

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

GRANULITOS BÁSICOS E RELAÇÕES COM A CROSTA

Calvin da Silva Candotti¹, Fabricia Benda de Oliveira², Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira².

¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Programa de Pós-Graduação em Agricultura nos Trópicos Úmidos, Avenida André Araújo, 2936, Petrópolis – 69067-375 – Manaus-AM, Brasil, calvindasilvacandotti@gmail.com

²Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Alto Universitário, s/n, Guararema, Campus de Alegre, Alegre - ES, Brasil, fabricia.oliveira@ufes.br.

Resumo

O termo granulito básico ou granulito com dois piroxênios é utilizado para rochas metamórficas de alto grau que têm como protólito andesitos, basaltos, diorito máfico ou gabro. Essas rochas são importantes pois registram várias fases de deformação em regiões com espessamento tectônico e/ou magmático, e é fundamental na reconstrução crustal do Cráton Amazônico, região densamente vegetada, o que exige a aplicação de métodos remotos, como os utilizados pela geofísica. Aqui é apresentada uma revisão bibliográfica sobre granulitos, e é mostrado a importância que essas rochas têm na formação de crosta, e que possuem uma complexa relação de suas propriedades magnéticas e radiométricas associada aos eventos crustais, mas que são importantes para novas interpretações, sobretudo no Cráton Amazônico.

Palavras-chave: Metamorfismo. Espessamento. Cráton Amazônico.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra – Geociências.

Introdução

Os granulitos básicos são o manto, registram mais de uma fase de deformação, fornecem parâmetros sobre colisões (HARLEY, 1989; WATERS, 1989; EGYDIO-SILVA *et al.*, 2005), e expressam o *climáx* orogênico (DASGUPTA *et al.*, 1991). No Cráton Amazônico, por exemplo, o manto subiu em diacronismo com acreção crustal, marcada por subducções seguidas por colisões (TASSINARI; MACAMBIRA, 1999; SANTOS *et al.*, 2000). O cráton foi subdividido em províncias e os granulitos básicos são importantes para caracterizar as orogêneses entre elas (SANTOS *et al.*, 2000). Neste cráton, os granulitos são as porções mais profundas e ocorrem no Suriname (PRIEM *et al.*, 1971); no Brasil (Amapá e Roraima) (MONTALVÃO, 1976); na Guiana; Venezuela (GIBBS; OLSZEWSKY, 1982; GIBBS; BARRON, 1983); e Colômbia (PADILLA, 1990). Esses granulitos foram formados durante o Ciclo Transamazônico (2000 ± 300 Ma) (HURLEY *et al.*, 1968; PRIEM *et al.*, 1971; ALMEIDA; HASUI; BRITO NEVES, 1976). Essas idades permitem correlacionar o cráton com regiões cratônicas da África, Austrália, Canadá, Estados Unidos e Rússia (HURLEY *et al.*, 1968; PRIEM *et al.*, 1971; ALMEIDA; HASUI; BRITO NEVES, 1976).

Após o fim do Transamazônico, o cráton permaneceu estável, e em seguida, foi intrudido pelo vulcano-plutonismo anorogênico intraplaca Ciclo Atroaris (1800-900 Ma) (ISSLER; LIMA, 1987), e alguns granulitos sofreram anatexia crustal que deu origem a granitos tipo A rapakiviticos entre 1800-1400 Ma (MACAMBIRA *et al.*, 1990). A ocorrência de granulitos em regiões contíguas e/ou pontualmente em outras locais do cráton sugerem que os terrenos granulíticos foram separados do manto superior durante o Paleoproterozóico, e isótopos Sr, Pb e Nd indicaram que na sua evolução houve adição de material juvenil no Arqueano e Proterozóico, com retrabalhamento de antiga crosta continental (TASSINARI; MACAMBIRA, 1999). Porém, o cráton é coberto por densa vegetação superficial e com poucos afloramentos expostos. Nestas situações, análise de campo complementadas com métodos geofísicos indiretos de aeromagnetometria e gamaespectrometria elucidam a evolução geológica regional (JESSEL *et al.*, 1993). Sendo assim, aqui será apresentada uma revisão sobre algumas características dos granulitos básicos, aspectos evolutivos, relações com a crosta e aspectos geofísicos.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Metodologia

A revisão de literatura aqui proposta consultou artigos científicos publicados em periódicos, dissertações, teses, livros e relatórios técnicos. A revisão transita sobre:

- abordagem geral sobre granulitos básicos, ambientes e estilos de formação, terrenos granulíticos, e petrogênese dos granulitos básicos; modelos de exumação;
- propriedades magnéticas das rochas e dos granulitos básicos;
- propriedades radiométricas das rochas e dos granulitos básicos, K (Potássio), Th (Tório) e Urânio (U) em granulitos básicos.

Resultados

O metamorfismo na fácies granulítica é identificado com base em texturas e assembleias minerais (O'HARA, 1961), sendo que, a paragênese mineral anidra é a principal característica destas rochas (WINKLER, 1967 apud ARTH; HANSON, 1975). A textura granoblástica e a coexistência de orto e clinopiroxênio são os indicativos do metamorfismo, e as variações de ferro e magnésio nestes minerais indicam aumento ou diminuição do grau metamórfico dentro da fácies granulítica (HOWIE, 1955; BINNS, 1965). A presença de plagioclásio geminado indica um estado de evolução intermediário entre as rochas máficas protólitos e seus metamorfitos (BINNS, 1965). Os granulitos básicos têm origem através de reações entre massas intrusivas ultramáficas e suas rochas encaixantes, processo que envolve altas temperaturas e transformações mineralógicas (O'HARA, 1961). A movimentação de granulitos desde o manto até a crosta é acompanhada pela migração de fluídos que causa estabilidade mineral, fusão parcial, transferência de calor, metassomatismo (VALLEY; O'NEIL, 1984) e transformações texturais influenciadas pela passagem de CO₂ (KORNPROBST, 2002). Durante a transição de um grau metamórfico baixo para alto há redução da atividade de água, e as rochas básicas, ao atingirem a fácies granulitos em 800-850°C e 900-1000 bars, mudam a texturas, e às vezes a estrutura, tornando-se gnaisses com dois piroxênios (BINNS, 1964). Os granulitos básicos têm dobramentos por fluxo que indicam atuação da deformação plástica com presença de fluídos e, caso haja minerais crescendo, essa fase fluída pode ficar presa como inclusões que fornecem a composição dos fluídos, que nos granulitos, são compostos por CO₂, embora possa ter formação de NaCl em cubos (TOURET, 1971). Em alguns casos, o metamorfismo granulítico ocorre entre 700 e 800°C, pressão entre 6 e 8 kbar, cerca de 20 a 30 km de profundidade, e é relacionado com a diminuição da pressão de vapor d'água causado pela presença de CO₂ na fase fluída (TOURET, 1971).

Os granulitos básicos representam porções profundas da crosta, contribuem para o entendimento de regiões onde ocorreu espessamento crustal/tectônico, e são o resíduo da fusão provocada pelo *underplating* básico em crosta granítica, processo que provoca ultrametamorfismo, quebra da hornblenda, e que produz fusões granodioríticas e um resíduo rico em piroxênio (granulito básico), que sofrem retrometamorfismo ao subir à crosta (FYFE, 1973). Caso o *underplating* continue após a formação dos granulitos, estes podem sofrer fusão, gerando rochas graníticas, resultando em espessamento crustal (CONDIE; HUNTER, 1976). O crescimento crustal ocorre com a geração de granulito em duas ocasiões: deposição de cumulados da cristalização fracionada ou resíduos refratários da fusão parcial; ou espessamento causado por empurrões e imbricamento que colocam fatias do manto (e de granulitos) dentro da crosta superior (TARNEY; WINDLEY, 1977). Existem situações em que granulitos básicos formam-se em 1150 ± 100°C e 15 ± 3 kbar, e esse processo é acompanhado por anatexia e alojamento de granodioritos por correntes de convecção que transferem calor (e massa) para a crosta superior (O'HARA; YARWOOD, 1978). Em outros casos, granulitos básicos formados em 8 kbar e 750-800°C ocorrem como fatias em rochas sedimentares em um processo que combina rifteamento seguido por transcorrência e compressão que causam espessamento tectônico e gera zonas de cisalhamento (VIELZEUF; KORNPROBST, 1984). Zonas com lineamentos estruturais extensos exibem granulitos básicos e rochas máficas a ultramáficas e tais rochas possuem evidências de catáclase e retrometamorfismo na fácies anfibolítica (AZAMBRE; RAVIER, 1978). Em seguida, a erosão das camadas superiores expõe os granulitos. Granulitos básicos expostos por esforço compressivo possuem lineação de estiramento mineral de alto ângulo, evidência de encurtamento crustal, verticalização de planos, e associação com zonas de cisalhamento que os conduzem até níveis mais rasos concomitante com o retrometamorfismo na fácies anfibolítica (SANDIFORD, 1985).

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Os granulitos máficos têm origem na porção da crosta em que ocorre fusão parcial, são comuns em margens de placas ativas, e a sua exposição em zonas mais rasas da crosta durante espessamento tectônico ou magmático pode demandar um ou dois ciclos orogênicos em conjunto com erosão de porções superficiais (ELLIS, 1987). Estes granulitos residem por um tempo na crosta profunda antes de sofrer ascensão e exposição (ELLIS, 1987). Podem surgir em contextos colisionais e extensionais e atingem o pico máximo de temperatura e/ou deformação antes do seu resfriamento na crosta, e até que se resfriam por completo, fornecem calor para que ocorra metamorfismo nas rochas encaixantes (BOHLEN, 1987). Ainda, anfíbolitos e/ou xistos-verde presentes em zonas de cisalhamento indicam metamorfismo retrogrado devido à infiltração de água (YARDLEY, 1989; BEST, 2003). Estas relações caracterizam um terreno granulítico, que pode ser constituído por um ou mais tipos de rochas, variando entre ortognaisses máficos e félsicos, e paragnaisses de protólitos pelíticos (HARLEY, 1989). Estas rochas vão preservar mais de uma fase de metamorfismo e deformação em resposta ao aquecimento e resfriamento das intrusões dos magmas básicos e estilos tectônicos envolvidos (WATERS, 1989). Muitos terrenos granulíticos vão preservar fábricas planares consistentes com extrema extensão durante extração das fusões como diápiros ascendentes (BEST, 2003). Algumas características estruturais envolvendo terrenos granulíticos (HARLEY, 1989):

- estruturas planas pré a sin metamórficas reclinadas devido ao forte achatamento e megaboudins e dobras em bainha. Indicam alta deformação de cisalhamento envolvendo compressão ou extensão. Dentro dessas zonas, fábricas ígneas podem ser encontradas;
- dobras de baixo ângulo ou planos verticais que redobram as primeiras dobras e fábricas ígneas e metamórficas. Reajustes texturais sob condições granulíticas continuam após esse redobramento. Dobras mesoscópicas são quase coaxiais com a deformação anterior, e sugere-se um contínuo entre a) e b);
- a geologia pós-metamórfica dentro do terreno granulítico consiste em enxames de diques, pseudotaquilites e milonitos, e zonas de cisalhamento de retrometamorfismo;
- as zonas de cisalhamento informam sobre movimento do fluido e recristalização. Estas zonas contêm parte dos mecanismos que incorporaram os granulitos na crosta;
- história evolutiva fica registrada nas microtexturas, que auxiliam na reconstrução de trajetória t-T-P;
- são delimitados por zonas de cisalhamento.

As assembleias minerais diagnósticas da fácies granulito em rochas metabásicas são: ortopiroxênio + clinopiroxênio + plagioclásio $\pm$ hornblenda $\pm$ (baixa pressão); granada + clinopiroxênio + ortopiroxênio + plagioclásio $\pm$ hornblenda (média pressão); e granada + clinopiroxênio + quartzo + plagioclásio $\pm$ hornblenda (alta pressão) (YARDLEY, 1989; BEST, 2003); e minerais opacos, eventualmente, estão presentes (BINNS, 1963; 1964). A granulitização dessas rochas máficas é diacrônica com a diferenciação e cristalização dos seus magmas precursores que penetram na crosta (VIELZEUF et al., 1990; NICOLLET, 1990; BOHLEN, 1991), à medida que fornecem calor para que as rochas encaixantes também atinjam as fácies granulítica (CLEMENS, 1990). A ascensão do magmatismo básico é acompanhada por influxo de CO₂ responsável pelas reações de desidratação que dão surgimento às paragenes granulíticas a partir 700 °C (KORNPORST, 2002), 650 °C (CHEN; GRAPES, 2007), podendo ser de até 820 °C ou 1000 °C (DASGUPTA et al., 1991; PATTINSON et al., 2003) nos granulitos máficos, e profundidade de 30-40km (BEST, 2003). As reações minerais e o posicionamento tectônico dos granulitos máficos ocorrem nas porções centrais basais dos orógenos, cinturões metamórficos e cadeias de montanhas (DASGUPTA et al., 1991; EGYDIO-SILVA et al., 2005). Em seguida serão exumados por contração orogênica envolvendo empilhamento e inclinação de fatias crustais na formação de estruturas de dobras em *nappe* (BUCHER; GRAPES, 2011). Alguns são encontrados no topo de *horts* (NETO et al., 2016). Também pode ocorrer de três principais maneiras, reflexo de diferentes estilos tectônicos (CACHAPUZ; BENTO DOS SANTOS, 2020), e que causam espessamento crustal e geração de cadeias de montanhas, elementos morfoestruturais que têm expressão considerável na morfologia de uma região: i) exumação associada a domos migmatíticos em ambiente extensional com adelgaçamento crustal e *upwelling* astenosférico; ii) exumação ao longo de zonas de cisalhamento profundas com extrusão por *channel flow*; iii) exumação por transpressão ao longo de mega-estruturas em flor positiva.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

As propriedades magnéticas em uma rocha têm origem a partir da presença de minerais óxidos opacos constituídos por Fe-Ti-Mg, e de minerais de outras famílias de silicatos e nativos (CLARK, 1983). A magnetita é o mineral mais abundante, e embora esteja presente em muitas rochas, a oxidação deutérica faz com que rochas de diferentes histórias de resfriamento tenham distintas propriedades magnéticas, ainda que tenham mesma composição química (GRANT, 1985a). Durante o metamorfismo regional progressivo a magnetita secundária pode ser produzida em todos os estágios, sendo que em condições de alto grau, se forma durante a quebra de biotita e hornblenda; e tanto a magnetita primária como a secundária, podem ser destruídas pela fusão ou metamorfismo de baixo grau (GRANT, 1985b). A magnetização da magnetita é mais intensa quando o cristal cresce com eixo [111] paralela à direção do campo magnético, indicando que a intensidade de susceptibilidade magnética da rocha é vinculada a processos que tendem a orientar cristais de acordo com a direção do movimento, como o que acontece durante o fluxo magmático ou fluxo induzido por esforços tectônicos (VALÊNCIO, 1980; VIERO et al., 1992). Quando a aeromagnetometria é utilizada em terrenos metamórficos de alto grau, é possível verificar que os granulitos básicos mostram altos valores de magnetização, embora, em zonas de cisalhamento retrógradas na fácies anfibolítica, os valores tendem a diminuir (WESTBROOK, 1974). Mais algumas considerações sobre o magnetismo na crosta (MAYHEW et al., 1985; SCHLINGER, 1985; SKILBREI et al., 1991): 1) aumenta com o grau metamórfico e a basicidade das rochas; 2) os granulitos básicos são as rochas mais magnetizadas; 3) os granulitos formam as zonas mais magnéticas mais extensas lateralmente logo acima da Moho; 4) o magnetismo em granulitos básicos pode ser até 5 vezes maior do que rochas básicas na fácies anfibolítica; 5) durante o retrometamorfismo dos granulitos tem surgimento de ilmenita, outros óxidos de Fe e Ti, silicatos, hornblenda e esfero, sendo que, esse processo ocorre devido ao fornecimento de Fe e Ti pelo piroxênio dentro de zonas de fraqueza e/ou zonas miloníticas em regime dúctil, situações onde a ação da água é facilitada.

A radioatividade na natureza tem origem cósmica (1), de gases atmosféricos (2) e de radioelementos da Terra (3), e neste último caso, há possibilidade de se utilizar aerogamespectrometros para realizar a contagem dos elementos para fins geológicos (MOXHAM, 1963). Os elementos radioativos são utilizados como indicadores de composição química de partes da crosta, sendo que o Potássio (K), Urânio (U) e Tório (Th) estão presentes na crosta continental e na superfície da Terra, no entanto, as zonas mais profundas são depletadas nesses elementos (HEIER, 1965). A radioatividade natural das rochas depende dos teores de K, U e Th, e a distribuição e abundância destes elementos pode ter dependência da química da rocha e de processos tectônicos (WOLLENBERG; SMITH, 1972). Granulitos são refratários e têm baixos teores de elementos produtores de calor, sendo esgotados em K, Th e U devido à remoção por fluídos ricos em CO₂ durante o metamorfismo e anatexia (FYFE, 1973; TARNEY; WINDLEY, 1977). No entanto, em algumas ocasiões, a concentração de K possa ser similar a anfibolitos próximos (HEIER, 1973); Th pode ser marcante em camadas ricas em biotita em granulitos básicos bandados; U pode enriquecer nas margens do complexo granulítico; e K pode variar de acordo com a natureza do feldspato presente, embora apenas a porção superior da crosta apresente maiores teores deste elemento (SCHARBERT et al., 1976). Zonas de falha vão facilitar a perda U e Th, e da percolação de fluídos hidrotermais trazendo novas concentrações e variantes destes elementos, principalmente na fase pós-metamórfica/pós-deformação, quando também pode haver incorporação de K no sistema para formar microclina (BURWASH, 1979). O metassomatismo incorpora (além de K) o U e o Th no sistema, provocando eventuais distribuições bimodais destes elementos, que em decorrência de falhas, fraturas e suturas, podem ocorrer dispostos em *trends* (BURWASH, 1979). Tais elementos químicos são uns dos responsáveis pela distribuição vertical do regime térmico da Terra (BAER, 1981), facilitado pelas zonas de milonitização. Nessas zonas, a deformação dúctil envolvendo a participação de fluídos tem potencial para mobilizar e redistribuir os elementos radioativos, que irão aumentar a concentração na medida em que o *strain* aumenta, influenciando a temperatura e refletindo na formação de texturas de deformação e outros indicadores térmicos (KETCHAM, 1996). No manto inferior, o calor produzido é transportado por convecção termal associada com deformação por *slow solid state creep*, e no manto superior os elementos U, Th e K são removidos por sucessivos episódios de formação da crosta (PLANT; SAUNDERS, 1996).

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Conclusão

Os granulitos básicos têm papel fundamental na identificação de locais em que ocorreram espessamento crustal e, de fato, sua ocorrência em regiões do Cráton Amazônico é importante. Identificar as características magnéticas e radiométricas dessas rochas neste cráton podem trazer novas interpretações sobre evolução crustal.

Referências

- ALMEIDA, F. M. de, HASUI, Y., BRITO NEVES, B. B. de. The upper Precambrian of South America. **Boletim do Instituto de Geociências**, 7:45-80, 1976.
- ARTH, J. G., HANSON, G. N. Geochemistry and origin of the early Precambrian crust of northeastern Minnesota. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 39, 325-362, 1975.
- AZAMBRE, B., RAVIER, J. Les écaïlles de gneiss du faciès granulite du Port de Saleix et de la région de Lherz (Ariège), nouveaux témoins du socle profond des Pyrénées. **Bull. Soc. géol. France**, 7, 221-228, 1978.
- BAER, A. J. Geotherms, evolution of the lithosphere and plate tectonics. **Tectonophysics**, 72, 203-227, 1981.
- BEST, M. G. **Igneous and metamorphic petrology**. 2ª Ed. Blackwell Publishing, 2003. 758p.
- BINNS, R. A. **Metamorphic pyroxenes from the Broken Hill district, New South Wales**. 320-338, 1962.
- BINNS, R. A. **Zones of progressive regional metamorphism in the Willyama Complex, Broken Hill district, New South Wales**. Journal of the Geological Society of Australia: An International Geoscience Journal of the Geological Society of Australia, 283-330, 1964.
- BINNS, R. A. **The mineralogy of metamorphosed basic rocks from the Wylliana Complex, Broken Hill district, New South Wales. Part II: pyroxenes, garnets, plagioclase, and opaque oxides**. Mineralogical Magazine, 272, 561-590, 1965.
- BOHLEN, S. R. On the formation of granulites. **Journal of metamorphic Geology**, 9, 223-229, 1991.
- BOHLEN, S. R. Pressure-Temperature-Time Paths and a Tectonic Model for the Evolution of granulites. **Journal of Geology**, 95, 617-632, 1987.
- BUCHER, K. R., GRAPES, R. **Petrogenesis of metamorphic rocks**. 8ª Ed. Springer, 2011. 441p.
- BURWASH, R. A. Uranium and thorium in the Precambrian basement of western Canada. II. Petrologic and tectonic controls. **Can. J. Earth Sci.**, 16, 472-483, 1979.
- CACHAPUZ, P., BENTO DOS SANTO, T. Os granulitos enquanto evidências do clímax térmico em orógenos: caracterização, origem e enquadramento tectônico. **GEONOVAS**, 33(1-2), 125-136, 2020.
- CHEN, G. N., GRAPES, R. **Granite genesis: in-situ melting and crustal evolution**. Springer, 285p, 2007.
- CLARK, D. A. Comments on magnetic petrophysics. **Bull. Aust. Soc. Explor. Geophys.**, 14, 49-62, 1983.
- CLEMENS, J. D., The granulite – granite connexion. In: VIELZEUF, D., VIDAL, P. (eds.). **Granulites and Crustal Evolution**, 25-36, 1990.
- CONDIE, K. C., HUNTER, D. R. Trace Element Geochemistry of Archean Granitic Rocks from the Barbeton Region, South Africa. **Earth and Planetary Science Letters**, 29, 389-400, 1976.
- DASGUPTA, S., SENGUPTA, P., FUKUOKA, M., BHATTACHARYA, P. K. Mafic granulites from the eastern Ghats, India: further evidence for extremely high temperature crustal metamorphism. **Geological Notes**, 124-133, 1991.
- EGYDIO-SILVA, M., VAUCHES, A., RAPOSO, M. I. B., BASCHOU, J., ULHEIN, A. Deformation regime variations in an arcuate transpressional orogen (Ribeira belt, SE Brazil) imaged by anisotropy of magnetic susceptibility in granulites. **Journal of Structural Geology**, 27, 1750-1764, 2005.
- ELLIS, D. J. Origin and evolution of granulites in normal and thickened crusts. **Geology**, 15:167-170, 1987.
- FYFE, W. S. The granulite facies, partial melting and the Archean crust. **Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.**, 273, 457-461, 1973.
- GIBBS, A. K., BARRON, C. N. The Guiana Shield Reviewed. **Episodes**, 1(2), 7-14, 1983.
- GIBBS, A. K., OLSZEWSKY, W. J., Zircon U-Pb ages of Guyana Greenstone-Gneiss Terrane. **Precambrian Research**, 17, 199-214, 1982.
- GRANT, F. S. Aeromagnetic, geology and ore environments, II. magnetit and ore environments. **Geoexploration**, 23, 335-362, 1985b.
- GRANT, F. S. Aeromagnetism, geology and ore environments, I. magnetite in igneous, sedimentar and metamorphic rocks: an overview. **Geoexploration**, 23, 303-333, 1985a.
- HARLEY, S. L. The origins of granulites: a metamorphic perspective. **Geological Magazine**, 126 (3), 215-331, 1989.
- HEIER, K. S. Geochemistry of granulite facies rocks and problems of their origin. **Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.**, 273, 429-442, 1973.
- HEIER, K. S. Radioactive elements in the Continental Crust. **Nature**, 208, 479-480, 1965.
- HOWIE, R. A. **The Geochemistry of the Charnokite Series of Madras, India**. 725-768, 1955.
- HURLEY, P. M., MELCHER, G. C., PINSON, W. H., FAIRBAIRN, H. W. Some Orogenic Episodes in South America by K-Ar and whole-rock Rb-Sr dating. **Canadian Journal of Earth Sciences**, 5, 633-638, 1968.
- ISSLER, R. S., LIMA, M. I. C. de. Amazonian Craton (Brazil) Granitogenesis and its Relation to Geotectonic Units. **Revista Brasileira de Geociências**, 17(4), 426-441, 1987.
- JESSELL, M. W., VALENTA, R. K., JUNG, G., CULL, J. P., GEIRO, A. Structural Geophysics. **Exploration Geophysics**, 24, 599-602, 1993.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

- KETCHAM, R. A. Distribution of heat-producing elements in the upper and Middle crust of southern and west central Arizona: Evidence from the core complexes. **Journal of Geophysical Research**, 101, 611-632, 1996.
- KORNPORST, J. **Metamorphic rocks and their geodynamic significance: A petrological handbook**. Kluwer Academic Publishers, 225p, 2002.
- MACAMBIRA, M. J. B., LAFON, J.-M., DALL'AGNOL, R., COSTI, H., JOÃO, X. da S. J. Geocronologia da Granitogênese da Província Amazônica Central Brasileira: uma Revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, 20(1-4), 258-266, 1990.
- MAYHEW, M. A., JOHNSON, B. D., WASILEWSKI, P. J. A Review of Problems and Progress in Studies of Satellite Magnetic Anomalies. **Journal of Geophysical Research**, 90, 2511-2522, 1985.
- MONTALVÃO, R. M. G. de. Esboço Geológico – Tectônico do Cráton Guianês. **Revista Brasileira de Geociências**, 6, 230-245, 1976.
- MOXHAM, R. M. Natural radioactivity in Washington County, Maryland. **Geophysics**, 2, 262-272, 1963.
- NETO, R. M., MOREIRA, J. A., ANDRADE, A. P., MOURA, T. C. Horst do Caparaó: influências morfoestruturais e morfotectônicas na dinâmica e evolução do relevo. **Geographia Meridionalis**, 2(2), 173-193, 2016.
- NICOLLET, C. Crustal evolution of the granulites of Madagascar. In: VIELZEUF, D., VIDAL, P. (eds.). **Granulites and Crustal Evolution**, 291-310, 1990.
- O'HARA, M. J. Zoned Ultrabasic and Basic Gneiss Masses in the Early Lewisian Metamorphic Complex at Scourie, Sutherland. **Journal of Petrology**, 2, Part 2, 248-276, 1961.
- O'HARA, M. J., YARWOOD, G. High pressure-temperature point on an Archean geotherm, implied magma genesis by crustal anatexis, and consequences for garnet-pyroxene thermometry and barometry. **Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.**, 288, 441-456, 1978.
- PADILLA, J. A. G. Las granulitas en Colombia. **Boletín de Geología de Bucaramanga (Colombia)**, 19(4), 7-19, 1990.
- PATTINSON, D. R., M., CHACKO, T., FARQUHAR, J., MCFARLANE, C. Temperature of granulite-facies metamorphism: constraints from experimental phase equilibria and thermobarometry corrected for retrograde exchange. **Journal of Petrology**, 44(5), 867-900, 2003.
- PLANT, J. A., SAUNDERS, A. D. The radioactive Earth. **Radiation Protection Dosimetry**, 1-2, 25-36, 1996.
- PRIEM, H. N. A., BOELRIJK, N. A. I. M., HEBEDA, E. H., VERDURMEN, E. A. TH., VERSCHURE, H. Isotopic Ages of the Trans-Amazonian Acidic Magmatism and the Nickerie Metamorphic Episode in the Precambrian Basement of Suriname, South America. **Geological of America Bulletin**, 82, 1667-1680, 1971.
- SANDIFORD, M. The origin of retrograde shear zones in the Napier Complex: implications for the tectonic evolution of Enderby Land. **Journal of Structural Geology**, 7, 3-4, 477-488, 1985.
- SANTOS, J. O. S., HARTMANN, L. A., GAUDETTE, H. E., GROVES, D. I., MCNAUGHTON, N. J., FLETCHER, I. R. A New Understanding of the Provinces of the Amazon Craton Based on Integration of Field Mapping and U-Pb and Sm-Nd. **Gondwana Research**, 3(4), 453-488, 2000.
- SCHARBERT, H. G., KORKISCH, J., STEFFAN, I. Uranium, Thorium and Potassium in Granulite Facies Rocks, Bohemian Massif, Lower Austria, Austria. **Tschermaks Min. Pete Mitt**, 23, 223-232, 1976.
- SCHLINGER, C. M. Magnetization of lower crust and interpretation of regional magnetic anomalies: example from Lofoten and Vesterålen, Norway. **Journal of Geophysical Research**, 90, 484-504, 1985.
- SKILBREI, J. R., SKYSETH, T., OLESEN, O. Petrophysical data and opaque mineralogy of high-grade and retrogressed lithologies: implications for the interpretation of aeromagnetic anomalies in Northern Vestranden, Central Norway. **Tectonophysics**, 192, 21-31, 1991.
- TARNEY, J., WINDLEY, B. F. Chemistry, thermal gradients and Evolution of the lower continental crust. **Jl. geol. Soc. Lond.**, 134, 153-172, 1977.
- TASSINARI, C. C. G., MACAMBIRA, J. B. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. **Episodes**, 22(3), 174-182, 1999.
- TOURET, J. Le facies granulite on Norvege Meridionale. **Lithos**, 4, 423-436, 1971.
- VALÊNCIO, D. A. **El magnetismo de las rocas**. Buenos Aires: Eudeba, 351 p.
- VALLEY, J. W., O'NEIL, J. R. Fluid Heterogeneity during granulite facies metamorphism in the Adirondacks: stable isotope evidence. **Contrib. Mineral. Petrol**, 85, 158-173, 1984.
- VIELZEUF, D., CLEMENS, J. D., PIN, C., MOINET, E. Granites, granulites, and crustal differentiation. In: VIEZEUF, D., VIDAL, Ph. (eds.). **Granulites and Crustal Evolution**, 59-85, 1990.
- VIELZEUF, D., KORNPORST, J. Crustal splitting and the emplacement of Pyrenean Iherzolites and granulites. **Earth and Planetary Science Letters**, 67, 87-96, 1984.
- VIERO, A. P., ROISENBERG, A., COSTA, A. F. U. Relações Entre o Magnetismo e a Composição de Rochas Igneas. Aplicação no Complexo Básico de Lomba Grande, RS. **Pesquisas em Geociências**, 19(2), 115-119, 1992.
- WATERS, D. J. Metamorphic evidence for the heating and cooling path of Namaqualand granulites. In: J. S. Daly, R. A. Cliff, B. W. D. Yardley (eds.), **Evolution of Metamorphic Belts, Geology Society Special Publication**, 43:357-363, 1989.
- WESTBROOK, G. K. The South Harris Magnetic Anomaly. **Proc. Geol. Ass.**, 85, 1974.
- WOLLENBERG, H. A., SMITH, A. R. Geologic factors controlling terrestrial gamma-ray dose rates. **Meeting for Natural Radiation Environment II**, 1972.
- YARDLEY, B. W. D. **An introduction to metamorphic Petrology**. ELBS: London, ISBN 0 582 07300 6, 132 p, 1989.