

## ESTUDO DE ALTERAÇÕES EM ROCHAS ORNAMENTAIS – GRANULITOS DA REGIÃO DE CHOROZINHO (CE)

Anna Paula Lima Costa<sup>4</sup>, José Araújo Nogueira Neto<sup>1</sup>, Ariston Araújo Cajaty<sup>1</sup>, César Ulisses Vieira Veríssimo<sup>1</sup>, Ticiano Jozé Saraiva dos Santos<sup>2</sup>, Maria Angélica Batista Lima<sup>3</sup>, Mary Lucia da Silva Nogueira<sup>5</sup> e Alexandre M. Carvalho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará/DEGEO – Bloco 912 – Campus do PICI – Bairro PICI – 60.455-760 – Fortaleza – CE – E-mail: [nogueira@ufc.br](mailto:nogueira@ufc.br)

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas/DGRN – Caixa Postal 6152 – CEP 13.083-970

<sup>3</sup>Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial /DITEM – Av. Prof Rômulo Proença, s/n – Campus do PICI – 60.451-970 – Fortaleza- CE

<sup>4</sup>Mestrado em Geologia – Universidade Federal do Ceará – Campus do PICI – Bairro PICI – 60.455-760 – Fortaleza – CE – E-mail: [annacostac@bol.com.br](mailto:annacostac@bol.com.br)

<sup>5</sup>Bolsista de Iniciação Científica/ Universidade Federal do Ceará - Campus do PICI – Bairro PICI – 60.455-760 – Fortaleza – CF

### RESUMO

A região de Chorozinho situada na porção nordeste do Estado do Ceará, apresenta uma grande diversidade de rochas granulíticas com potencial para exploração como rocha ornamental. Entre os tipos ortoderivados predominam os gnaisses enderbíticos, enderbitos e charno-enderbitos, enquanto nos paraderivados ocorrem exclusivamente silimanita – granada gnaisses (khondalitos). As associações minerais são constituídas, respectivamente, por: ortopiroxênio (**opx**) + clinopiroxênio (**cpx**) + plagioclásio (**pl**) + quartzo (**qz**) ± granada (**grd**) ± biotita (**bt**) ± hornblenda (**hb**) nas ortoderivadas, e plagioclásio (**pl**) + feldspato-K (**k-fel**) + biotita (**bt**) + silimanita (**sil**) + granada (**grd**) + rutilo (**rut**) + ilmenita (**ilm**) nas paraderivadas. O conjunto paraderivado, foi submetido a fusão parcial em alguns setores, com geração de mobilizados de composição granítica, nos quais predominam as cores branca e bege. Tanto os silimanita - granada gnaisses, quanto os produtos resultantes da migmatização, apresentam as seguintes reações metamórficas: (i) **grd + rut** ↔ **ilm + pl + qz**; (ii) **grd + rut** ↔ **ilm + sil + qz**; (iii) **grd + k-fel + H<sub>2</sub>O** ↔ **bt + sil + qz** e (iv) **pl** ↔ **grd + sil + qz**. Nas reações (i) e (ii) são freqüentes feições em franjas e coroas reacionais, onde **ilm + rut** ocorrem envolvidas por finas faixas de **pl**, que por sua vez estão circundadas por grãos de **grd**. Os **pl** possuem teor em anortita variando entre 32,5 e 43,2 (An<sub>32,5-43,2</sub>), enquanto as **grd** são predominantemente do tipo almandina, de composição X<sub>Ca</sub> (0,039 – 0,058), X<sub>Fe</sub> (0,648 – 0,680), X<sub>Mg</sub> (0,255 – 0,289). As **bt** são principalmente magnesianas, tendendo a flogopita, com razões Fe/(Fe+Mg) entre 0,20 e 0,47. Tais associações ocorrem formando bandas máficas, que se alternam às bandas e porções quartzo-feldspáticas (nevulação). Partes dispersas dos maciços explorados, exibem manchas de alteração em tons amarelo a amarelo-ocre (*tipo Juparaná*) dispostas em faixas alternadas, resultando numa menor padronização do litotipo. As manchas ocorrem associadas às fraturas, sobretudo nas interseções entre estas e as bandas máficas. A percolação de água ao longo das fraturas, promove a quebra dos minerais primários que contém Fe<sup>+2</sup> (ilmenita, biotita) na estrutura cristalina, ocasionando a oxidação a Fe<sup>+3</sup>

e, a neoformação de oxi-hidróxido de ferro. Tanto os afloramentos como as frentes de lavra apresentam uma baixa penetrabilidade e freqüência de fraturas e nevulações, o que não constitui um problema para o seu aproveitamento e exploração como rocha ornamental.

### INTRODUÇÃO

Diversas ocorrências de rochas granulíticas na região de Chorozinho, nordeste do Ceará, têm demonstrado grande potencial exploratório como rochas ornamentais e de revestimento. Entretanto, algumas pontuações de alterações fazem com que haja perda da continuidade estética nos silimanita-granada-gnaisses, e mobilizados graníticos associados. Tais alterações, por outro lado, não estão distribuídas em toda a extensão dos afloramentos, não comprometendo, portanto a aplicação destes litotipos.

Abordaram-se no texto em epígrafe, as relações existentes entre a química mineral dos principais constituintes das rochas granulíticas paraderivadas, e os processos de alteração/alterabilidade que afetam as mesmas.

### LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA PESQUISADA

A área alvo de pesquisa esta enquadrada nas folhas Baturité (SB.24-X-A-I) e Beberibe (SB.24-X-A-II), totalizando uma superfície de aproximadamente 58 Km<sup>2</sup> (Figura 1), sendo delimitada pelos vértices exibidos na Tabela 1.

TABELA 1- Coordenadas UTM da área estudada

Nº Vértice	Coordenadas	
01	9529000	0552000
02	9529000	0560000
03	9522000	0560000
04	9522000	0556000
05	9518000	0556000
06	9518000	0552000

O acesso à área é efetuado pela BR 116, partindo-se de Fortaleza até o município de Chorozinho, distando aproximadamente 65 Km.

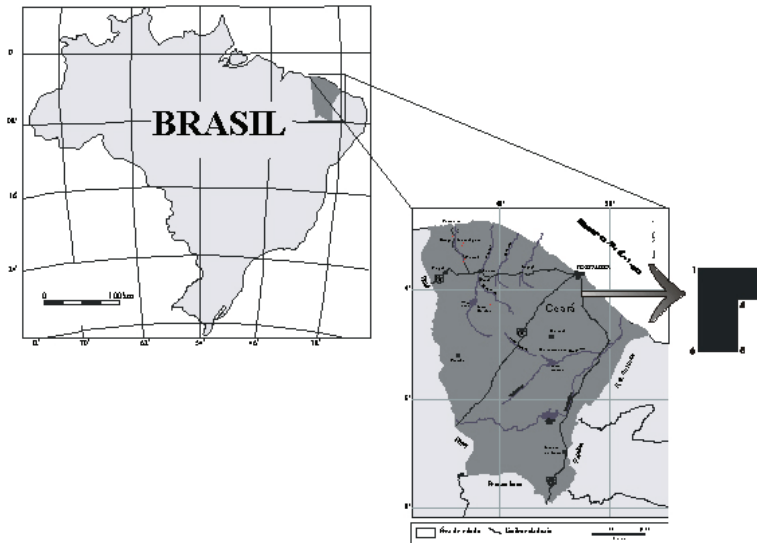


FIGURA 1 – Mapa de Localização de Área Estudada

### ARCABOUÇO GEOLÓGICO DA ÁREA: UMA SÍNTESE

A região que engloba o município Chorozinho (NE do Ceará), exibe uma seqüência de rochas metamórficas de alto grau, formada por silimanita - granada gnaisses, granada gnaisses, gnaisses enderbíticos, enderbitos e gonditos (Figura 2). O conjunto apresenta foliação principal segundo NE-SW com mergulhos entre 50° e 60° para SE, e por vezes, essa mesma foliação esta disposta de forma plano axial a dobras isoclinais em escalas diversas

(centimétricas a decamétricas). Em termos de feições rúpteis, são reconhecidas duas principais direções de fraturas, quais sejam, N85°E (265°Az)/vertical e N64°E (244°Az)/vertical, e em menor freqüência, são também registradas duas outras famílias, N72°E e N06°E, ambas verticais (Costa, 2000).

Quanto ao grau metamórfico, os litotipos granulíticos foram submetidos a temperaturas entre 770°C a 800°C, e pressões da ordem de 6 a 7 kbar (Almeida & Nogueira Neto, 1997; Moraes, 2000).

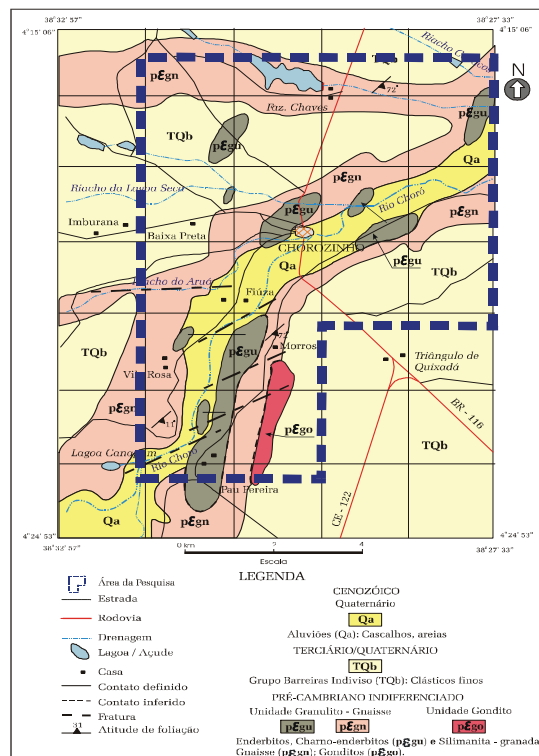


FIGURA 2 – Mapa Geológico da Região de Chorozinho (Ce) (Modificado de Moraes, 2000)

Os silimanita-granada gnaisses possuem associação mineral constituída por plagioclásio – feldspato potássico – quartzo – biotita - granada - sillimanita, e mostram estrutura bandada. As granadas são pré-cinemáticas, sendo envoltas pela foliação formada por biotitas ( $\pm$  sillimanita), que se alternam com bandas quartzo-feldspáticas.

Os enderbitos exibem textura granoblástica inequigranular, e registram associação com clinopiroxênio – ortopiroxênio – plagioclásio – hornblenda – granada – quartzo. Simplectitos de plagioclásios/piroxênios e coroas de reação em torno de granadas envolvidas por plagioclásios e piroxênios, são feições encontradas freqüentemente nessas rochas.

A área estudada, além de constituída pelas Unidades Pré-Cambrianas anteriormente discriminadas, é predominantemente recoberta por sedimentos Cenozóicos (Quadro 1).

Os litotipos que compõem o Pré-Cambriano foram individualizados, com base em dados estruturais, metamórficos, e de suas relações de contato, em duas unidades distintas: i – Unidade Granulito - Gnaisse; e ii – Unidade Gondito (Costa, 2000; Costa *et al.*, 2001). Quanto a origem dos protolitos, a Unidade Granulito – Gnaisse pode ser subdividida em Granulitos Paraderivados e Granulitos Ortoderivados, correspondendo respectivamente a silimanita-granada-gnaisses / granada gnaisses e enderbitos / gnaisses enderbíticos.

Os sedimentos Cenozóicos compreendem sedimentos do Grupo Barreiras (Terciário), coberturas colúvio-eluviais (Tércio-Quaternário) e depósitos flúvio-aluvionares (Quaternário).

**QUADRO 1 - Coluna Estratigráfica da Região de Chorozinho**

<b>CENOZÓICO</b>	
QUARTENÁRIO (Qa)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Depósitos flúvio-aluvionares e de mangues: Areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais, lacustres e estuarinos recentes.</li> </ul>	
<b>DISCORDANCIA</b>	
TÉRCIO-QUARTENÁRIO	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Coberturas colúvio-eluviais (TQc): Sedimentos areno-silto-argilosos, alaranjados e/ou avermelhados, de granulação fina a média, ocasionalmente mais grosseira, com horizontes lateritizados na base.             <ul style="list-style-type: none"> <li>Formação Barreiras (TQb): Sedimentos areno-argilosos, de coloração avermelhada, creme ou amarelada de aspecto mosqueado, mal selecionados, com níveis conglomeráticos e matriz argilosa caulínica com cimento argilo-ferruginosos e às vezes silicoso.</li> </ul> </li> </ul>	
<b>DISCORDANCIA</b>	
<b>PRÉ - CAMBRIANO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Complexo gnáissico</li> </ul>	Unidade Granulito - Gnaisse: silimanita - granada gnaisses; granada - biotita gnaisses migmatizados, enderbitos e charno - enderbitos. Unidade Gondito: Gonditos

## PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL

Considerando que a maior freqüência na ocorrência de alterações situa-se nos granulitos paraderivados, trataremos especificamente da petrografia e dados da química mineral destas rochas.

### **Granulitos Paraderivados (silimanita -granada-gnaisse/granada gnaisse)**

Estes litotipos ocorrem na porção sudeste da área, próximo a localidade de Morros, mais precisamente na Fazenda Ebenezer e na porção centro-norte da área (Fazenda Chaves), em afloramentos de extensões bastante expressivas.

Os silimanita-granada gnaisses apresentam texturas que variam de granoblásticas a granolepidoblásticas. Desenvolvem bandas "máficas" englobando granadas pré-cinemáticas, que por sua vez, estão envolvidas pela foliação formada por biotitas ( $\pm$  silimanita). As sessões estudadas da porção centro-norte da área (Fazenda Chaves), apresentam foliação pouco marcada, com variações entre bandas de cristalização quartzo-feldspáticas e mosaicos granoblásticos dos mesmos minerais. Apresentam granulação variando de média a grossa, de cor cinza a cinza-escuro. São reconhecidos quartzos, silimanita, feldspato, biotita, granada, rutilo, ilmenita e opacos.

Ao microscópio, os plagioclásios, em geral anedrais, mostram-se com geminação do tipo albita-periclina, contendo por vezes inclusões aciculares de silimanita. Estão intensamente sericitizados e predominam em quantidade sobre os feldspatos potássicos.

Os feldspatos potássicos apresentam-se anedrais, geralmente fraturados, correspondendo a mesoperititas predominantemente.

Os quartzos apresentam extinção ondulante, em geral estão associados aos feldspatos, originando bandas félsicas de recristalização, dentro das quais os contatos entre grãos são retos. Por outro lado, contatos côncavo-convexos são reconhecidos com freqüência nestas bandas, além de mosaicos granoblásticos.

Exibindo tamanhos variados, as biotitas ocorrem como lamelas, e em alguns casos exibem as linhas de clivagem preenchidas por opacos. Marcam a foliação quando presente.

As granadas, freqüentemente sob a forma de grãos pré-cinemáticos, estão bastante fraturadas e são envoltos pela foliação. Ocorrem também como pequenos grãos em agregados de reações metamórficas, com surgimento de fases minerais às suas expensas.

As silimanitas apresentam-se sob a forma de pequenas agulhas (fibrolitas), ao longo das bandas quartzo-feldspáticas, ou constituindo a foliação

juntamente com a biotita nas bandas máficas. Ocorrem também inclusas nos feldspatos.

Os minerais acessórios presentes são: rutilo, ilmenita, zircão e apatita.

A associação metamórfica mineral principal é formada por : plagioclásio + quartzo + biotita + granada + ortoclásio + silimanita ± ilmenita ± rutilo.

As reações metamórficas de surgimento dos minerais mais comuns, encontradas nas seções delgadas, são as seguintes:

- (i) Almandina + feldspato K + H<sub>2</sub>O ⇌ biotita + silimanita + quartzo  

$$\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12} + \text{KAlSi}_3\text{O}_8 + \text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow \text{KFe}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + \text{Al}_2\text{SiO}_5 + 2\text{SiO}_2$$
- (ii) granada + rutilo ⇌ ilmenita + plagioclásio + quartzo (Fig. 3)  

$$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12} + 2\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12} + 6\text{TiO}_2 \Leftrightarrow 6\text{FeTiO}_3 + 3\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + 3\text{SiO}_2$$
- (iii) granada + rutilo ⇌ ilmenita + silimanita + quartzo  

$$\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12} + 3\text{TiO}_2 \Leftrightarrow 3\text{FeTiO}_3 + \text{Al}_2\text{SiO}_5 + 2\text{SiO}_2$$
- (iv) anortita ⇌ granada + silimanita + quartzo  

$$3\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \Leftrightarrow \text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12} + 2\text{Al}_2\text{SiO}_5 + 2\text{SiO}_2$$



**FIGURA 3 – Reação metamórfica mineral envolvendo granada, rutilo, ilmenita, plagioclásio e quartzo. (AT=50X).**

Análises químicas minerais foram realizadas via microsonda eletrônica, com intuito de um melhor entendimento acerca das reações metamórficas presentes, e dos processos de alteração.

Os minerais analisados foram biotitas, granadas, feldspatos, ilmenitas e rutilos.

O cálculo das formulas estruturais obedeceu aos seguintes parâmetros: biotitas – base de 24 oxigênios (Deer *et al.*, 1972); granadas – base de 8 cátions, 12 oxigênios e proporções Fe<sup>+2</sup> e Fe<sup>+3</sup> (Knowles, 1987), com membros finais das granadas conforme Rickwood (1968); feldspatos – base de 32

oxigênios (Deer *et al.*, 1966); ilmenitas e rutilo, respectivamente com 9 e 10 oxigênios.

As biotitas apresentam relação estrutural correspondendo aos valores Si<sub>(5,559 - 5,898)</sub> Al<sup>IV</sup><sub>(2,102 - 2,440)</sub> Al<sup>VI</sup><sub>(0,561 - 1,348)</sub> Ti<sub>(0,274 - 0,510)</sub> Fe<sup>+2</sup><sub>(1,383 - 2,204)</sub> Mg<sub>(2,469 - 3,922)</sub> Ba<sub>(0,000 - 0,013)</sub> Ca<sub>(0,000 - 0,019)</sub> Na<sub>(0,008 - 0,042)</sub> K<sub>(1,668 - 1,992)</sub> O<sub>20</sub> (OH)<sub>4</sub>. Nesta configuração, as razões Fe/[Fe+Mg] variam de 0,26 a 0,47, posicionando as biotitas mais próximas ao extremo da annita (Mg/[Mg+Fe] = 1).

O conjunto das granadas definiu a fórmula Si<sub>(3,009 - 3,064)</sub> Al<sup>VI</sup><sub>(1,977 - 2,021)</sub> Cr<sub>(0,000 - 0,005)</sub> Ti<sub>(0,000 - 0,007)</sub> Fe<sup>+2</sup><sub>(1,936 - 2,266)</sub> Mg<sub>(0,513 - 0,891)</sub> Mn<sub>(0,046 - 0,069)</sub> Ca<sub>(0,066 - 0,166)</sub> Na<sub>(0,000 - 0,005)</sub> O<sub>12</sub>, resultando nos membros finais, almandina<sub>(65,29 - 77,05)</sub> - grossularita<sub>(2,13 - 5,51)</sub> - piropo<sub>(17,43 - 29,85)</sub> - espessartita<sub>(1,55 - 2,36)</sub> - uvarovita<sub>(0,00 - 0,25)</sub>.

Considerando as proporções entre albita-anortita para os plagioclásios, e albita-ortoclásio nos feldspatos alcalinos, as análises exibem respectivamente Ab<sub>(55,5 - 81,2)</sub> An<sub>(16,7 - 43,2)</sub> e Ab<sub>(12,7 - 22,6)</sub> Or<sub>(77 - 87,2)</sub>, correspondendo às relações, Si<sub>(10,11 - 11,98)</sub> Al<sub>(4,66 - 5,82)</sub> Ca<sub>(1,67 - 0,67)</sub> Na<sub>(2,142 - 3,265)</sub> K<sub>(0,036 - 0,096)</sub> e Si<sub>(11,93 - 11,97)</sub> Al<sub>(4,66 - 5,82)</sub> Ca<sub>(0,001 - 0,017)</sub> Na<sub>(0,525 - 0,909)</sub> K<sub>(3,09 - 3,51)</sub>. Assim, os plagioclásios variam de oligoclásio a andesina, e os feldspatos alcalinos como ortoclásio.

Ilmenitas e rutilos por diversas vezes ocorrem interescudidos, e apresentam as formulações respectivas: Fe<sup>+2</sup><sub>(3,09 - 3,38)</sub> Ti<sub>(3,30 - 3,38)</sub> O<sub>9</sub> e Fe<sup>+2</sup><sub>(0,003 - 0,015)</sub> Ti<sub>(4,87 - 4,99)</sub> O<sub>10</sub>. Opacos sob a forma de óxido de ferro foram também analisados, em que o Fe representa o ferro total, cujo resultado corresponde a Fe<sub>(9,793)</sub> Cr<sub>(0,10)</sub> Al<sub>(0,028)</sub> O<sub>10</sub>.

## ALTERAÇÕES

As reações metamórficas anteriormente indicadas em (i), (ii) e (iii) e a presença de óxido de ferro como mineral primário, demonstra potencial de alteração, por efeito de oxidação do Fe<sup>+2</sup> constituinte da composição de ilmenitas, biotitas e óxidos de ferro. Tal efeito ocorre via atuação de água na decomposição daqueles minerais, com formação de oxi-hidróxido de ferro (2 Fe<sup>+2</sup> + 2[OH]<sup>-</sup> + O<sub>2</sub> ⇒ 2FeOOH). Indícios deste processo são observados ao nível microscópico, pelas manchas ferruginosas ao longo de biotitas e ilmenitas, e também em afloramento, quando da interseção entre bandas máficas ricas naqueles minerais, e o conjunto de fraturas abertas (NE-SW) (Figura 4). Assim, a medida em que a água percola através das fraturas, ou descontinuidades outras, as porções da rocha mais susceptíveis de oxidação (Fe), desenvolverão alterações ferruginosas.





**FIGURA 4 – Interseção entre fraturas abertas NE-SW e bandas ricas em biotita, ilmenita, granada e opacos, exibindo alterações ferruginosas.**

## CONCLUSÕES

Considerando os aspectos da química mineral, associados aos dados de campo, podemos concluir:

- As alterações ferruginosas são preferencialmente encontradas nos silimanita-granada gnaisses e/ou seus produtos de fusão parcial (mobilizados);
- Quando ocorrem interseções entre fraturas abertas (NE-SW), e bandas ricas em minerais ferromagnesianos e óxidos, as alterações estão sempre presentes;
- Reações metamórficas envolvendo biotita, ilmenita, rutilo e granadas prestam-se como indutoras dos processos de alteração;
- As alterações ocorrem pelo efeito da liberação de  $Fe^{+2}$  de minerais como biotita, ilmenita e óxido de ferro, seguido de oxidação com formação de oxi-hidróxido de ferro, sob a forma de película ferruginosa;
- O processo de alteração esta restrito a porções pouco expressivas de alguns afloramentos, não comprometendo dessa forma, a exploração dos granulitos como rochas ornamentais.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Almeida, A.R. & Nogueira Neto, J.A. 1997. Granulitos de Chorozinho – CE: Evidências de Descompressão em Rochas Eclogíticas. In : XVII Simpósio de Geologia do Nordeste. Fortaleza, SBG. Boletim 15: p.243-246.
- Costa, A.P.L. 2000. Granulitos de Chorozinho (NE do Ceará): Levantamento Geológico e Caracterização Tecnológica como Rochas Ornamentais. Monografia de Graduação. Curso de Geologia – UFC. 64p.
- Costa, A.P.L.; Nogueira Neto, J.A.; Cajaty, A.A.; Lima, M.B.; Torquato, M.F.B.; Veríssimo, C.U.V. 2001. Granulitos de Chorozinho (NE do Estado do Ceará): Caracterização Tecnológica de Alguns Litotipos, Voltada ao Aproveitamento

Como Rochas Ornamentais. In: XVIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Recife, SBG. Boletim 16: p.155

Deer, W. A.; Howie, R. A.; Zussman, J. 1966. An introduction to rock forming minerals. 1 ed. London, Longman Group Ltd. 528 p.

Deer, W. A.; Howie, R. A.; Zussman, J. 1972. Rock forming minerals: orth- and ring silicates. (Vol. 1) London, Longman Group Ltd. 919p.

Knowles, C. R. 1987. A basic program to recast garnet end members. Computers and Geosciences, 13: 655-658.

Moraes, A.L.A. 2000. Granulitos de Chorozinho : Caracterização Petrográfica e Geoquímica. Dissertação de Mestrado. Curso de Mestrado em Geologia – UFC. 110p.

Rickwood, P. C. 1968. On recasting analyses of garnet into end member molecules. Contributions of Mineralogy and Petrology, 18: 175-198.