



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Proveniência sedimentar e ambientes tectônicos do Grupo Araxá em sua área tipo baseado em dados U-Pb de zircões detríticos, Sm-Nd e  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Implicações para a evolução da porção meridional da Faixa Brasília durante o Neoproterozóico.**

**AUTOR: André Falci Cardoso**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Fabricio Caxito**

**Co-Orientador: Prof. Dr. Hildor José Seer**

Nº

**BELO HORIZONTE**

**DATA ( \_/ \_/ \_ )**

**ANDRÉ FALCI CARDOSO**

**Proveniência sedimentar e ambientes tectônicos do Grupo Araxá em sua área tipo baseado em dados U-Pb de zircões detríticos, Sm-Nd e  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Implicações para a evolução da porção meridional da Faixa Brasília durante o Neoproterozóico.**

Dissertação de mestrado apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de mestre

## **Agradecimentos**

O presente trabalho é dedicado a uma grande quantidade de pessoas que de alguma maneira contribuíram para a realização dos trabalhos aqui descritos. Primeiramente um grande agradecimento a CODEMIG/UFMG no contexto do projeto de Triângulo Mineiro, pelo financiamento das análises geocronológicas U-Pb e dos trabalhos de campos realizados, tornando possível a realização da dissertação. Ao professor Cláudio Valeriano pelas análises Sm-Nd realizadas no Laboratório de Geocronologia e Isótopos Radiogênicos da UERJ. A geóloga Ana Alkmim pela paciência e ajuda nos trabalhos realizados no Laboratório de Geoquímica Isotópica UFOP, ao geólogo Paulo Amorim pela disposição e ajuda no campo, ao professor Fabricio Caxito pela fundamental orientação da dissertação, ao professor Hildor Seer pelas ideias e suporte na área de estudo e ao professor Pedrosa Soares por tornar possível a realização não só deste trabalho, mas como inúmeras dissertações e teses durante todos esses anos de UFMG. Um abraço em especial para os amigos de pós-graduação Zangão, Marcelo, Mauricio, Basalto e Daniel pelo companheirismo durante esses dois anos. Aos geólogos Jonas, Roberto, Augusto e Tomas pela ajuda nos trabalhos de campo, e mais importante a toda minha família que foi o meu maior suporte.

## Sumário

1.	INTRODUÇÃO .....	11
1.1.	Apresentação .....	11
1.2.	Localização e Acessos – Áreas de Pesquisa .....	11
1.3.	Problemas em aberto .....	13
1.4.	Objetivos .....	14
2.	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	15
2.1.	Grupo Canastra.....	17
2.2.	Grupo Ibiá .....	18
2.3.	Grupo Araxá.....	20
3.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	21
3.1.	Análises U-Pb via LA-ICP-MS .....	23
3.2.	Análises Sm-Nd .....	24
3.3.	Análises Sr-Sr .....	25
4.	GEOLOGIA LOCAL .....	26
4.1.	Estratigrafia .....	26
4.1.1.	Grupo Canastra.....	28
4.1.2.	Grupo Ibiá .....	29
4.1.3.	Grupo Araxá.....	30
4.1.3.1.	Rochas metassedimentares .....	31
4.1.3.2.	Rochas metamáficas.....	33
4.1.3.3.	Rochas graníticas intrusivas no Grupo Araxá .....	35
4.2.	Geologia estrutural e metamorfismo.....	37
4.2.1.	Caracterização dos elementos geométricos.....	38
4.2.2.	Modelo estrutural da área .....	41
4.2.2.1.	A fase deformacional D <sub>1</sub> .....	43
4.2.2.2.	A fase deformacional D <sub>2</sub> .....	43
4.2.2.3.	A fase deformacional D <sub>3</sub> .....	43
4.3.	Amostras coletadas para geocronologia.....	44
4.3.1.	Amostra AR1 .....	44
4.3.2.	Amostra A555 .....	45
4.3.3.	Amostra VH3.....	46
4.3.4.	Amostra A309 .....	47
4.3.5.	Amostra PH-02.....	48
5.	ARTIGO.....	50
6.	DISCUSSÕES.....	83
7.	CONCLUSÕES .....	85
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87

## Lista de Figuras

---

- Figura 1.** Mapa de localização da principal área estudada (em azul – Folha Perdizes e arredores). Departamento de Estradas e Rodagens (DER), 2013..... 12
- Figura 2.** O Sistema de *nappes* da porção meridional da Faixa Brasília e limite com a Faixa Ribeira, área estudada em vermelho (Valeriano *et al.*, 2008)..... 16
- Figura 3.** Mapa geológico da área de estudo com as localizações das amostras de geocronologia. Parcialmente compiladas das folhas Araxá, Ibiá, Sacramento and Perdizes (Seer *et al.*, 2015a; Seer *et al.*, 2015b; Falci *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2016) ..... 27
- Figura 4.** Características em campo e lâmina delgada dos quartzitos do Grupo Canastra. A) Afloramento em leito de drenagem, ponto A680 (284.044E, 7.879.086N, UTM23S WGS84). B) Amostra de quartzito com níveis ferruginosos milimétricos, ponto A680. C) Quartzito micáceo com venulações de quartzo e dobras abertas na foliação, ponto A689 (286.188E, 7.877.817N, UTM23S WGS84). D) Fotomicrografia sob polarizadores cruzados de lâmina de quartzito foliado do ponto A076 (288.484E, 7.893.817N UTM23S WGS84), mostrando a pouca variedade mineralógica da rocha, composta basicamente por quartzo (Qz) e muscovita fina (Ms)..... 29
- Figura 5.** Características em campo e lâmina delgada dos filitos rítmicos da Formação Rio Verde, Grupo Ibiá. A) Amostras mostrando diferentes colorações de acordo com o grau de alteração intempérica, que cresce de cima para baixo. Ponto A259 (255.011E, 7.891.721N UTM23S WGS84). B) Fotomicrografia sob polarizadores cruzados de filitos do Grupo Ibiá, Ponto A198 (286.811E, 7.886.979N, UTM23S WGS84), mostrando o aspecto dobrado da rocha..... 30
- Figura 6.** Características em campo e lâmina delgada de rochas metassedimentares do Grupo Araxá. A) Beira de rio com rocha relativamente fresca, ponto A555 (271.123E, 7.845.603N, UTM23S WGS84). B) Cascalheira, ponto A271 (257.826E, 7.894.990N, UTM23S WGS84). C) Corte de estrada com xisto intemperizado, ponto A239 (251.470E, 7.896.071N, UTM23S WGS84). D) Lajedo próximo às margens da represa Nova Ponte, ponto A603 (272.404E, 7.869.938N, UTM23S WGS84). E) Fotomicrografia de Granada-mica-quartzo xisto do Ponto A555, sob polarizadores descruzados. Notar porfiroblasto sin-cinematismo de Granada (Grn), muscovita altamente orientada na foliação principal (Ms) e quartzo (Qz) recristalizado nos micrólitons. F) Fotomicrografia de muscovita-biotita-quartzo xisto com destaque para cristal acessório de turmalina (Tur), amostra do Ponto A400 (264.842E, 7.860.865N, UTM23S WGS84) sob polarizadores descruzados. .... 32
- Figura 7.** Características em campo e lâmina delgada de rochas metamáficas do Grupo Araxá: A) Contato de anfíbolito com rocha granítica, destacado por linha amarela (à esquerda os anfíbolitos e à direita os granitos), ponto A512 (274.445E, 7.854.773N, UTM23S WGS84). B) Blocos arredondados em corte de estrada, ponto A361 (252.491E, 7.873.297N, UTM23S WGS84), típico afloramento das rochas metamáficas C) Contato de anfíbolitos alterados à esquerda com granitos alterados à direita, ponto VH4 (275.657E, 7.843.549N, UTM23S WGS84). D) Amostra de anfíbolito fino alterada, ponto VH4. E) Amostra de anfíbolito fino serrada, A189 (243.366E, 7.892.559N, UTM23S WGS84). F) Fotomicrografia de amostra de anfíbolito sob polarizadores descruzados, Ponto A148 (280.699E, 7.855.441N, UTM23S WGS84). A rocha é composta por quantidades aproximadamente iguais de hornblenda (Hrn) e plagioclásio (Pg)..... 34
- Figura 8.** Características em campo e lâmina delgada de rochas graníticas do Grupo Araxá. A) Afloramento em leito de rio, ponto A512 (274.844E, 7.854.914N, UTM23S WGS84). B) Afloramento dentro de voçoroca, ponto A674 (273.352E, 7.894.243N, UTM23S WGS84). C) Amostra de granito com pouca orientação de cristais, ponto A465 (287.686E, 7.868.773N UTM23S WGS84). D) Amostra de granito foliado, ponto A530 (281.974E, 7.842.646N, UTM23S WGS84). E) Pegmatito rico em schorlita, Ponto A480 (249.508E, 7.877.447N, UTM23S WGS84); F) Fotomicrografia de amostra de granito a duas micas do ponto FB112

(273.137E, 7.845.519N, UTM23S WGS84), sob polarizadores cruzados. Bt = biotita, Ms= muscovita, Qz = quartzo.....	36
<b>Figura 9.</b> Traços tectônicos principais (branco) sobre imagem de gamaespectrometria (mapa de Composição Ternária K-Th-U) que evidenciam as rampas laterais das <i>nappes</i> e a janela estrutural do Grupo Ibiá.....	38
<b>Figura 10.</b> Afloramento mostrando o aspecto microdobrado e desenvolvimento de foliação de crenulação no filito rítmico da Formação Rio Verde, Grupo Ibiá. B) Detalhe das microdobras de A. Ponto A287 (254.182E, 7.887.862N, UTM23S WGS84). C) Fotomicrografia sob polarizadores cruzados de lâmina de filito rítmico da Formação Rio Verde, Ponto A198 (285.715E, 7.887.998N, UTM23S WGS84). Notar o desenvolvimento de clivagem de crenulação no plano axial da microdobra. As intercalações entre camadas ricas em muscovita (coloridas) e camadas ricas em quartzo (cinza) indicam o plano S0//S1. D) Bandamento composicional no xisto Araxá, Ponto A311 (265.687E, 7.889.481N, UTM23S WGS84); E) Lineação mineral em quartzito do Grupo Canastra, Ponto A689 (286.188E, 7.877.817 N); F) Zona de cisalhamento no contato por cavalgamento entre os grupos Canastra e Ibiá, Ponto A689. O indicador cinemático, em conjunto com a lineação observada no mesmo ponto, mostra movimentação de empurrão com topo para SE.....	39
<b>Figura 11.</b> Estereogramas da foliação S <sub>2</sub> (A) e da lineação L <sub>2</sub> (B) na Folha Perdizes. A foliação S <sub>2</sub> apresenta um máximo modal em 285/22. Notar a distribuição em guirlanda das duas estruturas, com eixo construído em 320/10, indicando o dobramento de S <sub>2</sub> devido à conformação da Sinforma de Araxá.....	41
<b>Figura 12.</b> Modelo estrutural da Sinforma de Araxá na área, mostrando a distribuição da foliação regional. Notar a corrugação de S <sub>2</sub> devido à conformação “em colher” da sinforma. Notar também a concentração da deformação nos filitos do Grupo Ibiá, que funciona como camada lubrificante entre os grupos Canastra e Araxá.....	42
<b>Figura 13.</b> Características em campo e lâmina delgada da amostra. <b>A)</b> Afloramento de beira de estrada do mica-quartzo xisto. <b>B)</b> Fotomicrografia sob polarizadores cruzados de lâmina do xisto rico em quartzo e foliação formada por muscovita. <b>C)</b> Fotomicrografia sob polarizadores descruzados mostrando porfiroblasto obliterado de granada rotacionado na foliação.....	45
<b>Figura 14.</b> Características em campo e lâmina delgada da amostra A555. <b>A)</b> Visão de afloramento do xisto sob beira de curso d’água. <b>B)</b> Parte do afloramento em que a amostra foi retirada para geocronologia. <b>C)</b> Fotomicrografia sob polarizadores cruzados de xisto mostrando alternância de níveis quartzosos e micáceos milimétricos. <b>D)</b> Fotomicrografia sob polarizadores cruzados mostrando granada obliterada rotacionada sobre foliação formada por muscovita.....	46
<b>Figura 15.</b> Características em campo e lâmina delgada da amostra VH3. A) Visão de afloramento do xisto com níveis conglomeráticos. B) Amostra retirada para geocronologia, mostrando os clastos já caulinitizados. C) Fotomicrografia sob polarizadores cruzados mostrando diferença entre matriz foliada e clasto obliterado. D) Fotomicrografia sob polarizadores descruzados mostrando diferença entre matriz foliada e clasto obliterado.....	47
<b>Figura 16.</b> . Características em campo da amostra A309. A) Afloramento em beira de estrada de terra do quartzo-mica xisto intemperizado. B) Amostra de mão de qual foram retirados os zircões para datação.....	48
<b>Figura 17.</b> Lâmina delgada e amostra PH-02. <b>A)</b> Pedaco de testemunho de sondagem mostrando os porfiroblastos de granada. <b>B)</b> Fotomicrografia sob polarizadores cruzados mostrando um porfiroblasto de turmalina e foliação formada por clorita e muscovita. <b>C)</b> Fotomicrografia sob polarizadores descruzados mostrando porfiroblasto de granada fraturada obliterado. <b>D)</b> Fotomicrografia sob polarizadores descruzados mostrando mostrando porfiroblasto de granada. <b>E)</b> mostrando porfiroblasto de granada. <b>F)</b> Fotomicrografia sob polarizadores cruzados mostrando clorita e clinozoizita.....	49

## Lista de Tabelas

---

Tabela 1. Amostras coletadas para geocronologia.....	23
--	----

## Lista de Anexos

---

Tabela 2. Resultados analíticos U-Pb dos zircões analisados da amostra AR1.....	94
Tabela 3. Resultados analíticos U-Pb dos zircões analisados da amostra A555. ....	99
Tabela 4. Resultados analíticos U-Pb dos zircões analisados da amostra VH3.....	105
Tabela 5. Resultados analíticos dos zircões analisados da amostra A309.....	108
Tabela 6. Resultados analíticos Sm-Nd das amostras de campo.....	111

## RESUMO

---

A porção sul da Faixa Brasília caracteriza-se por uma sequência de *nappes* vergentes para leste que empilham tectonicamente rochas de diferentes proveniências, idades e metamorfismo. O foco deste trabalho são as rochas metassedimentares do Grupo Araxá presentes na *nappe* homônima. Nesta dissertação são apresentados dados inéditos U-Pb em zircão detrítico, Sm-Nd em rocha total e  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de rochas metassedimentares do Grupo Araxá em sua área tipo, próximo a cidade de Araxá, onde a unidade foi definida. As amostras coletadas apresentam diferentes padrões de picos de idade U-Pb de acordo com sua localização dentro da *nappe* Araxá: amostras localizadas mais perto da fronteira crônica no extremo leste da *nappe* apresentam uma predominância de zircões mais antigos derivados do cráton, com os principais picos entre 1,0 e 2,5 Ga, idades modelo  $T_{\text{DM}}$  entre 1,8 e 2,0 Ga e  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  com valores entre 0,761 e 0,891. Esses resultados são semelhantes àqueles encontrados para o Grupo Canastra, que é interpretado como parte da margem passiva ocidental do paleocontinente São Francisco. Já as amostras coletadas progressivamente para Oeste na *nappe* Araxá, em direção à porção central da Faixa Brasília, apresentam picos menores em torno de 790 Ma e um pico maior Neoproterozóico de ca. 650 Ma na amostra mais a noroeste. Este último pico é muito similar ao pico neoproterozóico encontrado em trabalhos anteriores para amostras também mapeadas como Grupo Araxá no estado de Goiás, cerca de 500 km a noroeste da região estudada nesta dissertação. Uma amostra apresentou idade modelo  $T_{\text{DM}}$  de 1,4 Ga, bastante distinta das outras, desta forma indicando provável influência de fontes Neoproterozóicas localizadas a oeste. Assim, uma importante mudança de proveniência sedimentar e possivelmente de ambiente tectônico é registrada nas rochas metassedimentares da *nappe* Araxá, com as rochas mais basais e mais orientais representando parte da margem passiva oeste do paleocontinente São Francisco (um correlativo distal do Grupo Canastra), com proveniência principalmente deste paleocontinente; e as rochas superiores e ocidentais representando fatias de rochas sedimentares sin-orogênicas com proveniência predominante dos arcos magmáticos neoproterozóicos da porção interna da Faixa Brasília. Nossos dados sugerem que o que é mapeado hoje como "Grupo Araxá" em Minas Gerais e Goiás, na verdade, representa uma coleção de unidades metassedimentares tectonicamente intercaladas, com proveniência,

idade e ambiente tectônico distintos e provavelmente, desenvolvidas durante diferentes momentos da evolução da Faixa Brasília. Estas unidades foram empurradas umas sobre as outras durante os estágios finais da Orogênese Brasileira. A separação dessas unidades, que mostram conteúdos litológicos semelhantes, mas proveniência e ambientes tectônicos distintos, é um importante esforço na compreensão da evolução da Faixa Brasília meridional e do processo de construção do Supercontinente Gondwana Ocidental na porção central da plataforma Sul Americana.

## ABSTRACT

---

The southern portion of the Brasilia Belt in central Brazil is characterized by an east-verging sequence of stacked nappes that causes the thrusting of metasedimentary rocks of different provenance, age and metamorphism upon one another. In the focus is on the metasedimentary rocks of the Araxá Group of the homonymous nappe. We present new detrital zircon U-Pb, whole-rock Sm-Nd and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  data of the Araxá Group in its type area, near the town of Araxá, where it has been defined. The samples from the external Araxá nappe which are close to the cratonic border yielded almost exclusively craton-derived zircons, with the main peaks between 1.0 and 2.5 Ga,  $T_{\text{DM}}$  model ages between 1.8 and 2.0 Ga and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  between 0,761 and 0,891. Those results are similar for those found for the Canastra Group, which is commonly interpreted as part of the São Francisco paleocontinent western passive margin.

However, samples collected progressively towards West in the Araxá nappe, towards the central part of the Brasília Belt yielded minor peaks at around 790 Ma, and a major Neoproterozoic peak of ca. 650 Ma in the most northwestern sample. The latter is very similar to the Neoproterozoic peak found in previous works in samples also mapped as Araxá Group in Goiás state, about 500km northwest. One sample show a  $T_{\text{DM}}$  of 1.4 Ga, very different from the others, suggesting influence of Neoproterozoic sources towards the West, within the orogenic region. This is representative of an important provenance shift recorded in the metasedimentary rocks of the Araxá nappe, with the lower and easternmost rocks representing part of the passive margin of the western São Francisco paleocontinent border (a distal correlative of the Canastra Group), with provenance mainly from this paleocontinent; and the upper and westernmost rocks

representing slices of syn-orogenic sedimentary rocks with a predominant Neoproterozoic source related to magmatic arcs of the inner portion of the Brasília Belt interleaved with the former in a tectonic *mélange*. Our data also suggests that what is today mapped as “Araxá Group” throughout the states of Minas Gerais and Goiás actually represents a collective of intricately tectonically interleaved schistose metasedimentary units of distinct provenance, age and tectonic setting, probably developed during different moments in the evolution of the Brasília Belt, and thrust upon one another during the final stages of the Brazilian Orogeny. Separating those units that show similar lithological contents, but distinct provenance and tectonic setting, is an important effort in the understanding of the Brasília Belt evolution and of the amalgamation of West Gondwana in the central South American platform.

## 1. INTRODUÇÃO

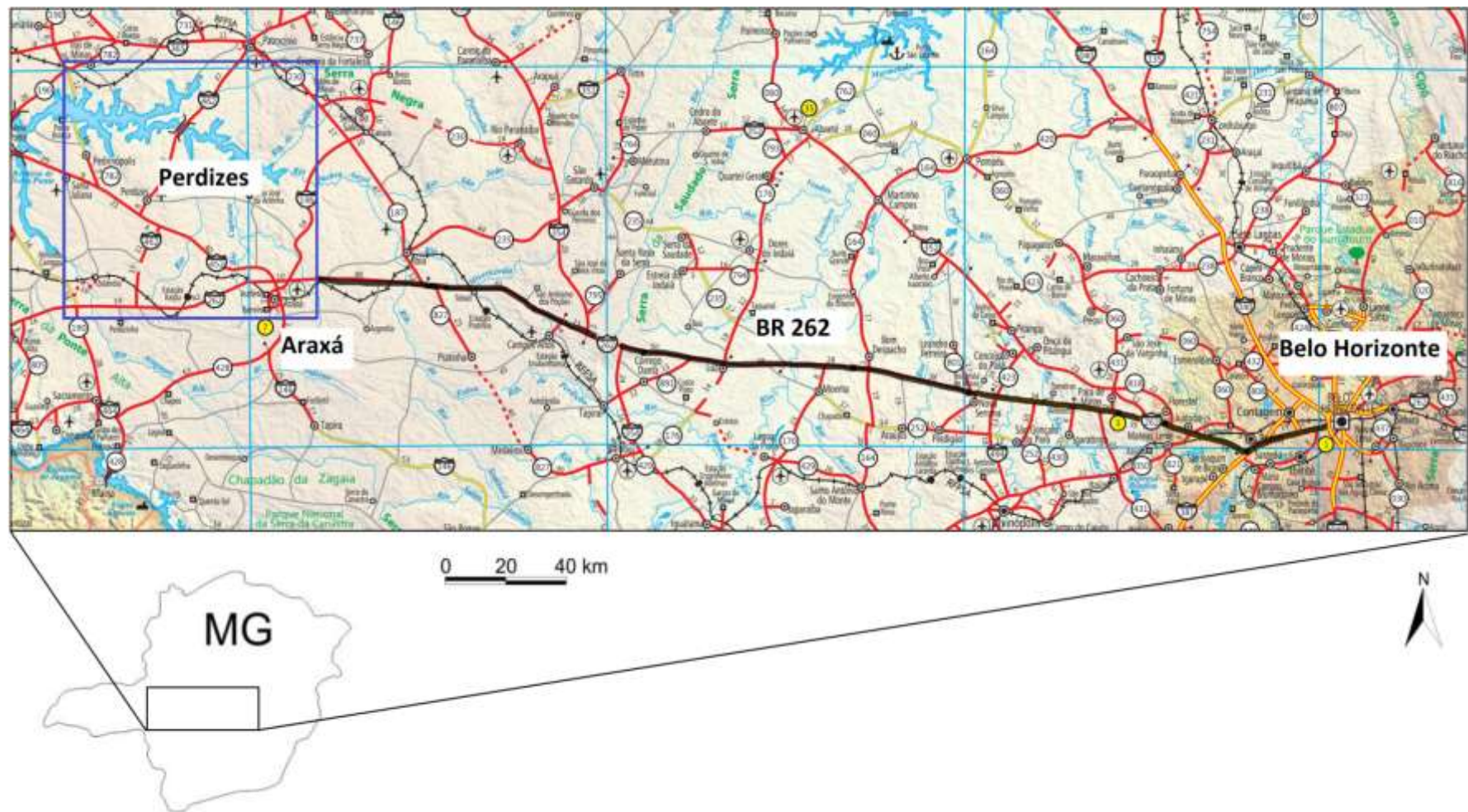
---

### 1.1. Apresentação

A presente dissertação visa ampliar o conhecimento das rochas metassedimentares do Grupo Araxá dentro do contexto da Faixa Brasília meridional. Possui ênfase em geocronologia de zircões detríticos usando o método U-Pb e a geologia isotópica Sm-Nd e  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  como ferramentas para estudos de proveniência sedimentar. Esta dissertação foi desenvolvida concomitantemente ao mapeamento geológico em escala 1:100.000 inserido no Projeto Triângulo Mineiro, CODEMIG-UFMG 2015-2017, especificamente no contexto do mapeamento da Folha Perdizes e seus arredores.

### 1.2. Localização e Acessos – Áreas de Pesquisa

A área de estudo localiza-se a cerca de 430 km a oeste de Belo Horizonte, compreendendo os municípios mineiros de Perdizes, Patrocínio, Iraí de Minas, Pedrinópolis, Santa Juliana e Araxá. O principal acesso à região se dá pela BR-262, partindo de Belo Horizonte sentido Uberlândia, até se chegar ao trevo de Araxá (Fig 1).



**Figura 1.** Mapa de localização da principal área estudada (em azul – Folha Perdizes e arredores). Departamento de Estradas e Rodagens (DER), 2013.

### 1.3. Problemas em aberto

Historicamente, várias unidades de mica xistos na região central do Brasil têm sido mapeadas como “Grupo Araxá” (Barbosa, 1955; Barbosa *et al.*, 1970; Pimentel *et al.*, 1999; Seer, 1999; Piuzana *et al.*, 2003; Valeriano *et al.*, 2004). Pacotes xistosos que se estendem da cidade de Araxá em Minas Gerais, por todo o estado de, abrangendo uma área de mais de 1000 km de extensão, gerando confusão no que diz respeito à nomenclatura e configuração tectônica dessas rochas.

Um dos únicos trabalhos com foco na proveniência sedimentar dessas rochas foi feito por Piuzana *et al.*, (2003), em Goiás, no qual foi definida uma proveniência bimodal com predominância de zircões neoproterozoicos provenientes do Arco Magmático de Goiás. Porém a área tipo, localizada na cidade de Araxá (MG), até antes do presente trabalho, nunca havia sido estudada do ponto de vista da proveniência sedimentar utilizando modernas técnicas geocronológicas e isotópicas.

O principal problema das rochas do Grupo Araxá é a definição do contexto geológico no qual os seus sedimentos foram depositados e a separação de suas rochas. Esse estudo é dificultado pela própria característica dos xistos que quase sempre apresentam alto grau de intemperismo. A definição de áreas fontes de sedimentos utilizando como principal ferramenta os zircões detriticos, que resistem a elevado grau de intemperismo, é de vital importância para o entendimento do contexto geotectônico em que essas rochas foram formadas, podendo assim balizar uma comparação entre os xistos de toda extensão do que é atualmente denominado “Grupo Araxá”.

Outra questão diz respeito à gênese e significado tectônico das diversas rochas granito-gnaissicas intercaladas aos xistos do Grupo Araxá, que também ainda não são completamente compreendidas. Alguns trabalhos como Seer (1999) e Seer & Moraes (2013), fazem uma boa caracterização das rochas na parte SE da *nappe*, porém ainda faltam estudos na parte NW.

#### 1.4. Objetivos

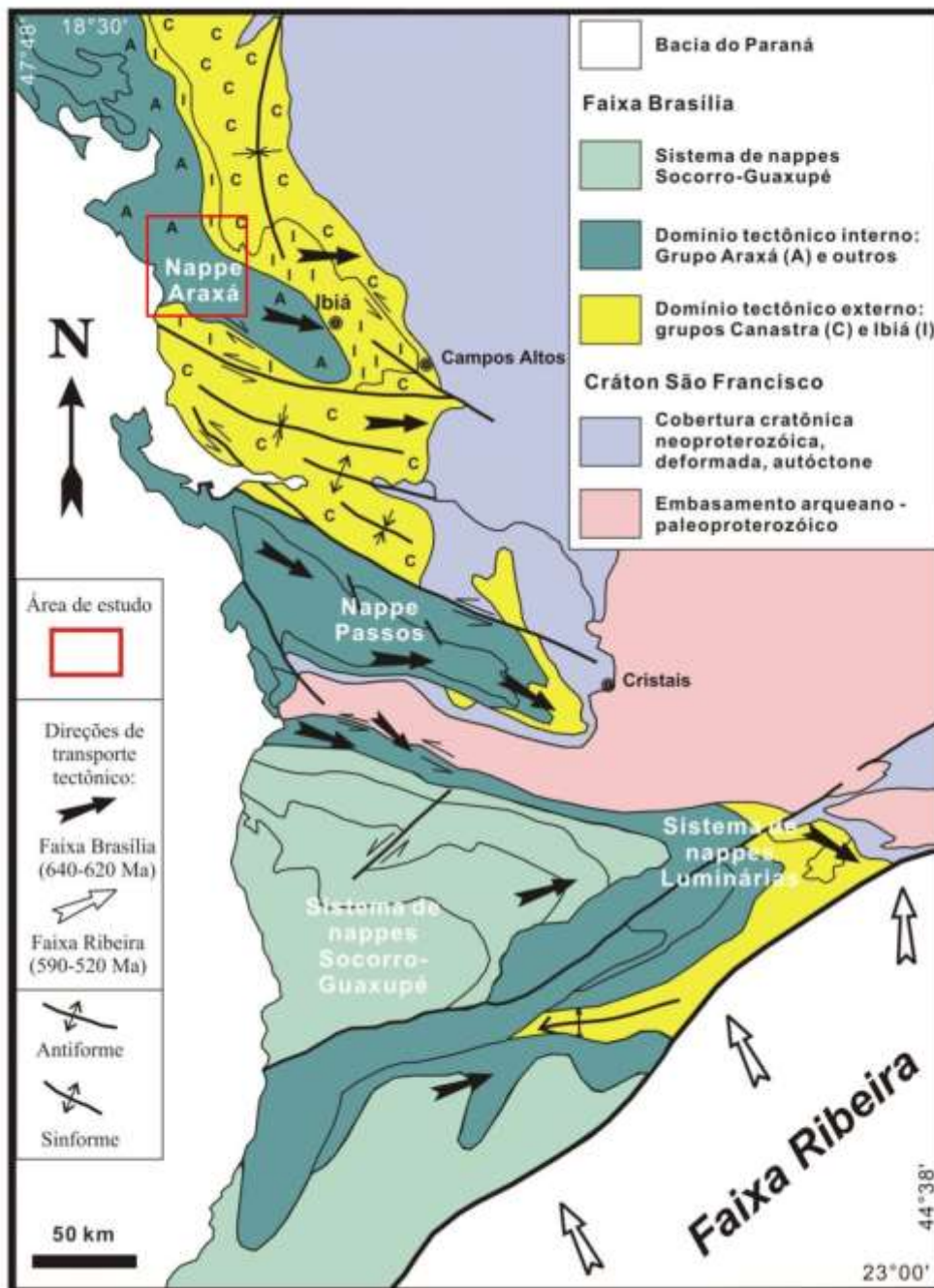
A dissertação de mestrado visa discutir a proveniência sedimentar dos xistos do Grupo Araxá com dados inéditos na sua área tipo, região próxima da cidade de Araxá, onde a unidade foi definida originalmente por Barbosa (1955), usando como principais ferramentas a datação de zircões detríticos pelo método U-Pb, análise de Sm-Nd e  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  das amostras coletadas em campo. Com a análise dos dados geocronológicos é esperada uma correlação das possíveis áreas-fonte de sedimentos do Grupo Araxá, comparando com estudos anteriores feitos em xistos da mesma unidade em Goiás (Piuzana 2003) e também com rochas metassedimentares do Grupo Canastra (Rodrigues 2010), definindo assim as principais áreas-fontes e ambientes tectônicos das rochas metassedimentares do Grupo Araxá.

O outro objetivo do trabalho é o melhor entendimento da configuração geotectônica do Grupo Araxá ao longo da Faixa Brasília, fazendo o uso do estudo de áreas fontes para os zircões de cada amostra para discorrer sobre a possível posição de deposição dos sedimentos que formaram os protolitos dos xistos durante o desenvolvimento deste orógeno. Dessa maneira, aqui é fornecido um passo inicial para uma proposta de melhor discriminação das rochas metassedimentares do Grupo Araxá que se estendem de Minas Gerais até Goiás.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

---

A área de estudo insere-se na Província Tocantins, (Almeida *et al.*, 1981), mais precisamente no setor meridional da Faixa Brasília. Caracteriza-se por uma sequência de *nappes* que empilham tectonicamente rochas de diferentes proveniências e idades (Figura 2).



**Figura 2.** O Sistema de *nappes* da porção meridional da Faixa Brasília e limite com a Faixa Ribeira, área estudada em vermelho (Valeriano *et al.*, 2008).

A Sinforma de Araxá (Simões & Navarro 1996), é a região foco do presente trabalho, sendo estruturada por uma dobra sinformal que engloba as Grupos Araxá, Ibiá e Canastra, cuja linha de charneira apresenta direção aproximada N 70° W, com caimento suave para NW (Simões & Navarro, 1996; Seer, 1999 e Seer *et al.*, 2000). A estrutura regional é dividida em três escamas tectônicas alóctones (Seer, 1999 e Seer *et al.*, 2000) empurradas sobre o domínio cratônico. A

escama inferior corresponde às rochas do Grupo Canastra (domínio externo), separada da escama intermediária ao Grupo Ibiá por uma zona de cisalhamento. A escama do topo é representada pelas rochas do Grupo Araxá e pelas unidades gnáissicas associadas.

## 2.1. Grupo Canastra

O termo “Formação Canastra” foi, inicialmente, utilizado por Barbosa (1955) para designar quartzitos e filitos, em geral, prateados ou acinzentados (carbonosos), na região compreendida entre as serras da Canastra e Bocaina. Posteriormente, esta unidade foi elevada à categoria de grupo por Barbosa *et al.* (1970) e foi posicionada sobre o Grupo Araxá. Desde então, o termo Grupo Canastra é utilizado para designar a unidade formada por um conjunto de rochas metassedimentares de expressão regional, que ocorre como uma faixa contínua desde as proximidades da cidade de Brasília (DF) até a região de Passos (MG). É constituída por uma sucessão de quartzitos e filitos metamorfisados na fácies xisto verde, zona da clorita até zona da granada (Valeriano *et al.*, 2004).

Durante diversas décadas, os trabalhos existentes indicavam que o Grupo Canastra teria íntima relação com o Grupo Araxá. Campos-Neto (1984) concluiu que a deposição dos sedimentos do Grupo Canastra passa, lateralmente e transicionalmente, para parte das rochas sedimentares do Grupo Araxá, embora os referidos grupos contenham características sedimentológicas distintas. O Grupo Canastra possui uma espessura de cerca de 2.000 metros e é sobreposto pelo Grupo Ibiá por discordância erosiva (Pereira, 1992; Campos Neto, 1984).

Segundo Pereira (1992) e Pereira *et al.*, (1994), o Grupo Canastra é individualizado em três subunidades mapeáveis, informalmente denominadas de formações inferior, intermediária e superior. O contato basal da sucessão se faz por meio de falha de cavalgamento, posicionando o Grupo Canastra sobre as rochas metapelíticas das formações Vazante, Paracatu e do Grupo Bambuí. Toda a sucessão apresenta uma gradação lateral e vertical entre pacotes de filito e quartzito. Pereira (1992), define a seguinte coluna litoestratigráfica para esta unidade:

**Formação inferior:** inicia-se com filitos que passam gradativamente para sucessivas intercalações métricas de filitos e quartzo-filitos. Sobreposto a esses

filitos, se assenta um espesso pacote de quartzitos micáceos e ortoquartzitos maciços, recoberto por nova sucessão de filitos e quartzo-filitos intercalados.

**Formação intermediária:** composta de quartzitos micáceos, com estruturas sedimentares do tipo *hummocky*, de 2 metros de comprimento e amplitudes decimétricas.

**Formação superior:** engloba ortoquartzitos com diversas estruturas sedimentares. Esses quartzitos sustentam as escarpas das serras e os chapadões.

Segundo Rodrigues (2010). A assinatura de proveniência sedimentar do Grupo Canastra contém uma predominância de zircões detríticos com idades Paleoproterozóicas (1,8 – 2,1 Ga) e também um importante pico de idades mesoproterozóicas (1,1 – 1,2 Ga), indicando o Cráton São Francisco-Congo como principal área fonte. Esses dados de proveniência, especialmente pela ausência de grãos de zircões Neoproterozóicos, típicos da margem ativa da Faixa Brasília, aliados com dados de idade modelo  $T_{DM}$  Paleoproterozóicos homogêneos, seriam concordantes com a interpretação de que o Grupo Canastra consiste de uma sequência sedimentar depositada em um sistema de margem passiva na borda oeste do paleocontinente São Francisco.

## 2.2. Grupo Ibiá

O Grupo Ibiá aparece como a escama intermediária da *nappe* de Araxá, onde são reconhecidos os paraconglomerados basais. Nessa região, o Grupo Ibiá é descrito como uma espessa sucessão de rochas metassedimentares finas metamorfisadas em fácies xisto verde e com foliação bem desenvolvida (Seer *et al.*, 2000).

O Grupo Ibiá foi primeiro caracterizado por Barbosa *et al.*, 1970, como sendo formado por uma faixa de calcoxistos que ocorrem ao longo do rio Quebra-Anzol e nas proximidades da cidade de Ibiá. Atualmente o termo “Grupo Ibiá” tem expressão regional e estende-se desde as proximidades de Anápolis (GO) até a região de Araxá (MG).

Campos Neto (1984) designou a unidade como Formação Ibiá, que corresponderia à sequência *flyschóide*, marcando a base de uma superfície de

erosão, que se inicia com um metaparaconglomerado descontínuo e é sobreposto por uma espessa sucessão rítmica de metagrauvaca.

Segundo Pereira (1992) e Pereira *et al.*, (1994), essa formação é elevada ao status de Grupo Ibiá por ser dividida em duas formações Cubatão e Rio Verde adiante descritas.

A Formação Cubatão ocorre diretamente sobreposta às rochas metassedimentares do Grupo Canastra, em discordância erosiva. É composta por metaconglomerados suportados pela matriz com intercalações de quartzito. A espessura máxima aparente, estimada, é de algumas centenas de metros. Essa unidade é descrita como um paraconglomerado com matriz composta por metapelito carbonatado. Nessa matriz, encontra-se seixos de diferentes tamanhos, constituídos principalmente por quartzo e quartzito, mas em alguns locais encontra-se clastos derivados de rocha granítica, rocha básica, filito, calcário, *chert* e formação ferrífera, (Dias *et al.*, 2011). A passagem é gradacional para a unidade superior, a Formação Rio Verde.

A Formação Rio Verde apresenta um extenso e monótono pacote de calcifilitos, formados por bandas rítmicas, quartzosas e micáceas, com clastos de quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e calcita. A espessura estimada dentro dos limites da área é superior a 1.000m.

Segundo dados geocronológicos U-Pb em zircão detrítico, os protólitos das rochas metassedimentares da Formação Ibiá apresentam uma idade de sedimentação mínima em torno de 640 Ma (Rodrigues *et al.*, 2010). Segundo Dias *et al.* (2011), as datações U-Pb em grãos detríticos de zircão dos conglomerados da Formação Cubatão indicam idade máxima de sedimentação em ca. 1190 Ma, mostrando o mesmo amplo espectro de valores dados pelo Grupo Canastra. Grãos de zircão do xisto Rio Verde fornecem idades predominantemente menores que 1000 Ma, com a média da moda dos menores valores em ca. 639 Ma, incluindo Sm-Nd ( $\epsilon Nd_{(640 \text{ Ma})}$  de -0,1 a 0,5 Ma e idades-modelo em 1,2 Ga), sugerindo protólitos provenientes de fontes ricas em rochas ígneas intermediárias a máficas, tais como arcos magmáticos e ofiolitos da Faixa Brasília. O zircão mais jovem (ca. 640 Ma) da Formação Rio Verde sugere contribuição dos granitos colisionais intrusivos no Grupo Araxá. Dessa maneira o Grupo Ibiá representaria bacia colisional (*flysch*), relacionada a frentes de empurrão da Faixa Brasília Meridional, sendo o tempo entre a sedimentação e a inversão tectônica na bacia do Rio Verde relativamente curto, i.e., cerca de 20 Ma, entre 640 Ma e 620 Ma.

### 2.3. Grupo Araxá

Aos micaxistos encontrados em torno da cidade de Araxá, Barbosa (1955) conferiu a designação de Formação Araxá, renomeada posteriormente para Série e Grupo (Barbosa *et al.*, 1970), termo este que, nos anos subsequentes, tornou-se clássico na literatura geológica da Faixa Brasília.

Seer (1999) apresenta o Grupo Araxá, escama superior da sinforma de Araxá, como um conjunto metavulcanossedimentar, intrudido por corpos de granitóides ricos em pegmatitos. O contato dessa unidade com as demais unidades é sempre descrito como tectônico (Seer & Dardenne, 2000; Seer *et al.*, 2001). Suas rochas compreendem micaxisto, quartzo-mica xisto, quartzito, quartzito micáceo, quartzito granatífero, granada-mica xisto, granada-mica xistos feldspáticos, mica-xistos feldspáticos e cloritóide-granada-mica xistos. Intercalações de anfibolitos de granulação fina são esporádicas, ocorrendo na forma de lentes alongadas, circundadas pelas rochas metassedimentares. Esses anfibolitos são descritos como oriundos de protólitos gabróicos e basálticos do tipo toleítico de alto teor de FeO (Seer & Dardenne, 2000; Seer *et al.*, 2001).

Nos arredores da região de Araxá, ocorrem diversos corpos de rochas granitóides intrusivas nos mica xistos e rochas metabásicas do Grupo Araxá. Estes corpos também são registrados no sudeste de Goiás, nas regiões de Ipameri e Pires do Rio, onde foram descritos alguns corpos granitóides alojados sin-cinematicamente em metassedimentos do Grupo Araxá (Pimentel *et al.*, 1999 e Klein, 2008).

Os granitos de Araxá (Quebra Anzol, Serra Velha, Galheirinhos e Tamanduá) constituem dois tipos petrográficos: biotita granito e biotita-muscovita granito (granito a duas micas). Ambos são leucogranitos, predominantemente cinza claro, mais raramente, rosados (Seer *et al.*, 2005). O granito Serra Velha, datado pelo método U-Pb (ID-TIMS) em zircão e monazita ígneos, apresenta idades de  $639\pm 2$  e  $635\pm 2$  Ma (Valeriano *et al.*, 2004). Os granitos Tamanduá e Galheirinho mostram idades U-Pb de  $623\pm 41$  e  $631\pm 3$  Ma (Seer *et al.*, 2010).

Atualmente, a designação “Grupo Araxá” é utilizada no mapeamento geológico de uma extensa faixa de rochas metassedimentares que se estendem desde a região de Araxá no oeste mineiro até o sudeste de Goiás (Simões, 1996; Piuzana *et al.*, 2003; Klein, 2008).

As rochas metassedimentares do Grupo Araxá na Região de Ipameri, sudeste de Goiás compreendem quartzo mica xistos, mica xistos, granada quartzo mica xisto, granada cloritóide quartzo mica xisto e quartzitos micáceos.

Nesta região, as rochas metassedimentares do Grupo Araxá apresentam idades modelo entre 1,8 e 2,0 Ga com  $\epsilon\text{Nd}_{(T)}$  negativos, indicando a proveniência de fontes predominantemente continentais (Klein, 2008).

Segundo Piuzana *et al.* (2003), na região de Anápolis, sudoeste de Goiás, próximo ao Arco Magmático de Goiás (Pimentel & Fuck, 1992), as idades U–Pb de zircões detriticos e idades modelo  $T_{DM}$  dos mica xistos do Grupo Araxá mostram um padrão bimodal, interpretado como resultado de proveniência de duas fontes distintas, uma juvenil, com cerca de 640 Ma, provavelmente vindo das rochas do Arco Magmático de Goiás à oeste outra fonte a Paleoproteróica com pico de idades em torno de 2,0 Ga, referente ao Cráton São Francisco à leste.

Não existem ainda dados geocronológicos para a idade mínima de deposição das rochas metassedimentares do Grupo Araxá em sua área tipo. Se uma correlação entre estas rochas e rochas similares na região sul/sudeste de Goiás, também mapeadas como Grupo Araxá, é admitida, então os dados U-Pb em zircões detriticos obtidos por Piuzana *et al.* (2003) sugerem uma idade de deposição mínima em cerca de 640 Ma atrás. Como as rochas metassedimentares do Grupo Araxá são intrudidas por diversos corpos leucograníticos datados em cerca de 630 Ma (Seer & Moraes, 2013), o que fornece uma idade máxima de deposição, um intervalo de tempo muito pequeno para a deposição dos seus protólitos é sugerido, na fronteira entre o Criogeniano e o Ediacarano (entre 640 e 630 Ma atrás).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

---

A realização deste trabalho foi desenvolvida concomitantemente ao mapeamento em escala 1:100.000 da Folha Perdizes, no âmbito do Projeto Triângulo Mineiro (UFMG-CODEMIG 2015-2017), cujos resultados são apresentados em Falci *et al.* (2016). Além do trabalho de mapeamento onde foram coletadas a maioria das amostras utilizadas neste estudo, foram também realizados 40 dias de campo com o intuito específico de fornecer subsídios para a dissertação de mestrado, tanto na Folha Perdizes quanto nos seus arredores. Nestes trabalhos de campo foram descritos 920 pontos, sendo que a grande maioria deles se encontra dentro da área da Folha Perdizes; porém foram

também realizados pontos nas folhas adjacentes Ibiá, Araxá e Sacramento (Seer *et al.*, 2014a, 2014b; Silva *et al.*, 2016), para uma melhor caracterização e amostragem das rochas da nappe Araxá.

Nos últimos anos os estudos geoquímicos e isotópicos assumiram um papel de grande importância para complementar os estudos de mapeamento e contribuir para novas interpretações e ideias de evolução geotectônica de diversos orógenos pelo mundo. Atualmente, com o crescente número de laboratórios geocronológicos nas universidades brasileiras, e por consequência a maior facilidade de uso das mesmas, os estudos de proveniência sedimentar baseados em dados isotópicos U-Pb e Sm-Nd, entre outros, têm sido cada vez mais utilizados, sendo de grande importância para os estudos de proveniência sedimentar.

A análise da idade U-Pb dos zircões detriticos tem se mostrado uma ferramenta eficaz e precisa principalmente devido à estabilidade química notável do zircão diante de uma vasta gama de pressões e temperaturas, sendo possível determinar com acurácia suas idades (Fedó *et al.*, 2003; Andersen (2005); Cawood *et al.*, 2012). As diferentes idades dos grupos de zircões datados vão se relacionar com as diferentes áreas fonte que forneceram os detritos para o Grupo Araxá.

O método Sm-Nd também é muito utilizado em estudos de proveniência sedimentar (p. ex. McCulloch *and* Wasserburg, 1978; Nelson *and* DePaolo, 1988, Andersen *and* Laajoki, 2003), uma vez que o sistema é minimamente afetado por processos crustais. O conceito de idade modelo baseia-se na evolução progressiva do sistema isotópico Sm-Nd a partir de um tempo inicial até os dias de hoje. As idades modelo calculadas utilizando o método Sm-Nd podem ser interpretadas como a média ponderada das idades de extração mantélica de suas rochas fonte, ou seja, uma idade média de suas proveniências. As razões  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  foi calculado juntamente durante o desenvolvimento das análises pelo método Sm-Nd. Assim como para o sistema Sm-Nd, essas razões fornecem uma idéia sobre a diferenciação mantélica das rochas e por consequência sua proximidades de rochas mais diferenciadas de origem cratônica (alto  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , uma vez que o isótopo pai  $^{87}\text{Rb}$  é mais incompatível que o Sr) ou de rochas menos diferenciadas como rochas provindas de arcos magmáticos (Rollinson, 1993).

São aqui apresentas as metodologias utilizadas na preparação das amostras e na aquisição dos dados geocronológicos, resultados obtidos com as análises, seu tratamento e sua interpretação.

Durante os trabalhos de campo foram coletadas oito amostras sendo utilizadas quatro para datação U-Pb em zircão detrítico e quatro para análise isotópica Sm-Nd em rocha total e  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . A Tabela 1 ilustra as amostras que foram analisadas e as informações de unidade geológica, tipo de rocha, localização, métodos e técnicas utilizadas. Na tabela abaixo, LA-ICPMS é a sigla utilizada para *Laser Ablation – Induced Coupled Plasma Mass Spectrometry* e TIMS é a sigla utilizada para *Thermal Ionization Mass Spectrometry*.

**Tabela 1.** Amostras analisadas para geocronologia.

Nome	Rocha	Análise	Técnica	Material	UTM_X	UTM_Y	Local da Análise
AR1	Xisto	U-Pb	LA-ICPMS	Zircão detrítico	296788	7837188	UFOP
		Sm-Nd	TIMS	Rocha Total			UERJ
A555	Xisto	U-Pb	LA-ICPMS	Zircão detrítico	271123	7845603	UFOP
		Sm-Nd	TIMS	Rocha Total			UERJ
VH3	Xisto	U-Pb	LA-ICPMS	Zircão detrítico	291474	7835013	UFOP
		Sm-Nd	TIMS	Rocha Total			UERJ
A309	Xisto	U-Pb	LA-ICPMS	Zircão detrítico	264105	7889294	UFOP
PH-02	Xisto	Sm-Nd	TIMS	Rocha Total	296788	7813012	UERJ

### 3.1. Análises U-Pb via LA-ICP-MS

Para as análises U-Pb foram coletados cerca de 10 kg de material para cada uma das quatro amostras. Primeiramente as rochas foram britadas usando a marreta, após isso os fragmentos foram lavados para evitar possíveis contaminações, secados e finalmente foram enviados para a separação dos zircões. As amostras seguiram para o laboratório MULTILAB da UERJ onde foi feita a moagem, peneiramento e concentração da fração entre 80mg a 120mg. A partir do concentrado de minerais é feita a remoção dos minerais

magnéticos através de um imã e deposição no separador magnético tipo *Frantz* onde ocorre a dissociação da fração mais magnética da menos magnética. A fração menos magnética é então submetida a um processo de decantação dos minerais pesados, por meio de um líquido denso (Bromofórmio  $2,85\text{g/cm}^3$ ). Do material resultante foi feita a separação manual de 672 cristais de zircão com auxílio de lupa óptica binocular.

Os grãos separados foram montados em duas seções circulares de epóxi com 2,5 cm de diâmetro e polidos até ficarem expostos. Em seguida foram recobertos por uma película de carbono para obtenção de imagens de elétrons retroespalhados e secundários por catodoluminescência (CL) utilizando microscópio eletrônico de varredura (MEV) no laboratório MULTILAB da UERJ. Os *mounts* foram lavados para a retirada da cobertura de carbono e novamente metalizados, desta vez com ouro, para a realização das análises U-Pb em LA-MC-ICP-MS.

Um total de 605 grãos de zircão foram analisados na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), usando um ICP-MS *sector field Thermo-Finnigan Element 2* acoplado a um sistema de laser + G2 CETAC LSX-213. Como material de referência primário, utilizou-se o zircão M127 (Klötzli *et al.*, 2009) e para controle de qualidade, utilizou-se, como padrão secundário, o zircão *Plešovice* (Sláma *et al.* 2008). Os dados de sinal de tempo resolvido foram processados usando o software *Glitter* (Van Achterbergh *et al.*, 2001).

As incertezas associadas às razões apresentadas nas tabelas de dados são de  $1\sigma$ , em porcentagem. As idades foram calculadas utilizando o programa **ISOPLOT 4.15** (Ludwig, 2003). Para o cálculo das idades foram selecionados os cristais com teor de chumbo comum inferior a 0.5%, discordância abaixo de 20%, erros das razões individuais inferiores a 8%, e aqueles cuja concordância esta no intervalo entre 90 e 110%.

### 3.2. Análises Sm-Nd

Foram coletadas quatro amostras. As amostras foram britadas e moídas no Laboratório de Preparação de Amostras do IGC/CPMTC–UFMG. Posteriormente as foram enviadas para o Laboratório de Geocronologia e Isótopos Radiogênicos, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – LAGIR, onde todos os procedimentos químicos foram realizados em ambiente limpo e

sob pressão positiva do ar. A cada amostra de rocha total pulverizada, com aproximadamente 100 mg foram acrescentados cerca de 50 µg de solução dupla de traçadores isotópicos  $^{149}\text{Sm}$ - $^{150}\text{Nd}$ . A digestão da amostra foi realizada em bombas PTFE revestidas com jaqueta de aço, iniciada por um período de 3 dias com mistura de HF (6ml) e de  $\text{HNO}_3$  6N (0.5ml), seguida de mais 2 dias em HCl 5N. Em seguida, Sm e Nd foram separados quimicamente por meio de duas colunas sucessivas de trocas de íons, usando HCl: na primeira, foi utilizada a resina Biorad® AG50W-X8 (100-200 mesh) para a separação dos elementos Terra Raras (REE) e, na segunda coluna foi usada a resina Eichrom® LN-B-25S (50-100 µm) para a separação de Sm e Nd. Posteriormente estes elementos foram depositados separadamente em filamentos duplos de rênio, previamente desgaseificados, junto com  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , utilizado como ativador iônico. As razões isotópicas foram medidas com o espectrômetro de massas Triton Plus ® *multi-collector thermal ionization mass spectrometer* (TIMS). A aquisição de dados foi feita em modo estático usando um arranjo de oito coletores do tipo Faraday. As razões isotópicas foram normalizadas pelo material de referência JNd1 (Tanaka *et al.*, 2000) com base na razão isotópica  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  e corrigidos para viés instrumental de massa e para o conteúdo de traçador, com valores de brancos abaixo de 1ng para Nd e 0.1ng para Sm. Cada razão isotópica de Nd representa a média de 16 blocos com 10 ciclos cada, com um erro padrão absoluto calculado para  $2\sigma$ .

### 3.3. Análises Sr-Sr

Todas as análises isotópicas foram feitas usando o espectrômetro de massas Triton Plus (ID-TIMS) no Laboratório de Geocronologia e Isótopos Radiogênicos, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – LAGIR. A separação do Sr foi feita por colunas de trocas de íons usando a malha de resina Bio-Rad AG50W-X8 200–400. As amostras de Sr foram evaporadas e colocadas em filamentos de Re para se realizar a espectrometria de massa. As análises isotópicas então foram prosseguidas usando o Finnigan MAT-262 *multi-collector mass spectrometer* no modo estático. Os erros  $2\sigma$  para  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  foram inferiores a 0.017%.

## 4. GEOLOGIA LOCAL

---

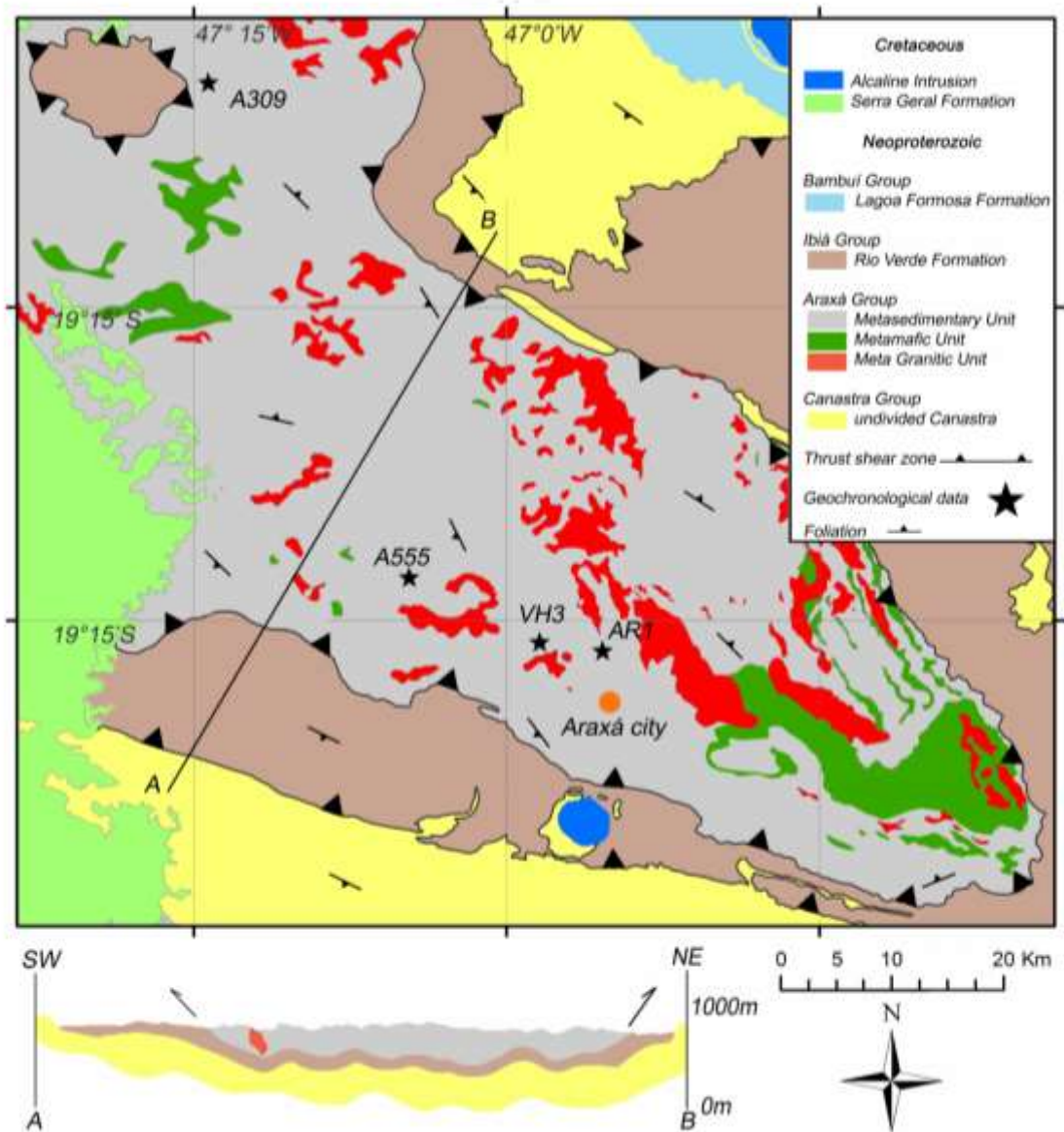
Este capítulo consiste na descrição e interpretação de dados estratigráficos, petrográficos e estruturais que foram obtidos tanto durante o mapeamento da Folha Perdizes (em escala 1:100.000) quanto em campanhas de campo posteriores nas proximidades da cidade de Araxá. A Figura 8 mostra uma compilação dos mapas das folhas Perdizes (Falci *et al.*, 2016), Araxá (Seer *et al.*, 2015a), Ibiá (Seer *et al.*, 2015b) e Sacramento (Silva *et al.*, 2016).

Nas fotomicrografias a seguir foram utilizadas as seguintes abreviações para os minerais:

Qz=quartzo, Ms=muscovita, Bt=biotita, Grn=granada, Tur=turmalina, Clr = clorita, Czo=clinozoizita, Arg min = argilo minerais.

### 4.1. Estratigrafia

Neste capítulo serão abordados os Grupos Canastra, Ibiá e Araxá, os grupos de rochas mais importantes para o presente trabalho. A área estudada está situada sobre o mapa geológico da área (Figura 3).



**Figura 3.** Mapa geológico da área de estudo com as localizações das amostras com geocronologia. Parcialmente compiladas das folhas Araxá, Ibiá, Sacramento and Perdizes (Seer *et al.*, 2015a; Seer *et al.*, 2015b; Falci *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2016)

#### 4.1.1. Grupo Canastra

O Grupo Canastra representa a escama inferior da Sinforma de Araxá, constituído por rochas metassedimentares detríticas arenosas e pelíticas metamorfizadas em fácies xisto verde. São predominantes quartzitos e filitos quartzosos (Figura 4) que formam pequenas serras na parte nordeste da área. Os melhores afloramentos ocorrem normalmente em cortes de estrada ou leitos de rios (Figura 4A). De acordo com a interpretação de Seer *et al.* (2015b) para a Folha Ibiá adjacente, foi feita uma correlação das rochas encontradas com a unidade NP1c2 do Grupo Canastra, que representa quartzitos, micáceos ou não, intercalados com muscovita quartzo xistos e filitos carbonosos.

Os quartzitos são finos a médios, ricos em muscovita. Por vezes apresentam níveis milimétricos ferruginosos (Figura 4B) e por vezes formam ortoquartzitos. Podem ainda ser permeados por venulações de quartzo (Figura 4C). O contato inferior não é visível na área; o contato superior, com o Grupo Ibiá, se dá por meio de zonas de cisalhamento (contato tectônico).

Os quartzitos do Grupo Canastra apresentam granulação de 1 mm até 0,1 mm. Os cristais de quartzo são recristalizados, possuem contatos interlobados e mostram uma orientação segundo uma direção preferencial (Figura 4D). É também possível identificar epidoto e muscovita como minerais acessórios. Com menos de 1% de distribuição em lâmina delgada foram identificados minerais opacos de granulação de até 0,5 mm.



**Figura 4.** Características em campo e lâmina delgada dos quartzitos do Grupo Canastra. Afloramento em leito de drenagem, ponto A680 (284.044E, 7.879.086N, UTM23S WGS84). B) Amostra de quartzito com níveis ferruginosos milimétricos, ponto A680. C) Quartzito micáceo com venulações de quartzo e dobras abertas na foliação, ponto A689 (286.188E, 7.877.817N, UTM23S WGS84). D) Fotomicrografia sob polarizadores cruzados de lâmina de quartzito foliado do ponto A076 (288.484E, 7.893.817N UTM23S WGS84), mostrando a pouca variedade mineralógica da rocha, composta basicamente por quartzo (Qz) e muscovita fina (Ms).

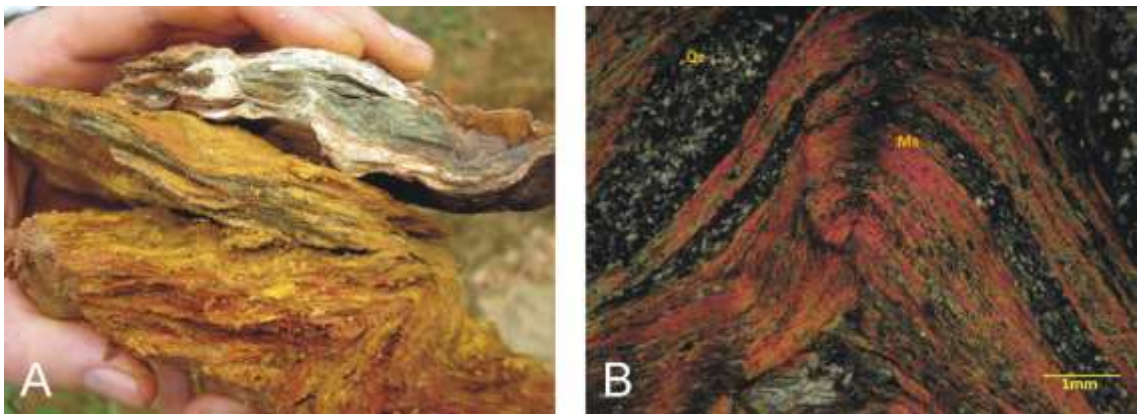
#### 4.1.2. Grupo Ibiá

O Grupo Ibiá caracteriza a escama intermediária da Sinforma de Araxá, sendo representado na área pela Formação Rio Verde, que consiste de uma sucessão de filitos carbonáticos rítmicos esverdeados e deformados (Figura 5A).

Essa formação contém um espesso e monótono pacote de filitos ricos em material carbonático. Os filitos são frequentemente dobrados, crenulados, por vezes com venulação de quartzo anastomosada (Figura 5). As rochas da Formação Rio Verde absorvem bem a deformação e costumam apresentar diversos tipos de dobras, abertas, fechadas, com geometria *Chevron*, dando um aspecto bem singular à rocha (Figura 4A e B). Quando intemperizadas, as rochas apresentam coloração vermelha (Figura 11A), porém mantêm o aspecto dobrado característico, se diferenciando dos saprolitos de xisto do Grupo Araxá, que apresentam em geral granulação mais grossa. Os afloramentos mais

comuns são em leitos de drenagens gerando pequenas quedas d'água, lugares nos quais as rochas resistem relativamente bem ao intemperismo, revelando afloramentos métricos da rocha sã cinza esverdeada (Figura 10A e B).

Outra característica marcante da rocha é sua ritmicidade milimétrica, que mostra a alternância de bandas quartzosas finas, claras, e bandas micáceas esverdeadas. Correspondem desta forma a filitos rítmicos inequigranulares com textura lepidoblástica e granulação fina a média. As lâminas ricas em quartzo apresentam espessura de 2 mm até 1 cm, com cristais de quartzo de granulação fina a média e clorita principalmente no contato com as bandas mais micáceas (Figura 5B). Essas últimas possuem uma espessura de 1 a 5 mm e são ricas em muscovita com titanita fina associada. Biotita e granada também aparecem como minerais acessórios.



**Figura 5.** Características em campo e lâmina delgada dos filitos rítmicos da Formação Rio Verde, Grupo Ibiá. A) Amostras mostrando diferentes colorações de acordo com o grau de alteração intempérica, que cresce de cima para baixo. Ponto A259 (255.011E, 7.891.721N UTM23S WGS84). B) Fotomicrografia sob polarizadores cruzados de filitos do Grupo Ibiá, Ponto A198 (286.811E, 7.886.979N, UTM23S WGS84), mostrando o aspecto dobrado da rocha.

#### 4.1.3. Grupo Araxá

O Grupo Araxá constitui a escama superior da Sinforma de Araxá, em contato por cavalgamento sobre as rochas do Grupo Ibiá. Contém rochas metamorfizadas na fácies anfibolito, retrometamorfizada para xisto verde alto, mais alto que as outras unidades, desta forma caracterizando uma inversão metamórfica com rochas de grau mais alto sobrepostas a rochas de grau mais baixo. Este tipo de inversão metamórfica é típico de áreas com intensa aloctonia

e colocação de *nappes*. As rochas do Grupo Araxá podem ser subdivididas em três unidades para efeitos de mapeamento geológico: rochas metassedimentares, rochas metamáficas e rochas graníticas, sendo o Grupo Araxá na área composto predominantemente pelo espesso pacote de rochas metassedimentares.

#### **4.1.3.1. Rochas metassedimentares**

São xistos com elevado grau de intemperismo, com poucos afloramentos com grau de alteração relativamente pequeno (Figura 6). Os afloramentos típicos da unidade ocorrem normalmente em cortes de estradas, mas também ocorrem em pequenos sopés ou taludes nas margens de leitos de drenagem (Figura 6A, B, C e D). Essa unidade é caracterizada por granada-quartzo-mica xistos, turmalina-mica xistos, e quartzo-mica xistos feldspáticos (caulinizados). Normalmente os afloramentos apresentam bolsões centimétricos de caulim, quartzo e granada anastomosados, por vezes crenulados pela foliação, e dobras abertas. A unidade também apresenta um bandamento centimétrico causado por diferença composicional, com bandas mais quartzosas mais claras e outras mais micáceas mais escuras.

Os xistos são inequigranulares e ricos em muscovita, quartzo e granada, esta última geralmente obliterada pelo intemperismo. Apresentam textura granolepidoblástica, com porfiroblastos de granadas de até 1 cm envoltos na foliação principal e, por vezes, com o desenvolvimento de sombras de pressão (Figura 6E). O quartzo tem de 1 a 5 mm de comprimento e as muscovitas são muito finas, com até 1 cm de comprimento, quase sempre orientadas em uma foliação anastomosada, por vezes crenulada. Podem ocorrer cristais de até 2 mm de turmalina (Figura 6F). Também é possível observar sericita como alteração da muscovita e óxidos como alteração de biotita.

Pegmatitos cortando rochas do Grupo Araxá, não individualizáveis na escala mapeada, também são comuns. Normalmente ocorrem em veios de espessura centimétrica e são formados por feldspato potássico, muscovita e quartzo em cristais milimétricos a centimétricos, além de apresentar schorlita (Figura 6F).

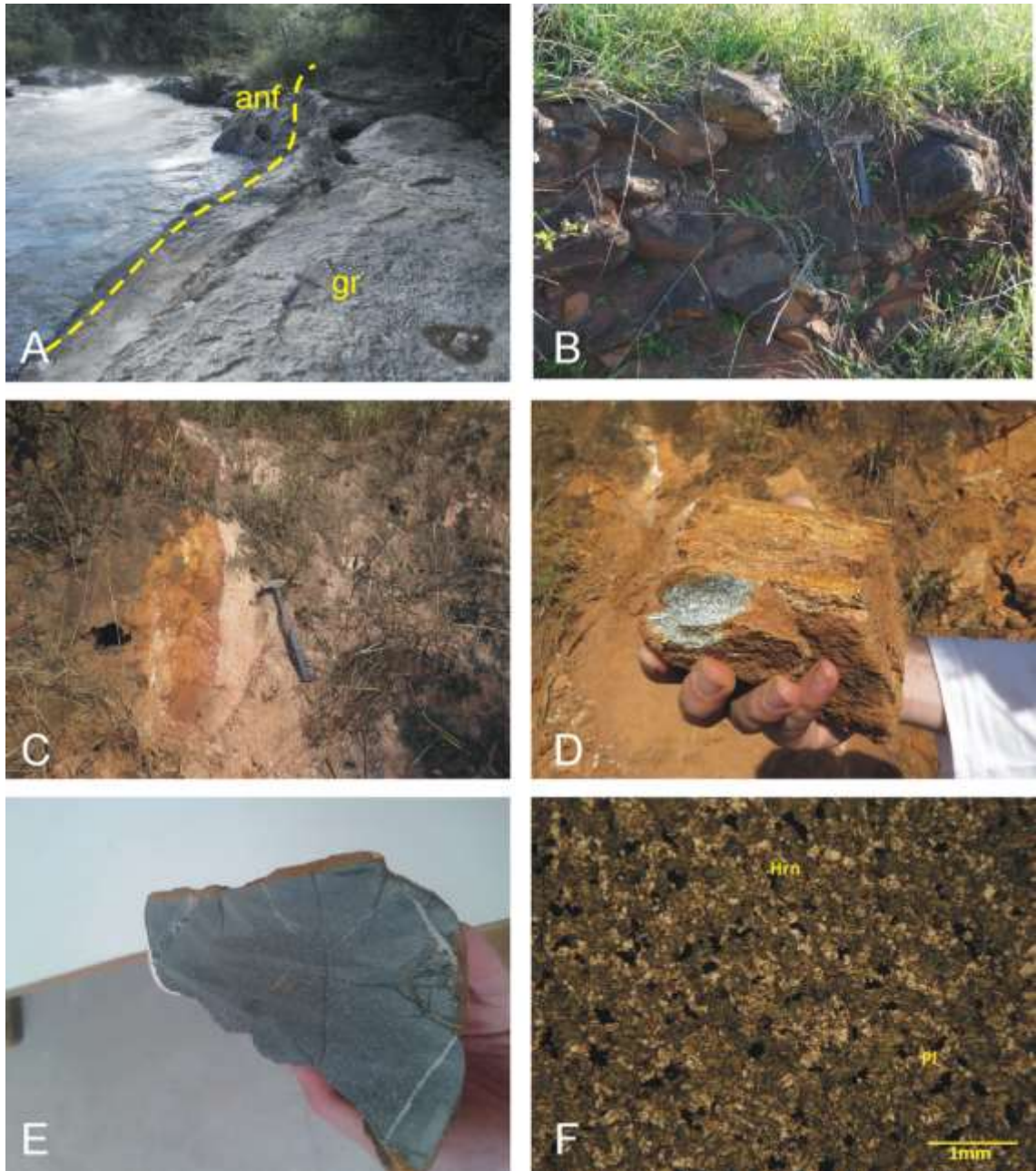


**Figura 6.** Características em campo e lâmina delgada de rochas metassedimentares do Grupo Araxá. A) Beira de rio com rocha relativamente fresca, ponto A555 (271.123E, 7.845.603N, UTM23S WGS84). B) Cascalheira, ponto A271 (257.826E, 7.894.990N, UTM23S WGS84). C) Corte de estrada com xisto intemperizado, ponto A239 (251.470E, 7.896.071N, UTM23S WGS84). D) Lajedo próximo às margens da represa Nova Ponte, ponto A603 (272.404E, 7.869.938N, UTM23S WGS84). E) Fotomicrografia de Granada-mica-quartzo xisto do Ponto A555, sob polarizadores descruzados. Notar porfiroblasto sin-cinemático de Granada (Grn), muscovita altamente orientada na foliação principal (Ms) e quartzo (Qz) recristalizado nos micrólitos. F) Fotomicrografia de muscovita-biotita-quartzo xisto com destaque para cristal acessório de turmalina (Tur), amostra do Ponto A400 (264.842E, 7.860.865N, UTM23S WGS84) sob polarizadores descruzados.

#### 4.1.3.2. Rochas metamáficas

São compostas por anfibolitos finos, raramente médios a grossos, de coloração preta a verde escura (Figura 7). São maciças e apresentam disjunção esferoidal quando intemperizadas (Figura 7B). A maioria dos afloramentos ocorre na forma de blocos arredondados métricos em taludes e pisos das estradas de terra. (A melhor exposição dessas rochas foi na coordenada 274.445E, 7.854.773N, UTM23S WGS84), (Figura 7A) no qual foram encontrados anfibolitos em contato com rochas graníticas em leito de riacho. Essas também aparecem intercaladas com xistos e granitos do próprio Grupo Araxá. Quando intemperizadas, apresentam coloração marrom clara e baixa densidade (Figura 7C e 7D), sendo que muitas vezes ainda é possível observar resquícios de cristais de anfibólios e plagioclásio. Nos poucos pontos onde foi possível observar as relações de contato com as rochas metassedimentares encaixantes, os anfibolitos aparecem como lentes paralelas à foliação.

Os anfibolitos são rochas de granulação fina a média, inequigranular, e textura granoblástica, formados por hornblenda / actinolita e plagioclásio, e ricos em opacos (óxidos de ferro e sulfetos, Figura 7E e 7F). Os plagioclásios ocorrem dispersos, em geral altamente epidotizados. Os raros cristais mais límpidos apresentam extinção ondulante e maclas polissintéticas. Quartzo aparece ainda como mineral acessório, localmente, assim como epidoto e titanita. Os anfibolitos mais grossos compostos por anfibólios de até 1 cm possuem venulações centimétricas a milimétricas de quartzo em alguns afloramentos.



**Figura 7.** Características em campo e lâmina delgada de rochas metamáficas do Grupo Araxá: A) Contato de anfibolito com rocha granítica, destacado por linha amarela (à esquerda os anfibolitos e à direita os granitos), ponto A512 (274.445E, 7.854.773N, UTM23S WGS84). B) Blocos arredondados em corte de estrada, ponto A361 (252.491E, 7.873.297N, UTM23S WGS84), típico afloramento das rochas metamáficas C) Contato de anfibolitos alterados à esquerda com granitos alterados à direita, ponto VH4 (275.657E, 7.843.549N, UTM23S WGS84). D) Amostra de anfibolito fino alterada, ponto VH4. E) Amostra de anfibolito fino serrada, A189 (243.366E, 7.892.559N, UTM23S WGS84). F) Fotomicrografia de amostra de anfibolito sob polarizadores descruzados, Ponto A148 (280.699E, 7.855.441N, UTM23S WGS84). A rocha é composta por quantidades aproximadamente iguais de hornblenda (Hrn) e plagioclásio (Pg).

#### **4.1.3.3. Rochas graníticas intrusivas no Grupo Araxá**

São granitos sempre deformados, algumas vezes foliados (Figura 8), sendo que, à medida que essa deformação dúctil aumenta, a rocha começa a ter um aspecto mais gnáissico, por vezes com feições protomiloníticas (Figura 8D). Os poucos afloramentos frescos desse litotipo foram encontrados em leitos de rio (Figura 8A), e raramente em cortes de estrada de terra (Figura 8B). A presença de voçorocas e a diferença da coloração do solo também foram de ajuda para a delimitação dos corpos graníticos em campo.

Alguns granitos apresentam duas micas, biotita e muscovita, que são distribuídas em proporções semelhantes na rocha (Figura 8F), enquanto outros apresentam apenas muscovita. São rochas inequigranulares, com textura granolepidoblástica de granulação média a grossa. A biotita tem comprimento de até 1 cm, e a muscovita também é grossa, às vezes com mais de 1 cm, demonstrando certa orientação preferencial. É possível observar em algumas biotitas os resultados de um processo de cloritização, com cloritas ricas em inclusões de titanita. Agulhas de rutilo e cristais de zircões também são comuns dentro das biotitas. Os cristais de quartzo são anédricos com até 5 mm de espessura com extinção ondulante. Os plagioclásios apresentam geminação polissintética, alguns parcialmente sericitizados. Epidotos muito fraturados formam cristais de até 4 mm em aglomerados.

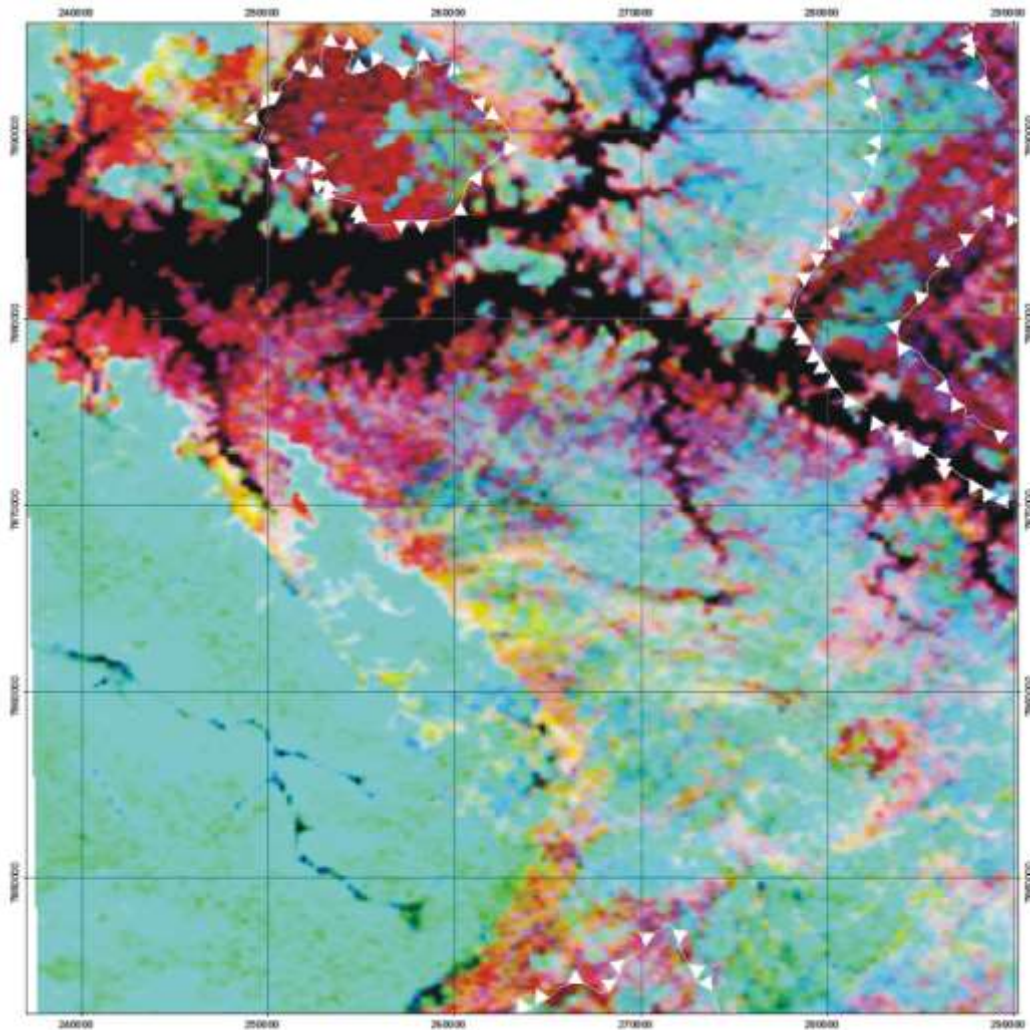


**Figura 8.** Características em campo e lâmina delgada de rochas graníticas do Grupo Araxá. A) Afloramento em leito de rio, ponto A512 (274.844E, 7.854.914N, UTM23S WGS84). B) Afloramento dentro de voçoroca, ponto A674 (273.352E, 7.894.243N, UTM23S WGS84). C) Amostra de granito com pouca orientação de cristais, ponto A465 (287.686E, 7.868.773N UTM23S WGS84). D) Amostra de granito foliado, ponto A530 (281.974E, 7.842.646N, UTM23S WGS84). E) Pegmatito rico em schorlita, Ponto A480 (249.508E, 7.877.447N, UTM23S WGS84); F) Fotomicrografia de amostra de granito a duas micas do ponto FB112 (273.137E, 7.845.519N, UTM23S WGS84), sob polarizadores cruzados. Bt = biotita, Ms= muscovita, Qz = quartzo.

## 4.2. Geologia estrutural e metamorfismo

As unidades estudadas estão associadas à megaestrutura conhecida como Sinforma de Araxá (Figura 3), formada pelo conjunto das *nappes* Canastra, Ibiá e Araxá. Essa megaestrutura faz limite a oeste com rochas domínio interno da Faixa Brasília e é recoberta parcialmente pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná.

O contato entre as diversas *nappes* da Sinforma de Araxá é sempre por zonas de cisalhamento, sendo a *nappe* Araxá exumada posteriormente às demais e com um grau metamórfico superior (anfíbolito com retrometamorfismo para xisto verde alto), enquanto a *nappe* inferior chega até a fácies xisto verde baixo. Os principais elementos tectônicos da área são as zonas de cisalhamento e dobramentos sinformais. As zonas de cisalhamento apresentam, em geral, cinemática de empurrão com transporte tectônico para SE, promovendo o empilhamento das unidades litoestratigráficas que compõe sistemas de *nappes* redobradas. As zonas de cisalhamento de empurrão mais importantes separam as rochas do Grupo Araxá das do Grupo Ibiá, na porção nordeste e sul da área. Apesar de ser de difícil visualização no campo, em função do forte intemperismo das rochas e da intensa cobertura de solo, as zonas de cisalhamento podem ser bem delimitadas através dos dados de gamaespectrometria (Figura 9) e imagens de satélite. O contraste metamórfico entre os Grupos Araxá, Ibiá e Canastra é outro elemento importante na delimitação das zonas de cisalhamento nos locais em que ocorrem boas exposições de rochas.



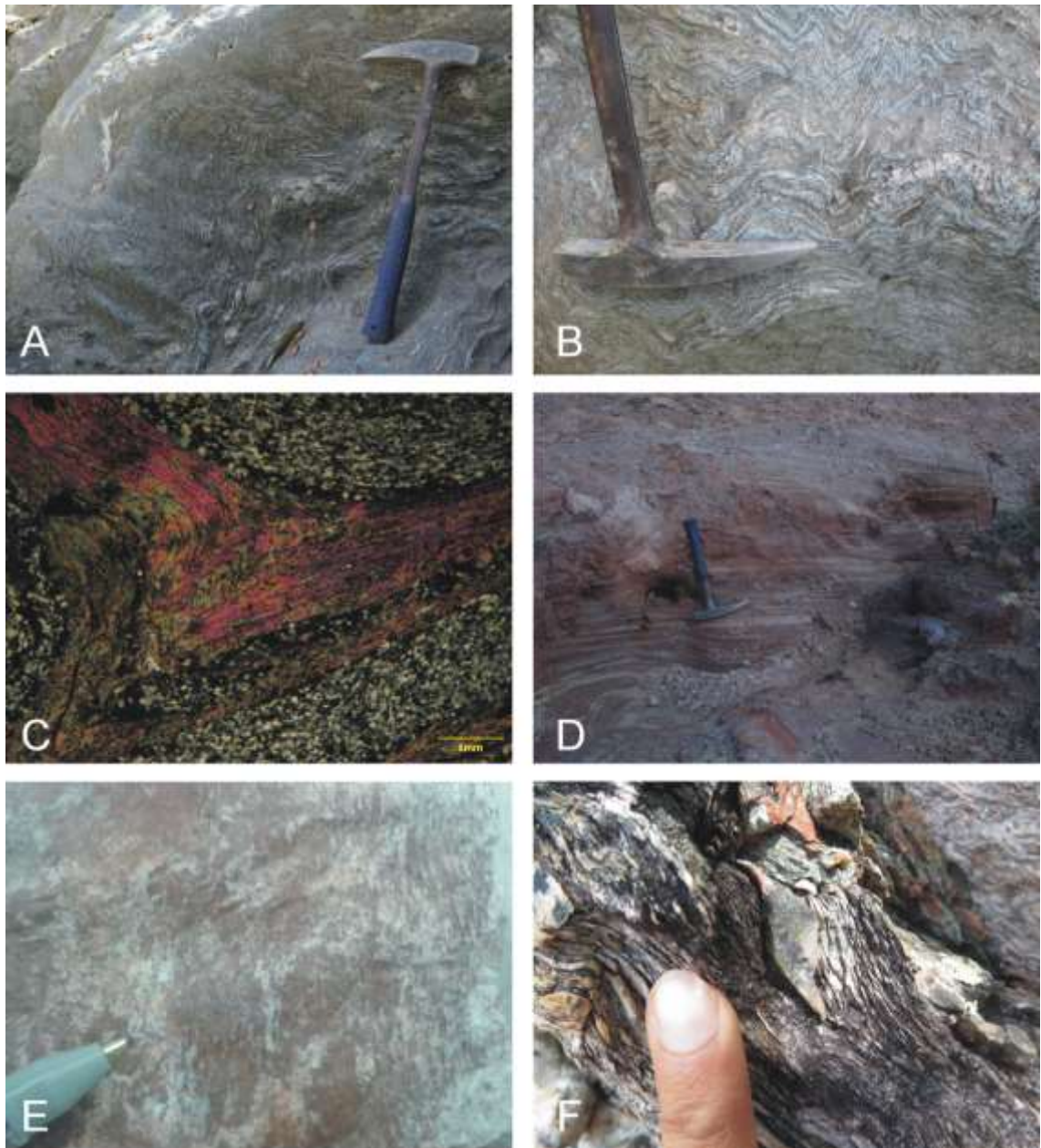
**Figura 9.** Traços tectônicos principais (branco) sobre imagem de gamaespectrometria (mapa de Composição Ternária K-Th-U) que evidenciam as rampas laterais das *nappes* e a janela estrutural do Grupo Ibiá.

#### 4.2.1. Caracterização dos elementos geométricos

Na área de estudo, ocorrem duas escamas da megaestrutura denominada Sinforma de Araxá: a *nappe* Canastra/Ibiá e a *nappe* Araxá. As rochas da *nappe* Canastra/Ibiá apresentam grau metamórfico na fácies xisto verde baixa (zona da clorita), delimitado pela paragênese clorita + quartzo + muscovita. Na escama superior (*nappe* de Araxá), por outro lado, as rochas atingiram a fácies xisto verde média a alta com presença de biotita e granada.

O contato entre os grupos Araxá e Ibiá é tectônico e marcado por zonas de cisalhamentos de médio ângulo, caracterizando o cavalgamento da *nappe* de Araxá sobre a *nappe* Canastra-Ibiá. Na porção nordeste da área, esse contato tectônico tem direção NW-SE e apresenta-se como uma rampa lateral.

Nas rochas metapelíticas de ambas as *nappes*, o acamamento sedimentar ( $S_0$ ) é definido pelo bandamento composicional, paralelo a uma foliação metamórfica ( $S_1$ ), que por vezes se apresenta dobrada ( $S_2$ ). Tanto o bandamento quanto a foliação são marcados, principalmente, por planos ricos em muscovita (Figura 10D) e orientação dos cristais de quartzo estirados. A foliação ( $S_1$ ) e a estratificação sedimentar acham-se, geralmente, transpostas tectonicamente, exibindo dobras fechadas a isoclinais (Figura 10A e B). Estas feições são bem visíveis nas seções delgadas das rochas do Grupo Ibiá (Figura 10C) e nos afloramentos dessa unidade (Figura 10A e B).



**Figura 10.** Afloramento mostrando o aspecto microdobrado e desenvolvimento de foliação de crenulação no filito rítmico da Formação Rio Verde, Grupo Ibiá. B) Detalhe das microdobras de A. Ponto A287 (254.182E, 7.887.862N, UTM23S WGS84). C) Fotomicrografia sob polarizadores cruzados de lâmina de filito rítmico da Formação Rio

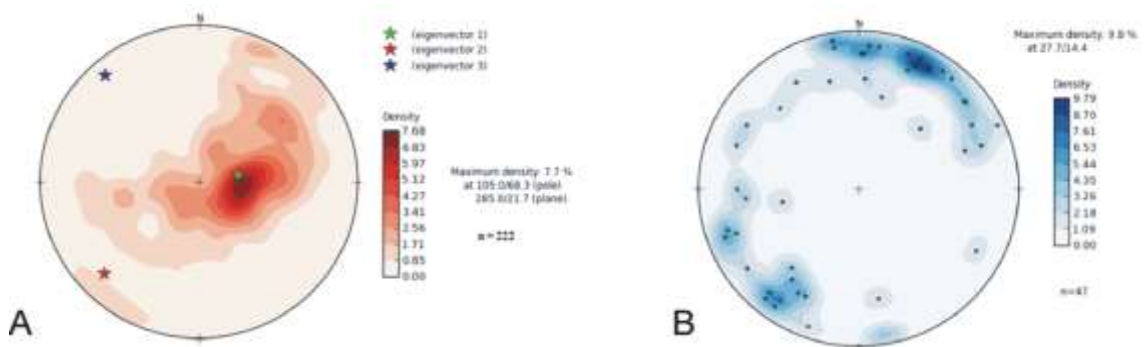
Verde, Ponto A198 (285.715E, 7.887.998N, UTM23S WGS84). Notar o desenvolvimento de clivagem de crenulação no plano axial da microdobra. As intercalações entre camadas ricas em muscovita (coloridas) e camadas ricas em quartzo (cinza) indicam o plano  $S_0/S_1$ . D) Bandamento composicional no xisto Araxá, Ponto A311 (265.687E, 7.889.481N, UTM23S WGS84); E) Lineação mineral em quartzito do Grupo Canastra, Ponto A689 (286.188E, 7.877.817 N); F) Zona de cisalhamento no contato por cavalgamento entre os grupos Canastra e Ibiá, Ponto A689. O indicador cinemático, em conjunto com a lineação observada no mesmo ponto, mostra movimentação de empurrão com topo para SE.

Nas rochas do Grupo Ibiá, dobras são identificadas pela ondulação da foliação principal ( $S_0/S_1$ ), com eixos de direção principal N-S. Essas dobras por vezes apresentam geometria da charneira em *chevron* (Figura 27A e B) são milimétricas a centimétricas, fechadas a abertas, com ângulos interflanco entre 60 a 100° e com superfícies axiais subverticais.

Lineações não são muito abundantes nesta área. Esporadicamente, foram encontradas lineações minerais e de estiramento em rochas quartzíticas do Grupo Canastra (Figura 10E), além de lineações minerais nos xistos do Grupo Araxá.

Importantes zonas de cisalhamento de espessura centimétrica ocorrem no contato entre os grupos Ibiá e Canastra. Nestas zonas, a deformação se concentra formando camadas estiradas. Indicadores cinemáticos indicam movimentação de empurrão, com topo para sudoeste, onde as rochas do Grupo Ibiá são cavalgadas sobre as rochas do Grupo Canastra (Figura 10F).

No total, foram feitas 222 medidas da foliação metamórfica principal ( $S_2=S_0+S_1$ ) no campo, principalmente em xistos do Grupo Araxá. As medidas foram plotadas em um estereograma de igual área, hemisfério inferior, utilizando o programa *OpenStereo* (Figura 11A). Neste estereograma pode ser observado que as atitudes medidas de  $S_2$  apresentam um máximo modal em cerca de 285/22. Além disso, é possível observar uma leve distribuição em guirlanda de  $S_2$ . Esta distribuição reflete o formato da Sinforma de Araxá, onde a foliação principal apresenta-se dobrada em escala regional. De fato, a operação de cálculo do auto vetor 3 fornece um valor semelhante ao eixo da Sinforma de Araxá em escala regional, de direção SE-NW e baixo ângulo de mergulho, aproximadamente 320/10. Dobras abertas de  $S_2$  encontradas em afloramento, com plano axial verticalizado, apresentam eixo de orientação semelhante.



**Figura 11.** Estereogramas da foliação  $S_2$  (A) e da lineação  $L_2$  (B) na Folha Perdizes. A foliação  $S_2$  apresenta um máximo modal em 285/22. Notar a distribuição em guirlanda das duas estruturas, com eixo construído em 320/10, indicando o dobramento de  $S_2$  devido à conformação da Sinforma de Araxá.

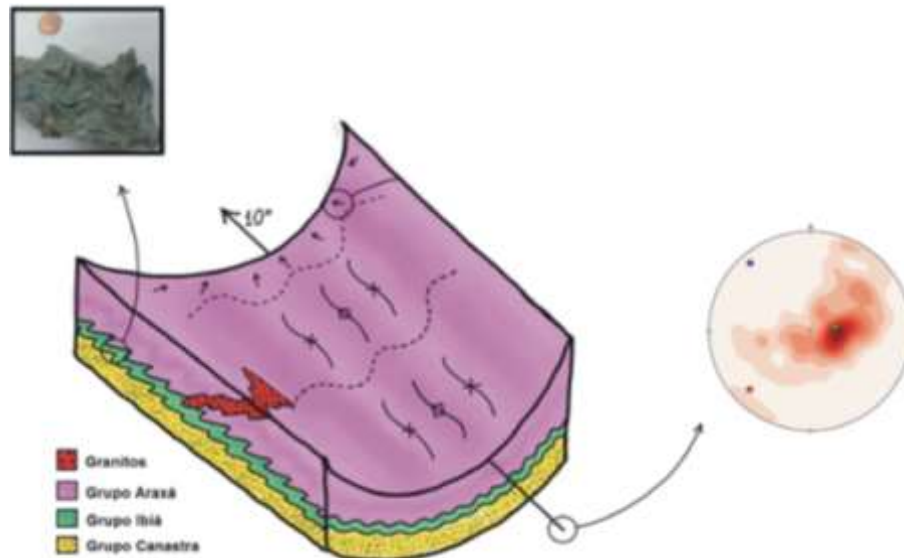
De maneira semelhante, as lineações minerais e de estiramento associadas a  $S_2$  ( $L_2$ ) apresentam-se distribuídas em uma guirlanda (Figura 11B) que coincide espacialmente com a distribuição dos planos  $S_2$ , indicando movimentação tectônica predominantemente de NW para SE. Esta distribuição em guirlanda pode indicar diferentes ângulos de movimentação dentro da megaestrutura da Sinforma de Araxá (por exemplo, em rampas laterais, frontais e oblíquas) ou ainda estar ligada ao redobramento das estruturas planares  $S_2$  e suas respectivas lineações devido ao formato lateral da Sinforma de Araxá e sua estruturação em “colher” (Figura 12).

#### 4.2.2. Modelo estrutural da área

A definição de um modelo estrutural e suas diferentes fases deformacionais são aqui apresentadas de maneira simplificada pela ausência de afloramentos frescos e poucas estruturas nos xistos do Grupo Araxá, que dominam a área mapeada. As melhores rochas para uma análise mais completa da evolução estrutural são os quartzitos do Grupo Canastra, porém eles representam uma área muito pequena e por consequência existem poucos afloramentos na área. Dessa maneira será detalhada a geometria, forma e distribuição dos elementos geométricos das unidades e um modelo simplificado da deformação da área. Um modelo estrutural mais detalhado pode ser encontrado em Seer *et al.*, (1999).

Com base nas observações feitas em campo, foi feita interpretação para modelo estrutural da área (Figura 29). A Sinforma de Araxá é uma sequência de *nappes* sobreposta tectonicamente, separadas por zonas de cisalhamento de espessura centimétrica a métrica. A *nappe* Canastra-Ibiá foi cavalgada pela *nappe* Araxá. Neste processo, o Grupo Ibiá absorveu uma quantidade

significativa de deformação, como testemunhado pelo seu caráter altamente crenulado e rico em dobras milimétricas a centimétricas. Isto é devido provavelmente ao enorme contraste de competência entre os filitos do Grupo Ibiá e as rochas psamíticas do Grupo Canastra e xistos mais grossos do Grupo Araxá. Desta forma, o Grupo Ibiá se porta como camada lubrificante, absorvendo grande parte da deformação. Esse movimento de cavalgamento gerou dobramentos, com dobras mais apertadas de eixo perpendicular ao eixo da sinforma regional.



**Figura 12.** Modelo estrutural da Sinforma de Araxá na área, mostrando a distribuição da foliação regional. Notar a corrugação de S2 devido à conformação “em colher” da sinforma. Notar também a concentração da deformação nos filitos do Grupo Ibiá, que funciona como camada lubrificante entre os grupos Canastra e Araxá.

Após ou tardiamente a este cavalgamento aparece outro conjunto de dobras mais abertas com eixo para NW. Esse conjunto de dobras se relaciona à megaestrutura da Sinforma de Araxá. Desta maneira, se evidencia um padrão de interferência que explica a dispersão das medidas de foliação e de lineação mineral da área em uma guirlanda nos estereogramas da Figura 11.

Um aspecto importante a ser notado é a clássica inversão metamórfica que é típica de zonas de empilhamento de *nappes*: A *nappe* Araxá, de grau mais alto (xisto verde alto a anfibolito) cavalga a *nappe* Canastra / Ibiá, de grau mais baixo (xisto verde baixo). Durante o cavalgamento das rochas de grau metamórfico mais elevado (Grupo Araxá), ocorreu a fusão local das rochas gerando intrusões sin-tectônicas representados na Figura 12 pelos leucogranitos a duas micas e muscovita granitos foliados, que são deformados junto com o avanço da *nappe*.

#### 4.2.2.1. A FASE DEFORMACIONAL D<sub>1</sub>

À primeira fase deformacional atribui-se a geração da foliação S<sub>1</sub>, paralela ao bandamento composicional (S<sub>0</sub>) nas rochas dos Grupos Ibiá e Canastra, ou xistosidade grosseira nos litotipos do Grupo Araxá. Esta estrutura é dada pelo arranjo de micas, cloritas, e anfibólios. Normalmente, S<sub>1</sub> se encontra paralelo a S<sub>0</sub> (S<sub>1</sub>//S<sub>0</sub>), porém localmente podem ser observadas dobras isoclinais de S<sub>0</sub> de escala milimétrica e centimétrica, principalmente nos filitos do Grupo Ibiá, cujo plano axial é S<sub>1</sub>.

#### 4.2.2.2. A FASE DEFORMACIONAL D<sub>2</sub>

Esta fase deformacional é a mais desenvolvida e de mais fácil cartografia da região. Suas estruturas encontram-se preservadas em todas as unidades tectono-estratigráficas proterozoicas e foram responsáveis pela justaposição de escamas de empurrão com baixos ângulos de mergulho. Além disso, em seus estágios iniciais, esta fase foi acompanhada pelo alojamento de granitoides sin-tectônicos no Grupo Araxá.

A estrutura principal da fase D<sub>2</sub> é uma foliação S<sub>2</sub>, de máximo modal 285/22 (Figura 11A); com uma lineação L<sub>2</sub> associada que indica movimentação frontal a oblíqua de NW para SE (Figura 11B). Por vezes, essa xistosidade mostra caráter milonítico, especialmente próximo às zonas de contato entre as *nappes*, mostrando paralelismo de bandas de diferente composição e/ou granulação nas zonas de maior deformação. Nestas, acham-se imersos porfiroclastos de formato sigmoidais circundados pela foliação. A assimetria destas estruturas indica sempre movimento de empurrão (Figura 10F).

#### 4.2.2.3. A FASE DEFORMACIONAL D<sub>3</sub>

Desenvolvida sob condições crustais mais rasas que as fases anteriores, a fase deformacional D<sub>3</sub> se faz presente em quase toda área mapeada, expressando-se como zonas de cisalhamento subverticais que truncam as estruturas anteriores ou como dobramentos suaves dos planos S<sub>2</sub>. Esta fase foi responsável pela configuração tectônica final da região e acomodação das estruturas locais à megaestrutura da Sinforma de Araxá. Desta forma, os dobramentos suaves de S<sub>2</sub> apresentam plano axial subvertical e eixo de orientação semelhante ao da megaestrutura (320/10). Esta configuração é também evidenciada pela distribuição em guirlanda de S<sub>2</sub> e das lineações minerais L<sub>2</sub> (Figura 11).

### **4.3. Amostras coletadas para geocronologia**

#### **4.3.1. Amostra AR1**

Coordenadas: 296788, 7837188, UTM 23K, (todas as coordenadas estão no sistema UTM: South American Datum 1969, 23S).

Esta amostra faz parte do afloramento clássico em que Barbosa (1955) definiu o Grupo Araxá, na BR-262 estrada perto da cidade de Araxá (Figura 13A). Ela é composta de um estauroлита-granada-moscovita-quartzo xisto. Em comparação aos outros afloramentos da área esse xisto é mais rico em quartzo, (Figura 13B), sendo o afloramento mais bem preservado da unidade na região estudada. A rocha tem granulação média com os planos de foliação bem marcados pelos minerais micáceos. Apresenta porfiroblastos de granada, (Figura 13C) que podem chegar a até um cm por vezes formando aglomerações na rocha, e também é possível observar mais raramente porfiroblastos de estauroлита.



**Figura 13.** Características em campo e lâmina delgada da amostra. **A)** Afloramento de beira de estrada do mica-quartzo xisto. **B)** Fotomicrografia sob polarizadores cruzados de lâmina do xisto rico em quartzo e foliação formada por muscovita. **C)** Fotomicrografia sob polarizadores descruzados mostrando profiroblasto obliterado de granada rotacionado na foliação.

#### 4.3.2. Amostra A555

Coordenadas: 271.123, 7.845.603, UTM 23K.

É um granada-quartzo-mica xisto que aflora em um leito de rio (Fig. 14A e 14B) perto da estrada BR 462. Essa amostra é semelhante ao xisto do ponto AR1, mas menos rico em quartzo. Aglomerações de granadas rotacionadas pela

foliação também são comuns (Fig. 14 D), a foliação é marcada pela alternância de níveis micáceos com níveis quartzosos (Fig. 14 C).



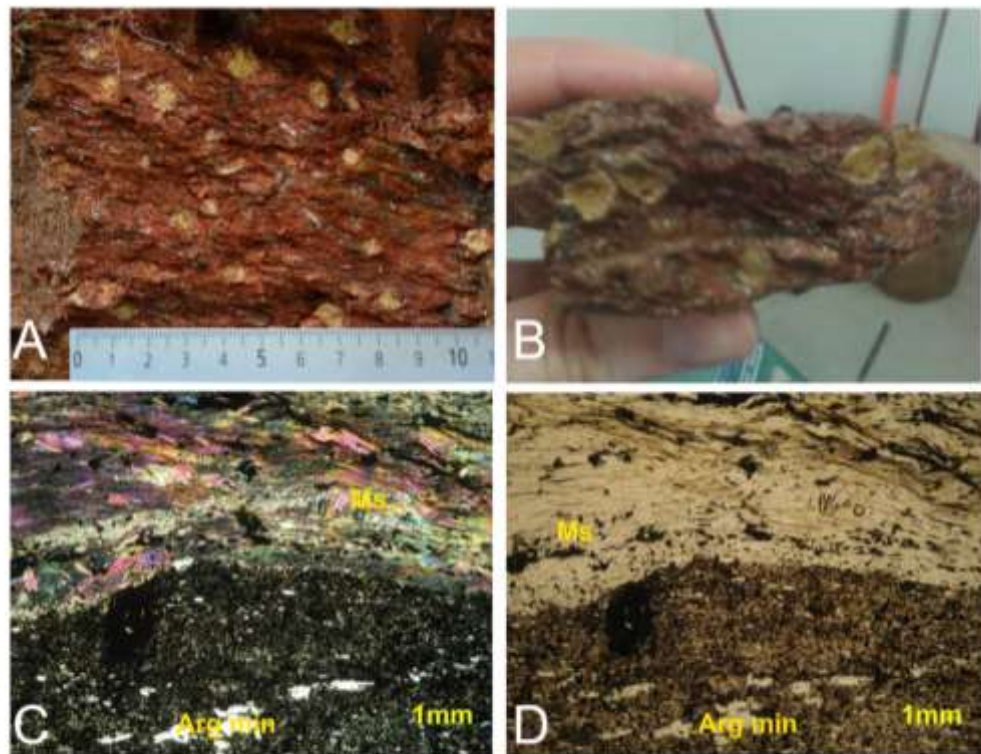
**Figura 14.** Características em campo e lâmina delgada da amostra A555. **A)** Visão de afloramento do xisto sob beira de curso d'água. **B)** Parte do afloramento em que a amostra foi retirada para geocronologia. **C)** Fotomicrografia sob polarizadores cruzados de xisto mostrando alternância de níveis quartzosos e micáceos milimétricos. **D)** Fotomicrografia sob polarizadores cruzados mostrando granada obliterada rotacionada sobre foliação formada por muscovita.

#### 4.3.3. Amostra VH3

Coodenadas: 291474, 7835013, UTM 23K.

É um afloramento de quartzo-mica xisto na estrada BR 262. Localmente, um nível conglomerático pode ser observado com clastos intemperizados de material caulínico (Fig.15A e 15B). Apesar do alto nível de intemperismo na amostra e a impossibilidade da definição da natureza dos clastos caulinizados,

em lâmina observa-se uma matriz fina rica em quartzo e muscovita (Fig. 15C, D), o que sugere se tratar de um nível conglomerático não antes descrito para o Grupo Araxá. O restante do afloramento é representado por um granada-quartzo-mica-xisto semelhante aos xistos anteriores.



**Figura 15.** Características em campo e lâmina delgada da amostra VH3. A) Visão de afloramento do xisto com níveis conglomeráticos. B) Amostra retirada para geocronologia, mostrando os clastos já caulinitizados. C) Fotomicrografia sob polarizadores cruzados mostrando diferença entre matriz foliada e clasto obliterado. D) Fotomicrografia sob polarizadores descruzados mostrando diferença entre matriz foliada e clasto obliterado.

#### 4.3.4. Amostra A309

Coodenadas: 264.105, 7.889.294, UTM 23K

O afloramento localiza-se a partir de uma estrada de terra perto da cidade de Perdizes (40 km de distância das outras três amostras para o noroeste). É um quartzo-mica xisto de granulação fina (Fig. 16A e B).



**Figura 16.** Características em campo da amostra A309. A) Afloramento em beira de estrada de terra do quartzo-mica xisto intemperizado. B) Amostra de mão de qual foram retirados os zircões para datação.

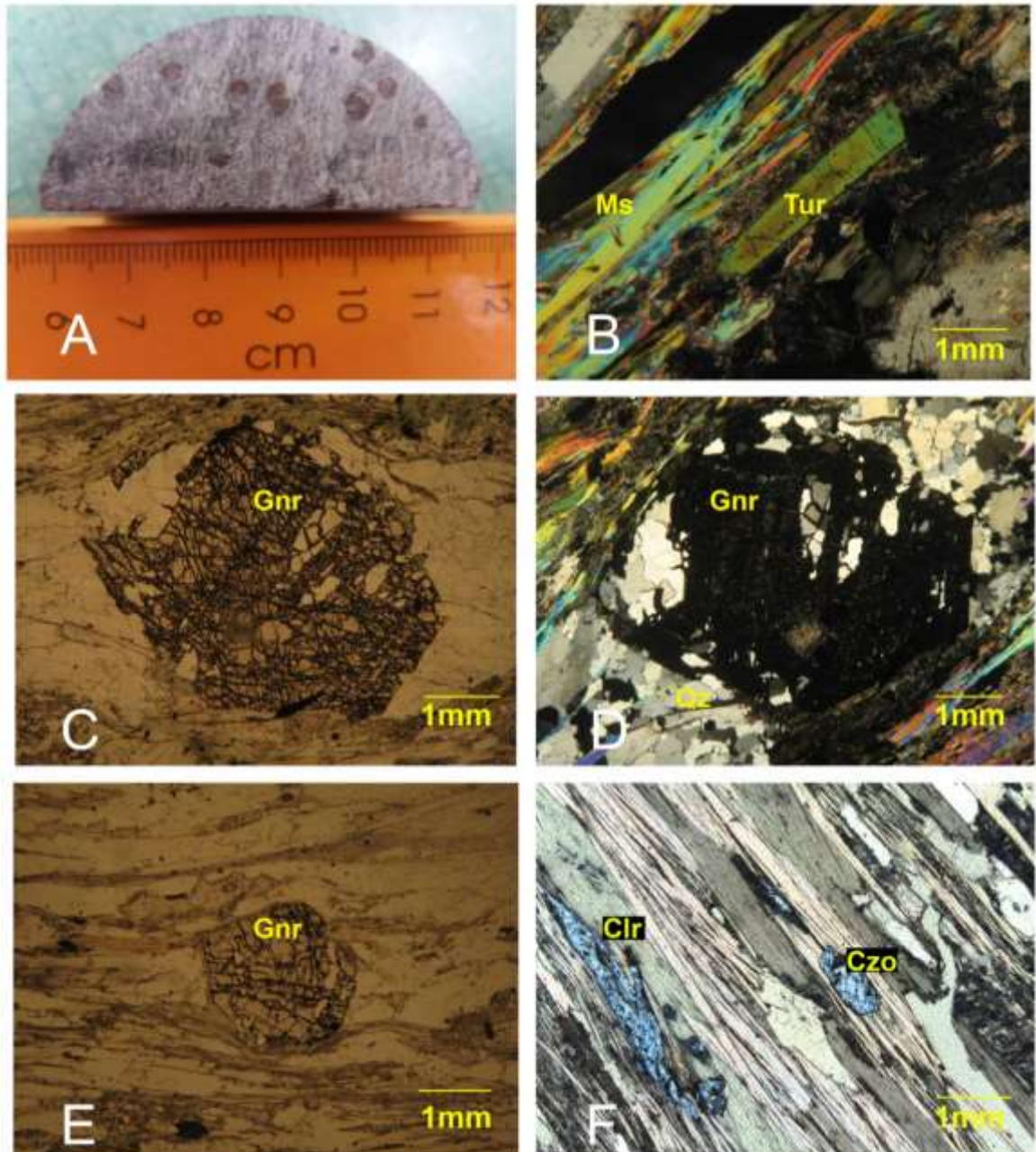
#### 4.3.5. Amostra PH-02

Coordenadas: 251928, 7813012, UTM 23K.

A amostra foi coletada posteriormente ao envio das amostras anteriores para a separação de zircões para o método U-Pb, assim essa é a única rocha que foi submetida exclusivamente ao método Sm-Nd.

Não se trata de uma amostra coletada em afloramento, mas sim a partir de um testemunho de sondagem (Fig 17A) realizada na encosta do leito do rio Araguari, no qual a rocha foi interceptada em 25 metros de profundidade, e fornecido por P.H. Dias (CPRM-BH). O xisto estava encoberto por uma camada de solo de 15 metros e uma camada de arenito de 10 metros (possivelmente da Bacia do Paraná). Essa é a amostra mais sã de todas, e devido à falta de intemperismo sua caracterização petrográfica é a mais completa.

A amostra consiste de um turmalina-granada-clorita-biotita-muscovita-quartzo xisto, apresenta textura granolepdoblástica com constituição mineral principal composta por 30% de quartzo, 30% de muscovita, 10% de biotita, clorita e granada 5% e os 25% minerais alterados e acessórios (Fig. 17B e 17F). A granada se encontra rotacionada pela foliação (Fig. 17C, 17D e 17E) e por vezes se altera para clorita indicando um forte retrometamorfismo como descrito por Seer (1999).



**Figura 17.** Lâmina delgada e amostra PH-02. **A)** Pedaco de testemunho de sondagem mostrando os porfiroblastos de granada. **B)** Fotomicrografia sob polarizadores cruzados mostrando um porfiroblasto de turmalina e foliação formada por clorita e muscovita. **C)** Fotomicrografia sob polarizadores decruzados mostrando porfiroblasto de granada fraturada obliterado. **D)** Fotomicrografia sob polarizadores descruzados mostrando mostrando porfiroblasto de granada. **E)** mostrando porfiroblasto de granada. **F)** Fotomicrografia sob polarizadores cruzados mostrando clorita e clinozoizita.

## 5. ARTIGO

---

Seguindo as atuais normas da Pós-Graduação em Geologia do IGC-UFMG, os demais resultados dessa dissertação de mestrado serão apresentados na forma de um artigo em inglês, a ser submetido a um periódico internacional especializado. A versão final do artigo não foi publicada até a presente data da entrega dissertação.

**Detrital zircon U-Pb analysis of the Araxá Group in its type area, Brasília Belt: Evidence for provenance shift from a continental margin to a syn-orogenic basin during the Brasiliano Orogeny in central Brazil.**

Falci, A.<sup>1</sup>, Caxito, F.A.<sup>1</sup>, Seer, H.J.<sup>2</sup>, Valeriano, C.M.<sup>3</sup>, Dias, P.H.A.<sup>4</sup>, Pedrosa-Soares, A.C.<sup>1\*</sup>

1 – Centro de Pesquisas Manoel Teixeira da Costa, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais (CPMTC-IGC-UFMG), Campus Pampulha, Av. Antônio Carlos 6627, CEP 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brazil

2 - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, Unidade Araxá, Av. Min. Olavo Drumond, 25, CEP 38180-510, Araxá (MG), Brazil.

3 - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Rua São Francisco Xavier 524/4006-A, Maracanã 20559-900, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

4 - CPRM-Serviço Geológico do Brasil, SUREG/BH, Avenida Brasil, 1731 Funcionários, CEP 30140-002, Belo Horizonte, MG, Brazil.

\*Fellow of the Brazilian Research Council (CNPq)

## ABSTRACT

In the southern Brasília Belt (central Brazil), a prominent east-verging system of stacked nappes caused the thrusting of metasedimentary rocks of different provenance, age and metamorphism upon one another. In this work, we focus on the metasedimentary rocks of the Araxá Group of the homonymous nappe. We present new detrital zircon U-Pb, whole-rock Sm-Nd and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  data of the Araxá Group in its type area, near the Araxá city (western Minas Gerais State). Our results show distinct provenance patterns for samples collected in distinct portions of the nappe system, suggesting shifting sources and distinct tectonic settings. The samples from the eastern tectonic domain of the Araxá nappe yielded a remarkable zircon age spectra from 1.0 Ga to 2.5 Ga. Such results from a region close to the São Francisco craton are similar to those from the Canastra Group, suggesting that both units represent sedimentation in passive margin environments. Contrastingly, a series of samples collected westwards in the Araxá nappe yielded minor age peaks at around 790 Ma, and the westernmost sample yielded a major peak of ca. 650 Ma. The latter is very similar to the main age peak shown by samples of metasedimentary units related to the Goiás magmatic arc further west. This suggests an important provenance shift recorded by the metasedimentary rocks of the Araxá nappe. The lower and easternmost rocks might represent a distal correlative of the Canastra Group, deposited in the western passive margin of the São Francisco paleocontinental region, while the upper and westernmost rocks show an influence of the accretionary arcs of the Brasília Belt (ca. 790 Ma peaks) and even of the syn-collisional phase of this Belt (ca. 650 Ma peak). The variability of source areas and provenance shift in the Araxá nappe metasedimentary units is also recorded by distinct whole-rock Sm-Nd  $T_{\text{DM}}$  ages, with most samples between 1.8 and 2.0 Ga (strong cratonic provenance) but one sample yielding 1.4 Ga (influence of juvenile sources in the Brasília Belt hinterland), and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios varying from 0.719 to 0.891. Thus, the Araxá nappe is actually composed of a tectonically interleaved package of metasedimentary rock units similar to a tectonic *mélange*. Accordingly, the name “Araxá Group”, including rocks mapped throughout western Minas Gerais and Goiás states, actually represents a complex set of intricately tectonically interleaved metasedimentary units of different provenances, ages and tectonic settings, developed in distinct evolutionary stages and, finally, assembled one upon other by thrusting during the collisional stage of the Brasília Belt. Separating all those petrographically similar units (mostly garnet-mica schists), but distinct in deposition timing, sediment source and tectonic setting, is an

important challenge to understand the evolution of the Brasília Belt in the scenario of West Gondwana amalgamation.

## **KEYWORDS**

Brasília Belt; Araxá Group; Sedimentary Provenance; U-Pb detrital zircon; Sm-Nd; Brasiliano Orogeny

## **1 – INTRODUCTION**

Reconstructing the depositional history of sedimentary units in Precambrian terranes, especially for deformed and metamorphosed units that lack fossiliferous content and spatial continuity can be a very challenging task. During the past decades new geochemical, geochronological and isotopic techniques have proved to be important tools for the understanding of the age and provenance of such Precambrian sedimentary basins (e.g. Haughton et al., 1991). In particular, the analysis of the U–Pb age spectra of detrital zircons has demonstrated to be an effective tool mainly because of the remarkable chemical stability of zircon over a wide range of pressures and temperatures (Fedo et al., 2003), and has been used for deciphering the provenance of sedimentary basins throughout the world (e.g. Froude et al., 1983; Haas et al., 1999; Bingen et al., 2001).

In Central Brazil (Fig. 1), a number of Precambrian deformed and metamorphosed sedimentary basins have been studied using these techniques in the past few years, especially those related to the Neoproterozoic Brasiliano cycle, involved in the amalgamation of the West Gondwana (Piuzeana et al., 2003; Valeriano et al., 2004a; Rodrigues et al. 2010; Dias et al., 2011; Pimentel et al., 2011). The Araxá Group (Fig. 1, Fig. 2) is one of the most important stratigraphic units of the Southern Brasília Belt in this area. This region is structured by intense nappe stacking upon the western São Francisco Craton margin and is characterized as a cratonwards verging fold-and-thrust belt (Almeida, 1977; Dardenne, 2000; Valeriano et al., 2004a). The main outcrops are located in the Araxá nappe (Fig. 1, Fig. 2), a synformal structure with tectonic transport from northwest towards southeast, where the Araxá, Ibia and Canastra groups are stacked upon one another (Seer and Dardenne, 2000; Seer et al., 2001, 2005; Valeriano et al., 2004a; Dias et al., 2011).

Historically, a number of mica-schist-bearing units in central Brazil have been grouped under the denomination “Araxá Group”, first proposed by Barbosa (1955). Actually, schist belts from the Araxá town in Minas Gerais state throughout the whole Goiás and Tocantins states, up to the southern border of

the Pará state, have been called “Araxá schists”, bridging an area more than 1000 km long in and N-S trend and generating some confusion in respect to stratigraphic nomenclature and tectonic setting. An important work by Piuzana et al. (2003) showed that schists in the southwestern Goiás state, close to the Neoproterozoic “Goiás Magmatic Arc” (Pimentel and Fuck, 1992) bear a prominent peak of detrital zircons at around 650 Ma. The Araxá Group was then interpreted as representing a syn-Orogenic basin with the Goiás Magmatic Arc as the main source area. However, detrital zircon data on the Araxá Group type area, as defined by Barbosa (1955), are up to date not available. This area lies about 500 km to the southeast of the area studied by Piuzana et al. (2003) and might present a completely distinct provenance and tectonic history, in a distinct portion of the Brasília Belt.

This paper presents the results of the first systematic U–Pb detrital zircon (LA-ICP-MS) survey carried out on the Precambrian rocks in the type region of the Araxá Group, together with new whole-rock Sm-Nd and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  data. The main goal is to provide new geochronological data on a classic area of the Brasília Belt, which provenance has been, up to now, not completely understood. This data will provide the basis for the interpretation of the age and tectonic setting of the classic Araxá nappes, in comparison to the other schist-bearing areas of the Brasília Belt. The Araxá nappe system occurs in an area which is of capital importance for the understanding of the tectonic processes involved in the amalgamation of West Gondwana, because it lies between the São Francisco paleocontinent western margin and the Goiás Magmatic Arc and the Paranapanema lithospheric block to the southwest (Mantovani and Brito Neves, 2005).

## **2 – GEOLOGIC SETTING**

The Brasília Belt extends through 1000 km in the NS direction, along the western margin of the São Francisco Craton in central Brazil (Fig. 1). It represents the central eastern part of a large Neoproterozoic Orogenic zone known as the Tocantins Province (Almeida et al., 1981), which resulted from the convergence and collision of three major continental blocks at the end of the Neoproterozoic (Pimentel et al., 2000): the Amazon Craton to the west, the São Francisco/Congo Craton to the east and the Paranapanema block, presently covered by Phanerozoic rocks of the Paraná Basin, to the Southwest. The studied region is part of the Araxá Synform (Simões and Navarro, 1996), a

structure characterized by a sequence of nappes that stack rocks of different origins and ages. It is structured in a sinformal fold whose hinge line trends approximately N70°W, and is divided in three allochthonous tectonic slices (Seer, 1999; Seer et al., 2000) thrust over the cratonic domain (Fig. 1).

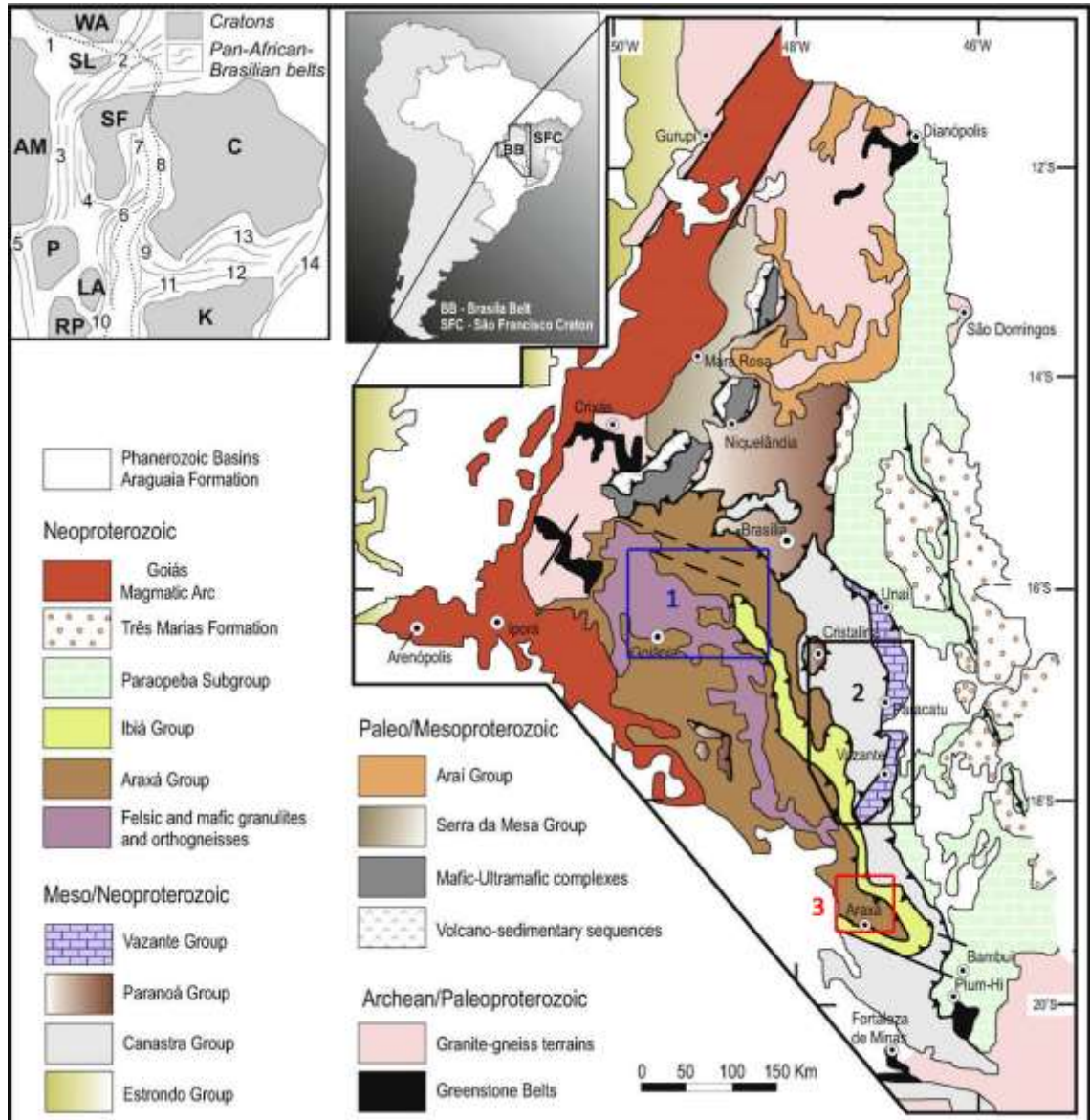


Figure 1. Location of the study area in the simplified geological map of the Brasília Belt (from Rodrigues et al., 2010, based on Dardenne, 2000). Other areas where provenance data is available are drawn: 1 – Piuzana et al. (2003) in blue, 2– Rodrigues et al. (2010) in black, 3 – this work. On the inset of the upper left, cratonic blocks (WA– West Africa, SL – São Luís, AM – Amazon, SF – São Francisco, C – Congo, P – Paraná, LA – Luiz Alves, RP – Rio de la Plata, K – Kalahari) and Pan-African/Brasiliano mobile belts (1 – Rockelides, 2 – Borborema, 3 – Araguaia, 4 – Brasília, 5 – Paraguai, 6 – Ribeira/Mantiqueira, 7 –

Araçuaí, 8 – West Congo, 9 – Kaoko, 10 – Dom Feliciano, 11 – Damara, 12 – atangan/Zambezi, 13 – Lufilian Arc, 14 – Mozambique) are shown.

The main units in the study area are the Canastra, Ibiá and Araxá groups (Fig. 1 and Fig. 2). The Canastra Group constitutes the lower nappe of the Araxá Synform, exposed along the southern area of the Brasília Belt. It comprises detrital metasedimentary rocks metamorphosed in the greenschist facies. It is constituted mainly by quartzites and phyllites rich in quartz, forming topographic highs in the northeastern part of the area. The stratigraphy of the Canastra Group is still not fully understood, mainly for its variety of rocks and associated deformation. In previous studies, the Canastra Group has been correlated with the Araxá Group, exposed to the West, and these two groups were considered to be part of the same stratigraphic unit (Barbosa, 1963; Braun, 1970; Braun and Batista, 1976). In most recent studies, however, they have been mapped as separate units despite the similar lithological contents (Seer, 1999; Valeriano et al., 2004a; Dardenne, 2000). Detrital zircon U-Pb age spectra for samples of the Canastra Group, presented by Rodrigues et al. (2010), suggest that the main source areas comprise a wide range of ages, with a significant Paleoproterozoic component (ca. 1.8 - 2.1 Ga) and an important Mesoproterozoic source (1.1 - 1.2 Ga). This suggests that the São Francisco craton basement could be the main source for these rocks. The absence of Neoproterozoic zircon grains, typical of the active margin of the Brasília Belt, are consistent with an interpretation of the Canastra Group as part of a passive margin setting on the western São Francisco craton border. This interpretation is also coherent with Paleoproterozoic  $T_{DM}$  model ages presented by the same authors. According to the younger detrital zircon peak, the Canastra Group has a minimum age of deposition of about 1030 Ma.

As the Canastra Group, the Ibiá Group is only exposed in the southern Brasília Belt. It is divided into the Cubatão and Rio Verde formations (Pereira et al., 1994; Seer et al., 2000). The Cubatão Formation is composed by a metadiamicctite with restricted occurrence, outcropping as discontinuous lenses with a thickness of up to 100 m, interleaved with quartz phyllite and micaceous quartzite layers. The clasts are in the vast majority of quartzite (similar to those of the Canastra Group) and quartz within a quartz and mica-rich matrix. The Rio Verde Formation consists of a succession of calcschists and green crenulated metarhythmites with intense deformation. The contact between the two units is gradational. Zircon grains extracted from the Cubatão Formation yielded ages

from 936 to 2500 Ma, while in contrast, the overlying Rio Verde Formation bears dominant Neoproterozoic provenance patterns with important peaks at ca. 665, 740 and 850 Ma (Rodrigues et al., 2010; Dias et al., 2011). The two main proposed source areas are the São Francisco craton and the Goiás Magmatic Arc, respectively.

The Araxá Group composes the uppermost nappe of the Araxá Synform, thrust upon the rocks of the Ibiá Group. Rocks of the Araxá Group are metamorphosed in the amphibolite facies and retrometamorphosed to greenschist facies. Thus, the thrust contact of the upper-grade Araxá Group rocks upon the lower-grade Ibiá Group (lower greenschist facies) represents a classic metamorphic inversion, which is common in stacked nappe terranes. The Araxá Group in its type-area can be subdivided into three units (Seer, 1999): 1) a metasedimentary unit comprising mostly micaschists and rare quartzite lenses. The main type rocks are feldspar-biotite-muscovite schist, biotite muscovite schist and garnet-feldspar-biotite-muscovite, locally with abundant garnet; 2) metamafic-ultramafic rocks composed of amphibolites, small serpentinite and actinolite/talc schist tectonically intercalated within the metasedimentary unit (Strieder and Nilson, 1992; Seer et al., 2001); 3) leucogranite bodies, usually deformed, with abundant pegmatitic bodies and sometimes foliated. Some are two-mica granites (biotite and muscovite), distributed in similar proportions (Seer and Moraes, 2013).

Seer and Moraes (2013) presented geochemical and geochronological data on the various granitic bodies related to the Araxá nappe. Based on U-Pb zircon data and geochemical fingerprinting, they recognize at least three granitic episodes: a syn-collisional ca. 642-630 Ma episode (Galheirinho and related granites); and two pre-collisional granitic episodes represented by the ca. 790 Ma Monte Carmelo Complex (interpreted as part of a magmatic arc) and the ca. 833 Ma Quebra-Anzol granite (interpreted as an intra-plate intrusion probably related to a continental rift setting).

The most common granite intrusions in the area are related with the plutonic episode which took place in a collisional tectonic setting between 642 and 630 Ma, generating peraluminous granites with muscovite, garnet, and tourmaline. They have negative  $\epsilon\text{Nd}(t)$  and  $T_{\text{DM}}$  model ages range from Neo to Mesoproterozoic. They show variable Rare Earth Element (REE) enrichment patterns, with strong negative Eu anomalies (Seer and Moraes, 2013). Another granitic episode of ca. 790 Ma is represented by the pre-collisional Monte Carmelo Granitic Complex, which was partially remobilized in a collisional event

around 630 Ma (Seer and Moraes, 2013). It shows a metaluminous to peraluminous character with low  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios (around 0.706), high LREE (Light Rare Earth Elements) fractionation, and negative Nb, Ta, Sr, P, and Ti anomalies. Their  $\epsilon\text{Nd}_{(790 \text{ Ma})} = -2.2$ , with  $T_{\text{DM}} = 1.3 \text{ Ga}$  indicate an origin from juvenile sources and suggest the existence of an accretionary magmatic arc in this region. The Monte Carmelo granitic complex might correlate to the Maratá Complex further west, composed of augen-gneisses and granites, which shows similar petrographic features and is also dated at around 790 Ma (Pimentel et al., 1992). The earliest episode, of ca. 833 Ma, generated in a within-plate environment, is represented by the Quebra Anzol Granite, which has low  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.706$  ratios and  $\epsilon\text{Nd}_{(833 \text{ Ma})} = -3.98$ ; high levels of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ , Nb, Y and Co; and low concentrations of Sr and Ba, with the absence of anorthite and presence of diopside, acmite, and positive Eu anomaly. Therefore it may have been originated from mantle sources with small crustal contamination (Seer and Moraes, 2013).

The main tectonic elements recognized in the area are the shear zones in the base of the nappes and synformal folding. The shear zones show generally kinematics with tectonic transport to SE, promoting the stacking of lithostratigraphic units. In the field, the main structure is a crenulation foliation in the schists of the Araxá Group, dipping W (modal maxima 285/22), and an associated lineation which varies in orientation with respect to its position inside the synformal structure (frontal/lateral ramps). This foliation shows a girdle distribution due to the shape of the synformal structure (Fig. 3).

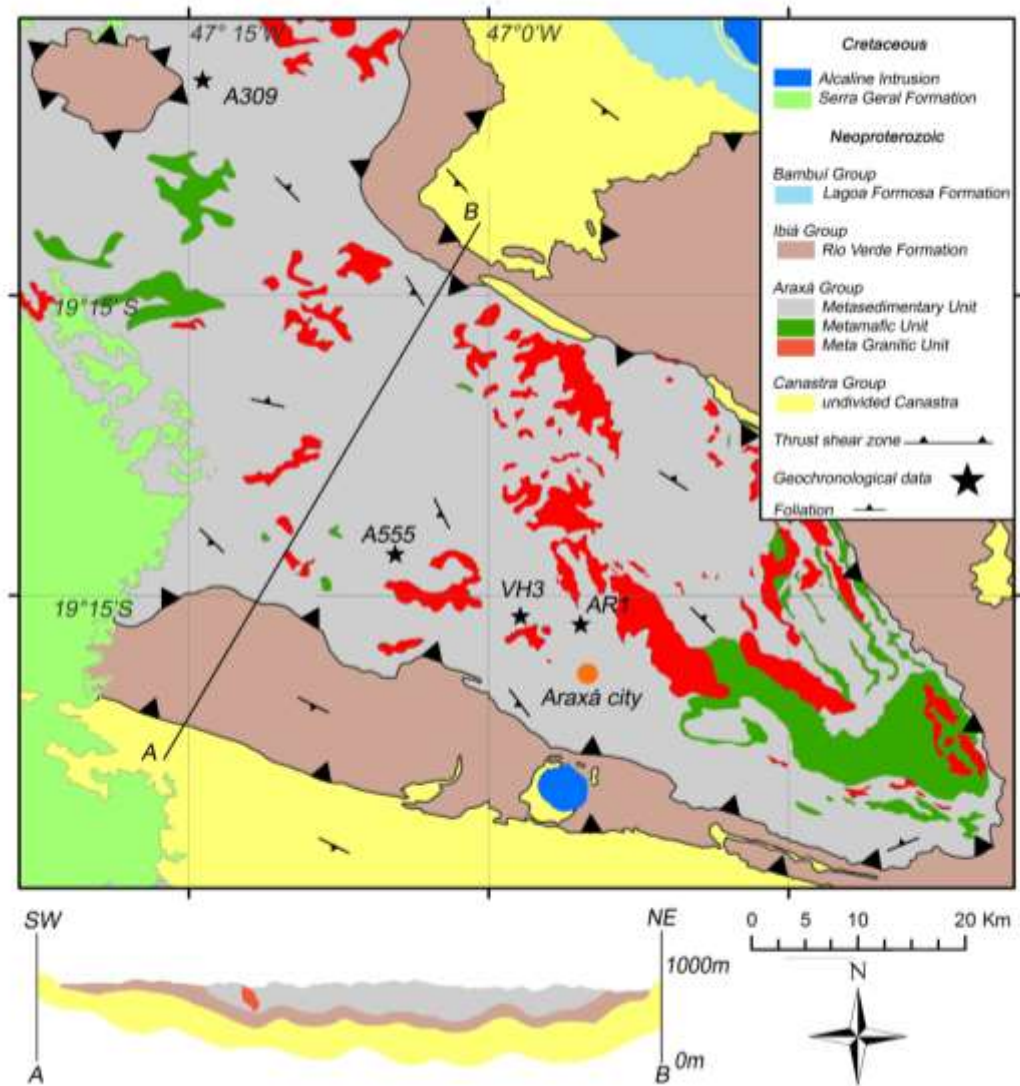


Figure 3 - Simplified geological map of the study area, with location of the samples collected for U-Pb analysis. Partially compiled from the Araxá, Ibiá, Perdizes and Sacramento 1:100.000 sheets (Seer et al., 2015a, 2015b; Falci et al., 2016; Silva et al., 2016).

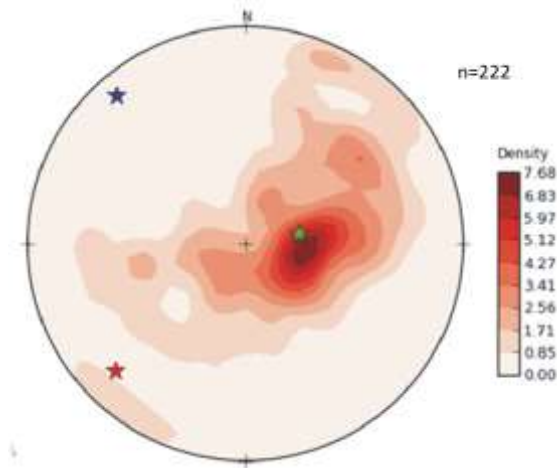


Figure 3 – Equal area projection of the main tectonic foliation found in the area, showing a girdle distribution with tectonic transport towards SE (Modal maxima = 285/22). The girdle distribution is related to the synformal folding of the Araxá nappe, with a NW-SE trending axis. From Falci et al. (2016).

### 3 - Materials and methods

Four samples of the Araxá Group were selected in its type-area for U-Pb detrital zircon dating (Fig. 3) and four for Sm-Nd and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  isotopic analysis.

For the detrital zircon analysis, about 10 kg of rock for each sample were crushed and separated using standard magnetic and hand-picking methods in the laboratories of the Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Brazil. A total of 672 zircons were recovered from the four samples. After mounted in epoxy disks and polished to expose grain centers, backscattered electron (BSE) and cathodoluminescence (CL) images revealed morphological features and internal structures of zircon grains (Fig. 4). U-Pb isotopic analyses were performed in the Laser Ablation Multicollector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-MCICP-MS) laboratory of the Universidade Federal de Ouro Preto, Brazil. M127 (Klötzli et al., 2009) and Plešovice (Sláma et al., 2008) standard zircons were used in LA-MC-ICP-MS analytical routines. In this study, the spot size in LA-MC-ICP-MS analyzes had a diameter of 25  $\mu\text{m}$ . Data reduction used the Glitter software (Van Acherbergh et al., 2001), and the Excel sheet developed by Ludwig (2003). Data evaluation for each spot took into account the common Pb contents, errors of isotopic ratios, percentages of discordance and Th/U ratios. No analytical spot was performed on grain areas

with inclusions, fractures and/or metamict features as revealed by BSE and CL images. From the selected spots, only those with discordance lesser than 10% were used for age calculations and plotted in Concordia diagrams, histograms and probability density plots. The plots were obtained using the software Isoplot 4.15 (Ludwig, 2003). The U-Pb analytical results are available in the Supplementary Material.

Four samples were selected for Sm-Nd and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  whole rock analysis. The rocks were crushed and ground in the Laboratório de Preparação de Amostras of the Centro de Pesquisas Manoel Teixeira da Costa - CPMTC-IGC-UFMG, Brazil. Later they were sent to the Laboratório de Geocronologia e Isótopos Radiogênicos of the Universidade do Estado do Rio de Janeiro – LAGIR / UERJ, where all chemical procedures have been processed in a clean environment under positive air pressure. In each sample of pulverized rock, with approximately 100 mg, about 50  $\mu\text{g}$  of a double  $^{149}\text{Sm}$ - $^{150}\text{Nd}$  isotopic tracer solution was added. Digestion of each sample was performed in a coated steel bomb jacket during a 3 days period with a mixture of HF (6ml) and 6N  $\text{HNO}_3$  (0.5ml) followed by 2 more days in 5N HCl. Then, Sr and REE were separated via standard chromatography methods. Sr was separated using Eichrom Sr-spec resin and eluted with ultrapure  $\text{H}_2\text{O}$ . This procedure was repeated twice to ensure that no Rb remained in the samples. Nd and Sm were separated by two successive ion exchange columns using HCl. In the first column, Biorad® AG50W-X8 resin (100-200 mesh) was used for separation of Rare Earth Elements (REE) and in the second column the resin Eichrom® LN-B-25S (50-100  $\mu\text{M}$ ) was used for separating Sm and Nd. Later these elements were deposited separately in previously degassed rhenium filaments, with  $\text{H}_3\text{PO}_4$  used as ionic activator. The isotopic ratios were measured in a ThermoScientific Triton multi-collector thermal ionization mass spectrometer (TIMS). Data acquisition was made in static mode using an array of eight Faraday type collectors. The Sm-Nd isotopic ratios were normalized using the JNd1 reference material (Tanaka et al., 2000).

## **4 – Results**

### **4.1 Detrital zircon U–Pb**

U-Pb results are displayed in both age histograms and probability density plots (Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8), using only the zircon grains that show less than 10% discordance, calculated using the Isoplot 3.6 software by Ludwig

(2003). For zircons older than 1.0 Ga,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ages are used, while for zircons younger than 1.0 Ga,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages are used. A total of 672 crystals were separated from the four samples, of which 605 yielded less than 10% discordance and are used in the following diagrams.

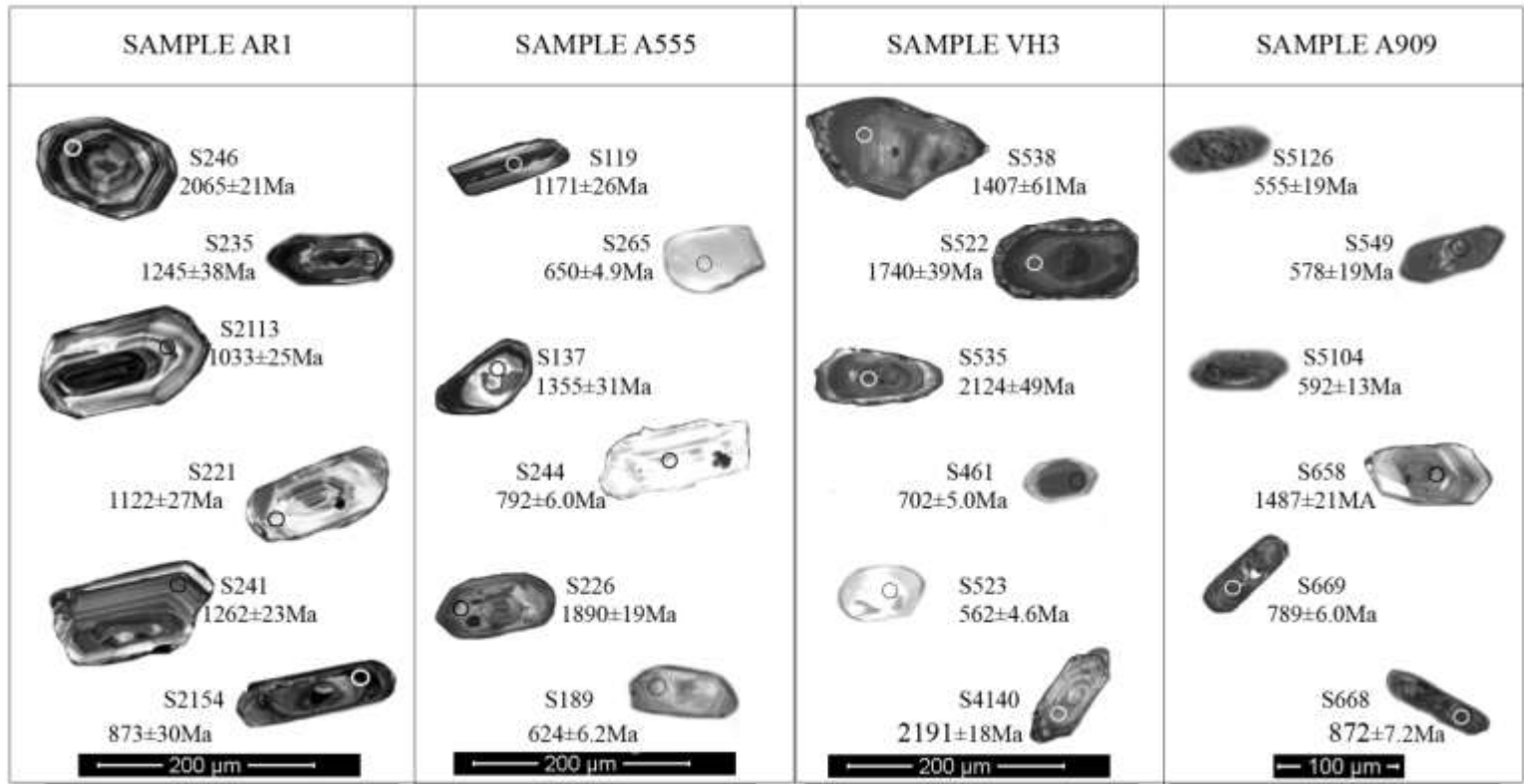


Figure 4 - Cathodoluminescence images of representative detrital zircon crystals from the analyzed samples. Analyzed spots are represented with black or white circles.

**SAMPLE AR1** (296788, 7837188, UTM 23K; all coordinates are in the UTM system: South American Datum 1969, 23S) - This sample is from the classic outcrop were Barbosa (1955) defined the Araxá Group for the first time, in the BR-262 road near the city of Araxá (Fig. 2). It is composed of staurolite-garnet-muscovite-quartz schist. Garnet and staurolite porphyroblasts reach up to 1 cm in the schist groundmass. A total of 151 zircons were extracted from this sample and analysed. Of those, 110 grains showed less than 10% discordance, and only those will be considered in the following discussion.

The zircon grains are small (<150 µm), clear, colorless, yellowish or light brown, rounded to sub-rounded, some showing spherical form, some with

prismatic habits (Fig. 4). Most zircons are clear but some show minor inclusions. Oscillatory zoning is a common feature as revealed in cathodoluminescence images (Fig. 4). All zircon grains yielded fairly high Th/U ratios, in between 0.13 and 1.05, typical of igneous zircons (metamorphic-melt zircon crystals usually display very low Th/U ratios, below 0.07; Rubatto, 2002; Hoskin and Schaltegger, 2003).

The most important  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  age peaks occur at 1.0 Ga, 1.2 Ga, 1.5 Ga, 1.8 Ga, 2.0 Ga and a minor peak at 2.5 Ga (Fig. 5). The youngest zircons yielded  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ages of  $816 \pm 7.58$  Ma and  $840 \pm 7.70$  Ma, and the older zircon has  $2580 \pm 19$  Ma.

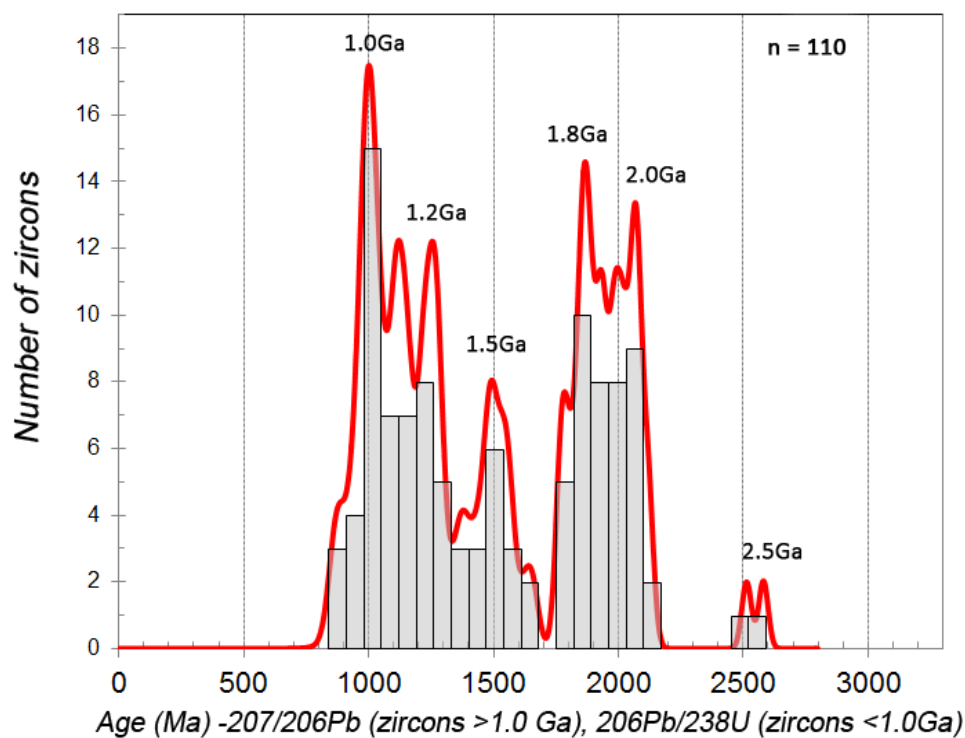


Fig. 5 - Histogram and probability density plot of detrital zircon  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ages of the AR1 sample.

**SAMPLE A555** (271123, 7845603, UTM 23K) – This sample is from a garnet-quartz-mica schist that outcrops in a river bed near the BR 462 road (Fig. 2). From a total of 161 grains, 137 showed less than 10% discordance. Most zircon grains are small (<150  $\mu\text{m}$ ), clear, colorless or light brown, rounded to sub-rounded, some showing spherical form, few with prismatic habits and some show minor inclusions (Fig. 4). Oscillatory zoning is a common feature. Most zircon grains yielded fairly high Th/U ratios, typical of igneous zircon, but 8 grains

display very low Th/U ratios, below 0.07, typical of metamorphic-melt zircon crystals.

The age peaks occur mainly at 1.2 Ga, 1.5 Ga, 1.8 Ga and 2.0 Ga, with minor Archean peaks; however, a very distinct and important Neoproterozoic peak at ca. 650 Ma is present (Fig. 6). The youngest zircon age is at  $624 \pm 6.2$  Ma, (Fig. 4) but this is clearly a metamorphic age due to the low Th/U value of 0.02. The second youngest zircon age is at  $650 \pm 4.89$  Ma (Fig. 4), with fairly high Th/U= 0.24; however this was obtained in an area of high luminescence (Fig. 4), and thus it could also be interpreted as a metamorphic zircon. The youngest zircon that is certainly not metamorphic age at  $725 \pm 5.22$  Ma, and the older age at  $2948 \pm 17$ Ma.

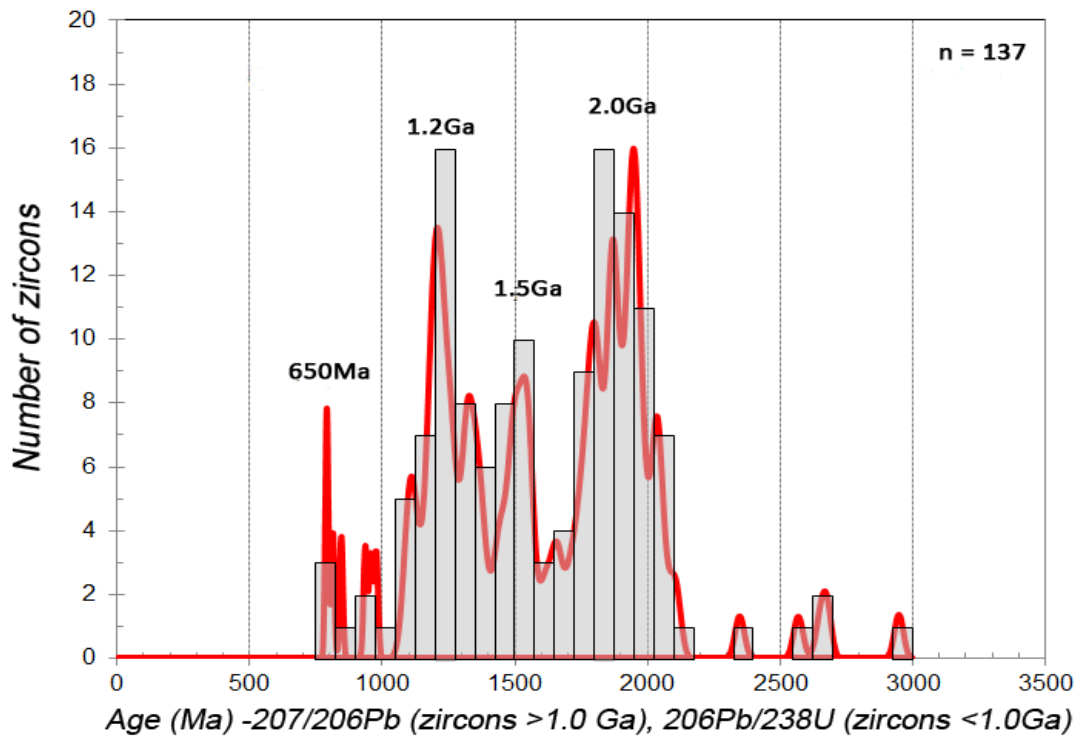


Figure 6 - Histogram and probability density plot of detrital zircons from the A555 sample. Only zircons with Th/U > 0.2 are used in this diagram.

**SAMPLE VH3** (291474, 7835013, UTM 23k) – This sample is from a quartz-mica schist outcropping in the BR 262 road (Fig. 2). Locally, a conglomeratic level can be observed with weathered clasts of kaolinitic material. 77 out of 136 zircon grains showed less than 10% discordance, and only those will be considered in the following discussion.

The zircon grains are small (<100  $\mu\text{m}$ ), clear, colorless, yellowish or light brown, rounded to sub-rounded, some showing spherical form, some with prismatic habits (Fig. 4). Most zircons are clear but some show minor inclusions. Oscillatory zoning is a common feature as revealed in cathodoluminescence images (Fig. 4). Most zircon grains yielded fairly high Th/U ratios, but 3 grains display very low Th/U ratios, below 0.07, typical of metamorphic-melt zircon crystals.

The sample is dominated by a large peak at 2.1 Ga, but show other important peaks at 795 Ma, 1.0 Ga, 1.5 Ga, and 1.8 Ga, and minor Archean zircons (Fig. 7). The youngest non-metamorphic zircon age at  $792 \pm 5.8$  Ma (Fig 4), and the oldest age at  $3086 \pm 16$  Ma.

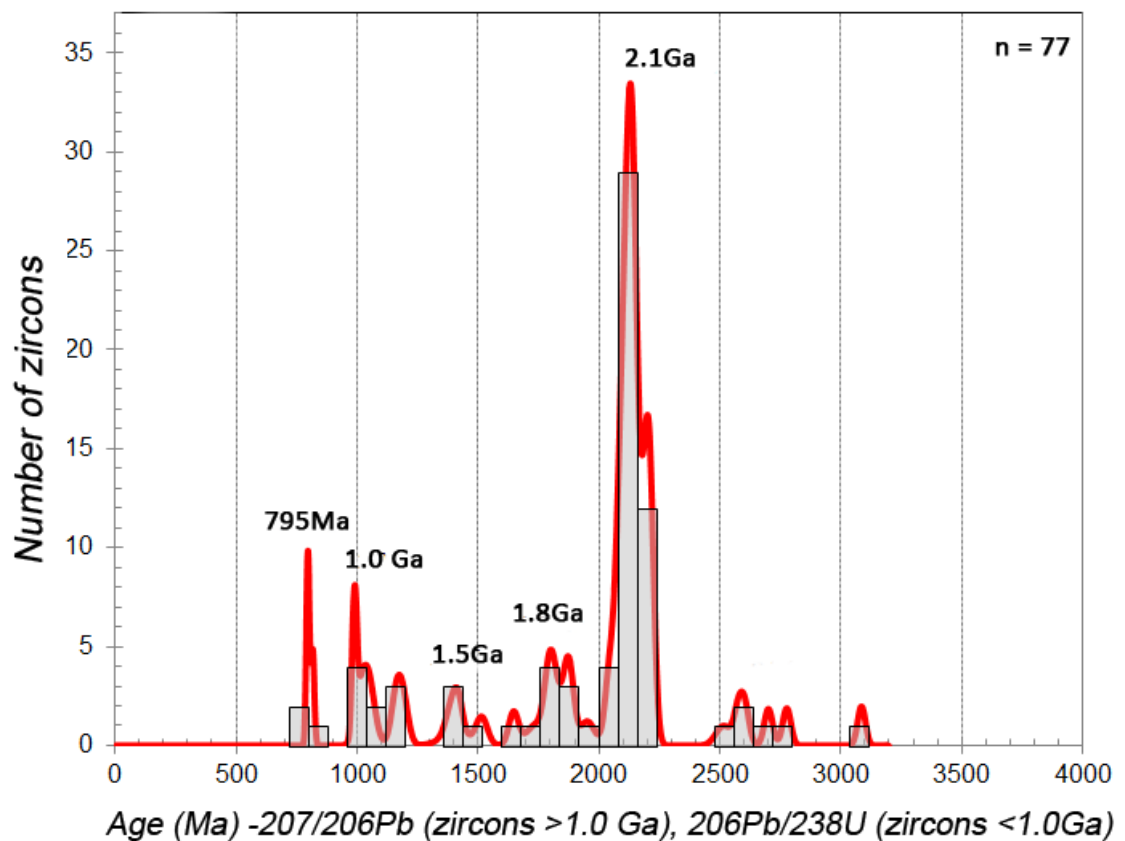


Figure 7 - Histogram and probability density plot of detrital zircons from sample VH3. Only zircons with Th/U > 0.2 are used in this diagram.

**SAMPLE A309** (264105, 7889294, UTM 23K) - Its a fine-grained quartz-mica schist from a land road near the town of Perdizes (40 km away from the other three samples towards the northwest; Fig. 2). From a total of 139 zircon grains,

79 grains showed less than 10% discordance. This sample contains much smaller zircons than other samples (vast majority less than 70  $\mu\text{m}$ ), they are black to light brown, less rounded and more prismatic than previous samples and some show typical metamorphic habits (Fig. 4). Most grains are not clear and show inclusions and 13 grains display very low Th/U ratios, below 0.07, typical of metamorphic-melt zircon crystals.

The main age peaks occur at 750 Ma, with minor peaks at 580 Ma, 900 Ma, 1.2 Ga, 1.5 Ga, and 2.0 Ga, with one zircon at 2.4 Ga. The youngest zircon ages are at  $555 \pm 20$  Ma,  $578 \pm 19$  Ma and  $591 \pm 13$  Ma (Fig 4). Those three zircon grains define a Concordia Age of  $580 \pm 19$  Ma (Fig. 9).

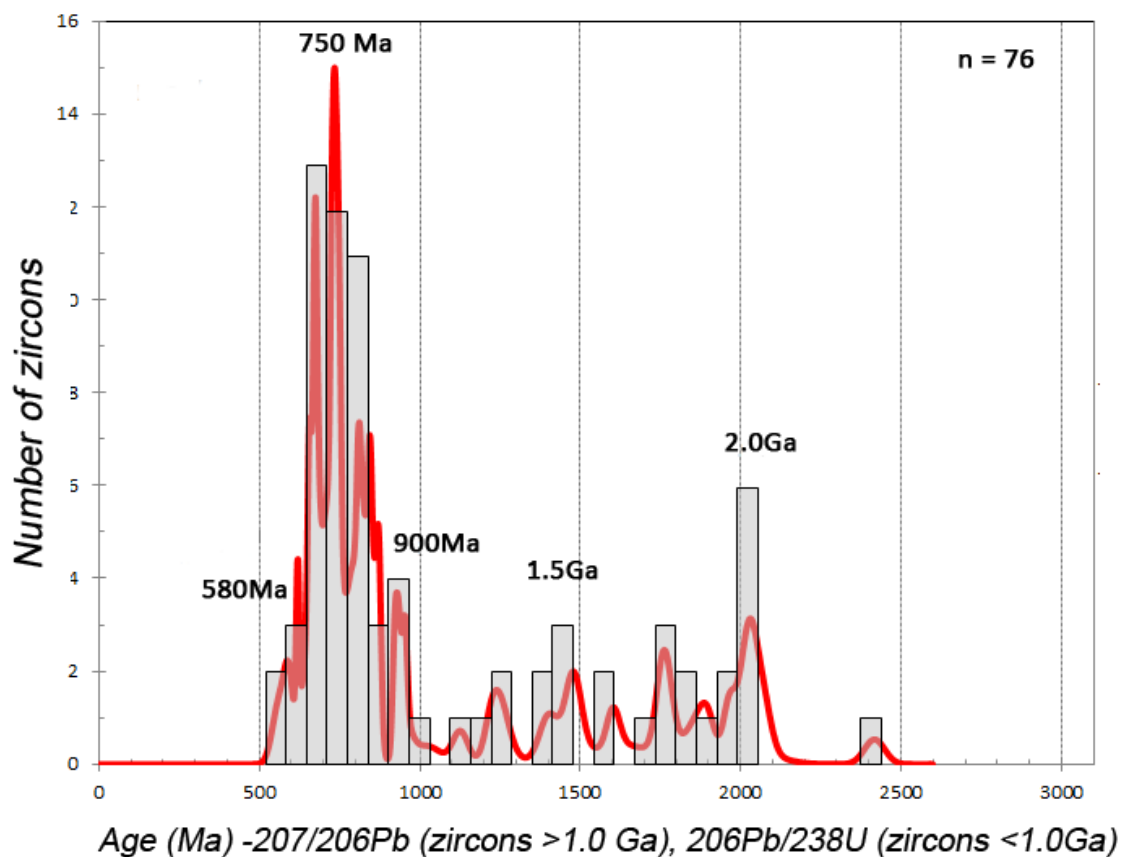


Figure 8 - Histogram and probability density plot of detrital zircons from sample A309. Only zircons with Th/U > 0.2 are used in this diagram.

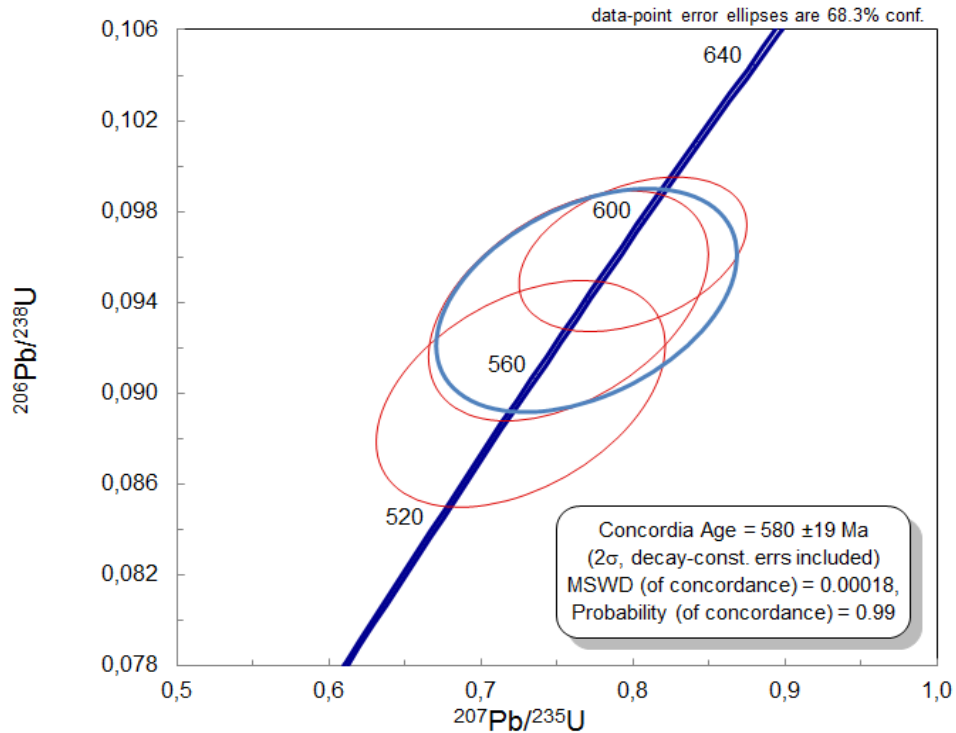


Figure 9 – Wetherill Concordia diagram constructed with the younger concordant zircon population of sample A309.

#### 4.2 Sm-Nd and Sr-Sr analyses

Table 1 shows the results obtained for the Sm-Nd and Sr-Sr isotope analyses. Values of  $\epsilon\text{Nd}$  were recalculated to  $t=600$  Ma, in order to facilitate the comparison between the isotopic parameters of the different samples. Samples AR1, A555 and VH3 show very similar Paleoproterozoic  $T_{\text{DM}}$ , between 1.8 and 2.2 Ga with  $\epsilon\text{Nd}(t)$  around -10, defining an homogeneous group in the diagram of Figure 10. Values of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  are also high for these samples, with samples A555 and VH3 around 0.76 and sample AR1 showing an anomalously high value of 0.891286. The latter is from the classic outcrop were Barbosa (1955) defined the Araxá Group.

Sample PH-02 (296788, 7813012, UTM 23K), on the other hand, yielded completely different results as compared to the previously defined group. This sample yielded a  $T_{\text{DM}}$  of 1.4 Ga with a much higher  $\epsilon\text{Nd}(t)$  of -0.85. The value of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.719228$  is the lower of the dataset and very distinct from those of the other group.

Table 1 – Sm-Nd and Sr-Sr whole-rock data for samples of the Araxá Group.

Sample	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\sigma$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon\text{Nd}(600$ Ma)	TDM (Ga)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$
A555	2.9	14.5	0.511856	0.000004	0.123020	-9.58	2.0	0.777697	0.000
AR1	6.3	33.5	0.511821	0.000004	0.112986	-9.49	1.8	0.891286	0.000
PH-02	5.9	26.0	0.512362	0.000007	0.138047	-0.85	1.4	0.719228	0.000
VH3	4.0	19.1	0.511784	0.000003	0.126701	-11.27	2.2	0.760972	0.000

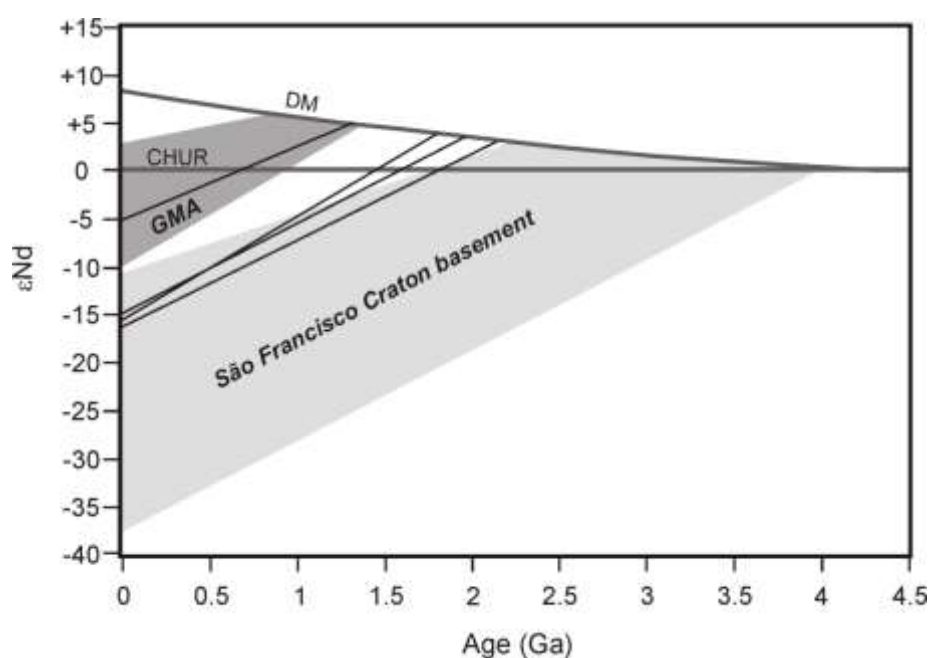


Figure 10 – Nd isotope evolution diagram for samples of the Araxá Group in its type-area. The grey fields represent the plotting area of samples from the São Francisco Craton basement (data from Teixeira et al., 1996 and Noce et al., 2000) and from the Goiás Magmatic Arc (GMA; data from Pimentel and Fuck, 1994). Samples A555, AR1 and VH3 cluster in a group closer to the São Francisco Craton field, while sample PH2 plots entirely within the GMA field.

## 5 – DISCUSSION

### 5.1 - Possible source areas

The U–Pb data of detrital zircon grains of the Araxá metasedimentary rocks indicate several possible sources of sediment as shown in the four histograms presented in the results. To discuss the possible source areas of the

precursor sediments of the Araxá Group we have to take into account the spatial location of the studied rocks. The Araxá Group lay at the western border of the São Francisco Craton and in the external portion of the Brasília Belt. Thus, the search for possible source areas for the zircons must take into account the different age domains observed in each one of those major tectonic units.

The São Francisco Craton is made up of Archean blocks (3.4–2.5 Ga) that are joined together by Rhyacian Orogens (2.2–2.0 Ga; Teixeira et al., 1996; Noce et al., 2000; Silva et al., 2002; Barbosa and Sabaté, 2004), thus the **2.5 - 3.0 Ga** and **2.0 – 2.2 Ga** zircons probably came from these sources. Alternatively, the reworked basement in the innermost portions of the Brasília Belt also show similar Archean and Paleoproterozoic ages (Pimentel et al., 2004).

Still in the Paleoproterozoic, all samples show contributions from ca. **1.8 Ga** rocks. Those sources are very common in proterozoic metasedimentary rocks of the São Francisco Craton, and commonly ascribed to the magmatic rocks that formed during the Statherian rifting recorded in the Espinhaço and Araí Groups (Cordani et al., 1992; Schobbenhaus et al., 1994; Pimentel et al., 1994). The 1.5 Ga peaks are also probably related to mesoproterozoic rifting, as presented by Danderfer et al. (2009) for acid rocks of the Espinhaço system of this age.

Peaks at **1.2 Ga** may represent Ectasian terrains which are not common within the São Francisco-Congo Craton. However, Mesoproterozoic ages have been reported from other terranes of the Brasília Belt, such as the large mafic-ultramafic layered complexes of Barro Alto, Niquelândia and Canabrava and associated volcano-sedimentary sequences (Correia et al., 1999; Pimentel et al., 2004; Moraes et al., 2006). Recently, Klein (2008) characterized an exotic terrain interpreted as an accreted magmatic arc formed at the end of the Mesoproterozoic, with an age of 1.2 Ga, represented by the Nova Aurora orthogneisses with crops out to the northwest of the studied area, in an inner position of the external Brasília Belt. Those could also possibly be a main source for zircons of this age range.

Peaks at **1.0 Ga** may represent a restricted magmatic episode established during the Tonian in the western area of the São-Francisco-Congo paleocontinent, represented by dike swarms (Machado et al., 1989; Renne et al., 1990; Corrêa-Gomes and Oliveira., 1997; Danderfer et al., 2009). Besides that, tonian zircons are common within all of the metasedimentary units of the São Francisco Craton and surrounding fold belts (Buchwaldt et al., 1999; Pedrosa-Soares et al., 2000; Figueiredo et al., 2009; Rodrigues et al., 2010; Dias et al., 2011; Babinski et al., 2012; Caxito et al., 2012b, 2014).

Some samples show important peaks at around **840 Ma**, such as sample AR1. The source of those zircons is probably the Quebra Anzol granite, interpreted by Seer and Moraes (2013) as emplaced in a rift-related, intraplate setting, with ages of ca. 833 Ma.

**The 750/790Ma** peak is especially important in sample A309. It can be associated with granites of ca. 790 Ma which outcrop nearby, represented by the pre-collisional Monte Carmelo Granitic Complex (Seer and Moraes, 2013). Another possible source area for the peaks are the Maratá granites which outcrop near the Uberlândia town region and in southern Goiás, also dated by Pimentel et al. (1992) at ca. 790 Ma. Those are very important units because they are interpreted as exotic terranes – magmatic arcs which were accreted to the western São Francisco Craton margin during the Brasiliano collision. If erosion of those sources provided the ca. 790 Ma zircons, then those samples are related to proximal sources contained in the internal portion of the Brasília Belt, and not present in the São Francisco Craton area. Thus, samples with ca. 790 Ma zircon grains record an important off-craton provenance vector.

**The 650 Ma** peaks may represent zircons from the collisional magmatism, which is already well characterized in the region and with metamorphic peak between 640 and 637 Ma (Seer and Moraes, 2013). This is represented by the granitic bodies of Serra Velha, Tamanduá, Pirapetinga, Galheirinho, Perdizes, Estrela do Sul and Cascalho Rico, generated from the reworking of continental neo and mesoproterozoic crust. Thus, samples containing ca. 650 Ma detrital zircons show a strong off-craton provenance, testifying for the erosion of the Brasília Belt.

The few ca. **580 Ma** zircon grains found could be related to metasomatism of the zircon grains, as those ages are not well-characterized in the literature of the area, except for metamict zircons of gneissic units of the external Brasília nappes (e.g. Zogheib, 2016). Curiously, in the work of Dias et al. (2011), a single concordant detrital zircon with a Concordia age of  $592 \pm 3$  Ma (99% concordance) was found in a sample of the Ibiá Formation. This might point to sources which were not yet described in the region and not fully understood. The presence of a few zircon grains of ca. 580 Ma in sample A309 indicates that this sample is very distinct from the others and might involve the erosion of sources related to the last stages of magmatism in the external Brasília Belt.

## **5.2. Interpretation of the Sm-Nd and Rb-Sr isotope dataset**

As shown in Table 2 and Figure 10, samples AR1, A555 and VH3 define an homogeneous group with Paleoproterozoic  $T_{DM}$  and  $\epsilon Nd(t)$  around -10. This diagram also show the field into which samples of the two main inferred source areas plot: The São Francisco Craton basement and juvenile Neoproterozoic rocks of magmatic arcs of the Brasília Belt. The group defined by samples AR1, A555 and VH3 plot almost entirely within the São Francisco Craton field, reflecting the strong influence of this source area in the provenance of those samples. On the other hand, sample PH-02, which yielded Mesoproterozoic TDM and a much higher  $\epsilon Nd(t)$  close to the CHUR (Chondritic Uniform Reservoir) standard, plot entirely within the Goiás Magmatic Arc field. This reflects a strong arc provenance for this sample.

It is important to note that even though samples A555 and VH3 showed minor peaks of Neoproterozoic zircons (at ca. 650 Ma and ca. 790 Ma, respectively), the influence of the cratonic basement in the sedimentary provenance of those samples, as inferred from Paleoproterozoic  $T_{DM}$ , is preponderant. This is also suggested by the broad and heterogeneous detrital zircon age patterns, reflecting the erosion of multiple sources within the craton.

The  $^{87}Sr/^{86}Sr$  isotope ratios also reflect this situation. Samples A555 and VH3 show fairly high values of around 0.76, reflecting the erosion of old continental sources, while sample PH2, which reflects a stronger juvenile arc contribution, show lower  $^{87}Sr/^{86}Sr$  of 0.719228, which is relatively closer to mantelic values. Sample AR1 is anomalous because it shows a very high value of 0.891286. It also shows the youngest  $T_{DM}$  of the older set of samples, at 1.8 Ga. This might reflect a higher contribution of the erosion of igneous sources related, for example, with the bimodal magmatism of the Espinhaço rift system within the São Francisco Craton basement.

### **5.3. Comparison with other units of the Brasília Belt**

Piuzana et al. (2003) presented U–Pb ages of detrital zircon grains and  $T_{DM}$  model ages of a sample of mica schist interpreted as correlative to the Araxá Group in the central part of the Brasília Belt, near Anápolis, Goiás, very close to the Goiás Magmatic Arc, but 500 km to the northwest of the region studied here. This sample yielded a very prominent Neoproterozoic peak at ca. 650 Ma peak with only minor Paleoproterozoic peaks (Figure 11), thus suggesting that the main source area is the Goiás Magmatic Arc to the West. The Araxá Group was

then interpreted as a whole as deposited in an arc-related or syn-orogenic basin within the Brasília Belt precursor basins.

In the present work, however, samples of the Araxá Group show distinct age patterns, depending on their position inside the Araxá nappe. Three of the samples (AR1, A555 and VH3) show major Paleo and Mesoproterozoic peaks. Those samples are located in the SE portion of the Araxá nappe, lying very close to the São Francisco Craton, and show a distinct cratonic provenance with a minor contribution from ca. 790 Ma local source areas, like the Monte Carmelo Magmatic Arc. In effect, the detrital zircon age spectra of those samples are very similar from those of the Canastra Group, classically interpreted as part of the São Francisco paleocontinent western passive margin (Figure 11), for example in the works of Valeriano et al. (2004a) and Rodrigues et al. (2010).

On the other hand, sample A309, which lays in the northwestern portion of the Araxá nappe, and thus in the upper portions of the nappe system, shows a very different age pattern, with a major Neoproterozoic peak and minor Meso and Paleoproterozoic provenance (Fig. 10). This sample is also closer to the major Neoproterozoic granitic intrusions of the Brasília Belt (Fig. 2). This sample shows a clear distinct provenance than the other three, suggesting erosion of the Brasília Belt collisional granites and minor contribution from the São Francisco Craton basement. In effect, this sample's pattern is very similar from that found by Piuzana et al. (2003) for samples of the Araxá Group in the Goiás state, in the innermost reaches of the Brasília Belt, and also similar to the detrital zircon patterns found for the Rio Verde Formation of the Ibiá Group (Rodrigues et al., 2010; Dias et al., 2011).

The diagrams of Fig. 11 show a comparison of probability density plots of samples from the Canastra (Rodrigues et al., 2010) and Araxá Groups both in Minas Gerais (this work) and Goiás (Piuzana et al., 2003). Samples are arranged such as the lower samples lie closer to the cratonic border and in a lower position in the nappe system, while the upper samples are progressively to the northwest and in upper positions in the nappe system. In this diagram, it is interesting to note the trend of the samples showing greater influence of older cratonic sources at the base and progressively stronger magmatic arc influence towards the top. This might reflect a very important provenance shift in the Araxá nappe system with progressively younger sources towards the west and towards the top of the stacked nappe pile.

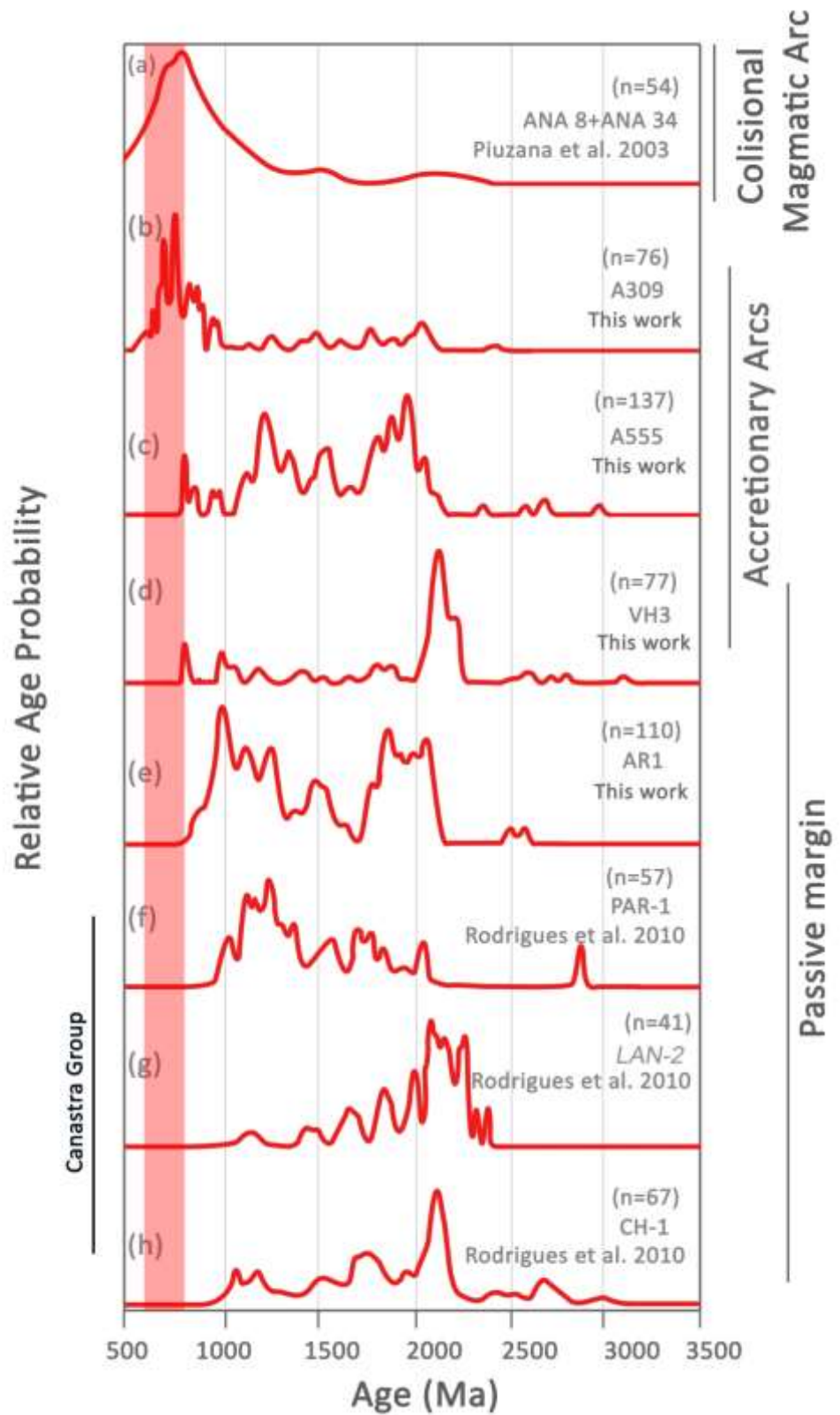


Figure 11 – Probability density plots of samples from the Canastra and Araxá Groups both in Minas Gerais (this work) and Goiás (Piuzana et al., 2003). Samples are arranged such as the lower samples lie closer to the cratonic border and in a lower position in the nappe system, while the upper samples are

progressively to the northwest and in upper positions in the nappe system. Note the trend of the samples showing greater influence of older cratonic sources at the base and progressively stronger magmatic arc influence towards the top. The shaded light red field represents the main interval of syn-collisional magmatism in the Brasília Belt.

#### **5.4. Tectonic significance of the Araxá Group**

From the discussion above, it can be assumed that what is today mapped as “Araxá Group” is, in fact, a collection of different metasedimentary schistose units with distinct provenance, and probably, distinct tectonic setting, deposited in different times during the Brasília Belt evolution.

Samples in the southeasternmost reaches of the Araxá nappe clearly show a very important cratonic provenance, similarly to those of the Canastra Group. Thus, one interpretation is that this part of the Araxá Group corresponds to the distal portion of the cratonic passive margin, and is thus correlated to the Canastra Group which corresponds to the proximal portion of this passive margin as described by Dardenne (2000) and Valeriano et al. (2004). Both units show very similar detrital zircon age patterns, with a preponderance of Archean and Paleoproterozoic ages compatible with the erosion of the São Francisco Craton basement.

Thus, part of the Araxá Group in its type area might correspond to a distal passive margin of the western São Francisco paleocontinent (Figure 12a). This margin faced a large ocean during the Neoproterozoic (the Brasilides ocean), which was progressively closed through the accretion of magmatic arcs, beginning at ca. 1.2 Ga (Klein, 2008) with the Nova Aurora orthogneisses. The existence of oceanic crust to the west of the São Francisco paleocontinent in the area is attested by the amphibolite bodies interleaved as tectonic slices within the Araxá metasedimentary rocks, interpreted as remnants of a Neoproterozoic oceanic crust by Seer et al. (2001).

The minor ca. 790 Ma zircon peaks found in samples A555 and especially in sample A309 might be related to the progressive approximation of one of the Neoproterozoic arc systems which were later accreted to the São Francisco Craton western margin, probably the Monte Carmelo / Maratá arc system (Figure 12b). Thus, these samples show a distinct tectonic setting, related to the accretionary phase of the Brasília Belt and the approximation of exotic arc systems to the western São Francisco Craton margin.

With the continuous accretion of arc systems, continental collision between the São Francisco and Paranapanema cratons finally took place at ca. 650 Ma ago. This generated the Brasília Belt, east-verging nappe stacking and metamorphism in the Araxá synform, obduction of oceanic crust slices represented by the amphibolite bodies interleaved within the Araxá Group (Figure 2; Seer et al., 2001), and a large volume of syn-tectonic magmatic melts which intruded the metasedimentary units in the external Brasília Belt (Figure 11c). In this moment, there is an important provenance shift in the sedimentary units of the Araxá nappe system. Sediments become prominently sourced from the uplifted orogenic area, thus bearing an important ca. 650 Ma age peak. This peak is clearly seen both in sample A309 and in samples from the inner portion of the Brasília Belt as described by Piuzana et al. (2003). Thus, we here suggest that those schists are not part of the Araxá Group *sensu strictu*, but were instead deposited in a different basinal setting (syn-orogenic basin) at the final stages of the Brasília Belt evolution. This basin setting is similar to that described by Dias et al., (2011) for the Ibiá Group, as related with a syn-orogenic basin.

Thus, our data supports a view that the “Araxá Group” is in fact composed by different schists deposited in different times and tectonic settings, which were later juxtaposed tectonically by nappe stacking upon the São Francisco Craton western margin during the Brasiliano Orogeny. There is a very important provenance shift recorded in the external units of the southern Brasília Belt, with a major cratonic provenance in the lowermost units being superseded by a major off-craton, orogen-sourced provenance in the topmost units. This sedimentary shift records the approximation and accretion of the Brasília Belt inner arc systems to the western São Francisco Craton margin during the Neoproterozoic, culminating with continental collision between the São Francisco and Paranapanema plates at about 630-650 Ma ago. In effect, the interpretation put forward in the models of Fig. 12 implicates that the Araxá Group in its type-area might be best interpreted as a typical tectonic *mélange*, with sedimentary rocks from both the passive margin and syn-orogenic setting becoming tectonically interleaved with slices of oceanic crust and syn-orogenic granitoids during the Brasiliano Orogeny, and then thrust together upon the western São Francisco Craton margin.

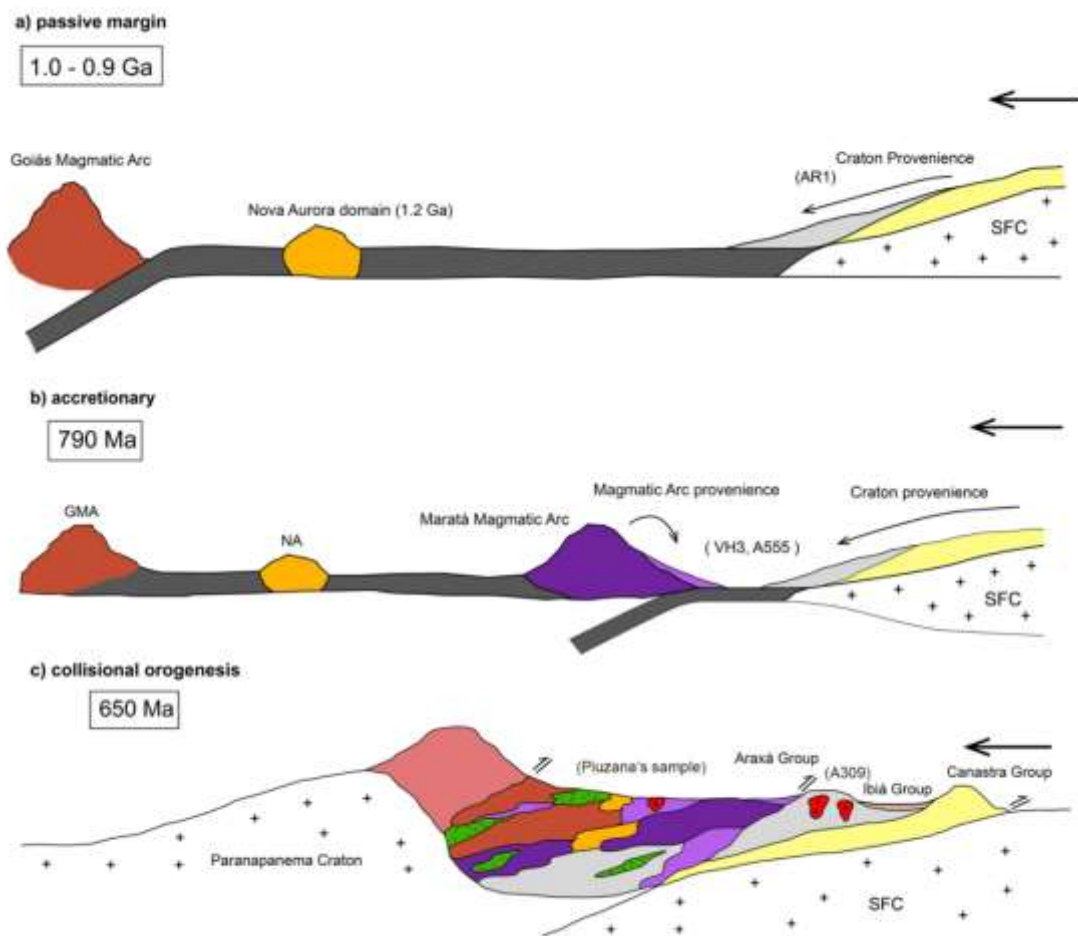


Figure 12 - Simplified tectonic model for the evolution of the southeastern Brasília Belt external units, focused on the rocks of the Araxá Group. See text for discussions.

## 6 – CONCLUSIONS

Based on the U-Pb, Sm-Nd and Sr-Sr data presented in this paper, it is possible to reach the following main conclusions:

- Samples of metasedimentary rocks outcropping in the Araxá nappe show very distinct provenances dependent on their position within the nappe system. Samples which are closer to the São Francisco Craton and in a lower position in the nappe system show a major cratonic provenance, with detrital zircon U-Pb age peaks between 1.0 and 2.5 Ga. One sample collected on the extreme NW reaches of the nappe, however, showed a very distinct provenance pattern with a major Neoproterozoic peak at ca. 650 Ma. This sample lies closer to the Neoproterozoic granite intrusions of the inner Brasília Belt and in an upper position in the nappe system. Thus, a very important sedimentary provenance shift is recorded within the external Brasília Belt units.
- The lowermost units of the Araxá Group are related with the distal São Francisco Craton passive margin, and thus chrono-correlated with the Canastra Group which corresponds to the proximal passive margin. The interpretation of amphibolite bodies interleaved within the Araxá Group in this area as obducted oceanic crust slices reinforces the suggestion that part of the Araxá Group represents a distal passive margin.
- The sedimentary shift recorded in the uppermost units might be interpreted as related to the accretion of the Neoproterozoic arc systems of the Brasília Belt in the western São Francisco Craton margin, culminating with the collision of the São Francisco and Paranapanema plates. This is similar to what is observed in the innermost Brasília Belt metasedimentary units, interpreted as deposited in syn-orogenic basins, but also for the Ibiá Group in the Araxá nappe system.
- What is today mapped as “Araxá Group” might in effect represent distinct sedimentary units deposited in different basinal settings at different times and in distinct tectonic environments throughout the Neoproterozoic. Later, during the Brasiliano Orogeny, those units were tectonically juxtaposed through nappe stacking and metamorphosed up to the

amphibolite facies, difficulting the recognition of the original stratigraphic relations. What is today recognized as the Araxá Group might, in effect, represent a typical tectonic *mélange*, with sedimentary rocks from both the passive margin and syn-orogenic settings becoming tectonically interleaved with slices of oceanic crust and syn-orogenic granitoids during the Brasiliano Orogeny.

- This study demonstrates the power of geochronological techniques, especially the analysis of U-Pb detrital zircon age spectra, in deciphering the tectonic history and provenance of Precambrian sedimentary units, especially those which original stratigraphic relations have been complicated by metamorphism and deformation. A very important future research goal is to separate the very similar rocks of the metasedimentary belts of the external portion of the Brasília Belt, which are today broadly mapped as “Araxá Group” and to recognize its true provenance and tectonic setting, as related either to the São Francisco Craton passive margin or to the various magmatic arcs accreted during the Neoproterozoic in its western border.

## 7 - ACKNOWLEDGMENTS

This study was financially supported by CODEMIG (Companhia de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais – Brazil) and CPMTC-IGC-UFMG through the “Triângulo Mineiro” mapping project.

## REFERENCES

- Alkmim F.F and Martins-Neto M.A. 2001. A bacia intracratônica do São Francisco: Arcabouço estrutural e cenários evolutivos. *In*: Pinto C.P. and Martins-Neto M.A. (eds). *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. SBG-MG, Belo Horizonte, p. 9-30.
- Almeida F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.
- Amorim Dias, P.H., Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Seer, H.J., Dussin, I.A., Valeriano, C.M., Kuchenbecker, M., 2011. O Grupo Ibiá (Faixa Brasília Meridional): Evidências isotópicas Sm–Nd e U–Pb de bacia collisional do tipo Flysch. *Geonomos* 19 (2), 90–99.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Neves, B.B.B., Fuck, R.A., 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sci. Rev.* 17, 1–29.
- Babinski, M., Pedrosa-Soares, A.C., Trindade, R.I.F., Martins, M., Noce, C.M., Liu, D., 2012. Neoproterozoic glacial deposits from the Araçuaí Orogen, Brazil: age, provenance and correlations with the São Francisco craton and West Congo belt. *Gondwana Research* 21 (2–3), 451–465.

- Barbosa O. 1955. Guia das Excursões. In: CONG. BRAS. DE GEOL., 9, 1955, São Paulo. São Paulo: SBG:Not. 3.
- Barbosa, O., 1963. Geologia Econômica e Aplicada a uma Parte do Planalto Central Brasileiro. DNPM/PROSPEC, Goiânia. p. 70.
- Barbosa O, Braun O.P.G., Dyer R.C., Cunha C. 1970. Geologia da região do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, Boletim 136, 140 p.
- Barbosa, J.S., Sabaté, P., 2004. Archean and Paleoproterozoic crust of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil: geodynamic features. *Precambrian Research* 133, 1–27. Braun, O.P.G., 1970. Geologia da Folha de Ipameri. In: Resumo do 24\_ Congresso Brasileiro de Geologia, Brasília.
- Bingen, B., Birkeland, A., Nordgulen, a., Sigmond, E.M.O., 2001. Correlation of supracrustal sequences and origin of terranes in the Sveconorwegian Orogen of SW Scandinavia: SIMS data on zircon in clastic metasediments. *Precambrian Res.* 108, 293–318.
- Braun, O.P.G., Batista, M.B., 1976. Considerações sobre a geologia Pré-Cambriana da região Sudoeste e parte da região Centro-Oeste. In: 29\_ Congresso Brasileiro de Geologia. Resumo dos Trabalhos, Ouro Preto, pp. 27–28.
- Buchwaldt, R., Toulkeridis, T., Babinski, M., Noce, C.M., Martins-Neto, M.A., Hercos, C.M., 1999. Age determination and age related provenance analysis of the Proterozoic glaciation event in central eastern Brazil. *South American Simp. on Isotope Geology*, 2. Serviço Geológico minero Argentino, Córdoba, Argentina, pp. 387–390 (Abstracts).
- Campos-Neto M.C. 1984. Litoestratigrafia, relações estratigráficas e evolução paleogeográfica dos grupos Canastra e Paranoá (Vazante-Lagamar, MG). *Revista Brasileira de Geociências*, 14: n.2: 81-91.
- Caxito, F.A., Halverson, G.P., Uhlein, A., Stevenson, R., Gonçalves-Dias, T., Uhlein, G.J., 2012b. Marinoan glaciation in east-central Brazil. *Precambrian Research* 200, 38–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2012.01.005>.
- Caxito, F.A., Dantas, E.L., Stevenson, R., Uhlein, A., Detrital zircon (U–Pb) and Sm–Nd isotope studies of the provenance and tectonic setting of basins related to collisional Orogens: The case of the Rio Preto fold belt on the northwest São Francisco Craton margin, NE Brazil. *Gondwana Research* 26 (2014) 741–754.
- Cordani, U.G., Iyer, S.S., Taylor, P.N., Kawashita, K., Sato, K., McReath, I., 1992. Pb–Pb, Rb–Sr and K–Ar systematics of the Lagoa Real uranium province (south-central Bahia, Brazil) and the Espinhaço Cycle (ca. 1.5–1.0 Ga). *Journal of South American Earth-Science* 5 (1), 33–46.
- Correia, C.T., Jost, H., Tassinari, C.C.G., Girardi, V.A.V., Kinni, P.D., 1999. Ectasian Mesoproterozoic U–Pb ages (SHRIMP II) for the metavolcanosedimentary sequence of Juscelândia and Indaianópolis and for high grade metamorphosed rocks of Barro Alto stratiform igneous Complex, Goiás State, Central Brazil. In: Second South American Symposium on Isotope Geology. Abstract, Cordoba, pp. 31–33.
- Corrêa-Gomes, L.C., Oliveira, E.P., 1997. O enxame radial gigante de diques máficos da província Bahia-Congo: implicações reológicas e tectônicas da presença de uma pluma mantélica na interfície América do Sul–África, 1.0 Ga atrás. In: V SNET-Simp. Nac. Estudos Tectônicos, pp. 54–55.
- Costa M.T. and Branco J.J.R. 1961. Introdução. In: Branco J.J.R. (ed.) Roteiro para a excursão Belo Horizonte – Brasília. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 14, Belo Horizonte, *Anais*, 15:1-119.

- Dardenne M.A. 2000. The Brasília FoldBelt. In: Cordani U.G.; Milani E.J.; Tomas Filho A. and Campos D.A., eds. TECTONIC EVOLUTION OF SOUTH AMERICA, p. 231-263. 31 International Geological Congress, Rio de Janeiro.
- Danderfer, A., De Waele, B., Pedreira, A.J., Nalini, H.A., 2009. New geochronological constraints on the geological evolution of Espinhaço basin within the São Francisco Craton–Brazil. *Precambrian Research* 170 (1–2), 116–128.
- Dias P.H.A. 2011. Estratigrafia e Tectônica da Faixa Brasília na Região de Ibiá, Minas Gerais: Estudo de Proveniência Sedimentar dos grupos Canastra e Ibiá, com base em estudos isotópicos U-Pb e Sm-Nd. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Dissertação de Mestrado.
- Falci A., Seer H.J., Moraes L.M., 2016. Geologia da Folha Perdizes, escala 1:100.000. Belo Horizonte, CODEMIG-Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais.
- Fedo, C.M., Sircombe, K.N., Rainbird, R.H., 2003. Detrital zircon analysis of the sedimentar record. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 53, 277–303.
- Figueiredo, F.T., Almeida, R.P., Tohver, E., Babinski, M., Liu, D., Fanning, C.M., 2009. Neoproterozoic glacial dynamics revealed by provenance of diamictites of the Bebedouro Formation, São Francisco Craton, Central Eastern Brazil. *Terra Nova* 21, 375–385.
- Froude DO, Ireland TR, Kinny PD, Williams IS, Compston W, Williams IR, Myers JS (1983) Ion microprobe identification of 4,100–4,200 Myr-old terrestrial zircons. *Nature* 304:616-618
- Haas, G.J.L.M. de, Andersen, T., Vestin, J., 1999. Detrital zircon geochronology: new evidence for an old model for accretion of the Southwest Baltic Shield. *J. Geol.* 107, 569–586.
- Haughton, P.D.W., Todd, S.P., Morton, A.C., 1991. Sedimentary provenance studies. In: Morton, A.C., Todd, S.P., Haughton, P.D.W. (Eds.), *Developments in Sedimentary Provenance Studies*. Geological Society Special Publication, 57, pp. 1–11.
- Hoskin, P.W.O., Schaltegger, U., 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Rev. Mineral. Geochem.* 53, 27–62.
- Klein P.B.W. 2008. Geoquímica de Rocha Total, Geocronologia de U-Pb e Geologia Isotópica de Sm-Nd das Rochas Ortognáissicas e Unidades Litológicas Associadas da Região Ipameri – Catalão (Goias). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Tese de Doutorado.
- Klötzli, U., Klötzli, E., Günes, Z., Košler, J. 2009. Accuracy of Laser Ablation U-Pb Zircon Dating: Results from a Test Using Five Different Reference Zircons. *Geostandards And Geoanalytical Research*, 33: 5–15.
- Ludwig, K.R., 2003. Using Isoplot/Ex, Version 3.00, a Geochronological Tool Kit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center. *Special Publication* 1, p.43.
- Rodrigues J.B., Pimentel, M.M., Dardenne M.A., Armstrong R.A. 2010. Age, provenance and tectonic setting of the Canastra and Ibiá groups (Brasília belt, Brazil): implications for the age of a Neoproterozoic glacial event in central Brazil. *JSA - Journal of South American Earth-Sciences*, 29: 512-521.
- Schobbenhaus, C., Hoppe, A., Baumann, A., Lork, A., 1994. Idade U-Pb do vulcanismo Rio dos Remédios, Chapada Diamantina, Bahia. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú. Anais, 2, pp. 397–399.

- Seer H.J. 1999. Evolução Tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na sinforma de Araxá, Araxá, Minas Gerais. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Tese de Doutorado nº28.
- Seer H.J. and Dardenne M.A. 2000. Tectonostratigraphic terrane analysis on Neoproterozoic times: the case study of the Araxá Synform, Minas Gerais, Brazil - implications to the final collage of the Gondwanaland. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1):78-81.
- Seer, H.J., Brod, J.A., Fuck, R.A., Pimentel, M.M., Boaventura, G.R., Dardenne, M.A., 2001. Grupo Araxá em sua área tipo: Um fragmento de crosta oceânica neoproterozóica na Faixa de Dobramentos Brasília. *Revista Brasileira de Geociências* 31 (3), 385–396.
- Seer H.J., Brod J.A., Valeriano C.M., Fuck R.A. 2005. Leucogranitos intrusivos no Grupo Araxá: registro de um evento magmático durante colisão Neoproterozóica na porção meridional da Faixa Brasília. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(1): 33-42.
- Seer H. J., Moraes., 2013. Within plate, arc, and collisional Neoproterozoic granitic magmatism in the Araxá Group, Southern Brasília belt, Minas Gerais, Brazil *Brazilian Journal of Geology*, 43(2): 333-354, June 2013.
- Seer H.J., Moraes L.M., Silva C.H. 2015a. Geologia da Folha Araxá, escala 1:100.000. Belo Horizonte, CODEMIG-Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais.
- Seer H.J., Moraes L.M., Dias P.H.A. 2015b. Geologia da Folha Ibiá escala 1:100.000. Belo Horizonte, CODEMIG-Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais.
- Silva, L.C., Armstrong, R., Delgado, I.M., Pimentel, M.M., Arcanjo, J.B., Melo, R.C., Teixeira, L.R., Jost, H., Cardoso Filho, J.M., Pereira, L.H.M., 2002. Reavaliação da evolução geológica em terrenos Pré- Cambrianos brasileiros com base em novos dados U–Pb SHRIMP, parte I: limite centro-oriental do Cráton São Francisco na Bahia. *Revista Brasileira de Geociências* 32 (4), 501–512.
- Silva C.H., Seer H.J., Moraes L.M., Timm R.L. , Avelar., 2015a. Geologia da Folha Sacramento, escala 1:100.000. Belo Horizonte, CODEMIG-Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais.
- Simões L.S.A. and Navarro G. 1996. Estruturação da Faixa Brasília na região de Araxá, MG. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 39:92-95.
- Strieder, A.J., Nilson, A.A., 1992. Mélange ofiolítica nos metassedimentos do Grupo Araxá de Abadiânia (GO) e implicações tectônicas regionais. *Rev. Bras. Geocienc.* 22, 204–215.
- Machado, N., Schrank, A., Abreu, F.R., Knauer, L.G., Almeida-Abreu, P.A., 1989. Resultados preliminares da geocronologia U–Pb na Serra do Espinhaço Meridional. *Boletim do Núcleo Minas Gerais - Sociedade Brasileira de Geologia* 10, 171–174.
- Mantovani M.S.M. and Brito Neves B.B. de. 2005. The Paranapanema Lithospheric Block: Its Importance for Proterozoic (Rodinia, Gondwana) Supercontinent Theories. *Gondwana Research*, 8 (3):03-315.
- Moraes, R., Fuck, R.A., Pimentel, M.M., Gioia, S.M.C.L., Hollanda, H.B.M., Armstrong, R., 2006. The bimodal rift-related Juscelândia volcanosedimentary sequence in central Brazil: Mesoproterozoic extension and Neoproterozoic metamorphism. *Journal of South American Earth Sciences* 20 (4), 287–301.
- Noce, C.M., Teixeira, W., Quéméneur, J.J.G., Martins, V.T.S., Bolzachini, E., 2000. Isotopic signatures of Paleoproterozoic granitoids from the southern São Francisco Craton and implications for the evolution of the Transamazonian Orogeny. *Journal of South American Earth Sciences* 13, 225–239.

- Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Silva, L.C., Armstrong, R., Piuzana, D., 2007a. Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U–Pb SHRIMP data: implications for Brazil–Africa links in Paleoproterozoic time. *Precambrian Research* 159 (1–2), 60–78. Noce, C.M., Tassinari, C.C.G., Lobato, L.M., 2007b.
- Valeriano C.M., Dardenne M.A., Fonseca M.A., Simões L.S.A., Seer H.J. 2004. A evolução tectônica da Faixa Brasília. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C. D.R., Brito-Neves B.B (Eds.) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques De Almeida*, São Paulo, 575-592. Ed. Beca.
- Pedrosa-Soares, A.C., Cordani, U., Nutman, A., 2000. Constraining the age of Neoproterozoic glaciation in eastern Brazil: first U–Pb (SHRIMP) data from detrital zircons. *Revista Brasileira de Geociências* 30, 58–61.
- Pereira L.F., Dardenne M.A., Rosiere C.A., Pedrosa-Soares A.C. 1994. Evolução geológica dos grupos Canastra e Ibia na região entre Coromandel e Guarda-Mor, MG. *Geonomos*, 2, 1: 22-32.
- Pimentel M.M. and Fuck R.A. 1992. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology*, 20: 375-379.
- Pimentel, M.M., Machado, N., Lobato, L.M., 1994. Geocronologia U-Pb de rochas graníticas e gnássicas da região de Lagoa Real, Bahia, e implicações para a idade da mineralização de Urânio. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú. Anais, 2, pp. 389–390.
- Pimentel M.M., Fuck R.A., Botelho N.F. 1999. Granites and the geodynamic history of the Brasília Belt, central Brazil: a review. *Lithos* 46: 463-483.
- Pimentel, M.M., Machado, N., Lobato, L.M., 1994. Geocronologia U-Pb de rochas graníticas e gnássicas da região de Lagoa Real, Bahia, e implicações para a idade da mineralização de Urânio. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú. Anais, 2, pp. 389–390.
- Pimentel M.M.; Fuck R. A.; Jost H.; Ferreira Filho C.F.; Araújo S.M. 2000. The basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás Magmatic Arc. In: Cordani U.G., Milani E.J., ThomazFilho A., Campos D. A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. p. 195-229. XXXI International Geological Congress (Rio de Janeiro).
- Pimentel M.M., Dardenne M.A., Fuck R.A., Viana M.G., Junges S.L., Fischel D.P., Seer H.J., Dantas E.L. 2001. Nd isotopes and the provenance of detrital sediments of the Neoproterozoic Brasília Belt, Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 14:571-585.
- Pimentel, M.M., Machado, N., Lobato, L.M., 1994. Geocronologia U-Pb de rochas graníticas e gnássicas da região de Lagoa Real, Bahia, e implicações para a idade da mineralização de Urânio. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú. Anais, 2, pp. 389–390.
- Pimentel M.M., Rodrigues J.B., Dellagiustina M.E.S., Junges S.L., Matteini M., Armstrong R. 2011. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS UePb sedimentary provenance data: A review. *Journal of South American Earth-Sciences*, 31: 345-357
- Piuzana, D., Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Armstrong, R., 2003. SHRIMP U–Pb and Sm– Nd data for the Araxá Group and associated magmatic rocks: constraints for the age of sedimentation and geodynamic context of the southern Brasília Belt, Central Brazil. *Precambrian Research* 125, 139–160.

- Renne, P.R., Onstott, T.C., D'Agrella-Filho, M.S., Pacca, I.G., Teixeira, W., 1990.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of 1.0–1.1 Ga magnetizations from the São Francisco and Kalahari Cratons: tectonic implications for Pan-African and Brazilian mobile belts. *Earth and Planetary Science Letters* 101, 349–366.
- Rubatto, D., 2002. Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. *Chem. Geol.* 184, 123–138.
- Slama, J., Kosler, J., Condon, D.J., Crowley, J.L., Gerdes, A., Hanchar, J.M., Horstwood, M.S.A., Morris, G.A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M.N., Whitehouse, M.J., 2008. Plesovice zircon—a new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology* 249, 1–35.
- Tanaka, T., S. Togashi, H. Kamioka, H. Amakawa, H. Kagami, T. Hamamoto, M. Yuhara, Y. Orihashi, S. Yoneda, H. Shimizu, T. Kunimaru, K. Takahashi, T. Yanagi, T. Nakano, H. Fujimaki, R. Shinjo, Y. Asahara, M. Tanimizu, and C. Dragusanu (2000), JNdi-1: a neodymium isotopic reference in consistency with Lajolla neodymium, *Chemical Geology*, 168, 279-281
- Teixeira, W., Carneiro, M.A., Noce, C.M., Machado, N., Sato, K., Taylor, P.N., 1996. Pb, Sr and Nd isotope constraints on the Archaean evolution of gneissic-granitoid complexes in the southern São Francisco Craton, Brazil. *Precambrian Research* 78, 151–164.
- Valeriano C.M., Machado N., Simonetti A., Valladares C.S., Seer H.J., Simões L.S.A. 2004a. U-PB Geochronology of the southern Brasília Belt (SE Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic Orogeny and assembly of West-Gondwana. *Precambrian Research*, 130(1-4):27-55
- Van Achterbergh, E., Ryan, C.G., Jackson, S.E., Griffin, W., 2001. Data reduction software for LAICP-MS. In: Sylvester, P. (Ed.), *Laser Ablation ICPMS in the Earth Science*, 29. Mineralogical Association of Canada, pp. 239–243.
- Zogheib, Frederico. Caracterização da nappe Guaxupé na região de Nova Resende, Faixa Brasília Meridional, Minas Gerais. 2016. 149 f. Dissertação - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2016.

## 6. DISCUSSÕES

---

A partir dos dados U-Pb de zircão detrítico, Sm-Nd e  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , pode-se inferir que o que é mapeado hoje como "xistos do Grupo Araxá" é, na verdade, uma coleção de diferentes unidades metasedimentares com proveniência e ambiente tectônico distintos depositados em diferentes momentos durante a evolução da Faixa Brasília, que foram amalgamados durante as fases finais da Orogênese Brasileira.

As amostras a sudeste da área de estudo, mais próximas à cidade de Araxá mostram claramente uma proveniência predominantemente cratônica, semelhante às rochas do Grupo Canastra. Assim, uma interpretação é que esta parte do Grupo Araxá corresponde à porção distal da margem passiva cratônica, sendo correlacionada com o Grupo Canastra que corresponde à porção proximal desta margem passiva como definida por Dardenne (2000), Trouw *et al.* (2000) e Valeriano *et al.* (2004). Essas rochas metasedimentares apresentam uma similaridade das idades dos zircões, com predominância de idades arqueanas e paleoproterozóicas e idade máxima em cerca de 1,0 Ga, compatíveis com a erosão de rochas provenientes do Cráton São Francisco.

Esta margem passiva estava relacionada com o oceano Brasilides, que foi progressivamente fechado com a acreção de diversos arcos magmáticos oceânicos à oeste, como os ortognaisses Nova Aurora de 1,2 Ga (Klein, 2008), o sistema de arcos Monte Carmelo / Maratá de 790 Ma, descritos por Pimentel *et al.* (1992) e Seer & Moraes (2013), e possivelmente outros arcos ainda não

definidos. A existência de crosta oceânica a oeste do paleocontinente São Francisco na área é atestada pelos corpos de anfibolito intercalados dentro das rochas metassedimentares do Grupo Araxá, interpretados como restos de crosta oceânica Neoproterozóica por Seer et al. (2001).

Os picos de 790 Ma encontrados nos zircões da amostra A555 e especialmente da amostra A309 podem estar relacionados com a aproximação gradual de um dos sistemas de arco neoproterozóicos que foram mais tarde agregados à margem ocidental do Cráton São Francisco, possivelmente o sistema de arco Monte Carmelo / Maratá. Com o contínuo fechamento do oceano e a acresção contínua dos sistemas de arcos, ocorre finalmente a cerca de 650 Ma a colisão continental entre as cratons São Francisco e Paranapanema, formando a Faixa Brasília, com o empilhamento dos sistemas de nappe, o metamorfismo na nappe Araxá, a obdução de fatias de crosta oceânica representadas pelos anfibolitos intercalados dentro do Grupo Araxá, e intrusão de um grande volume de granitos sin-tectônicos formados pela fusão dos próprios xistos do Grupo Araxá. Neste momento, ocorreu uma importante mudança de proveniência nas unidades metassedimentares do sistema de nappes Araxá. O sistema orogênico recém formado torna-se a principal área fonte dos zircões, gerando um importante pico de 650 Ma de idade. Este pico é claramente visto tanto na amostra A309 quanto nas amostras da porção interior da Faixa Brasília como descrito por Piuzana *et al.*, (2003). Assim sugerimos que esses xistos não fazem parte do Grupo Araxá *strictu sensu*, mas sim que foram depositados em um ambiente bacinal diferente (bacia sin-orogênica) nas fases finais da evolução da Faixa Brasília. Esta configuração de bacia é semelhante ao descrito por Dias *et al.* (2011) para o Grupo Ibiá, como relacionado a uma bacia sin-orogênica.

Assim, nossos dados suportam uma visão de que o "Grupo Araxá" é na verdade composto por diferentes xistos depositados em diferentes épocas e ambientes tectônicos, que mais tarde foram justapostos tectonicamente por empilhamento de *nappes* sobre a margem ocidental do Cráton São Francisco durante o Brasiliano. Desta forma, ocorre uma importante mudança de proveniência registrada nos xistos do Grupo Araxá, com uma importante proveniência cratonica nas unidades mais inferiores sendo substituída por uma proveniência de origem orogênica nas unidades de nível superior. Esta mudança registra a aproximação e acresção dos sistemas de arcos oceânicos da Faixa Brasília à margem ocidental do Cráton do São Francisco, culminando com

colisão continental entre as placas de São Francisco e Paranapanema a cerca de 650 milhões de anos atrás. Desta maneira, a interpretação defendida nesse trabalho, implica que o Grupo Araxá em sua área tipo pode ser melhor interpretado como uma típica *mélange* tectônica, com rochas metassedimentares provindas tanto da margem passiva do cráton quanto do edifício orogênico, sendo tectonicamente intercaladas com fatias de crosta oceânica e granitóides sin-orogênicos durante a formação da Faixa Brasília, e posteriormente empurradas em forma de *nappes* sobre a margem oeste do Cráton São Francisco.

## 7. CONCLUSÕES

---

Com base nos dados U-Pb, Sm-Nd e Sr-Sr apresentados neste trabalho, é possível chegar às seguintes conclusões:

1 - Diferentemente dos dados anteriores da literatura, nesse trabalho as rochas metassedimentares do Grupo Araxá mostraram diversas proveniências. As amostras mais próximas ao Cráton do São Francisco, em uma posição inferior no sistema de *nappes*, mostram uma predominância de proveniência cratônica, com os maiores picos entre 1,0 e 2,5 Ga (amostras AR1, A555 e VH3). Já a amostra coletada no extremo NW da *nappe*, mostrou um padrão de proveniência muito distinto com um pico predominante com cerca de 650 Ma (amostra A309). Esta amostra encontra-se mais perto das intrusões de granitos Neoproterozóicos do interior da Faixa Brasília, em uma posição superior no sistema de *nappes*. Assim, uma mudança muito importante na proveniência sedimentar é registrada dentro das unidades externas da Faixa Brasília, principalmente as mapeadas como Grupo Araxá. Essas diferenças de picos de idade U-Pb são também refletidas nos dois grupos de idade  $T_{DM}$  observados (Paleoproterozóico, entre 1,8 e 2,0 Ga; e Mesoproterozóico, 1,4 Ga) e também nas razões Sr-Sr variando de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  entre 0,761 e 0,891.

2 - As unidades mais inferiores do Grupo Araxá estão possivelmente relacionadas à margem passiva distal do cráton São Francisco, correlacionadas com o Grupo Canastra que corresponde à margem passiva proximal. A interpretação dos corpos anfibolíticos intercalados dentro do Grupo Araxá nesta área como fatias de crosta oceânica obductadas durante a orogênese reforça a sugestão de que parte do Grupo Araxá representa parte de uma margem passiva distal.

3 - A mudança nas idades das fontes registradas nas amostras A555 e VH3 (com pico de ca. 790 Ma) pode ser relacionada com a aproximação e acreção dos sistemas de arco neoproterozóicos da Faixa Brasília à margem ocidental do Cráton São Francisco. Já o pico de ca. 650 Ma da amostra A309 pode indicar deposição em uma bacia sin-colisional, e desta forma, esta porção do que é hoje mapeado como Grupo Araxá se assemelha ao que se observa no Grupo Ibiá, podendo ambas as unidades ser interpretadas como depositadas em bacias sin-orogênicas.

4 - O que hoje é mapeado como "Grupo Araxá" na verdade representa diversas unidades metasedimentares distintas, depositadas em diferentes configurações bacinais (margem passiva, margem acrescionária ativa, ambiente sin-colisional), em diferentes momentos e ambientes tectônicos durante o Neoproterozóico. Mais tarde, durante a Orogênese Brasileira essas unidades foram tectonicamente sobrepostas através de empilhamentos de nappes e metamorfizaram-se na fácies anfibolito, dificultando o reconhecimento das relações estratigráficas originais. O que é hoje reconhecido como o Grupo Araxá, representa uma mistura tectônica de rochas metassedimentares e metaígneas, provenientes tanto de ambiente de margem passiva quanto sin-orogênico (acrescionário e colisional).

5 - Este estudo demonstra o poder de técnicas geocronológicas, especialmente U-Pb em zircão detrítico, para decifrar a história tectônica de unidades sedimentares pré-cambrianas, nos quais as relações estratigráficas

originais foram obliteradas por metamorfismo e deformação. Um importante objetivo para um futuro trabalho seria aprofundar e ampliar os estudos realizados no presente trabalho. Uma forma de se realizar este estudo seria a datação de uma maior quantidade de amostras de uma área ainda mais ampla, para assim realizar a separação das rochas dos diferentes cinturões de xistos da Faixa Brasília, que são hoje amplamente mapeados como "Grupo Araxá", reconhecendo a sua verdadeira proveniência e ambiente tectônico em um aspecto mais regional. Estas rochas podem tanto ser relacionadas à margem passiva do Cráton São Francisco quanto aos vários arcos magmáticos aglutinados durante o Neoproterozóico na sua fronteira ocidental, ou ainda à fase sin-colisional da Faixa Brasília. Aliado a estes estudos, seria de grande importância o mapeamento e datação das diversas unidades graníticas e metamáficas para assim serem bem definidas a história geotectônica e as relações entre todas as unidades presentes na Sinforma Araxá.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Alkmim F.F & Martins-Neto M.A. 2001. A bacia intracratônica do São Francisco: Arcabouço estrutural e cenários evolutivos. *In*: Pinto C.P. & Martins-Neto M.A. (eds). *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. SBG-MG, Belo Horizonte, p. 9-30.
- Almeida F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.
- Amorim Dias, P.H., Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Seer, H.J., Dussin, I.A., Valeriano, C.M., Kuchenbecker, M., 2011. O Grupo Ibiá (Faixa Brasília Meridional): Evidências isotópicas Sm–Nd e U–Pb de bacia collisional do tipo Flysch. *Geonomos* 19 (2), 90–99.
- Andersen, T., Laajoki, K., 2003. Provenance characteristics of Mesoproterozoic metasediments from Telemark, South Norway: a Nd-isotope mass balance model. *Precambrian Research* 126, 95–122.
- Andersen, T. 2005. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: limiting conditions from statistics and numerical simulation. *Chemical Geology* 216 (2005) 249–270.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Neves, B.B.B., Fuck, R.A., 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sci. Rev.* 17, 1–29.

- Babinski, M., Pedrosa-Soares, A.C., Trindade, R.I.F., Martins, M., Noce, C.M., Liu, D., 2012. Neoproterozoic glacial deposits from the Araçuaí orogen, Brazil: age, provenance and correlations with the São Francisco craton and West Congo belt. *Gondwana Research* 21 (2–3), 451–465.
- Barbosa O. 1955. Guia das Excursões. In: CONG. BRAS. DE GEOL., 9, 1955, São Paulo. São Paulo: SBG:Not. 3.
- Barbosa, O., 1963. Geologia Econômica e Aplicada a uma Parte do Planalto Central Brasileiro. DNPM/PROSPEC, Goiânia. p. 70.
- Barbosa O, Braun O.P.G., Dyer R.C., Cunha C. 1970. Geologia da região do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, Boletim 136, 140 p.
- Barbosa, J.S., Sabaté, P., 2004. Archean and Paleoproterozoic crust of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil: geodynamic features. *Precambrian Research* 133, 1–27. Braun, O.P.G., 1970. Geologia da Folha de Ipameri. In: Resumo do 24\_ Congresso Brasileiro de Geologia, Brasília.
- Braun, O.P.G., Batista, M.B., 1976. Considerações sobre a geologia Pré-Cambriana da região Sudoeste e parte da região Centro-Oeste. In: 29\_ Congresso Brasileiro de Geologia. Resumo dos Trabalhos, Ouro Preto, pp. 27–28.
- Buchwaldt, R., Toulkeridis, T., Babinski, M., Noce, C.M., Martins-Neto, M.A., Hercos, C.M., 1999. Age determination and age related provenance analysis of the Proterozoic glaciation event in central eastern Brazil. *South American Simp. on Isotope Geology*, 2. Serviço Geológico minero Argentino, Córdoba, Argentina, pp. 387–390 (Abstracts).
- Campos-Neto M.C. 1984. Litoestratigrafia, relações estratigráficas e evolução paleogeográfica dos grupos Canastra e Paranoá (Vazante-Lagamar, MG). *Revista Brasileira de Geociências*, 14: n.2: 81-91.
- Cawood, P.A., Hawkesworth, C.J., Dhuime, B., 2012. Detrital zircon record and tectonic setting. *Geology* 40 (10), 875–878. <http://dx.doi.org/10.1130/G32945.1>.
- Caxito, F.A., Halverson, G.P., Uhlein, A., Stevenson, R., Gonçalves-Dias, T., Uhlein, G.J., 2012b. Marinoan glaciation in east-central Brazil. *Precambrian Research* 200, 38–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2012.01.005>.
- Caxito, F.A., Dantas, E.L., Stevenson, R., Uhlein, A., Detrital zircon (U–Pb) and Sm–Nd isotope studies of the provenance and tectonic setting of basins related to collisional orogens: The case of the Rio Preto fold belt on the northwest São Francisco Craton margin, NE Brazil. *Gondwana Research* 26 (2014) 741–754.
- Cordani, U.G., Iyer, S.S., Taylor, P.N., Kawashita, K., Sato, K., McReath, I., 1992. Pb–Pb, Rb–Sr and K–Ar systematics of the Lagoa Real uranium province (south-central Bahia, Brazil) and the Espinhaço Cycle (ca. 1.5–1.0 Ga). *Journal of South American Earth-Science* 5 (1), 33–46.
- Correia, C.T., Jost, H., Tassinari, C.C.G., Girardi, V.A.V., Kinni, P.D., 1999. Ectasian Mesoproterozoic U–Pb ages (SHRIMP II) for the metavolcanosedimentary sequence of Juscelândia and Indaianópolis and for high grade metamorphosed rocks of Barro Alto stratiform igneous Complex, Goiás State, Central Brazil. In: *Second South American Symposium on Isotope Geology*. Abstract, Cordoba, pp. 31–33.
- Corrêa-Gomes, L.C., Oliveira, E.P., 1997. O enxame radial gigante de diques máficos da província Bahia-Congo: implicações reológicas e tectônicas da presença de uma pluma mantélica na interfície América do Sul-África, 1.0 Ga atrás. In: *V SNET-Simp. Nac. Estudos Tectônicos*, pp. 54–55.

- Costa M.T. & Branco J.J.R. 1961. Introdução. In: Branco J.J.R. (ed.) Roteiro para a excursão Belo Horizonte – Brasília. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 14, Belo Horizonte, *Anais*, 15:1-119.
- Dardenne M.A. 2000. The Brasília FoldBelt. In: Cordani U.G.; Milani E.J.; Tomas Filho A. & Campos D.A., eds. TECTONIC EVOLUTION OF SOUTH AMERICA, p. 231-263. 31 International Geological Congress, Rio de Janeiro.
- Danderfer, A., De Waele, B., Pedreira, A.J., Nalini, H.A., 2009. New geochronological constraints on the geological evolution of Espinhaço basin within the São Francisco Craton–Brazil. *Precambrian Research* 170 (1–2), 116–128.
- Dias P.H.A. 2011. Estratigrafia e Tectônica da Faixa Brasília na Região de Ibiá, Minas Gerais: Estudo de Proveniência Sedimentar dos grupos Canastra e Ibiá, com base em estudos isotópicos U-Pb e Sm-Nd. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Dissertação de Mestrado.
- Falci A., Seer H.J., Moraes L.M., 2016. Geologia da Folha Perdizes, escala 1:100.000. Belo Horizonte, CODEMIG-Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais.
- Fedo, C.M., Sircombe, K.N., Rainbird, R.H., 2003. Detrital zircon analysis of the sedimentar record. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 53, 277–303.
- Figueiredo, F.T., Almeida, R.P., Tohver, E., Babinski, M., Liu, D., Fanning, C.M., 2009. Neoproterozoic glacial dynamics revealed by provenance of diamictites of the Bebedouro Formation, São Francisco Craton, Central Eastern Brazil. *Terra Nova* 21, 375–385.
- Haughton, P.D.W., Todd, S.P., Morton, A.C., 1991. Sedimentary provenance studies. In: Morton, A.C., Todd, S.P., Haughton, P.D.W. (Eds.), *Developments in Sedimentary Provenance Studies*. Geological Society Special Publication, 57, pp. 1–11.
- Klein P.B.W. 2008. Geoquímica de Rocha Total, Geocronologia de U-Pb e Geologia Isotópica de Sm-Nd das Rochas Ortognáissicas e Unidades Litológicas Associadas da Região Ipameri – Catalão (Goiás). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Tese de Doutorado.
- Klötzli, U., Klötzli, E., Günes, Z., Košler, J. 2009. Accuracy of Laser Ablation U-Pb Zircon Dating: Results from a Test Using Five Different Reference Zircons. *Geostandards And Geoanalytical Research*, 33: 5–15.
- Ludwig, K.R., 2003. Using Isoplot/Ex, Version 3.00, a Geochronological Tool Kit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center. *Special Publication* 1, p.43.
- Rodrigues J.B., Pimentel, M.M., Dardenne M.A., Armstrong R.A. 2010. Age, provenance and tectonic setting of the Canastra and Ibiá groups (Brasília belt, Brazil): implications for the age of a Neoproterozoic glacial event in central Brazil. *JSA - Journal of South American Earth-Sciences*, 29: 512-521.
- Schobbenhaus, C., Hoppe, A., Baumann, A., Lork, A., 1994. Idade U-Pb do vulcanismo Rio dos Remédios, Chapada Diamantina, Bahia. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú. *Anais*, 2, pp. 397–399.
- Seer H.J. 1999. Evolução Tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na sinforma de Araxá, Araxá, Minas Gerais. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Tese de Doutorado nº28.
- Seer H.J. & Dardenne M.A. 2000. Tectonostratigraphic terrane analysis on Neoproterozoic times: the case study of the Araxá Synform, Minas Gerais, Brazil - implications to the final collage of the Gondwanaland. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1):78-81.

- Seer, H.J., Brod, J.A., Fuck, R.A., Pimentel, M.M., Boaventura, G.R., Dardenne, M.A., 2001. Grupo Araxá em sua área tipo: Um fragmento de crosta oceânica neoproterozóica na Faixa de Dobramentos Brasília. *Revista Brasileira de Geociências* 31 (3), 385–396.
- Seer H.J., Brod J.A., Valeriano C.M., Fuck R.A. 2005. Leucogranitos intrusivos no Grupo Araxá: registro de um evento magmático durante colisão Neoproterozóica na porção meridional da Faixa Brasília. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(1): 33-42.
- Seer H. J., Moraes,. 2013. Within plate, arc, and collisional Neoproterozoic granitic magmatism in the Araxá Group, Southern Brasília belt, Minas Gerais, Brazil *Brazilian Journal of Geology*, 43(2): 333-354, June 2013.
- Seer H.J., Moraes L.M., Silva C.H. 2015a. Geologia da Folha Araxá, escala 1:100.000. Belo Horizonte, CODEMIG-Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais.
- Seer H.J., Moraes L.M., Dias P.H.A. 2015b. Geologia da Folha Ibiá escala 1:100.000. Belo Horizonte, CODEMIG-Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais.
- Silva C.H., Seer H.J., Moraes L.M., Timm R.L. , Avelar., 2015a. Geologia da Folha Sacramento, escala 1:100.000. Belo Horizonte, CODEMIG-Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais.
- Simões L.S.A. & Navarro G. 1996. Estruturação da Faixa Brasília na região de Araxá, MG. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 39:92-95.
- Strieder, A.J., Nilson, A.A., 1992. Mélange ofiolítica nos metassedimentos do Grupo Araxá de Abadiânia (GO) e implicações tectônicas regionais. *Rev. Bras. Geocienc.* 22, 204–215
- Rollinson, H. R. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. London (Longman Scientific and Technical), 1993. xxvi + 352 pp. Price s ISBN 0 582 06701 4.
- McCulloch, M.T., Wasserburg, G.J., 1978. Sm–Nd and Rb–Sr chronology of continental crust formation. *Science* 200, 1003–1011.
- Moraes, R., Fuck, R.A., Pimentel, M.M., Gioia, S.M.C.L., Hollanda, H.B.M., Armstrong, R., 2006. The bimodal rift-related Juscelândia volcanosedimentary sequence in central Brazil: Mesoproterozoic extension and Neoproterozoic metamorphism. *Journal of South American Earth Sciences* 20 (4), 287–301.
- Nelson, B.K., DePaolo, D.J., 1988. Comparison of isotopic and petrographic provenance indicators in sediments from Tertiary continental basins of New Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology* 58, 348–357.
- Noce, C.M., Teixeira, W., Quéméneur, J.J.G., Martins, V.T.S., Bolzachini, E., 2000. Isotopic signatures of Paleoproterozoic granitoids from the southern São Francisco Craton and implications for the evolution of the Transamazonian Orogeny. *Journal of South American Earth Sciences* 13, 225–239.
- Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Silva, L.C., Armstrong, R., Piuzana, D., 2007a. Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U–Pb SHRIMP data: implications for Brazil–Africa links in Paleoproterozoic time. *Precambrian Research* 159 (1–2), 60–78. Noce, C.M., Tassinari, C.C.G., Lobato, L.M., 2007b.
- Valeriano C.M., Dardenne M.A., Fonseca M.A., Simões L.S.A., Seer H.J. 2004. A evolução tectônica da Faixa Brasília. *In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C. D.R., Brito-Neves B.B (Eds.) Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques De Almeida*, São Paulo, 575-592. Ed. Beca.

- Pedrosa-Soares, A.C., Cordani, U., Nutman, A., 2000. Constraining the age of Neoproterozoic glaciation in eastern Brazil: first U–Pb (SHRIMP) data from detrital zircons. *Revista Brasileira de Geociências* 30, 58–61.
- Pereira, L., 1992. *Relações Tectono-Estratigráficas entre as Unidades Canastra e Ibiá na Região de Coromandel e Guarda-Mor. MG. Unpublished MSc thesis, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brazil, p. 73*
- Pereira L.F., Dardenne M.A., Rosiere C.A., Pedrosa-Soares A.C. 1994. Evolução geológica dos grupos Canastra e Ibiá na região entre Coromandel e Guarda-Mor, MG. *Geonomos*, 2, 1: 22-32.
- Pimentel M.M. & Fuck R.A. 1992. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology*, 20: 375-379.
- Pimentel, M.M., Machado, N., Lobato, L.M., 1994. Geocronologia U-Pb de rochas graníticas e gnássicas da região de Lagoa Real, Bahia, e implicações para a idade da mineralização de Urânio. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú. Anais, 2, pp. 389–390.
- Pimentel M.M., Fuck R.A., Botelho N.F. 1999. Granites and the geodynamic history of the Brasília Belt, central Brazil: a review. *Lithos* 46: 463-483.
- Pimentel M.M.; Fuck R. A.; Jost H.; Ferreira Filho C.F.; Araújo S.M. 2000. The basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás Magmatic Arc. In: Cordani U.G., Milani E.J., ThomazFilho A., Campos D. A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. p. 195-229. XXXI International Geological Congress (Rio de Janeiro).
- Pimentel, M.M., Machado, N., Lobato, L.M., 1994. Geocronologia U-Pb de rochas graníticas e gnássicas da região de Lagoa Real, Bahia, e implicações para a idade da mineralização de Urânio. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú. Anais, 2, pp. 389–390.
- Pimentel M.M., Dardenne M.A., Fuck R.A., Viana M.G., Junges S.L., Fischel D.P., Seer H.J., Dantas E.L. 2001. Nd isotopes and the provenance of detrital sediments of the Neoproterozoic Brasília Belt, Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 14:571-585.
- Pimentel M.M., Rodrigues J.B., Dellagiustina M.E.S., Junges S.L., Matteini M., Armstrong R. 2011. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS UePb sedimentary provenance data: A review. *Journal of South American Earth-Sciences*, 31: 345-357
- Piuzana, D., Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Armstrong, R., 2003. SHRIMP U–Pb and Sm– Nd data for the Araxá Group and associated magmatic rocks: constraints for the age of sedimentation and geodynamic context of the southern Brasília Belt, Central Brazil. *Precambrian Research* 125, 139–160.
- Slama, J., Kořsler, J., Condon, D.J., Crowley, J.L., Gerdes, A., Hanchar, J.M., Horstwood, M.S.A., Morris, G.A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M.N., Whitehouse, M.J., 2008. Plešovice zircon—a new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology* 249, 1–35. Tanaka, T., S. Togashi, H. Kamioka, H. Amakawa, H. Kagami, T. Hamamoto, M. Yuhara, Y. Orihashi, S. Yoneda, H. Shimizu, T. Kunimaru, K. Takahashi, T. Yanagi, T. Nakano, H. Fujimaki, R. Shinjo, Y. Asahara, M. Tanimizu, and C. Dragusanu (2000), JNdi-1: a neodymium isotopic reference in consistency with Lajolla neodymium, *Chemical Geology*, 168, 279-281
- Teixeira, W., Carneiro, M.A., Noce, C.M., Machado, N., Sato, K., Taylor, P.N., 1996. Pb, Sr and Nd isotope constraints on the Archaean evolution of gneissic-granitoid complexes in the southern São Francisco Craton, Brazil. *Precambrian Research* 78, 151–164.

- Van Achterbergh, E., Ryan, C.G., Jackson, S.E., Griffin, W., 2001. Data reduction software for LAICP-MS. *In*: Sylvester, P. (Ed.), *Laser Ablation ICPMS in the Earth Science*, 29. Mineralogical Association of Canada, pp. 239–243.
- Van Breemen O., Aftalion M., Johnson M.R.W. 1979. Age of the Loch Borrolan complex, Assynt, and late movements along the Moine Thrust Zone. *Journal of the Geological Society, London*, 136: 489-486.

## **ANEXOS**

Resultado das análises geocronológicas

Tabela 1. Resultados analíticos U-Pb dos zircões analisados da amostra AR1. Zircões tachados não foram utilizados na análise dos espectros de idade devido à discordância acima de 10%.

Grain Spot	206Pba (cps)	207Pba (cps)	Th/U	207Pb/ 206Pbb	$\pm 2\sigma$ (abs)	206Pb/ 238U	$\pm 2\sigma$ (abs)	207Pb / 235U	$\pm 2\sigma$ (abs)	206Pb/ 207Pb	$\pm 2\sigma$ (Ma)	206Pb/ 238U	$\pm 2\sigma$ (Ma)	207Pb/ 235U	$\pm 2\sigma$ (Ma)	208Pb/ 232Th	$\pm 2\sigma$ (Ma)	RHO	% Con c
4	97981	6922	0,29	0,07049	0,00097	0,159	0,00139	1,54	0,01915	947	28	948	8	948	8	836	8	0,71	100
6	200682	14770	0,37	0,07194	0,0009	0,160	0,00142	1,59	0,01784	984	25	958	8	966	7	796	6	0,79	99
7	195514	14365	0,35	0,07282	0,00096	0,166	0,00153	1,66	0,02038	1009	27	987	8	994	8	878	6	0,75	99
8	201194	23582	0,35	0,11554	0,00132	0,339	0,00306	5,40	0,05564	1888	20	1881	15	1885	9	1590	10	0,88	100
9	123999	14017	0,51	0,11958	0,00159	0,329	0,00276	5,43	0,06247	1848	24	1812	13	1829	10	1684	13	0,73	99
11	79900	8188	0,25	0,11344	0,00251	0,331	0,00306	5,19	0,10641	1855	39	1846	15	1850	17	1044	39	0,45	100
12	128773	10527	0,11	0,08403	0,00114	0,218	0,00192	2,53	0,03115	1240	26	1226	10	1231	9	1299	22	0,71	100
13	162895	19987	0,31	0,12583	0,00151	0,372	0,00316	6,47	0,06768	1995	21	2007	15	2001	9	1853	15	0,81	100
14	164781	19238	0,66	0,11391	0,00153	0,333	0,00304	5,23	0,06397	1907	24	1831	15	1867	10	1424	12	0,75	98
18	222685	25495	0,15	0,1128	0,0015	0,330	0,00293	5,14	0,06164	1872	24	1799	14	18330	10	1652	21	0,74	98
20	97205	8782	0,56	0,09234	0,00176	0,254	0,00248	3,24	0,0581	1433	36	1446	13	1440	14	1560	20	0,54	100
21	98296	11129	0,41	0,11177	0,00143	0,329	0,00293	5,08	0,05868	1852	23	1826	14	1838	10	1725	14	0,77	99
24	69695	5821	0,14	0,08096	0,00126	0,207	0,00195	2,32	0,03384	1220	30	1215	10	1217	10	1009	19	0,64	100
26	26609	1966	0,19	0,07297	0,00344	0,165	0,00199	1,66	0,07676	1013	93	982	11	992	29	940	47	0,26	99
27	225085	16984	0,91	0,08667	0,00157	0,234	0,00202	2,80	0,04645	1353	35	1354	11	1354	12	1359	15	0,52	100
30	43477	4127	0,22	0,09463	0,00264	0,267	0,00291	3,50	0,09435	1521	52	1523	15	1522	21	1218	48	0,40	100
31	144513	16831	0,42	0,11679	0,00148	0,343	0,00304	5,53	0,06348	1903	23	1889	15	1895	10	1800	14	0,77	100
32	139914	14401	0,30	0,10884	0,00158	0,318	0,00272	4,79	0,06247	1780	26	1778	13	1779	11	1575	17	0,66	100
33	94468	6720	0,24	0,07242	0,00112	0,166	0,00144	1,66	0,02362	9978	31	990	8	993	9	939	11	0,61	100
34	274369	36156	0,45	0,1254	0,00151	0,371	0,00334	6,43	0,0707	2034	21	2035	16	2035	10	1837	14	0,82	100
35	72663	6903	0,20	0,09635	0,00241	0,268	0,00305	3,55	0,08543	1528	46	1436	16	1473	19	1598	42	0,47	97
39	54902	3842	0,32	0,07112	0,00137	0,161	0,00144	1,58	0,02907	961	39	962	8	962	11	847	12	0,49	100
40	127970	10464	0,52	0,07658	0,00116	0,189	0,00173	2,00	0,02839	1240	30	1117	9	1159	10	967	10	0,64	96

41	53762	4635	0,38	0,08253	0,00154	0,213	0,00205	2,43	0,04324	1258	36	1247	11	1251	13	1102	15	0,54	100
42	52130	4488	0,84	0,08336	0,00156	0,224	0,00236	2,57	0,04542	1278	36	1302	12	1293	13	1144	38	0,60	101
48	104044	8597	0,23	0,0807	0,00098	0,175	0,00157	1,95	0,02134	1214	24	1041	9	1099	7	541	13	0,82	94
49	117088	9145	0,13	0,07762	0,00092	0,193	0,00177	2,07	0,02236	1150	23	1123	10	1132	7	900	18	0,85	99
50	28437	2243	0,20	0,07705	0,00106	0,173	0,0016	1,84	0,02323	1122	27	1027	9	1058	8	828	16	0,73	97
51	167406	21522	0,14	0,12595	0,00196	0,367	0,0034	6,39	0,08991	2042	27	2017	16	2029	12	511	33	0,66	99
52	54981	4544	0,45	0,08074	0,0011	0,169	0,00156	1,88	0,02332	1215	27	1007	9	1075	8	816	18	0,75	93
53	66326	8893	0,11	0,12765	0,00139	0,379	0,00344	6,67	0,06516	2066	19	2071	16	2068	9	1575	23	0,93	100
55	56657	7078	0,47	0,12187	0,00159	0,310	0,00283	5,21	0,06066	1984	23	1739	14	1853	10	1050	29	0,78	93
56	74457	6444	0,19	0,08324	0,00093	0,220	0,00197	2,52	0,02525	1275	22	1281	10	1278	7	789	11	0,90	100
59	42747	3504	0,16	0,08264	0,00167	0,217	0,00224	2,47	0,0466	1245	39	1228	12	1234	14	1135	52	0,55	100
60	44409	3286	0,24	0,07238	0,00136	0,162	0,00158	1,62	0,02816	9966	38	970	9	978	11	504	21	0,56	99
63	206664	24518	0,53	0,11428	0,00117	0,334	0,00297	5,27	0,04811	1936	18	1854	14	1892	8	1035	14	0,97	98
65	60792	5144	0,23	0,08269	0,00098	0,217	0,00196	2,48	0,02644	1262	23	1266	10	1264	8	964	19	0,85	100
66	33254	3861	0,54	0,11334	0,00197	0,332	0,00337	5,19	0,08299	1854	31	1847	16	1850	14	1445	58	0,64	100
67	51477	6024	0,48	0,11425	0,00133	0,333	0,00303	5,26	0,05481	1868	21	1855	15	1860	9	1416	26	0,87	100
68	110171	18705	0,22	0,16558	0,00191	0,477	0,00421	10,89	0,10982	2513	19	2513	18	2513	9	1305	36	0,88	100
69	27127	1958	0,73	0,07166	0,00136	0,137	0,00134	1,36	0,02382	9915	38	817	8	865	10	45	2	0,56	94
70	162250	20695	0,51	0,12191	0,00147	0,365	0,00351	6,14	0,06875	2065	21	1990	17	2027	10	1010	20	0,86	98
71	68158	5406	0,23	0,07719	0,00118	0,191	0,0019	2,03	0,02937	1126	30	1127	10	1126	10	823	22	0,69	100
72	109746	8641	0,09	0,07776	0,00087	0,193	0,00172	2,08	0,02078	1166	22	1130	9	1142	7	831	18	0,89	99
73	90447	11899	0,34	0,12731	0,00135	0,377	0,0034	6,63	0,06306	2119	19	2024	16	2072	8	1192	17	0,95	98
74	33025	4376	0,26	0,12941	0,00164	0,387	0,00363	6,92	0,07919	2090	22	2110	17	2100	10	1731	40	0,82	100
75	40105	3723	0,59	0,09584	0,0013	0,271	0,00249	3,59	0,04387	1484	25	1455	13	1467	10	1142	29	0,75	99
78	50761	5051	0,24	0,09718	0,00116	0,276	0,00251	3,70	0,03985	1571	22	1569	13	1570	9	1214	26	0,84	100
79	49100	5481	0,33	0,1087	0,00127	0,318	0,00291	4,77	0,05051	178	21	1781	14	1779	9	1324	26	0,86	100
80	133769	17277	0,23	0,12751	0,00184	0,377	0,00384	6,63	0,09026	2087	25	2034	18	2061	12	1606	59	0,75	99

82	52607	4241	0,18	0,07865	0,00107	0,195	0,00178	2,12	0,02605	1163	27	1151	10	1155	8	742	21	0,74	100
83	80801	6008	0,36	0,074	0,0009	0,176	0,00161	1,80	0,01983	1051	24	1030	9	1037	7	817	17	0,83	99
84	17941	1319	0,18	0,07155	0,00299	0,175	0,00249	1,72	0,07	9732	83	0	14	1017	26	1271	60	0,35	102
85	51767	5731	0,37	0,10806	0,00132	0,313	0,00285	4,67	0,05125	1767	22	1757	14	1762	9	1351	32	0,83	100
86	31359	2668	0,22	0,08319	0,00154	0,220	0,00226	2,53	0,04361	1274	35	1283	12	1280	13	1114	40	0,59	100
88	80035	5954	0,22	0,07253	0,00112	0,164	0,00161	1,64	0,02376	1001	31	979	9	986	9	784	28	0,68	99
89	69258	12264	0,32	0,17236	0,00197	0,494	0,00462	11,75	0,12191	2581	19	2588	20	2584	10	1837	39	0,90	100
90	139251	14516	0,20	0,10182	0,00135	0,269	0,00262	3,78	0,047	1658	24	1535	13	1587	10	1005	34	0,78	97
92	37926	2783	0,24	0,07108	0,00131	0,161	0,00155	1,58	0,02694	960	37	962	9	9615	11	680	34	0,56	100
94	131372	9458	0,08	0,07336	0,00152	0,167	0,00173	1,69	0,03291	986	41	976	10	979	12	181	16	0,53	100
95	80794	9163	0,53	0,11177	0,00196	0,314	0,00325	4,84	0,07907	1828	32	1760	16	1792	14	1200	60	0,63	98
96	66048	6735	0,12	0,09992	0,00144	0,290	0,00272	3,99	0,05255	1623	27	1639	14	1632	11	1246	47	0,71	100
98	61229	4565	0,18	0,07272	0,00088	0,170	0,00154	1,71	0,01882	1006	24	1012	8	1010	7	687	17	0,82	100
99	78968	6748	0,24	0,08351	0,00114	0,220	0,00198	2,53	0,03106	1281	26	1281	10	1281	9	968	34	0,73	100
100	12304	916	0,27	0,07287	0,00331	0,168	0,00275	1,69	0,07347	1010	89	1003	15	1005	28	877	127	0,38	100
101	26848	2125	0,25	0,07555	0,00164	0,184	0,00191	1,92	0,0389	1083	43	1089	10	1087	14	966	54	0,51	100
102	67018	9058	0,23	0,13217	0,00163	0,389	0,0036	7,10	0,07928	2127	21	2120	17	2124	10	1561	45	0,83	100
104	352740	42463	0,05	0,11786	0,00137	0,348	0,0031	5,66	0,05874	1924	21	1923	15	1924	9	598	21	0,86	100
106	21558	2012	0,22	0,09003	0,00197	0,244	0,00268	3,04	0,0621	1426	41	1410	14	1416	16	1121	53	0,54	100
107	92613	11453	0,58	0,12113	0,00144	0,307	0,00282	5,13	0,05536	1973	21	1724	14	1840	9	1141	31	0,85	93
108	31350	2945	0,39	0,09144	0,00146	0,248	0,00236	3,13	0,04556	1456	30	1427	12	1439	11	1024	39	0,65	99
109	65439	4863	0,16	0,0725	0,0009	0,165	0,0015	1,65	0,01862	1000	25	987	8	991	7	633	17	0,81	100
110	73645	5434	0,35	0,07198	0,00088	0,168	0,00153	1,67	0,01862	985	25	1003	8	998	7	742	20	0,82	101
111	30482	2072	0,40	0,0725	0,00107	0,165	0,00156	1,65	0,02277	867	30	925	9	908	9	711	18	0,69	102
112	55317	6284	0,36	0,1106	0,00131	0,325	0,00297	4,95	0,05311	1809	21	1812	14	1811	9	1297	33	0,85	100
113	45442	5595	0,36	0,11668	0,0031	0,331	0,00408	5,34	0,13268	1906	47	1845	20	1874	21	1714	242	0,50	98
114	61410	4681	0,18	0,07909	0,00132	0,169	0,00163	1,85	0,02842	1101	33	965	9	1007	10	676	31	0,63	96

115	31237	2522	0,36	0,07899	0,00142	0,200	0,002	2,18	0,03637	1172	35	117	11	1173	12	864	32	0,60	100
116	79169	5448	0,33	0,06899	0,00119	0,142	0,00136	1,36	0,02163	893	35	841	8	855	9	457	22	0,60	98
117	126043	16732	0,09	0,12833	0,00202	0,383	0,00357	6,77	0,0964	208	27	2088	17	2082	13	1877	122	0,66	100
118	98322	7431	0,17	0,07487	0,00107	0,173	0,00162	1,79	0,02358	1084	28	1026	9	1044	9	94	5	0,71	98
119	153151	20104	0,32	0,12795	0,00142	0,386	0,00345	6,81	0,06751	2070	19	2102	16	2086	9	1504	40	0,90	101
120	55254	6902	0,36	0,12176	0,00145	0,361	0,00331	6,07	0,06517	1982	21	1988	16	1985	9	1401	39	0,85	100
121	32167	2520	0,33	0,07637	0,00105	0,167	0,00156	1,76	0,02226	1105	27	997	9	1032	8	736	21	0,74	97
122	50822	3843	0,26	0,07369	0,00095	0,165	0,00152	1,68	0,01979	1033	25	987	8	1001	7	725	20	0,78	99
125	41476	3698	0,28	0,08739	0,00125	0,237	0,00223	2,86	0,03755	1369	27	1372	12	1371	10	994	34	0,72	100
126	25232	3224	0,52	0,12453	0,00167	0,365	0,00348	6,27	0,07698	2022	24	2004	16	2013	11	1445	43	0,78	100
128	153364	15042	0,19	0,09427	0,00137	0,269	0,0024	3,50	0,04571	1514	27	1537	12	1527	10	886	46	0,68	101
129	41081	3937	0,79	0,09636	0,00135	0,270	0,00264	3,59	0,04711	1544	26	1469	13	1500	10	861	23	0,75	98
130	165688	20383	0,43	0,11858	0,00158	0,328	0,00325	5,37	0,06785	2000	24	1819	16	1905	11	549	20	0,78	95
131	35043	2990	0,45	0,08246	0,00211	0,215	0,00251	2,44	0,05878	1256	49	1253	13	1254	17	827	55	0,49	100
132	123567	9748	0,17	0,07723	0,001	0,217	0,00205	2,31	0,02802	1127	26	1263	11	1214	9	933	33	0,78	104
133	105888	12733	0,34	0,11818	0,0016	0,348	0,00341	5,67	0,07239	1960	24	1899	16	1928	11	1521	63	0,77	98
134	39035	3591	0,13	0,08834	0,00167	0,242	0,00242	2,95	0,05159	1390	36	1396	13	1394	13	1084	63	0,57	100
135	60649	6925	0,40	0,11023	0,00131	0,324	0,00298	4,93	0,05332	1867	21	1805	15	1834	9	1158	31	0,85	98
136	63565	7899	0,66	0,12173	0,00145	0,368	0,00337	6,18	0,06688	2018	21	2002	16	2010	9	1441	44	0,85	100
137	28479	3719	0,30	0,125	0,00219	0,371	0,00382	6,40	0,10327	2029	31	2036	18	2032	14	1481	74	0,64	100
138	134790	10496	0,03	0,07684	0,00101	0,196	0,00183	2,08	0,02523	1117	26	1154	10	1141	8	939	44	0,77	101
139	32918	2476	0,22	0,0733	0,0011	0,169	0,00157	1,71	0,02355	1022	30	1006	9	1011	9	709	27	0,67	99
140	108173	13895	0,69	0,12667	0,00156	0,378	0,00353	6,61	0,07484	2077	22	2046	17	2062	10	1601	60	0,82	99
141	145803	13816	0,42	0,09381	0,00143	0,232	0,00217	3,00	0,04182	1504	28	1343	11	1406	11	768	46	0,67	95
142	114654	10904	0,10	0,09291	0,00111	0,265	0,00239	3,40	0,03681	1486	23	1515	12	1503	9	846	30	0,83	101
144	199037	19470	0,18	0,09594	0,00119	0,274	0,00256	3,63	0,04185	1547	23	1563	13	1556	9	1269	52	0,81	100
145	35242	4189	1,06	0,1175	0,0015	0,347	0,00326	5,63	0,06594	194	23	1868	16	1902	10	1267	39	0,80	98

146	36225	2676	0,27	0,07366	0,00102	0,171	0,00159	1,74	0,0221	1038	28	1000	9	1012	8	651	23	0,73	99
147	124148	9710	0,22	0,07616	0,00119	0,186	0,00184	1,96	0,02888	1099	31	1101	10	1100	10	945	53	0,67	100
148	51606	5867	0,56	0,11239	0,00144	0,326	0,00301	5,06	0,05903	1859	23	1788	15	1821	10	1310	46	0,79	98
150	47301	5144	0,36	0,10728	0,00146	0,311	0,00295	4,61	0,05779	1779	25	1733	15	1754	10	1188	43	0,76	99
151	131036	15960	0,08	0,11861	0,00145	0,345	0,00309	5,66	0,06218	1935	22	1913	15	1924	9	1025	40	0,81	99
153	50035	3410	0,21	0,07392	0,00113	0,173	0,00169	1,76	0,02535	873	31	962	9	935	9	851	38	0,68	103

Tabela 2. Resultados analíticos U-Pb dos zircões analisados da amostra A555.

Grain Spot	206Pba (cps)	207Pba (cps)	Th/U	207Pb/ 206Pbb	$\pm 2\sigma$ (abs)	206Pb/ 238U	$\pm 2\sigma$ (abs)	207Pb/ 235U	$\pm 2\sigma$ (abs)	206Pb/ 207Pb	$\pm 2\sigma$ (Ma)	206Pb/ 238U	$\pm 2\sigma$ (Ma)	207Pb/ 235U	$\pm 2\sigma$ (Ma)	208Pb/ 232Th	$\pm 2\sigma$ (Ma)	RHO	% Conc
154	142263	16284	0,15	0,11106	0,00127	0,330	0,0029	5,04	0,05039	1817	21	1837	14	1827	8	1816	23	0,88	99
155	42733	3530	0,67	0,08024	0,00122	0,214	0,00201	2,37	0,03295	1203	30	1250	11	1233	10	1077	12	0,67	99
156	106797	9344	0,30	0,08618	0,00108	0,229	0,00204	2,72	0,0303	1342	24	1331	11	1335	8	1338	15	0,80	100
157	290238	35759	0,36	0,11967	0,00123	0,353	0,00302	5,82	0,05113	1951	18	1950	14	1950	8	1802	15	0,97	94
158	146656	13964	0,24	0,09249	0,00258	0,307	0,00414	3,91	0,10345	1477	52	1725	20	1616	21	1563	54	0,51	99
159	86546	10587	0,72	0,11882	0,00145	0,361	0,00327	5,90	0,0638	1939	22	1985	15	1962	9	1876	18	0,84	99
160	78345	8811	0,35	0,10802	0,0013	0,324	0,0029	4,82	0,0512	1766	22	1810	14	1789	9	1710	18	0,84	99
161	142884	11615	0,23	0,07896	0,00106	0,174	0,00157	1,89	0,0229	1171	26	1035	9	1079	8	725	11	0,75	104
163	95545	7874	0,27	0,08005	0,00088	0,199	0,00172	2,20	0,021	1198	22	1172	9	1181	7	1195	11	0,90	101
164	288357	34888	0,54	0,11800	0,00124	0,345	0,00296	5,61	0,0504	193	19	1911	14	1918	8	1858	15	0,95	100
166	133182	13215	0,21	0,09638	0,002	0,292	0,00329	3,88	0,07546	1555	39	1653	16	1610	16	1558	41	0,58	97
169	112518	13894	0,49	0,11995	0,00127	0,361	0,00311	5,97	0,05446	196	19	1987	15	1971	8	1817	15	0,94	99
170	44636	5099	0,72	0,11097	0,00155	0,354	0,00336	5,41	0,06852	1815	25	1952	16	1886	11	1852	20	0,75	97
171	49467	6054	1,03	0,11889	0,00141	0,367	0,00329	6,02	0,06274	1940	21	2017	15	1978	9	1907	17	0,86	98
172	93313	8541	0,37	0,08989	0,001	0,252	0,00219	3,12	0,03039	142	21	1450	11	1439	7	1372	13	0,89	99
173	54825	6056	0,44	0,10729	0,00129	0,305	0,00272	4,51	0,04772	18	22	1716	13	1732	9	1758	18	0,84	101
174	46289	3797	0,47	0,08673	0,00139	0,187	0,0018	2,24	0,03286	1355	31	1108	10	1194	10	1175	15	0,65	108
175	227547	19192	0,22	0,08294	0,00089	0,170	0,00146	1,94	0,01802	1268	21	1011	8	1095	6	924	9	0,93	108
176	117597	11329	0,32	0,09300	0,00106	0,263	0,00229	3,37	0,0334	149	21	1504	12	1497	8	1467	14	0,88	100
177	377674	45034	0,06	0,11653	0,0013	0,278	0,00243	4,46	0,04338	1904	20	1582	12	1724	8	1611	27	0,90	109
178	59740	6889	0,43	0,11202	0,00144	0,302	0,00277	4,66	0,05362	1832	23	1702	14	1761	10	1757	20	0,80	103
179	135730	14789	0,41	0,10693	0,00114	0,310	0,00267	4,57	0,04199	1748	19	1743	13	1745	8	1710	15	0,94	100
180	193872	22548	0,58	0,11297	0,00116	0,331	0,00283	5,15	0,04534	1848	19	1844	14	1845	7	1867	15	0,97	100

181	39726	3848	0,31	0,09411	0,00138	0,270	0,00256	3,50	0,04688	1510	28	1543	13	1528	11	1493	21	0,71	99
182	53292	9879	1,10	0,18006	0,00201	0,491	0,0044	12,18	0,11865	265	18	2575	19	2618	9	2427	21	0,92	102
183	425388	51615	0,01	0,11786	0,00121	0,361	0,00308	5,87	0,05156	1924	18	1988	15	1956	8	2038	44	0,97	98
184	431125	53574	0,59	0,12125	0,00131	0,333	0,00289	5,57	0,052	1975	19	1854	14	1911	8	1859	16	0,93	103
185	238831	19844	0,30	0,08071	0,00102	0,206	0,00183	2,29	0,02569	1214	25	1206	10	1209	8	1127	13	0,79	100
187	164536	20108	0,67	0,11871	0,00125	0,360	0,0031	5,89	0,05331	1937	19	1984	15	1960	8	1896	15	0,95	99
188	66535	11658	0,32	0,17110	0,00183	0,486	0,00425	11,46	0,10565	257	18	2554	18	2561	9	2378	24	0,95	100
189	101845	10761	0,44	0,10264	0,00116	0,303	0,00265	4,29	0,04242	1672	21	1708	13	1691	8	1656	15	0,88	99
190	80573	7049	0,16	0,08498	0,00097	0,214	0,00186	2,51	0,02518	1315	22	1252	10	1275	7	1610	17	0,86	102
191	70143	5787	0,44	0,08014	0,00096	0,217	0,00191	2,40	0,02548	120	23	1267	10	1242	8	1222	12	0,83	98
192	22179	1854	0,67	0,08120	0,00171	0,214	0,00229	2,40	0,04723	123	41	1251	12	1242	14	1108	17	0,54	99
193	403121	48393	0,77	0,11661	0,00117	0,290	0,00246	4,65	0,03981	1905	18	1639	12	1759	7	1723	13	0,99	107
194	119899	18433	0,39	0,15013	0,00155	0,411	0,00353	8,51	0,07535	2347	18	2221	16	2287	8	2232	19	0,97	103
197	103846	11863	0,51	0,11097	0,00153	0,312	0,00295	4,78	0,05939	1815	25	1753	14	1781	10	1741	20	0,76	102
198	67131	6295	0,37	0,09601	0,0011	0,268	0,00234	3,54	0,03564	155	21	1529	12	1536	8	1476	14	0,87	100
199	143967	18180	0,07	0,12266	0,00205	0,396	0,00418	6,69	0,10275	1995	29	2150	19	2071	14	2432	88	0,69	96
200	85655	7502	0,30	0,08507	0,00101	0,182	0,00158	2,13	0,02231	1317	23	1076	9	1158	7	1037	11	0,83	108
201	61895	7295	1,06	0,11448	0,00139	0,349	0,00314	5,50	0,05919	1872	22	1929	15	1901	9	1867	16	0,84	99
202	160797	15341	0,13	0,09331	0,00099	0,269	0,0023	3,45	0,03149	1494	20	1534	12	1517	7	1583	16	0,94	99
203	142512	17148	0,26	0,11873	0,00133	0,340	0,00298	5,56	0,05426	1937	20	1885	14	1909	8	1880	19	0,90	101
204	113568	10336	0,36	0,09060	0,00097	0,247	0,00212	3,09	0,02841	1438	20	1424	11	1429	7	1375	12	0,93	100
205	181442	15024	0,19	0,08043	0,00098	0,210	0,00185	2,32	0,02505	1208	24	1228	10	1220	8	1280	15	0,82	99
206	37673	4446	1,58	0,11531	0,00192	0,371	0,00385	5,90	0,09048	1885	30	2036	18	1961	13	1805	19	0,68	96
207	221945	27387	0,37	0,11986	0,00132	0,369	0,00322	6,09	0,0583	1954	20	2022	15	1988	8	1921	18	0,91	98
208	143374	31815	0,11	0,21555	0,00228	0,576	0,00506	17,11	0,15572	2948	17	2933	21	2941	9	2892	39	0,96	100
209	174859	16788	0,15	0,09352	0,00112	0,287	0,00254	3,70	0,03917	1498	23	1626	13	1571	8	1474	20	0,84	97
210	173614	14366	0,21	0,08119	0,00094	0,199	0,00174	2,23	0,02269	1226	23	1171	9	1190	7	1235	13	0,86	102

211	205725	19739	0,11	0,09320	0,00103	0,272	0,00236	3,50	0,03368	1492	21	1552	12	1526	8	1559	19	0,90	98
213	80377	9856	0,75	0,11911	0,00142	0,345	0,00309	5,66	0,05928	1943	21	1909	15	1925	9	1884	17	0,86	101
214	26023	2557	0,81	0,09546	0,00184	0,262	0,00277	3,45	0,06183	1537	36	1501	14	1515	14	1585	21	0,59	101
215	30993	3066	0,81	0,09610	0,00124	0,269	0,00243	3,56	0,04119	1550	24	1537	12	1542	9	1497	14	0,78	100
216	60401	3648	0,02	0,05868	0,00138	0,102	0,00107	0,82	0,01834	5552	51	624	6	609	10	714	54	0,47	98
217	285533	36522	0,29	0,12424	0,00126	0,383	0,00325	6,55	0,05642	2018	18	2089	15	2053	8	2036	16	0,99	98
220	176292	13759	0,32	0,07664	0,00083	0,207	0,00161	2,18	0,01898	111	22	1211	9	1176	6	1227	12	0,90	97
221	451650	46684	0,19	0,10168	0,00104	0,302	0,00226	4,23	0,03283	166	19	1700	11	1680	6	1659	15	0,96	99
222	116638	8082	0,29	0,06871	0,00077	0,140	0,00107	1,33	0,01187	8900	23	845	6	858	5	819	8	0,85	101
223	558287	71258	0,27	0,12576	0,00127	0,393	0,00297	6,81	0,05248	2040	18	2136	14	2087	7	2097	18	0,98	98
224	662913	60667	0,21	0,09111	0,00092	0,224	0,00169	2,82	0,02169	1449	19	1305	9	1360	6	1459	13	0,98	104
225	102184	11346	0,80	0,10947	0,00119	0,308	0,00239	4,66	0,04	1791	20	1733	12	1759	7	1701	15	0,90	102
226	202915	23425	0,57	0,11409	0,00118	0,340	0,0026	5,35	0,04307	1866	19	1889	13	1878	7	1886	17	0,95	99
227	115827	9024	0,22	0,07687	0,00089	0,184	0,00146	1,95	0,01864	1118	23	1090	8	1099	6	1140	13	0,83	101
229	107556	9090	0,26	0,08261	0,00092	0,187	0,00144	2,13	0,01892	1260	21	1106	8	1159	6	1237	12	0,87	105
230	1812833	220621	0,07	0,12022	0,00121	0,424	0,00319	7,03	0,05336	1959	18	2279	14	2115	7	2281	20	0,99	93
231	111249	9581	0,47	0,08507	0,00094	0,204	0,00157	2,39	0,02096	1317	21	1195	8	1239	6	898	9	0,88	104
232	127613	10095	0,25	0,07895	0,00087	0,200	0,00154	2,18	0,01906	1171	22	1177	8	1175	6	1181	12	0,88	100
233	240921	30427	0,44	0,12511	0,00133	0,375	0,00274	6,46	0,05167	2030	19	2052	13	2041	7	2103	24	0,91	99
234	142513	16679	0,80	0,11565	0,00123	0,331	0,00254	5,27	0,04371	1890	19	1843	12	1865	7	1896	17	0,93	101
235	126978	13478	0,57	0,10492	0,00113	0,276	0,00213	3,99	0,03385	1713	20	1572	11	1633	7	1544	15	0,91	104
236	504903	38670	0,01	0,07583	0,00078	0,191	0,00144	1,99	0,01573	1091	20	1125	8	1113	5	1046	21	0,96	99
237	170876	21761	0,42	0,12612	0,00133	0,379	0,00291	6,59	0,05409	2045	18	2071	14	2058	7	2080	21	0,94	99
238	332786	38374	1,08	0,11415	0,00117	0,339	0,00257	5,34	0,04216	1867	18	1884	12	1875	7	1926	18	0,96	100
239	223879	24582	0,57	0,10880	0,00114	0,316	0,00242	4,74	0,03836	1779	19	1770	12	1774	7	1850	18	0,95	100
240	245467	29853	0,41	0,12024	0,00125	0,352	0,00269	5,83	0,04674	196	18	1943	13	1951	7	2068	20	0,95	100
241	354602	39302	0,40	0,10964	0,00113	0,293	0,00222	4,42	0,03503	1793	19	1654	11	1716	7	1758	17	0,96	104

242	560222	103246	0,60	0,18269	0,00186	0,501	0,00375	12,61	0,09696	268	17	2618	16	2651	7	2677	27	0,97	101
244	336170	27215	0,46	0,08032	0,00084	0,210	0,00159	2,32	0,0187	1205	20	1228	8	1220	6	1298	13	0,94	99
245	30907	2478	0,54	0,07961	0,00126	0,227	0,00187	2,49	0,03511	1187	31	1319	10	1269	10	1256	18	0,58	96
246	186719	20197	0,38	0,10818	0,00114	0,327	0,00251	4,88	0,0401	1769	19	1824	12	1798	7	1894	20	0,93	99
247	94144	6347	0,37	0,06696	0,00078	0,131	0,00101	1,21	0,01151	8365	24	792	6	804	5	782	9	0,81	101
249	1057100	128902	0,47	0,12125	0,00123	0,298	0,00225	4,98	0,03853	1975	18	1681	11	1815	7	1671	17	0,98	108
250	302168	38564	0,55	0,12798	0,00132	0,377	0,00288	6,66	0,05306	2070	18	2064	13	2067	7	2200	23	0,96	100
251	179946	19237	0,25	0,10627	0,00113	0,316	0,00242	4,62	0,03827	1736	19	1769	12	1754	7	1834	21	0,93	99
252	518315	51208	0,17	0,09940	0,00102	0,274	0,00208	3,76	0,02968	1613	19	1563	11	1584	6	1849	21	0,96	101
253	125644	10816	0,16	0,08573	0,00095	0,230	0,00177	2,71	0,02389	1332	21	1334	9	1333	7	1444	19	0,88	100
254	241685	27655	0,66	0,11401	0,0012	0,340	0,0026	5,35	0,0435	1864	19	1889	13	1876	7	2010	23	0,94	99
255	517076	58797	0,49	0,11444	0,00118	0,339	0,00257	5,34	0,0422	187	18	1881	12	1875	7	1951	22	0,96	100
256	294268	23362	0,21	0,07923	0,00084	0,201	0,00152	2,19	0,01792	1178	21	1179	8	1178	6	1268	15	0,93	100
257	112938	8214	0,19	0,07252	0,00082	0,135	0,00104	1,34	0,01227	0	23	814	6	865	5	879	12	0,85	106
259	92543	7484	0,27	0,08143	0,00099	0,216	0,00175	2,43	0,02483	1232	24	1262	9	1250	7	1364	20	0,79	99
260	872594	103980	0,14	0,11881	0,00122	0,355	0,00275	5,81	0,04679	1938	18	1957	13	1947	7	2160	27	0,96	99
261	154988	13145	0,31	0,08502	0,00093	0,212	0,00163	2,48	0,02143	1316	21	1238	9	1266	6	1389	18	0,89	102
263	48920	2867	0,24	0,06382	0,00088	0,106	0,00084	0,93	0,01119	7357	29	650	5	669	6	732	11	0,66	103
264	595126	48505	0,13	0,08140	0,00084	0,209	0,00159	2,34	0,01873	1231	20	1224	8	1226	6	1364	18	0,95	100
266	123813	11738	0,59	0,09477	0,00105	0,268	0,00208	3,50	0,03091	1524	21	1532	11	1528	7	1708	22	0,88	100
267	269391	32190	0,36	0,11944	0,00126	0,340	0,00258	5,59	0,04541	1948	19	1887	12	1915	7	2086	28	0,93	102
268	432550	38294	0,18	0,08820	0,00092	0,245	0,00187	2,98	0,0242	1387	20	1415	10	1403	6	1619	22	0,94	99
269	231320	22183	0,06	0,09607	0,00103	0,267	0,00205	3,54	0,02959	155	20	1527	10	1536	7	1664	27	0,92	101
270	36760	2712	0,41	0,07393	0,00113	0,160	0,0013	1,63	0,02217	1040	31	957	7	982	9	1067	17	0,60	103
271	530268	45812	0,44	0,08703	0,00091	0,208	0,0016	2,49	0,02039	1361	20	1216	9	1268	6	1093	16	0,94	104
272	290723	32198	0,47	0,11038	0,00123	0,317	0,0026	4,82	0,04471	1806	20	1776	13	1789	8	1981	33	0,88	101
273	476411	39559	0,48	0,08267	0,00088	0,205	0,00159	2,34	0,01954	1261	20	1204	9	1224	6	1404	21	0,93	102

274	96523	11855	0,37	0,12314	0,00138	0,337	0,00263	5,71	0,05099	2002	20	1871	13	1933	8	2111	32	0,87	103
276	1021279	132920	0,67	0,13104	0,00137	0,307	0,00238	5,53	0,04531	2112	18	1724	12	1906	7	1665	25	0,95	111
277	256502	28189	0,32	0,11069	0,00118	0,270	0,00207	4,11	0,03406	1811	19	1541	10	1657	7	1855	28	0,93	108
278	97486	7515	0,30	0,07716	0,00095	0,191	0,00156	2,03	0,02114	1125	24	1127	8	1126	7	1266	21	0,78	100
279	102672	9826	0,34	0,09600	0,00112	0,258	0,00206	3,41	0,0326	1548	22	1478	11	1506	8	1554	25	0,84	102
280	253137	28862	0,65	0,11453	0,00122	0,331	0,00253	5,22	0,04325	1873	19	1842	12	1855	7	2171	33	0,92	101
281	105411	12782	0,55	0,12569	0,00139	0,362	0,00281	6,27	0,05494	2039	19	1992	13	2014	8	2178	34	0,89	101
282	648272	73745	0,48	0,11433	0,00119	0,291	0,00221	4,58	0,0369	1869	19	1645	11	1745	7	1992	31	0,94	106
283	91574	6588	0,35	0,07251	0,00087	0,164	0,00127	1,63	0,01604	1000	24	977	7	983	6	1088	18	0,79	101
284	432157	26679	0,12	0,06257	0,00067	0,119	0,00091	1,03	0,00856	6936	23	725	5	717	4	727	12	0,92	99
285	217500	25000	1,87	0,11575	0,00125	0,332	0,00255	5,28	0,04472	1892	19	1846	12	1866	7	2138	35	0,91	101
286	102302	10610	0,79	0,10449	0,00121	0,280	0,00218	4,03	0,03776	1705	21	1592	11	1640	8	1734	30	0,83	103
287	502141	61028	0,60	0,12165	0,00132	0,365	0,00293	6,12	0,05417	1981	19	2008	14	1993	8	1906	36	0,91	99
290	469811	37254	0,06	0,08035	0,00086	0,195	0,00149	2,16	0,01797	1206	21	1151	8	1169	6	1472	27	0,92	102
291	757549	65208	0,20	0,08686	0,00092	0,246	0,00187	2,95	0,02405	1357	20	1420	10	1394	6	1567	28	0,93	98
292	163711	15236	0,22	0,09591	0,00107	0,266	0,00205	3,51	0,03106	1546	21	1520	10	1530	7	1649	30	0,87	101
293	651102	81249	0,10	0,12590	0,00135	0,364	0,00286	6,32	0,05384	2041	19	2003	14	2021	7	2412	45	0,92	101
294	591325	64019	0,71	0,11067	0,00128	0,329	0,0025	5,01	0,04615	1810	21	1832	12	1821	8	2269	63	0,83	99
295	675148	75845	0,80	0,11368	0,00122	0,307	0,00242	4,81	0,04143	1859	19	1728	12	1787	7	2101	40	0,91	103
296	223765	20897	0,32	0,09439	0,00103	0,253	0,00194	3,29	0,02835	1516	20	1454	10	1478	7	1631	30	0,89	102
298	251093	17500	0,23	0,07019	0,00079	0,156	0,0012	1,51	0,0135	9339	23	936	7	934	5	1042	20	0,86	99
299	399655	51303	0,25	0,12984	0,00139	0,377	0,00288	6,74	0,05602	2096	19	2062	13	2077	7	2420	45	0,92	101
300	544704	44307	0,28	0,08166	0,00095	0,160	0,00131	1,80	0,01751	1237	23	955	7	1044	6	872	21	0,84	109
301	356558	38400	0,22	0,10911	0,00118	0,317	0,00243	4,76	0,04025	1785	20	1775	12	1778	7	2037	41	0,91	100
302	65993	6784	0,41	0,10134	0,00128	0,252	0,002	3,52	0,0371	1649	23	1450	10	1531	8	1845	39	0,75	106
304	290758	23192	0,12	0,08041	0,00089	0,201	0,00154	2,23	0,01951	1207	22	1183	8	1190	6	1422	31	0,87	101
305	114714	9430	0,23	0,08337	0,001	0,170	0,00132	1,95	0,01919	1278	23	1013	7	1099	7	1425	31	0,79	109

306	226824	20674	0,27	0,09197	0,00105	0,267	0,00214	3,38	0,03202	1467	22	1526	11	1500	7	1707	37	0,85	98
307	307327	23232	0,19	0,07658	0,00086	0,187	0,00147	1,97	0,01791	1110	22	1104	8	1105	6	1314	29	0,87	100
308	309314	22928	0,17	0,07624	0,00084	0,190	0,00146	1,99	0,01744	1101	22	1122	8	1114	6	1316	29	0,88	99
309	199150	15648	0,16	0,07983	0,00091	0,184	0,00142	2,03	0,01845	119	22	1091	8	1125	6	1269	29	0,85	103
310	360748	31034	0,12	0,08737	0,00096	0,175	0,00134	2,10	0,0181	1369	21	1039	7	1150	6	1119	25	0,89	111
311	26051	2205	0,32	0,10004	0,00162	0,233	0,00195	3,21	0,04643	1625	30	1351	10	1459	11	1867	46	0,58	108
312	483750	40792	0,13	0,08536	0,00093	0,198	0,00151	2,33	0,01982	1324	21	1166	8	1221	6	1472	33	0,89	105
313	301915	23911	0,12	0,08217	0,00096	0,205	0,00165	2,32	0,02252	1250	23	1203	9	1219	7	1479	37	0,83	101
315	168475	10714	0,10	0,06650	0,00077	0,130	0,00101	1,19	0,0112	8222	24	789	6	797	5	956	23	0,83	101

Tabela 3. Resultados analíticos U-Pb dos zircões analisados da amostra VH3.

Grain Spot	206Pba (cps)	207Pba (cps)	Th/U	207Pb/ 206Pbb	$\pm 2\sigma$ (abs)	206Pb/ 238U	$\pm 2\sigma$ (abs)	207Pb/ 235U	$\pm 2\sigma$ (abs)	206Pb/ 207Pb	$\pm 2\sigma$ (Ma)	206Pb/ 238U	$\pm 2\sigma$ (Ma)	207Pb/ 235U	$\pm 2\sigma$ (Ma)	208Pb/ 232Th	$\pm 2\sigma$ (Ma)	RHO	% Conc
311	303528	38479	0,40	0,12615	0,00133	0,372	0,00298	6,46	0,05509	2045	19	2038	14	2041	8	1980	22	0,94	100
312	332768	24298	0,20	0,07289	0,00076	0,165	0,00126	1,66	0,01354	1011	21	984	7	992	5	1026	11	0,93	101
313	379431	51178	0,28	0,13363	0,00138	0,394	0,00315	7,26	0,06041	2146	18	2143	15	2144	7	1945	19	0,96	100
315	424429	55258	0,28	0,12912	0,00133	0,381	0,00308	6,78	0,05676	2086	18	2083	14	2084	7	1808	17	0,97	100
316	307961	41051	0,33	0,13263	0,0015	0,358	0,00277	6,53	0,05881	2133	20	1970	13	2050	8	1984	35	0,86	104
318	899342	121229	0,26	0,13328	0,00137	0,368	0,00305	6,75	0,05784	2141	18	2019	14	2080	8	1744	18	0,97	103
320	104418	18362	0,36	0,17481	0,00189	0,433	0,00346	10,43	0,09058	2604	18	2320	16	2474	8	2124	24	0,92	107
321	144500	19922	0,22	0,13853	0,00149	0,409	0,00331	7,80	0,06847	2209	19	2210	15	2208	8	2110	23	0,92	100
323	329455	45668	0,14	0,13898	0,00154	0,409	0,00335	7,84	0,07167	2215	19	2212	15	2212	8	2768	44	0,89	100
324	677958	53449	0,28	0,07850	0,00082	0,195	0,00155	2,11	0,01773	1160	21	1151	8	1153	6	916	11	0,95	100
325	269993	34367	0,57	0,12603	0,00139	0,373	0,00267	6,47	0,05356	2043	19	2042	13	2042	7	2408	45	0,87	100
326	220753	28426	0,26	0,12958	0,00139	0,380	0,00298	6,79	0,05796	2092	19	2077	14	2084	8	2137	27	0,92	100
327	457159	59174	0,21	0,12839	0,00136	0,382	0,00291	6,76	0,05541	2076	19	2085	14	2080	7	2246	32	0,93	100
328	531996	59413	0,21	0,11116	0,00114	0,324	0,00244	4,97	0,03874	1818	18	1811	12	1814	7	1964	22	0,96	100
329	334262	45800	1,15	0,13602	0,00155	0,388	0,00277	7,27	0,06244	2177	20	2114	13	2146	8	2411	57	0,83	102
332	246515	46042	0,35	0,18529	0,00195	0,520	0,00382	13,27	0,10407	2700	17	2697	16	2699	7	3045	44	0,94	100
333	1443079	346459	0,22	0,23491	0,00239	0,532	0,00444	17,23	0,14685	3086	16	2752	19	2948	8	2233	25	0,98	107
334	230116	31218	0,35	0,13430	0,00139	0,399	0,00313	7,38	0,06062	2155	18	2164	14	2159	7	2022	21	0,96	100
335	219433	29340	0,20	0,13286	0,0015	0,391	0,00313	7,15	0,06599	2136	20	2126	15	2131	8	2238	37	0,87	100
336	577736	76702	0,10	0,13197	0,00142	0,314	0,00227	5,72	0,04601	2124	19	1762	11	1934	7	1374	29	0,90	110
337	236970	31318	0,11	0,13226	0,00141	0,313	0,00254	5,71	0,04975	2128	19	1757	12	1933	8	1218	18	0,93	110
338	267735	37568	0,22	0,13908	0,00145	0,411	0,00308	7,87	0,06225	2216	18	2217	14	2216	7	2370	30	0,95	100
339	142058	11035	0,26	0,07367	0,00112	0,168	0,00152	1,70	0,02344	1032	30	1001	8	1010	9	1019	21	0,66	101

341	97431	6729	0,19	0,07460	0,00091	0,169	0,00126	1,73	0,01694	1058	25	1004	7	1021	6	1242	21	0,76	102
343	267418	35924	0,13	0,13253	0,00137	0,392	0,00309	7,16	0,05869	2132	18	2133	14	2132	7	2115	23	0,96	100
346	143131	19164	0,30	0,13274	0,00148	0,397	0,00295	7,26	0,06204	2135	19	2154	14	2144	8	2368	39	0,87	100
347	161177	21272	0,26	0,13015	0,00152	0,332	0,00289	5,95	0,05994	2100	20	1847	14	1968	9	1878	28	0,86	107
349	527263	73758	0,26	0,13840	0,00141	0,407	0,00309	7,77	0,06073	2207	18	2203	14	2205	7	2399	28	0,97	100
350	353708	22433	0,06	0,06227	0,00071	0,115	0,00086	0,99	0,00896	683	24	702	5	697	5	779	16	0,82	99
351	182419	20136	0,45	0,10942	0,00118	0,317	0,00241	4,78	0,04043	1790	20	1773	12	1781	7	1914	26	0,90	100
352	508598	67602	0,25	0,13297	0,00141	0,392	0,00292	7,18	0,05824	2138	18	2131	14	2134	7	2306	38	0,92	100
353	817946	110747	0,28	0,13350	0,00137	0,361	0,00295	6,64	0,05621	2145	18	1986	14	2064	7	1866	22	0,97	104
354	75307	5026	0,42	0,06608	0,00083	0,132	0,00105	1,20	0,01286	809	26	800	6	802	6	817	11	0,74	100
358	94102	7603	0,17	0,07977	0,0009	0,203	0,00159	2,23	0,02038	1191	22	1193	9	1192	6	1188	15	0,86	100
359	508841	68644	0,24	0,13380	0,00145	0,395	0,00305	7,28	0,0623	2148	19	2144	14	2146	8	2184	38	0,90	100
363	446246	59648	0,32	0,13237	0,00141	0,378	0,00302	6,89	0,0597	2130	19	2065	14	2097	8	1956	29	0,92	102
364	600851	79357	0,13	0,13091	0,00134	0,409	0,00312	7,38	0,05827	2110	18	2212	14	2159	7	2159	27	0,97	98
365	273805	35678	0,23	0,12863	0,00135	0,383	0,00303	6,78	0,05725	2079	18	2089	14	2083	7	2181	28	0,94	100
369	246749	33833	0,41	0,13522	0,0014	0,409	0,00313	7,62	0,06143	2167	18	2210	14	2188	7	2256	29	0,95	99
371	543413	73543	0,19	0,13329	0,0014	0,364	0,00263	6,68	0,05224	2142	18	1999	12	2070	7	1984	34	0,93	104
372	563929	79528	0,26	0,13886	0,00143	0,423	0,00329	8,09	0,06565	2213	18	2273	15	2241	7	2281	30	0,96	99
375	814490	83284	0,27	0,10125	0,00107	0,265	0,00215	3,69	0,03231	1647	20	1514	11	1570	7	1530	24	0,93	104
376	455182	60508	0,23	0,13100	0,00135	0,367	0,00286	6,62	0,0541	2111	18	2014	13	2062	7	2205	30	0,95	102
377	578448	102720	0,56	0,17199	0,0019	0,487	0,00419	11,54	0,11038	2577	18	2557	18	2568	9	2068	37	0,90	100
379	393140	52568	0,19	0,13168	0,00136	0,389	0,00296	7,06	0,05626	2120	18	2119	14	2119	7	2089	28	0,95	100
380	46830	3085	0,31	0,06861	0,00103	0,135	0,00117	1,28	0,01716	8870	31	817	7	836	8	850	15	0,64	102
381	208032	28925	0,24	0,13693	0,00146	0,362	0,00271	6,84	0,05598	2189	18	1993	13	2091	7	1922	31	0,91	105
382	634202	57376	0,18	0,08962	0,00092	0,245	0,00186	3,03	0,02405	1417	19	1414	10	1415	6	1488	21	0,96	100
383	399229	55983	0,36	0,13805	0,00143	0,385	0,00299	7,33	0,05974	2203	18	2101	14	2153	7	2011	28	0,95	102
386	284470	26642	0,20	0,09436	0,00119	0,243	0,00213	3,17	0,0351	1515	24	1404	11	1449	9	1707	40	0,79	103

388	180010	13196	0,75	0,07232	0,00082	0,167	0,00135	1,66	0,01581	995	23	995	7	995	6	985	15	0,85	100
389	748228	100290	0,30	0,13182	0,00135	0,382	0,0029	6,93	0,05469	2122	18	2084	14	2103	7	2133	30	0,96	101
390	977075	192336	0,20	0,19405	0,00202	0,539	0,00431	14,40	0,12135	2777	17	2778	18	2777	8	2738	41	0,95	100
392	451423	59343	0,30	0,12984	0,0014	0,345	0,00275	6,17	0,05415	2096	19	1911	13	2001	8	1409	25	0,91	105
394	839088	112227	0,22	0,13117	0,00153	0,377	0,00322	6,81	0,06874	2114	20	2060	15	2087	9	2112	52	0,85	101
400	120669	7648	0,13	0,06592	0,00075	0,131	0,00102	1,19	0,01097	804	24	794	6	797	5	835	14	0,84	100
402	319962	44605	0,18	0,13686	0,00142	0,394	0,00301	7,44	0,06025	2188	18	2143	14	2166	7	2091	32	0,94	101
403	233942	26026	0,41	0,10995	0,00116	0,327	0,00251	4,95	0,04096	1799	19	1823	12	1811	7	1784	27	0,93	99
406	310771	22734	0,18	0,07190	0,00082	0,165	0,00135	1,63	0,01575	983	23	984	7	984	6	985	19	0,85	100
407	51708	3875	0,31	0,07917	0,00099	0,151	0,00121	1,65	0,01734	1176	24	907	7	989	7	898	15	0,76	109
409	352833	49388	0,24	0,13711	0,00145	0,414	0,00326	7,83	0,06639	2191	18	2234	15	2212	8	2316	38	0,93	99
410	301294	42127	0,29	0,13831	0,00144	0,397	0,00304	7,57	0,06173	2206	18	2154	14	2181	7	2153	34	0,94	101
412	226714	30116	0,41	0,13017	0,00137	0,388	0,00298	6,96	0,05766	2100	18	2113	14	2107	7	2069	33	0,93	100
413	119437	13939	0,41	0,11436	0,00124	0,338	0,00263	5,33	0,04637	1870	20	1879	13	1875	7	1871	30	0,89	100
417	198023	26840	0,35	0,13298	0,00141	0,392	0,00301	7,19	0,05993	2138	18	2132	14	2135	7	2076	34	0,92	100
418	394475	46413	0,17	0,11518	0,0012	0,351	0,00269	5,57	0,04552	1882	19	1938	13	1912	7	1926	32	0,94	99
419	311155	41588	0,17	0,13089	0,00137	0,406	0,00311	7,32	0,06005	2110	18	2194	14	2151	7	2191	36	0,93	98
420	140731	10031	0,40	0,07395	0,00082	0,156	0,0012	1,59	0,01405	1040	22	932	7	965	6	910	16	0,87	104
427	70034	4122	0,19	0,05814	0,00094	0,091	0,00077	0,73	0,01063	535	35	562	5	557	6	531	22	0,58	99
428	539285	48194	0,07	0,08829	0,00111	0,240	0,00194	2,92	0,03148	1389	24	1385	10	1386	8	1143	34	0,75	100
429	53611	4960	0,28	0,08916	0,0029	0,239	0,00291	2,94	0,09108	1408	61	1382	15	1392	23	1604	209	0,39	101
430	489822	53238	0,23	0,10648	0,00229	0,310	0,00283	4,54	0,09032	1740	39	1739	14	1739	17	1838	147	0,46	100
431	16987	1342	0,46	0,11085	0,0053	0,325	0,00612	4,95	0,22975	1813	84	1815	30	1811	39	1205	182	0,41	100
432	120594	13834	0,86	0,11353	0,00149	0,331	0,00262	5,19	0,05759	1857	24	1845	13	1850	9	1765	51	0,71	100
433	210618	26045	0,29	0,11979	0,00193	0,354	0,00289	5,85	0,08311	1953	28	1954	14	1953	12	1975	94	0,57	100
434	410233	54358	0,30	0,13187	0,00366	0,387	0,00461	7,04	0,19417	2123	48	2108	21	2117	25	2510	313	0,43	100
435	205425	28129	0,26	0,13191	0,00378	0,388	0,00428	7,05	0,19145	2123	49	2112	20	2117	24	2272	253	0,41	100

436	255164	34649	0,33	0,13251	0,00245	0,388	0,00361	7,08	0,12427	2131	32	2113	17	2121	16	1599	102	0,53	100
437	2126365	356943	0,04	0,16578	0,00321	0,471	0,00398	10,76	0,18813	2515	32	2488	17	2503	16	2595	148	0,48	101

Tabela 4 Resultados analíticos dos zircões analisados da amostra A309.

Grain Spot	206Pba (cps)	207Pba (cps)	Th/U	207Pb/ 206Pbb	$\pm 2\sigma$ (abs)	206Pb/ 238U	$\pm 2\sigma$ (abs)	207Pb/ 235U	$\pm 2\sigma$ (abs)	206Pb/ 207Pb	$\pm 2\sigma$ (Ma)	206Pb/ 238U	$\pm 2\sigma$ (Ma)	207Pb/ 235U	$\pm 2\sigma$ (Ma)	208Pb/ 232Th	$\pm 2\sigma$ (Ma)	RHO	% Conc
449	9612	874	0,28	0,06524	0,00781	0,117	0,00551	1,03	0,1175	782	233	714	32	719	59	825	479	0,41	101
450	201353	12694	0,02	0,06507	0,00191	0,136	0,00164	1,22	0,0361	777	61	824	9	812	16	528	53	0,41	98
451	149043	10797	0,18	0,07330	0,00157	0,172	0,00171	1,74	0,03631	1.022	43	1024	9	1024	13	1194	107	0,48	99
454	111504	9780	0,54	0,05891	0,00489	0,094	0,00335	0,76	0,06076	563	171	578	20	573	35	148	72	0,45	99
456	57976	5118	1186,00	0,06354	0,00584	0,113	0,00423	0,97	0,09067	726	184	692	24	691	47	-259	323	0,40	99
461	138595	8732	0,05	0,06172	0,00249	0,110	0,00162	0,93	0,03706	664	84	673	9	670	19	617	134	0,37	99
462	264625	20353	0,28	0,05999	0,00518	0,104	0,00369	0,86	0,07378	603	177	640	22	628	40	266	110	0,41	98
463	24861	2176	0,35	0,06955	0,00465	0,135	0,00419	1,25	0,08808	915	132	818	24	824	40	507	194	0,44	101
464	85472	6845	0,40	0,06707	0,00795	0,133	0,00706	1,17	0,1554	839	229	804	40	788	73	165	56	0,40	98
466	132747	9067	0,72	0,06115	0,0036	0,096	0,00225	0,80	0,04948	645	122	592	13	597	28	105	36	0,38	101
467	111022	7797	0,96	0,06492	0,00558	0,118	0,00427	1,05	0,10731	772	171	722	25	728	53	53	13	0,35	101
468	127330	8928	0,28	0,06159	0,00363	0,109	0,00263	0,91	0,05659	660	122	667	15	657	30	331	137	0,39	99
470	16873	1191	0,92	0,06009	0,0046	0,106	0,0032	0,87	0,06612	607	158	651	19	638	36	97	56	0,40	98
472	45579	3269	0,66	0,06342	0,00459	0,117	0,00344	1,00	0,07399	722	147	711	20	706	37	171	75	0,40	99
474	130016	10045	0,06	0,06359	0,00407	0,117	0,00305	1,01	0,06571	728	130	711	18	707	33	1198	430	0,40	99

475	272122	17207	0,03	0,06094	0,00301	0,112	0,00208	0,93	0,0495	637	103	682	12	670	26	353	79	0,35	98
476	130064	9331	0,25	0,06085	0,00405	0,109	0,00286	0,90	0,06232	634	137	666	17	652	33	269	102	0,38	98
478	73178	5658	0,79	0,06508	0,00435	0,132	0,00346	1,17	0,08028	777	135	798	20	786	38	177	64	0,38	98
479	239907	14804	0,00	0,06271	0,00391	0,123	0,00293	1,06	0,07838	698	128	745	17	736	39	1718	465	0,32	98
480	72884	5717	0,64	0,06711	0,00526	0,127	0,00431	1,15	0,09346	841	155	771	25	775	44	203	94	0,42	101
482	264676	17946	0,28	0,06437	0,00326	0,129	0,00273	1,13	0,06515	754	103	782	16	767	31	188	49	0,37	98
483	178354	14110	0,47	0,06057	0,00492	0,090	0,0033	0,73	0,06277	624	166	555	20	554	37	198	97	0,42	98
484	213643	14391	0,03	0,06591	0,00451	0,136	0,0039	1,23	0,10551	804	137	825	22	816	48	866	330	0,33	99
485	5082	471	0,17	0,06795	0,00654	0,135	0,00401	1,24	0,12213	867	187	817	23	818	55	1204	767	0,30	100
488	112374	6931	0,60	0,06125	0,00404	0,117	0,00297	0,99	0,0768	648	136	711	17	697	39	59	15	0,33	98
489	81357	6640	0,29	0,06612	0,00567	0,133	0,00498	1,18	0,10598	810	170	805	28	790	49	479	218	0,42	98
493	73306	3216	0,21	0,06501	0,00246	0,121	0,00156	1,08	0,03905	775	78	738	9	742	19	1190	931	0,36	101
496	44069	3328	0,09	0,07285	0,00303	0,143	0,00209	1,42	0,05645	1010	82	859	12	896	24	2269	1454	0,37	104
498	121293	8421	0,35	0,06546	0,00187	0,122	0,00133	1,08	0,02889	789	59	740	8	746	14	209	15	0,41	101
502	130029	9107	0,03	0,29491	0,07879	0,615	0,20291	24,64	892.447	3444	363	3089	810	3294	353	3816	2031	0,91	107
512	124918	8332	0,25	0,06574	0,00118	0,120	0,00102	1,09	0,01755	798	37	730	6	747	9	151	7	0,53	102
519	44349	3160	0,24	0,06971	0,00215	0,144	0,00174	1,38	0,04038	920	62	868	10	882	17	304	19	0,41	102
520	181354	11367	0,05	0,06186	0,00111	0,101	0,00083	0,84	0,01368	669	38	620	5	621	8	225	17	0,51	100
526	192187	17545	0,18	0,09297	0,00107	0,266	0,00205	3,41	0,03159	1487	22	1523	10	1506	7	1527	31	0,83	99
527	136217	8872	0,22	0,06616	0,0009	0,119	0,00095	1,09	0,0127	811	28	726	5	746	6	135	4	0,68	103
530	405060	33564	0,17	0,08108	0,00089	0,194	0,00161	2,17	0,02029	1223	21	1141	9	1170	7	1171	19	0,89	103
531	12090	826	0,36	0,06699	0,00567	0,119	0,00306	1,09	0,08906	837	167	725	18	749	43	366	47	0,31	103
532	107437	7019	0,13	0,06429	0,00078	0,121	0,00098	1,07	0,011	751	25	737	6	741	5	213	5	0,79	101
534	107767	7108	0,20	0,06754	0,00087	0,134	0,00112	1,25	0,01404	854	27	810	6	823	6	153	4	0,74	102
535	101446	9107	0,45	0,08876	0,00125	0,186	0,0017	2,27	0,02882	1399	27	1098	9	1205	9	912	19	0,72	110
536	130029	9321	0,16	0,07003	0,00109	0,145	0,00128	1,40	0,01956	929	32	873	7	890	8	332	11	0,63	102
537	238709	16212	0,05	0,06566	0,00084	0,123	0,00103	1,12	0,01248	796	27	749	6	761	6	666	18	0,75	102

542	127414	13900	0,48	0,10740	0,00124	0,327	0,00272	4,85	0,04758	1756	21	1824	13	1794	8	1880	33	0,85	98
543	36943	1847	0,28	0,06542	0,00228	0,123	0,00155	1,11	0,03685	788	72	748	9	758	18	102	14	0,38	101
544	69803	4527	0,07	0,06408	0,00088	0,107	0,00087	0,94	0,01128	744	29	656	5	676	6	224	10	0,68	103
554	314189	27644	0,18	0,09907	0,00338	0,284	0,00392	3,89	0,1262	1607	62	1613	20	1612	26	1348	113	0,43	100
556	275642	29959	0,24	0,10809	0,0015	0,310	0,00254	4,62	0,05453	1767	25	1738	13	1752	10	1797	45	0,69	101
557	1100691	135770	0,30	0,12041	0,00123	0,350	0,00285	5,81	0,04883	1962	18	1935	14	1949	7	1327	14	0,97	101
558	189039	24331	0,84	0,12811	0,00175	0,375	0,00313	6,62	0,07715	2072	24	2052	15	2062	10	2104	47	0,72	100
559	37602	4426	0,54	0,11601	0,00144	0,424	0,00353	6,79	0,07118	1896	22	2280	16	2084	9	2258	27	0,79	91
560	115185	14676	0,53	0,12477	0,00152	0,365	0,00323	6,29	0,06714	2026	21	2008	15	2017	9	1948	29	0,83	100
561	333884	42612	0,36	0,12669	0,00209	0,368	0,00346	6,43	0,09584	2053	29	2022	16	2036	13	2054	75	0,63	101
563	935691	105167	0,63	0,09288	0,00192	0,251	0,00265	3,20	0,0628	1485	39	1442	14	1458	15	555	36	0,54	101
564	85437	13672	0,24	0,15640	0,00294	0,477	0,005	10,28	0,17526	2417	32	2516	22	2460	16	2640	109	0,61	98
565	298149	35561	0,32	0,11376	0,0019	0,330	0,00332	5,17	0,08027	1860	30	1839	16	1848	13	1789	66	0,65	101
568	584214	67074	0,28	0,11258	0,00361	0,327	0,00443	5,08	0,15673	1841	57	1824	22	1833	26	1865	183	0,44	101
570	401892	50993	0,37	0,12501	0,00157	0,368	0,00298	6,34	0,06747	2029	22	2021	14	2025	9	2107	55	0,76	100
571	885687	88096	0,39	0,09885	0,00106	0,280	0,00227	3,82	0,03397	1603	20	1593	11	1597	7	1307	22	0,91	100
572	275439	24721	0,27	0,08939	0,00188	0,242	0,00223	2,97	0,05751	1413	40	1395	12	1401	15	1437	82	0,48	100
573	96147	7781	0,22	0,08260	0,00154	0,214	0,00196	2,44	0,04143	1260	36	1253	10	1255	12	1318	51	0,54	100
574	67511	4426	0,33	0,07005	0,0055	0,159	0,00405	1,52	0,11659	930	153	953	23	940	47	240	43	0,33	99
575	523070	43930	0,17	0,08229	0,00102	0,215	0,00162	2,44	0,02487	1252	24	1255	9	1253	7	1382	38	0,74	100
576	30779	2187	0,76	0,06770	0,00212	0,140	0,00165	1,31	0,03883	859	64	844	9	848	17	134	8	0,40	100
578	493157	38585	0,17	0,07720	0,00094	0,188	0,00161	2,01	0,02151	1126	24	1113	9	1118	7	896	24	0,80	100
581	74527	4788	0,16	0,06753	0,00111	0,140	0,00115	1,30	0,01908	854	34	844	7	847	8	459	18	0,56	100
582	119772	7460	0,20	0,06222	0,00081	0,110	0,00086	0,95	0,01047	682	28	674	5	676	5	143	4	0,70	100
584	553743	69910	0,48	0,12649	0,00544	0,368	0,00598	6,43	0,2702	2050	74	2021	28	2037	37	1852	318	0,39	101
585	181466	23051	0,47	0,12503	0,00197	0,365	0,00348	6,30	0,09171	2029	28	2007	16	2018	13	2548	108	0,65	101
586	82914	6214	0,42	0,07105	0,00098	0,156	0,00133	1,52889	0,01861	959	28	935	7	942	7	215	6	0,70	101

Tabela 5. Resultados analíticos Sm-Nd das amostras de campo.

Sample	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\sigma$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon\text{Nd}(600 \text{ Ma})$	TDM (Ga)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$
A555	2.9	14.5	0.511856	0.000004	0.12302	-9.58	2.0	0.777697	0.000007
AR1	6.3	33.5	0.511821	0.000004	0.112986	-9.49	1.8	0.891286	0.000009
PH02	5.9	26	0.512362	0.000007	0.138047	-0.85	1.4	0.719228	0.000007
VH3	4	19.1	0.511784	0.000003	0.126701	-11.27	2.2	0.760972	0.000006