



BORATOS

O Grupo dos Boratos é um grupo de minerais que possuem como ânion principal o grupo iônico $[BO_3]^{3-}$ e suas derivações (BO_4 , BO_5 , B_2O_4 , B_2O_5 , B_3O_3 , B_4O_5 , B_5O_7 , e assim por diante). Este grupo se liga a metais, principalmente Al, Fe, Mg, Mn e Ca (além de Na, Sr, Cu, Pb, Sn, Ti, Nb, Li, etc.), e pode ligar-se a outros ânions (frequentemente NH_4 , e mais raramente CrO_4 e HCO_3), íons complementares (ou seja, $(OH)^-$, Cl^- , F^-) e água. Os boratos constituem sais, normalmente gerados a partir de ácido bórico (H_3BO_3) ou ácidos polibóricos (HBO_2 ácido metabórico, $H_2B_2O_4$ ácido dimetabórico, $H_2B_4O_7$ ácido tetrabórico, etc.) e podem conter cátions trivalentes (como Al^{3+} , Fe^{3+} e Mn^{3+}) em combinação com cátions bivalentes de pequeno raio iônico (como o Mg^{2+} , Fe^{2+}). O Grupo dos Boratos é constituído por cerca de 125 minerais, que podem ser agrupados em subdivisões de acordo com os elementos e grupos aniônicos que se ligam ao grupo aniônico $[BO_3]^{3-}$, da seguinte maneira:

- I. **boratos secos:** não possuem H_2O , OH^- ou outros grupos aniônicos [ex. sassolita - H_3BO_3 ; boracita - $Mg_3B_7O_{13}Cl$].
- II. **boratos com hidroxila:** possuem OH^- , com ou sem íons complementares, e não possuem água ou outros grupos aniônicos [ex. hamberguita - $Be_2BO_3(OH)$; johachidolita - $Na_2Ca_3Al_4B_6O_{14}(F,OH)_{10}$]
- III. **boratos hidratados:** possuem H_2O , e não possuem hidroxila ou outros grupos aniônicos [ex. colemanita - $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$; amônio-borita - $(NH_4)_2B_{10}O_{16} \cdot 5H_2O$]
- IV. **boratos secos com outros ânions** [ex. borcarita - $Ca_4MgH_6(BO_3)_4(CO_3)_2$; heidornita - $Na_2Ca_3B_5O_8(SO_4)_2Cl(OH)_2$]
- V. **boratos hidratados com outros ânions** [ex. teepelita - $Na_2BO_3Cl \cdot 2H_2O$; bakerita - $Ca_4B_4(BO_4)(SiO_4)_3(OH)_3 \cdot H_2O$]

Os boratos anidros são insolúveis em água (com exceção dos boratos de H, a metaborita e a sassolita), e freqüentemente também em ácidos (exceção da ludwiguita, da nordenskiöldina e da pinaquiólita), fusíveis a alta temperatura, e podem atingir dureza superior a 7 (a grande maioria possui dureza menor que 5,5, apenas 18 minerais possuem dureza entre 5 e 7, e apenas 11 possuem dureza entre 7 e 8,5). Além dos compostos com Mg^{2+} , os compostos com Na, K, Ca, (OH) e água são normalmente solúveis em água e são de baixa dureza. Os boratos secos de Mg (como por exemplo a boracita) normalmente hidratam gradualmente em meio aquoso em temperatura ambiente.

Representam minerais transparentes a translúcidos (apenas onze minerais desta classe são opacos: a frolovita, a pinaquiólita, a blatterita, a bonaccordita, a hulsita, a ortopinaquiólita, a takeuchiíta, a vonsenita, a ludwiguita, a warwickita e a magnésio-hulsita. Destes, a ludwiguita, a warwickita e a magnésio-hulsita são transparentes em seções finas); de traço branco e mais raramente colorido (a roweíta, a magnésio-hulsita, a fredrikssonita, takeuchiíta, a blatterita e a bonaccordita possuem traço marrom; a ludwiguita possui traço azul, a chestermanita possui traço verde e a henmilita possui traço violeta. Apenas a vonsenita, a volkovskita, a warwickita, a yuánfuliíta e a hulsita possuem traço preto; e a pinaquiólita, a azoproíta e a clinokurchatovita possuem traço cinza). O brilho dos minerais desta classe é não metálico, geralmente vítreo, sedoso (a tertschita, a karlita, a ludwiguita, a estrôncio-ginorita, a szaibelyíta, a suanita, a tuzlaíta e a sussexita), adamantino (a azoproíta e a behierita) ou nacarado (a ekaterinita, sassolita, veatchita-A e a priceíta). Apenas cinco minerais possuem brilho metálico (a ortopinaquiólita, a takeuchiíta, a blatterita, a vonsenita e a pinaquiólita) e três possuem brilho semi-metálico (a hulsita, a magnésio-hulsita e a yuánfuliíta).

A densidade dos minerais desta classe é variável. A grande maioria dos minerais possui densidade entre 1,46 a 2,89 g/cm^3 (são minerais leves); trinta e quatro minerais são minerais pesados (densidade entre 2,89 a 4 g/cm^3) e nove minerais possuem densidade entre 4 e 7 g/cm^3 (são minerais muito pesados). Apenas um mineral possui densidade maior que 7 (a behierita, que é um mineral extremamente pesado).



De modo geral, os minerais desta classe são biaxiais ou uniaxiais (apenas quatro minerais são isotrópicos); poucos minerais desta classe possuem relevo maior que 1,700 (apenas 20 minerais possuem $\alpha > 1,700$, e destes apenas quatro minerais possuem $\alpha > 1,900$). Entre os minerais isotrópicos, o relevo é moderado positivo. Onze minerais possuem birrefringência baixa ($\delta < 0,0120$), trinta e seis possuem birrefringência alta ao extremo ($\delta > 0,0550$), e a grande maioria dos minerais desta classe possui birrefringência moderada a alta.

Em temperaturas baixas existe a tendência de os boratos serem substituídos por carbonatos, e a altas temperaturas, esse processo tende a inverter. Boratos são substituídos por carbonato nos processos de alteração, e tem sido observada a formação de boratos a partir de carbonato em metamorfismo de contato. O boro é um dos elementos mais solúveis, sendo transportado por soluções aquosas contendo Cl e OH e, especialmente F, com que tem forte afinidade química. Dessa forma, os boratos fazem parte dos produtos geológicos residuais, podendo ser encontrados em pegmatitos, hidrotermalitos, eflorescência e, principalmente, em sequências evaporíticas.

Entre os boratos comuns e/ou de importância econômica, as características gerais são:

- são minerais de dureza baixa ($D < 4$, com exceção da boracita que possui $D = 7-7,5$),
- são minerais de densidade baixa ($d_r < 2,6 \text{ g/cm}^3$, com exceção da boracita que possui $d_r = 2,91-3,1 \text{ g/cm}^3$),
- são minerais transparentes a translúcidos,
- são minerais de traço branco,
- são minerais de brilho não metálico (vítreo, ceroso/gorduroso, adamantino),
- são incolores em lâmina delgada,
- são minerais biaxiais (com exceção da tinalconita que é uniaxial),
- são minerais de relevo negativo a moderado positivo.

Os boratos possuem propriedade cristaloquímicas similares a dos silicatos e dos fluoretos de Al, pois podem polimerizar-se formando cadeias, camadas ou grupos múltiplos isolados. O grupo aniônico $[\text{BO}_3]^{3-}$ possui coordenação 3 (geometria triangular, número de coordenação = 0,174); isto se deve ao fato do íon B^{3+} , muito pequeno (raio = $0,23\text{Å}$), coordenar três O^{2-} (raio = $1,32\text{Å}$) em sua configuração estável. Como a carga do cátion central é 3 e existem três vizinhos bivalentes, a valência eletrostática é 1, ou seja, a força de ligação B-O é igual à unidade, portanto exatamente a metade da energia de ligação dos íons oxigênio. Desta forma, o grupo aniônico $[\text{BO}_3]^{3-}$ pode unir-se a outros íons tão fortemente quanto ao íon centralizador B^{3+} . Assim, o grupo aniônico $[\text{BO}_3]^{3-}$ pode unir-se a outro cátion B^{3+} , resultando em dois triângulos, unidos por um oxigênio em comum, formando o grupo aniônico $[\text{B}_2\text{O}_5]^{4-}$. Isto permite que um único O seja compartilhado por dois B ligando assim os triângulos da unidade fundamental dos boratos.

De modo semelhante, os triângulos BO_3 podem polimerizar-se, formando cadeias, camadas ou armações, unidas pelos íons de oxigênio. Como o número de coordenação do átomo B é 0,174, ou seja, próximo ao limite da estabilidade da coordenação 4, o boro também pode ocorrer em coordenação 4 (tetraédrica), formando o grupo aniônico BO_4 . Conhecem-se substâncias em que a estrutura fundamental do cristal é a cadeia de BO_2^- , de comprimento ilimitado, formada pela existência de oxigênios compartilhados em cada triângulo de (BO_3) , na qual cada um dos oxigênios compartilhados une dois triângulos adjacentes.

A maior parte dos boratos comuns é construída em torno de “folhas interrompidas” de triângulos BO_3 , nos quais todos os três oxigênios são compartilhados. As folhas são separadas por camadas de moléculas de água e unidas pelos íons sódio ou cálcio, resultando minerais ou cristais de baixa simetria, moles e bastante solúveis. É possível preparar uma estrutura tridimensional constituída exclusivamente de triângulos BO_3 , gerando a fórmula B_2O_3 , todavia esta apresenta baixa estabilidade e se desintegra rapidamente, produzindo vidro. Devido a este fato e a tendência de formar redes de triângulos BO_3 , algo desordenado, o boro é utilizado na fabricação de vidro como um “formador de redes”, de modo a impedir ou

dificultar a “formação de redes” de SiO_4 , sendo utilizado por este fato na preparação de vidros especiais de baixa densidade e elevada transparência.

A grande maioria dos boratos está associada a depósitos sedimentares (sequências evaporíticas marinhas e lagunares) e exalações vulcânicas. Também podem formar-se em escarnitos (metamorfismo de contato entre rochas carbonáticas e corpos intrusivos graníticos). Raramente de origem hidrotermal ou ígnea em rochas pegmatíticas graníticas.

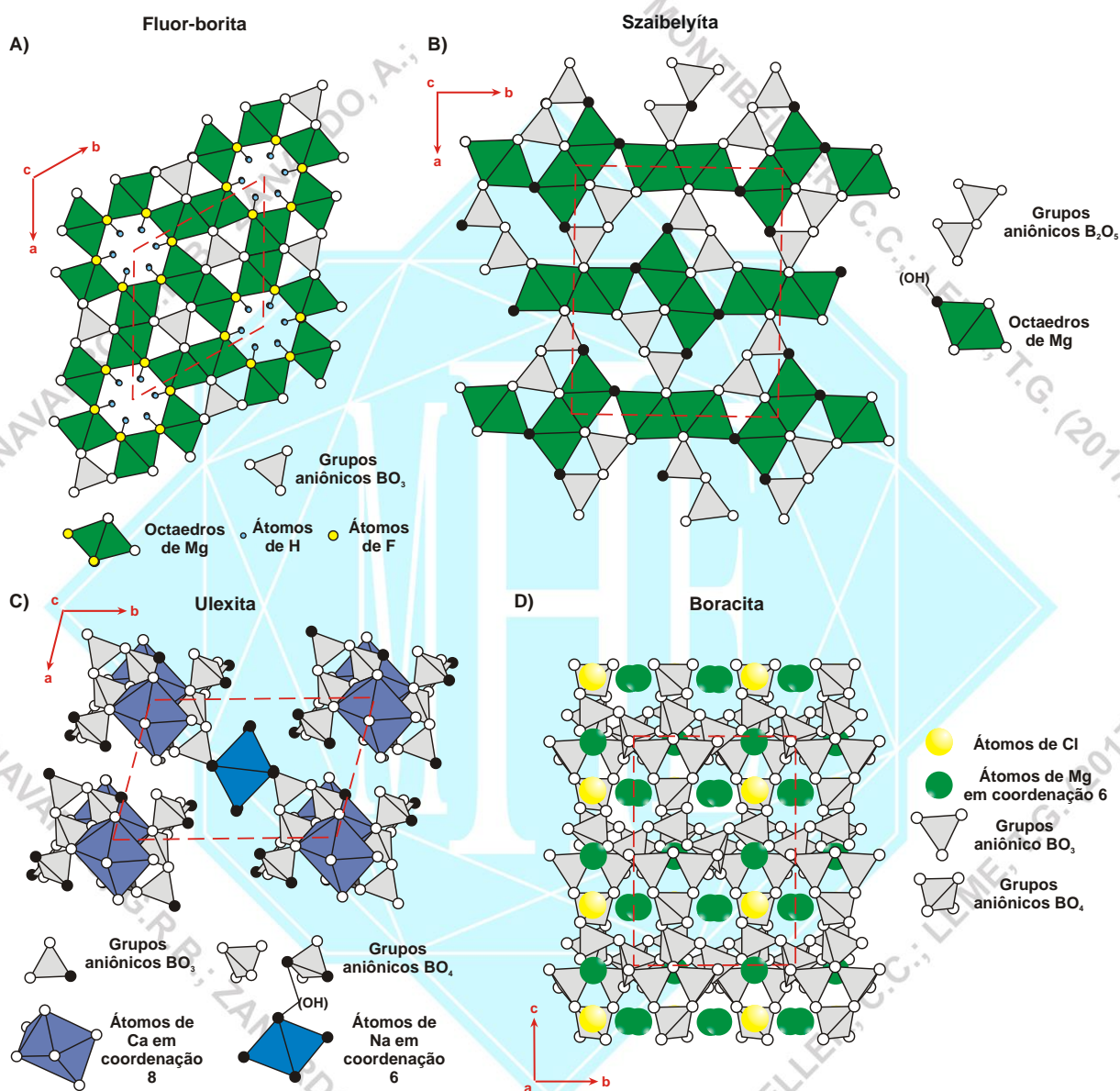


Figura 1 – Exemplos de estruturas de minerais do Grupo dos Boratos. A) estrutura da flúor-borita: grupos aniônicos BO_3 isolados (modificado de Camara & Ottolini, 2000). B) estrutura da szaibelyíta: grupos aniônicos B_2O_5 isolados (modificado de Takeuchi & Kudoh, 1975). C) estrutura da ulexita: arranjo em “folhas interrompidas” formadas por grupos aniônicos BO_4 e BO_3 e átomos de Ca e Na (modificado de Ghose et al., 1978). D) estrutura da boracita: arranjo tridimensional de grupos aniônicos BO_4 e BO_3 (modificado de Dowty & Clark, 1973).

Os boratos são a principal fonte de boro (B). O boro (utilização de seus compostos) é usado na fabricação de medicamentos, vidros, cerâmicas, fibras de vidro, vidrarias de borossilicato, detergentes e na metalurgia. Além disso, o boro é usado na fabricação de fibras especiais com alta resistência mecânica (de até 3600 Mpa), usadas na indústria aeroespacial. Também pode ser usado na fabricação de fogos de



artifício. O boro também é usado em reatores nucleares com a função controlar e até mesmo finalizar a reação de fissão nuclear em cadeia, pois o boro é um ótimo absorvente de nêutrons. Os boratos também são usados na fabricação do ácido bórico (HBO_3), que é utilizado na fabricação de inseticidas relativamente atóxicos (mata baratas, cupins, formigas, pulgas, etc.), como anti-séptico (para pequenas feridas ou queimaduras), como adubo e anti-chamas.

Lista dos BORATOS mais comuns

SECOS

Boracita $\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$

COM HIDROXILA

Szaibelyíta $\text{MgBO}_2(\text{OH})$

COM ÁGUA

| | | | |
|------------|---|----------|--|
| Bórax | $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ | Kernita | $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ |
| Colemanita | $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | Priceíta | $\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ou |
| Ulexita | $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ou | | $\text{Ca}_2\text{B}_5\text{O}_7 \cdot (\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ |
| | $\text{NaCaB}_2\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | | |

NAVARRO, G.R.B.; ZANARDO, A.;

MONTIBELLER, C.C.; LEME, T.G. (2017)



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Betejtin, A. 1970. **Curso de Mineralogia (2º edición)**. Traduzido por L. Vládov. Editora Mir, Moscou, Rússia. 739 p.
- Betekhtin, A. 1964. **A course of Mineralogy**. Translated from the Russian by V. Agol. Translation editor A. Gurevich. Peace Publishers, Moscou, Rússia. 643 p.
- Branco, P. M. 1982. **Dicionário de Mineralogia (2º edição)**. Editora da Universidade (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Porto Alegre, Brasil. 264 p.
- Branco, P. M. 2008. **Dicionário de Mineralogia e Gemologia**. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil. 608 p.
- Camara, F. & Ottolini, L. 2000. New data on the crystal-chemistry of fluoborite, by means of SREF, SIMS and EMP analysis. **American Mineralogist**, 85, p. 103-107.; http://webmineral.com/jpowd/JPX/jpowd.php?target_file=Fluoborite.jp#WSBIA-Q2zL8
- Dana, J. D. 1978. **Manual de Mineralogia (5º edição)**. Revisto por Hurlbut Jr., C. S. Tradução: Rui Ribeiro Franco. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, Brasil. 671 p.
- Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J. 1981. **Minerais Constituintes das Rochas – uma introdução**. Tradução de Luis E. Nabais Conde. Fundação Calouste Gulbenkian, Soc. Ind. Gráfica Telles da Silva Ltda, Lisboa, Portugal. 558 p.
- Dowty, E. & Clark, J. R. 1973. Crystal-structure refinements for orthorhombic boracite, $Mg_3B_7O_{13}Cl$, and a trigonal, iron-rich analogue. **Zeitschrift für Kristallographie**, 138, p. 64-99.; http://webmineral.com/jpowd/JPX/jpowd.php?target_file=Boracite_1.jp#WSGC6OQ2zL8
- Ghose, S.; Wan, C.; Clark, J. R. 1978. Ulexite, $NaCaB_5O_6(OH)_6 \cdot 5H_2O$: Structure refinement, polyanion, configuration, hydrogen bonding, and fiber optics. **American Mineralogist**, 63, p. 160-171.; http://webmineral.com/jpowd/JPX/jpowd.php?target_file=Ulexite.jp#WSGDfOQ2zL8
- Gribble, C. D. & Hall, A. J. 1985. **A Practical Introduction to Optical Mineralogy**. George Allen & Unwin (Publishers) Ltd, London. 249 p.
- Gribble, C. D. & Hall, A. J. 1992. **Optical Mineralogy Principles and Practice**. Chapman & Hall, Inc. New York, USA. 303 p.
- Heinrich, E. W. 1965. **Microscopic Identification of minerals**. McGraw-Hill, Inc. New York, EUA. 414 p.
- Kerr, P. F. 1965. **Mineralogia Óptica (3º edición)**. Traducido por José Huidobro. Talleres Gráficos de Ediciones Castilla, S., Madrid, Espanha. 432 p.
- Klein, C. & Dutrow, B. 2012. **Manual de Ciências dos Minerais (23º edição)**. Tradução e revisão técnica: Rualdo Menegat. Editora Bookman, Porto Alegre, Brasil. 716 p.
- Klein, C. & Hurlbut Jr., C. S. 1993. **Manual of mineralogy (after James D. Dana) (21º edition)**. Wiley International ed., New York, EUA. 681 p.
- Klockmann, F. & Ramdohr, P. 1955. **Tratado de Mineralogia (2º edición)**. Versión del Alemán por el Dr. Francisco Pardillo. Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, Espanha. 736 p.
- Leinz, V. & Campos, J. E. S. 1986. **Guia para determinação de minerais**. Companhia Editorial Nacional. São Paulo, Brasil. (10º edição). 150 p.
- Navarro, G. R. B. & Zanardo, A. 2012. **De Abelsonita a Zykaita – Dicionário de Mineralogia**. 1549 p. (inédito).
- Navarro, G. R. B. & Zanardo, A. 2016. **Tabelas para determinação de minerais**. Material Didático do Curso de Geologia/UNESP. 205 p.



GUILLERMO RAFAEL B. NAVARRO, ANTENOR ZANARDO, CIBELE CAROLINA MONTIBELLER,
THAIS GÜTZLAF LEME. (2017)

Livro de referência de Minerais Comuns e Economicamente Relevantes: BORATOS.
Museu de Minerais, Minérios e Rochas “Prof. Dr. Heinz Ebert”

Nesse, W. D. 2004. **Introduction to Optical Mineralogy (3^o edition)**. Oxford University Press, Inc. New York, EUA. 348 p.

Palache, C.; Berman, H.; Frondel, C. 1966. **The System of Mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury Dana, Volume II. Halides, Nitrates, Borates, Carbonates, Sulfates, Phosphates, Arsenates, Tungstates, Molybdates, etc.** John Wiley & Sons, Inc., New York (7^o edition). 1124 p.

Sinkankas, J. 1964. **Mineralogy for Amateurs**. Van Nostrand Reinhold Company, New York, EUA. 585 p.

Takeuchi, Y. & Kudoh, Y. 1975. Szaibelyite, $Mg_2(OH)[B_2O_4(OH)]$: Crystal structure, pseudosymmetry, and polymorphism. **American Mineralogist**, 60, p. 273-279.;
http://webmineral.com/jpowd/JPX/jpowd.php?target_file=Szaibelyite.jpX#.WSBK8uQ2zL8

Winchell, A. N. 1948. **Elements of Optical Mineralogy: an introduction to Microscopic Petrography, Part II. Descriptions of Minerals (3^o edition)**. John Wiley & Sons, Inc., New York (3^o edition). 459 p.

sites consultados:

www.handbookofmineralogy.org

www.mindat.org

www.mineralienatlas.de

<http://rruff.info>

www.smorf.nl

www.webmineral.com

NAVARRO, G.R.B.; ZANARDO, A.;

MONTIBELLER, C.C.; LEME, T.G. (2017)