% de Cu. Os sulfetos são da ordem de 1% o mínimo, e os minérios ricos são de 5-30%. A maioria dos minérios oxidados, varia dentro da faixa, 2,5-10%, desde que o seu tratamento é mais complexo.

Minérios de 4%, são geralmente levados diretamente ao processo metalúrgico, para evitar perdas pelos métodos de beneficiamento; aqueles que contêm 1-4%, são previamente concentrados.

Usos

A maior parte do cobre produzido, é consumido em material elétrico, mas considerável parte é usada como ligas, principalmente latão e bronze. O latão é uma liga de cobre e zinco (55% de Zn), e os bronzes são ligas contendo 88% de Cu, 10% de Sn e 2% de Zn.

Ha também ligas com níquel, alumínio, e aço; e em menor escala, com arsênico, berílio, cádmio, crômio, cobalto, etc.

Sob a forma de compostos químicos - sulfato, cloreto, carbonato - emprega-se como germicida e fungicidas. O sulfato é usado ainda em celas galvânicas.

Produtores

Os países com as maiores jazidas em produção, são: Estados Unidos, Chile, Ródésia e Canadá.

No Brasil: 6 são os distritos cupríferos do Brasil - Rio Grande do Sul (municípios de Lavras, Caçapava e São Sepé); Oeste do Paraná; norte do Ceará; Picui, na Paraíba; Sul do Maranhão; Carai-
ba, est. da Bahia; Itapeva, Est. de S. Paulo.

As que possuem possibilidades econômicas, são as do R.G. do Sul, Bahia e S. Paulo. As do R.G. do Sul, atingem a 1 milhão de toneladas, com uma média de

2.4 a 4.8% de Cu; são constituídas por vieiros de calcosita e malaquita. Cada tonelada, contém em média 70g de Ag. e 0.3 g de ouro.

As da Bahia, o mineral primário é a calcopirita disseminada, encontrando-se como minerais secundários, a malaquita, cuprita, calcosita, bornita, etc. A reserva total é de 40 milhões de toneladas, com uma média de 0.9 a 1.2% de Cu.

Chumbo e zinco

Estes dois metais, ocorrem sempre associados, de modo que o seu estudo é feito sempre junto; muito raramente, ocorrem separados. É comum a associação com cobre, e outros sulfetos.

A galena, raramente não contém prata; ambos os metais podem conter ouro. Cádmiio é um associado comum do zinco, e bismuto e antimônio do chumbo.

Os seus principais minérios são os seguintes:
Chumbo - galena - PbS ; cerussita - $PbCO_3$; anglesita - $PbSO_4$. - Zinco: blenda - ZnS ; smithsonita - $ZnCO_3$; calamina - $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$; zincita - ZnO ; wilemita - Zn_2SiO_4 .

Teôres

O teôr de chumbo, depende dos associados; muitos contendo 2 a 3 de Pb, contendo prata, são explorados. Comumente a média está entre 6-8% de metal. Os de zinco, estão entre 2-3%.

Origem

A maioria é de formação hidrotermal, preenchendo cavidades.

Usos

O chumbo e o zinco seguem o cobre como metais não-ferrosos de importância industrial.

O maior consumo de chumbo é em zarcão e litargiro, canos, baterias, chumbo tetractila, solda, etc. O zinco é consumido principalmente em galvanização, bronze, etc.

Os maiores produtores de chumbo são: Estados Unidos, Austrália e Canadá; de zinco: Estados Unidos, Canadá e Rússia.

No Brasil:

Chumbo: - Ocorre em diversas regiões do país, sob a forma de galena, associada a pirita, calcopirita, blenda e mispiquel. Algumas galenas brasileiras são argentíferas, chegando a conter 4g por tonelada.

As únicas jazidas que têm despertado interesse econômico, são as da divisa S. Paulo-Paraná (Ribeira de Iguape).

Zinco: - Ocorre no Brasil, no Morro do Bule, em Ouro Preto em Januária, também M. Gerais, e associado ao chumbo da Ribeira de Iguape.

Nessas ocorrências, os principais minerais são a blenda, calamina e wilemita.

A do Morro do Bule, não apresenta uma grandeza suficiente para ser explorada industrialmente, de acordo com estudos feitos nos últimos anos.

Estanho

Praticamente todo o estanho é obtido da cassiterita, e uma pequena parte na Bolívia, é obtida da estanita, sulfeto de estanho, ferro e cobre. A ganga mineral, é em geral granito, quartzo e mica. Um associado comum é tungstênio; molibdenio ou prata podem estar presentes, e ouro geralmente é ausente.

Os principais depósitos são placers, em veios de quartzo e em pegmatitos, associada à volgranita, apatita, topazio e fluorita.

A cassiterita pura, contém 78,6% de Sn metálico, mas raramente atinge tal teor, em virtude das impurezas.

Usos:

O principal consumo é em metal (Flandres) para alimentos enlatados; bronze e latão; solda; ligas diversas; produtos químicos, etc.

Produtores:

As maiores jazidas do mundo, são os Estados Malaios, Bolívia e Índias Holandesas. Entretanto, os maiores consumidores são os E. Unidos, Grã-Bretanha, Rússia.

Nô Brasil:

O estanho ocorre no Brasil, principalmente nas seguintes regiões: R. G. do Sul (Encruzilhada, Caçapava e Piratini); R. G. do Norte (Parelhas, Currais Novos, Acari, etc.); S. João del Rei, em Minas Gerais; Amapá e S. Paulo. Em tôdas essas ocorrências o mineral é a cassiterita.

Alumínio

Apezar do alumínio ser um importante constituinte de um grandenúmero de rochas comuns, tais como argilas, silicatos, etc. é obtido comercialmente de um único mineral, que é a bauxita.

As bauxitas são rochas aluminosas, não constituindo uma espécie mineral definida; são óxidos de alumínio, coloidais, com quantidade variável de água, acompanhados sempre de óxidos e hidróxidos de ferro, óxidos de alumínio, sílica, argilas, óxidos de manganês e titânio, etc.

O alumínio, não pode ser extraído de argila e silicatos, em virtude das dificuldades técnicas, que tomariam os processos muito caros.

Dada a sua afinidade pelo oxigênio, não é nunca encontrado em estado livre.

A bauxita encontra-se em formações sedimentares, como produtos que são de decomposição de certos silicatos de alumínio, tais como caolin, feldspatos, etc.

Teôr

Os teôres das bauxitas, varia com a finalidade que se destina:

| <u>Finalidade</u> | <u>Alumina</u> | <u>SiO₂</u> | <u>Fe₂O₃</u> | <u>TiO₂</u> |
|-------------------|----------------|------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Alumínio | 52 | 4.5 | 6.5 | - |
| P. químicos | 52 | - | 3.0 | - |
| Abrasivos | 40 - 60 | 3.5 | 3.5 | 2.5-4 |
| Refratários | 50 | 3.6 | 3.5 | 2.5-4 |

65 à 80% de alumínio produzido, é soba forma metálica, para ligas leves e de grande resistência, usadas principalmente em aviões, trens, etc.; 7% é usado em fabricação de produtos químicos, e cerca de 10% em refratário, abrasivos, e cimentos aluminosos.

Produção

A produção de alumínio, é maior em países que não tem o minério; assim o Canadá e Alemanha, são grandes produtores do metal, e no entanto não possuem jazidas.

Os maiores produtores são E. Unidos, Canadá e Alemanha; entretanto, as principais fontes de bauxita, estão nas Guianas Inglesas e Holandesa, Estados Unidos e Sul da Europa, margeando o Mediterrâneo; (França, Itália, Ioguslavia, Hungria, etc).

Brasil

Existem importantes depósitos de bauxita. O minério dessas jazidas é constituído de um gel de

hidróxidos de alumínio, (bauxita, diasporo e hidrargilita), de composição variável, contendo como impurezas, hidróxido de ferro e sílica, tendo a denominação geral de bauxita.

As maiores jazidas estão no Estado de Minas Gerais, sendo as principais as de Poços de Caldas, originadas pela laterização de sienitos.

Podem-se distinguir 2 tipos: um com 60-62% de alumina, tipo compacto e cristalino, e outro com 54-60% de alumina, terroso e friável.

Em Ouro Preto, estão também localizadas várias jazidas, com 58% de alumina.

Na fronteira Maranhão-Pará, existem grandes depósitos, mas completamente diferentes dos restantes depósitos brasileiros. São bauxitas fosforosas, contendo 20-30% de P_2O_5 e 30-45% de alumina. O valor desse material como minério de alumínio é problemático, havendo possibilidades de ser usado como adubo.

São derivados de rochas diabásicas, com deposição de anidrido fosfórico.

Outros estados como Bahia e Espírito Santo, possuem também jazidas de bauxita.

III - Ferro e metais de ferro-ligas-minérios de ferro, manganês, níquel, ouro, molibdenio, tungstênio, vanádio e cobalto.

Ferro

Os principais minérios de ferro, são a magnetita, hematita, limonita e siderita. Destes, o mais rico é a magnetita, entretanto, é a hematita o mais usado na metalurgia de ferro; a limonita e a siderita, são importantes apenas na Europa.

As impurezas comuns nos minérios de ferro, são sílica, carbonato de cálcio, manganês (principalmente na hematita), enxofre, alumina, água e titânio.

Sendo o uso dos minérios de ferro, a siderurgia, num minério além do teor em ferro, deve-se considerar as impurezas; os elementos mais nocivos, são o fósforo e o enxofre. Os limites para esses elementos não serem prejudiciais aos processos metalúrgicos, são 0.25% de enxofre e 0.03% de fósforo; esses elementos encontram-se nos minérios de ferro, sob a forma de pirita e apatita. Em algumas limonitas, o enxofre é proveniente de gipsita ou baritina.

Ha um processo de fabricação do aço, em que o fósforo não é nocivo.

Origem

Os vários tipos de depósitos de minério de ferro, são os seguintes:

- 1 - segregação magmática - magnetita e magnetita titanifera.
- 2 - sedimentares - hematita e limonita.
- 3 - metamorficos - magnetita, hematita.
- 4 - residual - hematita e limonita.
- 5 - oxidação - derivados de oxidação de sulfetos, principalmente pirita.

Importância do ferro

É por demais conhecida a importância do ferro na civilização atual, pois praticamente é necessário a toda indústria, e sendo usado em diversas formas, tais como aço, ferro-doce, ligas, etc. O maior consumo é como aço.

Os maiores produtores de minério de ferro, são os E. Unidos, França e Rússia; os de aço, são os Estados Unidos, Alemanha e Rússia.

Brasil

O Brasil possui inensas jazidas, dentre as maiores do mundo. No Est. de Minas Gerais, estão localizadas as maiores; 4 tipos principais de minério são reconhecidos nesses depósitos: hematita compacta, com um teor em ferro metálico superior a 62%, chegando a 69%, com baixo teor de elementos nocivos; itabirito, rocha constituída de hematita e quartzo, de composição muito variável, normalmente de aspecto xistoso; jacutinga, minério friável, formado por hematita e quartzo, e finalmente a "ganga", de teor mais baixo; (50-55), e que constitui as camadas superficiais que capeiam os depósitos. As principais jazidas são as de Cauê, Conceição, etc. no município de Itabira; outras localidades de importância, são os de Sta. Bárbara, Monlevade, Ouro Preto, Burnier, etc.

As jazidas de Minas Gerais, são exploradas para alimentar as usinas de Volta Redonda, Monlevade, Sabará, Esperança e Burnier, e para exportação pelo porto de Vitória, através a Companhia Vale do Rio Doce.

O Estado de M. Grosso, possui importantes jazidas em Urucum, município de Corumbá, com cerca de 55% de Fe; Junto ocorrem jazidas de manganês, com um teor de 45% de Mn; outros importantes depósitos, são os do Amapá, recentemente descobertos, Bahia, etc.

O minério que o Brasil tem exportado é tipo hematita, com menos de 0,002% de P.

Manganês

Juntamente com o níquel, cromo, molibdenio, tungstênio, vanádio, cobalto e titânio, o manganês forma o grupo dos metais de ferro-liga. A adoção de uns poucos por cento desses metais ao aço, não somente melhoram suas propriedades,

mas também proporciona novas propriedades, tais como duresa, resistência, durabilidade, leveza, e resistência à corrosão.

O manganês é o metal mais importante do grupo. É importante não só na fabricação de ferro-manganês, como também na fabricação do aço. Sua finalidade na fabricação de aço, é remover o oxigênio e o enxofre, sendo adicionado na forma de ferro-manganês (80% de Mn), mas também é adicionado na forma de "spiegeleisen".

Minérios

Pirolusita - MnO_2 ; manganita - $Mn_2O_3 \cdot H_2O$; psilomelana - $MnO \cdot MnO_2 \cdot 2H_2O$; hausmanita - Mn_3O_4 ; wad - mistura amorfa de composição variável, consistindo principalmente, de óxidos de manganês e água, com alguns óxidos de ferro.

Classificação dos minérios

Segundo o "Bureau of Mines", são assim classificados:

- Minérios de manganês - 35% de Mn.
- Minérios de manganês ferruginosos - 10-35%
- Minérios de ferro manganesíferos - 5-10%.

Depósitos

A maioria do manganês de todo o mundo, é de origem sedimentar ou de depósitos residuais. Os últimos são depósitos superficiais, resultantes de ações de intemperismo, sendo portanto secundários.

Empregos

95% da produção mundial de manganês é usada para fins metalúrgicos.

Na fabricação do aço, ele age como desoxidante, obtendo-se assim aço livre de óxido de ferro, e como

desulfurizante, impedindo a formação de sulfeto de ferro; conforme já foi dito, é adicionado sob a forma de ferro-manganês ou "spiegeleisen".

Fósforo e enxofre são prejudiciais ao minério para fins metalúrgicos; o P não deve exceder de 0.20-0.25%. Os efeitos do enxofre não são tão prejudiciais, pois ele passa geralmente na escória.

Impurezas voláteis como água e gás carbônico, quando em grandes quantidades devem ser removidas, a fim de não encarecerem o frete.

O MnO_2 é utilizado para pilhas secas, o minério devendo possuir 85-90% de MnO_2 , e deve ser livre de compostos solúveis de cobre, arsênico, níquel, cobalto; os óxidos de ferro são tolerados até 3-4%, mas o ferro metálico acidentalmente introduzido é nocivo.

Na fabricação de vidro, compostos de manganês são utilizados para neutralizar a cor devida ao ferro; tem sido substituído por selênio, que apresenta vantagens sobre o manganês.

Os seus compostos químicos, são utilizados para secativos em tintas e vernizes, pigmentos-carbonato (branco de manganês), bióxido (negro de manganês), etc. fabricação de hidroquinona, como agente de oxidação, fabricação de permanganato, fertilizante (solos alcalinos), agentes de flotação, etc.

Produção mundial

Os maiores produtores de minérios de manganês no mundo, são a Rússia, Costa do Ouro, Índia, África do Sul e Brasil.

Brasil

É encontrado em diversos estados do país, estando as principais jazidas localizadas em M.

Gerais, Mato Grosso, Bahia e Território do Amapá. Conforme a localidade, os teores variam de 42 a 50% de Mn metálico.

Níquel

O principal minério primário de níquel, é a pentlandita (Fe, Ni)S; temos também a milerita, que é o sulfeto de níquel -NiS, e silicatos hidratados de níquel, tal como a garnierita. A pentlandita, é sempre associada com pirrotita e calcopirita.

Depósitos

Existem somente dois tipos de depósitos comerciais; concentrações residuais de silicatos de níquel proveniente do intemperismo sobre rochas ígneas básicas, e depósitos de sulfeto de níquel e ferro por metasomatismo ou por injeção magmática; é comum a presença de côbalto nos minérios de níquel.

Empregos

A maior parte dos minérios de níquel, são utilizados para obtenção de níquel metálico para ligas, tais como ferro-níquel, e ligas com cobre, cromo, alumínio, chumbo, etc.

Produtores

Os maiores produtores de níquel, são Canadá, Nova Caledônia, e Rússia, O maior consumidor são os Estados Unidos.

Brasil

Possue alguns depósitos de importância em Goiás e M. Gerais.

O minério dessas jazidas é a garnierita, hidrosilicato de magnésio e níquel, de cor verde

característica. A formação do minério foi provavelmente devida a presença de traços de níquel em alguns silicatos de rochas básicas (piroxenitos, peridotitos), que pelos processos de intemperismo ocasionaram a liberação do níquel, e posteriormente a sua concentração secundária.

Os depósitos de Goiás, são em S. José do Tocantins, hoje Niquelândia; o teor médio das jazidas é de 1-3% de metal.

As de M. Gerais, estão localizadas em Liberdade (estação de Livramento) e Ipanema, as mais interessantes; o teor médio é de 1,8% de metal.

Crômio

Ha somente um minério de crômio, que é a cromita, que teoricamente contém 68% de Cr_2O_3 e 32% de FeO , mas Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO e SiO_2 , podem substituir o Cr_2O_3 , reduzindo o seu teor a 40%. Os minérios comerciais contém 45% de Cr_2O_3 ; para fins metalúrgicos, a relação Cr/Fe deve ser 2,5/1.

A maioria dos depósitos de cromita, são segregações magmáticas em rochas básicas.

Os principais empregos do cromo, são para fins metalúrgicos (ligas), refratários (a própria cromita), e produtos químicos. Uma parte é consumida para compostos químicos usados em corantes, e o restante em curtimento, pigmentos, agentes de oxidação, etc.

Os maiores produtores são Rússia, Rodésia e Turquia.

Brasil

Ocorre na Bahia (Campo Formoso, Santa Luzia), Minas Gerais (Piui, Passos) e Goiás (Piracanjuba).

Os depósitos são em segregações magmáticas

de cromita, em rochas básicas, variando o minério desde a cromita pura até o serpentinite cromífero.

O minério da Bahia é inferior a 40% de Cr_2O_3 , e o de Piuí, chega até 52%, mas o teor é muito variável, podendo em parte ser utilizado para metalurgia. O de Goiás, ha 2 tipos, um que varia entre 39-43% e outro oscilando entre 35%.

Molibdênio

Praticamente todo o molibdenio é obtido da molibdenita (MoS_2); a vulfemita, molibdato de chumbo, contribue com pequena parte.

O minério contém 0.6 a 0.7 de MoS_2 , e depósitos menores atingem 1 a 3%. Em certas minas de cobre, é extraído como sub-produto, pois existe no teor de 0.04% de MoS_2 .

Os depósitos comerciais são pegmáticos, metasomáticos, etc.

Praticamente todo o molibdenio é usado para ligas, com ferro e aço, aumentando a resistência e a dutibilidade; é o metal que apresenta a propriedade de aumentar a dureza das ligas, em melhores condições. Tem uma ação igual a do tungstênio, mas requer uma quantidade muito menor para produzir os mesmos efeitos.

Os maiores produtores de molibdenio no mundo, são os Estados Unidos (85%), México, Chile e Canadá.

Brasil

Existem várias pequenas ocorrências, algumas com possibilidades de aproveitamento econômico. Estão localizadas em Sta. Catarina, Ceará, Bahia, R.G do Sul, Paraná e S. Paulo, São todas de molibdenita.

Tungstênio

Os minérios de tungstênio, são a scheelita, wolframita, ferberita e hubnerita. O teor é na maioria das vezes menor que 1%, mas os concentrados chegam a 60% de WO_3 .

Os minérios de tungstênio, são em geral concentrados previamente, por densidade, para em seguida serem submetidos aos processos metalúrgicos.

Os principais depósitos são de metasomatismo, veios hidrotermais ou placers.

Produtores

Os maiores produtores são China, Burma, E. Unidos, Brasil, Coreia.

Empregos

Aço-tungstênio, carbureto de tungstênio, de grande dureza, servindo para corte; filamento de lâmpadas; aparelhos elétricos, raio X, pigmentos, armas de guerra, etc.

Brasil

Os dois principais minérios, a scheelita e a wolframita, ocorrem no Brasil, em diversas localidades.

Os de scheelita, são encontrados principalmente no Nordeste, na Paraíba e R.G. do Norte, e também em Minas Gerais, onde aparece também stolzita, tungstênio de chumbo. A scheelita é exportada grandemente pelo Brasil, com teor de 70% de WO_3 , e 0.8% de Mo, no máximo.

A wolframita, é encontrada no R.G. do Sul, no município de Encruzilhada, associada à cassiterita, pirita, arseno-pirita, etc. É exportada com 68% de WO_3 .

A scheelita é encontrada também associada à cassiterita, fluorita, baritina.

No Estado de S. Paulo, ha uma jazida relativamente nova, em Inhandjara, sendo explorada.

Vanádio

Os principais minérios de vanádio, são a patronita (VS_4), roscoelita (mica vanadifera), vanadinita ($Pb_4(PbCl)(VO_4)_3$) e desclozita $(Pb,Zn)_2(OH)VO_4$.

A maioria dos depósitos são concentrações residuais.

Empregado principalmente em ligas, tais como aço-vanádio, na proporção de 1-1.25%. A adição de vanádio a qualquer aço, auxilia a remoção de oxigênio e nitrogênio, e dá uma granulação uniforme.

Usado também em ligas com cromo, molibênio, tungstênio, etc.

Também como catalisador na indústria de ácido sulfúrico, e em cerâmica, mordentes, etc.

Os maiores depósitos são do Perú, com 11% de V_2O_5 , Estados Unidos e Rodésia.

Os resíduos de petróleo, após a queima, dão cinzas que contêm vanádio.

Brasil - A vanadinita, encontrada associada à Scheelita e stolzita, em M. Gerais, bem como em Januária associada à galena, cerusita, blenda, etc. Existe em outros estados como R. G. do Norte e Paraná, mas nenhuma dessas jazidas apresenta interesse comercial.

Cobalto

Os minerais de cobalto em geral apresentam-se associados aos de níquel nos vieiros, bem como associado aos sulfetos de cobre e prata. Em geral é

obtido como um sub-produto do cobre ou prata. Os seus minérios são a esmaltita - As_2Co ; cobaltita- AsS_2Co ; eritrita - arseniato de cobalto.

O cobalto é usado em aços-especiais, para colorir vidro de azul, e na cobaltagem, operação idêntica à miquelagem.

Os maiores produtores são o Congo Belga, Rodésia e E. Unidos.

Brasil

Em Niquelândia, associado ao níquel, com um teor de 1 a 2% do metal. Na Bahia, associado também à garnierita, mas sem expressão econômica. Em M. Gerais, associado à m. de manganês, (asobolana, e em M. Grosso, também ao **manganês**.

IV - Metais secundários e assemelhados - antimônio, arsênico, berilo, bismuto, cadmíio, magnésio, mercúrio, rádio e urânio; selênio e telúrio; tântalo e nióbio; titânio e zircônio.

Antimônio

Existem muitos minérios de antimônio, mas a stibnita Sb_2S_3 , é o minério mais importante; uma pequena parte é obtida das galenas argentíferas, onde ele ocorre associado. Outros sulfetos metálicos podem estar junto com o de antimônio.

O teor dos minérios varia entre 3-8% de Sb metálico.

Depósitos

A maior parte dos depósitos, são formados por processos hidrotermais a baixas temperaturas e pouca profundidade. Alguns depósitos primários, foram enriquecidos na zona de oxidação através um intemperismo residual.

Empregos

O seu principal uso é em ligas com chumbo, pois torna o chumbo mais duro e menos flexível, permitindo usos diferentes para o chumbo. A liga contém 1-25% de Sb, e é usada em cobertura para cabos, (arma de fogo), tipos para imprensa. É usado também para diversas ligas, tais como "metal branco", que inclui vários tipos de ligas - metal britânica = Pb, Sb, Cu; e outras.

Produtores

China, Bolívia e México.

Brasil

Até agora não foram descobertos jazimentos de importância econômica no nosso país.

Tem sido encontrada a estibnita, a jamesonita e a tetraedrita (sulfo -sais), associadas a depósitos metálicos de outros minerais.

Estas ocorrências são no Morro do Bule (Ouro Preto), juntamente com a blenda, e na Ribeira de Iguape, divisa S. Paulo-Paraná, no minério de chumbo.

Arsênico

Si bem que o número de minerais de arsênico seja bem grande, ocorrências de valor comercial são poucas, e também os minérios são poucos. As ocorrências de arsênico nativo, bem como os seus óxidos, não apresentam importância. O mineral mais importante e mais encontrado, é a arsenopirita - FeAsS , que ocorre em xistos, gneisses, pegmátitos, metamorfismo de contato, ou veios de quartzo; outros sulfetos podem estar associados e arsenopirita, e também ouro e prata. Além da arsenopirita, os outros principais minerais são a enargita - Cu_3AsS_4 , tenantita - $\text{Cu}_8\text{As}_2\text{S}_7$,

proustita - $\text{Ag}_6\text{As}_2\text{S}_6$, nicolita - NiAs , esmaltita - CoAs_2 , etc.

A maioria do arsênico, produzido é obtido como sub-produto de cobre, ouro, prata e chumbo.

Como metal, tem pequena aplicação em umas poucas ligas, como por exemplo, com chumbo para bala (arma de fogo). Na forma de arseniato de cálcio e chumbo, é largamente usado como inseticida. Compostos de arsênico, são usados para preservação de couro e madeira; em medicina, pigmentos, etc.

Os principais produtores, são E. Unidos, México, e Suécia.

Brasil

Constitui um sub-produto da mineração do ouro. A arsenopirita ou mispiquel, ocorre associada em alguns vieiros de quartzo aurífero, associada à pirita, pirrotita, e outros minerais.

É obtido nas minas de Morro Velho, Passagem, Juca Vieira, pela ustulação da arsenopirita dos concentrados, dando o As_2O_3 .

Tem sido encontrada como acessório da galena de Ribeira de Iguape.

Berilo

Ha um certo número de minerais que contêm berilo, mas o único que é considerado minério, é o berilo - $3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$. Crisoberilo $\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ e fenacita - Be_2SiO_4 , são minerais com alguma possibilidade.

O berilo é usualmente encontrado nos diques da pegmáticos, e raramente como ganga mineral de minérios de tungstênio e estanho.

O berilo ocorre muitas vezes em cristais prismáticos hexagonais, alguns dos quais são de grandes dimensões. A cor do berilo é variável, mas em geral são claros, de tonalidade amarela, esverdeada, azulada ou incolor.

Teoricamente o berilo contém 14% de BeO, ou 5% de Be, mas a composição é sujeita a variações, em virtude da substituição do berilo por metais alcalinos e também por alterações por intemperismo e agentes hidrotermais.

O berilo é um metal extremamente leve, e que apenas a poucos anos passou a constituir um elemento de importância em determinadas ligas, aumentando a resistência à fadiga, do cobre, níquel e alumínio.

As ligas de berilo, encontram uso em diversas partes de aviões, tais como carburadores, válvulas, etc., na indústria de petróleo, etc. o óxido pode ser usado como refratário. O metal encontra aplicação em tubos de raio-X, lâmpadas fluorescentes, e ciclotrons.

Produtores.

As fontes de berilo em quantidade comercial, são E. Unidos, Brasil, Argentina, Índia e Rússia.

Brasil

No Brasil, ocorre em vários estados, em veios de pegmatitos, intensamente mineralizados, contendo além dos seus minerais essenciais (quartzo, feldspato e mica), tantalita, columbita, cassiterita, monazita, espodumênio, ambliogenita, minerais de urânio, bismuto, etc.

O berilo brasileiro, atinge em média 10-12% de BeO, sendo intensamente exportado para os E. Unidos.

Os Estados onde ha maiores jazidas, são Ceará,

Paraíba, R.G.do Norte, M.Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro.

Bismuto

Os minérios comerciais de bismuto, são bismuto metálico, bismutinita $\text{-Bi}_2\text{S}_3$ e bismutita $\text{-Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Si bem que todos êsses minérios contêmham elevado teor em bismuto, as jazidas exploradas não excedem em teor, 10-15% de Bi metálico. Os minérios de bismuto, são encontrados em pegmatitos, granitos e gneisses.

Aparecem associados à outros minérios de importância, tais como de cobre, estanho, prata ou chumbo, sendo extraído como um sub-produto.

Empregos

É consumido em pequenas quantidades, mas certas peculiaridades, lhe dão importância. É usado em medicina e preparações cosméticas, e forma compostos insolúveis próprios para exames internos de raio-X. É usado para esmalte em porcelana, vidro ótico, ligas, aparelhos elétricos, etc.

Produtores

E. Unidos (sub-produto das refinarias de chumbo), Perú (sub-produto de cobre, 20%, de Bi) México, (sub-produto do Pb).

Brasil

Nordeste - R.G.do Norte (Currais Novos, Parelhas, Acari), Paraíba (Picuí), e Brejão (M. Gerais);

A bismutita, que é um mineral secundário, muitas vezes revela no seu interior restos de bismuto nativo, o mineral primário do qual provêio.

No Nordeste tem sido extraído como um sub-

produto da mineração de tantalita e berilo, não apresentando entretanto importância sob o ponto de vista econômico.

Cádmio

Os minérios de cádmio são a greenockita (CdS), otavita-carbonato básico de composição incerta, e o óxido de cádmio. Correm associados com a blenda e seus produtos oxidados.

É obtido totalmente como um sub-produto da metalurgia do zinco.

O cádmio tem um baixo ponto de fusão, e é dútil, é mais mole que o zinco, sendo o seu principal uso em ligas.

Usa-se em ligas com cobre, prata, ferro, etc; com o ferro, forma uma camada fina que não enferruja, muito usada em automóveis, fechaduras, etc.

Os compostos químicos, são usados em fotografias, sabão, borracha, pigmentos para vidro e esmaltes, etc.

Produtores

E. Unidos, México e Canadá.

Brasil

São desconhecidas ocorrências comerciais no nosso país.

Foi observada no Morro do Bule em Ouro Preto, e na Ribeira de Iguape, junto ao minério de zinco.

Magnésio

O magnésio é obtido de:

- 1 - água do mar
- 2 - magnesita e dolomita
- 3 - $MgCl_2$ da carnalita.

A procura do magnésio, é pelo fato de ser o metal mais leve que se mantém inalterado nas condições normais. Suas principais ligas são com alumínio, zinco e manganês, usadas intensamente em automóveis e aviões. Essas ligas têm baixo peso, alta rigidez e maior resistência que as de alumínio. Apresentam ainda inúmeras aplicações, em bobinas, instrumentos musicais, microscópios, fotografia, bombas incendiárias, etc.

A liga com berilo, fornece um material de grande leveza, com grandes usos atualmente.

Produção

O maior produtor de magnésio metálico, são os Estados Unidos. Dada as variadas fontes de magnésio, o mesmo é encontrado em muitos países.

Brasil

No Brasil, os depósitos são de magnesita, sendo os maiores os de Brumado na Bahia, e Ceará, região Alencar-Orós.

Mercurio

O mercúrio, não é um metal abundante na natureza. O metal nativo é encontrado, e alguns minerais raros de mercúrio são ocasionalmente notados; praticamente o único minério de mercúrio é o cinabrio, que é o HgS. O teor varia de 0.3 a 0.8% de Hg.

Todos os depósitos são formados por processo hidrotermal, a temperaturas relativamente baixas. Podem ser formados em qualquer espécie de rocha que tenha fratura, permitindo a penetração de soluções.

Empregos

Aparelhos elétricos, produtos farmacêuticos, baterias, catalisador, isentocidas e fungicidas,

fulminato para munições, aparelhos científicos, termômetros, preparações dentárias, recuperação de ouro e prata pelo processo de amalgamação, etc.

Produtores

Espanha, Itália, E. Unidos e México.

Brasil

Apenas como ocorrências de valor apenas científico em Ouro Preto, M. Gerais.

Rádio e Urânio

O rádio é um produto de desintegração do urânio e é extremamente raro, si bem que o urânio não seja um constituinte raro da crosta terrestre, apesar dos depósitos serem poucos. Rádio é usado em produtos medicinais, e em tintas luminosas para relógios, etc.

O Urânio, inicialmente era usado apenas como fonte de rádio, mas seus sais foram usados também para colorir vidro de amarelo e pardo, e ligas com aço, cobre e níquel.

Atualmente é usado na produção de energia atômica.

Minérios

O urânio nunca ocorre na sua forma pura na natureza, mas sempre combinado com substâncias para formar um mineral. Existem mais de 100 minerais de urânio; em uns ele é o principal constituinte, mas em outros forma uma pequena parte.

Os minerais de urânio, podem ser classificados em primários e secundários, que são aqueles originários dos primários por intemperismo ou outro processo natural. Ambos são de interesse, pois podem formar depósitos de valor comercial.

Primários

São usualmente encontrados em veios ou em pegmátitos. Em virtude de serem facilmente decompostos formando minerais secundários, não são comumente encontrados em rochas expostas ao intemperismo.

Pechblende - ou uraninita - essencialmente óxido de urânio, sendo o mais importante minério do metal.

Os outros minerais primários de urânio, são os óxidos de urânio da betafita, euxenita, fergusonita e samarskita. Geralmente não ocorrem em quantidades suficientes para formarem depósitos comerciais de urânio.

Secundários

São caracterizados por cores amarela, laranja ou verde, e usualmente de aspecto terroso, enquanto os primários são negros ou pardos, e mais compactos.

Podem ocorrer em muitos tipos de rocha, e se encontrarem associados aos primários.

Carnotita - vanadato e de urânio e potássio, tyuayamunita vanadato de urânio e cálcio, autunita - fosfato de urânio e cálcio.

Depósitos

Os principais depósitos são veios hidrotermais, contendo pechblenda, geralmente associada com prata, cobalto, níquel e minérios de cobre. Segue-se em importância, impregnações de carnotita em arenitos, associada com minerais de vanádio. A maioria dos pegmatitos, contém um pouco de urânio, mas sem grande importância comercial.

Além dos arenitos, outras rochas sedimentares como argilas e fosfatos, podem conter urânio.

Como os minerais de urânio são pouco resistentes a decomposição, são raramente encontrados em quantidades interessante, em placers; os minerais de tório são encontrados frequentemente em placers, e alguns deles, especialmente a torianita, podem conter urânio.

Produtores

Congo Belga, Canadá, Tchecoslováquia (minas de Joachimsthal, famosa fonte de pechblenda da qual Madame Curie primeiro extraiu rádio), E. Unidos.

Brasil

A uraninita ou pechblenda, tem sido encontrada juntamente com outros minérios de urânio (autunita, sodiita e gumita) em alguns pegmatitos brasileiros, nos Estados do R. G. do Norte e Paraíba.

Existem ocorrências no Estado de M. Gerais, em Ubá, Pombal, Machado, etc., sob a forma de diversos minerais, tais como polierasita, samarskita, euxenita, betafita, djalmaita (óxidos de nióbio, tantalato, titânio, contendo tório, cério, urânio, erbio, itrio, etc).

Selênio e Telúrio

O selênio, é um metal bastante raro, e não se conhece depósitos de tal elemento; é encontrado em algum ouro, prata e minérios de cobre, sendo obtido na sua maioria, como um sub-produto da refinação de cobre.

É usado para fabricação de vidro vermelho em sinais luminosos, para descorar vidro verde, e para ligas; possui a interessante propriedade de só conduzir eletricidade quando exposto à luz, o que permite o seu uso em automáticos, tais como sinais

elétricos, alarmes contra roubo, e outros usos eletrônicos.

O telúrio, ocorre principalmente combinado com o ouro, e em estado nativo; está intimamente relacionado com o selênio. É obtido também como sub-produto da refinação de cobre, sendo encontrado em maior quantidade que o selênio, mas tem pequena aplicação industrial.

Os teluretos de ouro e prata são a calaverita- $AuTe_2$ e silvanita- $(Au,Ag)Te_2$.

É usado em ligas de chumbo, ligas, e em vidros para colorir de azul e pardo.

O selênio e o telúrio, são obtidos principalmente nos E. Unidos e Canadá, como sub-produto do cobre.

Tantalo e nióbio

O tantalo e o nióbio, são dois metais cujas aplicações até pouco tempo eram muito limitadas, sendo que os minérios eram usados para a produção de tantalo, que era utilizado em certas partes de válvulas de rádio.

As aplicações desses metais vem tomando grande incremento, e durante a guerra o tantalo foi usado devido a suas propriedades de alta dutibilidade, absorção de gases, resistência à corrosão, resistência mecânica etc., também certos sais, como o fluorantãtato de potássio, passaram a ter grande importância, como catalisadores nos processos de fabricação de borracha sintética partindo de butadieno; tem também grande emprego na fabricação de Radar.

O nióbio vem tendo ultimamente grande procura, ao que nos parece na fabricação de partes de

Oswaldo Eriksen de Oliveira

aviões a jato.

Os principais minérios, são a tantalita e a columbita; a tantalita é um tantalato de ferro e manganês, isomorfo da columbita, que é um nió-bato de ferro e manganês. Encontram-se na natu-reza intimamente ligados, sendo raríssimo a e-xistência de tantalita que não contenha nióbio, e também de columbita que não contenha tântalo. Pode ser expressa quimicamente como tendo a se-guinte composição: $(Fe, Mn) O (Nb, Ta)_2 O_5$. Co-mercialmente é denominada columbita, quando con-tém menos de 35% de $Ta_2 O_5$.

Os teores em $Nb_2 O_5$ e $Ta_2 O_5$, podem variar largamente, chegando até 86.1 de $Ta_2 O_5$ e 82.7 de $Nb_2 O_5$ (teóricos).

Ocorrem principalmente em pegmatitos

Titânio

Os principais minérios de titânio são o rutilo e a ilmenita. São minerais densos e re-sistentes as ações de intemperismo, acumulan-do-se assim em placers. O rutilo atinge um teor de 92-98% de TiO_2 , enquanto que a ilmenita, es-tá entre 51-60%.

O rutilo e a ilmenita, ocorrem principal-mente como acessórios de rochas ígneas, dique e de pegmatito e areias de praias (placers); associações comuns nos depósitos de placer, são a monazita e zirconita.

O principal consumo de titânio, é na fa-bricação do TiO_2 , usado como pigmento branco, que é o pigmento mais branco de todos, e pos-sue uma opacidade 2 vezes maior que a do ZnO . O pigmento é usado também para artigos de toi-lete, seda artificial, linóleo, etc. O titâ-nio, é também ligado ao aço, e cromo. Na for-

ma de tetracloreto de titânio, é usado para fazer cortina de fumaça branca.

O uso do titânio metálico vem sendo motivo de estudos, com um futuro promissor.

Produtores

Canadá, E. Unidos, Índia e Noruega.

Brasil

São encontrados depósitos de rutilo e ilmenita no nosso país.

Os principais depósitos, são de Goiás, Minas Gerais e Ceará. O rutilo de Goiás e Ceará, dão um teor de 92-98% de TiO_2 , enquanto que o de Minas, dá 66-80%.

Zircônio

Os minerais comerciais são a zircônita $ZrSiO_4$, e a badeleita $-ZrO_2$, sendo que este último tipo de minério só é encontrado no Brasil.

A zircônita é um acessório das rochas ígneas e é muito comum em placers, juntamente com arcia, granada, rutilo, monazita, etc.

A caldasita é uma mistura de óxido e do silicato.

O principal uso dos minérios de zircônio, é para refratários, em cadinhos, muflas, pirômetros, etc., em virtude do seu elevado ponto de fusão, pequena dilatação e baixa condutividade calorífica.

O metal é usado para tubos eletrônicos, filtros de raios-X, filamentos de lâmpadas etc.

Os maiores produtores são Brasil, Austrália e Índia, sendo que os depósitos brasileiro estão localizados em Poços de Caldas (M. Gerais), e nos litorais da Bahia, E. Santo e Rio de Janeiro, estan-

do nesses depósitos, associados à monazita, ilménita, etc.

Em Poços de Caldas, o minério atinge 90% de ZrO_2 , e nas areias 1 a 2% de zirconita, sendo separada do restante por processos de beneficiamento.

Fim

ÍNDICE

| | pag. |
|---|------|
| <u>Mineralogia</u> | |
| Mineralogia..... | 1 |
| Leis da cristalografia..... | 4 |
| Simetria..... | 8 |
| Sistemas cristalinos..... | 10 |
| Relação axial..... | 13 |
| Parâmetros..... | 15 |
| Notação de Miller - índices..... | 17 |
| Projeção estereográfica..... | 19 |
| Pseudomorfose..... | 22 |
| Isomorfismo..... | 23 |
| Polimorfismo..... | 24 |
| Habitus..... | 25 |
| Propriedades térmicas dos minerais..... | 26 |
| Propriedades óticas dos minerais..... | 28 |
| Propriedades elétricas e térmicas dos cristais..... | 33 |
| Refração da luz. Índice de refração..... | 36 |
| Refração das substâncias anisotrópicas..... | 39 |
| Refração das substâncias isotrópicas..... | 38 |
| Luz polarizada..... | 44 |
| <u>Geologia Econômica</u> | |
| Geologia econômica..... | 46 |
| Classificação dos bens primários minerais..... | 46 |
| Geologia..... | 47 |
| Origem da terra..... | 48 |
| Interior da terra e idade da terra..... | 49 |
| Forma da terra..... | 53 |
| Divisões da Geologia..... | 54 |
| Fósseis. Fossilização..... | 57 |

| | |
|---|----|
| Coluna Geológica..... | 58 |
| Intemperios. Ação dos agentes Geológicos..... | 60 |
| Ação da Hidrosfera..... | 62 |
| Ação química da água..... | 63 |
| Água subterrânea..... | 65 |
| Ação dos seres vivos..... | 66 |
| Rochas..... | 67 |
| Estudo das rochas de origem magmáticas..... | 68 |
| Minerais formadores das rochas ígneas..... | 71 |
| Minerais acessórios..... | 71 |
| Segregação magmática..... | 72 |
| Classificação das rochas magmáticas..... | 72 |
| Principais rochas magmáticas..... | 72 |
| Rochas sedimentares..... | 74 |
| Sedimentares de origem química..... | 75 |
| Sedimentares organógenas..... | 76 |
| Rochas metamórficas..... | 76 |
| Jazidas Minerais..... | 78 |
| Concentração magmática..... | 79 |
| Segregação magmática..... | 80 |
| Pegmátitos..... | 80 |
| Sublimação..... | 81 |
| Metasomatismo..... | 81 |
| Hidrotermal..... | 82 |
| Depósitos hipotermiais..... | 83 |
| Depósitos mesotermiais..... | 83 |
| Depósitos epitermais..... | 83 |
| Oxidação e enriquecimento secundário..... | 83 |
| Sedimentação..... | 85 |
| Evaporação..... | 86 |
| Concentração residual e mecânica..... | 88 |
| Metamorfismo..... | 89 |

pag.

I - Metais preciosos:

| | |
|----------------------------|----|
| Ouro..... | 92 |
| Prata..... | 92 |
| Platina e platinóides..... | 93 |

II - Metais não-ferrosos:

| | |
|---------------------|----|
| Cobre..... | 94 |
| Chumbo e zinco..... | 97 |
| Estanho..... | 98 |
| Alumínio..... | 99 |

III - Ferro e metais de ferro-ligas:

| | |
|-----------------|-----|
| Ferro..... | 101 |
| Manganês..... | 103 |
| Níquel..... | 106 |
| Crômio..... | 107 |
| Molibdênio..... | 108 |
| Tungstênio..... | 109 |
| Vanádio..... | 110 |
| Cobalto..... | 110 |

IV - Metais secundários e assemelhados:

| | |
|---------------------|-----|
| Antimônio..... | 111 |
| Arsênio..... | 112 |
| Berilo..... | 113 |
| Bismuto..... | 115 |
| Cádmio..... | 116 |
| Magnésio..... | 116 |
| Mercurio..... | 117 |
| Rádio e Urânio..... | 118 |

| | pag. |
|------------------------|-------|
| Selênio e Telúrio..... | 120 |
| Tântalo e Nióbio..... | 122 |
| Titânio..... | 121 |
| Zircônio..... | 121-A |