

Universidade de São Paulo

Instituto de Geociências

GMG-5855 – Mineralogia Fundamental (2024)

**MINERALOGIA DE NEFELINA SIENITOS E MALIGNITOS DO MACIÇO ALCALINO  
ITAPIRAPUÃ, SE BRASIL**

**Amanda Andrade de Souza**

**Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia**

Docente Responsável: Prof. Dr. Daniel Atencio

2024

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. ROCHAS ALCALINAS.....	4
2.1 ROCHAS DO MACIÇO ALCALINO ITAPIRAPUÃ.....	4
3. MINERALOGIA FUNDAMENTAL DO MACIÇO ITAPIRAPUÃ.....	5
4. REFERÊNCIAS.....	14

## 1. INTRODUÇÃO

O projeto intitulado “Processos de interação entre magmas alcalinos em ambiente de câmara magmática: a suíte alcalina Itapirapuã (SP), Província Alcalina Arco de Ponta Grossa, SE Brasil”, a ser desenvolvido como dissertação de mestrado, tem como objetivo discutir processos de mistura entre magmas alcalinos de composições contrastantes em ambiente plutônico, utilizando como objeto de estudo o maciço alcalino Itapirapuã (SP).

Associada às ocorrências de magmatismo alcalino da região do Arco de Ponta Grossa, o maciço Itapirapuã (~105 Ma, Figura 1; Gomes *et al.*, 2018) situa-se à 130km SSW de Itapeva e encontra-se encaixado em rochas graníticas neoproterozoicas da suíte Três Córregos (Granito Cerro Azul, cf. Brumatti *et al.*, 2015). Segundo Gomes (1970), o maciço é predominantemente composto por nefelina sienitos variados, além de malignitos (sienitos máficos com grandes quantidades de granada rica em Ti), e outros litotipos exóticos menos expressivos (i.e., biotita melteígitos, pulaskitos) cuja origem, em geral, têm sua origem atribuída à interação de magmas alcalinos máficos e félsicos (e.g., Ruberti *et al.*, 2012).

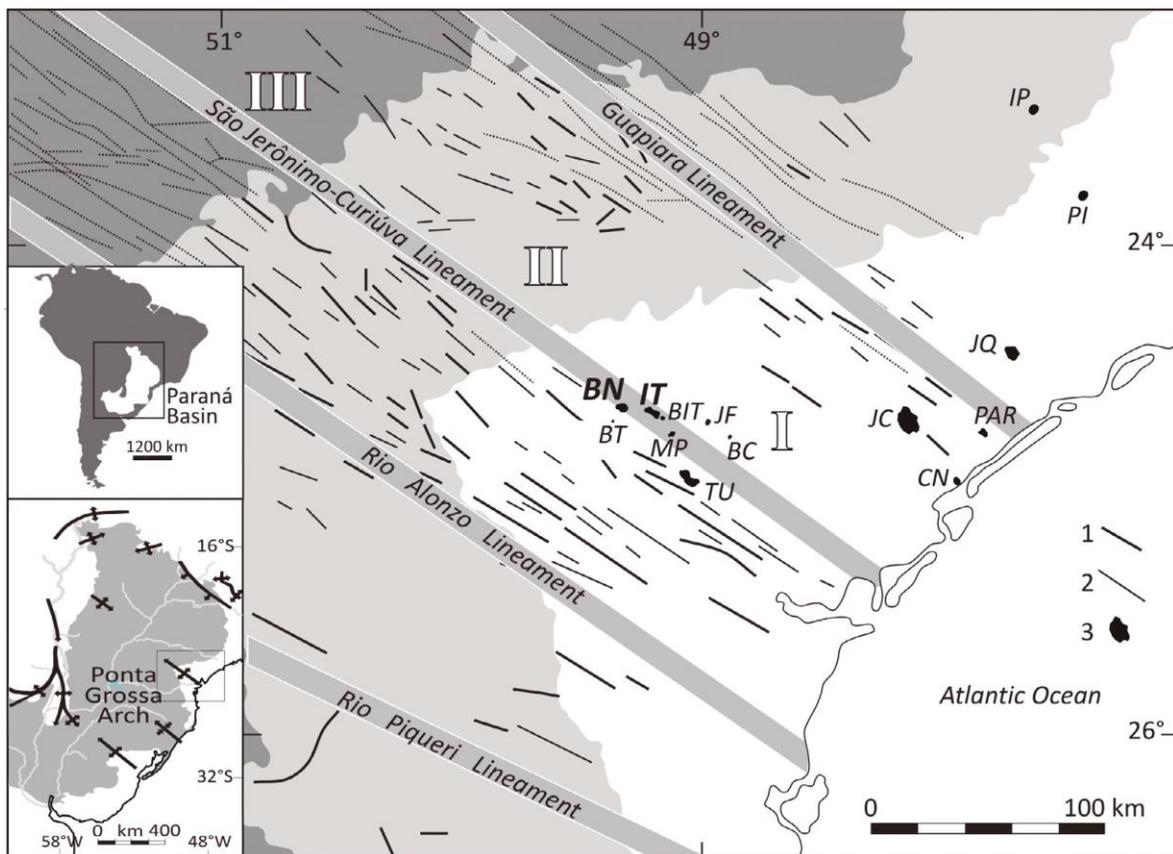


Figura 1. Mapa esquemático do Arco de Ponta Grossa (Almeida, 1986, modificado de Ruberti et al. 2005). (1) e (2) correspondem a encames de diques inferidos via mapeamento e levantamentos aeromagnéticos. (3) correspondem aos centros alcalinos com as seguintes abreviações: BC, Bairro da Cruz; BIT, Barra do Itapirapuã; BN, Banhadão; BT, Barra do Teixeira; CN, Cananeia; IP, Ipanema; IT,

Itapirapuã; JC, Jacupiranga; JF, José Fernandes; JQ, Juquiá; MP, Mato Preto; PAR, Pariquera-Açu; PI, Piedade; TU, Tunas. Outras indicações: I, embasamento cristalino; II, bacia do Paraná; III, derrames basálticos. Fonte: Gomes *et al.* (2018).

Seguindo a proposta de aplicação de assuntos discutidos na disciplina GMG-5855 – Mineralogia Fundamental de maneira pertinente ao tema da tese, o presente visa abordar a assembleia mineralógica principal encontrada no maciço, com ênfase em suas características cristalográficas e aspectos cristaloquímicos dos minerais que compõem as rochas abordadas.

## **2. ROCHAS ALCALINAS**

Embora as rochas alcalinas componham menos de 1% do volume total de rochas ígneas do planeta Terra, metade dos nomes de rochas ígneas estão associados a rochas alcalinas (Sørensen, 1974). A grande diversidade destas rochas, apesar de serem pouco expressivas em volume, se dá devido à grande abundância de álcalis e da deficiência em sílica que, juntas, formam um grande número de espécies minerais não estáveis em magmas mais ricos em sílica e pobres em álcalis. Há também um grande interesse econômico associado às rochas alcalinas devido às altas concentrações de elementos incompatíveis ou *large-ion lithophile elements* (LILEs) associados a recursos mundiais de nióbio, tântalo e elementos terras raras, por exemplo.

De acordo com Sørensen (1974), são definidas como alcalinas o grupo de rochas de origem ígnea onde a razão molar de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) para alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e sílica ( $\text{SiO}_2$ ) excede 1:1:6, de forma que a alumina, sílica ou ambos, se tornem deficientes. Consequentemente, rochas alcalinas são geralmente descritas como rochas que apresentam um conteúdo de álcalis que excede o conteúdo a ser acomodado na estrutura dos feldspatos. Estes álcalis em excesso, por sua vez, aparecem em fases minerais como feldspatóides, piroxênios e/ou anfibólios sódicos, além de outras fases enriquecidas em álcalis.

### **2.1 ROCHAS DO MACIÇO ITAPIRAPUÃ**

O maciço Itapirapuã, de forma irregular e alongada para NW, ocupa uma área aproximada de 4 km<sup>2</sup> e é composto por rochas insaturadas em sílica, predominantemente nefelina sienitos portadores ou não de melanita (Gomes, 1970). Nefelina sienitos são rochas ígneas intrusivas, formadas principalmente por minerais félsicos como feldspatos e nefelina. A nefelina, por sua vez, encontra-se frequentemente substituída por cancrinita. As fases máficas principais são egirina (a egirina-augita) e melanita (granada rica em Ti). Outros minerais como titanita, apatita e magnetita são comuns como fases acessórias. Malignitos são considerados como variedades de nefelina sienitos (nefelina sienitos mesocráticos), e se diferenciam a partir da abundância de fases máficas em relação a fases félsicas, igual ou superior à 50%.

## **3. MINERALOGIA FUNDAMENTAL DO MACIÇO ITAPIRAPUÃ**

### **Ortoclásio**

O ortoclásio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) constitui a fase mineral félsica predominante no maciço Itapirapuã. Trata-se de um tectossilicato pertencente ao grupo dos feldspatos, sistema cristalino monoclinico, classe cristalina prismática ( $2/m$ ) e grupo espacial  $C2/m$ . Como mineral do sistema monoclinico, cristais de ortoclásio apresentam três eixos cristalográficos (a,b,c) e um dos ângulos diferentes de  $90^\circ$  ( $\beta$ ). Os parâmetros de cela unitária do ortoclásio seguem:  $a = 8,5632(11) \text{ \AA}$ ,  $b = 12,963(14) \text{ \AA}$ ,  $c = 7,299(11) \text{ \AA}$  e ângulo  $\beta = 116,073(9)^\circ$ , com volume da cela unitária igual  $724,57 \text{ \AA}^3$ .

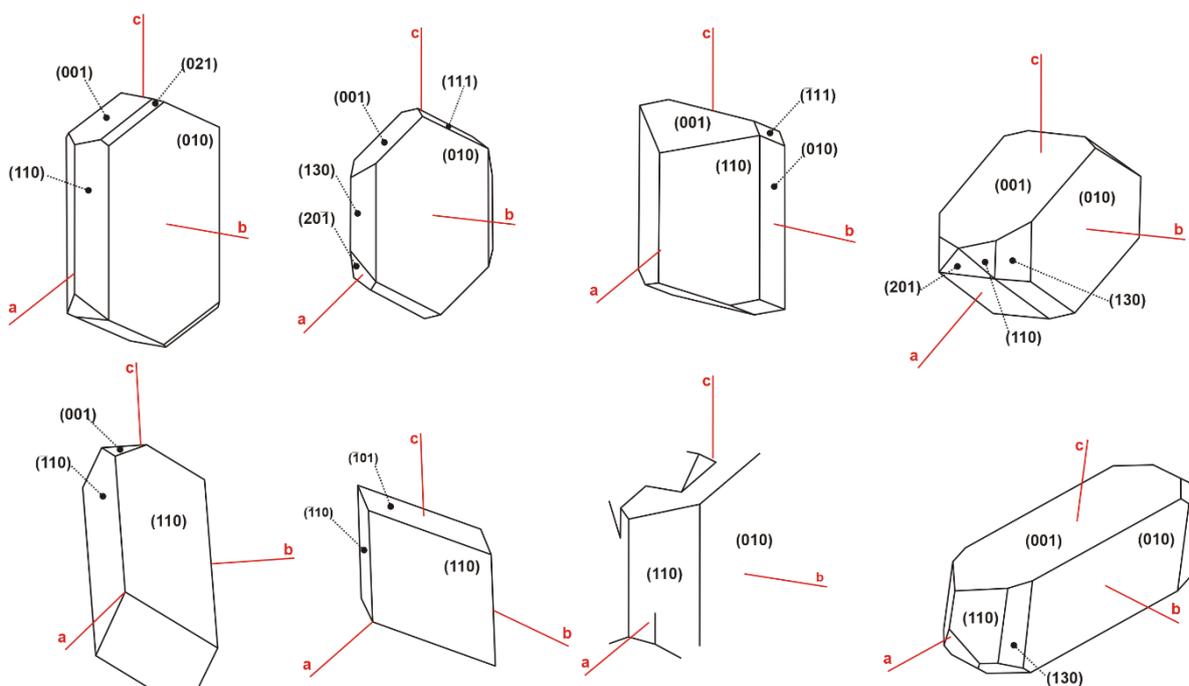


Figura 2. Formas de cristais de ortoclásio. Fonte: Navarro et al. (2017)

Na estrutura do ortoclásio, os tetraedros  $(\text{Si,Al})\text{O}_4$  estão unidos na forma de anéis tetraédricos. Os grandes interstícios são ocupados por átomos de K e Na em coordenação 9. A estrutura do ortoclásio é considerada como uma rede tridimensional de quatro tetraedros que formam 'lâminas' paralelas em que dois dos tetraedros apontam para cima (T1 e T2) e outros dois apontam no sentido oposto (T3 e T4), formando uma lâmina dupla L. A lâmina K é paralela à L, mas deslocada (translação  $a/2$  segundo o eixo 'a'). A estrutura, como um todo, corresponde a um arranjo de lâminas duplas L e K alternadas, paralelas entre si.

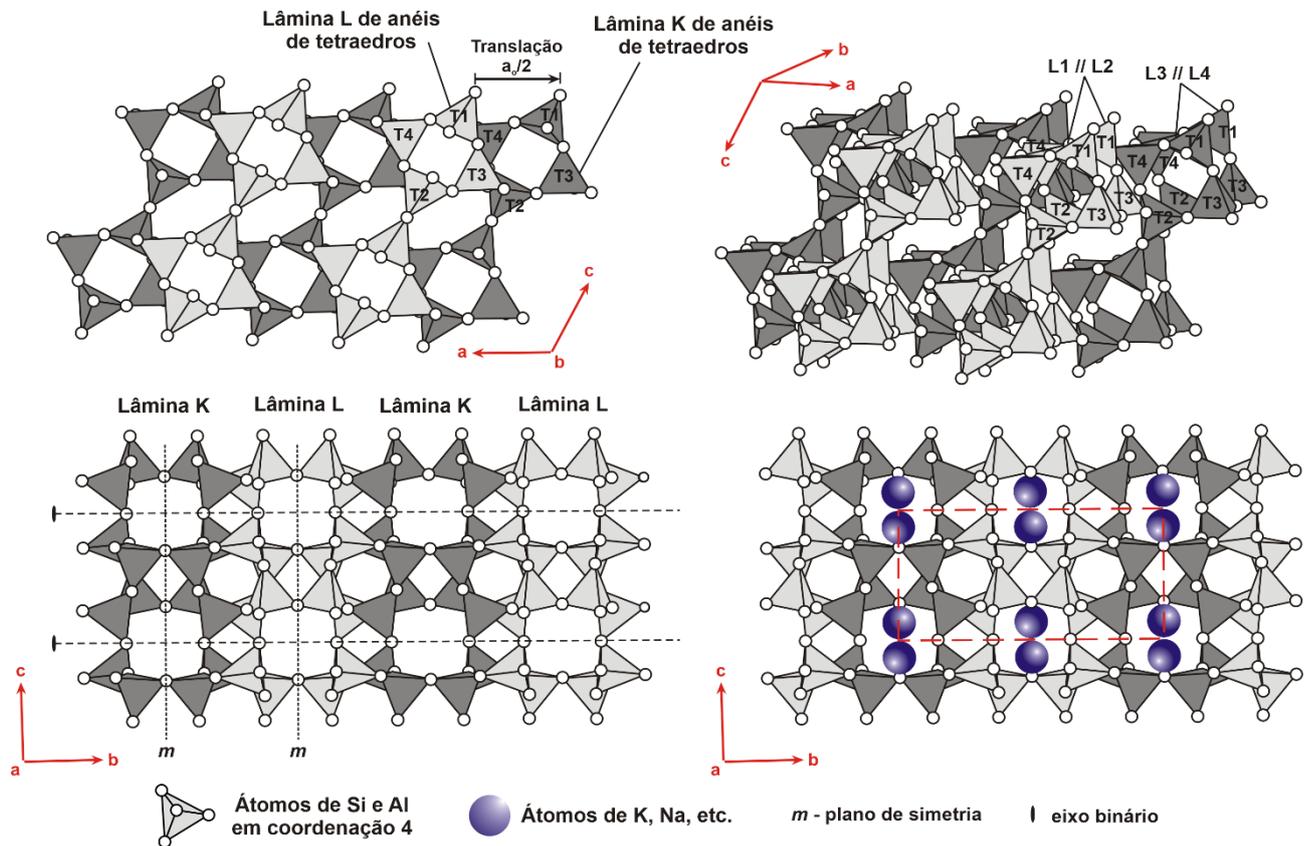


Figura 3. Modelo esquemático com a estrutura cristalina do ortoclásio. Fonte: Navarro et al. (2017)

## Nefelina

A nefelina ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  ou  $(\text{Na,K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ ) é a segunda fase mineral félsica encontrada nas rochas do maciço Itapirapuã. Trata-se de um tectosilicato pertencente ao grupo dos feldspatóides, sistema cristalino hexagonal, classe cristalina piramidal (6) e grupo espacial  $P6_3$ . Como mineral do sistema hexagonal, cristais de nefelina apresentam três eixos cristalográficos equivalentes ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ), além de um eixo vertical  $c$  perpendicular e de comprimento diferente dos demais. Os parâmetros de cela unitária da nefelina seguem:  $a = 9,993(2) \text{ \AA}$  e  $c = 8,374(3) \text{ \AA}$ , com volume da cela unitária igual  $724,19 \text{ \AA}^3$ .

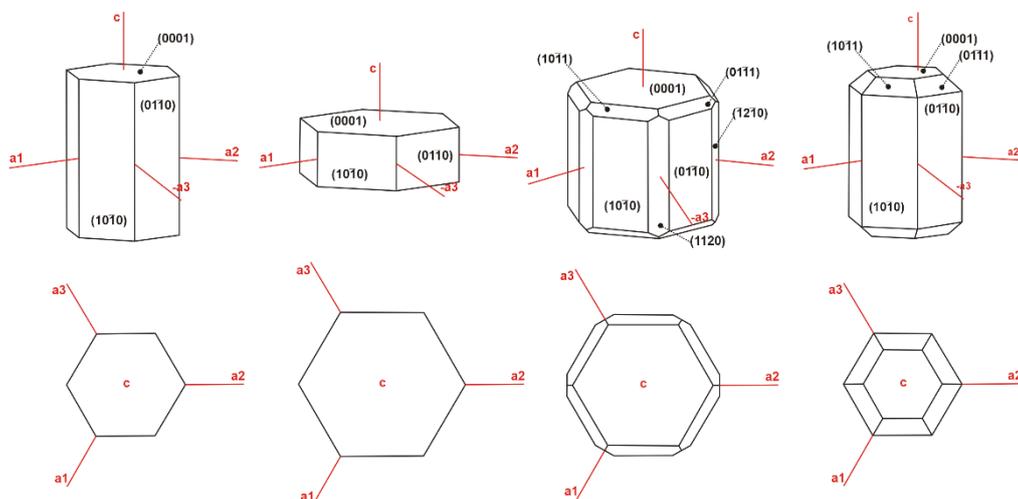


Figura 4. Formas de cristais de nefelina. Fonte: Navarro et al. (2017)

A estrutura da nefelina consiste em uma malha de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  de forma que metade das posições tetraédricas são ocupadas por átomos de  $\text{Si}^{4+}$  e o restante, por átomos de  $\text{Al}^{3+}$ . Os átomos de Na e K ocupam os interstícios dos tetraedros de forma em que os átomos de K ocupam as posições com número de coordenação 9, enquanto os átomos de Na ocupam as posições com número de coordenação 8.

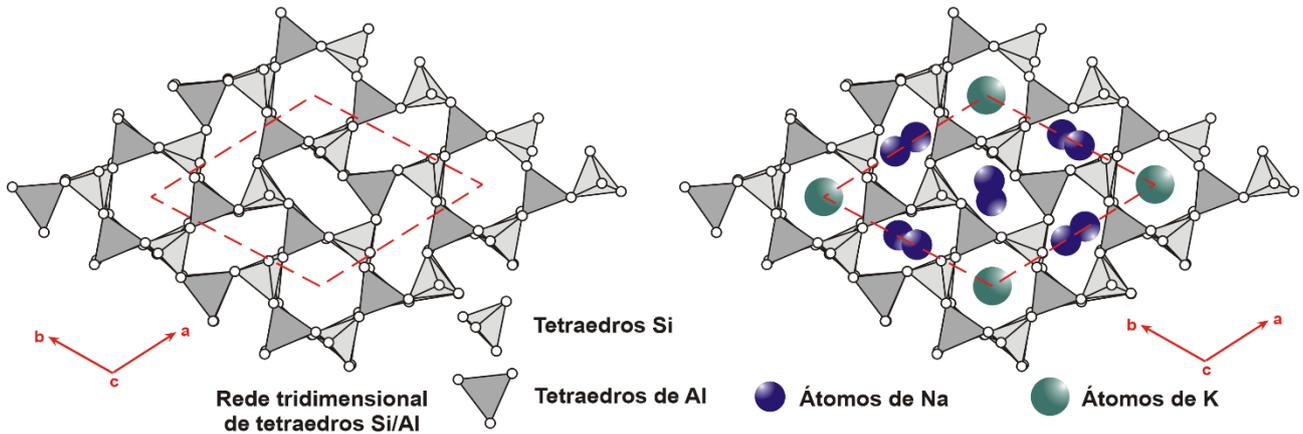


Figura 5. Modelo esquemático com a estrutura cristalina da nefelina. Fonte: Navarro et al. (2017)

### Cancrinita

A cancrinita  $((\text{Na}, \text{Ca}, \square)_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{CO}_3, \text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  é o mineral de substituição da nefelina, formado durante as fases tardias de cristalização. Trata-se de um tectossilicato pertencente ao grupo dos feldspatóides, sistema cristalino hexagonal, classe cristalina piramidal hexagonal (6) e grupo espacial  $P6_3$ . Como mineral do sistema hexagonal, cristais de cancrinita apresentam três eixos cristalográficos equivalentes ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ), além de um eixo vertical  $c$  perpendicular e de comprimento diferente dos demais. Os parâmetros de cela unitária da nefelina seguem:  $a = 12,67(9) \text{ \AA}$  e  $c = 5,15(3) \text{ \AA}$ , com volume da cela unitária igual  $715,96 \text{ \AA}^3$ .

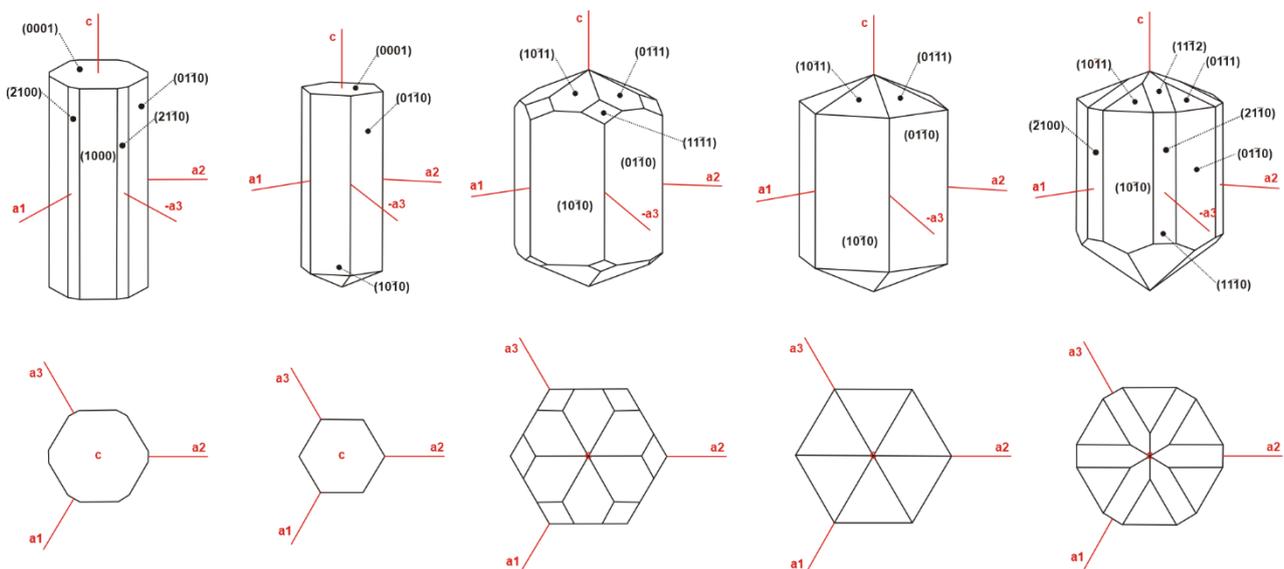


Figura 6. Formas de cristais de cancrinita. Fonte: Navarro et al. (2017)

A estrutura da cancrinita consiste em arranjo tetraédrico tridimensional formado por anéis de quatro, seis e doze tetraedros. Os anéis definem as cavidades nas quais serão alojados os íons de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , além de grupos aniônicos como  $(\text{CO}_3)^{2-}$ ,  $(\text{SO}_4)^{2-}$ ,  $\text{Cl}$  e moléculas de água.

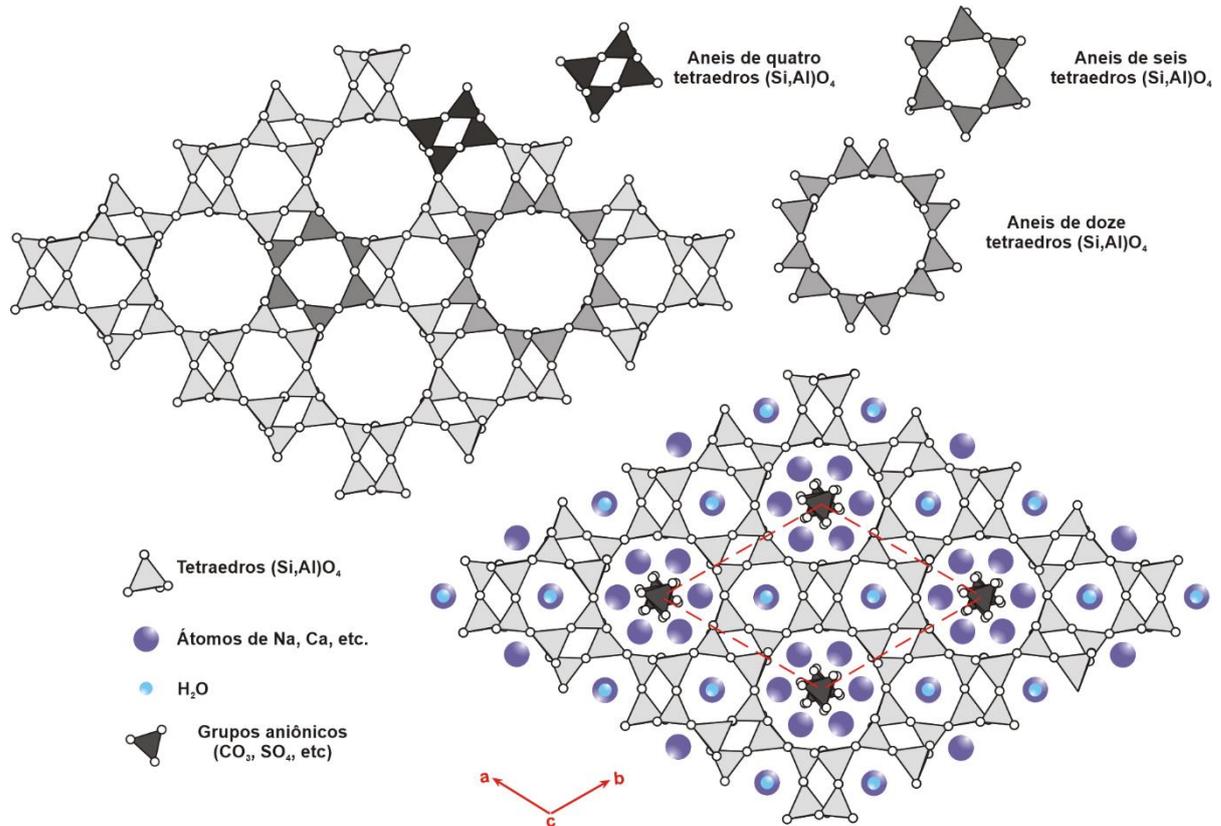


Figura 7. Modelo esquemático com a estrutura cristalina da cancrinita. Fonte: Navarro et al. (2017)

## Egirina

A egirina ( $\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$ ) é a fase máfica principal encontrada nas rochas do maciço Itapirapuã. Trata-se de um inossilicato pertencente ao grupo dos piroxênios, sistema cristalino monoclinico, classe cristalina prismática ( $2/m$ ) e grupo espacial  $C2/b$ . Como mineral do sistema monoclinico, cristais de egirina apresentam três eixos cristalográficos (a,b,c) e um dos ângulos diferentes de  $90^\circ$  ( $\beta$ ). Os parâmetros de cela unitária da egirina seguem:  $a = 9,658 \text{ \AA}$ ,  $b = 8,795$  e  $c = 5,294 (3) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 107,42^\circ$  e volume da cela unitária igual  $429,06 \text{ \AA}^3$ .

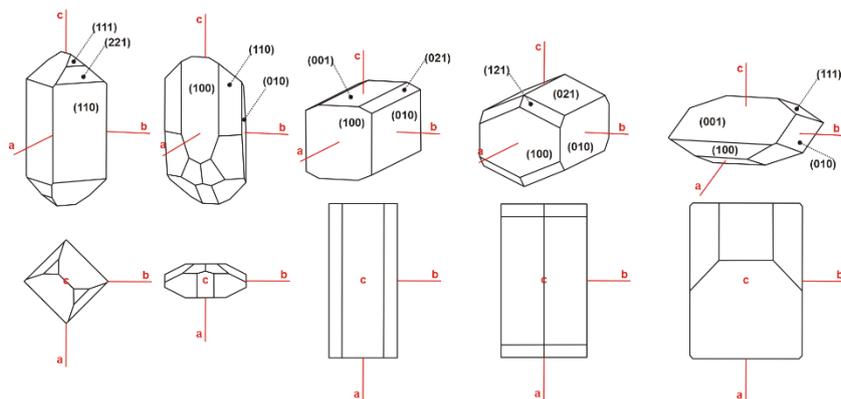


Figura 8. Formas de cristais de egiirina. Fonte: Navarro et al. (2017)

Na estrutura da egiirina, as cadeias tetraédricas estão unidas por átomos de Na e Fe, formando camadas de átomos em coordenação 4 e camadas de átomos em coordenação 6 e 8 segundo o eixo a. Os átomos de Fe ocupam a posição M1, rodeados por 6 oxigênios, enquanto os átomos de Na ocupam a posição M2 e estão rodeados por 8 oxigênios.

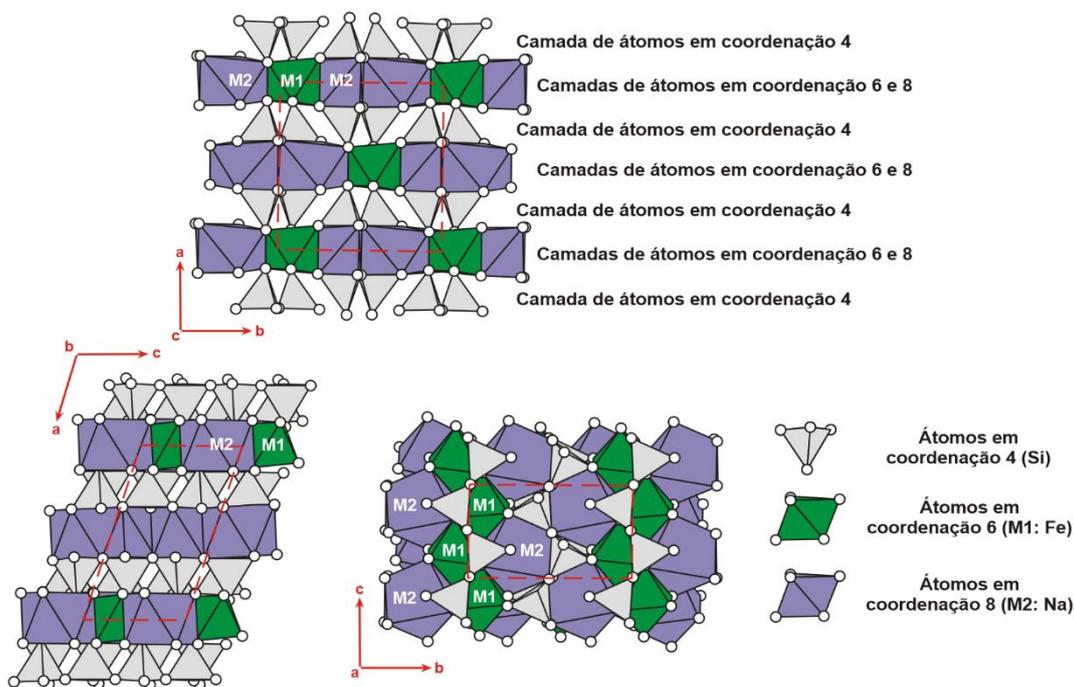


Figura 9. Modelo esquemático com a estrutura cristalina da egiirina. Fonte: Navarro et al. (2017)

### Melanita

A melanita ( $\text{Ca}_3(\text{Fe}^{3+}, \text{Ti})_2(\text{SiO}_4)_3$ ) é uma variedade rica em Ti da andradita e a segunda fase máfica mais abundante das rochas do maciço Itapirapuã. Trata-se de um nesossilicato pertencente ao Supergrupo das Granadas, sistema cristalino isométrico, classe cristalina hexoctaédrica ( $4/3 \ 3^* \ 2/m$ ) e grupo espacial Ia3d. Como mineral do sistema isométrico, todos os eixos cristalográficos da melanita são equivalentes ( $a_1, a_2, a_3$ ) com tamanho da cela unitária  $a = 12,056 \text{ \AA}$ .

\*3 = '3 barra'

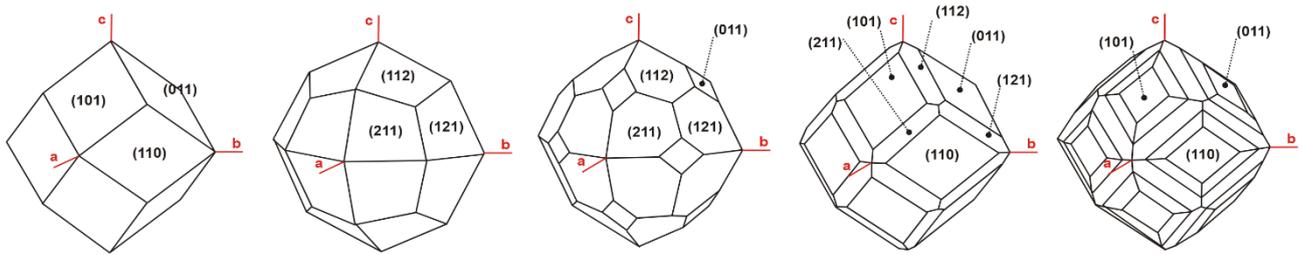


Figura 10. Formas de cristais de melanita. Fonte: Navarro et al. (2017)

A estrutura da melanita, como a da andradita, é constituída por uma rede de tetraedros ( $\text{SiO}_4$ ) e octaedros ( $\text{Fe}^{3+}\text{O}_6$ ) independentes. Os tetraedros ocorrem unidos aos octaedros através do compartilhamento de átomos de oxigênio. Os átomos de Ca situam-se nos interstícios do interior da rede de tetraedros e octaedros e rodeados por oito oxigênios (coordenação cúbica).

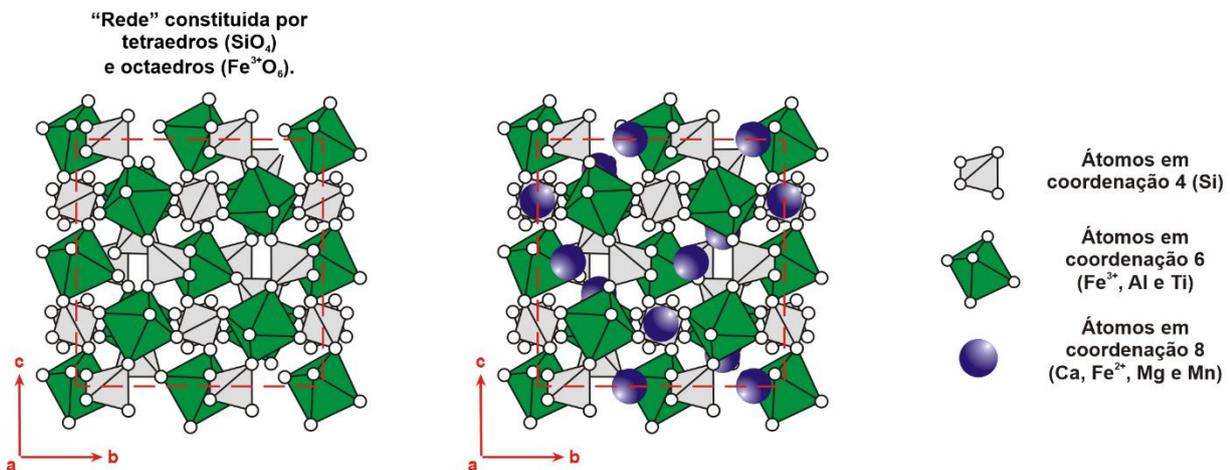


Figura 11. Modelo esquemático com a estrutura cristalina da melanita. Fonte: Navarro et al. (2017)

## Titanita

A titanita ( $\text{CaTi}(\text{SiO}_4)$ ) é a fase acessória mais abundante das rochas do maciço Itapirapuã. Trata-se de um nesossilicato do sistema cristalino monoclinico, classe cristalina prismática ( $2/m$ ) e grupo espacial  $P2_1/b$ . Como mineral do sistema monoclinico, cristais de titanita apresentam três eixos cristalográficos (a,b,c) e um dos ângulos diferentes de  $90^\circ$  ( $\beta$ ). Os parâmetros de cela unitária da titanita seguem:  $a = 7,057 \text{ \AA}$ ,  $b = 8,707$  e  $c = 6,555 (3) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 113,81^\circ$  e volume da cela unitária igual  $368,49 \text{ \AA}^3$ .

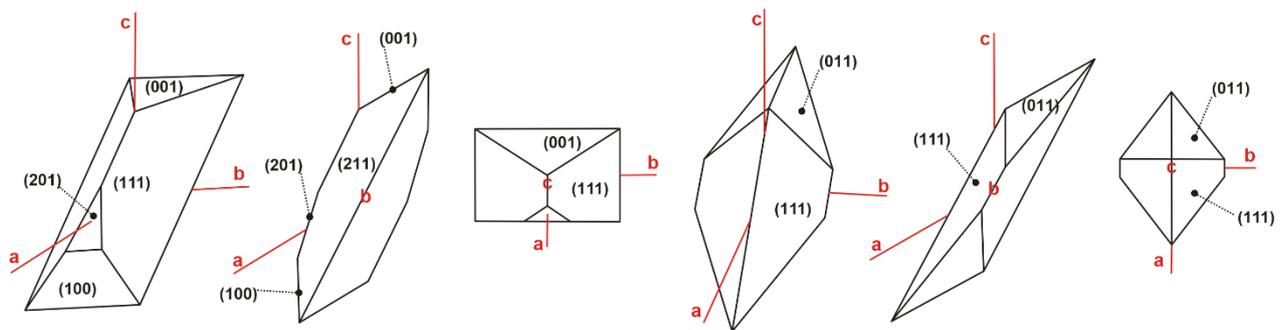


Figura 12. Formas de cristais de titanita. Fonte: Navarro et al. (2017)

Na estrutura da titanita, os tetraedros ( $\text{SiO}_4$ ) ocorrem como grupos independentes unidos a octaedros de íons tetravalentes e trivalentes. Os íons bivalentes ocupam os interstícios no interior da rede de tetraedros-octaedros, de forma que cada átomo bivalente fique rodeado por sete oxigênios (coordenação 7).

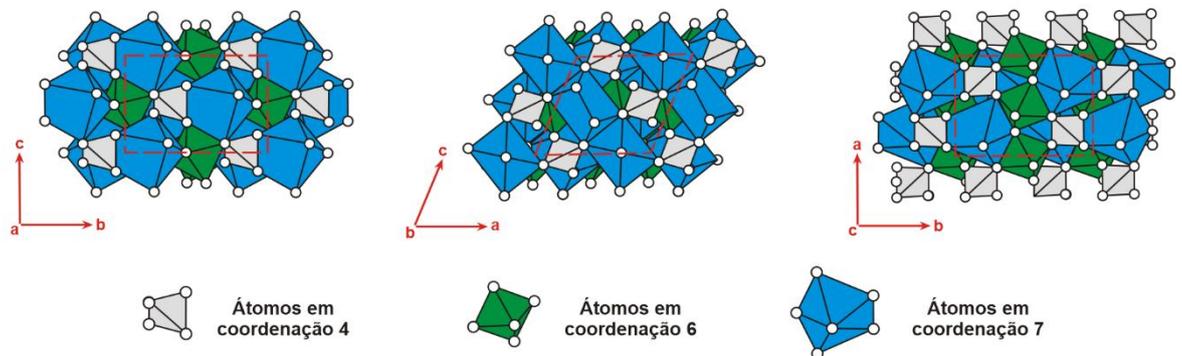


Figura 13. Modelo esquemático com a estrutura cristalina da titanita. Fonte: Navarro et al. (2017)

### Apatita

A apatita ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ ) também é uma fase acessória comum em nefelina sienitos e malignitos do maciço Itapirapuã. A apatita é um fosfato do sistema cristalino hexagonal, classe cristalina bipiramidal ( $6/m$ ) e grupo espacial  $P6_3/m$ . Como mineral do sistema hexagonal, cristais de apatita apresentam três eixos cristalográficos equivalentes ( $a_1, a_2, a_3$ ), além de um eixo vertical  $c$  perpendicular e de comprimento diferente dos demais. Os parâmetros de cela unitária da apatita seguem:  $a = 9,3973 \text{ \AA}$  e  $c = 6,8782 \text{ \AA}$ , com volume da cela unitária igual  $526,03 \text{ \AA}^3$ .

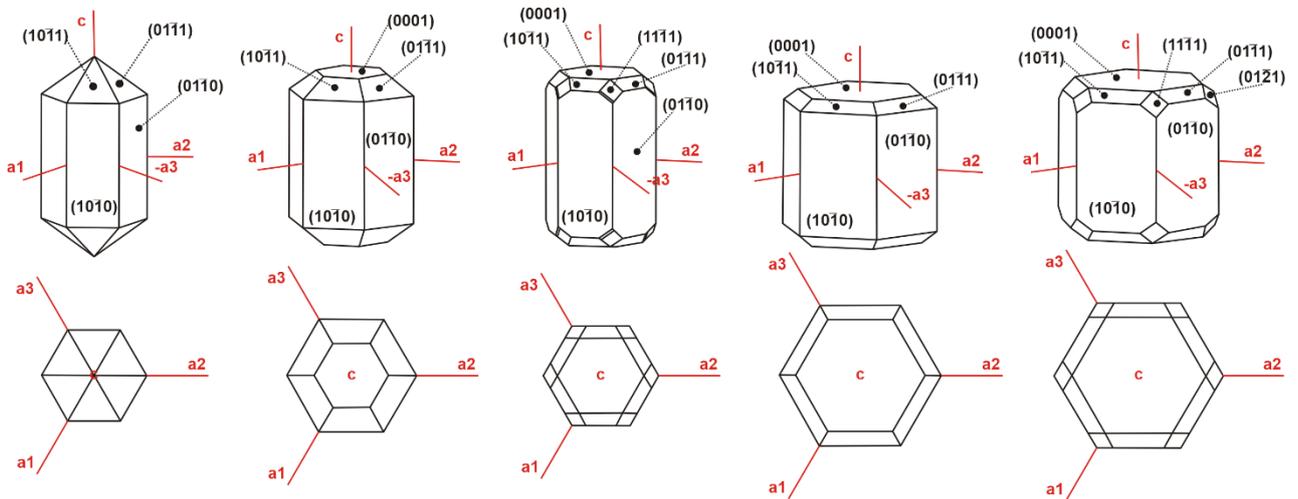


Figura 14. Formas de cristais de apatita. Fonte: Navarro et al. (2017)

Na estrutura da apatita, os átomos de Ca ocupam duas posições definidas, de forma que em uma das posições os átomos estão em coordenação 9 e na outra, em coordenação 7. Os átomos de Ca em coordenação 7 formam colunas paralelas ao eixo c, unidas por redes de átomos de Ca (coordenação 9) e tetraedros de  $\text{PO}_4$ . Íons de F, Cl, OH estão rodeados por três átomos de Ca em um mesmo plano.

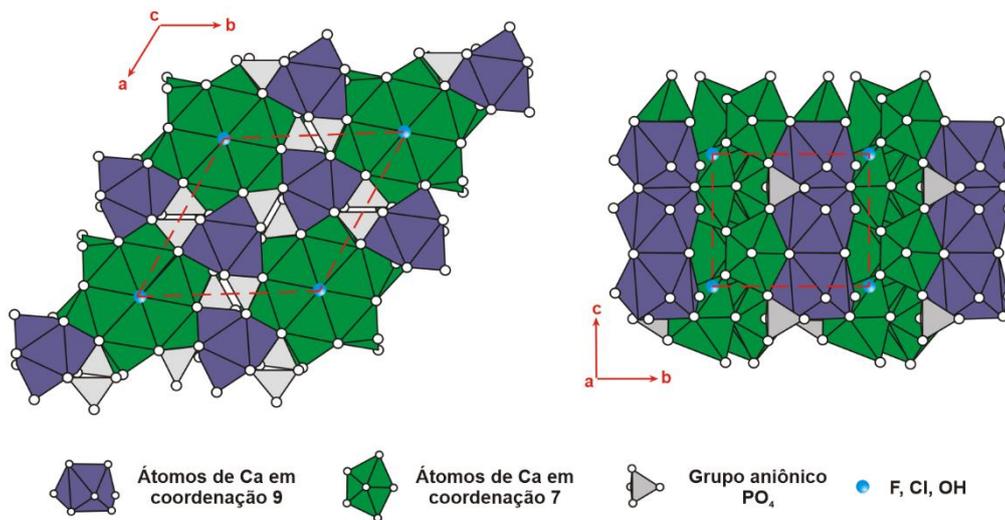


Figura 15. Modelo esquemático com a estrutura cristalina da apatita. Fonte: Navarro et al. (2017)

## Magnetita

A magnetita ( $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$ ) é o último acessório da assembleia mineralógica do maciço Itapirapuã. Pertencente à classe dos óxidos e subgrupo Grupo dos Espinélios, a magnetita é do sistema cristalino isométrico, classe cristalina hexaocáedrica ( $4/m \bar{3} 2/m$ ) e grupo espacial  $\text{Fd}\bar{3}m$ . Como mineral do sistema isométrico, todos os eixos cristalográficos da magnetita são equivalentes ( $a_1, a_2, a_3$ ) com tamanho da cela unitária  $a = 8,396 \text{ \AA}$ , com volume da cela unitária igual a  $591,86 \text{ \AA}^3$ .

\*3 = '3 barra'

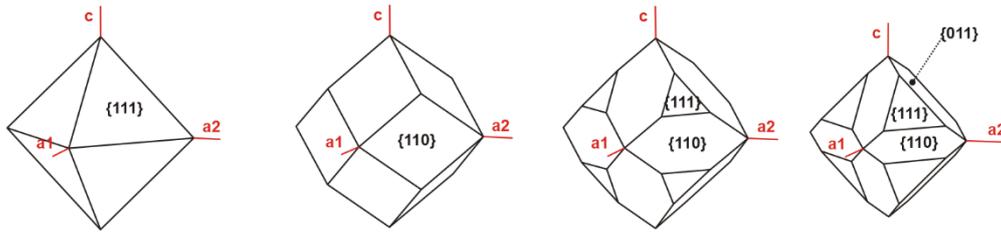


Figura 16. Formas de cristais de magnetita. Fonte: Navarro et al. (2017)

Na estrutura da magnetita existem 32 oxigênios e 24 cátions na malha unitária (estrutura inversa). 8 cátions estão arranjados em coordenação 4 (posição A =  $\text{Fe}^{2+}$ , Mg, Mn), enquanto 16 estão arranjados em coordenação 6 (posição B =  $\text{Fe}^{3+}$ , Cr, Al, Ti). A estrutura consiste em camadas de O que se alternam com as camadas destes átomos.

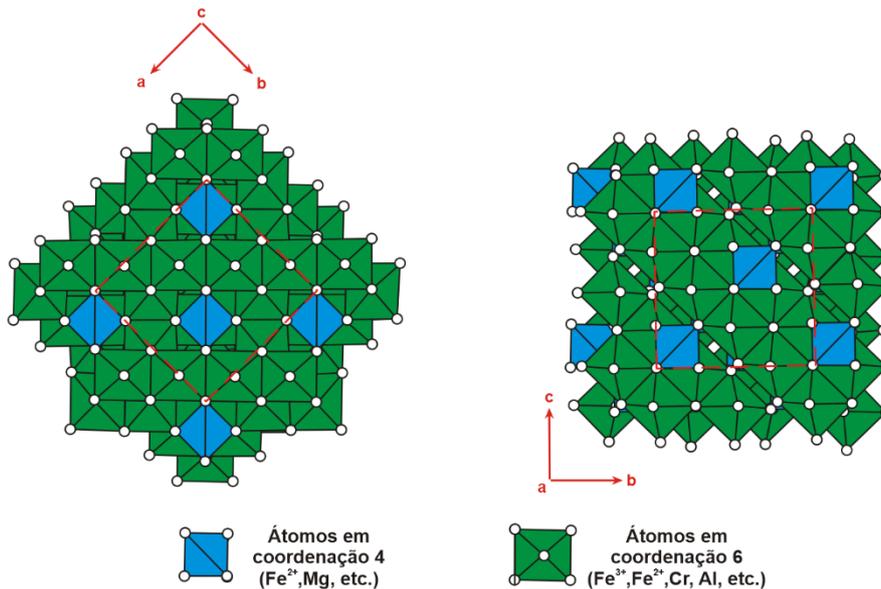


Figura 17. Modelo esquemático com a estrutura cristalina da magnetita. Fonte: Navarro et al. (2017)

#### 4. REFERÊNCIAS

- Brumatti, M., Almeida, V.V, Lopes, A.P., Campos, F.F., Perrota, M.M., Mendes, D., Pinto, L.G.R., Palmeira, L.G.M. (2015) Metalogenia das províncias minerais do Brasil: rochas alcalinas da porção meridional do cinturão Ribeira. *Informa de Recursos Minerais, Série Províncias Minerais do Brasil*, n. 6, CPRM, Brasília, 87p.
- Gomes, C.B. (1970). Petrologia do maciço alcalino de Itapirapuã, SP. *Boletim IGA*: 1:77-197.
- Gomes, C. B., Azzone, R. G., Ruberti, E., Vasconcelos, P. M. D., Sato, K., & Rojas, G. E. E. (2018). New age determinations for the Banhadão and Itapirapuã complexes in the Ribeira Valley, southern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 48(2): 403-414.
- Navarro, G.R.B., Zanardo, A., Montibeller, C.C., Leme, T.G. (2017). Livro de referência de Minerais Comuns e Economicamente Relevantes. Museu de Minerais, Minérios e Rochas. "Prof. Dr. Heinz Ebert."
- Ruberti, E., Enrich, G.E.R., Azzone, R.G., Comin-Chiaramonti, P., De Min, A., Gomes, C.B. (2012). The Banhadão Alkaline Complex, Southeastern Brazil: source and Evolution of potassic SiO<sub>2</sub>-undersaturated high-Ca and low-Ca magmatic series. *Miner Petrol*, 104: 63-80.
- Sørensen, H. (1974). Introduction. In: *The Alkaline Rocks* (Sørensen, H., ed.). John Wiley & Sons, London.