OS DIAGRAMAS BA E BZA: UM CRITÉRIO PETROGRÁFICO DE CARACTERIZAÇÃO PRÉ-METAMÓRFICA UTILIZANDO OS ACESSÓRIOS APATITA E ZIRCÃO

JOÃO FERNANDO MARTINS HIPPERTT*

ABSTRACT THE BA AND BZA DIAGRAMS: A PETROGRAPHIC CRITERION OF PRE-METAMORPHIC CHARACTERIZATION UTILIZING APATITE AND ZIRCON ACCESSORIES. Two ratio diagrams employing modal biotite, modal apatite, and the ratio zircon (biotite)/zircon(total), named zircon-biotite association index (IAZB), are presented as a petrographic indicator of igneous or sedimentary origin in metamorphic rocks. Most of the parametamorphic rocks show lower apatite content (0.0 to 0.08%) and IAZB values (0.0 to 0.6) when compared to the ortometamorphic values (apatite, 0.01 to 0.25%; IAZB, 0.4 to 1.0). The results suggest that accessory zircon and apatite in igneous rocks can be interpreted as late blastic phases. Some corroborative textures are shown.

RESUMO Dois diagramas – BA e BZA – que relacionam biotita modal, apatita modal e a razão zircão (biotita)/zircão (total), denominada índice de associação zircão-biotita (IAZB), são apresentados como indicadores pré-metamórficos. Rochas parametamórficas, em geral, apresentam mais baixos teores de apatita (de 0 a 0,08%) e valores de IAZB (de 0 a 0,6) do que rochas ortometamórficas (apatita, de 0,01 a 0,25%, IAZB de 0,4 a 1,0). Os resultados sugerem que os minerais acessórios podem ser interpretados como minerais blásticos, tardios no processo magmático. Algumas imagens texturais corroborativas são apresentadas.

INTRODUÇÃO Apatita e zircão são os acessórios mais frequentes em rochas ígneas e metamórficas. A utilização desses minerais em interpretações petrogenéticas tem sido realizada, desde o começo do século, enfocando principalmente as características morfológicas dos cristais de zircão. Destacam-se os trabalhos de Poldervaart (1950, 1955, 1956), Hope (1963) e, mais recentemente, a metodologia de Puppier (1976, 1980).

As relações texturais dos acessórios, especialmente a associação destes com minerais essenciais, têm sido também aproveitadas por alguns autores como critérios de interpretação petrogenética (Moorhouse 1956, Bader 1961, Hippertt 1985).

Neste trabalho são propostos dois diagramas que podem ser utilizados para distinguir rochas orto e parametamórficas relacionando as variáveis biotita modal, apatita modal e a razão zircão (associado a biotita)/zircão (total), denominada *índice de associação zircão-biotita (IAZB)*. As justificativas que nortearam o trabalho de investigação sistemática dessas variáveis em diferentes tipos de rochas, e que culminaram com a obtenção dos diagramas, podem ser assim resumidas:

1. O IAZB, já utilizado no diagrama BZ de Hippertt (1985) (Fig. 1), mostrou ser um indicativo eficaz de caracterização pré-metamórfica: rochas magmáticas e ortometamórficas apresentam geralmente uma população de zircão predominantemente associada a lamelas de biotita ($0,4 < IAZB < 1,0$) enquanto que em rochas parametamórficas a distribuição de zircão é mais equilibrada entre biotita e demais minerais ($0 < IAZB < 0,6$).

2. As estimativas geoquímicas existentes apontam um teor médio de P_2O_5 nas rochas ígneas maior que o das rochas sedimentares comuns. Logo, seria de esperar que rochas ortometamórficas apresentassem, em geral, teores mais elevados de apatita que rochas metassedimentares.

MÉTODOS Para a confecção dos diagramas (Figs. 2 e 3) foram investigadas 60 amostras de origem previamente estabelecida por relações de campo e/ou geoquímicas: 19 rochas metassedimentares (principalmente xistos), 11 paragneisses, 11 ortogneisses e 19 rochas ígneas plutônicas (principalmente granitóides).

Figura 1 – Diagrama BZ, modificado (Hippertt, 1985)

Figure 1 – BZ diagram modified from Hippertt (1985)

A estimativa do teor de biotita nas seções delgadas foi realizada ou por contagem de pontos ou por comparação visual com tabelas de porcentagem. Já os teores de apatita, por estarem geralmente abaixo de 0,1%, não podem ser estimados por esses métodos convencionais. É necessário que pelo menos a metade da área da seção seja percorrida ao microscópio. Estima-se a área de cada grão encontrado do acessório utilizando-se uma ocular graduada. O diâmetro do campo de visão e a dimensão dos espaçamentos na ocular graduada podem ser facilmente medidos com um micrômetro de platina. Obtém-se ao final uma relação área total do acessório/área percorrida que pode expressar valores modais de até 0,001%. Deve-se ter em conta que esse valor retrata com precisão apenas a frequência do acessório na seção investigada, não tendo validade estatística na avaliação do conteúdo na rocha como um todo. Pode-se em uma seção obter-se 0,002% de apatita e em outra, da mesma rocha, 0,03%. Numa terceira se poderia encontrar 0,005%, ou seja, desvios superiores a 100%. Contudo, desvios dessa grandeza não são tão significativos para fins de utilização dos diagramas BA e BZA, já que significam pontos relativamente próximos nos diagramas. As diferenças entre os

* Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Campus do Morro do Cruzeiro, CEP 35400, Ouro Preto, MG, Brasil

teores de apatita correspondentes às áreas úteis dos dois campos são quase sempre superiores a 500% (Figs. 2 e 3). Portanto, apenas se ocorressem desvios nesta ordem – o que estatisticamente não acontece – não seriam válidas as determinações obtidas numa única seção delgada. Para a determinação do IAZB, pode-se utilizar o método descrito em Hippertt (1985).

Figura 2 – Rochas ígneas e metamórficas lançadas no diagrama BA

Figure 2 – Igneous and metamorphic rocks plotting in the BA diagram

Em ambos os diagramas as variáveis biotita modal e apatita modal são lançadas em escala logarítmica para melhor espalhamento dos pontos. Foram também arbitrados pontos de origem no cruzamento dos eixos com a finalidade de indicar amostras desprovidas de zircão e/ou apatita. Os segmentos de reta que vão da origem ao ponto inicial da escala logarítmica definem uma área graduada linearmente em que são lançadas amostras com teores de biotita e apatita abaixo de 1% e 0,001%, respectivamente.

No diagrama BZA, a projeção dos dados não pode ser pontual. É necessário um segmento de reta, cujo prolongamento defina nos eixos horizontais inferior e superior o valor das variáveis apatita modal e IAZB, respectivamente. A terceira variável (biotita modal) define o ponto mediano do segmento de reta (ver amostra *a* na Fig. 3).

Figura 3 – Ortogneisses e paragneisses lançados no diagrama BZA

Figure 3 – Orthogneisses and paragneisses plotting in the BZA diagram

DISCUSSÃO A previsão de que rochas ígneas e metaígneas deveriam apresentar teores mais elevados de apatita em relação às rochas de origem metassedimentar foi confirmada no diagrama BA. Essa distinção acontece principalmente

numa faixa para teores de biotita entre 2% e 20%, que corresponde portanto ao intervalo em que o diagrama tem aplicação como indicador pré-metamórfico.

Aproximadamente a metade das amostras de rochas de origem metassedimentar é desprovida de apatita. Considerando que todos os paragneisses e metassedimentos lançados nos diagramas são rochas de origem detrítica, pode-se justificar esse resultado como uma consequência da ausência de apatita detrítica em muitos sedimentos. Algumas amostras de gnaisses cálcio-silicáticos foram também quantificadas e apresentaram teores elevados de apatita (entre 0,1% e 1%), confirmando a afinidade do fosfato ao ambiente sedimentar químico. Essas amostras não foram lançadas nos diagramas por não apresentar, geralmente, dificuldade na identificação do caráter pré-metamórfico, já que são rochas portadoras de paragéneses minerais características.

As rochas ígneas e metaígneas distribuem-se no diagrama BA em dois campos distintos: o campo I, de rochas sem ou com muito pouca apatita e com biotita em pequenas quantidades (< 1%); e o campo II, com rochas de teor relativamente alto de apatita (de 0,01% a 0,25%) e quantidades de biotita entre 2% e 20%. Apenas três amostras de ígneas e metaígneas, entre as 30 lançadas no diagrama, não estão em um desses dois campos.

O que fica sugerido é a quantidade de biotita na rocha se relacionar de alguma maneira com o aparecimento do acessório apatita, sendo os teores de biotita entre 1% e 2% uma espécie de patamar acima do qual a formação de apatita é favorecida.

Se é verdadeira a interpretação clássica de Rosenbusch, que vincula os minerais acessórios (principalmente zircão e apatita em cristais idiomórficos) ao estágio inicial da cristalização magmática, como poderia o aparecimento desses minerais estar condicionado à quantidade de biotita, um mineral essencial formado posteriormente?

Alternativamente, uma interpretação dos acessórios como minerais blásticos, tardios no processo magmático (Moohouse 1956, Augustithis 1973, p. 59), pode justificar satisfatoriamente as relações observadas no diagrama BA: rochas com biotita, pela permeabilidade gerada nas interfaces de clivagem (001) deste mineral (Spry 1983, p. 14), devem favorecer a percolação/difusão das substâncias responsáveis pela cristalização dos acessórios. Os teores de biotita entre 1% e 2% devem representar um nível crítico abaixo do qual a mobilidade de soluções (ou íons) em rochas quartzo-feldspáticas é grandemente reduzida, entretanto inexistem até o presente estudos experimentais que confirmem essa assertiva. As fotos 1, 2, 3 e 4 mostram texturas que indicam a geração tardia de minerais acessórios.

O fato de apatita e zircão ocorrerem normalmente como inclusões em cristais de biotita pode ser explicado como consequência da nucleação desses minerais nas interfaces (001) da biotita, pela grande capacidade de adsorção de íons nessas superfícies (Vernon 1983, p. 54). A observação de que cristais de apatita, zircão e outros acessórios, quando inclusos em biotita, têm com muita frequência seus contornos – muitas vezes em planos não racionais – determinados pelas superfícies (001) da biotita (Foto 5) está também de acordo com essa possibilidade.

A área de superposição dos campos observada no diagrama BA pode ser reduzida utilizando-se uma terceira variável: o IAZB. O diagrama trivariante resultante (Fig. 3), apesar da pequena população de amostras, apresenta campos mais individualizados. Note-se que foram lançados no diagrama BZA muitos paragneisses, ortogneisses e granitóides da área de superposição do diagrama BA. Evidentemente não podem ser lançadas nesse diagrama amostras sem biotita e/ou zircão.

Deve ser salientado que neste tipo de representação a definição de um campo no diagrama não pode ser feita simplesmente com uma linha demarcatória. É necessário explicitar

Prancha 1 – 1. Zircão (Zr) incluído em quartzo (Qz). Notar que o cristal de zircão tem sua forma adaptada a uma fratura secundária (setas) e que a largura do cristal excede em muito a espessura da fratura, evidenciando um processo de substituição do quartzo por zircão (granito, Guarujá, SP); 2. Zircão (Zr) associado a fratura secundária (setas) determinando halo pleocróico em K-feldspato (Kf) (granito, Rondônia); 3. Apatita intersticial (ap) substituindo (ou corroendo) cristal de plagioclásio (Pl). Notar o controle exercido pelas lamelas de geminação (lei da albita) do plagioclásio no contorno da apatita (seta) (granito, Rondônia); 4. Íntima associação de zircão (Zr), apatita (ap) e inclusões fluidas (i) (quartzito, Suriname); 5. Ilmenita (i) e apatita (ap) como inclusões em biotita (Bi). Notar o forte controle exercido pelas superfícies de clivagem (001) da biotita no contorno das inclusões (setas) (granito, Rondônia)

Plate 1 – Different features of zircons

também a orientação dos segmentos na área demarcada.

CONCLUSÕES

1. Os diagramas BA e BZA podem ser utilizados como indicadores pré-metamórficos em rochas com teores de biotita acima de 2%, principalmente na caracterização orto/para em gnaisses.
2. Em muitos casos, os acessórios apatita e zircão podem ser interpretados, no processo magmático, como minerais blásticos tardios.
3. A associação de minerais acessórios com biotita pode resultar da percolação/difusão de substâncias e nucleação nas

interfaces (001) do filossilicato. Rochas quartzo-feldspáticas com quantidades de filossilicatos menores que 1%-2% não devem oferecer condições de permeabilidade e nucleação favoráveis à formação de minerais acessórios.

Agradecimentos

O autor agradece aos professores do Degeo/UFOP que gentilmente permitiram a utilização de suas coleções particulares de seções delgadas. Especial agradecimento é feito ao estudante Armando José Massucato, por seu entusiasmo e pelas muito proveitosas discussões do problema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUGUSTITHIS, S.S. 1973. *Atlas of the textural patterns of granites, gneisses and associated rock types*. 1 ed. Amsterdam, Elsevier. 378 p.
- BADER, H. 1961. Apatite und Zirkone als sedimentare Relikte in Metablastitgneises der Oberpfalz. *Neus Jahrb. Mineral., Monatsh.*, 1:169-179.
- HIPPERTT, J.F.M. 1985. A associação zircão-biotita como um critério petrográfico de caracterização pré-metamórfica. *Rev. Bras. Geoc.*, 15(4): 311-316.
- HOPE, G. 1963. Die verwertbarkeit morphologischer Erscheinungen an akzessorischen zu petrographischen Auswertungen. *Abh. Dtsch. Akad. Wiss. Berl., Kl. Bergbau Hunttenw. Montangeol.*, 1:1-130.
- MOORHOUSE, W.W. 1956. The paragenesis of the accessory minerals. *Econ. Geol.*, 51:248-262.
- POLDERVAART, A. 1950. Statistical studies of zircon as a criterion in granization. *Nature*, 165:574-575.
- POOLDERVAAT, A. 1955. Zircon in rocks. I. Sedimentary rocks. *Am. J. Sci.*, 253:433-461.
- POLDERVAART, A. 1956. Zircon in rocks. II. Igneous rocks. *Am. J. Sci.*, 254:521-544.
- PUPPIN, J.P. 1976. *Signification des caractères du zircon commun des roches en pétrologie. Base de la méthode typologique. Applications*. (Thèse Doct. Etat., Univ. Nice, France) 394 p.
- PUPPIN, J.P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73:207-220.
- SPRY, A. 1983. *Metamorphic textures*. 3 ed. Oxford, Pergamon Press. 352 p.
- VERNON, R.H. 1983. *Metamorphic process*. 2 ed. London, George Allen-Unwin. 247 p.

MANUSCRITO 572

Recebido em 26 de outubro de 1988

Revisão do autor em 28 de março de 1989

Revisão aceita em 28 de março de 1989

Com o aperfeiçoamento do transporte e acesso mais fácil a outras partes do mundo, os geólogos começaram a examinar rochas distantes de seus lugares nativos, para importar novos dados e para exportar suas idéias.

Charles L. Druke, 1987. *Episodes* 10(4):235