



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 542**

**ESTUDO PETROGRÁFICO, GEOCRONOLÓGICO E  
TIPOLOGICO DE ZIRCÃO DE ROCHAS ASSOCIADAS ÀS  
DO GRUPO GRÃO PARÁ, SERRA DOS CARAJÁS, PARÁ**

**Dissertação apresentada por:**

**ANDERSON SÉRGIO BATISTA RODRIGUES**

**Orientador: Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira (UFPA)**

---

**BELÉM**  
**2018**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

R696e Rodrigues, Anderson Sérgio Batista.  
Estudo petrográfico, geocronológico e tipológico de zircão de rochas associadas às do Grupo Grão Pará,  
Serra dos Carajás, Pará / Anderson Sérgio Batista Rodrigues. — 2018.  
xvi, 60 p. f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira  
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (), Instituto de  
Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

1. Geocronologia. 2. Zircão - Carajás, Serra dos (PA). I. Título.

CDD 551.701

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**ESTUDO PETROGRFICO, GEOCRONOLÓGICO E  
TIPOLOGICO DE ZIRCÃO DE ROCHAS ASSOCIADAS ÀS  
DO GRUPO GRÃO PARÁ, SERRA DOS CARAJÁS, PARÁ**

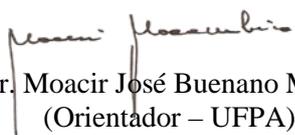
**Dissertação apresentada por**

**ANDERSON SÉRGIO BATISTA RODRIGUES**

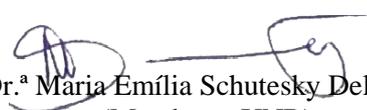
**Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Ciências na Área de GEOQUÍMICA  
E PETROLOGIA.**

**Data de Aprovação: 24 / 10 / 2018**

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira  
(Orientador – UFPA)

  
Prof. Dr. Marco Antonio Galarza Toro  
(Membro – UFPA)

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Emília Schutesky Della Giustina  
(Membro – UNB)

*Aos meus pais Sérgio e Angela Rodrigues, às minhas irmãs Marlice e Oelane, aos meus sobrinhos Gustavo e Cecília e à minha amada esposa Daylá Rodrigues. A eles, pelo amor e confiança, por participarem de muitos momentos em minha vida, acreditando e não poupando esforços para a concretização deste trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

Durante as fases no desenvolvimento deste trabalho o autor contou com inúmeras colaborações, sem as quais não seria possível concluí-lo. Dessa forma, o autor expressa seu profundo e sincero agradecimento, em especial:

Primeiro, e principalmente a Deus, pois sem Ele não conseguiria fazer nada. Por estar presente em absolutamente todos os momentos de minha vida e por me dar forças para concluir este trabalho.

Formalmente os agradecimentos também se estendem:

- À Universidade Federal do Pará, juntamente com o Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, pela infraestrutura;

- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos durante a realização deste trabalho;

- Ao laboratório de laminação, à técnica Joelma Lobo e, em especial ao Laboratório de Geologia Isotópica - Pará-Iso, pela infraestrutura oferecida e pela realização das análises;

- Ao orientador e amigo, Prof. Moacir Macambira, por me incentivar, pela orientação, confiança, paciência em todas as etapas deste trabalho, que mesmo à distância, não me faltou. E principalmente, por acreditar e me dar uma segunda chance;

- Ao amigo Marco Antônio Galarza, por inúmeras vezes estar sempre disponível a ajudar e a todo apoio dado durante a realização das análises no Pará-Iso;

- Ao professor Joel Macambira por me proporcionar amadurecimento nas discussões, pela ajuda no trabalho de campo, por ter compartilhado sua experiência na área de estudo e pelas críticas e sugestões feitas na apresentação do seminário;

- Ao Professor Thomas Scheller que com toda paciência me ajudou na parte cristalográfica e classificação da tipologia de zircão;

- Aos professores e grandes educadores, os quais tive o prazer de conhecer e estudar; cito Roberto Dall'Agnol e Netuno Villas, este último por me incentivar no reingresso ao mestrado;

- Ao corpo técnico do Laboratório Pará-Iso, Rose Brabo, Elma, Etiana e às técnicas Ellem Matos e Walquíria por toda ajuda fornecida;

- À Secretaria da Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica na pessoa da Srta. Cleida Freitas e demais funcionários;

- À Biblioteca do Instituto de Geociências na pessoa de Sra. Lúcia Imbiriba e a todos os técnicos que ajudaram;

- Aos funcionários do Centro de Geociências, aos técnicos administrativos e em especial à equipe de limpeza;
- À Companhia Vale do Rio Doce, que patrocinou nossos trabalhos de coleta de amostras em campo, assim como forneceu boa quantidade de matérias de furos de sondagem, imprescindíveis para o bom andamento do estudo;
- Aos meus inúmeros amigos do curso de Geologia, os quais fizeram disciplinas comigo, além de Gheisa Oliveira e Tatiana Azevedo;
- Aos meus demais amigos que sempre me apoiaram, em ordem alfabética, Alexandre, Madson e Pablo;
- À Jaqueline Alcântara, pela ajuda na confecção do mapa geológico;
- A todos meus familiares. Não podendo deixar de citar aqui minha tia Ivany, pela alimentação e companhia sempre que eu necessitei; em memória de meu tio Jorge por todas as conversas e pelos momentos de apoio e descontração.
- Em especial, ao meu núcleo familiar, aos meus pais Sérgio e Angela que me amam incondicionalmente e sempre me apoiaram incansavelmente, e que sempre me disseram que a maior herança a ser dada é a educação. Às minhas irmãs Marlice e Oelane. Meus sobrinhos Gustavo e Cecília. E sobretudo, hoje a minha esposa Daylá, que sempre acreditou e deu forças até quando ela nem tinha, foi a primeira a apoiar e ajudar nesse reingresso e finalmente nessa conclusão de mais uma etapa da vida.

*“A sabedoria consiste em temer ao Senhor,  
e a inteligência está em afastar-se do mal”*  
Jó 28, 28

## RESUMO

Na bacia de Carajás, norte da Província Mineral de Carajás, sequências de rochas vulcano-sedimentares com idade entre 2,76 e 2,73 Ga compõem o Supergrupo Itacaiúnas. Esse supergrupo reúne os grupos Igarapé Salobo (2,76 Ga), Grão Pará (2,76 Ga), Igarapé Bahia (2,74 Ga) e Igarapé Pojuca (2,73 Ga). A proximidade de idades e a afinidade litológica dessas unidades indicam que possivelmente essas rochas se formaram sob um mesmo contexto geológico, podendo ser diferentes expressões de um mesmo evento. O Grupo Grão Pará é constituído de duas formações: uma espessa sequência de rochas vulcânicas (Formação Parauapebas;  $2758 \pm 2$  Ma, U-Pb em zircão), e jaspilitos com minério de ferro (Formação Carajás). Em vista da grande dificuldade da compreensão dos limites geográficos e geocronológicos do Grupo Grão Pará, procurou-se desenvolver estudos petrográficos através da descrição de lâminas delgada, estudos geocronológicos utilizando o método evaporação de Pb em cristais zircão e estudo tipológico de zircão a partir de amostras associadas às formações Carajás e Parauapebas. Rochas do Grupo Grão Pará, assim como a maioria das rochas arqueanas da bacia Carajás, encontram-se alteradas hidrotermalmente e em diferentes graus de intensidade, independentemente de seu tipo litológico, contudo, um grande número de feições texturais primárias foram preservadas e estudos petrográficos permitiram a classificação das amostras estudadas em dois grupos distintos, basalto de coloração cinza escuro a esverdeado, granulação fina, com textura intergranular predominante e pertencente a Formação Parauapebas; e gabro apresentando textura intergranular, subofídica e de forma menos representativa, micrográfica, possuindo intensa alteração hidrotermal, principalmente sericitização, que constitui os diques que cortam toda a sequência. Para a Serra Sul da bacia Carajás, duas amostras de saprolito de rochas vulcânicas intercaladas com a formação ferrífera, coletadas em testemunhos de furos de sondagem, foram analisadas neste trabalho. Em função do avançado intemperismo que afetou as amostras selecionadas para geocronologia, apelou-se para um estudo tipológico de zircão na tentativa de identificar as rochas pretéritas, o qual permitiu classificar os litotipos como de filiação monzogranitos-granitos alcalinos. Datações pelo método de evaporação de Pb em cristais de zircão, em duas amostras de saprolito de rochas vulcânicas intercaladas com as formações ferríferas, pertencentes a Formação Carajás, indicaram idades de  $2745 \pm 2$  Ma para a amostra FS11D-161 e  $2746 \pm 2$  Ma para a amostra FS11D-122, entendidas como tempo de cristalização dos cristais

analisados e de formação da rocha vulcânica que os contêm. Além da grande precisão desses dados, eles estão em perfeita concordância entre si e dentro do estabelecido para o para Supergrupo Itacaiúnas. Além do mais, como os grãos analisados provêm de rochas intercaladas com a formação ferrífera, sejam elas concomitantes (derrames) ou posterior (intrusivas), elas estabelecem um limite mínimo para a idade de deposição dessa formação. Por outro lado, a idade da Formação Parauapebas, base do Grupo Grão Pará, estabelece a idade máxima para a Formação Carajás, como sendo de  $2759 \pm 2$  Ma. Portanto, a Formação Carajás se depositou em cerca de 15 milhões de anos, o que é coerente para uma espessura estimada de 400 m. Adicionalmente, o Grupo Grão Pará é sobreposto pelo Grupo Igarapé Bahia, cujas rochas vulcânicas da base indicam idades de  $2745 \pm 1$  Ma, que coincide perfeitamente com as idades obtidas neste trabalho, o que vem corroborar o previamente proposto para a período de deposição da Formação Carajás, ou seja, máximo de 15 milhões de anos. Aliás, a insignificante diferença de idade aqui proposta para a Formação Carajás e para a base do Grupo Igarapé Bahia, faz suspeitar que todas essas rochas fazem parte de uma mesma sequência.

Palavras-chave: Geocronologia. Tipologia de zircão. Grupo Grão Pará.

## ABSTRACT

In the Carajás basin, northern Mineral Province of Carajás, sequences of volcano-sedimentary rocks with ages between 2.76 and 2.73 Ga make up the Itacaiúnas Supergroup. This supergroup encompasses the Igarapé Salobo (2.76 Ga), Grão Pará (2.76 Ga), Igarapé Bahia (2.74 Ga) and Igarapé Pojuca (2.73 Ga) groups. The proximity of ages and the lithological affinity of these units indicate that possibly these rocks have been formed under the same geological context, being different expressions of the same event. The Grão Pará Group consists of two formations: a thick sequence of volcanic rocks (Parauapebas Formation;  $2758 \pm 2$  Ma, U-Pb in zircon), and jaspilites with iron ore (Carajás Formation). In view of the great difficulty of understanding the geographic and geochronological limits of the Grão Pará Group, it was carried on petrographic, geochronological (Pb-evaporation in zircon) and typological study of zircon crystals from of samples associated with the Carajás and Parauapebas formations. Rocks from the Grão Pará Group, as well as the majority of the archaean rocks of the Carajás basin, are hydrothermally altered in different degrees of intensity, irrespective of their lithological type. However, a great number of primary textural features were preserved and petrographic studies allowed the classification of the igneous rocks into two distinct groups: the basalt of dark gray to greenish coloration, fine granulation, mainly intergranular texture, from the Parauapebas Formation; and gabbro with intergranular texture, subofitic to micrographic intensively hydrothermalized (mainly serecitzation) from dikes which cut the whole sequence. For the Serra Sul of the Carajás basin, two samples of saprolite of volcanic rocks interbedded with the iron formation and collected in cores from drill holes, were analyzed in this work. Due to the advanced weathering that affected these samples, a typological study of zircon was used in an attempt to identify the previous rocks, which allowed to classify the lithotypes as monzogranite-alkaline granite affinity. Pb-evaporation method on zircon crystals, in two samples of volcanic rock saprolite interspersed with the iron formations belonging to the Carajás Formation indicated, indicated ages of  $2745 \pm 2$  Ma for sample FS11D-161 and  $2746 \pm 2$  Ma for sample FS11D-122, understood as time of crystallization of the analyzed crystals and the formation of volcanic rock which contains them. In addition to the high accuracy of these data, they are in perfect agreement with each other and within the gap established for the Itacaiúnas Supergroup. Moreover, because the dated samples come from rocks interbedded with the iron formation, they can be coeval (lava flow) or

younger (intrusive), and establish a minimum limit for the deposition age of this formation. On the other hand, the age of the Parauapebas Formation, bottom of the Grão Pará Group, establishes the maximum age for Carajás Formation as  $2759 \pm 2$  Ma. Therefore, the Carajás Formation was deposited in about 15 million of years, which is coherent for the estimated thickness of 400 m. In addition, the Grão Pará Group is covered by the Igarapé Bahia Group, whose volcanic rocks from the bottom are  $2745 \pm 1$  million years old, which perfectly coincides with the ages obtained in this work. This age corroborates the the gap proposed for the deposition of the Carajás Formation, that is, a maximum of 15 million years. Additionally, the insignificant age difference proposed here for the Carajás Formation and for the volcanic from the Igarapé Bahia Group suggests that all these rocks are part of a same sequence.

Key words: Geochronology. Zircon typology. Grão Pará Group.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### PARTE 1

- Figura 01 – Mapa de localização e principais vias de acesso da Região de Carajás, modificado de Macambira (2003) por Zucchetti (2007). A linha preta no mapa do Brasil representa a ferrovia Carajás.....02
- Figura 02 – Mapa geológico simplificado da Província Carajás modificado de Vasquez & Rosa-Costa. (2008), por Craveiro *et al.* (2012). Os retângulos vermelhos representam as áreas de estudo, N4 e N5, a norte, e S11D, a sul.....04
- Figura 03 – Quadro de tendência evolutiva tipológica de zircão Pupin (1980) .....19
- Figura 04 – Classificação tipológica de zircão (Pupin & Turco 1972) .....20
- Figura 05 – Fotomicrografias exibindo as principais feições das amostras estudadas do basalto da Formação Parauapebas: A) Textura intergranular, B) cristal de piroxênio em destaque na matriz fina, C) amígdala preenchida por clorita 24
- Figura 06 – Fotomicrografias exibindo feições das amostras estudadas do basalto da Formação Parauapebas. A) e B) Textura intergranular e C) alteração do anfibólio para clorita.....25
- Figura 07 – Fotomicrografias exibindo as texturas de diques de gabro que cortam as formações Carajás e Parauapebas. A) e B) subofítica e C) micrográfica ... 26
- Figura 08 – Fotomicrografias exibindo as texturas de diques de gabro que cortam as formações Carajás e Parauapebas A) e B) micrográfica localmente e C) intergranular.....27

### PARTE 2

- Figura 01 – Mapa geológico do domínio Carajás e áreas adjacentes (Moreto *et al.* 2015, modificado de Vasquez & Rosa-Costa 2008), mostrando a localização dos principais depósitos e a área de estudo representada pelo retângulo vermelho.....34
- Figura 02 – Mapa geológico do Bloco S11D, Serra Sul, com localização dos furos de sondagem FS11D-122 e FS11D-161, onde foram coletadas as respectivas amostras estudadas.....37
- Figura 03 – Perfis simplificados dos furos de sondagem FS11D-161 e FS11D-122, construídos a partir de descrições cedidas pela empresa Vale, com indicação dos pontos de coleta das respectivas amostras estudadas.....38

Figura 04 – Fotomicrografias de alguns exemplares de zircão das amostras estudadas (FS11D-122 e FS11D-161) .....	39
Figura 05 – Classificação tipológica de zircão adaptada de Pupin (1980) mostrando pela seta vermelha o trend definido pelos cristais de zircão encontrados nas amostras de saprolito das rochas vulcânicas FS11D-161 e FS11D-122.....	39
Figura 06 – Idades de cristais de zircão da amostra FS11D-122 obtidas pelo método de evaporação de Pb.....	40
Figura 07 – Idades de cristais de zircão da amostra FS11D-161 obtidas pelo método de evaporação de Pb.....	41
Figura 08 – Perfil esquemático mostrando as idades obtidas neste trabalho para a Formação Carajás.....	43
Figura 09 – Síntese das principais idades determinadas em zircão de rochas do Supergrupo Itacaiúnas.....	44

**LISTA DE TABELAS****PARTE 1**

Tabela 01 – Síntese de dados geocronológicos das rochas da Província Carajás. Modificado de Feio (2011) .....	10
Tabela 02 – Propostas de subdivisão do Grupo Grão Pará. Adaptado de Macambira (2003) .....	14

**PARTE 2**

Tabela 01 – Síntese dos principais dados geocronológicos do Supergrupo Itacaiúnas...	35
Tabela 02 – Resultados isotópicos de análises pelo método evaporação de Pb de cristais de zircão da amostra FS11D-122 e FS11D-161.....	42

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>EPÍGRAFE</b> .....	vii
<b>RESUMO</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	xii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xiv
<b>PARTE 1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....	2
<b>2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	3
2.1 DOMÍNIO CARAJÁS.....	3
2.2 DOMÍNIO RIO MARIA.....	7
<b>3 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	12
<b>4 OBJETIVOS</b> .....	15
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	16
5.1 ATIVIDADES DE CAMPO.....	16
5.2 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO.....	16
5.2.1 Petrografia.....	16
5.2.2 Extração de zircão.....	16
5.2.3 Tipologia de zircão.....	18
5.2.4 Análise através do método Pb-Pb em zircão.....	21
<b>6 RESULTADOS OBTIDOS</b> .....	23
6.1 PETROGRÁFICOS.....	23
6.2 TIPOLOGIA E GEOCRONOLOGIA DE ZIRCÃO.....	27

<b>PARTE 2 ESTUDOS TIPOLOGICO E GEOCRONOLÓGICO DE ZIRCÃO DE ROCHAS ASSOCIADAS AO GRUPO GRÃO PARÁ, SERRA DOS CARAJÁS, PARÁ; IMPLICAÇÕES PARA A ESTRATIGRAFIA DO SUPERGRUPO ITACAIÚNAS.....</b>	<b>28</b>
<b>PARTE 3 CONCLUSÕES FINAIS .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>

## PARTE 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 APRESENTAÇÃO

Na atualidade, existe um grande número de dados geocronológicos disponíveis para as rochas da Província Carajás (PC). Inicialmente, os métodos Rb-Sr e K-Ar nortearam o entendimento da evolução geológica regional. Algumas idades obtidas pelo método Rb-Sr em rocha total apresentaram-se sistematicamente menores quando comparadas a idades obtidas posteriormente por métodos mais consistentes Villas & Santos (2001). Posteriormente, datações mais seguras foram obtidas através de métodos U-Pb em zircão e complementarmente, através do método Pb-Pb em rocha total ou zircão. Até chegarem em métodos mais precisos utilizados atualmente como por exemplo U-Pb SHRIMP e LA-ICP-MS. Mas apesar dessa evolução nos métodos, o que ainda persiste é o problema estratigráfico das sequências vulcanosedimentares, embora muitos avanços tenham sido alcançados.

Ao se observar os principais dados geocronológicos obtidos em diferentes tipos de rochas da Província Carajás, nota-se a possibilidade de agrupamentos dos mesmos em distintos intervalos de idades. Mas apesar da existência desses agrupamentos, o problema está em não se conhecer o limite geocronológico para uma mesma unidade e com qual sequência ela realmente faria contato físico. Em se tratando das formações do Grupo Grão Pará, a grande dificuldade atual é a polêmica em relação ao seu empilhamento, onde vários autores entendem de uma forma diferenciada essa estratigrafia. Este trabalho visou desenvolver um estudo geocronológico em amostras de litotipos associados a esse grupo, coletadas dentro do perfil estratigráfico, a fim de melhor definir o intervalo temporal, caracterizando seu papel na formação e evolução da bacia Carajás. Assim, com o auxílio de ferramentas petrográficas, geocronológicas e mineralógicas dessas unidades, e correlação com dados anteriores, tentou-se melhor compreender os limites físicos e geocronológicos desse importante grupo.

Esta dissertação foi confeccionada de forma integrada contendo um artigo a ser submetido para uma Revista especializada, apresentado na parte 2. As referências dessa primeira parte encontram-se no final do volume.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo localiza-se na porção sudeste do estado do Pará, onde ocorre a Província Carajás. O acesso rodoviário a área, saindo de Belém, se dá através da Alça Viária e, posteriormente, toma-se a rodovia PA-150 (Denominada rodovia Paulo Fonteles) até a cidade de Eldorado de Carajás (Figura 01). Daí até Parauapebas utiliza-se a PA-275 e, para se chegar a área de estudo, faz-se necessário a utilização de estradas vicinais. Além dessas vias principais, a área é cortada por uma série de estradas não pavimentadas e caminhos trafegáveis nos períodos menos chuvosos. Outro acesso a área é por via aérea, saindo de Belém em aviões comerciais, que possuem voos regulares para a cidades de Marabá, Parauapebas e Carajás. Além do acesso pela ferrovia Carajás, que liga o depósito N4E ao porto de Itaqui em São Luís (MA), com 887 km de extensão.

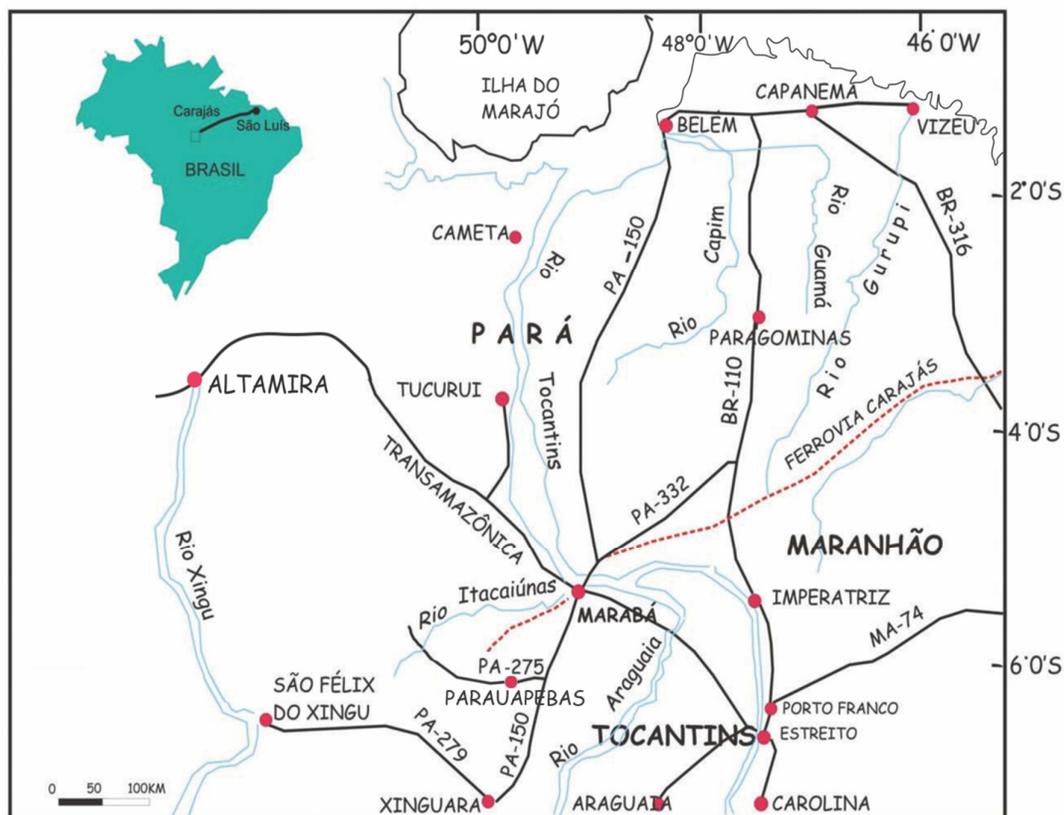


Figura 01 – Mapa de localização e principais vias de acesso da Região de Carajás, modificado de Macambira (2003) por Zucchetti (2007). A linha preta no mapa do Brasil representa a ferrovia Carajás.

## 2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Carajás representa a porção crustal mais antiga e melhor preservada do Cráton Amazônico. Localiza-se no sudeste do estado do Pará, e constitui uma das maiores províncias minerais do planeta.

Diversos trabalhos esboçaram uma divisão dessa província em domínios e associações litotectônicas distintas (p.ex. Costa *et al.* 1995, Macambira & Lafon 1995, Souza *et al.* 1996, Althoff *et al.* 2000, Dall’Agnol *et al.* 2000). No presente trabalho, adotou-se a proposta de Santos (2003) que dividiu a Província Carajás nos domínios Rio Maria e Carajás. O limite entre esses dois domínios ainda é impreciso, de tal maneira que foi proposto um terceiro, o domínio de Transição Dall’Agnol *et al.* (2006), conforme a Figura 02, definido com base em anomalias magnetométricas, não coincidentes com contatos geológicos. Esse limite representa uma zona de transição, compreendido entre as zonas de cisalhamento de direção aproximadamente E-W, que passam ao norte da localidade de Sapucaia e ao sul da Serra Sul de Carajás, conforme preconizado por Dall’Agnol *et al.* (2000), uma vez que rochas do Grupo Sapucaia, um *greenstone belt* mesoarqueano pertencente ao Domínio Rio Maria, também ocorrem no Domínio Carajás segundo Vasquez & Rosa-Costa (2008).

### 2.1 DOMÍNIO CARAJÁS

Araújo & Maia (1991) mapearam rochas granulíticas ao longo do rio Cateté, mas correlacionaram-nas ao então Complexo Pium, definido por Docege (1988). No entanto, Ricci (2006), verificou que as rochas aflorantes ao longo do rio Pium não eram granulitos máficos, mas sim, rochas ígneas gabróicas, que definem a unidade denominada de Diopsídio Norito Pium. Assim, esse último autor extinguiu aquele complexo metamórfico na área-tipo Pium, e reconheceu gnaisses granulíticos apenas numa outra área-tipo, entre a aldeia indígena Chicrim e o rio Cateté. Nessa região, o termo Ortogranulito Chicrim-Cateté (seção-tipo no rio homônimo) passa a ser considerado como o único embasamento granulítico do Domínio Carajás. Vasquez & Rosa-Costa (2008).

O Complexo Xingu, que englobava uma variedade de litotipos (p.ex. Hirata *et al.* 1982), passa, então, a incorporar somente embasamento mesoarqueano, composto por ortognaisses e migmatitos associados, fortemente bimodais (ricos em ortoanfibolitos), que foram embasamento ou encaixantes das sequências de *greenstone belts* e granitóides neoarqueanos do Domínio Carajás.

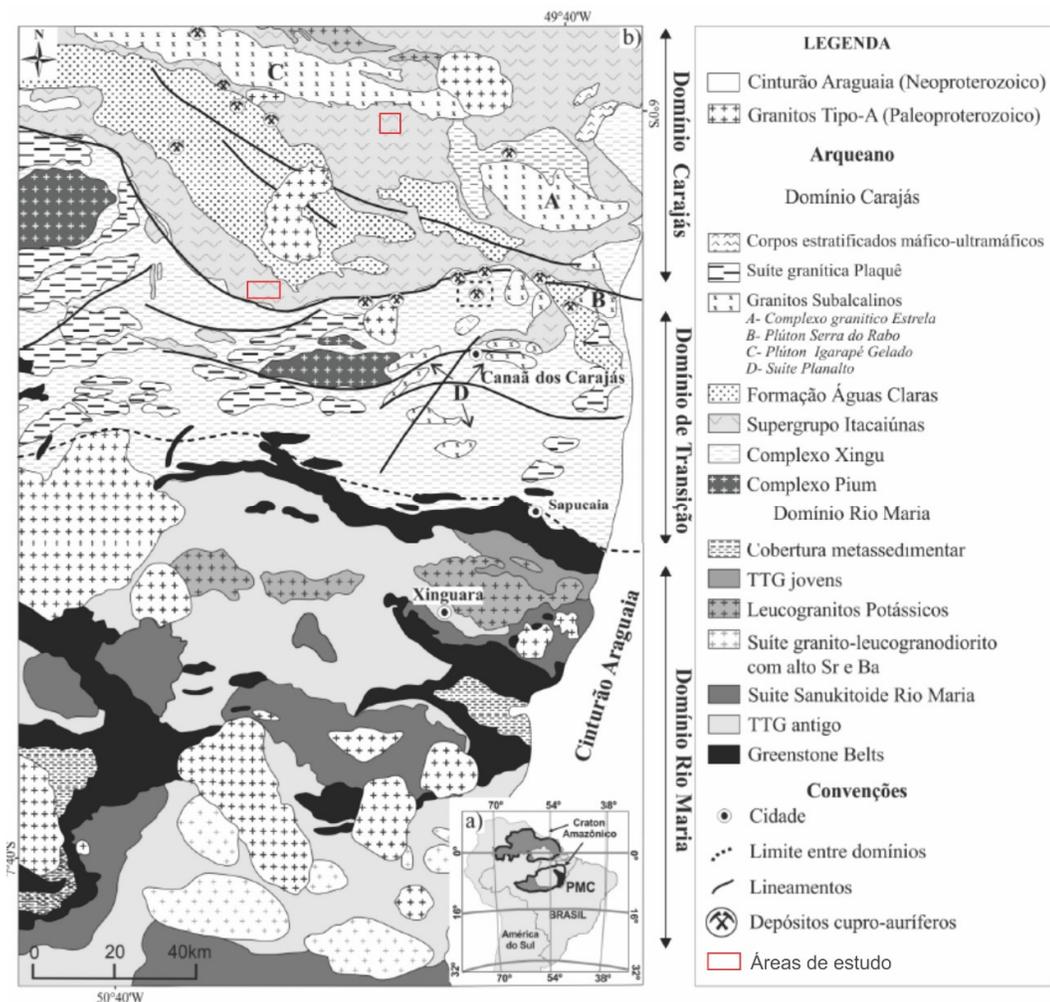


Figura 02 – Mapa geológico simplificado da Província Carajás modificado de Vasquez & Rosa-Costa. (2008), por Craveiro *et al.* (2012). Os retângulos vermelhos representam as áreas de estudo, N4 e N5, a norte, e S11D, a sul.

Estudos recentes (p.ex. Moreto *et al.* 2011a; Feio *et al.* 2012), no entanto, sugerem que é possível individualizar unidades mesoarqueanas distintas nas áreas antes atribuídas ao Complexo Xingu, o que restringe a ocorrência desse complexo na Província Carajás. Entre tais unidades geológicas, incluem-se: (1) *ca.* 3,0 Ga – Tonalito Bacaba e Granito Sequeirinho Moreto *et al.* (2011a, 2011b); (2) 2,96-2,93 Ga - Granito Canaã dos Carajás, de afinidade cálcio-alcalina, e rochas mais antigas do Trondhjemitó Rio Verde Feio (2011); (3) 2,87-2,83 Ga – Trondhjemitó Rio Verde e os granitos predominantemente cálcio-alcalinos Bom Jesus, Cruzadão e Serra Dourada (Feio 2011, Moreto *et al.* 2011a). Adicionalmente, Barros *et al.* (2010) reinterpretaram a idade U-Pb em zircão de *ca.* 2,86 Ga de Machado *et al.* (1991), atribuída à migmatização, como sendo relativa à idade de cristalização de alguns dos granitóides foliados da região de Serra Leste.

O Grupo Rio Novo inclui anfíbolitos, xistos, metagrauvas, rochas metavulcânicas toleíticas e gabros Hirata *et al.* (1982).

O Supergrupo Itacaiúnas Docegeo (1988) é constituído pelos grupos Igarapé Salobo, Igarapé Pojuca Docegeo (1988);  $2732 \pm 3$  Ma U-Pb zircão, Machado *et al.* (1991), Grão Pará Docegeo (1988);  $2758 \pm 39$  Ma, U-Pb zircão, Wirth *et al.* (1986);  $2759 \pm 2$  Ma, U-Pb zircão, Machado *et al.* (1991);  $2760 \pm 11$  Ma, U-Pb zircão, Trendall *et al.* (1998) e Igarapé Bahia Docegeo (1988);  $2747 \pm 1$  Ma Pb-Pb zircão, Galarza & Macambira (2002).

O Grupo Igarapé Salobo inclui, anfíbolitos, meta-arcóseas e formações ferríferas, enquanto o Grupo Igarapé Pojuca apresenta rochas metavulcânicas básicas, xistos pelíticos, anfíbolitos e formações ferríferas metamorfizadas em fácies xisto verde a anfíbolito Docegeo (1988). Por sua vez, o Grupo Grão Pará compreende derrames basálticos intercalados a jaspilitos, riolitos, rochas vulcanoclásticas e diques/*sills* de gabros subordinados posteriores que cortam este grupo Zucchetti (2007).

O Grupo Grão Pará CVRD/CMM (1972), objeto de estudo deste trabalho, é formado por uma espessa sequência de rochas vulcânicas, nas quais são distinguidos dois estratos, o inferior, a Formação Parauapebas, com idade de  $2759 \pm 2$  Ma, determinada em vulcânicas félsicas, pelo método U-Pb em zircão (p.ex. Machado *et al.* 1991) e o superior, Formação Carajás, constituída por jaspilitos com minério de ferro associado (p. ex. Vasquez & Rosa-Costa 2008). Essa unidade preenche a maior parte da Bacia de Carajás.

O Grupo Igarapé Bahia, aflorante em uma janela estrutural dentro da Formação Águas Claras, inclui rochas metavulcânicas, metapiroclásticas e formações ferríferas Docegeo (1988).

A Formação Águas Claras representa uma cobertura siliciclástica não metamorfizada, distribuída amplamente na porção central da estrutura sigmoidal da Serra dos Carajás. Essa formação foi definida inicialmente por Araújo *et al.* (1988) como a unidade superior do Grupo Grão Pará, e posteriormente redefinida por Nogueira (1995), que admite um contato discordante desta formação com os grupos Grão Pará e Igarapé Pojuca, subjacentes, bem como a existência de outra unidade sedimentar, sobrejacente e discordante, interpretada como Formação Gorotire, segundo Vasquez & Rosa-Costa (2008). Essa unidade tem idade limitada ao Arqueano por datações de cristais de zircão detríticos em arenitos  $2681 \pm 5$  Ma, U-Pb SHRIMP, Trendall *et al.* (1998) e por idade atribuída a *sill* de metagabro intrusivo  $2645 \pm 12$  Ma U-Pb, Dias *et al.* (1996);  $2708 \pm 37$  Ma U-Pb, Mougeot *et al.* (1996). Idades Pb-Pb em sulfetos diagenéticos em arenitos de ca. 2,06 Ga foram obtidas por Mougeot *et al.* (1996) e consideradas por Fabre *et al.* (2011) como evidência de idade paleoproterozoica para a

Formação Águas Claras. Outros autores também a consideram como do Paleoproterozoico. (p. ex. Hirata *et al.* 1982, Nogueira *et al.* 1995; Fabre *et al.* 2011; Tavares *et al.* 2018) porém, sem mostrar evidências geocronológicas.

Intrusões acamadadas representadas pelo Complexo Máfico-ultramáfico Luanga (2763 ± 6 Ma, U-Pb zircão; Machado *et al.* 1991), localizado na Serra Leste, e pela Suíte Intrusiva Cateté (Macambira & Vale 1997; 2766 ± 6 Ma; U-Pb em zircão, Lafon *et al.* 2000), no Subdomínio de Transição, hospedam importantes mineralizações de níquel e platinóides Ferreira Filho *et al.* (2007). Essas intrusões diferem devido à ausência de deformação ou metamorfismo na Suíte Intrusiva Cateté.

O magmatismo félsico neoarqueano (*ca.* 2,76 a 2,74 Ga), restrito ao Domínio Carajás, foi responsável pela formação de granitos, em geral foliados, e que compreendem as suítes Plaquê, Planalto, Estrela, Igarapé Gelado e Serra do Rabo (Huhn *et al.* 1999, Avelar *et al.* 1999, Barbosa 2004, Sardinha *et al.* 2006, Barros *et al.* 2009, Feio *et al.* 2012). Granitos peralcalinos a meta-aluminosos, mesozonais com augita, representados pelos granitos *Old Salobo* e Itacaiúnas (*ca.* 2,57 Ga; Machado *et al.* 1991, Souza *et al.* 1996) foram caracterizados apenas na parte norte do domínio, nas proximidades da Zona de Cisalhamento Cinzento.

O magmatismo paleoproterozoico (*ca.* 1,88 Ga) é representado pelos granitos alcalinos a sub-alcalinos do tipo A, que inclui os granitos Central de Carajás, Salobo Jovem (*Young*) Salobo, Cigano, Pojuca, Breves e Rio Branco (Machado *et al.* 1991, Dall'Agnoll *et al.* 1994, Tallarico 2003).

Segundo Pinheiro & Holdsworth (2000), rochas do Complexo Xingu, Complexo Pium (atualmente, Diopsídio Norito Pium), Grupo Igarapé Salobo e Suíte Granítica Plaque são caracterizados por uma importante trama milonítica de alta temperatura (Docegeo 1988, Araújo & Maia 1991, Macambira *et al.* 1994). Essas rochas estão presentes tanto a sul do Cinturão Itacaiúnas, formando um leque imbricado de cavalgamentos oblíquos dúcteis Araújo & Maia (1991), como na região do Igarapé Salobo (Docegeo 1988, Costa *et al.* 1995). Estão dispostas ao longo de zonas de cisalhamento anastomosadas E-W, contornando lentes de rochas heterogeneamente deformadas. A idade dessas zonas de deformação tem sido atribuída entre 3,0 Ga e 2,8 Ga (Machado *et al.* 1991, Rodrigues *et al.* 1992). Essas rochas são reunidas na assembleia do Embasamento e associadas a um episódio de deformação dúctil (Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, do Arqueano). Em seguida, submetidas a regime distensivo, que propiciou a instalação da bacia intracratônica Carajás entre 2,85 e 2,65 Ga. Durante a inversão dessa bacia, a partir de 2,76 Ga, ocorreu a colocação de granitoides sin- a tarditectônicos do

tipo A, que se estendeu até aproximadamente 2,55 Ga. As transcorrências e distensões foram registradas em 2,55 e 1,88 Ga, estando evidenciadas, respectivamente, pelas falhas Carajás e Cinzento e pelo alojamento de granitóides paleoproterozoicos.

Conforme Tavares *et al.* (2018), o Domínio Carajás passou por um período de atividade geotectônica, entre 2,76 e 2,70 Ga, marcado pela deposição das sequências vulcanossedimentares do Supergrupo Itacaiúnas Docegeo (1988) e por plutonismo bimodal (máfico-ultramáfico e félsico, semelhante ao tipo A).

Sabe-se que a deposição do Supergrupo Itacaiúnas se deu em ambiente predominantemente marinho, porém é discutido se a tectônica de abertura da bacia foi relacionada a um *rift* intracontinental ou associada a um arco magmático ativo. Defensores do primeiro modelo, como Gibbs *et al.* (1986), Docegeo (1988), Macambira (2003), Tallarico *et al.* (2005) e Martins *et al.* (2017), argumentam sobre a existência de um considerável substrato cristalino mesoarqueano sob a bacia, que imprimiu assinatura geoquímica e isotópica de contaminação crustal nos litotipos neoarqueanos, assim como destacam a típica bimodalidade do magmatismo. Aqueles a favor da evolução num contexto de arco, como Meirelles & Dardenne (1991), Teixeira (1994) Lindenmayer *et al.* (2005), Lobato *et al.* (2005) e Zucchetti (2007) argumentam que parte dos litotipos do Supergrupo Itacaiúnas apresenta padrões ETR e outras características geoquímicas de rochas cálcio-alcálicas/shoshoníticas.

## 2.2 DOMÍNIO RIO MARIA

O Domínio Rio Maria (Figura 02), denominado previamente de Terreno Granito-*Greenstone* Rio Maria por Huhn *et al.* (1988), compreende sequências metavulcanossedimentares do tipo *greenstone belt* agrupadas nos supergrupos Andorinhas e Serra do Inajá por Docegeo (1988) ou nos grupos Gradaús, Serra do Inajá, Babaçu, Lagoa Seca, Tucumã e Sapucaia Vasquez Rosa-Costa (2008). Essas sequências possuem idade U-Pb em zircão entre 3,00 e 2,90 Ga ( $2979 \pm 5$  Ma, Pimentel & Machado 1994;  $2971 \pm 18$  Ma,  $2904 +29 / -22$  Ma, Macambira & Lancelot 1996;  $2988 \pm 4$  Ma, Rolando & Macambira 2003;  $3002 \pm 3$  Ma, Tassinari *et al.* 2005). Incluem, em sua base, derrames komatiíticos, dunitos com texturas cumuláticas e peridotitos e piroxenitos com textura *spinifex*, metabasaltos toleíticos com *pillow-lavas*, metatufos, talco xistos e intercalações de formações ferríferas e metachert. No topo, predominam rochas vulcânicas félsicas e metassedimentares clásticas e químicas Docegeo (1988).

As rochas vulcano sedimentares do Domínio Rio Maria foram metamorfizadas nas fácies xisto verde a anfibolito inferior durante evento tectonotermal concomitante com o desenvolvimento de uma foliação de cisalhamento subvertical penetrativa de direção E-W a WNW-ESE Souza *et al.* (1990), relacionada às grandes zonas de cisalhamento Andorinhas e Gradaús. Estrutura sinformal associada às zonas de cisalhamento foi interpretada como sinclínório Silva *et al.* (1974) ou como resultante de sistemas de duplexes Araújo *et al.* (1988).

Os complexos máfico-ultramáficos de Serra Azul ( $2970 \pm 7$  Ma, U-Pb zircão; Pimentel & Machado 1994) e Guará-Pará Macambira *et al.* (1986) interceptam as sequências *greenstone belt*.

Três episódios de formação de suítes TTG foram reconhecidos no Domínio Rio Maria por Almeida *et al.* (2011): (1) *ca.*  $2,96 \pm 0,02$  Ga (rochas mais antigas do Tonalito Arco Verde;  $2957 +25 / -21$  Ma, Macambira & Lancelot 1996; e do Trondhjemitó Mogno); (2) *ca.*  $2,93 \pm 0,02$  Ga (Complexo Tonalítico Caracol, Tonalito Mariazinha e rochas mais novas do Tonalito Arco Verde); e (3) *ca.*  $2,86 \pm 0,01$  Ga (Trondhjemitó Água Fria;  $2864 \pm 21$  Ma, Leite *et al.* 2004). Outras unidades associadas às suítes TTG mais novas compreendem o Tonalito Parazônia ( $2,86$  Ga; Pimentel & Machado 1994) e o Granodiorito Cumarú ( $2817 \pm 4$  Ma; Lafon & Scheller 1994), conforme (Tabela 01).

Embora o magmatismo TTG seja considerado o mais volumoso no Domínio Rio Maria, também são reconhecidas rochas sanukitóides (Dall'Agnol *et al.* 2006, Oliveira *et al.* 2009), exemplificadas pelo Granodiorito Rio Maria ( $2874 +9 / -10$  Ma, Macambira & Lancelot 1996;  $2872 \pm 5$  Ma, Pimentel & Machado 1994) e leucogranitos potássicos de afinidade cálcio-alcalina, tais como Xinguara ( $2865 \pm 1$  Ma, Leite *et al.* 2004), Mata Surrão ( $2872 \pm 10$  Ma, Lafon *et al.* 1994;  $2894 \pm 38$  Ma) e Rancho de Deus Barbosa & Lafon (1996).

As coberturas sedimentares dos grupos Rio Fresco e Gemaque, depositadas em uma única bacia plataformal no Paleoproterozóico Vasquez & Rosa-Costa (2008), são compostas por sucessões psamíticas na base e pelito-carbonáticas no topo, incipientemente metamorfizadas, que marcam transgressões marinhas sobre sedimentos de ambientes costeiros e continentais (Cunha *et al.* 1984, Macambira *et al.* 1986, Santos & Pena Filho 2000). Essas sequências transgressivas não seriam correlacionáveis à Formação Águas Claras Nogueira *et al.* (1995), reconhecida no Domínio Carajás como uma sequência marinha prográdante. A Formação Gorotire do Paleoproterozoico, por sua vez, caracteriza-se por uma sedimentação psamítica quartzosa e arcoseana de ambiente continental, que sucedeu a sedimentação plataformal do Grupo Rio Fresco.

Granitos alcalinos a sub-alcalinos de *ca.* 1,88 Ga representados pelos granitos das suítes Gradaús, Bannach, Musa, Jamon, Seringa, São João, São José, Cachoeirinha, Velho Guilherme, Redenção e Marajoara (Dall'Agnol *et al.* 1999, 2005; Dall'Agnol & Oliveira 2007) também são reconhecidas no domínio Rio Maria.

Segundo Souza *et al.* (2001), Leite *et al.* (2004), Vasquez & Rosa-Costa (2008), Oliveira *et al.* (2010) e Almeida *et al.* (2011), a evolução geológica do Domínio Rio Maria compreendeu ao menos dois estágios de acreção crustal com adição de material juvenil. Em *ca.* 3,04 Ga, alto fluxo de calor teria induzido a fusão parcial do manto superior e da crosta oceânica produzindo grandes volumes de magma komatiítico e toleítico associado aos *greenstone belts* formados em ambiente de arcos de ilhas Souza *et al.* (2001). Entre *ca.* 2,98 Ga e 2,92 Ga, a subducção teria possibilitado fusão de crosta oceânica basáltica gerando magma TTG. Parte desse magma TTG teria reagido, durante sua ascensão, com a cunha mantélica espessada, resultando em metassomatismo do manto sub-litosférico.

Em *ca.* 2,87 Ga, eventos termiais relacionados a *slab-break-off* e ressurgência do manto astenosférico ou pluma mantélica, induziram a fusão do manto previamente metassomatizado, gerando os magmas sanukitóides. Esses magmas podem ter aquecido a base da crosta continental e causado fusão da crosta basáltica, originando o Trondhjemitóide Água Fria (Oliveira *et al.* 2009, Almeida *et al.* 2011) e demais suítes TTG mais novas. Os leucogranitos potássicos de *ca.* 2,88-2,87Ga (granitos Xinguara, Mata Surrão e Rancho de Deus) são considerados como marcadores do último evento tectonotermal relacionado à cratonização do Domínio Rio Maria Vasquez & Rosa Costa (2008).

Um quadro com as principais datações disponíveis sobre as rochas da Província de Carajás é apresentado na Tabela 01.

Tabela 01- Síntese de dados geocronológicos das rochas da Província Carajás. Modificado de Feio (2011).

(continua)

Unidades Estratigráficas		Tipo de Rocha	Método	Material Analisado	Idade/Referência
<b>DOMÍNIO CARAJÁS</b>					
<i>Granitos Foliados Subalcalinos</i>					
Granito Velho Salobo		Granitóide	U-Pb	Zircão	2573±3Ma <sup>(2)</sup>
Granito Igarapé Gelado		Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2731±26Ma <sup>(17)</sup>
Granito Serra do Rabo		Granitóide	U-Pb	Zircão	2743±1,6Ma <sup>(11)</sup>
Complexo Granito Estrela		Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2763±7Ma <sup>(3)</sup>
<i>Supergrupo Itacaiúnas</i>					
Grupo Salobo		Anfibolito	Pb-Pb	Zircão	2761±3Ma <sup>(2)</sup>
		Anfibolito	Pb-Pb	Titanita	2497±5Ma <sup>(2)</sup>
Grupo Igarapé Pojuca		Anfibolito	Pb-Pb	Zircão	2555±4/-3Ma <sup>(2)</sup>
		Anfibolito	Pb-Pb	Zircão	2732±3Ma <sup>(2)</sup>
Grupo Grão Pará	Formação Carajás	Metavulcânicas	U-Pb (SHRIMP)	Zircão	2743±11Ma <sup>(22)</sup>
	Formação	Metavulcânicas	U-Pb	Zircão	2759±2Ma <sup>(2)</sup>
	Parauapebas	Metavulcânicas	U-Pb	Zircão	2758±39Ma <sup>(19)</sup>
Grupo Igarapé Bahia		Metavulcânicas	U-Pb (SHRIMP)	Zircão	2748±34Ma <sup>(21)</sup>
		Metavulcânicas	Pb-Pb	Zircão	2745±1Ma <sup>(20)</sup>
		Metavulcanoclásticas	Pb-Pb	Zircão	2747±1Ma <sup>(20)</sup>
<i>Complexo Luanga</i>		Gabro	U-Pb	Zircão	2763±6Ma <sup>(2)</sup>
<i>Suíte Intrusiva Cateté</i>		Gabro	U-Pb	Zircão	2766±6Ma <sup>(16)</sup>
<i>Complexo Xingu</i>		Leucossoma granítico	U-Pb	Zircão	2859±2Ma <sup>(2)</sup>
		Gnaíse félsico	U-Pb	Zircão	2974±15Ma <sup>(2)</sup>
<b>ÁREA DE CANAÃ DOS CARAJÁS E DOMÍNIO DE TRANSIÇÃO</b>					
<i>Suíte Plaquê</i>		Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2729±29Ma <sup>(4)</sup>
		Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2736±24Ma <sup>(4)</sup>
<i>Intrusivas dioríticas</i>		Diorito	Pb-Pb	Zircão	2738±6Ma <sup>(6)</sup>
<i>Granito Planalto</i>		Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2747±2Ma <sup>(6)</sup>
		Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2734±4Ma <sup>(13)</sup>
<i>Associação tonalítica-trondhjemítica</i>		Trondhjemito	U-Pb	Zircão	2750±3Ma <sup>(13)</sup>
		Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2765±39Ma <sup>(13)</sup>
<i>Granodiorito Rio Maria</i>		Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2850±17Ma <sup>(4)</sup>
<i>Granito Canaã dos Carajás</i>		Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2929±1Ma <sup>(13)</sup>
<i>Complexo Xingu</i>		Gnaíse	Pb-Pb	Zircão	2972±15Ma <sup>(4)</sup>
<i>Associação Charnockite</i>		Quartzo-Gabro	U-Pb	Zircão	2735 ± 5Ma <sup>(31)</sup>
<i>Diopsídio Norito Pium</i>		Diopsídio norito	Pb-Pb.		2745±1.2Ma <sup>(30)</sup>
<i>Ortogramulito Chicrim-Cateté</i>		Granulito	Pb-Pb	Rocha total	3050±114Ma <sup>(18)</sup>
		Granulito (enderbitó)	(SHRIMP)	Zircão	3002±14Ma <sup>(9)</sup>
					2859±9Ma <sup>(9)</sup>
<i>Granitos Mesoarqueanos</i>					
<i>Granito Siqueirinho</i>		Granito	U-Pb	Zircão	3010 ± 21Ma <sup>(32)</sup>
<i>Tonalito Bacaba</i>		Tonalito	U-Pb	Zircão	3001 ± 36Ma <sup>(32)</sup>

(conclusão)					
Unidades Estratigráficas	Tipo de Rocha	Método	Material Analisado	Idade/Referência	
<b>DOMÍNIO RIO MARIA</b>					
<i>Granito Mata Surrão</i>	Leucogranito	Pb-Pb	Rocha total	2872±10Ma <sup>(24)</sup>	
			Zircão	2871±7Ma <sup>(8)</sup>	
<i>Trondhjemitó Águas Frias</i>	TTG	Pb-Pb	Zircão	2864±21 Ma <sup>(10)</sup>	
		U-Pb		2854±17Ma <sup>(28)</sup>	
<i>Granito Xinguara</i>	Granito	Pb-Pb	Zircão	2865±1Ma <sup>(10)</sup>	
			Zircão	2868±5Ma <sup>(8)</sup>	
<i>Grupo do leucogranodioritos-leucogranitos Suíte Guarantã</i>	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2870±5Ma <sup>(28)</sup>	
			Granito Guarantã	Pb-Pb	2864±8Ma <sup>(28)</sup>
				U-Pb	2875±8Ma <sup>(28)</sup>
			Granodiorito Trairão	U-Pb	Zircão
<i>Granito Rancho de Deus</i>	Granito	U-Pb	Zircão	2888±27Ma <sup>(28)</sup>	
			Granodiorito	U-Pb	Zircão
<i>Granodiorito Rio Maria</i>	Quartzo-diorito	U-Pb		Zircão/Titanita	2872±5Ma <sup>(1)</sup>
		Pb-Pb	Zircão	2877±6Ma <sup>(12)</sup>	
		Pb-Pb	Zircão	2878±4Ma <sup>(7)</sup>	
<i>Tonalito Parazônia</i>	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2876±2 <sup>(26)</sup>	
			Tonalito	U-Pb	Titanita
<i>Tonalito Mariazinha</i>	TTG	U-Pb	Zircão	2925±3Ma <sup>(28)</sup>	
			Zircão	2918±13Ma <sup>(28)</sup>	
<i>Complexo Tonalítico Caracol</i>	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948±5Ma <sup>(10)</sup>	
			Zircão	2936±3Ma <sup>(10)</sup>	
<i>Trondhjemitó Mogno</i>	TTG	Pb-Pb	Zircão	2857±13 <sup>(20)</sup>	
			Zircão	2900±21 <sup>(20)</sup>	
			Titanita	2871±?Ma <sup>(1)</sup>	
			Zircão	2962±8Ma <sup>(28)</sup>	
			Zircão	2965±7Ma <sup>(28)</sup>	
			Zircão	2968±2Ma <sup>(28)</sup>	
			Zircão	2968±3Ma <sup>(28)</sup>	
			Zircão	2959±5Ma <sup>(28)</sup>	
			Zircão	2959±2Ma <sup>(28)</sup>	
<i>Tonalito Arco Verde</i>	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2964±2Ma <sup>(23)</sup>	
			Zircão	2948±7Ma <sup>(14)</sup>	
			Zircão	2952±2Ma <sup>(28)</sup>	
			Zircão	2936±13Ma <sup>(28)</sup>	
			Zircão	2926±2Ma <sup>(28)</sup>	
			Zircão	2935±5Ma <sup>(28)</sup>	
			Zircão	2937±3Ma <sup>(28)</sup>	
			Zircão	2973±11Ma <sup>(28)</sup>	
<i>Supergrupo Andorinhas</i>	<i>(Gr. Lagoa Seca)</i>	Metavulcânica félsica	U-Pb	Zircão	2971±18Ma <sup>(5)</sup>
				Zircão	2904±29/-22Ma <sup>(5)</sup>
	<i>(Gr. Gradaús)</i>	Dacito	U-Pb	Zircão	2979±5Ma <sup>(1)</sup>
				Zircão	3002±3Ma <sup>(25)</sup>

Fontes dos dados: (1) Pimentel & Machado (1994); (2) Machado *et al.* (1991); (3) Barros *et al.* (2004); (4) Avelar *et al.* (1999); (5) Macambira & Lancelot (1996); (6) Huhn *et al.* (1999); (7) Dall'Agnol *et al.* (1999); (8) Althoff *et al.* (2000); (9) Pidgeon *et al.* (2000); (10) Leite *et al.* (2004); (11) Sardinha *et al.* (2006); (12) Rolando & Macambira (2002), (13) Sardinha *et al.* (2004); (14) Rolando & Macambira (2003), (15) Althoff *et al.* (1998); (16) Lafon *et al.* (2000); (17) Barbosa (2004); (18) Macambira & Lafon (1995); (19) Wirth *et al.* (1986); (20) Galarza & Macambira (2002), (21) Tallarico *et al.* (2005); (22) Trendall *et al.* (1998); (23) Vasquez & Rosa-Costa (2008); (24) Rodrigues *et al.* (1992); (25) Tassinari *et al.* (2005); (26) Guimarães *et al.* (2010); (27) Almeida *et al.* (2008); (28) Almeida *et al.* (2011); (29) Macambira *et al.* (2000); (30) Santos *et al.* (2013); (31) Feio *et al.* (2012); (32) Moreto (2013).

### 3 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A área optada para este estudo encontra-se nas serras denominadas Norte e Sul de Carajás, bacia de Carajás. Está introduzida geologicamente no Domínio Carajás, segundo Santos (2003).

Conforme Tavares (2015), o Domínio Carajás, também conhecido como Cinturão Itacaiúnas Araújo *et al.* (1988), localizado na parte norte da Província Carajás, apresenta embasamento mesoarqueano (pré-2,83 Ga), bem como sequências metavulcanossedimentares e intrusões do Neoarqueano, de 2,76 a 2,70 Ga (p.ex. Machado *et al.* 1991; Barros *et al.* 2004; Sardinha *et al.* 2006, Feio *et al.* 2012). Idades de zircão detrítico de até 3,6 Ga e modelos NdT<sub>DM</sub> superiores a 3,20 Ga para algumas unidades do Domínio Carajás sugerem que, na composição do seu embasamento, houve a participação de segmentos crustais paleoarqueanos (Mougeot *et al.* 1996; Galarza & Macambira 2002; Dall’Agnol *et al.* 2005).

Ao se observar os principais dados geocronológicos obtidos em diferentes tipos de rochas da Província Carajás, nota-se a possibilidade de agrupamentos dos mesmos em distintos intervalos de idades. Baseando-se nesses intervalos, pode-se fazer os seguintes comentários:

✍ A idade do embasamento Ortogranulito Chicrim-Cateté obtidas por Pidgeon *et al.* (2000), através de U-Pb SHRIMP em zircão de  $3002 \pm 14$  Ma, em um gnaiss enderbítico na área tipo do Complexo Pium, é interpretada como a do protólito do granulito, enquanto a idade de  $2859 \pm 9$  Ma, obtida nas bordas dos mesmos cristais de zircão, é interpretada como a do metamorfismo granulítico. Atualmente, essa rocha datada é considerada como um possível xenólito do Ortogranulito Chicrim-Cateté, hospedado nas rochas gabróicas do Diopsídio Norito Pium, do Neoarqueano, mas as interpretações preliminares não perderam o sentido.

Por sua vez, Moreto *et al.* (2011a), através do método U-Pb SHRIMP em zircão, obtiveram idades de 3,0 Ga, interpretadas como a época da cristalização do Granito Serra Dourada e do Tonalito Bacaba, representam os mais antigos eventos magmáticos reconhecidos no Domínio Carajás, embora existam evidências de rochas mais antigas na Província Carajás.

☞ Sequências de rochas metavulcanossedimentares com idade entre 2,76 e 2,73 Ga compõem o Supergrupo Itacaiúnas, que reúne os grupos Igarapé Salobo (2,76 Ga), Grão Pará (2,75 Ga), Igarapé Bahia (2,74 Ga) e Igarapé Pojuca (2,73 Ga). Segundo Lobato *et al.* (2005), a concordância de idades e a afinidade litológica dessas unidades indicam que possivelmente essas rochas se formaram sob um mesmo contexto geológico, podendo ser diferentes manifestações de um mesmo evento, mas faltam comprovações litoestratigráficas.

☞ O Grupo Grão Pará, objeto central deste trabalho, está subdividido nas formações Parauapebas, com idades U-Pb em zircão concordantes entre si, entre  $2757 \pm 7$  Ma e  $2760 \pm 11$  Ma (Wirth *et al.* 1986, Machado *et al.* 1991, Trendall *et al.* 1998) e Carajás com idade inferida a partir da datação de rochas metavulcânicas concordantes ao acamamento dos jaspilitos, com intervalos entre  $2740 \pm 8$  Ma e  $2757 \pm 18$  Ma (Trendall *et al.* 1998, Macambira *et al.* 1996, Krymsky *et al.* 2002).

O Grupo Grão Pará foi subdividido de diferentes formas por diversos autores (Tabela 02). Segundo Beisiegel *et al.* (1973), o Grupo Grão Pará seria originalmente composto por três unidades: Paleovulcânica Inferior (basaltos), Formação Carajás (itabirito e minério de ferro) e Paleovulcânica Superior (basaltos de topo). Meireles *et al.* (1984) identificaram vulcânicas félsicas intercaladas na Paleovulcânica Inferior, a qual denominaram de Formação Parauapebas. Araújo & Maia (1991), subdividiram o grupo nas formações Parauapebas, Carajás e Águas Claras. Pinheiro (1997) considera apenas duas formações, a sequência metavulcânica que constitui a Formação Parauapebas e os BIFs da Formação Carajás. Por sua vez, Macambira (2003) subdividiu o grupo em formações Parauapebas, Carajás e Igarapé Cigarra, correlato ao Grupo Igarapé Bahia, e Formação Igarapé Boa Sorte, que constitui a unidade mais superior do Grupo Grão Pará, da mesma forma que fez Gibbs & Wirth (1990). E mais recentemente Vasquez e Rosa-Costa (2008) mantiveram a subdivisão somente entre Formação Parauapebas e Formação Carajás.

Apesar de se ter um grande acervo de idades para o Supergrupo Itacaiúnas, o problema principal, dessas idades encontra-se na margem de erro, com altos desvios, fazendo com que essas idades se superponham. Assim, para se ter uma interpretação mais segura, o ideal é ter resultados com erros menores, análises com maior precisão para que, dessa forma, seja possível definir mais claramente os intervalos temporais de cada unidade estratigráfica.

Tabela 02 - Propostas de subdivisão do Grupo Grão Pará. Adaptado de Macambira (2003).

Beisiegel <i>et al.</i> (1973)	Meireles <i>et al.</i> (1984)	Araújo & Maia (1991)	Pinheiro (1997)	Macambira (2003)	Vasquez & Rosa-Costa (2008)
		Formação Águas Claras		Formação Igarapé Boa Sorte	
Sequência Paleovulcânica Superior	Sequência Paleovulcânica Superior			Formação Igarapé Cigarra / Grupo Igarapé Bahia	
Formação Carajás	Formação Carajás	Formação Carajás	Formação Carajás	Formação Carajás	Formação Carajás
Sequência Paleovulcânica Inferior	Formação Parauapebas	Formação Parauapebas	Formação Parauapebas	Formação Parauapebas	Formação Parauapebas

#### 4 OBJETIVOS

A presente dissertação tem como objetivo principal o entendimento do empilhamento estratigráfico do Grupo Grão Pará com base em estudos geocronológicos, a fim de melhor definir o intervalo temporal de ocorrência desse grupo e caracterizar seu papel na formação e evolução da bacia Carajás.

A fim de atingir esse objetivo, as seguintes metas específicas foram traçadas:

→ Determinar a idade de cada formação (Parauapebas, Carajás e Paleovulcânica Superior) do Grupo Grão Pará ao longo da sequência como um todo;

→ Datar os diques de gabro/diabásio que cortam o Grupo Grão Pará e a Formação Águas Claras a fim de obter a idade mínima dessas sequências.

## **5 MATERIAIS E MÉTODOS**

A fim de alcançar os objetivos enunciados, foram aplicados diversos métodos e técnicas de investigação inerentes ao tema abordado e material analisado, como segue:

### **5.1 ATIVIDADES DE CAMPO**

A parte das atividades de campo foi realizada em uma única campanha, patrocinada pela empresa Vale, com duração de cinco dias. Nessa missão, foi coletado um grande número de amostras provenientes de afloramentos (sete amostras) e furos de sondagem (15 amostras) predeterminados em mapa, das quais, a maior parte foi de testemunhos de sondagem. Essas últimas amostras possuem volumes reduzidos comparados às de afloramento, que foram superiores a 20kg a fim de assegurar a obtenção de um grande número de cristais de zircão.

### **5.2 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO**

#### **5.2.1 Petrografia**

Como um dos pontos mais importantes para se estabelecer uma base consistente na classificação das rochas em estudo neste trabalho, foram realizadas descrições macroscópicas e microscópicas das amostras coletadas em campo, além de amostras de furos de sondagem fornecidos pela empresa. A petrografia microscópica dessas rochas foi realizada em microscópio ótico de luz polarizada, para a classificação e nomenclatura.

#### **5.2.2 Extração de zircão**

Primeiramente, procedeu-se a redução dos blocos de amostra retirados dos afloramentos até aproximadamente alguns centímetros, utilizando-se uma marreta;

Em seguida, realizou-se a trituração da amostra com auxílio de um triturador de mandíbulas.

A pulverização das mesmas foi realizada em moinho de rolo com o auxílio da peneira de malha 250  $\mu\text{m}$ , a fim de reduzir ainda mais o tamanho das amostras

O deslamamento foi realizado para eliminar a fração muito fina e pré-concentrar os minerais pesados através da lavagem com água seguida de decantação, em várias etapas;

O peneiramento foi realizado para separação da amostra em frações granulométricas com os seguintes intervalos: fração maior que 250 $\mu\text{m}$ , 250–180 $\mu\text{m}$ ; 180–125 $\mu\text{m}$ ; 125–75 $\mu\text{m}$  e inferior a 75 $\mu\text{m}$ , sendo que os melhores resultados para obtenção dos grãos foram no intervalo de 180–125 $\mu\text{m}$ .

O zircão é um mineral com densidade entre 4,4 e 4,8 g/cm<sup>3</sup> sendo, portanto, considerado um “mineral pesado”. Com isso, pode ser concentrado utilizando as técnicas de separação com base na densidade dos minerais. Na separação do zircão no Pará-Iso foi utilizado o processo de elutriação com água e posteriormente utilizou-se líquidos pesados.

A elutriação é uma técnica baseada em um fluxo ascendente de água em uma coluna de vidro com diâmetro que aumenta em trechos, de baixo para cima, e visa a separação dos minerais de acordo com suas densidades. Nesse processo, os minerais mais pesados afundam no interior da coluna de vidro e, em várias etapas, são recolhidos, secados em estufa e levados para tratamento com o líquido pesado (bromofórmio). Já os minerais leves, que ficam em suspensão, são posteriormente recuperados, secados e guardados para um eventual retratamento.

Na separação magnética, primeiramente utiliza-se um ímã de mão para a eliminar a fração de minerais magnéticos e, em seguida, os minerais não magnéticos são tratados no separador magnético Frantz. Com isso, normalmente os minerais máficos presentes são separados da amostra. A fração não magnética da amostra é passada repetidas vezes em condições que podem ser modificadas de acordo com o comportamento de cada amostra. A experiência do operador com a utilização do separador magnético irá mostrar a necessidade de ajustes nas condições de operação do aparelho. A fração não magnética obtida na última repassagem é colocada em solução de HNO<sub>3</sub> (50%) e aquecida (80-100°C) por aproximadamente 20 minutos. Esse processo visa eliminar os sulfetos e solubilizar películas de óxido-hidróxido de Fe eventualmente aderidas aos minerais. Após a lavagem, o material é secado e só então pode ser levado para o tratamento com líquidos pesados.

Na separação utilizando líquido pesado (bromofórmio, com densidade de 2,8-2,9 g/cm<sup>3</sup>) os minerais mais densos que o líquido, como é o caso do zircão, afundam e os leves flutuam, fundamentalmente, entre eles, quartzo e feldspatos. O material mais denso é coletado, lavado com álcool, para retirar o bromofórmio, e secado.

Após esse processo é feita uma triagem cuidadosa dos cristais de zircão utilizando-se a lupa binocular e agrupamento dos mesmos em subpopulações de acordo com suas características morfológicas.

Na sequência, após a seleção dos melhores cristais, aqueles que podem dar resultados satisfatórios, e eliminados os cristais visivelmente metamíticos, eles foram colocados em uma lâmina com óleo de imersão para serem fotografados ao microscópio para melhor identificação das feições externas, internas e inclusões.

### **5.2.3 Tipologia de zircão**

O zircão ( $ZrSiO_4$ ) é um mineral acessório muito frequente em todos os tipos de rochas. Nas rochas magmáticas, eles são automorfos e subdiomórficos. As cores variam de laranja, rosa, marrom ou, às vezes, marrom escuro, devido à metamitização. A presença de núcleos com idades maiores do que aquelas encontradas nas bordas do grão indica a participação do mineral em eventos de reciclagem crustal.

A tipologia do zircão tem sido empregada na petrologia desde o século passado. Trabalhos como os de Pupin & Turco (1972) e Pupin (1980) têm mostrado a nítida correlação existente entre esse mineral, as características físico-químicas e as fontes do magmatismo granítico. A classificação tipológica do zircão é baseada nas combinações possíveis entre os prismas (100) e (110) e as pirâmides (211) e (101) considerando as suas dimensões relativas. Pupin & Turco (1972) apresentaram a distribuição de populações de zircões pertencendo a diferentes séries de granitóides no diagrama Índice de Alcalinidade (I.A.) *versus* Índice de Temperatura (I.T.) (Figura 03).

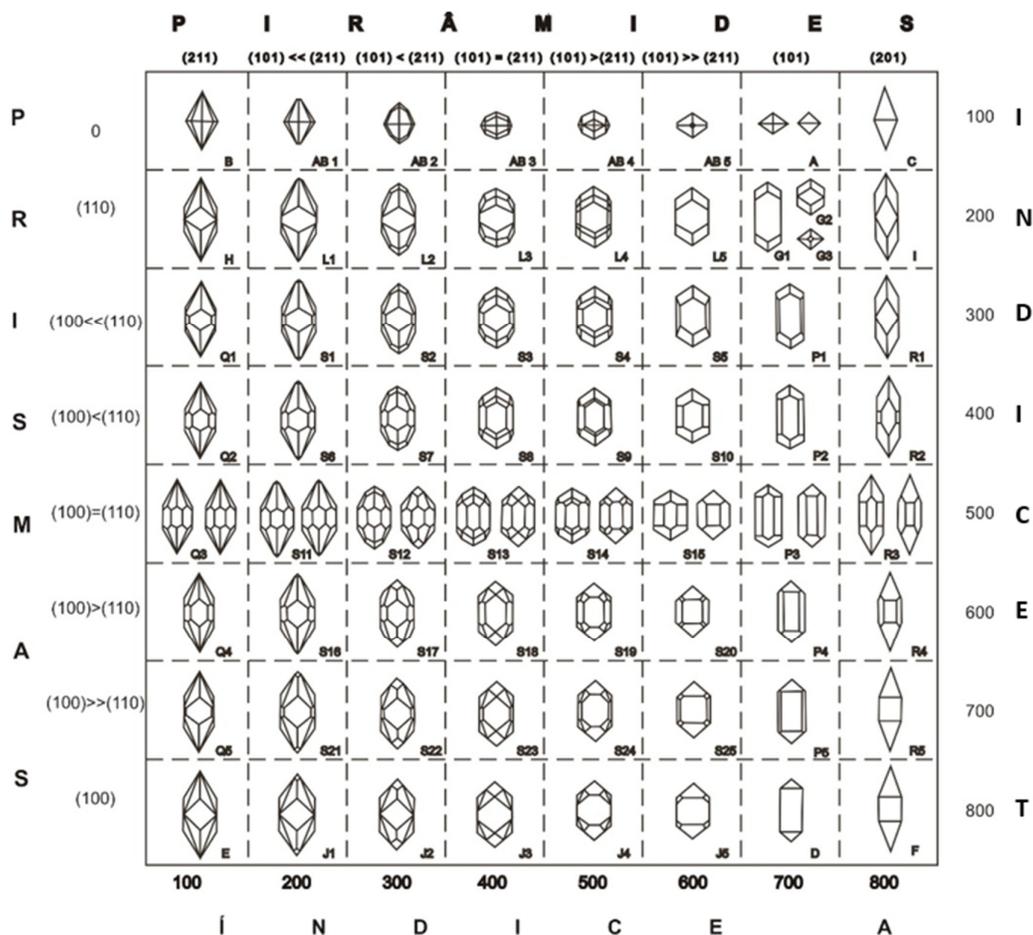


Figura 03 – Quadro de tendência evolutiva tipológica de zircão (Pupin, 1980)

O índice A está ligado ao quimismo do meio, enquanto T indica a temperatura de cristalização. Os zircões do tipo S, com 25 subtipos, são os mais comuns. Os tipos L, G, P, J e D são tidos como muito abundantes. Todavia, os tipos C, I, R, e F com pirâmide (301) são considerados como puramente teóricos. Os prismas (100) são indicadores de altas temperaturas de cristalização enquanto que os prismas (110) indicam baixa temperatura. As pirâmides (211) se desenvolvem em ambientes fortemente aluminosos enquanto que as (101) são típicas de meios hiperalcalinos. Com base nesse quadro, Pupin (1980) propôs uma classificação genética para os granitóides. (Figura 04).

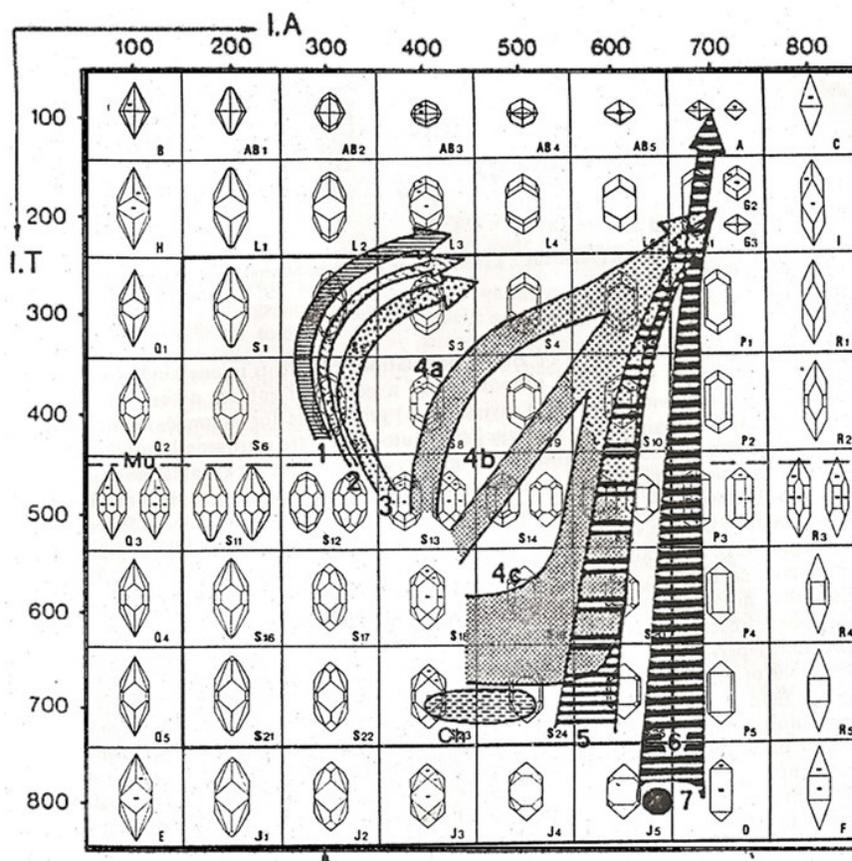


Figura 04 – Classificação tipológica de zircão (Pupin & Turco 1972). Onde o aumento da alcalinidade se dá da esquerda para a direita, assim como a temperatura decresce de cima para baixo. Onde as setas são trends que correspondentes a granitos de origem crustal ou principalmente crustal (granitos orogênicos); 1- Leucogranitos aluminosos; 2- Monzogranitos (sub)autóctones e granodioritos; 3- Monzogranitos intrusivos aluminosos e granodioritos; Granitos de origem crustal-mantélica, granitos híbridos (granitos orogênicos): 4a-c - área pontilhada escura = granodioritos – monzonitos; 4a-c - área pontilhada clara = monzogranitos - granitos alcalinos; 5 - granitos da série sub-alcalina (granitos anorogênicos); 6- granitos da série alcalina; 7- granitos da série toleítica; Ch: área de charnockítica magmática; Mu: limite de granitos de muscovita (temperatura <725°C).

Os estudos morfológicos de grãos de zircão evidenciam que o zircão pode cristalizar em vários períodos de tempo, durante a fase magmática, dependendo da composição do magma e da fase de fluidos ativos, assim o Zr exibe um comportamento periodicamente incompatível. A morfologia do zircão muda assim consoante o ambiente de cristalização, a temperatura e a quantidade de alumina-álcalis no magma Pupin (2000).

#### 5.2.4 Análise pelo método de evaporação de Pb em zircão

A técnica analítica empregada no espectrômetro de massa Finnigan MAT 262 é aquela preconizada por Kober (1987). Nela, os cristais de zircão são aprisionados em filamento de rênio em formato de canoa para serem introduzidos no espectrômetro de massa. Utiliza-se dois filamentos posicionados frente a frente, sendo um filamento de evaporação, o qual contém o zircão, e outro filamento de ionização, a partir do qual o Pb é analisado. O filamento de evaporação é aquecido gradativamente em temperaturas pré-estabelecidas, que constituem as etapas de evaporação. Normalmente são realizadas três etapas de evaporação. A primeira, a 1450°C, a segunda a 1500°C e a terceira, a 1550°C. Mais raramente, dependendo da quantidade de Pb que o zircão contém, podem ser realizadas até cinco etapas de evaporação.

Durante cada etapa de aquecimento, que dura aproximadamente cinco minutos, ocorre a liberação do Pb do retículo cristalino do zircão. Esse Pb deposita-se imediatamente no filamento de ionização, o qual é mantido em temperatura ambiente. Em seguida, o filamento de evaporação é desligado e o filamento de ionização é aquecido a uma temperatura em torno de 1050°C quando o Pb ali depositado é ionizado. As intensidades das emissões dos diferentes isótopos de Pb são medidos com monocoletor (um coletor de íons) segundo uma varredura na seguinte sequência de massa: 206, 207, 208, 206, 207 e 204. Cada conjunto de varreduras define um bloco, com 18 razões  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . Em seguida, a partir das médias das razões  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  dos blocos define-se uma idade para cada etapa de evaporação.

A cada etapa de evaporação são obtidos, em geral até cinco blocos de dados nas análises em monocoletor. A média das razões  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  desses blocos define uma idade correspondente para cada etapa. Esses dados são representados em um diagrama idade (Ma) versus Etapas de evaporação, onde se observa que, em geral, cada etapa de evaporação fornece um platô de idade.

As idades obtidas nas diferentes etapas de evaporação podem apresentar diferentes valores, sendo que, normalmente se observa um aumento nas idades no sentido das etapas de mais alta temperatura. Quando isso ocorre, são consideradas apenas as idades obtidas em temperaturas mais altas, pois, nesse caso, o Pb analisado é proveniente das porções mais retentivas do cristal de zircão e, portanto, mais representativas da idade de cristalização do mineral.

Os resultados apresentados com desvios a  $2\sigma$  e as correções do Pb comum são feitas mediante uso do modelo de evolução do Pb em estágio duplo proposto por Stacey & Kramers (1975), utilizando a razão  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . Os dados obtidos são tratados estatisticamente segundo critérios metodológicos estabelecidos no Pará-Iso (Gaudette *et al.* 1998). Entre eles destacamos os seguintes:

- Os blocos com razões isotópicas  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  superiores a 0,0004 são desprezados, para tornar mínima a correção de Pb de contaminação ou inicial;

- São eliminados blocos com desvios superiores a  $2\sigma$  em relação à média das idades dos cristais de zircão;

- Faz-se, além disso, uma eliminação subjetiva na qual são desprezados blocos ou etapas de evaporação, que apresentem idades discordantes da média da idade obtida na temperatura mais alta da análise de cada grão.

## 6 RESULTADOS OBTIDOS

### 6.1 PETROGRÁFICOS

Uma vez que as rochas da área em estudo têm muito pouca representatividade em superfície, recorreu-se ao estudo de amostras de furos de sondagem (1217 N4WS, 1142 N4WS, 1091 N4WN, 1156 N4WS, 315 N5E e 880 N5S), além de amostras coletadas em quatro afloramentos, totalizando, para este estudo, 20 lâminas delgadas, as quais foram classificadas a partir de estimativa visual utilizando-se o diagrama QAP de Streckeisen (1976).

#### *Basalto*

Estas rochas compõem a Formação Parauapebas, base do Grupo Grão Pará. Como a maioria das rochas arqueanas, encontram-se alteradas hidrotermalmente e em diferentes intensidades, independentemente do tipo litológico. Contudo, um grande número de feições texturais primárias está preservado. Amostras apresentando textura amigdaloidal são frequentes dentre as lâminas delgadas estudadas.

Macroscopicamente, o basalto é cinza escuro a esverdeado, meso a melanocrático, de granulação fina, com aspecto geral homogêneo, sem estruturas aparentes, à exceção de alguns pontos, onde se apresentam amígdalas e micro-fraturas preenchidas por carbonato, quartzo e clorita.

Ao microscópio, os basaltos apresentam como texturas principais a intergranular microcristalina, amigdaloidal, granular hipidiomórfica, subofítica, porfirídica, e subordinadamente de fluxo (Figuras 05 e 06). São compostos essencialmente por plagioclásio, anfibólio, e/ou piroxênio e quartzo; como acessórios ocorrem opacos e titanita e, como minerais secundários, clorita, carbonato, epidoto e sericita.

Os cristais de plagioclásio estão presentes em cerca de 90% das amostras com frequência média de 40% e são de tamanhos variados de pequenos a muito pequenos (de 0,1 mm a 0,05 mm), com predominância dos menores sob a forma de ripas e os médios com o hábito tabular a prismático; são de subédricos a euédricos, fazendo contatos retos com quartzo, opacos, clorita e carbonato. Os cristais estão alterados na sua maioria para sericita, além de estarem ferruginosos. Possuem inclusões de quartzo e opacos e, localmente apresentam textura simplectítica.

O piroxênio está presente basicamente na forma de “fantasmas”. Seu representante característico é a augita, possuindo forma irregular, cristais subédricos e anédricos, com bordas irregulares e geralmente alterada para hornblenda.

Os anfibólios, geralmente hornblenda e actinolita, são encontrados sob produto de alteração do piroxênio e, na maioria das vezes, completamente alterados para clorita.

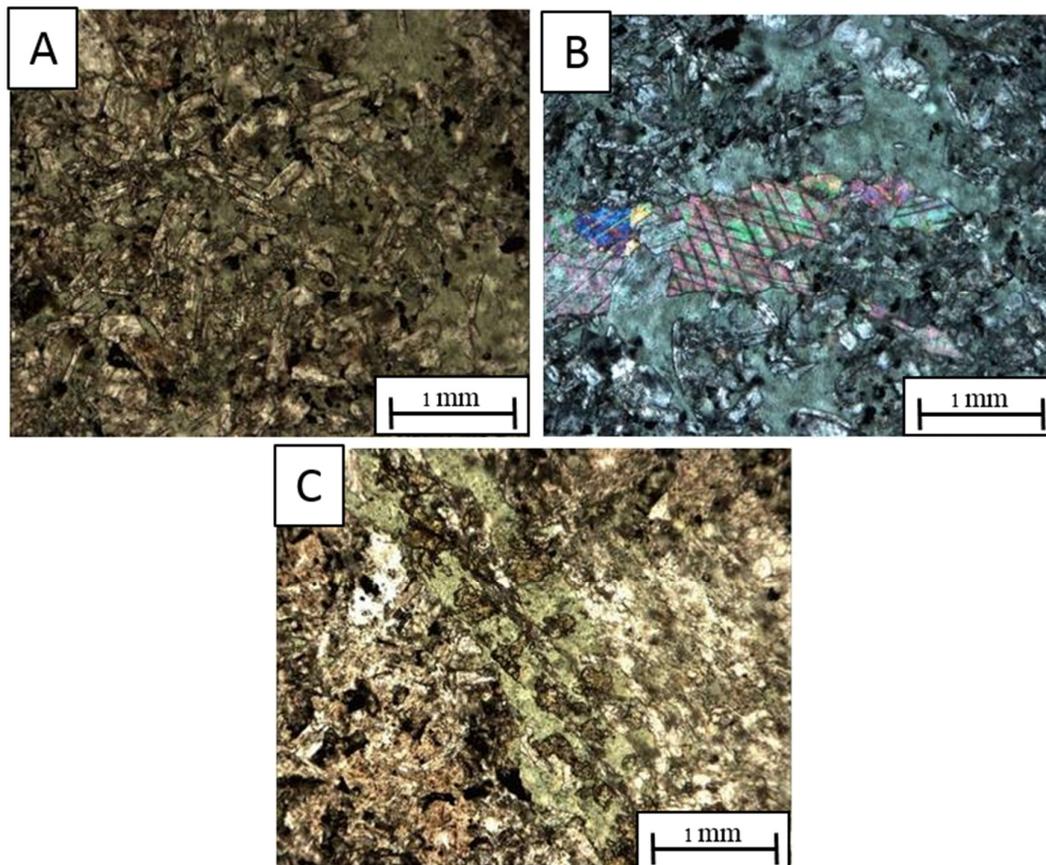


Figura 05 – Fotomicrografias exibindo as principais feições das amostras estudadas do basalto da Formação Parauapebas: A) Textura intergranular, B) cristal de piroxênio em destaque na matriz fina, C) amígdala preenchida por clorita.

O quartzo, em proporção de 4 a 7%, apresenta forma subédrica a anédrica, extinção ondulante e ocorre em cerca de 71% das lâminas estudadas. Encontra-se tanto na forma de cristais como em veios sendo que nesta segunda, os cristais são anédricos aglomerados e recristalizados com tamanhos variando de pequenos (0,1 mm), que são os recristalizados, a médios (0,2 mm), formando pontos tríplices devido à recristalização na formação de subcristais. De forma muito reduzida nas lâminas encontra-se o quartzo deformado, recristalizado devido esforços tectônicos.

A titanita apresenta forma anédrica e está sempre associada a opacos, os quais também ocorrem como cristais isolados ou em agregados.

A biotita é encontrada em poucas lâminas com forma subédrica e anédrica e com uma representação muito reduzida, a maioria já alterada para clorita.

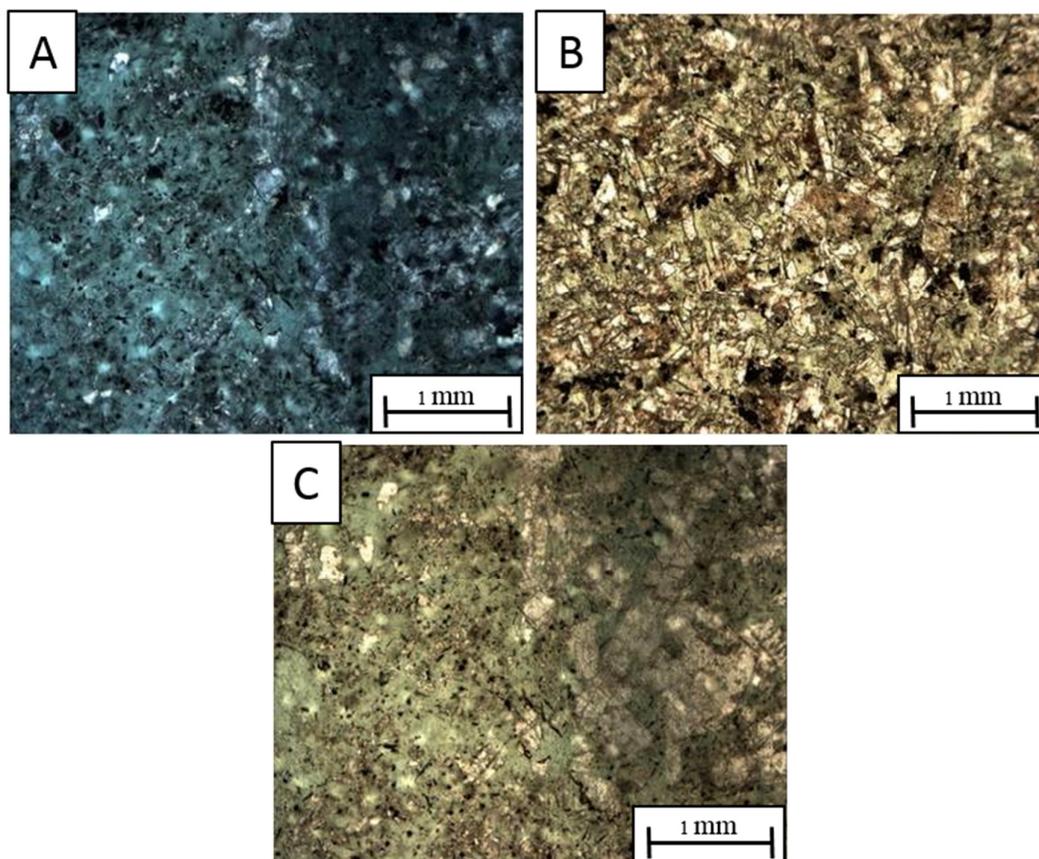


Figura 06 – Fotomicrografias exibindo feições das amostras estudadas do basalto da Formação Parauapebas. A) e B) Textura intergranular e C) alteração do anfibólio para clorita.

Clorita, carbonato e quartzo encontram-se preenchendo cavidades amigdaloidais de forma alongada a irregulares, micro fraturas ou como produto de alteração, à exceção do quartzo, muitas vezes em arranjo concêntrico.

A presença de clorita em 85% das amostras indica que cloritização foi um processo de alteração dos mais importantes que atuaram sobre essas rochas.

As alterações mais comuns encontradas são do anfibólio para clorita, plagioclásio para Sericita e argilo mineral, piroxênio para anfibólio, além de cloritização, epidotização e carbonatação.

### *Gabro*

Dentre as lâminas delgadas analisadas, dez foram classificadas como gabro, a partir do diagrama QAP (Streckeisen, 1976). Elas formam diques que se encontram distribuídos na Serra Norte, cortando as formações Parauapebas e Carajás.

O estudo petrográfico das lâminas delgadas revelou uma textura que varia de intergranular a subofídica e localmente micrográfica (Figuras 07 e 08). O gabro é composto essencialmente por plagioclásio, anfibólio e/ou piroxênio e subordinadamente, quartzo e titanita. Os minerais acessórios são apatita e opacos além de secundários como sericita, clorita, carbonato e epidoto.

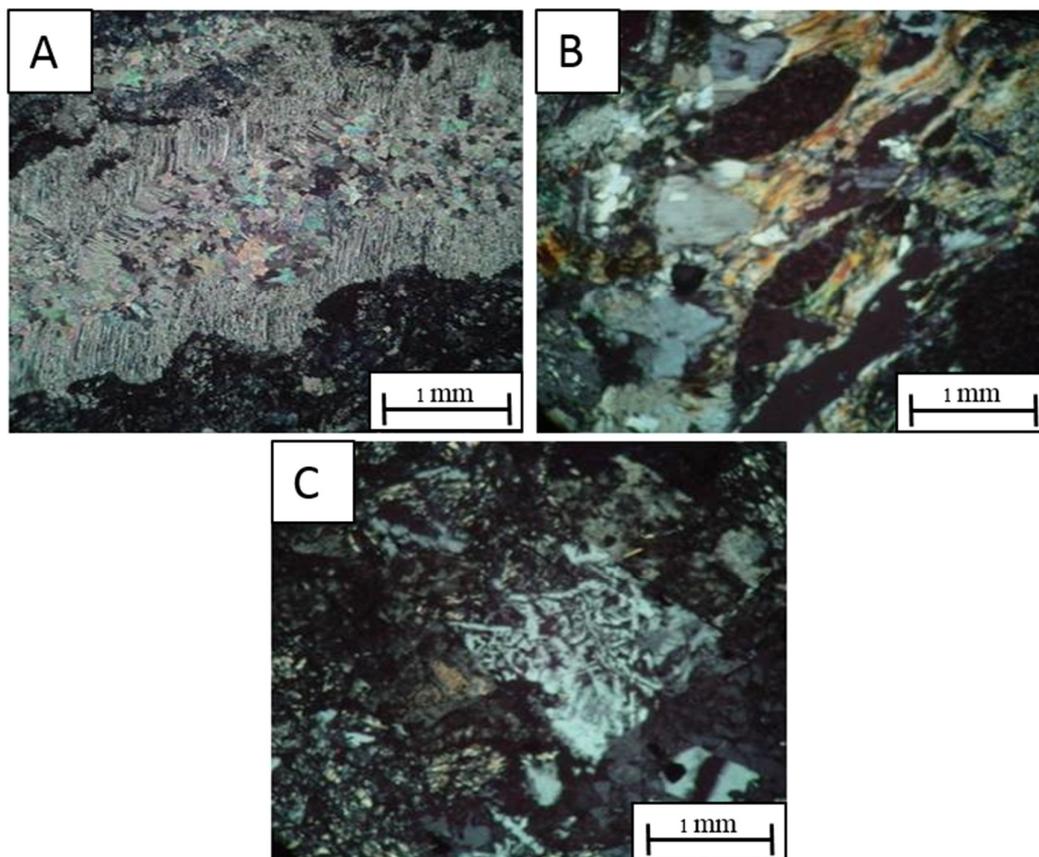


Figura 07 – Fotomicrografias exibindo as texturas de diques de gabro que cortam as formações Carajás e Parauapebas. A) e B) subofídica e C) micrográfica.

O plagioclásio encontra-se normalmente na forma de ripas subedrais exibindo diferentes graus e tipos de alteração. Os cristais maiores, em geral, encontram-se mais alterados. Mesmo quando parcialmente alterado, o plagioclásio ainda exhibe geminação. Devido à forte alteração e a forma dos cristais, não obtendo-se sucesso em determinar a composição do plagioclásio. As alterações mais comuns são sericitização e saussuritização, além de produtos como epidoto, carbonato, quartzo e mica branca.

A titanita possui coloração acastanhada a marrom escuro de forma subédrica a euédrica, prismática, fazendo contatos com clorita, epidoto e feldspato. Encontra-se alinhado nos veios juntamente com a clorita e, em outros casos, esse mineral está associado aos opacos.

Os minerais acessórios são titanita, óxidos de Fe, quartzo, e apatita e os secundários são epidoto, carbonato, biotita e clorita.

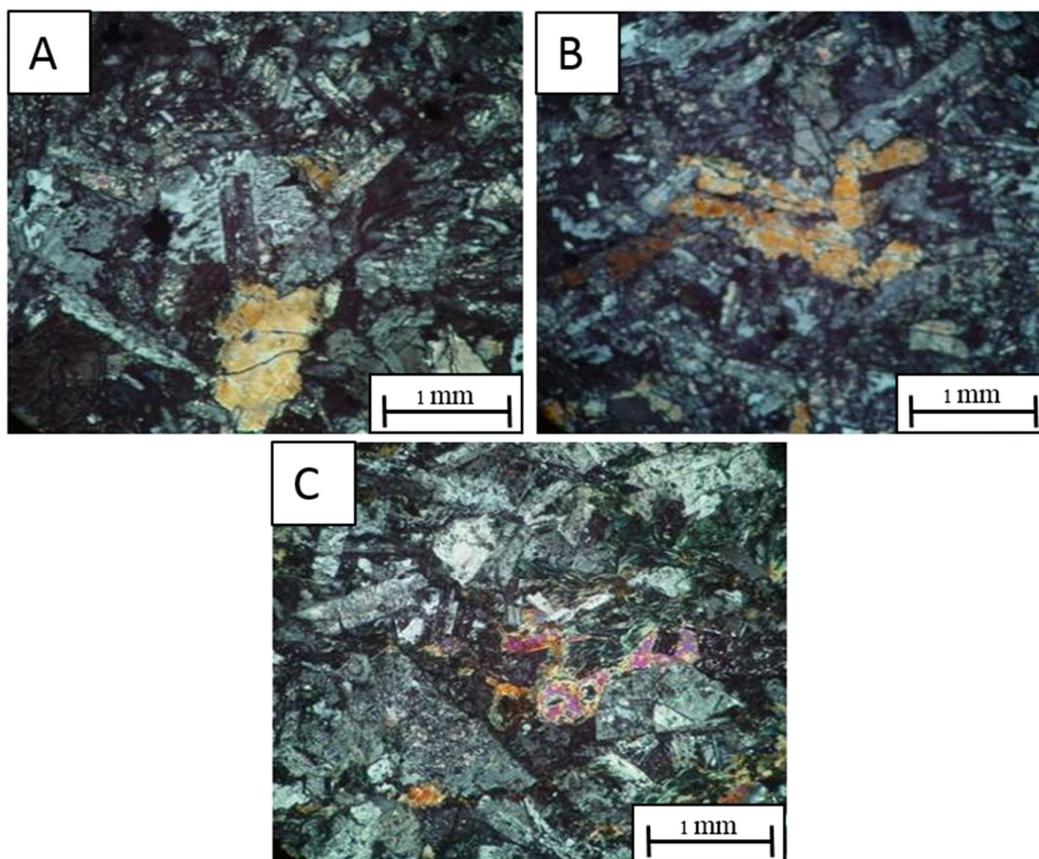


Figura 08 – Fotomicrografias exibindo as texturas de diques de gabro que cortam as formações Carajás e Parauapebas A) e B) micrográfica localmente e C) intergranular.

O estudo das lâminas mostrou ausência de transformações metamórficas, sendo, no entanto observada intensa saussuritização dos minerais, assim como a presença marcante de veios e/ou microfraturas preenchidas por clorita, carbonato e quartzo.

As lâminas estudadas petrograficamente mostraram rochas muito mais alteradas hidrotermalmente que o basalto da região, o que tornou impossível de se obter a composição do plagioclásio.

## 6.2 TIPOLOGIA E GEOCRONOLOGIA DE ZIRCÃO

Quanto aos resultados referentes aos cristais de zircão analisados através do método de evaporação de Pb e à tipologia, serão apresentados na Parte 2, respectivo ao artigo a ser submetido para uma revista especializada, a seguir.

## PARTE 2 ESTUDOS TIPOLOGICO E GEOCRONOLÓGICO DE ZIRCÃO DE ROCHAS ASSOCIADAS AO GRUPO GRÃO PARÁ, SERRA DOS CARAJÁS, PARÁ; IMPLICAÇÕES PARA A ESTRATIGRAFIA DO SUPERGRUPO ITACAIÚNAS

---

Anderson Sérgio Batista Rodrigues<sup>1</sup>, Moacir José Buenano Macambira<sup>1,2</sup>, Joel Buenano Macambira<sup>3</sup>

1 – Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, [aerrygeo@hotmail.com](mailto:aerrygeo@hotmail.com)

2 – Laboratório de Geologia Isotópica – Pará-Iso, Universidade Federal do Pará, [moamac@ufpa.br](mailto:moamac@ufpa.br)

3 – Faculdade de Geologia – Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém-PA, [joel@ufpa.br](mailto:joel@ufpa.br)

### Resumo

Na Província Mineral de Carajás, sudeste do Cráton Amazônico, sequências vulcanossedimentares entre 2,76 e 2,73 Ga compõem o Supergrupo Itacaiúnas, que preenche a bacia Carajás, portadora de importantes depósitos Fe, Cu, Au etc. Esse supergrupo reúne os grupos Igarapé Salobo, Grão Pará, Igarapé Bahia e Igarapé Pojuca, cuja proximidade de idades e a afinidade litológica indicam que possivelmente se depositaram em mesmo contexto geológico, podendo estar associadas a um mesmo evento. O Grupo Grão Pará é constituído por duas formações: uma espessa sequência de rochas vulcânicas (Formação Parauapebas; 2758±2Ma, U-Pb em zircão) e jaspilitos com minério de ferro (Formação Carajás), sobreposto pelo Grupo Igarapé Bahia (2745±1Ma, evaporação de Pb em zircão). Contudo, não se conhece até onde rochas de idades semelhantes, incluídas ou não na mesma unidade, se estendem e com qual sequência elas realmente fariam contato. Frente a essa dificuldade e a divergência entre autores quanto à estratigrafia do Grupo Grão Pará, empreenderam-se estudos tipológicos e geocronológicos de alta precisão através do método de evaporação de Pb em zircão de saprolitos de rochas vulcânicas intercaladas com a Formação Carajás. As idades obtidas para as amostras FS11D-161 (2745±2Ma) e FS11D-122 (2746±2Ma) foram interpretadas como a de cristalização das rochas vulcânicas de afinidade monzogranítica, definida com base no estudo tipológico, que corrobora com a natureza de certas rochas da base do Grupo Igarapé Bahia, anteriormente determinada. Em conjunto com idades previamente obtidas, pode-se estabelecer um intervalo máximo de 15 milhões de anos para a deposição da Formação Carajás, ao mesmo tempo que permite supor que esse conjunto de rochas fazem parte de uma única sequência.

**Palavras-chave:** Província Carajás, Grupo Grão Pará, geocronologia, zircão

### Abstract

In the Carajás Mineral Province, southeastern Amazonian craton, volcano-sedimentary sequences between 2.76 and 2.73 Ga are grouped in the Itacaiúnas Supergroup, fill up the Carajás basin and encompass great deposits of Fe, Cu, Au etc. This supergroup is made up by Igarapé Salobo, Grão Pará, Igarapé Bahia and Igarapé Pojuca groups. The similarity of ages and the lithological affinity of these units indicate that these rocks were formed under the same geological context, probably associated to the same event. The Grão Pará Group consists of two formations: a thick sequence of volcanic rocks (Parauapebas Formation,  $2758 \pm 2$ Ma; U-Pb in zircon), and jaspilites and iron ore (Carajás Formation). This sequence is in discordance in relation to the overlayered Igarapé Bahia Group ( $2745 \pm 1$ Ma, Pb-evaporation on zircon). However, it is not known how far, rocks of the similar age, included or not in the same unit, would actually extend and make contact. In view of these difficulties and the divergence among several authors regarding their stratigraphy, we carried on geochronological and typological studies on zircon from saprolite of volcanic rocks interlayered in the Carajás Formation. The ages obtained for FS11D-161 ( $2745 \pm 2$ Ma) and FS11D-122 ( $2746 \pm 2$ Ma) samples, were interpreted as the crystallization time of the volcanic rocks, of monzogranitic affinity, according the zircon typology. Together with previous ages available for the Parauapebas Formation and the volcanic rocks of the base of Igarapé Bahia Group, it is possible to establish a 15 million years interval for the deposition of the Carajás Formation and suppose that this rock set belongs to a unique sequence.

**Keywords:** Carajás Province, Grão Pará Group, geochronology, zircon

## INTRODUÇÃO

A Província Carajás é reconhecida mundialmente pelas suas volumosas reservas minerais (Fe, Cu, Au, Mn, Ni etc.) que se concentram, em especial, na bacia Carajás, situada no norte da província. A principal unidade estratigráfica dessa bacia é o Supergrupo Itacaiúnas, que reúne sequências vulcanossedimentares incluídas nos grupos Igarapé Salobo (2,76 Ga), Grão Pará (2,76 Ga), Igarapé Bahia (2,74 Ga) e Igarapé Pojuca (2,73 Ga) (p.ex. Docege 1988; Machado *et al.* 1991; Macambira & Lafon 1995). Tais sequências foram afetadas de forma heterogênea por diversos processos, como dobramentos, falhamentos, metamorfismo, alteração hidrotermal e supergênica, gerando produtos bastante distintos e um complexo quadro geológico. Ademais, as áreas em que essas sequências foram mais intensamente investigadas, inclusive com furos de sondagem, são aquelas cujas rochas foram, sistematicamente, modificadas por processos tectônicos e hidrotermais. Como se não bastasse a pouca exposição das rochas devido à alteração intempérica, tem-se ainda a densa cobertura vegetal dificultando enormemente a reconstrução da estratigrafia e da própria evolução geológica da bacia Carajás. Tais informações são fundamentais para qualquer estudo que enfoque o ambiente tectônico de formação dessa bacia ou que vise estabelecer estratégias de exploração mineral. Dessa forma, pode-se dizer que o Supergrupo Itacaiúnas ainda está mal definido no que tange sua estratigrafia. Com base no exposto e no fato das idades disponíveis indicarem um intervalo relativamente curto (*ca.* 30 Ma) para a deposição de todo o supergrupo, é necessário o estabelecimento de uma cronologia fina com base em métodos isotópicos precisos apoiados em estudos faciológicos de sequências. Nesse contexto, o método de evaporação de Pb de zircão tem mostrado resultados bastante acurados e superiores aos resultados U-Pb obtidos por equipamentos como SHRIMP e LA-ICP-MS em termos de precisão, além de menos custoso. Neste estudo, apresenta-se resultados que permitiram posicionar com maior precisão, no tempo, o Grupo Grão Pará, em especial, a Formação Carajás, com consequência ao entendimento da deposição do Supergrupo Itacaiúnas, através de geocronologia utilizando o método de evaporação de Pb em zircão.

## CONTEXTO GEOLÓGICO DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

A Província Carajás (PC), situada na parte sudeste do Cráton Amazônico, é constituída pelo Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (TGGRM) ou domínio Rio Maria e pelo Cinturão Itacaiúnas, ou domínio Carajás (respectivamente, Costa *et al.* 1995 e Santos 2003). O limite entre esses dois domínios ainda é impreciso, tanto que foi proposto um terceiro. Que segundo Dall'Agnol *et al.* (2013) a porção sul do Domínio Carajás foi denominada informalmente de Subdomínio de Transição, o qual foi interpretado como uma possível extensão do Domínio Rio Maria afetada pelos eventos neoarqueanos que moldaram a Bacia Carajás Dall'Agnol *et al.* (2006), correspondente a porção norte daquele domínio, compreendido entre as zonas de cisalhamento de direção aproximadamente E-W, que passam ao norte da localidade de Sapucaia e ao sul da Serra Sul do Domínio Carajás (p. ex. Craveiro *et al.* 2012).

## DOMÍNIO RIO MARIA

O domínio Rio Maria é formado por *greenstone belts* (Supergrupo Andorinhas) e por cinco principais grupos de granitóides arqueanos (Pimentel & Machado 1994, Macambira & Lafon 1995, Macambira & Lancelot 1996, Althoff *et al.* 2000, Leite *et al.* 2004, Dall’Agnol *et al.* 2006, Oliveira *et al.* 2009, Almeida *et al.* 2011, 2017): (1) Séries TTGs (tonalito–trondhjemitóide–granodiorito) mais antigas formadas em dois episódios distintos, sendo o primeiro ( $2,96 \pm 0,02$  Ga), representado pelo Tonalito Arco Verde e Trondhjemitóide Mogno, seguido em  $2,93 \pm 0,02$  Ga pelo Complexo Tonalítico Caracol, Tonalito Mariazinha e algumas rochas do Tonalito Arco Verde; (2) granitóides predominantemente granodioríticos com alto Mg ( $2,87$  Ga), formado pelo Granodiorito Rio Maria, rochas intermediárias e máficas associadas de afinidade sanukitóide; (3) leucogranodioritos e leucomonzogranitos cálcio-alcalinos enriquecidos em Ba e Sr, representados pela Suíte Guarantã e granitos similares ( $2,87$  Ga); (4) TTGs mais jovens, correspondentes ao Trondhjemitóide Água Fria ( $2,86$  Ga); (5) leucogranitos potássicos ( $2,86$  Ga), representados pelos granitos Xinguara, Mata Surrão e similares Feio *et al.* (2012).

## DOMÍNIO CARAJÁS

Segundo Pinheiro & Holdsworth (2000), o domínio Carajás consiste de rochas granítico-tonalíticas que foram formadas sob transpressão a alta temperatura entre 3,05 e 2,85 bilhões de anos e, em seguida, submetidas a regime distensivo, que propiciou a instalação da bacia intracratônica Carajás entre 2,85 e 2,65 Ga. Durante a inversão dessa bacia, a partir de 2,76 Ga, ocorreu a colocação de granitoides sin- a tardi-tectônicos do tipo A, que se estendeu até aproximadamente 2,55 Ga. As transcorrências e distensões foram registradas em 2,55 e 1,88 Ga, estando evidenciadas, respectivamente, pelas falhas Carajás e Cinzento e pelo alojamento de granitóides paleoproterozoicos.

A bacia Carajás é preenchida por sequências metavulcanossedimentares que constituem o Supergrupo Itacaiúnas, assentado discordantemente sobre um substrato constituído pelo Complexo Xingu e granitoides mesoarqueanos. A sequência Rio Novo, considerada mais antiga Hirata *et al.* (1982), consiste de metamafitos, metaultramafitos, formações ferríferas bandadas e xistos paraderivados. O Supergrupo Itacaiúnas é dividido nos grupos Igarapé Salobo, Igarapé Bahia, Grão Pará, Igarapé Pojuca e Buritirama, formados, à exceção do último, para o qual não há datação, entre 2,76 e 2,73 Ga. São sequências constituídas por abundante magmatismo máfico e variável grau metamórfico/hidrotermal, além de hospedarem grandes depósitos de Fe, Cu e Au (p.ex. Craveiro *et al.* 2012).

Contemporâneo ao desenvolvimento do Supergrupo Itacaiúnas, registra-se magmatismo granítico sintectônico subalcalino tipo A, ocorrido entre 2,76 a 2,74 Ga e representado pelos Complexo Granítico Estrela ( $2763 \pm 7$  Ma; Barros *et al.* 2004), Diorito Cristalino e suítes Plaquê, Planalto, Serra do Rabo e Igarapé Gelado. Ainda contemporâneas, ocorrem as suítes máfico-ultramáficas acamadadas Luanga ( $2763 \pm 6$  Ma; Machado *et al.* 1991), Cateté (U-Pb em zircão  $2766 \pm 6$  Ma; Lafon *et al.* 2000), Vermelho e Santa Inês, que formam corpos alongados na direção E-W. Do evento magmático posterior, fazem parte granitos foliados representados pelas intrusões graníticas Velho Salobo ( $2573 \pm 3$  Ma; Machado *et al.* 1991) e Itacaiúnas ( $2,56 \pm 37$  Ma; Souza *et al.* 1996).

A Formação Águas Claras, definida inicialmente por Araújo *et al.* (1988) como a unidade superior do Grupo Grão Pará, recobrando discordantemente as rochas arqueanas, é representada por uma sequência siliciclástica seccionada por diques e soleiras de diabásio Nogueira *et al.* (2000). Tais diques têm idades que variam entre  $2708 \pm 37$  Ma (U-Pb em zircão, Mougeot *et al.* 1996) e  $2308 \pm 10$  Ma (Pb-Pb por evaporação em zircão, Santos 2002), sendo que a primeira indicaria a idade mínima de deposição dessa unidade.

Contudo, conforme Tavares *et al.* (2018), estudos recentes questionam que a Formação Águas Claras teria se depositado no Arqueano. Idades Pb-Pb de 2,06 Ga para pirita diagenética da unidade Mougeot *et al.* (1996), bem como dados atípicos de MIF (*mass independent fractionation*) obtidos por Fabre *et al.* (2011) também para pirita, sugerem que a base da sequência se depositou após 2,1 Ga. Levando à reinterpretação das idades encontradas nos diques como herança das encaixantes ou contaminação crustal.

A mais expressiva estrutura do domínio Carajás é a falha Carajás, em cujo extremo leste aflora uma sucessão siliciclástica que Barbosa *et al.* (1966) reuniram na Formação Gorotire, constituída de arenitos arcosianos alterados e quartzito arenitos. De idade ainda indefinida, essa unidade tem sido considerada como do Paleoproterozoico Vasquez & Rosa-Costa (2008) ou do Neoproterozoico Pinheiro & Holdsworth (2000)

Após um longo período de aproximadamente 500 Ma, nova granitogênese foi registrada na PC por volta de 1,88 Ga, estando representada pelos granitos Serra dos Carajás, Cigano, Pojuca, Jovem Salobo e Breves, que formam corpos isótopos, discordantes à estruturação regional, de afinidade alcalina e metaluminosa, e quimicamente semelhante aos granitos tipo A Dall'Agnol *et al.* (2006).

### DOMÍNIO DE TRANSIÇÃO

Segundo Craveiro *et al.* (2012), esse domínio se estende desde o norte de Xinguara até a borda sul do domínio Carajás, onde ocorrem as exposições mais meridionais do Supergrupo Itacaiúnas. O domínio é composto por ortognaisses, ortogranulitos e granitóides diversos datados entre 3,0 e 2,83 Ga (Vasquez & Rosa-Costa 2008; Moreto *et al.* 2011, Feio 2011), além de granitóides e rochas indiferenciadas do Complexo Xingu com idades entre 3,01 e 2,99 Ga (Machado *et al.* 1991, Avelar *et al.* 1999). Nele também ocorrem a Suíte intrusiva Cateté e granitóides neoarqueanos, como o Pedra Branca (ca. 2,75 Ga, Gomes & Dall'Agnol 2007) e as suítes Planalto (ca. 2,74 Ga; Feio *et al.* 2012) e Plaquê (2736±24 Ma, Avelar *et al.* 1999).

A porção sul do Domínio Carajás da Província Carajás, denominado informalmente de Subdomínio de Transição, é constituída por dois domínios geológica e tectonicamente distintos, denominados segundo Dall'Agnoll *et al.* (2013), de Domínio Sapucaia e Domínio Canaã dos Carajás. O Domínio Sapucaia apresenta fortes analogias em termos de litologias com o Domínio Rio Maria, O Domínio Canaã dos Carajás se distingue dos domínios Sapucaia e Rio Maria em termos de associações litológicas e, no caso do último, também na assinatura isotópica de Nd. As associações sanukitóides mesoarqueanas são prováveis marcadores de zonas de sutura entre distintos domínios tectônicos, Dall'Agnoll *et al.* (2013).

### BACIA CARAJÁS

O magmatismo da bacia Carajás (Figura 01) não é perfeitamente conhecido, restando muitas dúvidas e controvérsias a respeito de sua evolução. O evento magmático dominante na bacia Carajás é representado pelo vulcanismo máfico do Supergrupo Itacaiúnas, (cerca de 2,76 Ga, U-Pb em zircão; Wirth *et al.* (1986), Machado *et al.* (1991), entre outros). Além desse, tem-se o magmatismo máfico-ultramáfico, como o do Complexo Luanga (2,76 Ga; Machado *et al.* 1991), e um grande número de intrusões de granitos subalcalinos subdivididos em mais antigos - Complexo Granítico Estrela (2763±7 Ma, Barros *et al.* 2001), granitos Serra do Rabo (2743 ± 1,6 Ma, Sardinha & Barros 2002) e Planalto (2747 ± 2 Ma, Huhn *et al.* 1999; 2734 ± 4 Ma, Sardinha *et al.* 2004) - e mais jovens - tipo Old Salobo (2573 ± 2 Ma, Machado *et al.* 1991)

A designação Supergrupo Itacaiúnas foi proposta por Docege (1988) para englobar o Grupo Grão Pará e unidades supracrustais similares, como os grupos Igarapé Salobo, Igarapé Pojuca e Igarapé Bahia. A principal característica das unidades desse supergrupo é ser formado predominantemente por rochas vulcanossedimentares, do Arqueano, apresentando graus variáveis de metamorfismo e litotipos distintos do Supergrupo Andorinhas (domínio Rio Maria). Essa mega unidade não foi reconhecida em síntese recente Vasquez & Rosa-Costa (2008), na qual se optou por manter a individualidade estratigráfica dos diferentes grupos citados, aos quais foram ainda acrescentados os grupos Aquiri, São Félix, Rio Novo e São Sebastião.

O Grupo Grão Pará, segundo Beisiegel *et al.* (1973), é formado por uma espessa sequência de rochas, na qual são distinguidos dois estratos, um vulcânico, a Formação Parauapebas, inferior (U-Pb em zircão, p.ex.:  $2758 \pm 39$  Ma, Wirth *et al.* (1986);  $2759 \pm 2$  Ma, Machado *et al.* 1991) e jaspilitos com minério de ferro associado (Formação Carajás), conforme Tabela 01. Essa sequência preenche a maior parte da Bacia de Carajás. Sobrepostas aos jaspilitos encontram-se as rochas sedimentares clásticas, vulcanoclásticas, intrusivas e vulcânicas básicas do Grupo Igarapé Bahia. Dois modelos têm sido propostos para explicar a evolução tectônica da bacia Carajás: (1) ligada a rifte continental (Gibbs *et al.* 1986; Oliveira *et al.* 1993; Macambira & Schrank 2003; Martins *et al.* 2017); (2) relacionada a arco magmático (Meirelles & Dardenne 1991; Teixeira & Egger 1994; Lobato *et al.* 2005, Silva *et al.* 2005).

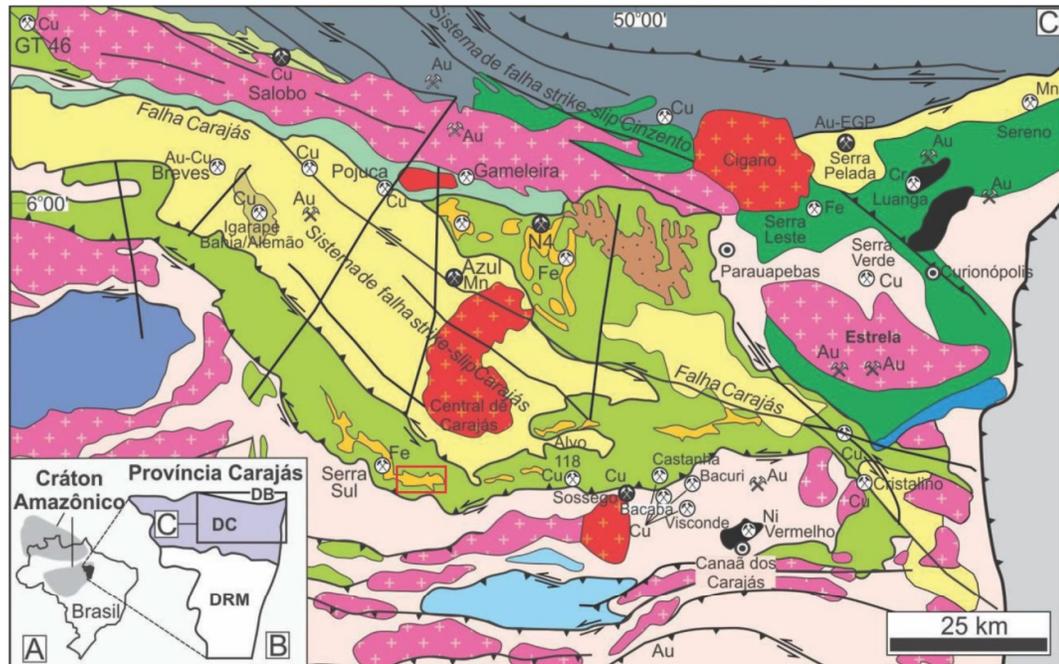


Figura 01 – Mapa geológico do domínio Carajás e áreas adjacentes (Moreto et al. 2015, modificado de Vasquez & Rosa-Costa 2008), mostrando a localização dos principais depósitos e a área de estudo representada pelo retângulo em vermelho.

Tabela 01 – Síntese dos principais dados geocronológicos do Supergrupo Itacaiúnas.

Unidades Estratigráficas	Ambiente	Alterações	Depósito/ ocorrência	Metamorfismo	Litotipos	Método	Idade (Ma)
Grupo Igarapé Pojuca	intraplaca continental, <i>rift</i> continental ou margem continental (11)		Cu, Zn, Au, Mo (3)	xisto verde, anfibolito (3)	metavulcânicas básico-intermediárias, com sedimentos clásticos e químicos intercalados (12)	U-Pb T Zr	2732±3 (4)
Grupo Igarapé Bahia	intraplaca tipo <i>rift</i> continental (7)	sericitização, saussuritização, cloritização, carbonatação e silicificação (7)	Cu, Au, Mo, Ag (3)	xisto verde baixo (3)	Rochas	U-Pb S Zr	2748±34 (10)
					metasedimentares clásticas, metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas, metabasaltos e metasedimentares químicas (12)	Pb-Pb Zr	2745±1 (11)
Grupo Grão Pará	Formação Carajás	<i>rift</i> continental (A1) ou arcos magmáticos	Fe (3)	xisto verde (9)	Jaspilito (12)	U-Pb S Zr	2743±11 (6)
						Pb-Pb T Zr	2751 ±4 (8)
	Formação Parauapebas	(A2)	cloritização, espilitização (1)	Cu-Au (3)	xisto verde (9)	basaltos e andesitos (12)	U-Pb T Zr
						U-Pb T Zr	2759±2 (4)
						U-Pb T Zr	2758±39 (2)
						U-Pb S Zr	2760 ± 11, 2757 ± 7 (6)
Grupo Igarapé Salobo	exalativo sedimentar (3)	Quartzo, magnetita, turmalina (12)	Cu, Au, Mo, Ag (3)	médio a alto (xisto verde baixo até granulito) (3)	Rochas metassedimentares (9)	U-Pb Zr	2761±3 (4)
						U-Pb Ti	2497±5 (4)
						U-Pb Zr	2555+4/-3 (4)

Ambiente de formação do Grupo Grão Pará: (A1) - (Gibbs *et al.* 1986, Docegeo 1988, Oliveira *et al.* 1993, Macambira 2003 e outros); (A2) - (Meirelles e Dardenne 1991, Silva *et al.* 2005, Lindenmayer *et al.* 2005, Lobato *et al.* 2005, Zucchetti 2007 e outros).

Referências: (1) Beisiegel *et al.* (1973); (2) Wirth *et al.* (1986); (3) Docegeo (1988); (4) Machado *et al.* (1991); (5) Macambira *et al.* (1996); (6) Trendall *et al.* (1998); (7) Villas *et al.* (2001); (8) Krymsky *et al.* (2002); (9) Lobato *et al.* (2005); (10) Tallarico *et al.* (2005); (11) (Galarza & Macambira 2002); (12) Vasquez & Rosa-Costa (2008).

Abreviaturas: S: SHRIMP; T:ID-TIMS; Zr: Zircão; Ti: Titanita.

O Grupo Igarapé Pojuca, formalizado por Docegeo (1988), tem sua área tipo no igarapé Pojuca, extremo norte do domínio Carajás, é formado por uma sequência metavulcanossedimentar arqueana, metamorfizada na fácies xisto verde alto a anfibolito baixo. O grupo aflora como uma faixa estreita e alongada, segundo a direção NW, com mergulhos para NE e SW (Farias *et al.* 1984, Docegeo 1988).

O Grupo Igarapé Bahia abrange um pacote vulcano sedimentar, metamorfizado em fácies xisto verde, de direção NNW, subverticalizado, que aflora como janela da Formação Águas Claras. Esse grupo foi inicialmente subdividido pela Docegeo (1988) nas formações Grotta do Vizinho e Sumidouro, enquanto nos trabalhos mais recentes (p. ex. Soares *et al.* 1999) encontra-se descrito segundo dois domínios principais: um metavulcânico inferior e outro metassedimentar superior.

Segundo Macambira & Schrank (2002), as BIFs da Formação Carajás foram depositadas sobre espessos derrames de basaltos que devem ter extravasado a partir de cadeias meso-oceânicas. A elevada pureza em Fe e Si, e os baixos teores dos demais óxidos maiores indicam uma fonte hidrotermal para estes compostos.

No trabalho de Macambira (2003), é adotada a correlação entre o Grupo Igarapé Bahia e a Formação Igarapé Cigarra, considerando-se que a idade é coerente com a situação geológica. Ressalta-se que as pesquisas ainda não permitiram a subdivisão da Formação Igarapé Cigarra em membros, o que seria possível, considerando-se o predomínio de rochas vulcânicas na base e elásticas no topo, semelhante ao que já existe para o Grupo Igarapé Bahia.

Segundo Tallarico *et al.* (2005) o domínio metavulcânico é constituído predominantemente por rochas metavulcânicas máfico-intermediárias (metabasaltos, metandesitos e metadacitos), intercaladas com subordinadas metavulcanoclásticas e formações ferríferas. Já o domínio metassedimentar é composto predominantemente por rochas metassedimentares clásticas (metarritmitos, metargilitos, metassiltitos, metagrauvas) intercaladas com metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas (metatufos de cristal maciços a laminados, finos, e metalapilli tufos), metabasaltos e rochas metassedimentares químicas (formações ferríferas bandadas e oolíticas, além de *chert*).

Dados geocronológicos em rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas, do Grupo Igarapé Bahia, obtidos por Galarza *et al.* (2008) e Tallarico *et al.* (2005) mostram idades Pb-Pb e U-Pb em zircão entre  $2745 \pm 1$  e  $2747 \pm 1$  Ma, respectivamente. Idades Nd<sub>TDM</sub> entre 2,96 e 3,13 Ga, εNd (-0,9 a - 2,1) e cristais de zircão herdados de 2,96 a 3,07 Ga sugerem, na região, a existência de uma crosta continental mesoarqueana anterior ao magmatismo Galarza *et al.* (2008).

O Grupo Igarapé Salobo foi redefinido por Docegeo (1988) a partir da Sequência Salobo-Pojuca de Hirata *et al.* (1982). Ele engloba rochas vulcanossedimentares que ocorrem na porção NW da mina de ferro N4E. Entretanto, Vasquez & Rosa-Costa (2008) sugerem uma nova definição para o Grupo Igarapé Salobo, que passa a incorporar somente rochas vulcano sedimentares expostas na região de serra do Salobo, enquanto aquelas das serras Cinzento e Redenção seriam supracrustais do domínio Bacajá.

## RESULTADOS

Neste estudo, foram analisadas pelo método de evaporação de Pb de zircão, duas amostras de testemunho de furos de sondagem localizados no corpo de minério S11D, Serra Sul de Carajás, denominados de FS11D-122 e FS11D-161 (Figura 2), cedidas pela empresa Vale. Ambas amostras são de saprolitos de rocha vulcânica de coloração rosada com cristais de quartzo bipiramidais visíveis intercalados com minério de ferro alterado, pertencentes a Formação Carajás, como é mostrado nos perfis simplificados dos furos na Figura 03.

Devido ao avançado estado de decomposição das amostras, optou-se em classificar tipologicamente os cristais de zircão de acordo com o proposto por Pupin (1980), na tentativa de determinar a filiação magmática da rocha vulcânica pretérita ao saprolito.

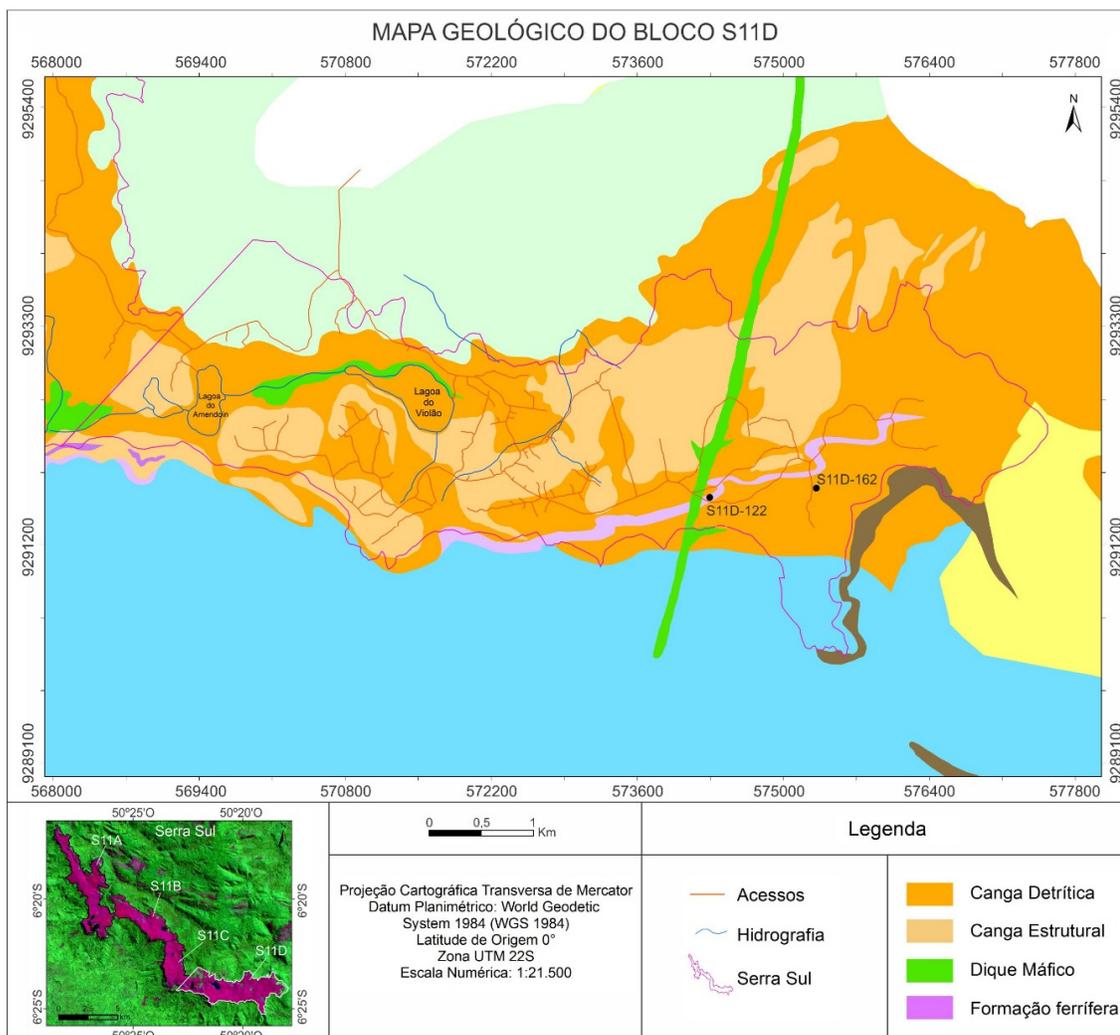


Figura 02 – Mapa geológico do Bloco S11D, Serra Sul, com localização dos furos de sondagem FS11D-122 e FS11D-161, onde foram coletadas as respectivas amostras estudadas. Fonte: Mapa Geológico Empresa Vale.

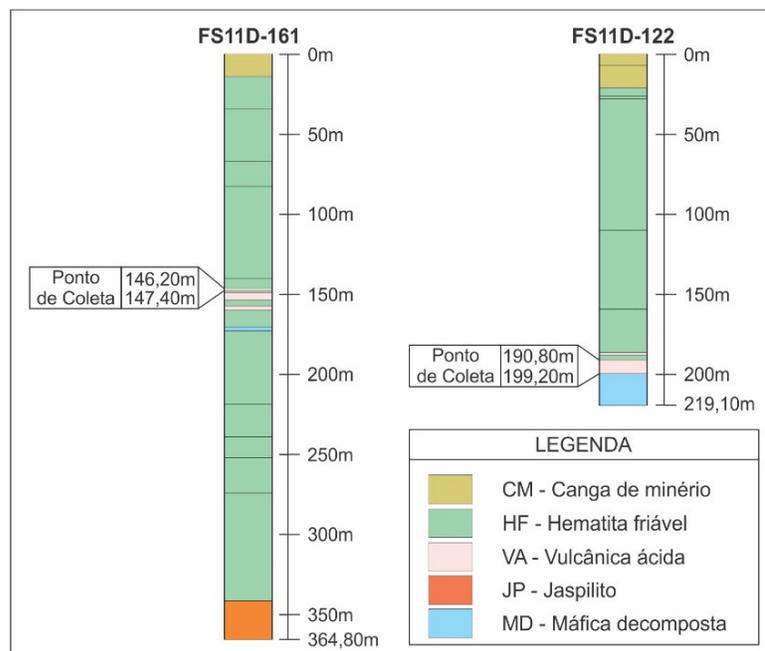


Figura 03 – Perfis simplificados dos furos de sondagem FS11D-161 e FS11D-122, construídos a partir de descrições cedidas pela empresa Vale, com indicação dos pontos de coleta das respectivas amostras estudadas.

## TIPOLOGIA DE ZIRCÃO

A classificação tipológica do zircão aplicada neste estudo é baseada nas combinações possíveis entre os prismas (100) e (110) e as pirâmides (211) e (101), considerando as suas dimensões relativas, conforme proposto em Pupin & Turco (1972). Esses autores propuseram que a distribuição de tipos de zircão corresponde a diferentes séries magmáticas de granitóides no diagrama Índice de Alcalinidade (A) vs. Índice de Temperatura (T). O índice A está ligado ao quimismo do meio, enquanto T indica o gradiente de temperatura de cristalização, que influenciam o desenvolvimento dos prismas. Os cristais de zircão do tipo S, com 25 subtipos, são os mais comuns. Os tipos L, G, P, J e D são tidos como muito abundantes. Todavia, os tipos C, I, R e F com pirâmides (301) são indicadores de altas temperaturas de cristalização, enquanto os com prismas (110) indicam baixa temperatura. As pirâmides (211) se desenvolvem em ambientes fortemente aluminosos, enquanto as (101) são típicas de meios hiperaluminosos. Estudos como esses, em geral, são realizados pela análise de pelo menos 100 grãos montados em lâmina delgada e observados em microscópio petrográfico, que permite, principalmente, a identificação das faces dos grãos.

Com base nesse princípio, alguns trabalhos têm aplicado a tipologia do zircão em petrologia, tais como Santos Pinto & Peucat (2000) e Galembeck *et al.* (2001), um reconhecimento unânime desse mineral como valiosa fonte de informação sobre a história, muitas vezes complexa, da sua rocha hospedeira, mostrando a nítida correlação existente entre as características físico-químicas do zircão e as fontes magmáticas.

Neste estudo, cerca de cem grãos foram identificados para cada uma das amostras estudadas (FS11D-161 e FS11D-122), que indicaram predomínio acentuado das faces bipiramidais (101) em relação a (211) e das faces prismáticas (100) em relação a (110), que são as únicas faces presentes, configurando os tipos morfológicos predominantes como os S10, S5, L5 e G1 (Figura 04). Os cristais de zircão estudados situam-se no trend 4a-c amarelo claro - monzogranitos - granitos alcalinos, conforme Figura 05 (em destaque pela seta vermelha), caracterizando, dessa forma, rochas com pouca diferenciação magmática e com altos índices A e T mínimos.

Tal classificação vem corroborar com Tallarico *et al.* (2005) onde o domínio metavulcânico, correspondente a parte inferior do Grupo Igarapé Bahia, é constituído predominantemente por rochas metavulcânicas máfico-intermediárias (metabasaltos, metandesitos e metadacitos), intercaladas com subordinadas metavulcanoclásticas e formações ferríferas.

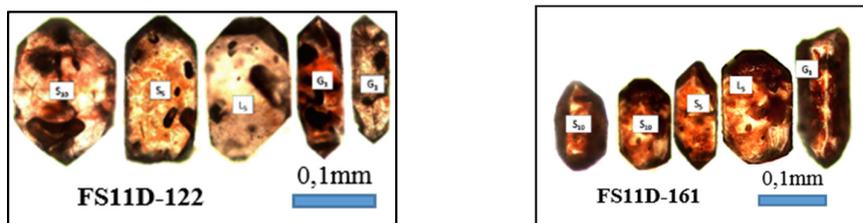


Figura 04 – Fotomicrografias de alguns exemplares de zircão das amostras estudadas (FS11D-122 e FS11D-161).

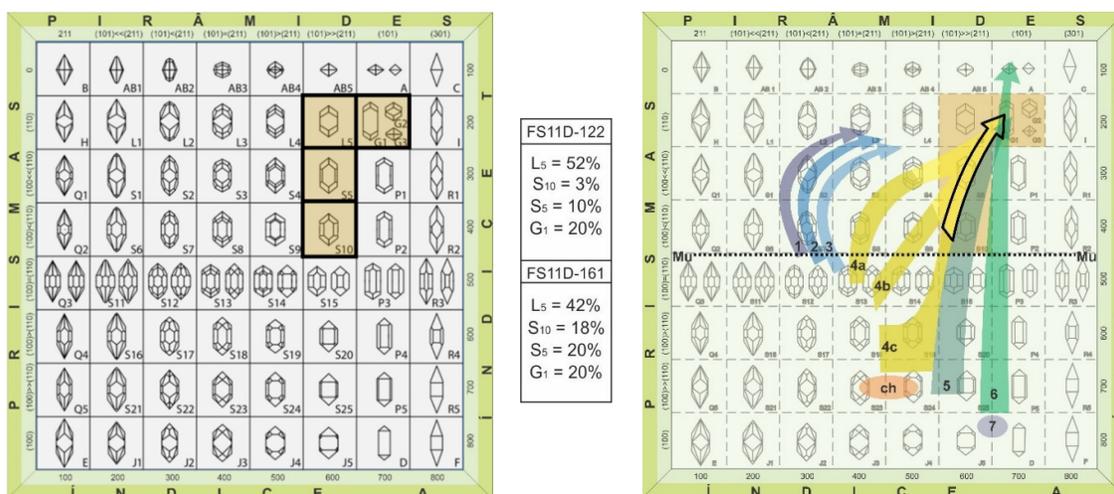


Figura 05 – Classificação tipológica de zircão adaptada de Pupin (1980) demonstrado pela seta com contorno preto o *trend* definido pelos cristais de zircão encontrados nas amostras de saprolito das rochas vulcânicas FS11D-161 e FS11D-122.

**Granitos de origem crustal ou principalmente crustal (granitos orogênicos):** 1- Leucogranitos aluminosos; 2- Monzogranitos (sub)autóctones e granodioritos; 3- Monzogranitos intrusivos aluminosos e granodioritos; **Granitos de origem crustal-mantélica, granitos híbridos (granitos orogênicos):** 4a-c - área amarelo escuro = granodioritos - monzonitos; 4a-c - área amarelo claro = monzogranitos - granitos alcalinos; 5 - granitos da série sub-alcalina (granitos anorogênicos); 6 - granitos da série alcalina; 7 - granitos da série toleítica; **Ch:** área de charnockítica magmática; **Mu:** limite de granitos de muscovita (temperatura <725° C).

## GEOCROLOGIA

A técnica analítica empregada para datação das amostras FS11D-161 e FS11D-122 foi a de evaporação de Pb de zircão, preconizada por Kober (1987) e com o emprego do espectrômetro de massa Finnigan MAT 262 do Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Pará (Pará-Iso). Nessa técnica, utiliza-se dois filamentos posicionados frente a frente, sendo um filamento de evaporação, o qual contém o zircão, e outro filamento de ionização, a partir do qual o Pb é analisado. O filamento de evaporação é aquecido gradativamente em temperaturas pré-estabelecidas (1450° C, 1500° C e 1550° C), por aproximadamente cinco minutos, que constituem as etapas de evaporação. Mais raramente, dependendo da quantidade de Pb que o zircão contém, podem ser realizadas até cinco etapas de evaporação, em mais altas temperaturas.

Os resultados são apresentados com desvios a  $2\sigma$  e as correções do Pb comum são feitas mediante uso de modelo de evolução do Pb em estágio duplo proposto por Stacey & Kramers (1975), utilizando a razão  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . Os dados obtidos são tratados estatisticamente segundo critérios metodológicos estabelecidos no Pará-Iso Gaudette *et al.* (1998).

As mesmas amostras que foram utilizadas para a classificação tipológica de zircão foram utilizadas para a datação. Os cristais da amostra FS11D-122 selecionados na fração 180-125  $\mu\text{m}$  apresentam uma coloração castanha escura, com partes translúcidas, hábito prismático a arestas arredondadas. São automórficos, com superfícies ligeiramente irregulares e bordas corroídas. Todos os cristais se apresentam levemente fraturados, com inclusões escuras e alguns se encontram quebrados. Para o cálculo da idade, dos 10 cristais analisados, 6 grãos foram eleitos com os melhores resultados analíticos. Eliminaram-se apenas as etapas de mais baixa temperatura e desprezou-se aquelas com razões  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  superiores a 0,0004 (Tabela 02). Após essa filtragem, os seis grãos restantes forneceram a idade de  $2746 \pm 2$  Ma (Figura 06).

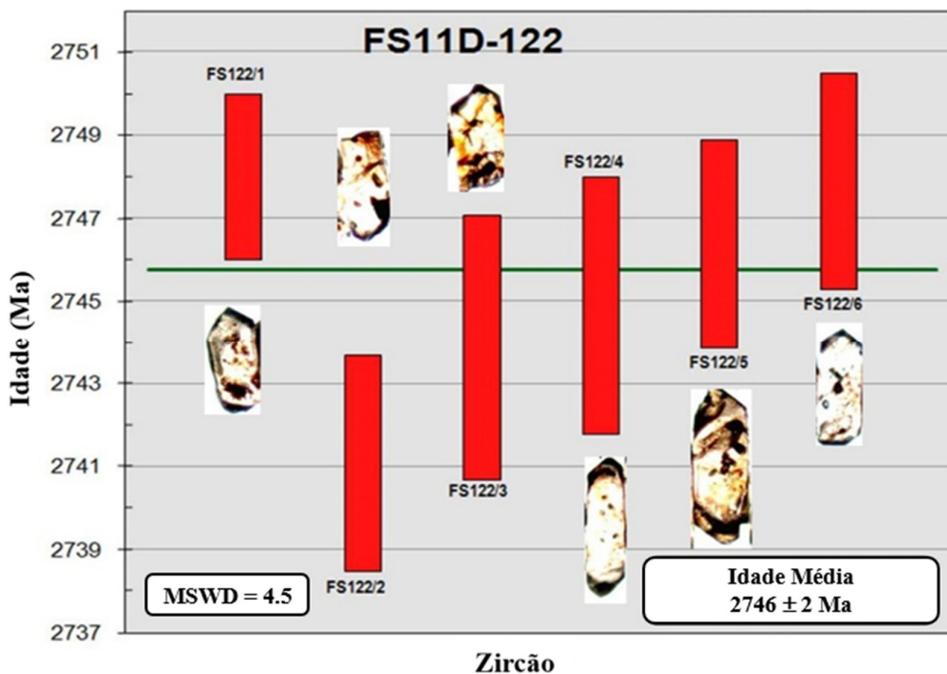


Figura 06 – Idades de cristais de zircão da amostra FS11D-122 obtidas pelo método de evaporação de Pb.

Para a amostra FS11D-161 foram selecionados cristais de zircão da fração 180-125  $\mu\text{m}$ . Os cristais apresentam coloração castanha clara, aspecto metamítico com partes translúcidas, hábito prismático e bordas arredondadas. São automórficos, com superfícies irregulares e corroídas. Todos se apresentam levemente fraturados, com inclusões escuras e alguns se encontram quebrados. Para análise, foram eleitos os grãos com melhores aspectos morfológicos, e sete grãos emitiram Pb suficiente para a análise isotópica. Para o cálculo da idade, eliminou-se apenas as etapas de mais baixa temperatura e desprezou-se aquelas com razões  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  superiores a 0,0004 (Tabela 02). Após essa filtragem, os sete grãos forneceram a idade de  $2745 \pm 2$  Ma (Figura 07).

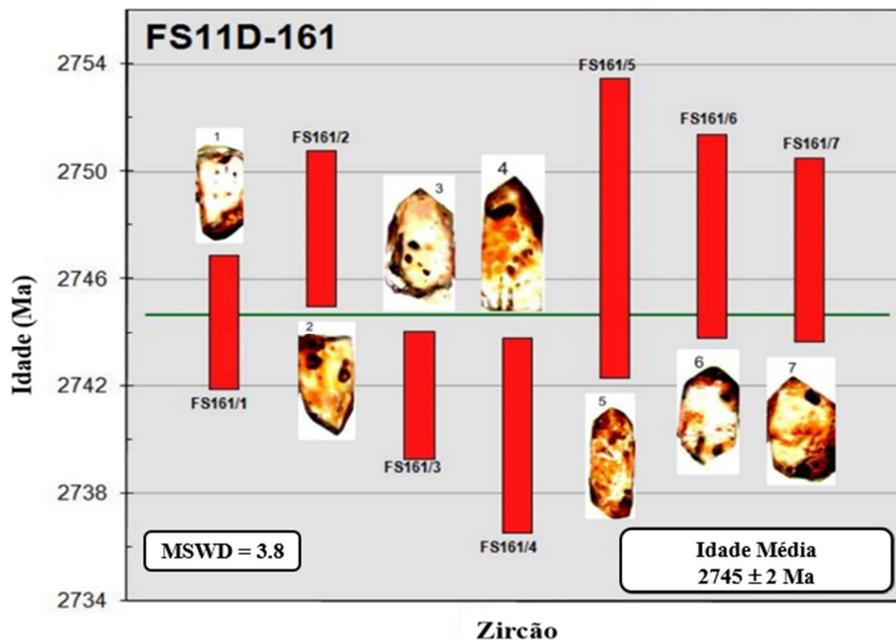


Figura 07 – Idades de cristais de zircão da amostra FS11D-161 obtidas pelo método de evaporação de Pb.

Tabela 02: Resultados isotópicos de análises pelo método evaporação de Pb de cristais de zircão da amostra FS11D-122 e FS11D-161.

Zircão	Temp.	Nº de Razões	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})$ c	2s	Idade (Ma)	2s	
FS122/1	*1450	0/22	0,000047	0,000018	0,19306	0,00087	2768,7	7,4	
	1500	30/30	0,000059	0,00001	0,19064	0,00026	2748	2,3	
	1550	06/06	0,000103	0,000022	0,1906	0,00052	2747,7	4,5	
FS122/2	*1500	0/36	0,000263	0,000022	0,18861	0,00083	2730,5	7,3	
	1550	36/36	0,00009	0,000013	0,18983	0,0003	2741,1	2,6	
FS122/3	*1450	0/38	0,000178	0,000006	0,18955	0,00037	2738,6	3,2	
	1500	26/26	0,000166	0,000007	0,19004	0,00031	2742,9	2,6	
	1550	28/28	0,000219	0,000009	0,19045	0,00049	2746,4	4,2	
FS122/4	1500	30/30	0,000171	0,00003	0,19027	0,00036	2744,9	3,1	
FS122/5	*1500	0/8	0,000144	0,000002	0,19084	0,00488	2749,8	42	
	1550	32/32	0,000087	0,000005	0,19045	0,00029	2746,4	2,5	
FS122/6	1450	08/08	0,000192	0,000014	0,19062	0,0003	2747,9	2,6	
196/300							Idade média	<b>2745,5</b>	<b>1,9</b>
FS161/1	*1450	0/38	0,000366	0,000011	0,19007	0,00077	2743,6	7,2	
	1500	38/38	0,000242	0,000014	0,19021	0,00029	2744,4	2,5	
FS161/2	1550	18/32	0,000557	0,000031	0,19062	0,00033	2747,9	2,9	
FS161/3	*1450	0/36	0,000595	0,000013	0,18968	0,00035	2739,8	3,1	
	1500	36/36	0,000443	0,000011	0,18984	0,00042	2741,1	3,6	
	1550	28/28	0,000221	0,000005	0,18996	0,00036	2742,2	3,1	
FS161/4	#1500	0/6	0,000718	0,000072	0,18933	0,00122	2736,8	10,6	
	1550	38/38	0,000305	0,000005	0,18973	0,00042	2740,2	3,6	
FS161/5	*1500	0/34	0,000052	0,000009	0,18997	0,00025	2742,3	2,2	
	1550	36/36	0,000039	0,000016	0,19062	0,00065	2747,9	5,6	
FS161/6	1450	34/34	0,000188	0,000078	0,19059	0,00044	2747,6	3,8	
FS161/7	1500	40/40	0,000128	0,000007	0,19053	0,00039	2747,1	3,4	
268/396							Idade média	<b>2744,7</b>	<b>2,1</b>

(c) - razão  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  corrigida do Pb comum; (\*) - etapa de evaporação eliminada subjetivamente; (#) - etapa de evaporação eliminada por apresentar razão  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  superior a 0,0004.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Apesar das inúmeras pesquisas, a relação entre as diversas sequências que compõem o Supergrupo Itacaiúnas ainda é razão de debates, em especial pela raridade de exposições, localmente intensa deformação e alteração, além da indefinição quanto ao ambiente tectônico e arranjo estratigráfico. Por outro lado, um domínio em que os estudos têm fornecido importantes informações é a geocronologia dessas sequências. Hoje se dispõe de um razoável conjunto de idades confidentes obtidas em zircão (métodos U-Pb e Pb-Pb por TIMS, LA-ICP-MS e SHRIMP) em diversos laboratórios. O conjunto desses dados estabelece um curto intervalo de cerca de 30 Ma para as vulcânicas de todo o Supergrupo Itacaiúnas.

Para a Serra Sul do domínio Carajás, duas amostras de saprolito de rochas vulcânicas intercaladas com a formação ferrífera pertencente à Formação Carajás/Grupo Grão Pará/Supergrupo Itacaiúnas, coletadas em testemunhos de furos de sondagem, foram analisadas neste trabalho. Em função do avançado intemperismo que afetou essas rochas, apelou-se para um estudo tipológico de zircão na tentativa de identificar as rochas pretéritas, o qual permitiu classificar os litotipos como de afinidade a monzogranitos-granitos alcalinos através de um *trend* representativo, segundo o diagrama de Pupin (1980), corroborando a natureza dessas rochas, anteriormente definida por Tallarico *et al.* (2005). As datações pelo método de evaporação de Pb de zircão indicaram idades de  $2745 \pm 2$  Ma para a amostra FS11D-161 e  $2746 \pm 2$  Ma para a amostra FS11D-122, interpretadas com o tempo de cristalização dos cristais analisados e de formação das rochas vulcânicas intercaladas a Formação Carajás que as contêm. Além da grande precisão desses dados, eles estão em perfeita concordância entre si e dentro do intervalo estabelecido para o Supergrupo Itacaiúnas. Ademais, como os grãos analisados provêm de rochas intercaladas com a formação ferrífera, sejam elas concomitantes (derrames) ou posterior (intrusivas), elas estabelecem um limite mínimo para a idade de deposição dessa formação (Figura 08). Por outro lado, a idade da Formação Parauapebas (Vulcânica Inferior), base do Grupo Grão Pará, estabelece a idade máxima para a Formação Carajás, como sendo de  $2759 \pm 2$  Ma (Machado *et al.* 1991). Portanto, a Formação Carajás se depositou em cerca de 15 milhões de anos, o que é razoável para uma espessura máxima de 400 m (Macambira 2003). Adicionalmente, o Grupo Grão Pará é sobreposto pela Formação Igarapé Cigarra que, segundo Macambira (2003), deve ser considerado como uma variação lateral crono-correlata do Grupo Igarapé Bahia, cujas rochas vulcânicas da base indicam idades de  $2745 \pm 1$  Ma (Galarza & Macambira 2002). Tal idade coincide perfeitamente com as idades obtidas neste trabalho, e que vem confirmar o previamente proposto para a período de deposição da Formação Carajás, ou seja, máximo de 15 milhões de anos. Além disso, a insignificante diferença de idade aqui proposta entre a Formação Carajás e a base do Grupo Igarapé Bahia, faz suspeitar que todas essas rochas fazem parte de uma mesma sequência. Adicionalmente, nossos dados se coadunam com o proposto outros autores, como Lobato *et al.* (2005), para os quais a concordância de idades (Figura 09) e a afinidade litológica do Supergrupo Itacaiúnas indicam que possivelmente essas rochas se formaram sob um mesmo contexto geológico, podendo ser diferentes expressões de um mesmo evento.

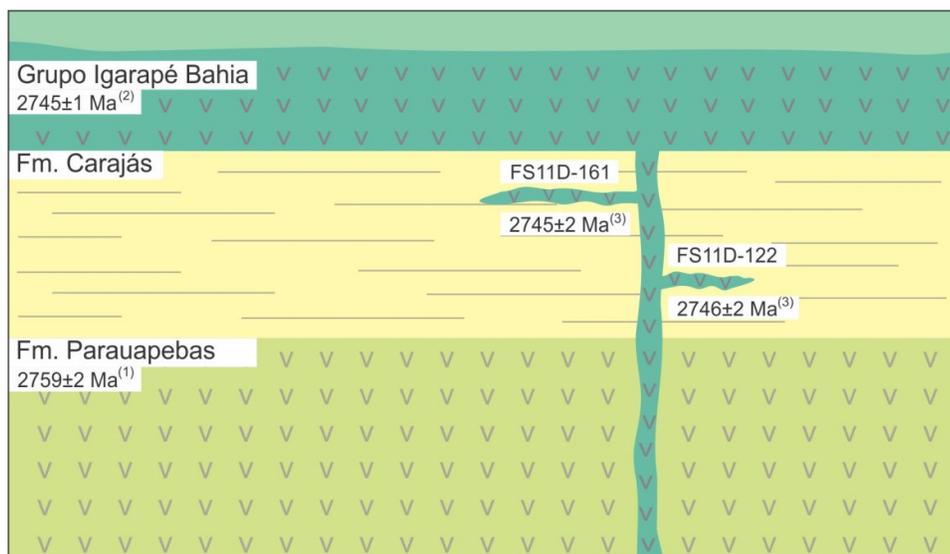


Figura 08 – Perfil esquemático mostrando as idades obtidas neste trabalho para a Formação Carajás. Referências (1) Machado *et al.* 1991; (2) (Galarza & Macambira 2002); (3) Este trabalho.

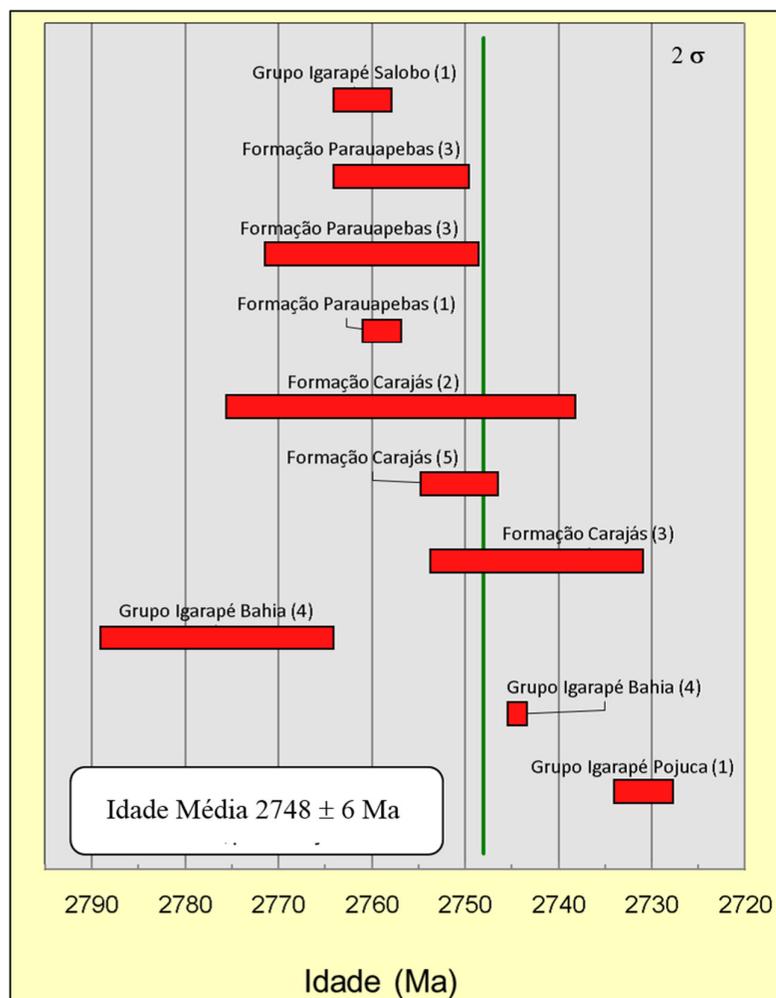


Figura 09 – Síntese das principais idades determinadas em zircão de rochas do Supergrupo Itacaiúnas. A linha verde representa a média ponderada das idades. Referências: (1) Machado et al. (1991); (2) Macambira et al. (1996); (3) Trendall et al. (1998); (4) Galarza & Macambira 2002) e (5) Krymsky et al. (2002). As idades para a Formação Carajás foram determinadas em rochas ígneas associadas às formações ferríferas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Mestrado ao primeiro autor e de Produtividade em Pesquisa, ao segundo autor. À empresa VALE, pelo suporte aos trabalhos de campo e concessão de amostras e dados geológicos. Ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) da UFPA pela infraestrutura disponibilizada. Ao Laboratório de Geologia Isotópica da UFPA (Pará-Iso), em especial ao Prof. Thomas Scheller e demais membros, pelo apoio na obtenção dos resultados aqui apresentados.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, J.A.C., Dall'Agnol, R., Oliveira, M.A., Macambira, M.J.B., Pimentel, M.M., Rämö, O.T., Guimarães, F.V., Leite, A.A.S. (2011). Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research* 120: 235-257.
- Almeida, J.A.C., Dall'Agnol, R., Rocha, M.C. (2017). Tonalite-trondhjemite and leucogranodiorite-granite suites from the Rio Maria domain, Carajás province, Brazil: implications for discrimination and origin of the Archean Na-granitoids. *Canadian Mineralogist*, V.55, p. 437-456.
- Althoff, F.J., Barbey, P., Boullier, A.M. (2000). 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). *Precambrian Research*, 104:187-206.
- Araújo, O.J.B., Maia, R.G.N., Jorge-João, X.S. Costa, J.B.S., (1988). A megaestruturação da folha Serra dos Carajás. In: *Congresso Latino Americano de Geologia*, 7, p. 324-333.
- Avelar, V.G., Lafon, J.M., Corrêa, A. Jr., F.C., Macambira, E.M.B. (1999). O Magmatismo arqueano da região de Tucumã-Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(2): 454-460.
- Barbosa, O., Andrade Ramos, J.R. de, Gomes, F.A de, Hembold, R. (1966). Geologia Estratigráfica, Estrutural e Econômica da Área do “Projeto Araguaia”. MME. DNPM. DGM. Monografia 19.
- Barros, C.E.M.; Macambira, M.J.B.; Barbey, P. 2001. Idade de zircões do complexo granítico estrela: relações entre magmatismo, deformação e metamorfismo na Província Metalogenética de Carajás. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 7, Belém. Resumos expandidos... Belém: SBG-Núcleo Norte.
- Barros, C.E.M., Macambira, M.J.B., Barbey, P., Scheller, T. (2004). Dados isotópicos Pb-Pb em zircão (evaporação) e Sm-Nd do Complexo Granítico Estrela, Província Mineral de Carajás, Brasil: Implicações petrológicas e tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências* 34: 531-538.
- Beisiegel, V.R., Bernardelli, A.L., Drumond, N.F., Ruff, A.W. Tremaine, J.W. (1973). Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. *Rev. Bras. Geociências*, 3:215-242. Contributions to Mineralogy and Petrology 96, 63-71.
- Costa, J.B.S., Araújo, O.J.B., Santos, A., Jorge João, X.S., Macambira, M.J.B., Lafon, J.M. (1995), A Província Mineral de Carajás: Aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos: *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi*, v. 7, p. 199-235.
- Craveiro, G. S., Villas, R.N., Silva, A.R.C. (2012). Depósito Cu-Au Visconde, Carajás (PA): Geologia e alteração hidrotermal das rochas encaixantes. *Revista Brasileira de Geociências*, volume 42(3) p. 453-470.
- Dall'Agnol, R., Oliveira, M.A. Almeida, J.A.C., Althoff, F.J. Leite, A.A.S., Oliveira, D.C., Barros, C.E.M. (2006). Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenic province, eastern Amazonian cráton. In: *Symposium on magmatismo, crustal evolution, and metallogenesis of the Amazonian Craton*, Abstract Vol. and Field Trips Guide, Belém, p. 99- 150.
- Dall'Agnol, R., Oliveira, D.C., Guimarães, F.V., Gabrielli, E.O., Feio, G.R.L., Lamarão, C.N., Althoff, F.J., Santos, P.A., Teixeira, M.F.B., Silva, A.C., Rodrigues, D.S., Santos, M.J.P., Silva, C.R.P., Santos, R.S., Santos, P.J.L. (2013). Geologia do subdomínio de transição do Domínio Carajás – Implicações para a evolução arqueana da Província Carajás – Pará. *Anais do 13º Simpósio de Geologia da Amazônia*.

- Docegeo (Rio Doce Geologia e Mineração - Distrito Amazônia) (1988). Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás, Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém. Anexos..., vol. Província Mineral de Carajás - Litoestratigrafia e Principais Depósitos Minerais. p. 11-54.
- Fabre, S., Nédélec, A., Poitrasson, F., Strauss, H., Thomazo, C., Nogueira, A. 2011. Iron and Sulphur isotopes from the Carajás mining province (Pará, Brazil): implications for the oxidation of the ocean and the atmosphere across the Archaean-Proterozoic transition. *Chem. Geol.*, 289:124-139
- Farias, N.F., Santos, A.B.S., Biagini, D.O., Vieira, E.A.P., Martins, L.P.B., Saueressig, R. (1984). Jazidas Cu-Zn da área Pojuca, Serra dos Carajás, PA. In: SBG, *Congresso Brasileiro de Geologia*, 33, Rio de Janeiro, Anais, 8: 3658-3668.
- Feio, G. R. L. (2011). *Magmatismo granitoide arqueano da área de Canaã dos Carajás: Implicações para a evolução crustal da Província Carajás*. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Pará, Belém, 205p
- Feio, G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Gomes A.S., Sardinha D.C., Oliveira D.C., Santos R.D., Santos P.A. (2012). Geochemistry, geochronology, and origin of the Neoproterozoic Planalto Granite suite, Carajás, Amazonian craton: A-type or hydrated charnockitic granites? *Lithos*. Volume 151, 15 October 2012, p. 57-73.
- Galarza, M.A., Macambira, M.J.B. (2002). Petrologia e geocronologia das rochas encaixantes do depósito de Cu–Au Igarapé Bahia, Província Mineral de Carajás, Pará, Brasil. In: Klein, E.L., Vasquez, M.L., Rosa-Costa, L.T. (Eds.), *Contribuições à Geologia da Amazônia* 3. Belém, SBG, pp. 153–168.
- Galarza, M.A., Macambira, M.J.B., Villas, R.N. (2008). Dating and isotopic characteristics (Pb and S) of the Fe oxide–Cu–Au–U–REE Igarapé Bahia ore deposit, Carajás mineral province, Pará state, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 25: 377-397.
- Galembeck, T.M.B., Wernick, E., Godoy, A.M. (2001). Tipologia de zircão de Granitos I e A (Rapakivi) Coexistentes No Complexo Granitóide Itu, SP. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 20, n. 1, p. 25-36.
- 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. *Journal of South American Earth Sciences* 11(4), 351-363.
- Gibbs, A.K., Wirth, K.R., Hirata, W.K., Olszewski Jr., W.J. (1986). Age and composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, 16: 201–211.
- Gomes, A.C.B., Dall'Agnol, R. (2007). Nova associação tonalítica-trondhjemitica Neoproterozoica na região de Canaã dos Carajás: TTG com altos conteúdos de Ti, Zr e Y. *Revista Brasileira de Geociências* 37: 182-193.
- Hirata, W.K., Rigon, J.C., Kadokaru, K., Cordeiro, A.A.C., Meireles, E.M. (1982). Geologia regional da Província Mineral de Carajás. In: *Simpósio de Geologia da Amazônia*, 1. Belém. *Anais...* SBG. v.1, p. 100-110.
- Huhn, S.B., Macambira, M.J.B., Dall'Agnol, R. 1999. Geologia e geocronologia Pb/Pb do granito alcalino arqueano Planalto, região da Serra do Rabo, Carajás-PA. *Simpósio de Geologia da Amazônia*, 6, 463–466.
- Kober, B., (1987). Single-grain evaporation combined with Pb+ emitter bedding for <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb age investigations using thermal ion mass spectrometry, and implications to zirconology. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 96, 63-71.
- Krymsky, R.S., Macambira, J.B., Macambira, M.J.B. (2002). Geocronologia U-Pb em zircão de rochas vulcânicas da Formação Carajás, Estado do Pará. In: *Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados*, 2, 2002. Belém. *Resumos...* Belém: PRONEX/SBG, p. 41.

- Lafon, J.M., Macambira, M.J.B., Pidgeon, R.T. (2000). Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoproterozoic magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern Amazonian Craton, Brazil). In: International Geological Congress, 31, *Abstracts*, Rio de Janeiro, [CD-ROM].
- Leite, A.A.S., Dall'Agnol, R., Macambira, M.J.B., Althoff, F.J. (2004). Geologia e Geocronologia dos granitóides Arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. *Revista Brasileira de Geociências* 34: 447-458.
- Lindenmayer, Z. G., Fleck, A., Gomes, C.H., Santos, A.B.S., Caron, R., Paula, F.C., Laux, J.H., Pimentel, M.M., e Sardinha, A.S. 2005. Caracterização geológica do alvo estrela (Cu-Au), Serra dos Carajás, Pará In: Caracterização de Depósitos Mineraiis em Distritos Mineiros da Amazônia. DNPM, CT-Mineral / FINEP, ADIMB, CD-ROM, 2005, cap. IV, 1, 137-205.
- Lobato, L.M., Rosière, C.A., Silva, R.C.F., Zucchetti, M., Baars, F.J., Sedane, J.C.S., Javier Rios, F., Pimentel, M., Mendes, G.E., Monteiro, A.M. 2005. A mineralização hidrotermal de ferro da Província Mineral de Carajás – controle estrutural e contexto na evolução metalogenética da província. In: Marini, O.J., Queiroz, E.T., Ramos, B.W. (Eds.). Caracterização de Depósitos Mineraiis em Distritos Mineiros da Amazônia, DNPM, CT-Mineral / FINEP, ADIMB, pp. 25-92.
- Macambira, J.B. (2003) *O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará*. 217 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- Macambira, J.B., Schrank, A. (2002) Químico-estratigrafia e evolução dos jaspilitos da Formação Carajás (PA). *Revista Brasileira de Geociências*, 32: 567-578.
- Macambira, J.B., Schrank, A. (2003). Depositional aspects of the banded iron formations from the Carajás formation, Pará state, Brazil. In: Latinamerican Congress of Sedimentology, 3, Belém, *Anais*, 227-229.
- Macambira, E.M.B., Jorge João, X.S., Souza, E.C. (1996). Geologic and petrological aspects of the Plaquê Granite – Southeastern of Pará State. In: Symposium of Archean Terranes of the South American Platform, Brasília. Extended *abstracts*...Brasília: SBG, 1996. p. 73-75.
- Macambira, M.J.B., Lafon, J.M. (1995). Geocronologia da Província Mineral de Carajás; Síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi* 7: 263-287.
- Macambira, M.J.B., Lancelot, J.R. (1996). Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *International Geology Review*, v. 38, p. 1134-1142.
- Machado, N., Lindenmayer, Z.G., Krogh, T.E., Lindenmayer, D. (1991). U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research* 49, 329-354.
- Martins, P.L.G., Toledo, C.L.B., Silva, A.M., Chemale Jr., F., Santos, J.O.S., Assis, L.M. (2017). Neoproterozoic magmatism in the southeastern Amazonian Craton, Brazil: Petrography, geochemistry and tectonic significance of basalts from the Carajás Basin. *Precambrian Research* 302. p. 340–357.
- Meirelles, M.R., Dardene, M.A. (1991). Vulcanismo basáltico de afinidade shoshonítica em ambiente de arco Arqueano, Grupo Grão-Pará, Serra dos Carajás, Estado do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, 1991. *Anais*... Rio de Janeiro, SBG, 5: 2164-2174.

- Moreto, C.P.N., Monteiro, L.V.S., Xavier, R.P., Amaral, W.S., Santos, T.J.S., Juliani, C., Souza Filho, C.R. (2011). Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide–Cu–Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U–Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, DOI 10.1007/s00126-011-0352-9.
- Moreto, C.P.N., Monteiro, L.V.S., Xavier, R.P., Creaser, R.A., DuFrane, S.A., Melo, G.H.C., Delinardo da Silva, M.A., Tassinari, C.C.G., Sato, K., (2015). Timing of multiple hydrothermal events in the iron oxide–copper–gold deposits of the Southern Copper Belt, Carajás Province, Brazil. *Miner. Deposita* 50, 517–546.
- Mougeot, R., Respaut, J.P., Briquieu, L., Ledru, P., Milesi, J.P., Macambira, M.J.B., Huhn S.B. (1996). Geochronological constrains for the age of the Águas Claras Formation (Carajás Province, Pará, Brazil). In: SBG, *Cong. Bras. Geol.*, 39, Salvador, *Anais*, v. 6, p. 579-581.
- Nogueira, A. C. R., Truckenbrodt, W., Pinheiro, R. V. L. (2000). Storm and tide-dominated siliciclastic deposits of the Archean Águas Claras Formation, Serra dos Carajás Brazil. In: International Geological Congress, 31, *Abstracts ...* Rio de Janeiro, 1 CD-ROM.
- Oliveira, E.P., Winter, C., Sachs, L., Batista, J.J., Figueiredo, B., Foster, R. (1993). Limiting factors in applying geochemistry to tectonic settings identification in continental áreas: implications to the Carajás basic metavolcanics, Brazil. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, 4., *Resumos expandidos...* Brasília: SBGq, 1993. p. 20-22.
- Oliveira, M.A., Dall’Agnol, R., Althoff, F.J., Leite, A.A.S. (2009). Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 27, 146-160.
- Pimentel, M.M., Machado, N. (1994). Geocronologia U-Pb dos Terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 38, Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos. Camboriú, SBG. v. 2, p. 390-391.
- Pinheiro, R.V.L.; Holdsworth, R.E. (2000). Evolução tectonoestratigráfica dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Cráton Amazônico, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 4, p. 597-606.
- Pupin, J.P., (1980). Zircon and granite petrology. *Contr. Mineral. Petrol.*, 110: 463-472.
- Pupin, J.P., Turco, G. (1972). Le zircon accessoire en geothermometrie. *Cahiers de Recherch de l’Academie des Sciences de Paris*, t 278 D p. 2121-2124.
- Santos Pinto, M., Peucat, J.J. (2000). Zircão – Uma ferramenta importante na caracterização petrogenética de granitóides no Bloco Gavião, Bahia. *Sitientibus, Feira de Santana*, n.23, p.19-33.
- Santos, J.O.S. (2003). Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: Bizzi, L.A. C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti e J. H. Gonçalves (Ed.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, p. 169-226.
- Santos, M.G.S. (2002). *Estudo dos isótopos de Pb e Nd do Depósito de Cu-Au (U-ETR) Alemão, Província Mineral de Carajás (PA)*. 126 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Sardinha, A.S.; Barros, C.E.M. 2002. Geologia, geoquímica e geocronologia do Granito Serra do Rabo, Província Mineral de Carajás. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 41. João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: SBG-NE.
- Sardinha, A.S., Dall’Agnol, R., Gomes, A.C.B., Macambira, M.J.B., Galarza, M.A. 2004. Geocronologia Pb–Pb e U–Pb em zircão de granitóides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 42, CD-ROM.

- Silva, M.G., Teixeira, J.B.G., Pimentel, M.M., Vasconcelos, P.M., Arielo, A., Rochaw. J.S.F. (2005). Geologia e mineralização de Fe-Cu-Au do alvo GT-46 (Igarapé Cinzento), Carajás. In: Marini O.J., Queitoz E.T., Ramos B.W. Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia, P. 97-151.
- Soares, A.D.V., Ronzê, P.C., Santos, M.G.S., Leal, E.D., Barreira, C.F. (1999) Geologia e mineralizações do depósito de Cu-Au Alemão – Província Mineral de Carajás (PA). In: *Simpósio de Geologia da Amazônia*, 6. Manaus. Resumos expandidos... Manaus: SBG, 1999. p. 144-147.
- Souza, S.Z., Dall’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: Symposium Archean Terrane South American Platform, Brasília, extended *abstracts*, Brasília, SBG, p. 31-32.
- Stacey, J.S., Kramers, J.D., (1975). Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two stage model. *Earth and Planetary Science Letters* 26, 207–221. Stern, R.A., Hanson, G.N., 1991. Archean high-Mg granodiorites: a derivative of light rare earth enriched monzodiorite of mantle origin. *Journal of Petrology* 32, 201–238.
- Tallarico, F.H.B., Figueiredo, B.R., Groves, D.I., Kositcin, N., McNaughton, N.J., Fletcher, I.R., Rego, J.L. (2005). Geology and Shrimp U-Pb geochronology of the Igarapé Bahia deposit, Carajás Copper-Gold belt, Brazil: an Archean (2.57 Ga) example of iron-oxide Cu-Au-(U-REE) mineralization. *Econ. Geol.*, 100:7-28.
- Tavares, F.M., Trouw, R.A.J., da Silva, Cí. Maria. Gaia., Justo, A.P., Oliveira, J.K.M., 2018, The multistage tectonic evolution of the northeastern Carajás Province, Amazonian Craton, Brazil: Revealing complex structural patterns, *Journal of South American Earth Sciences*.
- 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 Geologica Leopoldensia*. 40:71-114.
- Trendall, A.F., Basei, M.A.S., 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*, v. 11, n. 3, p. 265-277.
- Vasquez, M. L., Rosa-Costa, L. T. (2008). Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: *Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológicos e Tectônicos e de Recursos Minerais do Estado do Pará*. Escala 1:1.000.000. Belém, CPRM, 328 p.
- Villas, R.N.N. et al. 2001. Geologia do depósito Igarapé Bahia/Alemão, Província Carajás, Pará. In: Jost, H; Brod, J.A; Queiroz, E.T. (Coord.). *Caracterização de depósitos auríferos em distritos mineiros brasileiros*. Brasília: DNPM/ADIMB. p. 215-242.
- Wirth, K. R., Gibbs, A. K., Olszewski Jr., W.J. (1986). U-Pb zircon ages of the Grão Pará Group and Serra dos Carajás granite, Para, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 16 (2):195-200.
- Zucchetti, M. 2007. *Rochas máficas do Grupo Grão Pará e sua relação com a mineralização de ferro dos depósitos N4 E N5, Carajás, PA*. Tese (Doutorado). UFMG, 165p.

### PARTE 3 CONCLUSÕES FINAIS

---

Para as amostras coletadas da Serra Norte associadas aos basaltos da formação Parauapebas, o estudo petrográfico permitiu a identificação de texturas intergranular microcristalina, amigdaloidal, granular hipidiomórfica, subofítica, porfirítica, e subordinadamente, de fluxo. São compostos essencialmente por plagioclásio, anfibólio, e/ou piroxênio e quartzo; como acessórios ocorrem opacos e titanita e, como secundários, clorita, carbonato, epidoto e sericita.

Os gabros, que cortam ambas as formações do Grupo Grão Pará, apresentam texturas que variam de intergranular a subofítica e localmente micrográfica e são compostos essencialmente de plagioclásio, anfibólio e/ou piroxênio e subordinadamente, quartzo. Os minerais acessórios são titanita, apatita e opacos e os secundários são sericita, clorita, carbonato e epidoto. As alterações mais comuns encontradas são do anfibólio para clorita, plagioclásio para sericita e argilo mineral, piroxênio para anfibólio, clorita, epidoto e carbonato. Em menor expressão, saussuritização, ferrificação e silicificação. O estudo das lâminas mostrou ausência de transformações metamórficas sendo, no entanto, observada apenas alteração hidrotermal dos minerais assim como presença marcante de veios e/ou microfraturas preenchidas por clorita, carbonato e quartzo.

Apesar do grande volume de amostras tratadas não se logrou extrair cristais de zircão dos basaltos e diques de gabro/diabásio para os estudos geocronológicos. Dessa forma, não se alcançou o objetivo de se obter a idade mínima das sequências cortadas pelos diques, para níveis de comparação com a da literatura. No entanto, a idade da Formação Parauapebas, já está bem estabelecida (p. ex. U-Pb, zircão,  $2759 \pm 2$  Ma Machado *et al.* 1991) e não foi priorizada.

Para a Serra Sul da bacia Carajás, duas amostras de saprolito de rochas vulcânicas contendo quartzo e zircão, e intercaladas com formações ferríferas foram coletadas de testemunhos de sondagem. Em função do avançado grau de intemperismo que afetou essas rochas, apelou-se para um estudo tipológico de zircão na tentativa de identificar as rochas pretéritas, o qual permitiu classificar os litotipos como de afinidade a monzogranitos-granitos alcalinos, através de um *trend* representativo segundo o diagrama de Pupin (1980). Tal classificação vem corroborar a natureza das vulcânicas do Grupo Igarapé Bahia, como definido por outros autores (p. ex. Tallarico *et al.* 2005).

Datações pelo método de evaporação de Pb de zircão indicaram idades de  $2745 \pm 2$  Ma para a amostra FS11D-161 e  $2746 \pm 2$  Ma para a amostra FS11D-122, interpretadas como a de cristalização da rocha vulcânica que originou os saprolitos intercalados na Formação Carajás. Além da grande precisão desses dados, eles estão em perfeita concordância entre si e dentro do estabelecido para o Supergrupo Itacaiúnas. Como os grãos analisados provêm de rochas intercaladas com a Formação Carajás, sejam elas concomitantes (derrames) ou posteriores (intrusivas), elas estabelecem um limite mínimo para a idade de deposição dessa formação. Por outro lado, a idade da Formação Parauapebas (Vulcânica Inferior), base do Grupo Grão Pará, estabelece a idade máxima para a Formação Carajás, como sendo de  $2759 \pm 2$  Ma Machado *et al.* (1991). Portanto, a Formação Carajás se depositou em cerca de 15 milhões de anos, o que é razoável para uma espessura máxima estimada em 400 m Macambira (2003). Adicionalmente, o Grupo Grão Pará é sobreposto pelo Grupo Igarapé Bahia, cujas rochas vulcânicas da base indicam idades em torno de  $2745 \pm 1$  Ma Galarza & Macambira (2002), que coincide perfeitamente com as idades obtidas neste trabalho, o que vem corroborar o previamente proposto para a período de deposição da Formação Carajás, ou seja, máximo de 15 milhões de anos. Aliás, a insignificante diferença de idade aqui proposta para a Grupo Grão Pará e para a base do Grupo Igarapé Bahia, faz suspeitar que todas essas rochas fazem parte de uma mesma sequência.

## REFERÊNCIAS

- Almeida J.A.C., Oliveira M.A., Moura C.A.V., Oliveira D.C. de, Althoff F.J., Costi H.T., Munhoz R., Borges K. 2008. *Geologia da Folha Marajoara SB-22-Z-C-V, Escala 1: 100.000*. Nota explicativa. Pará, CPRM/UFPA, 110 p. il. 1 [CD-ROM].
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.J.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*, **187**: 235-257.
- Althoff F.J., Barbey P., Macambira M.J.B., Scheller T., Leterrier, J., Dall'Agnol R., Lafon J.M. 1998. La croissance du craton sudamazonien (région de Rio Maria, Brésil) *In: Reunion Science de la Terre, Brest-França. Abstract...* Brest-França, Societe Geologique de France, 1998. p. 62.
- Althoff F.J., Barbey P.; Boullier A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). *Precambrian Research*, **104** (3-4): 187-206.
- Araújo O.J.B. & Maia R.G.N. 1991. *Serra dos Carajás: folha SB.22-Z-A. Estado do Pará. Escala 1:250.000. Texto explicativo. DNPM/CPRM. 164 p.*
- Araújo O.J.B., Maia R.G.N., Jorge-João X.S. Costa J.B.S. 1988. A megaestruturação da folha Serra dos Carajás. *In: SBG-NO 7º Cong. Latino Am. Geol., Anais...* Belém, p. 324-333.
- Avelar V.G., Lafon J.M., Correia JR F.C., Macambira E.M.B. 1999. O Magmatismo arqueano da região de Tucumã-Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*. **29** (2): 454-460.
- 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** (4): 255-264.
- Barbosa J.P.O. 2004. *Geologia estrutural, geoquímica, petrografia e geocronologia de granitóides da região do igarapé Gelado, Norte da Província Mineral de Carajás*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 96p.
- Barros C.E.M., Nascimento V.M. do, Medeiros Filho C.A. 2010. Revisão da estratigrafia das rochas da Serra Leste, Província Mineral de Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, **40** (2): 167-174
- Barros C.E.M., Sardinha A.S., Barbosa J.P.O., Macambira M.J.B. 2009. Structure, petrology, geochemistry and zircon U/Pb and Pb/Pb geochronology of the synkinematic Archean (2.7 Ga) A-type granites from the Carajás Metallogenic Province, northern Brazil, *Can. Miner.*, **47** (6): 1423-1440
- Barros C.E.M., Macambira M.J.B., Barbey P., Scheller T., 2004. Dados isotópicos Pb-Pb em zircão (evaporação) e Sm-Nd do Complexo Granítico Estrela, Província Mineral de Carajás, Brasil: Implicações petrológicas e tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, **34** (4): 531-538

- Beisiegel V.R., Bernardelli A.L., Drumond N.F., Ruff A.W., Tremaine J.W. 1973. Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. *Rev. Bras. Geociências*, **3** (4): 215-242.
- Companhia Vale do Rio Doce (CVRD/CMM). 1972. Distrito Ferrífero da Serra dos Carajás. *In: SBG Núcleo Norte, 26º Congresso Brasileiro de Geologia, Resumos das Comunicações...* Belém, v. 2, p. 78-80.
- Costa J.B.S., Araújo O.J.B., Santos A. dos, Jorge João X.S., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 1995. A Província Mineral de Carajás: Aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Bol. Mus. Pará. Emílio Goeldi*, série Ciências da Terra, **7**: 199-235.
- Craveiro G. S., Villas R.N., Silva A.R.C. 2012. Depósito Cu-Au Visconde, Carajás (PA): Geologia e alteração hidrotermal das rochas encaixantes. *Revista Brasileira de Geociências*, volume **42** (3): 453-470.
- Cunha B.C.C., Santos D.B., Prado P. 1984. Contribuição ao estudo da estratigrafia da região dos Gradaús, com ênfase no Grupo Rio Fresco. *In: SBG, 33º Cong. Bras. Geol.*, p. 873-885.
- Dall'Agnol R. & Oliveira D.C. 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: Implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, **93**(3-4): 215–233.
- 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, *Miner. Petrol.*, **50** (13): 113-138.
- Dall'Agnol R., Rämö O.T., Magalhães M.S., Macambira M.J.B. 1999. Petrology of the anorogenic, oxidized Jamon and Musa granites, Amazonian craton: implications for the genesis of Proterozoic A-type granites. *Lithos*, **46** (3): 431–462.
- Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Rämö O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Oliveira D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic, rapakivi, A-type granites of the Archean Carajás Metallogenic Province, Brazil. *Lithos*, **80** (1-4): 101-129.
- Dall'Agnol R., Lafon J.M., Fraga L.M., Scandolaro J., Barros C.E.M. 2000. The Precambrian evolution of the Amazonian Craton: one of the last unknown Precambrian terranes in the world. *In: SBG, 31º International Geological Congress, Rio de Janeiro. Abstracts...* Rio de Janeiro: 1 CD-ROM.
- Dall'Agnol R., Oliveira M.A. Almeida J.A.C., Althoff F.J. Leite A.A.S., Oliveira D.C., Barros C.E.M. 2006. Archean and paleoproterozoic granitoids of the carajás metallogenic province, eastern amazonian cráton. *In: Symposium on Magmatismo, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton. Excursion Guide*, Belém, p. 99- 150.
- Dias G.S., Macambira M.J.B., Dall'Agnol R., Soares A.D.V., Barros C.E., M., 1996. Datação de zircões de sill de metagabro: comprovação da idade arqueana da Formação Águas Claras, Carajás-PA. *In: SBG, 5º Simpósio de Geologia da Amazônia, 1996, Belém. Resumos expandidos...* Belém: p. 376-379.

Fabre S., Nédélec A., Poitrasson F., Strauss H., Thomazo C., Nogueira A. 2011. Iron and Sulphur isotopes from the Carajás mining province (Pará, Brazil): implications for the oxidation of the ocean and the atmosphere across the Archaean-Proterozoic transition. *Chem. Geol.*, **289** (1-2): 124-139

Feio G.R.L. 2011. *Magmatismo granitoide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás*. Thesis, Universidade Federal do Pará, Belém, 205p

Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Gomes A.S., Sardinha D.C., Oliveira D.C., Santos R.D., Santos P.A. 2012. Geochemistry, geochronology, and origin of the Neoproterozoic Planalto Granite suite, Carajás, Amazonian craton: A-type or hydrated charnockitic granites? *Lithos*, **151**: 57-73.

Ferreira Filho C.F., Cançado F., Correa C., Macambira E.M.B., Junqueira-Brod T.C., Siepierski L. 2007. Mineralizações estratiformes de PGE-Ni associadas a complexos acamadados em Carajás: os exemplos de Luanga e Serra da Onça. In: Rosa-Costa L.T., Klein E.L., Viglio E.P. (Ed.) *Contribuições à geologia da Amazônia*. Belém, SBG-Núcleo Norte, v. **5**: p. 1-14.

Galarza M.A. & Macambira M.J.B. 2002. Petrologia e geocronologia das rochas encaixantes do depósito de Cu–Au Igarapé Bahia, Província Mineral de Carajás, Pará, Brasil. In: Klein E.L., Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. (Eds.). *Contribuições à geologia da Amazônia*. Belém, SBG-Núcleo, 3, p. 153–168.

Galarza M.A., Macambira M.J.B., Villas R.N. 2008. Dating and isotopic characteristics (Pb and S) of the Fe oxide–Cu–Au–U–REE Igarapé Bahia ore deposit, Carajás mineral province, Pará state, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* **25** (3): 377-397.

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. *Journal of South American Earth Sciences* **11** (4): 351-363.

Gibbs A.K. & Wirth K.R. 1990. Geologic setting of the Serra dos Carajás iron deposits, Brazil. In: Chauvel J.J., Yuq C., El Shazly E.M., Gross G.A., Laajoki K., Markov M.S., Rai K.L., Stulchikov V.A., Agustithis S.S. (Ed.). **Anciente banded iron Formation, regional Presentation**. Greece, Theophrastus Publication, p. 83-102.

Gibbs A.K., Wirth K.R., Hirata W.K., Olszewski Jr. W.J. 1986. Age and composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, **16** (2): 201–211.

Guimarães F.V., Dall'Agnol R., Almeida J.A.C., Oliveira M.A. 2010. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha, Terreno Granito-Greenstone mesoarqueano de Rio Maria, SE do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **40** (2): 196-211.

Hirata W.K., Rigon J.C., Kadkaru K., Cordeiro A.A.C., Meireles E.M. 1982. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. In: SBG, 1º Simp. Geol. Amaz., Belém. *Anais...* v.1, p. 100-110.

- Huhn S.B., Macambira M.J.B., Dall'Agnol R. 1999. Geologia e geocronologia Pb-Pb do Granito Alcalino Planalto, Região da Serra do Rabo, Carajás-PA. *In: SBG, 6° Simp. Geol. Amaz., Bol. Resumos*, p. 463-466.
- Huhn S.R.B., Santos A.B.S., Amaral A.F., Ledsham E.J., Gouveia J.L., Martins L.B.P., Montalvão R.M.G., Costa V.G. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria – sul do Pará. *In: 35° SBG, Congr. Bras. Geol., Belém, Anais...*: p. 1438-1453.
- Kober B. 1987. Single-grain evaporation combined with Pb+ emitter bedding for 207Pb/206Pb age investigations using thermal ion mass spectrometry, and implications to zirconology. *Contrib. Mineral. Petrol*, **96**: p. 63-71.
- Krymsky R.S., Macambira J.B., Macambira M.J.B. 2002. Geocronologia U-Pb em zircão de rochas vulcânicas da Formação Carajás, Estado do Pará. *In: 2° Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, 2002. Belém. Resumos...* Belém: PRONEX/SBG, p. 41.
- Lafon J.M. & Scheller T. 1994. Geocronologia Pb-Pb em zircão do Granodiorito Cumaru, Serra dos Gradaús, PA. *In: SBG, 4° Simp. Geol. Amaz., Belém. Res. Exp.*, p. 321-324
- Lafon J.M., Rodrigues E., Duarte, K.D. 1994. Le granite Mata Surrão: un magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques-trondhjé-mitiques-granodioritiques archeennes de la région de Rio Maria (Amazonie orientale, Brésil). *C.R. Acad. Sci. Paris*, **318** (5): 643–649.
- Lafon J.M., Macambira M.J.B., Pidgeon R.T. 2000. Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoproterozoic magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern Amazonian Craton, Brazil). *In: 31° International Geological Congress, 2000, Rio de Janeiro. Abstracts...* Rio de Janeiro, 2000. v. 1. CD-ROM
- Leite A.A.S., Dall'Agnol R., Macambira M.J.B., Althoff F.J., 2004. Geologia e Geocronologia dos granitóides Arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. *Revista Brasileira de Geociências* **34**(4): 447-458.
- Lindenmayer Z. G., Fleck A., Gomes C.H., Santos A.B.S., Caron R., Paula F.C., Laux J.H., Pimentel M.M., Sardinha A.S. 2005. Caracterização geológica do alvo estrela (Cu-Au), Serra dos Carajás, Pará *In: Marini O.J., Queiroz E.T., Ramos B.W. (Eds.). Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia. DNPM, CT-Mineral / FINEP, ADIMB, CD-ROM, 2005, cap. 4, 1, p. 137-205.*
- Lobato L.M., Rosière C.A., Silva R.C.F., Zucchetti M., Baars F.J., Sedane J.C.S., Javier Rios F., Pimentel M., Mendes G.E., Monteiro A.M. 2005. A mineralização hidrotermal de ferro da Província Mineral de Carajás – controle estrutural e contexto na evolução metalogenética da província. *In: Marini O.J., Queiroz E.T., Ramos B.W. (Eds.). Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia, DNPM, CT-Mineral / FINEP, ADIMB, p. 21-92.*
- Macambira E.M.B. & Vale A.G. 1997. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Felix do Xingu. Folha SB.22-Y-B. Estado do Pará. DNPM/CPRM. Brasília, DF, 384p.

- Macambira E.M.B., Vale A.G., Jorge João X.S., Costa J.B.S. 1994. O quadro geológico da Folha São Félix do Xingu (SB.22-Y-B). In: SBG, 38° Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário de Camboriú, *Anais...* p. 111-112.
- Macambira J.B. 2003. *O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará*. Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. 217 p.
- Macambira J.B., Kotschoubey B., Santos M.D., Moura C.A.V., Ramos J.F.F. 1986. Estratigrafia e mineralizações primárias de ouro da aba sul do sinclínório de Gradaús – sul do Pará. In: SBG, 34° Cong. Bras. Geol., Goiânia, *Anais*, v. 5, p. 1956-1964.
- Macambira M.J.B. & Lancelot J. 1996. Time constraints of Archean Rio Maria crust, Southeastern Amazonian Amazonian Craton, Brazil. *Intern. Geol. Rev.*, **38** (12): 1134-1142
- Macambira E.M.B., Jorge João X.S., Souza E.C. (1996). Geologic and petrological aspects of the Plaquê Granite – Southeastern of Pará State. In: Symposium of Archean Terranes of the South American Platform, Brasília. Extended *abstracts...*Brasília: SBG, 1996. p. 73-75.
- Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás; Síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi* **7**: 263-288.
- Macambira M.J.B., Costa J.B.S., Althoff F.J., Lafon J.M., Melo J.C.V., Santos A. 2000. New geochronological data for the Rio Maria TTG terrane, implications for the time constraints of the crustal formation of the Carajás province, Brazil. In: 31° International Geological Congress, Rio de Janeiro, 1CD-ROM.
- Machado N., Lindenmayer Z.G., Krogh T.E., Lindenmayer D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research* **49** (3-4): 329-354.
- Martins P.L.G., Toledo C.L.B., Silva A.M., Chemale Jr. F., Santos J.O.S., Assis L.M. (2017). Neoproterozoic magmatism in the southeastern Amazonian Craton, Brazil: petrography, geochemistry and tectonic significance of basalts from the Carajás basin. *Precambrian Research* **302** : 340–357.
- Meirelles E.M., Hirata W.K., Amaral A.F., Medeiros Filho C.A., Gato W.C. 1984. Geologia das Folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral dos Carajás, Estado do Pará. In SBG 33° Cong. Bras. de Geol., RJ, v. 5, p. 2164-2174.
- Meirelles M.R. & Dardenne M.A. 1991. Vulcanismo basáltico de afinidade shoshonítica em ambiente de arco Arqueano, Grupo Grão-Pará, Serra dos Carajás, Estado do Pará. In: SBG, 33° Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, 1991. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG, 5: 2164-2174.
- Moreto C.P.N. *Geocronologia U-Pb e Re-Os aplicada à evolução metalogenética do cinturão sul do cobre da Província Mineral de Carajás*. Thesis. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP, 215 p.

- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., Souza Filho C.R. 2011a. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide-Cu-Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U-Pb geochronology and metallogenetic implications. *Miner. Dep.*, **46** (7) : 789-811.
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Kemp T.I.S., Souza Filho CR. 2011b. In situ LA-ICPMS U-Pb zircon dating of the host rocks of the Sossego and Bacaba iron oxide-copper-gold deposits, Carajás Mineral Province, Brazil. *In: 11th Biennial SGA Meeting, Proceedings, Antofagasta, Chile. P. 00-00.*
- Mougeot R., Respaut J.P., Briquieu L., Ledru P., Milesi J.P., Macambira M.J.B., Huhn S.B. 1996. Geochronological constrains for the age of the Águas Claras Formation (Carajás Province, Pará, Brazil). *In: SBG, 39º Cong. Bras. Geol, Salvador, Anais, v. 6, p. 579-581.*
- Nogueira A.C.R., Truckenbrodt W., Pinheiro R.V.L. 1995. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás: redescrição e redefinição litoestratigráfica. *Bol. Mus. Par. Em. Goeldi, Ciênc. da Terra, (7): 177-197.*
- Nogueira A.F.C. 1995 *Análise faciológica e aspectos estruturais da Formação Águas Claras, região central da Serra dos Carajás-PA.* Dissertation, Universidade Federal do Pará, Belém, 167 p.
- Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Scaillet B. 2010. Petrological constraints on crystallization conditions of Mesoarchean Sanukitoid Rocks, southeastern Amazonian craton, Brazil. *J Petrol.*, **51** (10): 2121-2148.
- Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian Craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* **27** (2-3): 146-160.
- Pidgeon R.T., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulites facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, **166** (1-2): 159-171.
- Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos Terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. *In: SBG, 38º Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú. Boletim de Resumos expandidos.* Camboriú, v. 2, p. 390-391.
- Pinheiro R.V.L. 1997. *Reactivation history of the Carajás and cinzento strike-slip systems, Amazon, Brazil.* Thesis, Durham. University of Durham. 408p.
- Pinheiro R.V.L.; Holdsworth R.E. 2000. Evolução tectonoestratigráfica dos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda Leste do Cráton Amazônico, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **30** (4): 597-606.
- Pupin J.P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contr. Mineral. Petrol.*, **73** (3): 207-220.
- Pupin J.P. 2000. Granite genesis related to geodynamics from Hf-Y in zircon. *Transaction of the Royal Society of Edinburg: Earth Sciences*, **91** (1-2): 245-256.

Pupin J.P. & Turco G. 1972. Le zircon accessoire en geothermometrie. *Cahiers de Recherche de l'Academie des Sciences de Paris*, t 278 D : 2121-2124.

Ricci P.S.F. 2006. Rocks of the Pium-Area, Carajás Block, Brazil – a deep-seated high-T gabbroic pluton (charnockitoidlike) with xenoliths of enderbite gneisses dated at 3002 Ma – the basement problem revisited. *In: SBG, 8º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. Resumos expandidos... Belém.. 1 CD-ROM.*

Rio Doce Geologia e Mineração - Distrito Amazônia (Docegeo) 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás, Pará. *In: SBG, 35º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anexos... Província Mineral de Carajás - Litoestratigrafia e Principais Depósitos Minerais. p. 11-54.*

Rodrigues E.M.S., Lafon J.M., Scheller T. 1992. Geocronologia Pb-Pb em rochas totais da Província Mineral de Carajás: primeiros resultados. *In: SBG, 37º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo. Resumos... São Paulo, v 2, p. 183-184.*

Rolando A.P. & Macambira M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. *In: 4º SSAGI, Salvador, Exten. abstracts, 1CDROM*

Rolando A.P., Macambira M.J.B. 2002. Geocronologia dos granitóides arqueanos da região da Serra do Inajá, novas evidências sobre a formação da crosta continental no sudeste do Cráton Amazônico, SSE Pará. *In: SBGEO, 41º Congresso Brasileiro de Geologia, João Pessoa. Boletim de resumos expandidos. João Pessoa, p. 525.*

Santos A., Pena Filho J.I.C. 2000. *Xinguara: folha SB.22- Z-C. Estado do Pará, escala 1:250.000. Brasília, DF: CPRM. (Programa Levantamentos Geológico Básicos do Brasil-PLGB). 1 CD-ROM.*

Santos R.D., Galarza M.A., Oliveira D.C. 2013. Geologia, geoquímica e geocronologia do Diopisídio-Norito Pium, Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra, 8: 331-337.*

Santos J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. *In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R. M., Gonçalves J. H. (Ed.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2003. p. 169-226.*

Sardinha A.S., Barros C.E.M., Krymsky R., 2006. Geology, Geochemistry, and U-Pb geochronology of the Archean (2.74 Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás Province, northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences 20 (4): 327-339.*

Sardinha A.S., Dall'Agnol R., Gomes A.C.B., Macambira M.J.B., Galarza M.A., 2004. Geocronologia Pb-Pb e U-Pb em zircão de granitóides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás. *In: SBG, 42º Congresso Brasileiro de Geologia, Anias... 1 CD-ROM.*

Silva G.G., Lima M.I.C., Andrade A.R.F., Issler R.S., Guimarães G. 1974. Geologia. *In: BRASIL. DNPM. Folha SB. 22 Araguaia e parte da folha SC. 22 Tocantins: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. RJ, p. I/3- I/143. (Projeto Radam.).*

- Souza Z.S., Medeiros H., Althoff F.J., Dall'Agnol R. 1990. Geologia do terreno granito greenstone arqueano da região de Rio Maria, Sudeste do Pará. *In: SBG, 36° Cong. Bras. Geol., Natal, Anais...*, v. 6, p. 2913-2928.
- Souza Z.S., Potrel H., Lafon J.M., Althoff F.J., Pimentel M.M., Dall'Agnol R., Oliveira C.G. 2001. Nd, Pb and Sr isotopes of the identidade belt, an Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the archaean geodynamic evolution of the Amazonian craton. *Precamb. Res.*, **109** (3): 293–315
- Souza S.Z., Dall'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 Archean Terrane South American Platform. Extended abstracts, Brasília, DF*, p. 31-32.
- Stacey J.S., Kramers J.D., 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two stage model. *Earth and Planetary Science Letters* **26** (2): 207–221.
- Streckeisen A. 1976. To Earth plutonic rocks its proper name. *Erath Sci. Rev.*, **12** (1): 1-33.
- Tallarico F.H.B., 2003. *O cinturão cupro-aurífero de Carajás, Brasil*. Thesis. UNICAMP, 229p.
- Tallarico F.H.B., Figueiredo B.R., Groves D.I., Kositcin N., McNaughton N.J., Fletcher I.R., Rego J.L. 2005. Geology and Shrimp U-Pb geochronology of the Igarapé Bahia deposit, Carajás Copper-Gold belt, Brazil: an Archean (2.57 Ga) example of iron-oxide Cu-Au-(U-REE) mineralization. *Econ. Geol.*, **100** (1): 7-28.
- Tassinari C.C.G., Tachibana J., Tulio M., Livio R., Gaia C. 2005. Geologia isotópica aplicada nas mineralizações de Cu-Au do greenstone belt da Serra dos Gradaús, Província Mineral de Carajás, Cráton Amazônico: exemplo de mineralizações policíclicas. *In: 1° Simp. Bras. Metalogenia, Gramado, [Anais...]*, 1 CD-ROM.
- Tavares F. M. 2015. *Evolução geotectônica do Nordeste da Província Carajás*. Thesis. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, UFRJ/IGEO, Rio de Janeiro, 143p.
- Tavares F.M., Trouw R.A.J., da Silva Cí. Maria. Gaia., Justo A.P., Oliveira J.K.M., 2018, The multistage tectonic evolution of the northeastern Carajás Province, Amazonian Craton, Brazil: Revealing complex structural patterns, *Journal of South American Earth Sciences*. **88**: 238-252
- Teixeira J.B.G. 1994, *Geochemistry, petrology, and tectonic setting of archaean basaltic and dioritic rocks from the N4 Iron deposit, Serra dos Carajás, Pará, Brazil*. Thesis. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 161p.
- Trendall A.F., Basei M.A.S., 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*, vol. **11** (3): 265-277.

Vasquez M. L. & Rosa-Costa L. T. 2008. *Geologia e recursos minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológicos e Tectônicos e de Recursos Minerais do Estado do Pará*. Escala 1:1.000.000. Belém, CPRM, 328 p.

Villas R.N.N. & Santos M.D. 2001 Gold deposits of the Carajás Mineral Province: deposit types and metallogenesis. *Mineralium Deposita*, vol. **36** (3-4): 300-331.

Wirth K. R., Gibbs A. K., Olszewski Jr. W.J. 1986. U-Pb zircon ages of the Grão Pará group and Serra dos Carajás granite, Para, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **16** (2): 195-200.

Zucchetti M. 2007. *Rochas máficas do Grupo Grão Pará e sua relação com a mineralização de ferro dos depósitos N4 E N5, Carajás, PA*. Thesis, Doutorado, UFMG, 165p.