

O MAGMATISMO ARQUEANO DA REGIÃO DE TUCUMÃ-PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS: NOVOS RESULTADOS GEOCRONOLÓGICOS

VALTER GAMA DE AVELAR*, JEAN-MICHEL LAFON*,
FIRMINO COUTINHO CORREIA JR.* E EDÉSIO MARIA BUENANO MACAMBIRA **

ABSTRACT *ARCHEAN MAGMATISM IN THE TUCUMÃ REGION-CARAJÁS MINERAL PROVINCE: NEW GEOCHRONOLOGICAL RESULTS* New geochronological determinations have been performed by the Pb/Pb method on zircons from Archean magmatic rocks of the Tucumã region in the Carajás Mineral Province (PMC). Zircons from a granodioritic orthogneiss of the Xingu Complex furnished an age of 2974 ± 15 Ma. Zircons from a felsic metavolcanic rock at the top of the Tucumã greenstones and an associated metagranodiorite gave ages of 2868 ± 8 Ma and 2852 ± 16 Ma, respectively. These results confirm that the principal episode of crustal growth in the southern part of the PMC took place between 3,0 and 2,85 Ga. The age of 2736 ± 24 Ma obtained for zircons from a syn-collisional granitoid indicate the time of the main deformational event of the Itacaiúnas shear belt (northern part of the PMC). Comparison of the available geochronological results for the PMC point out a distinct time-related evolution between the different regions. The southern part of the PMC behaved as a stable crustal block during the evolution of the Itacaiúnas shear belt between 2,74 Ga and 2,5 Ga. These new Pb/Pb results are systematically older than the previous Rb/Sr obtained on the same rocks, suggesting the open behaviour of the Rb/Sr chronometer in Archean rocks of the PMC.

Keywords: Magmatism, Archean, Zircon Pb/Pb geochronology, Carajás Mineral Province

RESUMO Novos dados geocronológicos foram obtidos pelo método Pb/Pb em monocristais de zircão de rochas magmáticas arqueanas da região de Tucumã, na Província Mineral de Carajás (PMC). Zircões de um ortogneisse granodiorítico do Complexo Xingu forneceram uma idade de 2974 ± 15 Ma, enquanto que zircões provenientes de uma rocha metavulcânica félsica do topo das sequências de *greenstones belts* do Grupo Tucumã e de um metagranodiorito associado a essas sequências definiram idades de 2868 ± 8 Ma e 2852 ± 16 Ma, respectivamente. Esses dados confirmam que o período entre 3,0-2,85 Ga constitui o principal episódio de formação da crosta sílica na porção sul da PMC. A idade de 2736 ± 24 Ma, obtida para zircões de um granito estratóide sin-colisional, indica a época de estruturação do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (porção norte da PMC) e desvincula esse magmatismo daquele gerador dos granitóides dos terrenos *granito-greenstones*. A comparação dos dados geocronológicos para as porções norte e sul da PMC, demonstra que essas regiões tiveram uma evolução diferente - a região sul comportou-se como um bloco crustal estável, durante a evolução do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, a norte. Finalmente, as idades Pb/Pb em zircão, obtidas para as rochas da região de Tucumã são sistematicamente superiores às idades Rb/Sr, confirmando o comportamento em sistema aberto do cronometro Rb/Sr das rochas arqueanas da PMC.

Palavras-chaves: Magmatismo, Arqueano, Geocronologia Pb/Pb em zircão, Província Mineral de Carajás

INTRODUÇÃO A Província Mineral de Carajás (PMC), situada na porção oriental do Cráton Amazônico, é uma das regiões melhor estudadas da Amazônia devido seus importantes recursos minerais. Entretanto, se algumas áreas dessa província, como as regiões da Serra dos Carajás ou de Rio Maria, foram alvo de estudos sistematizados do ponto de vista geológico, metalogenético e geocronológico, outras ainda não o foram (regiões de Tucumã, Xinguara e Redenção), o que tem dificultado a elaboração de um quadro evolutivo integrado.

A região de Tucumã, na porção Sudoeste da PMC (Fig. 1), foi incorporada no contexto dessa província, graças aos trabalhos de mapeamento geológico realizados recentemente pela CPRM, que permitiram o esboço do quadro litoestratigráfico da área. Os dados geocronológicos disponíveis para essa região são muito limitados e foram obtidos em grande parte pelo método Rb/Sr, sendo estes insuficientes para sustentar um modelo evolutivo.

O método de datação por evaporação direta de Pb em zircão constitui uma ferramenta apropriada para a determinação da idade de cristalização de rochas antigas. O uso desta técnica é particularmente válida em regiões onde o acervo de informações geocronológicas ainda é bastante reduzido ou constituído essencialmente por dados obtidos através de geocronômetros sensíveis à perturbações pós-cristalização (Gaudette *et al.* 1993, 1998, Macambira *et al.* 1994).

Nesse trabalho, o método de evaporação direta de Pb em zircão foi aplicado em algumas das unidades magmáticas mais representativas da região de Tucumã. Objetivou-se assim, trazer referências cronológicas novas para as unidades magmáticas arqueanas e investigar suas relações com a estruturação geotectônica regional. Esses dados visam também estabelecer as correlações com a cronologia dos eventos termo-tectônicos evidenciados em outras regiões da PMC.

A PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS LITOESTRATIGRÁFICAS O quadro geológico da PMC foi delineado por Hirata *et al.* (1982) e DOCEGEO (1988), os quais elaboraram os primeiros trabalhos de síntese sobre a mesma. Os trabalhos de mapeamento geológico desenvolvidos pela CPRM a partir do final da década de 80, através do Programa Grande Carajás, muito contribuíram para aprimorar o conhecimento deste quadro. Esses estudos levaram Araújo *et al.* (1994) e Costa *et al.* (1994, 1995) à proposição de integração geológica das diferentes folhas que abrangem a Província Mineral de Carajás (Folhas SB.22-X.C/Serra

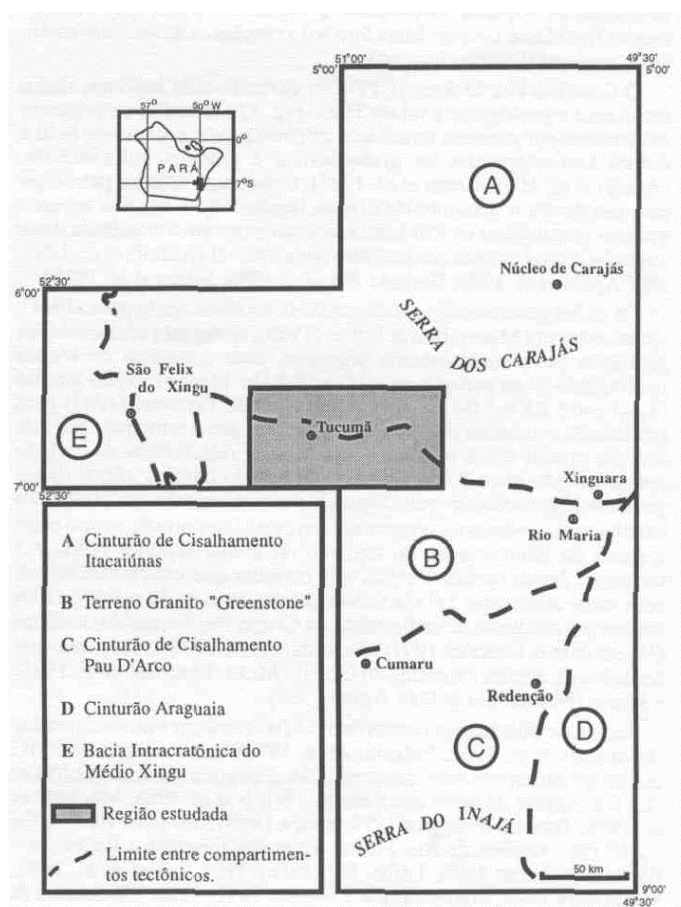


Figura 1 - Arcabouço estrutural da Província Mineral de Carajás, segundo Araújo *et al.* (1994).

* Centro de Geociências, Caixa Postal 1611, Universidade Federal do Pará 66075-110 Belém, Pará, E-mails: valter@ufpa.br, lafonjm@ufpa.br, firmino@ufpa.br

Pelada; SB.22-Z.A/Serra dos Carajás; SB.22-Z.C/Xinguara; SB.22-X.A/Redenção e SB.22-Y.B/São Félix do Xingu; Fig. 1).

O arranjo estrutural entre as principais unidades litológicas da porção sul da Província Mineral de Carajás está relacionado a um evento de colisão oblíqua de segmentos continentais, ocorrido no final do Arqueano e com duração de pelo menos 250 Ma. Esse evento expressa-se através de 3 compartimentos geotectônicos orientados na direção E-W, formados pelos terrenos *granito-greenstones* preservados (terrenos de médio a baixo grau), que são cercados a norte e a sul por cinturões de cisalhamentos (Itacaiúnas e Pau D'Arco, respectivamente) que constituem terrenos de alto grau metamórfico (Araújo *et al.* 1994, Costa *et al.* 1995) e Costa & Hasui 1997), (Fig. 1).

Para a região norte da PMC (Bacia dos Carajás), Teixeira & Eggler (1994), propuseram um modelo geotectônico baseado em dados estruturais, petrográficos, geoquímicos e isotópicos, sugerindo um processo de placas em convergência oblíqua. Este modelo envolve um contexto de subducção seguida pela colisão de dois terrenos continentais no arqueano, onde a margem ativa (ao norte), representada pelo Complexo Xingu, constitui o embasamento da Bacia dos Carajás, enquanto a margem passiva (ao sul) corresponde ao terreno *granito-greenstone* (Supergrupo Andorinhas). Segundo os autores este processo perdurou por aproximadamente 200 Ma.

O Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (CCI), a norte, é constituído por faixas e lentes de rochas granulíticas (Complexo Pium), gnaisses localmente migmatizados (Complexo Xingu), rochas supracrustais (Grupo Sapucaia) e granitóides estratóides (Suite Plaque), dispostas segundo direções E-W. O Terreno *Granito-Greenstone* do Sul do Pará (TGG) é formado por faixas orientadas nas direções E-W, NW-SE e NE-SW, sendo composto principalmente por rochas metavulcano-sedimentares (Grupos Andorinhas e Tucumã), granitóides (Granodiorito Rio Maria, Granito Mata Surrão), complexos máfico-ultramáficos e gnaisses (Gnaiss Mogno).

O Cinturão Pau D'Arco (CPD) foi definido com base nos dados estruturais e geológicos a sul do TGG (Fig. 1) e constitui-se predominantemente por gnaisses tonalíticos migmatizados, *greenstone belts* e corpos lenticularizados de granodioritos e granitos milonitizados, (Araújo *et al.* 1994, Costa *et al.* 1995). Entretanto, estudos petrológicos, estruturais e geocronológicos na região logo a sul dos terrenos *granito-greenstones* de Rio Maria não confirmaram a existência deste cinturão, a qual permanece bastante questionável (Althoff *et al.* 1995, Dali'Agnolet *et al.* 1996, Barbosa & Lafon 1996, Souza *et al.* 1996).

Os dados geocronológicos disponíveis até o momento para a PMC, sintetizados em Macambira & Lafon (1995), sustentam uma evolução geológica predominantemente arqueana, com formação de rochas restringindo-se ao período de 3,0 Ga a 2,5 Ga. Idades-modelo Sm-Nd (T_{DM}) entre 2,8 e 3,04 Ga obtidas por Sato & Tassinari (1997) para granitóides e gnaisses da PMC, confirmaram que a principal época de acreção crustal dessa província está mesmo relacionada ao período compreendido entre 3,0 e 2,85 Ga, de acordo com os vários dados geocronológicos disponíveis. Segundo o mesmo estudo, as correlações isotópicas (ϵ_{Nd} versus ϵ_{Sr}) sugeriram um curto intervalo de tempo entre a época da diferenciação do material do manto superior (DM) e a formação dessas rochas. Porém, vale ressaltar que indícios de rochas com idade superior a 3,0 Ga foram obtidos através do método U-Pb em zircões detriticos de sedimentos do Grupo Rio Fresco/Andorinhas (Macambira & Lancelot 1991, Macambira *et al.* 1998) e como núcleos herdados de zircões extraídos do Granito Musa (Machado *et al.* 1991) e Jamon (Macambira & Dall'Agnolet 1997).

Embora evidências de rochas de até 3,0 Ga tenham sido encontradas (Rodrigues *et al.* 1992, Pidgeon *et al.* 1998), o setor norte da PMC parece ter experimentado uma evolução geológica posterior (2,85 Ga - 2,5 Ga - região da Serra dos Carajás - Wirth *et al.* 1986, Machado *et al.* 1991, Teixeira & Eggler 1994, Souza 1996) à do setor sul (3,0 Ga - 2,87 Ga - regiões de Rio Maria, Serra dos Gradaús e Redenção - Barbosa & Lafon 1996, Lafon & Scheller 1994, Lafon *et al.* 1994, Macambira 1992, Macambira & Lancelot 1991, 1996, Macambira & Scheller 1994, Pimentel & Machado 1994).

Na região da Serra dos Carajás foram destacados três eventos tectono-metamórficos com idades de 2,85 Ga, 2,77-2,73 Ga e 2,58-2,53 Ga (Machado *et al.* 1991). Esses eventos não foram ainda identificados com clareza nas outras porções da província. No entanto, os dados Rb/Sr em rocha total e K/Ar em minerais, obtidos em rochas arqueanas dessas porções, indicam idades entre 2,75 Ga e 2,50 Ga (Gastai *et al.* 1987, Montai vão *et al.* 1988, Lafon & Macambira 1990, Lafon *et al.* 1991, Duarte *et al.* 1991, Macambira *et al.* 1988, 1991),

induzindo à possibilidade de que esses eventos tenham atingido toda a PMC.

Durante o Paleoproterozóico, a PMC foi submetida regionalmente a uma movimentação extensional, geradora de falhas normais NW-SE e de transferência NE-SW (Costa *et al.* 1991, Costa & Hasui 1992). Esse evento termo-tectônico propiciou a formação de rochas vulcânicas e sedimentares (Grupo Uatumã e Formação Triunfo, respectivamente), bem como a intrusão de granitos anorogênicos (amplamente espalhados na província), e corpos básico-ultrabásicos (Costa *et al.* 1991, Costa & Hasui 1992, Costa *et al.* 1995 e Dall' Agnolet *et al.* 1994).

CONTEXTO GEOLÓGICO DA REGIÃO DE TUCUMÃ

A região de Tucumã ocupa as porções sudeste e sudoeste, respectivamente, das Folhas SB.22-Y.B e SB.22-Z.A (Fig. 2), e abrange os domínios do Terreno *Granito-Greenstone* do Sul do Pará e do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, ambos de idades arqueanas (Costa *et al.* 1993, Macambira & Vale 1997). A região é marcada ainda, por unidades Proterozóicas englobadas nas Suítes Intrusivas Cateté e Velho Guilherme. A unidade Cateté é formada por rochas máfico-ultramáficas (serpentinitos, piroxenitos e gabronoritos), não metamorfizadas e intrusivas nas rochas do CCI (Complexo Xingu e Granito Plaque). A Suíte Velho Guilherme é constituída por granitos de forma arredondada (Granitos Seringa e Velho Guilherme), apresentando uma composição monzogranítica a álcali-feldspato granítica e intrusivos nas rochas dos TGG (Granodiorito Rio Maria e Grupo Tucumã).

O Terreno *Granito-Greenstone* do Sul do Pará Este compreende várias faixas de rochas supracrustais incluídas no Grupo Tucumã (GT), orientadas preferencialmente na direção NW-SE, e uma expressiva fração do Granodiorito Rio Maria (GRM). A estruturação desse terreno é definida por um arranjo anastomosado de zonas de Cisalhamento oblíquas e transcorrentes, que afetam principalmente as rochas do GT. As relações entre os granitóides do GRM e as rochas supracrustais do GT são definidas por zonas de Cisalhamento relacionadas a um sistema de transcorrência dextral e desenvolvidas em regime de transpressão (Costa *et al.* 1993, Macambira & Vale 1997). O Grupo Tucumã foi denominado formalmente por Araújo & Maia (1991) para descrever as rochas supracrustais do extremo S W da Folha Serra dos Carajás (SB.22-Z.A), anteriormente englobadas no Supergrupo Andorinhas (DOCEGEO 1988). Este é formado por seqüências metavulcano-sedimentares, que compreende uma intercalação de rochas metavulcânicas máficas, félsicas e metassedimentos (Macambira & Vale 1996). O Granodiorito Rio Maria é constituído por rochas granodioríticas, com tonalitos e monzogranitos subordinados, distribuídas principalmente na porção sudoeste da região de Tucumã. Essas rochas relacionam-se com os ortognaisses do Complexo Xingu através de uma zona gradacional, onde coexistem porções preservadas do TGG e retrabalhadas do CCI (Araújo & Maia 1991, Costa *et al.* 1993). Macambira & Vale (1997) reconheceram dois corpos petrograficamente distintos. Um desses corpos ocorre na bacia do Igarapé Manelão e possui natureza monzogranítica. Apresenta-se milonitizado e raramente exibe texturas ígneas preservadas. O outro corpo, de composição granodiorítica, ocorre nas adjacências da cidade de Ourilândia do Norte. Este apresenta feições deformacionais semelhantes àquelas encontradas no corpo anterior, porém com maior frequência de texturas ígneas preservadas.

O Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas Ocupando a porção norte da região de Tucumã (Fig. 2), o CCI é constituído por ortognaisses granodioríticos e tonalíticos do Complexo Xingu (CX), rochas supracrustais do Grupo Sapucaia (GS) e granitóides estratóides do Granito Plaque (GP). O arcabouço estrutural é marcado por cavalgamentos dúcteis, orientados preferencialmente na direção E-W, que se projetam nas regiões de contato entre as principais unidades, definindo um sistema imbricado fortemente inclinado para norte. Esse sistema é decorrente de cinemática sinistral, com lineação de estiramento orientada segundo NE/SW, e mergulho de 20° para NE indicando um deslocamento de massa de SW para NE (Costa *et al.* 1993, 1994).

Os ortognaisses do CX constituem a unidade de maior distribuição na área estudada, onde dominam gnaisses tonalíticos, trondhjemiticos e granodioríticos, com termos graníticos subordinados. Essas rochas mantêm contatos gradacionais com os litotipos do GRM, enquanto que, com as rochas do GS e do GP estes são marcados por zonas de cavalgamentos dúcteis (Macambira & Vale 1997). O GS é constituído por um conjunto de rochas supracrustais, caracterizadas como um *greenstone belt*, similar aos Grupos Tucumã e Andorinhas, retrabalhado em regime de Cisalhamento dúctil (Araújo & Maia 1991). Na área

de Tucumã, o GS estende-se em faixas alongadas e adelgadas, com orientação principal E-W, mantendo contato através de zonas de cisalhamento com as rochas do CX e do GP. O Granito Plaque agrupa corpos de moscovita-biotita leucogranitos, alongados na direção E-W, que se espalham por toda a faixa de domínio do CCI. Esses corpos, interpretados como produtos de fusão dos ortognaisses do CX (Macambira *et al.* 1996), exibem uma deformação progressiva, variando desde proto- a ultramilonitos, e mantêm relações de contatos com as demais unidades arqueanas do CCI através de zonas de cisalhamento dúctil (Araújo *et al.* 1988, João & Araújo 1992).

Os dados geocronológicos para a região de Tucumã são bastante reduzidos. Não existem referências geocronológicas para as rochas do GT. Para os monzogranitos e granodioritos do GRM, dispunha-se de idades Rb/Sr em rocha total de 2739 ± 23 Ma (1a) e 2677 ± 50 Ma (1a), (Lafon *et al.* 1991). Estas poderiam representar tanto a idade de cristalização dos corpos, como de reabertura do sistema isotópico Rb/Sr, provocada por posterior evento deformacional que afetou essas rochas. Quanto às unidades do CCI, reconhecia-se apenas uma idade Rb/Sr em rocha total de 2574 ± 57 Ma (1a) para gnaisses granodioríticos do CX, localizados no extremo oeste da Folha SB.22-Y.B, a oeste da região de Tucumã (Lafon *et al.* 1991). Finalmente, para as unidades Proterozóicas os dados geocronológicos disponíveis para um corpo da Suíte Intrusiva Cateté (Serra da Onça) registram uma idade Sm-Nd de 2,4 Ga, com valores positivos de ϵ_{Nd} que são compatíveis com uma origem a partir do manto empobrecido (Macambira & Tassinari 1998). Os granitos Velho Guilherme e Seringa forneceram idades respectivas de 1874 ± 30 Ma (Pb-Pb em rocha total, Lafon *et al.* 1995) e 1893 ± 15 Ma (Pb-Pb em zircão, Avelar *et al.* 1994).

DESCRIÇÃO DAS ROCHAS ESTUDADAS Para a caracterização geocronológica do magmatismo arqueano da região de Tucumã, foram investigadas rochas magmáticas de quatro unidades estratigráficas. No âmbito do CCI, um ortognaisse granodiorítico do Complexo Xingu e um granitóide do Granito Plaque foram escolhidos, enquanto que no âmbito do TGG, um metagranodiorito representante do Granodiorito Rio Maria e uma rocha metavulcânica félsica pertencente ao Grupo Tucumã foram selecionados (Fig. 2).

Ortognaisse Granodiorítico do Complexo Xingu A rocha, coletada a cerca de 10 km ao norte de Ourilândia do Norte, consiste de um ortognaisse granodiorítico cinza-claro, intensamente deformado, com bandamento gnáissico bem definido e por vezes migmatizado. Comumente, essas rochas são entrecortadas por veios de composição granítica, de espessura variável de alguns milímetros até 10 cm, com orientação preferencial SW-NE. Esses veios possuem granulação média a grossa e textura granular, com pórfiros de feldspato potássico.

A mineralogia principal compreende plagioclásio, feldspato potássico, quartzo, biotita e anfibólio. Os acessórios são a moscovita, titanita, zircão, fluorita e opacos. Sericita, clorita, epidoto e argilo-minerais ocorrem como minerais secundários. A textura é granonematoblástica, com pórfiros de plagioclásio e feldspato potássico envolvidos por uma matriz fina-média constituída por plagioclásio, quartzo e biotita.

A deformação é marcada por feições de recristalização intensa e formação de subgrãos de quartzo, estirados e fraturados internamente. Os cristais porfiríticos de plagioclásio exibem desde estiramento (elípticos), até uma orientação incipiente. Entre os porfiroclastos, agregam-se subgrãos de quartzo e lamelas de biotita. Estes aspectos texturais sugerem que a rocha sofreu um processo de protomilonitização.

As características petroquímicas dos ortognaisses do CX indicam um caráter cálcio-alkalino, sugerindo uma geração em ambientes compressivos sin- à pós-colisionais (Macambira & Vale 1997).

Rocha Metavulcânica Félsica do Grupo Tucumã A amostra foi coletada a aproximadamente 2km a sudeste da cidade de Tucumã. Trata-se de uma rocha vulcânica félsica milonitizada, formada essencialmente por plagioclásio, quartzo policristalino e biotita. Sericita e clorita aparecem como minerais secundários, enquanto zircão e opacos como acessórios.

A rocha foi afetada por uma deformação heterogênea em escala regional. Apresenta uma alternância de bandas com diferente grau de deformação. Algumas apresentam feições reliquias com fenocristais de plagioclásio pouco alterados, imersos numa matriz essencialmente quartzo-feldspática recristalizada e sericitizada. Outras, mais deformadas, apresentam foliação milonítica bem definida por minerais micáceos. Essas bandas são marcadas por feições tipo *kink-bands* no

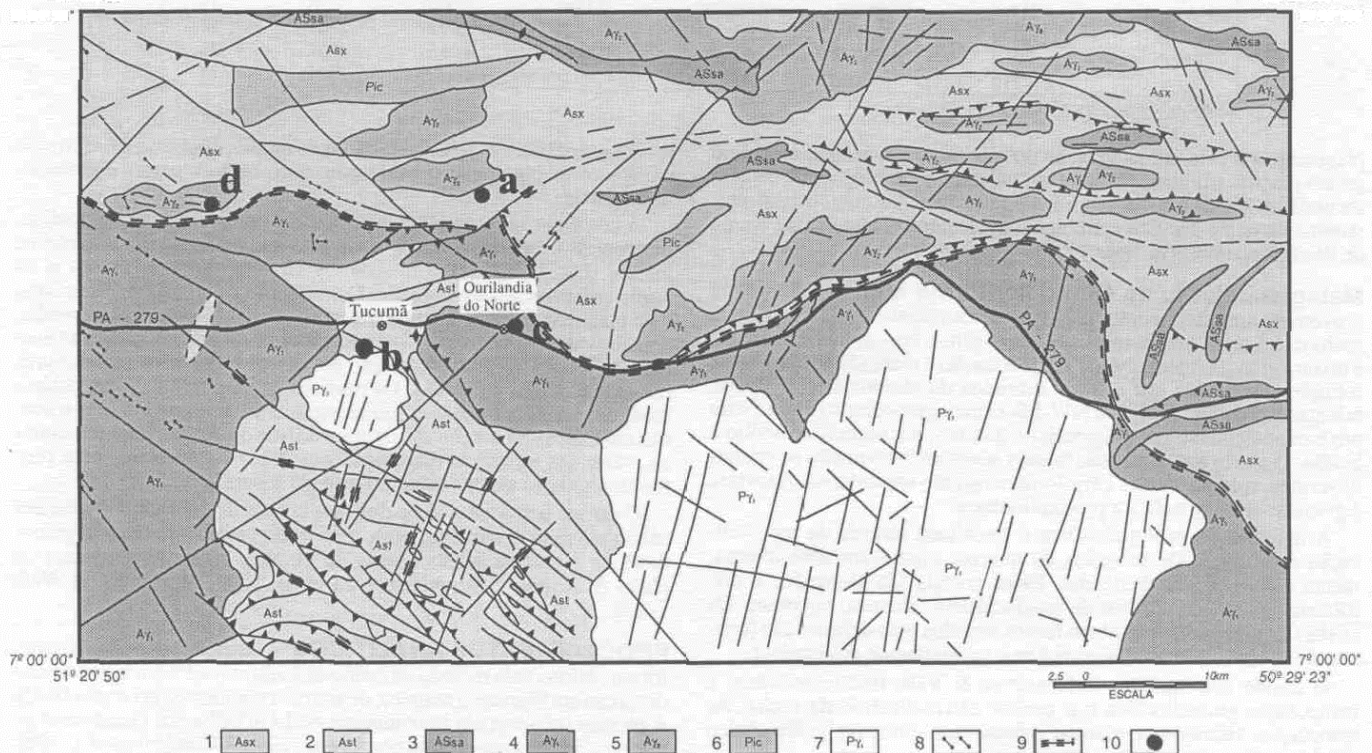


Figura 2 - Mapa geológico da região de Tucumã (simplificado a partir das Folhas SB.22-Y.B-São Félix do Xingu e SB.22-Z.A-Serra dos Carajás, CPRM) e localização das amostras analisadas. 1. Ortognaisses do CX; 2. Sequências de greenstone belts (GT); 3. Sequências de greenstone belts (GS); 4. Metagranitóides (GRM); 5. Granitóides estratóides (GP); 6. Suíte Intrusiva Cateté; 7. Granitos proterozóicos; 8. Diques; 9. Limites dos compartimentos geotectônicos; 10. Pontos de amostragem: (a) Ortognaisse granodiorítico do CX. (b) Rocha metavulcânica félsica do GT. (c) Metagranodiorito do GRM. (d) Granitóide estratóide do GP.

Tabela 1 - Dados isotópicos Pb-Pb em zircão das rochas arqueanas da região de Tucumã.

Zircão	Número de razões	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	1 σ	Idade (Ma)	2 σ (Ma)
Ortognaisse Granodiorítico (Complexo Xingu)							
CXV/01	96	0.000197	0.000029	0.2154	0.0022	2947	32
CXV/02	48	0.000097	0.000020	0.2174	0.0025	2961	36
CXV/03	114	0.000151	0.000022	0.2118	0.0016	2920	24
CXV/04	78	0.000111	0.000020	0.2207	0.0015	2986	22
CXV/05	48	0.000059	0.000012	0.2213	0.0006	2991	8
CXV/08	66	0.000111	0.000029	0.2150	0.0023	2944	34
CXV/09	72	0.000041	0.000009	0.2104	0.0031	2909	48
CXV/11	90	0.000128	0.000065	0.2186	0.0014	2970	22
CXF/12	54	0.000122	0.000020	0.2163	0.0012	2953	16
CXFV/16	54	0.000248	0.000020	0.2160	0.0020	2951	30
$\Sigma = 720$				Média ponderada:		2974	15
Rocha metavulcânica félsica (Grupo Tucumã)							
ATSF/07	96	0.000109	0.000021	0.2045	0.0011	2863	18
ATSF/08	90	0.000183	0.000022	0.2047	0.0007	2865	10
ATSF/09	108	0.000145	0.000023	0.2049	0.0009	2866	14
ATSF/10	120	0.000186	0.000018	0.2083	0.0010	2893	16
ATSF/11	96	0.000067	0.000014	0.1979	0.0029	2809	48
ATSF/12	78	0.000093	0.000017	0.2047	0.0005	2865	8
ATSF/17	48	0.000245	0.000069	0.2088	0.0024	2896	38
ATSF/18	30	0.000150	0.000105	0.2070	0.0020	2882	30
$\Sigma = 666$				Média ponderada:		2868	8
Metagranodiorito (Granodiorito Rio Maria)							
TTGV/02	108	0.000122	0.000021	0.2029	0.0007	2850	10
TTGV/03	54	0.000201	0.000070	0.2089	0.0017	2897	26
TTGF/09	42	0.000110	0.000150	0.2041	0.0009	2860	14
TTGF/10	60	0.000193	0.000046	0.1970	0.0052	2801	86
TTGF/12	30	0.000177	0.000114	0.2008	0.0042	2833	68
TTGF/13	48	0.000059	0.000054	0.1994	0.0011	2822	18
$\Sigma = 342$				Média ponderada:		2852	16
Granitóide estratóide (Granito Plaquê)							
GPV/10	36	0.000142	0.000139	0.1958	0.0034	2792	56
GPV/11	114	0.000199	0.000027	0.1881	0.0007	2726	12
GPFV/18	30	0.000198	0.000112	0.1949	0.0020	2784	34
GPFV/19	30	0.000119	0.000051	0.1894	0.0020	2737	36
$\Sigma = 210$				Média ponderada:		2736	24

C: corrigido do Pb comum

plagioclásio e pela recristalização do quartzo, cujo arranjo cristalino geram junções triplíceis, texturas em mosaico e venulações de origem secundária. Os dados petroquímicos indicam uma composição predominantemente dacítica e ambiente geotectônico semelhante à arco de ilhas (Macambira & Vale 1997).

Metagranodiorito do Granodiorito Rio Maria A amostra provém de um afloramento da cidade de Ourilândia do Norte. É uma rocha cinza-clara, estruturalmente heterogênea, com granulação média e textura granonematoblástica. A deformação é marcada por planos de foliação ressaltados por cristais estirados de plagioclásio e biotita, orientados segundo a direção NW-SE. O metagranodiorito é composto predominantemente por plagioclásio, quartzo, microclina, anfibólio e biotita. O zircão e a apatita são termos acessórios, enquanto os cristais de sericita, epidoto, clorita e argilo-minerais são secundários. A textura é granular alotriomórfica a protomilonítica.

A deformação protomilonítica é ressaltada através da recristalização e formação de subgrãos de quartzo microfaturados internamente e com bordas denteadas. Esses cristais são alongados e distribuem-se entre os pórfiros de plagioclásio e feldspato potássico. Os cristais de plagioclásio também foram afetados pela deformação (cristais alongados, com bordas corroídas e parcialmente orientados).

O estudo petroquímico (Macambira & Vale 1997) confirmou a composição granodiorítica e o caráter cálcio-alcálico da rocha. As associações tectono-magmáticas indicam um ambiente geotectônico similar ao dos arcos de ilhas modernos.

Granitóide Estratóide do Granito Plaquê O corpo estudado localiza-se a aproximadamente 15km a noroeste da cidade de Tucumã e apresenta-se alongado na direção E-W. Afiora sob a forma de grandes blocos de composição essencialmente granítica, exibindo uma coloração rosa-clara e deformação moderada. A foliação é incipiente, sendo

ressaltada pela orientação das lamelas de biotita, dispostas entre cristais alongados de plagioclásio e feldspato potássico. A textura é granonematoblástica.

A composição mineralógica principal é constituída por microclina, plagioclásio, quartzo, biotita e moscovita, tendo como acessórios, zircão, titanita, apatita e opacos. A sericita, epidoto, clorita e os argilo-minerais são secundários. Comumente, os cristais de microclina e de plagioclásio ocorrem como pórfiros imersos numa matriz média, constituída de quartzo, plagioclásio e biotita. O quartzo apresenta uma recristalização intensa e formação de subgrãos estirados com fraturas internas e bordas corroídas. Os pórfiros de microclina e plagioclásio mostram também feições como alongamento, fraturas internas e bordas corroídas. As macias de alguns pórfiros de plagioclásio mostram-se retorcidas (*kink*). A disposição dos cristais caracteriza uma protomilonitização e dá à rocha um aspecto bandado.

O estudo petroquímico de diversos corpos do GP indica um caráter cálcio-alcálico à alcalino, com uma composição granítica a granodiorítica e características típicas de granitos crustais sin-colisionais (João & Araújo 1992, Macambira *et al.* 1996, Macambira & Vale 1997).

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS Os dados geocronológicos foram obtidos pelo método de evaporação direta de Pb em monocristais de zircão em filamento simples, de acordo com Olszewski *et al.* (1990). A técnica foi adaptada às condições do LGI/UFPA por Gaudette *et al.* (1993) e descrita em detalhe por Avelar (1996) e Gaudette *et al.* (1998). Esse método é uma adaptação daquele desenvolvido por Kober (1986, 1987) para a análise isotópica de Pb de zircão em filamento duplo.

Os zircões foram extraídos de cerca de 20kg de amostra de rocha fresca e de 30kg do saprólito correspondente. Não foram encontradas diferenças entre os resultados isotópicos de zircões oriundos da amostra não intemperizada e do saprólito. Portanto, os dados isotópi-

cos dos zircões de ambos materiais foram tratados em conjunto para obtenção da idade da rocha.

Após trituração, bateamento e peneiramento das amostras, os zircões provenientes da fração granulométrica entre 0,088mm e 0,125mm foram separados com auxílio de elutriação, separador magnético Isodynamic Frantz e líquidos pesados. Os cristais de zircão escolhidos foram depositados num filamento de rênio em forma de "canao". As análises isotópicas foram realizadas com um espectrômetro de massa VG Isomass54E, equipado com um detector DALY, para a determinação das razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em incrementos sucessivos de temperatura.

Para cada zircão, uma idade é calculada a partir do conjunto de pelo menos 5 blocos de razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ que define um "platô" com idade constante e com razão $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} > 2500$. Cada bloco representa a determinação sequencial de 6 razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. A idade da rocha é determinada a partir da média ponderada das idades dos cristais analisados. Os resultados são apresentados com 2σ de desvio padrão.

RESULTADOS GEOCRONOLÓGICOS Os resultados analíticos Pb/Pb para os zircões das diversas amostras estudadas neste trabalho estão sumariados na Tabela 1.

Os zircões do ortogneisse granodiorítico do CX mostram uma coloração que varia de rosado a castanho-claro, sendo geralmente translúcidos a transparentes, com brilho adamantino, hábito prismático bipiramidal, multifacetados, com arestas retas e uniformes quanto ao tamanho. A média ponderada, determinada a partir de um conjunto de 10 zircões, forneceu uma idade de 2974 ± 15 Ma (Fig. 3).

Para a rocha metavulcânica félsica do GT, foi analisado um conjunto de 8 zircões. Esses exibem coloração amarelo-avermelhado, sendo geralmente translúcidos. São cristais automórficos, alongados e com hábito prismático bipiramidal, que juntos forneceram uma idade

Os zircões do metagranodiorito do GRM apresentam uma coloração castanha. São translúcidos a transparentes, com brilho adamantino e superfície áspera, com a presença de pequenas bolhas transparentes ou opacas. Os cristais são automórficos, apresentando por vezes bordas corroídas. Foram analisados 6 zircões que definiram uma idade de 2852 ± 16 Ma (Fig. 5).

Os zircões do granitóide estratóide do GP são translúcidos e castanho-claros a escuros, com pequenas bolhas transparentes ou opacas. São cristais alongados, automórficos a sub-automórficos, com hábito prismático. Quatro cristais do granito forneceram uma idade de 2736 ± 24 Ma (Fig. 6).

O método de evaporação de Pb em zircão fornece uma informação parcial através da idade aparente $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, sem determinação das razões Pb/U. As idades Pb/Pb devem por isso, ser interpretadas como idades mínimas da cristalização dos zircões. Porém, vários estudos comparativos utilizando os métodos Pb-Pb e U/Pb em zircões de mesmas amostras foram realizados em rochas magmáticas e mostraram que as idades fornecidas por ambos são similares. Isto justifica o uso do método Pb/Pb na determinação da idade de cristalização de rochas, mesmo que estas tenham sofrido os efeitos do metamorfismo e deformação (Kober 1986, 1987, Kober *et al* 1989, Kröner *et al.* 1996, 1999). É oportuno ressaltar que em condições severas de metamorfismo (fácies granulítico), as idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ podem apresentar valores comprovadamente abaixo das idades fornecidas pelo método U/Pb e calculadas em diagrama Concórdia (Paquette *et al.* 1994).

A utilização do método de evaporação de Pb em zircões com filamento simples não modifica os conceitos de interpretação da idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ obtida a partir do método original. No entanto as idades obtidas, via de regra, apresentam desvios mais elevados e dependem tanto da escolha dos zircões analisados, como do tratamento estatístico

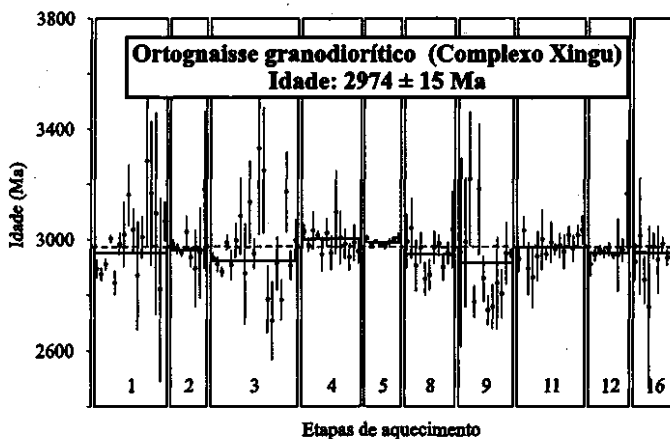


Figura 3 - Diagrama de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ dos zircões do ortogneisse granodiorítico do CX.

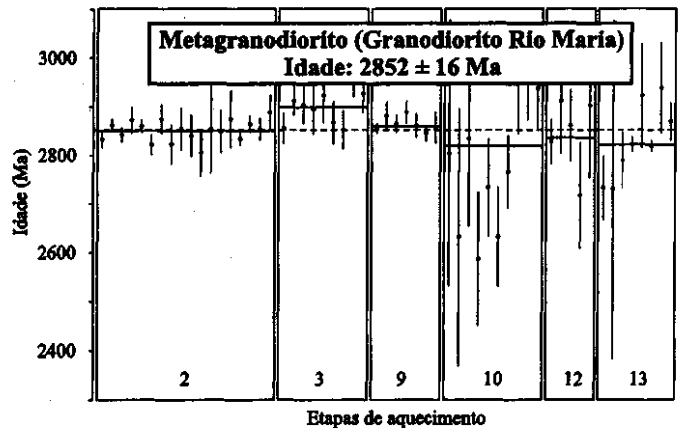
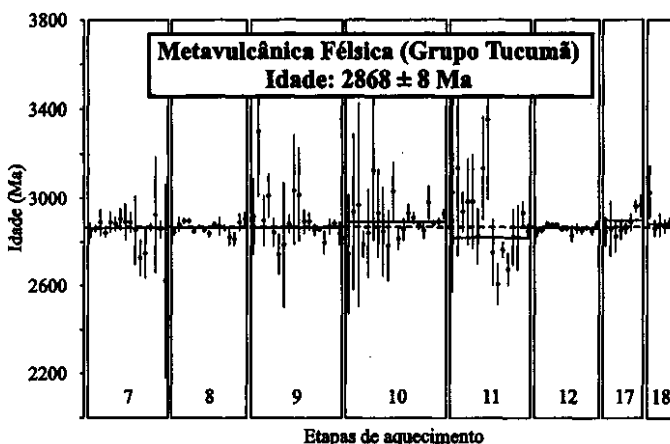


Figura 5 - Diagrama de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ dos zircões do metagranodiorito do GRM.



de 2868 ± 8 Ma (Fig. 4).
Figura 4 - Diagrama de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ dos zircões da rocha meta vulcânica félsica do GT.

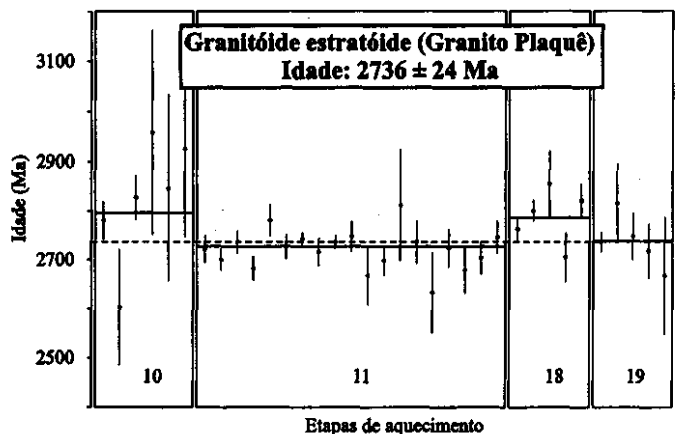


Figura 6 - Diagrama de idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ dos zircões do granitóide estratóide do GP.

dos resultados analíticos (Macambira *et al.* 1994, Moura *et al.* 1996, Gaudette *et al.* 1998).

Tendo em vista o número elevado de zircões analisados e a consistência dos resultados isotópicos obtidos para os cristais do ortognaisse granodiorítico do CX, da rocha metavulcânica fêlsica do GT e do metagranodiorito do GRM, as respectivas idades de 2974 ± 15 Ma, 2868 ± 8 Ma e 2852 ± 16 Ma, são interpretadas como sendo a da cristalização dessas rochas magmáticas.

No caso do granitóide estratóide do GP apenas 4 cristais, dos mais de 20 analisados, foram aproveitados para o cálculo da idade. O valor de 2736 ± 24 Ma representa a média entre dois grupos de zircões de idades distintas. Um com idade entre 2,73-2,74 Ga (zircões 11 e 19, Fig. 6) e outro entre 2,78-2,79 Ga (zircões 10 e 18, Fig. 6). Os zircões mais antigos poderiam refletir a presença de um componente herdado. No entanto essa possibilidade precisa de maior investigação, uma vez que os dados fornecidos pelos mesmos são muito imprecisos (erros elevados sobre a idade), definidos por poucos e dispersivos blocos de razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Na incerteza da existência desse componente herdado, optou-se pela utilização desses zircões, bem como daqueles de idades mais jovens para o cálculo da idade final do granitóide estratóide do GP, explicando o desvio maior sobre a mesma (2736 ± 24 Ma). A média de idades dos zircões mais jovens é de 2727 ± 12 Ma, mostrando que esses zircões tiveram maior peso na determinação da idade final estabelecida pelos 4 cristais (2736 Ma). Resultados U-Pb (SHRIMP II) inéditos obtidos na Austrália por um dos autores (JML), em zircões da mesma amostra confirmaram a idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ determinada a partir dos 4 cristais, mostrando que esta corresponde realmente àquela de cristalização da rocha. Além disto, os dados U-Pb (SHRIMP II) evidenciaram a existência de um componente herdado nos zircões dessas rochas.

INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO A

A idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 2974 ± 15 Ma do ortognaisse granodiorítico do CX indica a existência de um episódio magmático, gerador do protólito ígneo desse gnaisse, ocorrido nessa época na região de Tucumã. Essas rochas, junto com os granulitos do Complexo Pium (Rodrigues *et al.* 1992, Pidgeon *et al.* 1998), comprovam o envolvimento de porções de crosta siálica com idade de cerca de 3,0 Ga no âmbito do CCI. A idade de 2,97 Ga indica que, pelo menos, parte dos ortognaisses do CX na região de Tucumã, não derivou do retrabalhamento dos granitóides do TGG, ao contrário do que tinha sido anteriormente sugerido (Costa *et al.* 1993). A comparação com as idades modelo Sm/Nd, disponíveis para os gnaisses e os granitóides da PMC (Sato & Tassinari 1997) confirma que o tempo entre a acreção de material mantélico e a formação dessas rochas foi muito curto.

A idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircão de 2868 ± 8 Ma obtida para a rocha vulcânica fêlsica constitui uma primeira referência cronológica para a formação das seqüências de *greenstone belts* da região de Tucumã. A idade é próxima daquela fornecida pelo metagranodiorito do GRM, indicando tratar-se provavelmente de uma das manifestações do vulcanismo, correspondente ao topo do GT, podendo representar ainda o equivalente vulcânico nos *greenstone belts* do magmatismo gerador dos granitóides do GRM. Na região de Rio Maria, as rochas vulcânicas fêlsicas das seqüências superiores dos *greenstone belts* do Grupo Andorinhas (Grupo Lagoa Seca) possuem idades U/Pb em zircão de 2904 ± 297 -22 Ma (Macambira & Lancelot 1996) e 2979 ± 5 Ma (Pimentel & Machado 1994). Na região da Serra dos Gradaus, complexos máfico-ultramáficos intrusivos nos *greenstones*, forneceram uma idade U/Pb de 2970 ± 7 Ma (Pimentel & Machado 1994). Os dados evidenciam que um intervalo de tempo prolongado, de mais de 100 Ma, foi necessário para a formação dessas seqüências.

A idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircão de 2852 ± 16 Ma do metagranodiorito do GRM indica que o evento plutônico em torno de 2,87 Ga, bem caracterizado nas regiões de Rio Maria e da Serra dos Gradaus (Lafon & Scheller 1994, Lafon *et al.* 1995, Macambira & Lancelot 1996, Pimentel & Machado 1994) estende-se à região de Tucumã, fornecendo também uma idade mínima para a formação das seqüências de *greenstone belts*.

Esses resultados levantam a questão da existência de um embasamento siálico para as seqüências *greenstone belts* da região de Tucumã. Cerca de 120 Ma separa a formação do ortognaisse granodiorítico do CX (2,97 Ga) das rochas metavulcânicas dos *greenstones* (2,85 Ga), sugerindo que aquele possa constituir o embasamento dos *greenstones* do Grupo Tucumã. Porém, não é descartada a possibilidade de existirem rochas metavulcano-sedimentares mais antigas no

GT, como já foi comprovado para as outras seqüências de *greenstone belts* do sul da PMC (Macambira & Lancelot 1996, Pimentel & Machado 1994).

A idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 2736 ± 24 Ma definida para o granitóide do GP demonstra que sua geração é mais nova que aquela dos granitóides do TGG. Por se tratar de um granito com características de magmatismo sin-colisional gerado por fusão crustal e relacionado à evolução do CCI, a idade de 2736 ± 24 Ma indica a época mais provável da estruturação deste cinturão, enquanto que o TGG comportava-se, como um bloco estável. No período entre 2,76 e 2,75 Ga, na região da Serra dos Carajás, o preenchimento de bacias com as formações vulcano-sedimentares do Grupo Grão Pará (Wirth *et al.* 1986, Machado *et al.* 1991, Trendall *et al.* 1998) indicam condições geodinâmicas diferentes daquelas que propiciaram a formação do granitóide do GP na região de Tucumã. Ainda na Serra dos Carajás, as idades U/Pb em zircões e titanitas, de 2573 ± 2 Ma (Machado *et al.* 1991) e Pb/Pb em zircões de 2560 ± 37 Ma (Souza 1996), também obtidas em granitóides foliados, poderiam representar um evento termo-tectônico de natureza similar àquela evidenciado na região de Tucumã. A idade de 2,74 Ga do granitóide do GP sugere que o CCI tenha se desenvolvido posteriormente à formação das seqüências vulcano-sedimentares da região de Carajás e não anteriormente como foi proposto por Costa *et al.* (1995) e Costa & Hasui (1997). Por outro lado, esse resultado implica que os processos colisionais já teriam iniciados há 2,74 Ga e não em torno de 2,60 Ga como proposto por Teixeira & Eggler (1994).

As idades Rb/Sr em rocha total de 2,57 Ga, 2,68 Ga e 2,74 Ga, para ortognaisses do CX e granodioritos e monzogranitos do GRM da região de Tucumã, respectivamente obtidas por Lafon *et al.* (1991), são sensivelmente inferiores às idades determinadas pelo método Pb/Pb em zircão das rochas similares. Portanto, elas devem ser interpretadas como resultantes de uma perturbação do sistema isotópico Rb/Sr relacionada ao metamorfismo e à deformação que afetaram essas rochas, como foi postulado para as outras regiões da PMC (Macambira & Lafon 1995).

As características petroquímicas das rochas fêlsicas do GT e do GRM, na região de Tucumã sugerem um ambiente de arcos de ilhas (Macambira & Vale 1997). Na região de Rio Maria, as características estruturais e geoquímicas das rochas fêlsicas dos terrenos granito-*greenstones* levaram Souza *et al.* (1997) a propor uma estruturação desses terrenos em contexto de margem ativa e de fechamento de bacias marginais. Com base nesses dados, pode-se interpretar a estruturação da porção sul da PMC através da agregação de arcos de ilhas à sul, com uma massa continental à norte, durante um episódio de colisão gerador de movimentos compressivos. A idade e o tempo de atuação desse evento ainda não estão totalmente definidos. Na região de Rio Maria, Althoff *et al.* (1995) consideraram que a estruturação regional é resultante de um evento de encurtamento, na direção N-S, com duração de pelo menos 100 Ma, afetando os terrenos granito-*greenstones* entre 2,97 e 2,87 Ga. Esse mesmo evento foi evocado por Oliveira *et al.* (1995) para descrever o arranjo estrutural do Grupo Sapucaia, à norte da região de Rio Maria.

A ausência, até o momento, de registros geocronológicos entre 2,85 e 2,76 Ga em toda a Província Mineral de Carajás sugere que o episódio compressivo não se processou neste período, sendo substituído por uma fase de quiescência tectônica ou pela atuação de uma fase distensiva, que propiciou a formação das seqüências meta vulcano-sedimentares da região da Serra dos Carajás, em torno de 2,76 Ga.

A retomada dos movimentos compressivos, que provocou a colisão entre massas continentais, seria responsável pela estruturação do CCI e teria induzido o espessamento e fusão da crosta em profundidade, gerando os granitóides do GP a 2,74 Ga. De acordo com os dados geocronológicos (Machado *et al.* 1991, Souza 1996), essa fase teria perdurado até cerca de 2,5 Ga, afetando essencialmente a porção norte da PMC (região da Serra dos Carajás).

Agradecimentos Esse trabalho é uma contribuição ao projeto PADCT/FINEP (conv. FINEP/FADESP 65.92.0025.00). Os autores agradecem ao CPGG/CG/UFPa pelo apoio financeiro e à CPRM/Belém pelo apoio logístico durante os trabalhos de campo. Defêrências especiais são dadas aos Professores Thomas Scheller, Moacir Macambira e a todos os pesquisadores que integram a equipe do Pará-Iso. Somos gratos aos relatores anônimos que avaliaram e criticaram este artigo para a publicação.

REFERÊNCIAS

- Althoff, J.F., Barbey P., Boullier R., Dall'Agnol R. 1995 Composição e estrutura dos granitóides arqueanos da região de Marajoara Belém, *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 7 5-26
- Araújo O J B, Maia R G N, João X S J, Costa J B S 1988 A megaestrutura arqueana da Folha Serra dos Carajás In SBG, Congresso Latino-Americano Geologia, 7 Belém, *Anais*, p 324-338
- Araújo O J B & Maia R G N 1991 Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil Programa Grande Carajás Folha SB-22 Z A Estado do Pará Brasília, DNP/CPRM, 164p (Texto explicativo)
- Araújo O J B, Macambira E M B, Vale A G, Oliveira J R, Silva Neto C S, Costa E J, Santos A, Pena Filho J I de C, Neves A P, João X S J, Costa J B S 1994 Primeira integração das investigações geológicas do Programa Grande Carajás na região SE do Estado do Pará In SBG, Simpósio Geologia Amazônia, 4, Belém, *Anais*, p 299-300
- Avelar V G, Lafon J M, Scheller T, Araújo O J B, Macambira E M B 1994 Geocronologia Pb-Pb por evaporação de zircão e Rb/Sr em rocha total do Granito Seringa, Província Mineral de Carajás In SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 38, Balneário Camboriú, *Boletim de resumos expandidos*, 2 387-389
- Avelar V G, 1996 *Geocronologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão do magmatismo da região de Tucumã, SE do Estado do Pará, Amazônia Oriental* Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Dissertação de Mestrado, 149p
- Barbosa A A & Lafon J M 1996 Geocronologia Pb-Pb e Rb/Sr de granitóides arqueanos da região de Redenção - Sul do Pará *Revista Brasileira de Geociências*, 26 255-264
- Costa J B S, Araújo O J B, João X S J, Maia R G N, Macambira E M B, Vale A G, Santos A, Pena Filho J I C, Neves A P 1994 Panorama tectonoestrutural da região sudeste do Estado do Pará SBG, Simpósio Geologia Amazônia, 4 Belém, *Anais*, p 314-317
- Costa J B S, Araújo O J B, Santos A, João X S J, Macambira M J B, Lafon J M 1995 A Província Mineral de Carajás aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos Belém, *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 7 199-235
- Costa J B S & Hasui Y 1992 Aspectos fundamentais do Proterozóico Médio da Amazônia Brasileira *Revista Brasileira de Geociências*, 22 487-492
- Costa J B S & Hasui Y 1997 Evolução Geológica da Amazônia Belém, FINEP, SBG, Núcleo Norte, p 15-90
- Costa J B S, Macambira E M B, Vale A G, Pinheiro R V L, João X S J 1993 Evolução litoestrutural da região de São Félix do Xingu-Serra dos Carajás *Geociências*, 12 315-332
- Costa J B S, Pinheiro R V L, João X S J, Araújo O J B 1991 Esboço estrutural do Proterozóico Médio da Amazônia Oriental Belém, *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi* 3 9-24
- Dall'Agnol R, Lafon J M, Macambira M J B 1994 Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian Craton *Geochronological, petrological and geochemical aspects Mineralogy and Petrology*, 50 113-138
- Dall'Agnol R, Souza Z S, Althoff F J, Macambira M J B, Leite A A S 1996 Geology and geochemistry of the Archean Rio Maria granite-greenstone terrain, Carajás Province, Amazonian craton In SBG Symposium on Archean terranes of the south american platform, Brasília, *Extend Abstracts P 29-30*
- DOCEGE 1988 Revisão lito-estratigráfica da Província Mineral de Carajás Lito-estratigrafia e principais depósitos minerais In SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 35, Belém, *Anexo aos Anais*, p 11-54
- Duarte K D, Pereira E D, Dall'Agnol R, Lafon J M 1991 Geologia e geocronologia do Granito Mata Surrão-Sudoeste de Rio Maria (Pa) In SBG, Simpósio Geologia Amazônia, 3, Belém, *Anais*, p 7-20
- Gastal M C P, Macambira M J B, Medeiros M, Dall'Agnol R 1987 Idades e geoquímica isotópica Rb/Sr do Granito Musa e do Granodiorito Rio Maria, Amazônia Oriental *Geoch Brasiliensis*, 1 247-259
- Gaudette H E, Lafon J M, Macambira M J B, Moura C A V, Scheller T 1998 Comparison of single filament Pb evaporation/ionization zircon ages with conventional U-Pb results: Examples from the Precambrian of Brazil Aceito pelo *Journal of South American Earth Sciences* 11 351-363
- Gaudette H E, Lafon J M, Moura C A V, Scheller T 1993 Datação de monozircão por evaporação de Pb, no Laboratório de Geologia Isotópica-UFPA Metodologia e primeiros resultados In Congresso Brasileiro Geoquímica, 3, Brasília, *Boletim de resumos expandidos*, p 236-237
- Hirata W K, Rigon J C, Kadekaru K, Cordeiro A A C, Meireles E M 1982 Geologia regional da Província Mineral de Carajás In SBG, Simpósio Geologia Amazônia, 1, Belém, *Anais*, 1 100-110
- João X S J & Araújo J B 1992 Magmatismo granítico sin-Cisalhamiento Itacatuínas no SW do Estado do Pará In SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 37, São Paulo, *Resumos expandidos*, São Paulo, 2 36-38
- Kober B 1986 Whole-grain evaporation for $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age-investigations on single zircons using a double-filament thermal ion source *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 93 482-490
- Kober B 1987 Single zircon evaporation combined with Pb+ emitter-bedding for $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age investigations using thermal ion mass spectrometry, and implications to zirconology *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 96 63-71
- Kober B, Pidgeon R T, Lippolt H J 1989 Single-zircon dating by stepwise Pb-evaporation constrains the Archean history of detrital zircons from the Jack Hills, Western Australia. *Earth Planetary Science Letters*, 91 286-296
- Kroner A, Hegner E, Wendt J I, Byerly G R 1996 The oldest part of the Barberton granitoid-greenstone terrain, South Africa: evidence for crust formation between 3.5 and 3.7 Ga *Precambrian Research*, 78 105-124
- Kroner A, Jaquel P, Brandt G, Nemchin A A, Pidgeon R T 1999 Single zircon ages for granitoid gneisses in the Central Zone of the Limpopo belt, southern Africa and geodynamic significance *Precambrian Research* 93 299-337
- Lafon J M & Macambira M J B 1990 Datation Rb/Sr de la Granodiorite Cumaru, Serra dos Gradaús, PA *CR Acad Sci de Paris*, 310 1635-1641
- Lafon J M, Pereira E D, Macambira E M B, Vale A G, Barradas J A S 1991 Geocronologia Rb/Sr da região de São Félix do Xingu Resultados preliminares In SBG, Simpósio Geologia Amazônia, 3, Belém, *Anais*, p 21-35
- Lafon J M & Scheller T 1994 Geocronologia Pb-Pb em zircão do granodiorito Cumaru Serra dos Gradaús, Pa In SBG, Simpósio Geologia Amazônia, 4, Belém, *Boletim de resumos expandidos*, p 321-324
- Lafon J M, Rodrigues E, Duarte K D 1994 Le Granite Mata Surrão Un magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques-trondhjemitiques granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria (Amazonie Orientale, Brésil) *CR Acad Sci de Paris*, 318 643-648
- Lafon J M, Rodrigues E, Macambira E M B, Pereira E D 1995 Magmatisme anorogénique du Protérozoïque inférieur dans la région de São Félix do Xingu-Tucumã (Amazonie Orientale, Brésil) Nouvelles données géochronologiques *CR Acad Sci de Paris*, 320 937-944
- Macambira E M B, João X S J, Souza E C 1996 Geological and petrochemical aspects of the Plaquê granite - southern of the Pará State In SBG Symposium on Archean terranes of the south american platform, Brasília, *Extend Abstracts P 73-75*
- Macambira E M B & Tassinari C C G 1998 Estudos Sm-Nd no Complexo Máfico-Ultramáfico da Serra da Onça - Sul do Pará Implicações geocronológicas e tectônicas In SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 40, Belo Horizonte, *Anais*, p 463
- Macambira E M B, & Vale A G 1996 Aspectos geológicos e metalogenéticos do "greenstone belt" de Tucumã - Sul do Pará In SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 39, Salvador, *Anais*, 3 230-232
- Macambira E M B, & Vale A G 1997 Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil Programa Grande Carajás Folha SB 22-Y B, São Félix do Xingu Estado do Pará Belém, Convênio DNP/CPRM, 344p (Texto)
- Macambira M J B 1992 *Chronologie U-Pb, Rb/Sr, K-Ar et croissance de la croûte continentale dans l'Amazonie du sud-est, exemple de la région de Rio Maria Province de Carajás, Brésil* Universidade de Montpellier II, Montpellier, Tese de Doutorado, 212p
- Macambira M J B & Dall'Agnol R 1997 Zircon age for the Paleoproterozoic Jamon granite, SE Carajás province, Brazil: new evidence of rocks older than 3.1 Ga in the Amazonian craton In South American Symposium on isotope Geology, 1, Campos do Jordão, *Extended Abstracts*, p 186 187
- Macambira M J B, Lafon J M, Barradas J A S 1991 Le Granite de Xinguara, témoin d'un magmatisme monzogranitique dans l'Archéen de l'Amazonie orientale, Brésil *CR Acad Sci de Paris*, 313 781-785
- Macambira M J B & Lafon J M 1995 Geocronologia da Província Mineral de Carajás, síntese dos dados e novos desafios Belém, *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi*, 7 263-288
- Macambira M J B & Lancelot J 1991 História arqueana da região de Rio Maria, SE do Estado do Pará, registrada em zircões detriticos de greenstone belt e de cobertura plataforma In SBG, Simpósio Geologia Amazônia, 4, Belém, *Anais*, p 59-69
- Macambira M J B & Lancelot J 1996 Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil *International Geology Review*, 38 1134-1142
- Macambira M J B, Moura C A V, Lafon J M, Scheller T, Gaudette H E 1994 O método Pb-Pb por evaporação em zircão avaliação dos dados obtidos no Laboratório de Geologia Isotópica da UFPA In SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 38, Balneário Camboriú, *Boletim de resumos expandidos*, 2 404-405
- Macambira M J B, Pereira E D, Kawashita K, Medeiros H 1988 Contribuição à história tectono-termal da região da Serra das Andorinhas (SE do Pará) com base em dados geocronológicos In SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 35, Belém, *Boletim de resumos expandidos*, 3 1468-1477
- Macambira M J B & Scheller T 1994 Estudo comparativo entre métodos geocronológicos aplicados em zircões, o caso do Granodiorito Rio Maria In SBG, Simpósio Geologia Amazônia, 4, Belém, *Boletim de resumos expandidos*, p 343-346
- Macambira M J B, Pidgeon R T, Lafon J M 1998 Crescimento crustal arqueano registrado em zircões de sedimentos da região de Rio Maria, Província Carajás Pará In SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 40, Belo Horizonte *Anais* p 55
- Machado N, Lindenmayer Z, Krogh T E, Lindenmayer D 1991 U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil *Precambrian Research* 49 329-354
- Montalvão R M G, Tassinari C C G, Teixeira W, Vasconi A 1988 Caracterização geocronológica Rb/Sr dos terrenos granodioríticos e trondhjemíticos da região de Rio Maria, sul da Serra dos carajás In SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 35, Belém, *Anais*, 3 1478-1487
- Moura C A V, Gaudette H E, Macambira M J B, Lafon J M, Scheller T 1996 Datação de monocristais de zircão por evaporação de Pb em filamento simples Comparação com resultados U-Pb In SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 39, Salvador, *Anais*, 6 480-483
- Oliveira C G, Santos R V, Leonardos O H 1995 Geologia e mineralização aurífera do greenstone belt Sapucaia, Sudeste do Pará Belém, *Boletim Museu paraense Emílio Goeldi*, 7 61-91
- Olszewsky W J, Gaudette H E, Cheatham M M 1990 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages from the Chan Lakes Massif, NW Maine using single grain direct thermal ionization Annual Meeting NE Section Geol Soc of America, Syracuse, 27, p 61
- Paquette J-L, Nedelec A, Moine B, Rakotondrazafy M 1994 U-Pb, single zircon Pb-evaporation, and Sm-Nd isotopic study of a granulite domain in SE Madagascar *Journal of Geology*, 102 523-538
- Pidgeon R T, Macambira M J B, Lafon J M 1998 Datação U-Pb de estruturas primárias e secundárias de zircões de granulitos do Complexo Pium, Província de Carajás, Pará In SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 40, Belo Horizonte *Anais* p 56

- Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito *greenstone* de Rio Maria, Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 38, Balneário de Camboriú, *Anais*, 2:390-393.
- Rodrigues E.S.; Lafon J.M., Scheller T. 1992. Geocronologia Pb-Pb da Província Mineral de Carajás: Primeiros resultados. In: SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 37, São Paulo, *Boletim de resumos expandidos*, 2:183-184.
- Sato K. & Tassinari C.C.G. 1997. Principais eventos de acreção continental no Cráton Amazônico baseado em idades-modelo Sm-Nd, calculada em evoluções de estágio único e estágio duplo. In: SBG, Contribuições a Geologia da Amazônia, Belém, FINEP/Núcleo Norte, p.91-142.
- Souza S.R.B. 1996. *Estudo geocronológico e de geoquímica isotópica da área Pojuca (Província Mineral de Carajás - PA)*. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Dissertação Mestrado, 106p.
- Souza Z.S., Dali' Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S., Barros C.E.M. 1996. Carajás mineral province: Geological, geochronological and tectonic contrasts on the Archean evolution of the Rio Maria granite-greenstone terrain and the Carajás block. In: SBG, Symposium on Archean terranes of the south american platform, Brasília, *ExtendAbstracts*. P31-32.
- Souza Z.S., Dall'Agnol R., Oliveira C.G., Huhn S.R.B. 1997. Geochemistry and petrogenesis of metavolcanic rocks from archaean greenstone belts: Rio Maria region (southeast Pará, Brazil).
- Teixeira J.B.G. & Eggler D.H. 1994. Petrology, geochemistry and tectonic setting of Archean basaltic and dioritic rocks from the N4 Iron deposit, Serra dos Carajás, Pará, Brazil. *Acta Geológica Leopoldinense*. (Estudos Tecnológicos). 40:71-114.
- Trendall A.F., Basei M.A.S., De Laeter J.R., Nelson D.R. 1998. SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás formation Grão Pará group, Amazon craton. *Journal of South American Earth Sciences*. 11:265-277.
- Wirth K.R., Gibbs A.K., Olszewski W.J. 1986. U-Pb ages of zircons from the Grão-Pará group and Serra dos Carajás granite, Pará, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 16:195-200.

Manuscrito A-971

Recebido em 13 de abril de 1998

Revisão dos autores em 10 de setembro de 1999

Revisão aceita em 15 de setembro de 1999