QUÍMICA MINERAL DE ANFIBÓLIOS E BIOTITAS E CONDIÇÕES DE CRISTALIZAÇÃO DE GRANITÓIDES PALEOPROTEROZOÍCOS DA REGIÃO DE VILA RIOZINHO, PROVÍNCIA AURÍFERA DO TAPAJÓS, CRÁTON AMAZÔNICO

CLAUDIO NERY LAMARÃO^{1,2} & ROBERTO DALL'AGNOL^{1,2}

Abstract The Old São Jorge, Younger São Jorge, Jardim do Ouro, porphyry granites, and the Maloquinha suite granitoids found in the Vila Riozinho region, eastern portion of the Tapajós Gold Province, are representative of the Paleoproterozoic magmatism (1.98–1.88 Ga). The quartz monzodioritic rocks of the Older São Jorge granite have amphiboles with Mg-hastingsite, tschermakite and Mg-hornblende composition. The dominant monzogranitic facies and the less frequent quartz syenitic rocks have homogeneous Mg-hornblende with rare borders of actinolite. The high $Mg/(Mg+Fe_2)$ ratios and the Al_i contents in amphibole indicate crystallization under oxidizing conditions at pressures between 3–1 kbar for the monzogranitic facies and <1.7 kbar for the quartz-syenitic facies. The Younger São Jorge granite contains Mg-hornblende and actinolite with slightly higher $Mg/(Mg+Fe_2)$ ratios but with inferior Al_i content compared to equivalent rocks of the Older São Jorge granite. Al -in amphibole indicate crystallization between 2–1 kbar. The Jardim do Ouro granite amphibole varies from Fe-hornblende to Fe-edinite with comparatively lower $Mg/(Mg+Fe_2)$ ratios, indicating crystallization in a somewhat less oxidizing setting. In the porphyry granite associated with Older São Jorge granite, an homogeneous Mg-hornblende with $Mg/(Mg+Fe_2)$ ratios, alcais and Al_i contents similar to the amphiboles of the monzogranitic rocks of that pluton predominate, suggesting that both rocks are cogenetic. A porphyry granite, associated with ignimbrites of the Moraes Almeida Formation and Maloquinha suite, contains Fe-hornblende similar in composition to the amphiboles of the Jardim do Ouro granite, indicating a possible relationship between these rocks. The biotite of the Older São Jorge granite, Younger São Jorge granite and porphyry granite associated with the former is a Mg-biotite with evidence of post-magmatic reequilibrium. The biotite of the Jardim do Ouro granite is comparatively enriched in iron and does not show evidence of post-magmatic reequilibrium.

Keywords: Amazonian Craton, granitoids, calc-alkaline, amphibole, biotite

Resumo Os granitos São Jorge Antigo, São Jorge Jovem, Jardim do Ouro, pórfiros e aqueles da Suíte Maloquinha são representativos do magmatismo paleoproterozóico (1,98 a 1,88 Ga) da região de Vila Riozinho, porção leste da Província Aurífera do Tapajós. No Granito São Jorge Antigo, as rochas quartzo-monzodioríticas possuem anfibólios de composição Mg-hastingsita, tschermakita e hornblenda magnesiânica. Nas rochas monzograníticas, dominantes, e quartzo-sieníticas, pouco frequentes, ocorre hornblenda magnesiânica homogênea com raras bordas actinolíticas. As altas razões $Mg/(Mg+Fe_2)$ e os conteúdos de Al_i desse anfibólio indicam formação em ambiente com elevada fO_2 , a pressões variáveis entre 3 e 1 kbar para a fácies monzogranítica e inferiores a 1,7 kbar para a quartzo-sienítica. Pressões de 6±1 kbar foram obtidas em Mg-hastingsita e tschermakita das rochas monzodioríticas. Entretanto, a composição da hornblenda magnesiânica presente nas bordas de muitos cristais de anfibólio desta fácies sugere um final de colocação e cristalização a pressões similares àquelas das rochas monzograníticas. No Granito São Jorge Jovem, ocorrem hornblenda magnesiânica e actinolita com razões $Mg/(Mg+Fe_2)$ um pouco mais elevadas do que as de rochas equivalentes do Granito São Jorge Antigo, porém com conteúdos de Al_i mais baixos, indicando cristalização entre 2 e 1 kbar. A presença nesse granito de muitos anfibólios com composição actinolítica sugere a possibilidade de reequilíbrio *subsolidus* expressivo e tais valores devem ser tomados com precaução. O Granito Jardim do Ouro possui anfibólios com razões $Mg/(Mg+Fe_2)$ mais baixas que variam de Fe-edinita a Fe-hornblenda, indicando cristalização em ambiente comparativamente menos oxidante. Seus conteúdos de Al_i elevados sugerem cristalização a pressões entre 4,5 e 3 kbar. Porém, como esses anfibólios são mais ricos em ferro do que os dos demais granitóides e formaram-se em menor fO_2 , é possível que tal pressão esteja superestimada. No granito pórfiro associado ao Granito São Jorge Antigo ocorre hornblenda magnesiânica bastante homogênea com razões $Mg/(Mg+Fe_2)$, conteúdos de álcalis e Al_i similares ao do anfibólio das rochas monzograníticas deste corpo, sugerindo uma ligação genética entre essas rochas. Um granito pórfiro, associado aos ignimbritos da Formação Moraes Almeida e à Suíte Maloquinha, contém Fe-hornblenda de composição semelhante a dos anfibólios do Granito Jardim do Ouro, o que sugere uma possível ligação entre ambos. As biotitas dos granitos São Jorge Antigo, São Jorge Jovem e do granito pórfiro associado ao primeiro são magnesianas, similares às encontradas em granitos cálcico-alcálicos, e mostram reequilíbrio pós-magmático. A biotita do Granito Jardim do Ouro é ferrosa, situa-se no limite entre biotitas de granitos subalcalinos e alcalinos e não apresenta sinais de reequilíbrio pós-magmático.

Palavras-chave: Cráton Amazônico, granitóides, cálcico-alcálico, anfibólio, biotita.

INTRODUÇÃO Anfibólio, biotita e plagioclásio, minerais comuns em rochas ígneas intermediárias a ácidas, podem desenvolver um papel importante na petrogênese de rochas graníticas, sendo potencialmente úteis no estudo da natureza e das condições físico-químicas dos magmas nos quais cristalizaram. Neste trabalho, são

apresentados os dados de química mineral de anfibólio e biotita dos granitos São Jorge Antigo, São Jorge Jovem, Jardim do Ouro e pórfiros da região de Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós, e discutidas as implicações dos mesmos em termos das tipologias destes granitóides, bem como das suas condições de formação.

1 - Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) - Centro de Geociências - CG-UFGA

2 - Departamento de Geoquímica e Petrologia/CG - UFGA, Caixa Postal 1611. CEP-66075-900. E-mails: lamarao@ufpa.br, robdal@ufpa.br

CONTEXTO GEOLÓGICO DA PROVÍNCIA AURÍFERA DO TAPAJÓS

A Província Aurífera do Tapajós (Faraco *et al.* 1997), localizada na porção central do Cráton Amazônico, abrange parte das províncias Ventuari-Tapajós (ou Tapajós-Parima, Santos *et al.* 2000) e Amazônia Central (Tassinari & Macambira 1999), sendo caracterizada por um extenso magmatismo vulcano-plutônico Paleoproterozóico (Lamarão *et al.* 2002). O seu embasamento está representado por rochas metavulcano-sedimentares do Grupo Jacareacanga, com idades U-Pb em zircões detríticos de metaturbiditos em torno de 2.1 Ga (Santos *et al.* 2000, 2001), e por rochas granito-gnáissicas do Complexo Cuiú-Cuiú, com idade U-Pb em zircão em rochas tonalíticas de 2015 ± 9 e 2033 ± 7 Ma (Santos *et al.* 2001). As outras rochas plutônicas são enquadradas nas suítes Creporizão (Ricci *et al.* 1999), Parauari e Maloquinha (Santos *et al.* 1975, Vasquez *et al.* 1999, Klein & Vasquez 2000). As duas primeiras apresentam afinidade cálcico-alkalina (Vasquez *et al.* 2001) e formam extensos batólitos irregulares. A Suíte Creporizão é representada por sienogranitos e monzogranitos com granodioritos e tonalitos subordinados, geralmente deformados, com idades U-Pb e Pb-Pb em zircão de 1997 ± 3 Ma a 1957 ± 6 Ma (Santos *et al.* 2001, Vasquez *et al.* 2000). A Suíte Parauari é constituída predominantemente por monzogranitos e granodioritos, geralmente isentos de deformação, com idades em torno de 1.89 Ga (Brito *et al.* 1999, Vasquez *et al.* 1999, Santos *et al.* 2000). A Suíte Maloquinha, com características de granitos do tipo-A (Vasquez *et al.* 2001), é dominada por sienogranitos e álcali-feldspato-granitos com idades em torno de 1.88 Ga (Lamarão *et al.* 1999, 2002, Lamarão 2001, Vasquez *et al.* 1999, Santos *et al.* 2000).

As rochas vulcânicas possuem ampla distribuição na Província, sendo agrupadas indistintamente no Grupo Irii do Supergrupo Uatumã (Dall'Agnol & Silva 1991, Dall'Agnol *et al.* 1999a, Klein & Vasquez 2000, Moura *et al.* 1999, Santos 1984, Santos *et al.* 2000, Vasquez *et al.* 1999) ou, mais localizadamente, na Formação Bom Jardim (Almeida *et al.* 2000). Entretanto, os estudos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos efetuados na região de Vila Riozinho (Lamarão *et al.* 1999, 2002, Lamarão 2001), acusaram a existência de duas seqüências vulcânicas temporal e geoquimicamente distintas. A mais antiga, denominada de Formação Vila Riozinho, possui idades Pb-Pb em zircão em torno de 2.0 Ga e afinidade cálcico-alkalina (Lamarão *et al.* 2002). A mais nova, designada de Formação Moraes Almeida, apresenta idades próximas de 1.88 Ga e caráter alcalino (Lamarão *et al.* 2002).

Rochas máficas, pertencentes às suítes Ingarana e Cachoeira Seca e ao Diabásio Crepori (Quadros *et al.* 1999, Bahia & Quadros 2000, Klein & Vasquez 2000), além de diversas coberturas sedimentares (Santos *et al.* 1975, Bahia & Quadros 2000, Klein & Vasquez 2000), completam o quadro estratigráfico da província.

GEOLOGIA E GEOCRONOLOGIA DA REGIÃO DE VILA RIOZINHO

A região de Vila Riozinho, situada na porção leste da Província Aurífera do Tapajós (PAT), abrange as localidades de Vila Riozinho, Moraes Almeida e Jardim do Ouro (Fig. 1). É cortada no sentido N-S pela rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163) e E-W, na sua porção norte, pela rodovia Transgarimpeira. Os rios Jamanxim, Riozinho das Arraías e o Igarapé São Jorge são os principais afluentes da área. É constituída por diferentes tipos de rochas vulcânicas e plutônicas, as quais foram agrupadas, com base em dados de campo, petrográficos, geoquímicos e geocronológicos (Lamarão *et al.* 1999, 2002, Lamarão 2001), nas seguintes unidades geológicas (Fig. 1):

Formação Vila Riozinho É a unidade mais antiga, sendo forma-

da por rochas vulcânicas intermediárias a ácidas que afloram em áreas topograficamente arrasadas nos arredores de Vila Riozinho e ao longo dos rios Jamanxim e Riozinho das Arraías, contornando o corpo granitóide São Jorge. Está representada por andesitos basálticos, traquiandesitos basálticos, traquitos e riolitos de afinidade cálcico-alkalina. Datações Pb-Pb em zircão em traquitos forneceram idades de 2000 ± 4 Ma e 1998 ± 3 Ma (Lamarão *et al.* 2002).

Corpo Granitóide São Jorge É formado por dois granitos distintos (Lamarão & Dall'Agnol 2002). O mais velho, denominado de Granito São Jorge Antigo, corresponde a um batólito irregular, com sinais locais de deformação intramagmática, que aflora nos arredores e a sul de Vila Riozinho e ao longo do Rio Jamanxim. Nas bordas nordeste, noroeste e oeste afloram rochas dioríticas a quartzo-dioríticas, enquanto mais para o centro e constituindo a fácies dominante ocorrem rochas monzograníticas. Na sua parte central, contornando uma área intensamente fraturada e hidrotermalizada onde está localizado o depósito de ouro São Jorge, pequenas serras de leucogranitos se destacam na topografia. Texturas rapakivi localizadas, enclaves (5 a 10 cm) microgranulares escuros e diques de aplito rosados são feições comuns. Idades Pb-Pb em zircão de 1981 ± 2 Ma e 1983 ± 8 Ma foram obtidas, respectivamente, em anfibólio-biotita-monzogranito e biotita-leucomonzogranito (Lamarão *et al.* 2002). O mais novo, denominado de Granito São Jorge Jovem, foi identificado inicialmente através de furos de sondagem na área mineralizada do depósito São Jorge, mas aflora também ao sul do granito São Jorge Antigo (Fig. 1). As ocorrências de texturas rapakivi localizadas, enclaves (< 5 cm) microgranulares subarredondados e diques de aplito rosados são também comumente observadas. Datação Pb-Pb em zircão em anfibólio-biotita-monzogranito da área mineralizada forneceu idade de 1891 ± 3 Ma para este corpo (Lamarão *et al.* 2002).

Granito Jardim do Ouro Aflora na porção noroeste da área, às margens do rio Jamanxim, em um domínio morfologicamente arrasado. Apenas uma pequena parte da porção noroeste deste corpo foi estudada. Neste local, mostra-se isento de deformações e/ou transformações hidrotermais intensas. Apresenta coloração rosacinzenta e fenocristais centimétricos (<5cm) de álcali-feldspato rosado. Datação Pb-Pb em zircão revelou idade de 1880 ± 3 Ma para este granito (Lamarão *et al.* 2002).

Formação Moraes Almeida É representada por vulcânicas ácidas isotrópicas que afloram nos arredores de Moraes Almeida. Predominam ignimbritos fortemente soldados e oxidados, ricos em cristais e fragmentos de cristais e líticos. A noroeste de Moraes Almeida ocorrem derrames de composição riolítica de coloração acinzentada. As relações de contato entre ignimbritos e riolitos não são visíveis no campo, porém os dados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos (Lamarão 2001, Lamarão *et al.* 2002) sugerem que essas rochas estão relacionadas a um mesmo evento vulcânico. Na porção norte de Moraes Almeida, foram identificadas pequenas ocorrências de rochas vulcânicas traquíticas, mineralógica e composicionalmente diferentes das vulcânicas ácidas associadas. Datações Pb-Pb em zircão revelaram idades de 1890 ± 6 Ma para os riolitos, 1881 ± 4 Ma para os traquitos e 1875 ± 4 Ma para os ignimbritos (Lamarão *et al.* 2002).

Suíte Maloquinha Ocorre predominantemente na porção norte da área na forma de morrotes abaulados e pequenas serras alongadas que envolvem as vulcânicas ácidas da Formação Moraes Almeida,

sugerindo uma estrutura em caldeira (Fig. 1). É formada por leucogranitos isotrópicos, avermelhados, com idade Pb-Pb em zircão de 1880 ± 9 Ma (Lamarão *et al.* 2002).

Granitos Pórfiros Várias ocorrências de granitos pórfiros foram identificadas na região de Vila Riozinho. Diversos deles associam-

se ao Granito São Jorge Antigo (amostras 25c, 59, 67c; Fig. 1) e outros afloram no contato entre os ignimbritos e a Suíte Maloquinha (amostra 18a; Fig. 1). Ambos são monzograníticos, acinzentados e constituídos por fenocristais de plagioclásio esbranquiçado a levemente esverdeado, álcali-feldspato, quartzo e opacos

Figura 1 - Mapa geológico da região de Vila Riozinho mostrando a distribuição das diferentes unidades magmáticas identificadas e suas respectivas idades de formação (Lamarão *et al.* 2002).

dispersos numa matriz fina, cinza-escuro a cinza-avermelhada. Há ainda granitos pórfiros associados aos riolitos de Moraes Almeida (amostras 12b, 39c; Fig. 1), os quais são comparativamente mais pobres em minerais máficos e formados predominantemente por fenocristais de álcali-feldspato avermelhados, quartzo e plagioclásio imersos em matriz avermelhada. As características geoquímicas das associações vulcânicas e dos diferentes granitóides de Vila Riozinho são discutidas por Lamarão *et al.* (2002) e Lamarão & Dall'Agnol (2002).

PETROGRAFIA DAS ROCHAS GRANITÓIDES **Granito São Jorge Antigo** É formado por uma série expandida que varia de biotita-anfibólio-monzodiorito a quartzo-monzodiorito (BAMD a BAQMD), anfibólio-biotita-monzogranito a quartzo-monzonito (ABMZG a ABQM), anfibólio-biotita-quartzo-sienito (ABQS) e biotita-leucomonzogranito (BLMZG/SG). A distribuição espacial dessas fácies sugere que o corpo é composicionalmente zonado (Fig. 1).

Os BAMD a BAQMD afloram nas bordas nordeste, noroeste e oeste e correspondem a fácies menos evoluída do corpo. São formados predominantemente por plagioclásio (An_{43-29}) e anfibólio, com quartzo, álcali-feldspato e biotita subordinados. Apatita, zircão, opacos e titanita são os principais acessórios primários. A fácies dominante é representada pelos ABMZG a ABQM. Possuem textura granular hipidiomórfica e são constituídos por anfibólio alterado em diferentes intensidades para biotita+titanita+epidoto+sericita±carbonatos, plagioclásio saussuritizado (An_{29-18}), biotita, álcali-feldspato e quartzo. Os minerais acessórios primários são apatita, zircão, opacos e titanita e, os de origem secundária, sericita, clorita, titanita e biotita. Rochas quartzo-sieníticas (ABQS) de granulação média e textura granular hipidiomórfica aparecem localmente. Os BLMZG/SG ocorrem nas porções sul e central do GSJA. As rochas da porção sul possuem textura granular hipidiomórfica média, localizadamente fina, e são formadas predominantemente por álcali-feldspato, quartzo e plagioclásio (An_{14-3}), com biotita subordinada. Pseudomorfos de anfibólio são raros. Possuem os mesmos acessórios das fácies anteriores, porém em menores proporções. Clorita, sericita, biotita, titanita, muscovita, albita e fluorita são os principais minerais secundários. Os BLMZG/SG da porção central, considerados a fácies mais evoluída do corpo (Lamarão & Dall'Agnol 2002), não possuem pseudomorfos de anfibólio e são mais pobres em biotita.

Granito São Jorge Jovem É formado por anfibólio-biotita-monzogranito a quartzo-monzonito (ABMZG a ABQM) e biotita-leucomonzogranito (BLMZG) mineralógica e texturalmente similares a rochas equivalentes do Granito São Jorge Antigo.

Granito Jardim do Ouro É um anfibólio-biotita-monzogranito porfírico, com cristais de plagioclásio zonados e sericitizados (An_{32-21}), quartzo intersticial fino a médio e fenocristais perfiticos de álcali-feldspato. A biotita, com até 4% modal, está geralmente alterada para clorita, opacos e titanita. O anfibólio ocorre em cristais subédricos finos a médios pouco alterados. Zircão, apatita, opacos, titanita e allanita são os acessórios primários. Clorita, sericita, titanita, biotita e, mais raramente, epidoto e fluorita são minerais secundários.

Suíte Maloquinha Predominam sienogranitos, com textura granular média a grossa, constituídos por álcali-feldspato argilizado, quartzo anédrico e plagioclásio sericitizado (An_{26-8}). O principal

ferromagnésiano é a biotita tardia, geralmente alterada para clorita, titanita, muscovita e opacos.

Granitos Pórfiros Os granitos pórfiros associados ao Granito São Jorge Antigo e aqueles aflorantes no contato entre os ignimbritos e a Suíte Maloquinha (Fig. 1) são formados por cristais de quartzo frequentemente subarredondados e com baías, plagioclásio zonado e alterado (An_{46-26}), álcali-feldspato, biotita e anfibólio dispersos numa matriz felsítica, por vezes granofírica. Zircão, apatita, titanita e opacos são os principais acessórios primários.

QUÍMICA MINERAL Anfibólios e biotitas foram analisados no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da UFRGS por meio de uma microsonda eletrônica do tipo CAMECA SX-50, sob as seguintes condições operacionais: tempo de aceleração de 15 kv; tempo de análise de 30 s para F, Mg, Al, Na, Si e Sr e de 20 s para Cl, K, Ca, Mn, Ti e Fe; corrente elétrica de 10 nA; tamanho dos feixes de elétrons de 1 micron para biotitas e de 5 microns para anfibólios. As fórmulas estruturais dos anfibólios foram calculadas na base de 23 átomos de oxigênio utilizando-se o esquema de normalização 13 e CNK (Σ de cátions = 13, excluindo-se Ca, Na e K). Todos os anfibólios estudados possuem $(Ca+Na)_B > 1$ e $Na_B < 0,5$ e pertencem ao grupo dos anfibólios cálcicos (Leake *et al.* 1997). As fórmulas estruturais das biotitas foram calculadas a 22 átomos de oxigênio, assumindo-se todo o ferro presente como Fe^{2+} (cf. Dymek 1983). A somatória do sítio octaédrico é maior que 5,5, confirmando a natureza trioctaédrica dessas micas (Deer *et al.* 1992). O software MINPET, versão 2.02 (Richard 1995), foi utilizado para obtenção das fórmulas estruturais dos referidos minerais.

Anfibólio GRANITO SÃO JORGE ANTIGO Nos BAQMD, o anfibólio representa a fase máfica dominante com até 20% modal (Lamarão 2001). Forma cristais euédricos a subédricos, com pleocroísmo marrom a marrom-claro no centro e verde claro nas bordas. Composicionalmente são formados por Mg-hastingsita, tschermakita e hornblenda magnésiana (Fig. 2A, B). A Mg-hastingsita representa a fase mais precoce de cristalização. Possui razões $Mg/(Mg+Fe_2)$ entre 0,79 e 0,77 e conteúdos de Al_I de 1,9 a 1,7, o que sugere cristalização a pressões elevadas (Hammarström & Zen 1986, Hollister *et al.* 1987, Schmidt 1992, Anderson & Smith 1995). A tschermakita tem razões $Mg/(Mg+Fe_2)$ entre 0,79 e 0,71 e Al_I entre 1,83 e 1,72 (Tabela 1). A hornblenda magnésiana mostra razões $Mg/(Mg+Fe_2)$ próxima das anteriores, porém seus conteúdos de álcalis e Al_I são comparativamente mais baixos (Tabela 1).

Nas rochas quartzo-sieníticas domina hornblenda magnésiana (Fig. 2A) com razões $Mg/(Mg+Fe_2)$ de 0,78 a 0,72. O Al_I , entre 1,0 e 0,93, se superpõe aos valores encontrados no anfibólio das rochas monzograníticas e sugere cristalização a pressões similares.

GRANITO SÃO JORGE JOVEM Ocorrem cristais subédricos a anédricos finos a médios, com pleocroísmo verde-claro a verde-amarelado. Somente cristais isentos ou com pouca alteração hidrotermal foram analisados. Mostram uma gradação composicional de hornblenda magnésiana para actinolita com o aumento de Si (Tabela 1; Fig. 2A). Raros cristais, entretanto, apresentam núcleos de composição actinolítica e bordas de hornblenda magnésiana, o inverso do que se deve esperar de um zoneamento magmático. Tal feição pode estar relacionada a reequilíbrio da hornblenda magnésiana primária na área do depósito São Jorge (cf. Chivas

Figura 2 - (A, B) Diagramas de classificação de anfibólios (Leake et al. 1997) dos granitóides da região de Vila Riozinho. Siglas das fácies como na figura 1, exceto ABas = anfibólio-biotita-quartzo-sienito.

1981). As razões $Mg/(Mg+Fe)$ relativamente elevadas e os baixos conteúdos de Al_i desses anfibólios (dominantemente $<1,0$; Tab. 1) sugerem cristalização em ambiente oxidante e a baixas pressões (Wones 1989, Anderson & Smith 1995).

GRANITO JARDIM DO OURO Possui anfibólios subédricos a anédricos, médios a finos, com pleocroísmo verde-escuro a castanho-claro. Variam de ferro-edenita a ferro-hornblenda (Fig. 2A, B) com baixas razões $Mg/(Mg+Fe)$ e teores moderados de Al_i (0,39 a 0,33 e 1,55 a 1,43, respectivamente; Tabela 1).

GRANITOS PÓRFIROS Dentre os granitos pórfiros associados ao Granito São Jorge Antigo, selecionou-se a amostra 59 (Fig. 1). Os cristais de anfibólio são subédricos a anédricos, localizadamente euédricos, alterados em diferentes intensidades para biotita, titanita, clorita e epidoto. Correspondem a hornblenda magnésiana (Fig. 2A) com razões $Mg/(Mg+Fe)$, conteúdos de álcalis e Al_i similares aos do anfibólio das rochas monzograníticas do Granito São Jorge Antigo (amostras 27 e 28), indicando que, além da associação espacial, há provavelmente uma ligação genética entre essas rochas.

O granito pórfiro associado aos ignimbritos e às rochas da Suíte Maloquinha (amostra 18a, Fig. 1), contém anfibólio subédrico a anédrico, fino a médio, com pleocroísmo castanho-esverdeado a verde-claro, alterado parcialmente para epidoto, biotita, titanita e clorita. Composicionalmente assemelha-se à ferro-hornblenda do Granito Jardim do Ouro (Fig. 2A), o que sugere a similaridade composicional de ambos magmas.

PRINCIPAIS SUBSTITUIÇÕES IDENTIFICADAS NOS ANFIBÓLIOS ESTUDADOS A análise de diagramas envolvendo relações catiônicas permitiu identificar os principais tipos de substituições que ocorreram nos anfibólios das rochas granitóides estudadas.

Na figura 3A, a forte correlação positiva entre ^{IV}Al e álcalis confirma a importância da substituição edenítica ($\square_A + Si = ^{IV}Al + Na_A$; $\square$ = vacância) nos anfibólios dos diferentes granitóides. O

diagrama $Si \times ^{IV}Al + (Na+K)_A$ (Anderson & Smith 1995) mostra de modo mais claro esta substituição (Fig. 3B).

Outro tipo de substituição importante é a tschermakítica ($Si + R_{M1-M3}^2 = ^{IV}Al + ^{VI}Al$; Fig. 3C), responsável pela incorporação de ^{VI}Al em substituição a cátions divalentes nos sítios M1-M3 (Czamanske & Wones 1973, Vyhnalet al. 1991).

A forte correlação linear mostrada no diagrama $^{VI}Al + Si \times ^{VI}Ti + ^{IV}Al$ (Fig. 3D) sugere que ocorreram substituições entre Al e Ti no sítio octaédrico e evidencia a participação do Ti nas substituições que comandaram a evolução do anfibólio desses granitos.

Biotita A biotita do Granito São Jorge Antigo apresenta razões $Mg/(Mg+Fe)$ entre 0,63 e 0,53 e teores de Al_i decrescentes no sentido das rochas mais evoluídas (Tabela 2). É classificada como biotita magnésiana (Fig. 4A). O granito pórfiro associado a esse corpo (amostra 67c, Fig. 1), possui biotita com razões $Mg/(Mg+Fe)$ constantes e comparativamente mais baixas (0,45). Plota no campo de biotitas ferrosas, porém próximo ao campo de biotitas magnesianas (Fig. 4A).

A biotita do Granito São Jorge Jovem assemelha-se à biotita das rochas monzograníticas e monzoníticas do Granito São Jorge Antigo, sendo porém levemente mais enriquecida em Mg e mais pobre em Mn (Fig. 4A; Tabela 2).

O Granito Jardim do Ouro possui biotita que difere composicionalmente das demais. Apresenta as mais baixas razões $Mg/(Mg+Fe)$ e é mais rica em Fe e Ti e mais pobre em Mg e ^{VI}Al , podendo ser classificada como biotita ferrosa (Fig. 4A; Tabela 2).

No diagrama $^{IV}Al \times Fe/(Fe+Mg)$, as biotitas estudadas mostram *trends* paralelos caracterizados por variações limitadas nas razões $Fe/Fe+Mg$ (Fig. 4B). O primeiro, formado pelas biotitas dos granitos São Jorge Antigo e São Jorge Jovem, mostra maior variação nos teores de ^{IV}Al , é mais pobre em ferro e se aproxima mais do polo flogopita. O segundo, representado pela biotita do Granito Jardim do Ouro, é mais rico em ferro, se deslocando em direção ao polo da anita. O terceiro, pertencente à biotita do granito pórfiro (67c), ocupa uma posição intermediária, porém mais próxima das biotitas dos granitos São Jorge Antigo e São Jorge Jovem.

Tabela 1 - Análises de microsonda representativas de anfibólios dos granitóides da região de Vila Riozinho (Lamarão 2001).

Análise Tipo	Granito São Jorge Antigo						Granito pórfiro		Granito São Jorge Jovem				Granito Jardim do Ouro		Granito pórfiro	
	BAQMD			ABMZG a ABQM		ABQS	Amostra 59		ABMZG				BMZG		amostra 18a	
	S1P5 MgHst	S1P3 Tsch	S9P27 HbMg	S2P115 HbMg	S7P79 HbMg	S1P101 HbMg	S4P248 HbMg	S4P249 HbMg	S2P65 HbMg	S4P132 HbMg	S2P63 HbMg	S2P66 Act	S1P172 Fe-Hb	S3P175 Fe-Hb	S4P260 Fe-Hb	S4P262 Fe-Hb
SiO ₂	43,846	43,079	45,257	46,506	50,421	48,615	48,157	48,871	48,348	50,904	51,829	52,911	42,462	43,341	45,659	47,917
TiO ₂	2,920	3,674	2,166	0,346	0,588	1,373	1,240	0,170	1,275	0,629	0,726	0,475	1,856	1,291	0,798	0,474
Al ₂ O ₃	10,509	10,613	9,111	7,791	5,033	5,467	6,528	6,091	6,169	4,572	4,063	3,626	8,489	7,864	6,318	4,815
MgO	14,073	14,187	13,334	11,131	13,693	14,038	13,026	12,121	13,600	15,263	15,620	15,767	5,863	5,698	7,369	7,962
CaO	11,633	11,284	11,451	11,717	11,785	10,848	11,671	11,889	11,671	11,608	11,944	11,901	10,585	10,715	10,642	10,877
MnO	0,248	0,179	0,517	1,123	1,004	0,783	0,613	0,666	0,573	0,501	0,552	0,524	0,919	0,946	0,965	1,131
FeO	11,494	10,814	12,931	17,447	14,330	12,966	14,993	16,677	13,692	12,434	11,565	12,116	24,435	25,162	23,615	23,105
Na ₂ O	1,794	1,851	1,370	0,908	0,679	1,294	1,006	0,729	0,915	1,007	0,975	0,587	1,554	1,544	1,264	1,124
K ₂ O	0,961	0,916	0,804	0,678	0,473	0,743	0,786	0,532	0,752	0,469	0,375	0,335	1,200	1,272	0,911	0,720
F	0,567	0,000	0,610	0,274	0,000	1,260	0,046	0,231	0,839	0,000	0,521	0,000	0,571	0,000	0,350	1,006
Cl	0,018	0,023	0,021	0,007	0,007	0,033	0,015	0,025	0,074	0,010	0,000	0,002	0,174	0,161	0,203	0,136
Total	98,063	96,620	97,570	97,927	98,013	97,419	98,080	98,000	97,908	97,396	98,169	98,243	98,108	97,993	98,094	99,268
Fórmula estrutural na base de 23 átomos de oxigênio																
Si	6,389	6,315	6,630	6,864	7,280	7,140	7,014	7,158	7,079	7,325	7,438	7,508	6,586	6,715	6,963	7,235
AlIV	1,611	1,685	1,370	1,136	0,720	0,860	0,986	0,842	0,921	0,675	0,562	0,492	1,414	1,285	1,037	0,765
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Sítios M1, M2 e M3																
AlVI	0,192	0,147	0,201	0,218	0,136	0,085	0,134	0,209	0,143	0,100	0,125	0,113	0,137	0,149	0,097	0,092
Fe3+	0,462	0,487	0,558	0,747	0,533	0,550	0,507	0,557	0,435	0,492	0,268	0,437	0,620	0,564	0,729	0,578
Ti	0,320	0,405	0,239	0,038	0,064	0,152	0,136	0,019	0,140	0,068	0,078	0,051	0,217	0,150	0,092	0,054
Mg	3,057	3,100	2,912	2,449	2,947	3,073	2,828	2,647	2,969	3,274	3,342	3,335	1,356	1,316	1,675	1,792
Fe2+	0,939	0,839	1,026	1,406	1,197	1,042	1,319	1,486	1,242	1,005	1,120	1,001	2,549	2,697	2,283	2,339
Mn	0,031	0,022	0,064	0,140	0,123	0,097	0,076	0,083	0,071	0,061	0,067	0,063	0,121	0,124	0,125	0,145
Soma C	5,001	5,000	5,000	4,998	5,000	4,999	5,000	5,001	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,001	5,000
Sítio M4																
Ca	1,816	1,772	1,797	1,853	1,823	1,707	1,821	1,866	1,831	1,790	1,837	1,809	1,759	1,779	1,739	1,760
Na	0,184	0,228	0,203	0,147	0,177	0,293	0,179	0,134	0,169	0,210	0,163	0,162	0,241	0,221	0,261	0,240
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,971	2,000	2,000	2,000	2,000
Sítio A																
Na	0,323	0,298	0,186	0,113	0,013	0,075	0,105	0,073	0,091	0,071	0,108	0,000	0,226	0,242	0,113	0,089
K	0,179	0,171	0,150	0,128	0,087	0,139	0,146	0,099	0,140	0,086	0,069	0,061	0,237	0,251	0,177	0,139
Soma A	0,502	0,469	0,336	0,241	0,100	0,214	0,251	0,172	0,231	0,157	0,177	0,061	0,463	0,493	0,290	0,228
Soma Cat	15,503	15,469	15,336	15,239	15,100	15,213	15,251	15,173	15,231	15,157	15,177	15,032	15,463	15,493	15,291	15,228
Cl	0,004	0,006	0,005	0,002	0,002	0,008	0,004	0,006	0,018	0,002	0,000	0,000	0,046	0,042	0,052	0,035
F	0,261	0,000	0,283	0,128	0,000	0,585	0,021	0,107	0,388	0,000	0,236	0,000	0,280	0,000	0,169	0,480
Al total	1,80	1,83	1,57	1,35	0,86	0,95	1,12	1,05	1,06	0,78	0,69	0,61	1,55	1,43	1,13	0,86
Mg/Mg+Fe ₂	0,77	0,79	0,74	0,64	0,71	0,75	0,68	0,64	0,71	0,77	0,75	0,77	0,35	0,33	0,42	0,43

BAQMD = biotita-anfibólio-quartzo diorito; ABMZG a ABQM = Anfibólio-biotita-monzogranito a quartzo-monzonito; ABQS = Anfibólio-biotita-quartzo-sienito; Fe-Edn = Ferro-edenita; HbMg = hornblenda magnesiânica; Tsch = tschermakita; Act = actinolita; Fe-Hb = Ferro-hornblenda

Tabela 2 - Análises de microsonda representativas de biotitas dos granitóides da região de Vila Riozinho.

n°análise	GRANITO SÃO JORGE ANTIGO						GP	Gr. J. DO OURO		GRANITO SÃO JORGE JOVEM							
	ABQM/ABMZG		ABQS	BLMZG			am 67c	ABMZG		ABMZG-F2/5				ABMZG-F4/29		ABMZG-F9/10	
	S8P129	S7P84	S6P124	S5P145	S1P142	S2P265		S8P196	S8P195	S3P7	S3P18	S2P4	S2P2	S1P115	S3P114	S5P72	S5P71
Mineral	Btl	Btl	Btl	Btl	Btl	Btl		Btl	Btl	Btl	Btl	Btl	Btl	Btl	Btl	Btl	Btl
SiO ₂	36,476	37,266	38,208	38,977	39,435	37,289		35,407	35,751	37,573	38,026	38,131	38,378	37,700	38,201	37,313	38,015
TiO ₂	2,199	1,866	1,851	2,111	1,659	1,818		4,551	4,391	3,005	2,483	2,645	2,644	3,158	3,143	3,566	2,670
Al ₂ O ₃	13,898	14,940	13,921	12,997	13,480	15,989		13,081	12,932	13,943	15,103	14,434	14,774	14,517	14,222	14,282	14,209
MgO	12,336	12,518	12,121	13,167	13,436	9,797		6,415	6,459	13,892	13,808	14,224	13,462	13,501	13,228	12,440	13,132
CaO	0,049	0,022	0,021	0,070	0,000	0,004		0,028	0,094	0,006	0,000	0,000	0,000	0,019	0,040	0,000	0,029
MnO	0,806	0,743	0,603	1,429	1,502	0,544		0,434	0,432	0,227	0,201	0,251	0,205	0,339	0,394	0,395	0,355
FeO	18,679	18,101	18,038	15,463	14,185	21,197		27,482	27,184	17,011	15,894	15,803	15,663	16,290	16,097	16,700	15,930
Na ₂ O	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,075	0,000	0,000
K ₂ O	9,426	10,097	9,926	9,811	10,298	10,024		9,257	9,363	10,029	10,098	9,999	9,996	9,802	10,134	10,287	10,144
F	0,404	0,223	0,758	0,461	1,376	0,348		0,465	0,213	0,571	1,232	0,765	1,004	0,724	0,291	0,410	0,905
Cl	0,002	0,024	0,008	0,015	0,034	0,011		0,137	0,139	0,036	0,032	0,051	0,040	0,021	0,025	0,015	0,029
TOTAL	94,321	95,800	95,454	94,501	95,405	97,020		97,258	96,957	96,292	96,876	96,302	96,164	96,071	95,849	95,407	95,419
O=F	0,170	0,094	0,319	0,194	0,579	0,147		0,196	0,089	0,240	0,519	0,322	0,423	0,305	0,122	0,172	0,381
O=Cl	0,000	0,005	0,002	0,003	0,008	0,003		0,031	0,031	0,008	0,007	0,011	0,009	0,005	0,006	0,003	0,007
TOTAL	94,150	95,701	95,133	94,303	94,818	96,871		97,032	96,836	96,044	96,350	95,969	95,733	95,761	95,721	95,231	95,031
Fórmula estrutural na base de 22 átomos de oxigênio																	
Si	5,664	5,666	5,842	5,944	5,984	5,665		5,578	5,626	5,666	5,690	5,714	5,759	5,674	5,740	5,673	5,771
AlIV	2,336	2,334	2,158	2,056	2,016	2,335		2,422	2,374	2,334	2,310	2,286	2,241	2,326	2,260	2,327	2,229
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000		8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
AlVI	0,208	0,344	0,351	0,280	0,395	0,529		0,007	0,025	0,144	0,354	0,263	0,372	0,249	0,259	0,233	0,314
Fe	2,425	2,301	2,306	1,972	1,800	2,693		3,620	3,577	2,145	1,989	1,980	1,965	2,050	2,022	2,123	2,022
Mg	2,863	2,845	2,770	3,001	3,047	2,224		1,510	1,519	3,131	3,088	3,185	3,019	3,037	2,970	2,827	2,980
Mn	0,106	0,096	0,078	0,185	0,193	0,070		0,058	0,058	0,029	0,025	0,032	0,026	0,043	0,050	0,051	0,046
Ti	0,257	0,213	0,213	0,242	0,189	0,208		0,539	0,520	0,341	0,279	0,298	0,298	0,357	0,355	0,408	0,305
Soma O	5,859	5,799	5,719	5,680	5,624	5,724		5,734	5,699	5,789	5,735	5,758	5,680	5,737	5,657	5,642	5,666
Ca	0,008	0,004	0,003	0,012	0,000	0,001		0,005	0,016	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,006	0,000	0,005
Na	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000
K	1,867	1,958	1,936	1,908	1,993	1,943		1,860	1,880	1,929	1,927	1,911	1,913	1,882	1,942	1,995	1,964
Soma A	1,889	1,962	1,939	1,920	1,993	1,943		1,865	1,895	1,930	1,927	1,911	1,913	1,885	1,971	1,995	1,969
F	0,198	0,107	0,366	0,222	0,660	0,167		0,231	0,106	0,272	0,583	0,362	0,476	0,345	0,138	0,197	0,434
Cl	0,000	0,006	0,002	0,004	0,009	0,003		0,037	0,037	0,009	0,008	0,013	0,010	0,005	0,006	0,004	0,008
Al total	2,54	2,68	2,51	2,34	2,41	2,86		2,43	2,40	2,48	2,66	2,55	2,61	2,58	2,52	2,56	2,54
Mg/Mg+Fet	0,54	0,55	0,55	0,60	0,63	0,45		0,29	0,30	0,59	0,61	0,62	0,61	0,60	0,59	0,57	0,60

ABQM=Anfibólio-biotita-quartz-monzonito; ABQS = Anfibólio-biotita-quartz-sienito; BLMZG = Biotita-leucomonzogranito;

ABMZG = Anfibólio-biotita-monzogranito

*Dados adicionais de anfibólio e biotita podem ser solicitados ao primeiro autor por correio eletrônico

Figura 3 - (A, B, C, D) Diagramas de relações catiônicas de anfibólios dos granitóides da região de Vila Riozinho estudados. Símbolos como na Figura 2.

Figura 4 - Diagramas de classificação com a distribuição das biotitas estudadas: (A) $Mg-R^{3+}-Fe^{2+}$ (Foster 1960), (B) $IVAl - Fe/(Fe+Mg)$ (Deer et al. 1992).

Biotitas de rochas plutônicas são frequentemente afetadas por reequilíbrio pós-magmático (Speer 1984). No diagrama $TiO_2-FeO+MnO-MgO$ (Nachit 1986), as biotitas dos granitos São Jorge Antigo e São Jorge Jovem formam um trend vertical que vai do campo de biotitas primárias para o de biotitas reequilibradas, enquanto as biotitas do Granito Jardim do Ouro plotam no primeiro campo e não mostram evidências de reequilíbrio. As biotitas do granito pórfiro (67c) posicionam-se no domínio de biotitas reequilibradas (Fig. 5A).

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE BIOTITA E TIPOLOGIA DE GRANITÓIDES Vários estudos têm procurado relacionar a composição química das biotitas com a natureza do magma a partir

do qual elas cristalizaram. Nachit *et al.* (1985), utilizando os conteúdos de Al_i e Mg de biotitas de diferentes granitóides, definiram campos representativos para essas rochas e mostraram a existência de uma relação direta entre a composição química desse mineral e o tipo de magma hospedeiro. Abdel-Rahman (1994) mostrou, por diagramas de elementos maiores das biotitas, que a composição deste mineral é dependente, sobretudo, da natureza do magma original.

No diagrama $Al_i \times Mg$ (Fig. 5B), as biotitas dos granitos São Jorge Antigo e São Jorge Jovem distribuem-se nos campos de rochas cálcico-alcálicas e subalcálicas, formando um trend aproximadamente vertical em razão de uma maior variação nos conteúdos de Al_i em relação aos teores pouco variáveis de Mg . A

Figura 5 - Diagramas (A) TiO_2 -FeO+MnO-MgO (Nachit 1986, óxidos em % em peso) e (B) $Al/(Al+Mg)$ (Nachit et al. 1985) para as biotitas dos granitóides da região de Vila Riozinho.

biotita do granito pórfiro (67c) plota no campo de rochas cálcico-alcalinas, enquanto aquela do Granito Jardim do Ouro posiciona-se no campo das rochas alcalinas, porém muito próximo do limite com o de rochas subalcalinas.

No diagrama MgO -FeO- Al_2O_3 (Fig. 6A), as biotitas estudadas plotam igualmente no campo de granitóides cálcico-alcalinos, com exceção da biotita do Granito Jardim do Ouro que mostra um posicionamento mal definido, porém tendendo para o campo de granitos anorogênicos.

Equilíbrio químico entre anfibólios e biotitas A interrelação geoquímica entre anfibólios e biotitas é importante para avaliar o grau de equilíbrio existente entre essas fases minerais. Um dos parâmetros geralmente utilizados para esta avaliação é a razão $Fe/(Fe+Mg)$ desses minerais. A Figura 6B revela que há boa correspondência entre essas razões nos granitos Jardim do Ouro

Figura 6 - (A) Diagrama MgO -FeO- Al_2O_3 (Abdel-Rahman 1994) de classificação de biotitas. (B) Diagrama comparativo entre razões $Fe/(Fe+Mg)$ de anfibólios e biotitas de granitóides da região de Vila Riozinho.

e pórfiro (67c) e uma maior variação nos granitos São Jorge Antigo e São Jorge Jovem. Tal comportamento sugere que anfibólios e biotitas cristalizaram em relativo equilíbrio nos dois primeiros corpos, porém sofreram, provavelmente, um reequilíbrio pós-magmático nos dois últimos (cf. Czamanske et al. 1981).

CONDIÇÕES DE CRISTALIZAÇÃO **Geobarometria com base no conteúdo de Al_i em anfibólio** Na Tabela 3 são apresentadas as pressões de cristalização sugeridas para os granitóides estudados, calculadas com base nos geotermômetros empíricos e experimentais do Al_i na hornblenda. Os valores de Al_i correspondem a análises realizadas apenas nas bordas dos cristais. Os referidos granitóides possuem a paragenese anfibólio-biotita-plagioclásio-álcali-feldspato-quartzo-titanita-magnetita, muito similar àquela

considerada ideal (Hammarstrom & Zen 1986; Hollister *et al.* 1987).

Os geobarômetros empíricos de Hammarstrom & Zen (1986) e Hollister *et al.* (1987) e o experimental de Blundy & Holland (1990) apresentam valores próximos, embora um pouco mais elevados neste último (Tabela 3). Comparando os estudos experimentais de Blundy & Holland (1990) e Schmidt (1992), o primeiro apoiado, além da pressão, na temperatura como responsável pelas mudanças no Al dos anfibólios e o segundo essencialmente na pressão, os valores obtidos são ainda mais próximos, sugerindo a influência de variações de temperatura e pressão nessas modificações (conforme Fig. 3A, B, C). O geobarômetro de Johnson & Rutherford (1989) forneceu pressões predominantemente inferiores às demais, provavelmente em decorrência de sua maior temperatura de calibração, o que proporcionaria um aumento no Al para uma mesma pressão (cf. Anderson & Smith 1995).

As rochas monzograníticas do Granito São Jorge Antigo teriam cristalizado a pressões que variam entre 3 e 1 kbar e as quartz-sieníticas a pressões inferiores a 1,7 kbar (Tabela 3). Valores mais elevados, entre 7 e 5 kbar, foram obtidos em Mg-hastingsita e tschermakita de rochas quartzo-monzodioríticas, provavelmente os primeiros anfibólios a cristalizar. Entretanto, a ocorrência de hornblenda-magnésiana nas bordas de muitos cristais de anfibólio dessas rochas sugere um final de colocação e cristalização a pressões próximas daquelas das rochas monzograníticas.

O Granito São Jorge Jovem possui hornblenda magnésiana e actinolita com conteúdos de Al comparativamente mais baixos, indicando cristalização a pressões entre 2 e 1 kbar (Tabela 3). Valores em torno de 1 kbar também foram encontrados por Ronchi *et al.* (2000) a partir do estudo de inclusões fluidas dessas rochas.

O Granito Jardim do Ouro possui anfibólio com conteúdos de Al em torno de 1,5 e teria cristalizado a pressões entre 4,6 e 3,0 kbar, inferiores a das rochas monzodioríticas, porém mais elevadas do que aquelas encontradas nas demais fácies do Granito São Jorge Antigo (Tabela 3). Entretanto, como esse anfibólio é mais rico em Fe do que os demais (Fig. 7A) e formou-se em condições menos oxidantes (Fig. 7B), é possível que tal pressão esteja superestimada (cf. Anderson & Smith 1995).

O granito pórfiro (18a) localizado no contato entre os ignimbritos da Formação Moraes Almeida e as rochas da Suíte Maloquinha (Fig. 1), também possui anfibólio enriquecido em Fe (Fig. 7A). Porém, as pressões sugeridas para o mesmo (2,7 a 1,0 kbar) não destoam muito das dos demais granitóides. Tal fato não implica, porém, que elas não possam estar igualmente exageradas. Sua associação com rochas vulcânicas e subvulcânicas (Fig. 1) aponta neste sentido.

Estimativa de fO_2 com base na composição de anfibólios Altas razões $Mg/(Mg+Fe)$, tanto em rocha total quanto em minerais ferromagnesianos, são indicativas de cristalização a fO_2 elevadas (Frost 1991, Anderson & Smith 1995), geralmente compatíveis com as condições de formação de granitos da série magnetita (Ishihara 1981). As razões $Mg/(Mg+Fe_2)$ encontradas nos anfibólios dos granitos São Jorge Antigo, São Jorge Jovem e no granito pórfiro associado ao primeiro (amostra 59), sugerem que esses granitóides formaram-se sob condições de fO_2 relativamente oxidantes. Essa hipótese é reforçada pelos dados petrográficos que mostram a ocorrência expressiva nessas rochas de titanita e magnetita magmáticas (Figueiredo 1999), considerados minerais indicadores de ambientes oxidantes (Wones 1989). Outras evidências neste sentido são o fato dessas rochas apresentarem sistematicamente valores relativamente elevados de suscetibilidade magnética

Figura 7 – (A) Diagrama $Fe/(Fe+Mg) \times Al$ de anfibólios (baseado em Anderson & Smith 1995) mostrando os possíveis intervalos de pressão de cristalização de anfibólios dos diferentes granitóides estudados; (B) Diagrama $Fe/(Fe+Mg) \times 10Al$ de anfibólios (baseado em Anderson & Smith 1995) mostrando as composições deste mineral nos diferentes granitos estudados e sua provável relação com a fO_2 reinante durante sua cristalização. Símbolos como na Figura 2.

(Figueiredo 1999), bem como a composição da biotita (Tabela 2). O Granito Jardim do Ouro e o granito pórfiro 18a possuem anfibólios com razões $Mg/(Mg+Fe_2)$ inferiores e teriam cristalizado num ambiente comparativamente menos oxidante. O diagrama relacionando a razão $Fe/(Fe+Mg) \times 10Al$ de anfibólios (Fig. 7B) ilustra de maneira mais clara as relações entre a composição dos anfibólios dos diferentes granitóides e as condições de fO_2 .

Geotermometria Os intervalos de temperatura (Tabela 4) estimados para os diferentes granitóides foram obtidos com o geotermômetro hornblenda-plagioclásio de Blundy & Holland (1990) e Holland & Blundy (1994). São indicadas também para comparação, temperaturas próximas do *liquidus* para essas rochas (Lamarão 2001) obtidas com o geotermômetro de saturação em Zr (Watson & Harrison 1983). As temperaturas de saturação em Zr da fácies BAQMD do Granito São Jorge Antigo não puderam ser determinadas uma vez que as evidências geoquímicas (Lamarão 2001) mostram que a mesma não atingiu saturação nesse elemento.

Tabela 3 - Pressões de cristalização indicadas para os granitóides da região de Vila Riozinho pelas diferentes formulações do geobarômetro Al₁ em anfibólios.

Granito	Fácies/Amostra	Anfibólio	Al total	Pressões (kbar)				
				a (*)	b (*)	c (#)	d (#)	e (#)
São Jorge Antigo	BAQMD	Mg-hast	2,1 a 1,7	6,6 a 4,6	7,0 a 4,8	5,4 a 3,7	7,0 a 5,0	7,1 a 5,0
		Tsch	1,9 a 1,7	5,6 a 4,6	5,9 a 4,8	4,6 a 3,7	6,0 a 5,0	6,0 a 5,0
		HbMg	1,6 a 1,0	4,1 a 1,1	4,3 a 0,9	3,3 a 0,8	4,5 a 1,5	4,6 a 1,7
	ABMZG a ABQM	HbMg	1,3 a 0,85	2,6 a 0,9	2,6 a 0,6	2,0 a 0,6	3,0 a 1,2	3,2 a 1,5
		HbMg	1,0 a 0,9	1,1 a 0,7	0,9 a 0,5	0,8 a 0,4	1,5 a 1,0	1,7 a 1,3
São Jorge Jovem	ABMZG	HbMg	1,1 a 0,9	1,6 a 0,6	1,4 a 0,3	1,2 a 0,4	2,0 a 1,0	2,3 a 1,3
Jardim do Ouro	ABMZG	Fe-hb	1,6 a 1,3	4,1 a 2,6	4,3 a 2,6	3,3 a 2,0	4,5 a 3,0	4,6 a 3,2
		Fe-ed	1,5	3,6	3,7	2,9	4,0	4,1
Pórfiro	59	HbMg	1,1 a 1,0	2,6 a 1,1	2,3 a 0,9	2,0 a 0,8	3,0 a 1,5	3,2 a 1,7
Pórfiro	18a	Fe-hb	1,2 a 0,9	2,1 a 0,6	2,0 a 0,3	1,6 a 0,4	2,5 a 1,0	2,7 a 1,3

a - Hammarstrom & Zen (1986): $P (\pm 3 \text{ kbar}) = 5,03 \text{ Alt} - 3,92$; b - Hollister et al. (1987): $P (\pm 1 \text{ kbar}) = 5,64 \text{ Alt} - 4,76$; c - Johnson & Rutherford (1989): $P (\pm 0,5 \text{ kbar}) = 4,23 \text{ Alt} - 3,46$; d - Blundy & Holland (1990): $P (\text{kbar}) = 5,03 \text{ Alt} - 3,53$; e - Schmidt (1992): $P (\pm 0,6 \text{ kbar}) = 4,76 \text{ Alt} - 3,01$. (*) = empírico; (#) = experimental. BAQMD = Biotita-anfibólio-quartzo-monzodiorito; ABQS = Anfibólio-biotita-quartzo-sienito; ABMZG = Anfibólio-biotita-monzogranito; Mg-hast = Mg-hastingsita; Tsch = Tschermakita; HbMg = Hornblenda magnesiana; Fe-ed = Ferro-edenita; Fe-hb = Ferro-hornblenda.

Tabela 4 - Temperaturas de cristalização estimadas para os granitóides da região de Vila Riozinho com base nos geotermômetros hornblenda-plagioclásio e saturação em Zr.

Granito	Fácies/Amostra	Anfibólio	THb-Pl (°C)	THb-Pl (°C)	TZr (°C)
			1	2	3
São Jorge Antigo	BAQMD	Mg-hast	893 - 787	901 - 843	x
	ABMZG a ABQM	HbMg	663 - 592	685 - 553	845 - 800
	ABQS	HbMg	736 - 630	726 - 671	844 - 825
São Jorge Jovem	ABMZG	HbMg	677 - 537	686 - 654	796 - 770
Jardim do Ouro	ABMZG	Fe-Hb	803 - 686	775 - 736	795
Pórfiro	59	HbMg	x	x	814 - 808
Pórfiro	18a	Fe-Hb	772 - 685	810 - 713	876

1 = Blundy & Holland (1990); 2 = Holland & Blundy (1994); 3 = Watson & Harrison (1983). BAQMD = Biotita-anfibólio-quartzo-monzodiorito; ABQS = Anfibólio-biotita-quartzo-sienito; ABMZG = Anfibólio-biotita-monzogranito; Mg-hast = Mg-hastingsita; HbMg = Hornblenda magnesiana; Fe-hb = Ferro-hornblenda.

Os BAQMD do granito São Jorge Antigo indicaram temperaturas entre 900-840 °C com o geotermômetro de Holland & Blundy (1994). Os ABMZG+ABQM deste granito e os ABMZG do Granito São Jorge Jovem forneceram temperaturas entre 685-553 °C e 686-654 °C, respectivamente. Tais temperaturas são comparativamente inferiores àquelas obtidas com o geotermômetro de saturação em Zr (Tabela 4). Essas diferenças poderiam estar relacionadas a um reequilíbrio sofrido pelos anfibólios desses dois últimos granitos e, neste caso, as temperaturas obtidas não seriam representativas das reinantes durante a cristalização magmática. Para o granito Jardim do Ouro, as temperaturas obtidas com o geotermômetro de Holland & Blundy (1994) situam-se entre 775-736 °C, próximas da temperatura de saturação em Zr (795 °C). O granito pórfiro 18a apresentou temperaturas entre 810 e 713 °C com o geotermômetro hornblenda-plagioclásio e de 876 °C com o geotermômetro de saturação em Zr.

As temperaturas obtidas com o geotermômetro de Blundy &

Holland (1990), por outro lado, apresentaram diversos valores abaixo da temperatura do *solidus* admitida para sistemas graníticos afins (em torno de 700 °C, Naney 1983, Johannes & Holtz 1996).

Dentre as temperaturas obtidas, as indicadas pelo geotermômetro do zircão são muito provavelmente as mais representativas das reinantes em condições próximas do *liquidus* nas diferentes fácies. Este geotermômetro tem-se mostrado coerente com dados experimentais, como no caso do granito Jamon (Dall'Agnol et al. 1999b).

CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES Os dados de química mineral de anfibólios e biotitas revelaram diferenças e semelhanças significativas entre os vários granitóides da região de Vila Riozinho. O anfibólio do granito São Jorge Antigo varia de Mg-hastingsita e tschermakita a hornblenda magnesiana, e no granito São Jorge Jovem de hornblenda magnesiana a actinolita, todos com razões Mg/(Mg+Fe₂) elevadas, sugerindo formação em condições oxidantes. No Granito Jardim do Ouro, predomina Fe-hornblenda e, raramente Fe-edenita, com razões Mg/(Mg+Fe₂) inferiores e formadas, ao que tudo indica, num ambiente comparativamente menos oxidante.

Os dois granitos pórfiros estudados possuem anfibólios composicionalmente distintos. No primeiro, associado ao Granito São Jorge Antigo (amostra 59), predomina hornblenda magnesiana de composição similar à do anfibólio das fácies ABMZG+ABQM, sugerindo uma ligação genética e temporal entre essas rochas. Os dados geoquímicos (Lamarão 2001, Lamarão et al. 2002, Lamarão & Dall'Agnol 2002) também apontam neste sentido. No segundo (amostra 18a), associado aos ignimbritos e às rochas da Suíte Maloquinha, ocorrem Fe-hornblendas similares às observadas do Granito Jardim do Ouro, sugerindo uma ligação daquele pórfiro com este corpo granítico. Tais dados reforçam a existência de pelo menos duas gerações distintas de granitos pórfiros na região.

As biotitas dos granitos São Jorge Antigo, São Jorge Jovem e pórfiro (67c), são ricas em Mg, distribuem-se no campo de granitos cálcio-alcalinos a subalcalinos e mostram características de biotitas reequilibradas. As biotitas do Granito Jardim do Ouro, por outro lado, são mais ricas em Fe deslocando-se em direção ao polo da anita, tendem para o campo de granitos alcalinos e não apresentam sinais de reequilíbrio.

Pressões entre 3 e 1 kbar e inferiores a 1,7 kbar foram obtidas, respectivamente, para monzogranitos e quartzo-sienitos do Granito São Jorge Antigo pelo geobarômetro do Al na hornblenda. Pressões mais elevadas (6 ± 1 kbar) foram registradas em Mg-hastingsita e tschermakita de monzodioritos deste corpo. Entretanto, a ocorrência de hornblenda magnésiana nas bordas de diversos cristais de anfibólio dessas rochas sugere um final de colocação e cristalização a pressões similares àquelas das rochas monzograníticas. O granito pórfiro associado ao Granito São Jorge Antigo (amostra 59), possui anfibólio com conteúdos de Al que se superpõem ao dos ABMZG+ABQM deste corpo, sugerindo níveis similares de colocação e reforçando a hipótese de uma provável ligação genética entre ambos. O Granito São Jorge Jovem, com base na composição de hornblenda magnésiana, formou-se a pressões entre 2 e 1 kbar. Entretanto, a ocorrência considerável neste granito de anfibólio com composição actinolítica sugere a possibilidade de reequilíbrio *subsólido* e tais valores devem ser tomados com cautela. O Granito Jardim do Ouro e o granito pórfiro associado aos ignimbritos e às rochas da Suíte Maloquinha (amostra 18a), teriam cristalizado a pressões de 4,5 a 3,0 kbar e 2,7 a 1,0 kbar, respectivamente. Porém, como os anfibólios desses granitos são muito mais ricos em Fe do que os demais e formaram-se em fO_2 mais baixa, é possível que seus conteúdos de Al tenham sido afetados, acarretando um aumento aparente da pressão.

O geotermômetro de Holland & Blundy (1994) indicou temperaturas entre 900-840 °C para as rochas quartzo-monzodioríticas do Granito São Jorge Antigo. Para as rochas monzograníticas e quartzo-sieníticas deste corpo e as monzograníticas do Granito São Jorge Jovem as temperaturas registradas foram de 685 a 553 °C e 686 a 654 °C, respectivamente. Essas temperaturas são comparativamente bem inferiores àquelas obtidas com o geotermômetro de saturação em Zr e podem estar refletindo um provável reequilíbrio sofrido pelos anfibólios desses dois últimos granitos. Para o granito Jardim do Ouro, as temperaturas obtidas com o mesmo geotermômetro situam-se entre 775 e 736 °C, próximas da temperatura de saturação em Zr (795 °C). O granito pórfiro (18a), por outro lado, apresentou temperaturas entre 810 e 713 °C com o geotermômetro hornblenda-plagioclásio e de 876 °C com o de saturação em Zr. As temperaturas de saturação em Zr são provavelmente indicativas daquelas próximas do liquidus para as diferentes *fácies* e corpos graníticos.

Agradecimentos Os autores agradecem a empresa Rio Tinto Desenvolvimento Minerais-RTDM, a ADIMB, ao Instituto de Geociências da UFRGS, ao Centro de Geociências da UFPA, ao CNPq e a Capes. Este trabalho é uma contribuição aos projetos PRONEX/CNPq (Proj. 103-98 - Proc. 66.2103/1998-0) e IGCP-426. Aos revisores da RBG pelas sugestões ao manuscrito.

Referências

- Abdel-Rahman A.M. 1994. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. *J. Petrol.*, **35**:525-541.
- Almeida M.E., Brito M.F.L., Ferreira A.L., Monteiro M.A.S. 2000. *Projeto especial Província Mineral do Tapajós. Geologia e Recursos Minerais da Folha Mamãe Anã (SB-21-V-D). Estados do Pará e Amazonas. Escala 1:250.000. CPRM. (Nota explicativa, em CD-ROM).*
- Anderson J.L. & Smith, D.R. 1995. The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer. *Am. Mineral.*, **80**:549-559.
- Bahia R.B.C. & Quadros M.L.E.S. 2000. *Geologia e recursos minerais da Folha Caracol (SB-21-X-C), Estado do Pará. Escala 1:250.000. CPRM. (Nota explicativa, em CD-ROM).*
- Blundy J.D. & Holland T.J.B. 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contr. Mineral. Petrol.*, **104**:208-224.
- Bruto M.F., Almeida L.M.E., Macambira M.J.B. 1999. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age of Calc-Alkaline Rapakivi Granite in Tapajós Gold Province, Amazon Craton-Brazil. In: South American Symposium on Isotope Geology, 2nd. *Expanded abstract*, p. 40-43.
- Chivas A.R. 1981. Geochemical Evidence for Magmatic Fluids in Porphyry Copper Mineralization. Part I. Mafic Silicates from Koloula Igneous Complex. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **78**:389-403.
- Czamanske G.K. & Wones D.R. 1973. Oxidation During Magmatic Differentiation, Finnmarka Complex, Oslo Area, Norway: Part 2: The Mafic Silicates. *J. Petrol.* **14**:348-380.
- Czamanske G.K., Ishihara S., Atkin S.A. 1981. Chemistry of rock-forming minerals of the Cretaceous-Paleocene batholith in Southwestern Japan and implications for magma genesis. *J. Geophys. Res.* **86**:10431-10469.
- Dall'Agnol R. & Silva C.M. G. 1991. Os Riólitos com faialita e clinopiroxênio da região do Baixo Rio Jamanxim: dados preliminares. In: SBG, Simp. Geol. Amazônia, 3. Belém. *Anais*, p. 603.
- Dall'Agnol R., Silva C.M.G., Scheller T. 1999a. Fayalite-hedbergite rhyolites of the Iriri Formation, Tapajós Gold Province, Amazonian Craton: Implications for the Uatumã volcanism. In: Simp. sobre Vulcanismo e Ambientes Associados, 1, Gramado, *Boletim de resumos*, p. 31.
- Dall'Agnol R., Scaillet B., Pichavant M. 1999b. An experimental study of a Lower Proterozoic A-type granite from the Eastern Amazonian Craton, Brazil. *J. Petrol.*, **40**:1673-1698.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1992. *Rock-forming minerals*. London, 2ª Ed. Longmans (eds.), 696 p.
- Dymek R.F. 1983. Titanium, aluminium and interlayer cation substitutions in biotite from high-grade gnaisses, West Greenland. *Am. Mineral.*, **68**:880-899.
- Faraco M.T.L., Carvalho J.M.A., Klein E.L. 1997. Carta Metalogenética da Província Aurífera do Tapajós. In: M.L. Costa & R.S. Angélica (eds). *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém, FINEP, SBG-NO, p. 423-437.
- Figueiredo M.A.B.M. 1999. *Minerais óxidos de Fe e Ti e Suscetibilidade Magnética em vulcânicas e granitóides Proterozóicos de Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós*. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 171p.
- Foster M.D. 1960. Interpretation of the composition of trioctahedral micas. *U. S. Geol. Surv., Prof. Paper*, **354**:1-49.

- Frost R.B. 1991. Introduction to oxygen fugacity and its petrologic importance. In: Lindsley, D. H. (ed.). *Oxide minerals: petrologic and magnetic significance*, pp.: 1-9.
- Hammarström J.M. & Zen E.A. 1986. Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer. *Am. Mineral.*, **71**:1297-1313.
- Holland T.J.B. & Blundy J.D. 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **116**:433-447.
- Hollister L.S., Grisson G.C., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B. 1987. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *Am. Mineral.*, **72**:231-239.
- Ishihara S. 1981. The granitoid series and mineralization. *Econ. Geol.*, **75**:458-484.
- Johnson M.C. & Rutherford M.J. 1989. Experimental calibration of the aluminium-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *Geology*, **17**:837-841.
- Johannes W. & Holtz F. 1996. *Petrogenesis and Experimental Petrology of Granitic Rocks*. Springer, Berlin, 335 pp.
- Klein E.L. & Vasquez M.L. 2000. *Projeto especial Província Mineral do Tapajós. Geologia e recursos minerais da Folha Vila Riozinho (SB.21-Z-A). Estado do Pará. Escala 1:250.000. CPRM. (Nota explicativa, em CD-Rom).*
- Lamarão C.N., Dall'Agnol R., Lafon J.M., Lima E. F. 1999. Associações vulcânicas e plutônicas de Vila Riozinho e Moraes Almeida, Província Aurífera do Tapajós, SW do Estado do Pará. In: Simp. sobre Vulcanismo e Ambientes Associados, 1, Gramado, *Boletim de resumos*, p. 93.
- Lamarão C.N. 2001. *Geologia, Geoquímica e Geocronologia do Magmatismo Paleoproterozóico da Região de Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós, Cráton Amazônico*. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará., 285 p.
- Lamarão C.N. & Dall'Agnol R. 2002. Granitóides São Jorge Antigo e São Jorge Jovem: petrografia e geoquímica de magmatismo cálcico-alcálico alto-K paleoproterozóico na Província Aurífera do Tapajós, Cráton Amazônico. In: Klein, E.L., Vasquez M.L. & Rosa-Costa L.T. (Eds.) *Contribuições à Geologia da Amazônia*. SBG-NO, Belém, vol. 3, p. 53 – 66.
- Lamarão C.N., Dall'Agnol R., Lafon J.M., Lima E.F. 2002. Geology, Geochemistry and Pb-Pb zircon Geochronology of the Paleoproterozoic Magmatism of Vila Riozinho, Tapajós Gold Province, Amazonian Craton, Brazil. *Prec. Res.* **119**:189-223.
- Leake B.E., Wooley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Schumacher J., Smith J.C., Stephenson N.C. N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. 1997. Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Mineral. Mag.*, **61**:295-321.
- Moura C.A.V., Gorayeb P.S.S., Matsuda N.S. 1999. Geocronologia Pb-Pb em zircão do Riolo Vila Raiol, Formação Iriri-sudoeste do Pará. In: SBG, Simp. Geol. Amazônia, 6, Manaus. *Boletim de resumos expandidos*, p. 475-477.
- Nachit H., Razafimahefa N., Stussi J.M., Carron J.P. 1985. Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoides. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **301**:813-818.
- Nachit H. 1986. *Contribution à l'étude analytique et expérimentale des biotites des granitoïdes. Applications typologiques*, Tese de doutoramento, Université de Bretagne Occidentale, 181 pg.
- Naney M.T. 1983. Phase equilibria of rock-forming ferromagnesian silicates in granitic systems. *Am. Jour. Sci.*, **283**:993-1033.
- Quadros M.L.E.S., Bahia R.B.C., Klein E.L., Vasquez M.L., Almeida M.E., Ricci P.S.F., Monteiro M. A.S. 1999. As intrusões básicas da Província Mineral do Tapajós (PMT) e possibilidades de mineralizações associadas. In: SBG, Simp. Geol. Amazônia, 6, Manaus. *Boletim de resumos expandidos*, p. 566-569.
- Ricci P.S.F., Vasquez M.L., Santos A., Klein E.L., Jorge João X.S., Martins R.C. 1999. Suíte Intrusiva Creporizão-Província Tapajós: proposta e critérios de definição. In: SBG, Simp. Geol. Amazônia, 6, Manaus. *Boletim de resumos expandidos*, p. 519-522.
- Richard L.R. 1995. *Minpet Software. Mineralogical and Petrological data processing system*. Versão 2.02. Copyright (1988-1995).
- Ronchi L.R., Dall'Agnol R., Lamarão C.N., Borges R.M.K. 2000. Fluid inclusions in the gold deposit of the São Jorge Granite, Tapajós, Brazil. In: Intern. Geol. Congr., 31st, Rio de Janeiro. *Abstracts volume*. (in CD-ROM).
- Santos J.O.S. 1984. Classificação das rochas vulcânicas Uatumã. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 33, Rio de Janeiro. *Anais*, p. 4535-4538.
- Santos D.B., Fernandes P.E., Dreher A.M., Cunha F.M.B., Basei M.A.S., Teixeira J.B.G. 1975. *Geologia da Folha SB-21-Tapajós – Projeto RADAM. DNPM. Rio de Janeiro. Levantamento dos Recursos Naturais*. v.7, p. 15-116.
- Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gond. Res.*, **3**:453-488.
- Santos J.O.S., Hartmann L.A., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2001. Timing of mafic magmatism in the Tapajós Province (Brazil) and implications for the evolution of the Amazon Craton: evidence from baddeleyite and zircon U-Pb SHRIMP geochronology. *J. South Am. Earth Sci.* **15**:409-429.
- Schmidt M.W. 1992. Amphibole composition in tonalites as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **110**:304-310.
- Speer J.A. 1984. Micas in igneous rocks. In: Bailey, S. W. (ed.), *Micas. Reviews in Mineralogy*, 13, pp.: 299-356.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, **22**:174-182.
- Vasquez M.L., Klein E.L., Quadros M.L.E., Bahia R.B.C., Santos A., Ricci P., Sachett C.R., Silva C. M.G., Macambira M.J.B. 1999. Magmatismo Uatumã na Província Tapajós – Novos dados geocronológicos. In: SBG, Simp. Geol. Amazônia, 6, Manaus. *Boletim de resumos expandidos*, p. 471-474.
- Vasquez M.L., Klein E.L., Macambira M.J.B., Santos A., Bahia R.B.C., Ricci P.S.F., Quadros M.L.E. 2000. Geochronology of granitoids, mafic intrusions and mineralizations of the Tapajós Gold Province-

- Amazonian Craton-Brazil. In: International Geological Congress, 31. *Abstracts volume*. (in CD-ROM).
- Vasquez M.L., Klein E.L., Ricci P.S.F. 2001. Granitóides pós-colisionais da porção leste da Província Tapajós. In: SBG, Simp. Geol. Amazônia, 7, Belém. (em CD-ROM).
- Vyhnal C.R., McSween Jr. H.Y., Speer J.A. 1991. Hornblende chemistry in southern Appalachian granitoids: Implications for aluminum hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability. *Am. Mineral.*, **76**:176-188.
- Watson E.B. & Harrison T.M. 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **64**:295-304.
- Wones D.R. 1989. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. *Am. Mineral.*, **74**:744-749.

Manuscrito A-1410

Recebido em 19 de fevereiro de 2003

Revisão dos autores em 25 de novembro de 2003

Revisão aceita em 02 de dezembro de 2003