

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



**PROVENIÊNCIA DAS ROCHAS METASSEDIMENTARES
DETRÍTICAS DO COMPLEXO PASSO FEIO – TERRENO
SÃO GABRIEL, CAÇAPAVA DO SUL-RS.**

Porto Alegre, dezembro de 2012.

CARINA GRACINIANA LOPES

**PROVENIÊNCIA DAS ROCHAS METASSEDIMENTARES
DETRÍTICAS DO COMPLEXO PASSO FEIO – TERRENO
SÃO GABRIEL, CAÇAPAVA DO SUL-RS.**

NOME DO ORIENTADOR:

Prof. Dr. Marcio Martins Pimentel

SUPERVISORES:

MSc Leonardo Gruber

Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

COMISSÃO EXAMINADORA:

Profa. Dra. Maria de Fátima Aparecida Saraiva Bitencourt

Prof. Dr. Marcus Vinícius Dorneles Remus

COMISSÃO DOS PROJETOS TEMÁTICOS

Prof. Dr. Marcus Vinícius Dorneles Remus

Profa. Dra. Maria Lídia Medeiros Vignol

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Porto Alegre, dezembro de 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Lopes, Carina Graciniana

Proveniência das rochas metassedimentares detríticas do complexo passo feio – terreno São Gabriel, Caçapava do Sul-RS. / Carina Graciniana Lopes. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2012.

[78 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Curso de Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2012.

Orientador: Marcio Martins Pimentel

Coorientador: Ruy Paulo Philipp

Coorientador: Leonardo Gruber

1. Proveniência. 2. Complexo Metamórfico Passo Feio. 3. U-Pb. 4. LA-MC-ICPMS. 5. SHRIMP I. Título.

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Alexandre Ribas Semeler CRB 10/1900

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **“PROVENIÊNCIA DAS ROCHAS METASSEDIMENTARES DETRÍTICAS DO COMPLEXO PASSO FEIO – TERRENO SÃO GABRIEL, CAÇAPAVA DO SUL-RS.”**, elaborado por **“CARINA GRACINIANA LOPES”**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:



Prof. Dra. Maria de Fátima Aparecida Saraiva Bitencourt



Prof. Dr. Marcus Vinícius Dorneles Remus

Dedico este aos meus pais e irmãos que, com muito zelo,
me formaram como pessoa antes de qualquer passo pra vida.

Renato, Nair, Camila e Cassiane, Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Pois é, a caminhada até aqui foi um tanto longa: oito anos “em curso”, tendo toda dualidade da palavra. Muitas histórias se passaram e há muito pra lembrar... foram aventuras, aprendizados, experiências e também indias é claro.

Hoje agradeço então em primeiro lugar a minha família, que muito antes dos oito anos atrás priorizou a educação e propiciaram com grande incentivo essa etapa concluída das muitas que ainda virão. Pai e mãe Renato Lopes e Nair Marlene Lopes, e manas Camila Viviane Lopes e Cassiane Elisabete Lopes, Obrigada!!!! Vocês são a minha essência!

Obrigada aos meus orientadores atuais e anteriores Marcio Martins Pimentel, Ruy Paulo Philipp, Elírio Enerstino Júnior, e não menos importante que isso Leonardo Gruber, Sergio Junges e José Carlos Nunes: muito obrigada pela paciência, ensinamentos e trocas de ideias!

Ao meu ex-marido Geólogo Fernando Morais, que independentemente participou da grande parte da trajetória até hoje. Foi o meu maior professor Geológico e me ensinou conceitos que ajudaram a nascer a Geóloga cheia de opinião de hoje.

Aos amigos que participaram do caminho, fazendo com que tudo tivesse alegria. Foram muitos os que fizeram parte, pois a cada ano uma nova turma fazia a parceria e novas amizades eram conquistadas: Adriana Dami, Thisiane Santos, Franciele Schwanck Carlos, Larissa Colombo Carniel, Tamara Reginatto Manfredi, Carolina Lahuski Schneider, Thiago Rosa da Cunha, Luis Felipe Dorneles, Thamy de Lara, Rosália Barili, Cristiane Zatt, Daniel Vieira, Fernando Galvão Klein, Eliel Martins Senhorinho, Diego Skieresz, Leonardo Neis, Ana Paula Franz (“mana falsete”), Amanda Goulart Rodrigues, Sebastian Lenz, Juliana Pertille. A todos os amigos da UFMG que me acolheram em 2009, em especial Nadja Ferraz.

Minhas companheiras de morada do “Jambalaia 409”, parceiras de conversas e divertimentos, Ana Rassier e Thamys Luz, vocês deixam meu dia a dia muito muito melhor!

Obrigada, todos vocês me trouxeram a felicidade em muitos e muitos momentos!!

“As pessoas entram em nossa vida por acaso, mas não é por acaso que elas permanecem” (*Lilian Tonet*)

“Tenho a impressão de ser ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante dos meus olhos”.

(Isaac Newton)

RESUMO

O Complexo Metamórfico Passo Feio compreende sequências metassedimentares incluindo xisto, filito, mármore e quartzito. É componente do Terreno neoproterozóico São Gabriel, no cinturão Dom Feliciano, a porção brasileira mais ao sul da Província Mantiqueira. Dados de proveniência sedimentar são escassos para estas sequências. Estas informações quando somadas às de outras unidades do Escudo Sul-Rio-Grandense serão fundamentais para avançar o nível de conhecimento a respeito da evolução tectônica do ciclo Brasileiro na região sul do Brasil. Reconhecer as fontes dos sedimentos e as características petrogenéticas das mesmas é objetivo deste trabalho. Este reconhecimento possibilita o posterior entendimento da paleogeografia e da configuração geotectônica da bacia sedimentar que deu origem a este complexo. Os dados são obtidos através da datação das diferentes populações de zircões detríticos de cada amostragem. O método geocronológico utilizado foi U-Pb em 3 amostras da região, usando os espectrômetros de massa LA-MC-ICPMS e SHRIMP. Os resultados mostram que possivelmente os metassedimentos detríticos do Complexo Passo Feio são um registro sedimentar de uma bacia de margem passiva entre os crátons do Kalahari e Rio de La Plata evoluindo para uma bacia de retro-arco entre o continente Kalahari e o arco de ilhas Passinho/Lavras do sul.

Palavras-Chave: Proveniência; Complexo Metamórfico Passo Feio; U-Pb; LA-MC-ICPMS; SHRIMP.

ABSTRACT

The Passo Feio Metamorphic Complex comprise metasedimentary sequences made of micaschist, phyllite, marble and quartzite. It represents part of the neoproterozoic São Gabriel Terrain, in the Dom Feliciano Fold Belt, comprising the southernmost Brazilian portion of the Mantiqueira Province. Provenance data are scarce for these sequences. The provenance data allied with information on other units available in the literature will be fundamental to improve the knowledge about the tectonic evolution of the Brasiliano cycle in southern Brazil. To recognize the sources of sediments and their petrogenetic characteristics represents the focal point of this work. This provides the subsequent understanding of the paleogeography and tectonic setting of the depositional sedimentary basin of this complex. The dates are obtained by dating different populations of detrital zircons in the siliciclastic metasediment. The geochronological method used is the U-Pb using LA-MC-ICPMS and SHRIMP techniques. The results show that the original detrital sediments of the Passo Feio Complex may represent a former passive margin basin between the Kalahari and Rio de La Plata Cratons which evolved to a back-arc basin between the Kalahari continent and the Passinho/Lavras do Sul island arc.

Keywords: Provenance; Passo Feio Metamorphic Complex; geochronology; U-Pb; LA-ICPMS; SHRIMP

LISTA DE ABREVIATURAS

Bt	Biotita
Clo	Clorita
CMPF	Complexo Metamórfico Passo Feio
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
ESRG	Escudo Sul-Rio-Grandense
Ga	Bilhões de anos
Gt	Granada
IG	Instituto de Geociências
LA – MC ICP – MS	Laser Ablation Multicollector Ion Couple Plasma - Mass Spectrometer
LN	Luz natural
LP	Luz polarizada
Ma	Milhões de anos
Musc	Muscovita
PF-(nº)	Nomenclatura das amostras coletadas no Complexo Passo Feio
RT	Rocha Total
SHRIMP	Sensitive High Resolution Ion Microprobe Mass Spectrometry
SIMS	Secondary Ion Mass Spectrometry
Stt	Estaurolita
$t^{1/2}$	Meia vida
TIMS	Thermal Ionization Mass Spectrometer
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Fluxograma projetual.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2: Localização e principais vias de acesso da cidade de Caçapava do Sul, RS - Brasil.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3: Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Mantiqueira (CPRM, 2003).....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4: A) Localização da área de estudo na America do Sul. B) Principais unidades geotectônicas do Sul do Brasil e Uruguay. Zonas de Cisalhamento: 1- Itajaí-Perimbó, 2- Major Gercino, 3- Santana da Boa Vista, 4- Dorsal de Canguçu, 5- Passo do Marinheiro, 6- Ibaré, 7- Sarandi Del Y, 8- Sierra Ballena, 9- Cerro Amaro, 10- Arroio Grande. Modificado de Chemale Jr. et al., (2007), Oyhantçabal et al., (2010) e Philipp et al (2011).</i>	<i>25</i>
<i>Figura 5: Mapa geológico da área de estudo (Modificado de Philipp et al. (2011), UFRGS, 1998.).....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 6: Estudo de proveniência realizado por Remus et al., 2000, em uma amostra de albita-muscovita-clorita xisto (CERR-wr) da Formação Passo Feio, NW da área de estudo.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 7: Série do decaimento radioativo do ^{238}U até o ^{206}Pb. Fonte: Revista eletrônica do Departamento de Química - UFSC, ano 4.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8: Figura ilustrando cristal de zircão (ZrSiO_4) a esquerda e os átomos de Zr, U e Pb afim de comparar suas cargas e raios iônicos. Modificado de Kare Kullerud-webgeology.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 9: Exemplo de um diagrama concórdia para a composição isotópica de um mineral hipotético. Fonte: Kare Kullerud - webgeology.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 10: Desenho esquemático de espectrômetro de massa. (Sato et al., 2002)...</i>	<i>34</i>

<i>Figura 11: LA-MC-ICPMS do Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da UFRGS.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 12: a) Entrada das amostras no Laser Ablation em mounts de grãos de zircão para datação no LA-MC-ICPMS. b) Foto de detalhe; Capacidade de um padrão e duas amostras.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 13: SHRIMP II da Australian National University em Camberra – Austrália... </i>	<i>37</i>
<i>Figura 15: Mapa geológico do Complexo Passo Feio e arredores com a localização das amostras coletadas em campo. Modificado de Philipp et al. (2011), UFRGS (1998).....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 14: PF-02: Filito com foliação penetrativa bem demarcada.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 16: Afloramento no leito do rio de granada estauroлита xisto.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 17: Foto de detalhe da amostra de mão do Xisto PF-03 com porfiroblastos de granada e de estauroлита.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 18: Etapas sucessivas de preparação de amostras. a) Britador; b) peneira < 6mm; c) Moinho; d) Peneira < 500 μm.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 19: Etapas de separação de grãos minerais para extração de zircões. a) Bateia para separação de minerais pesados; b) Separador magnético isodinâmico Frantz; c) Separação por densidade em meio líquido em placa de petri; d) Concentração de grãos de zircões obtidos da amostra PF-03.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 20: Mount de zircões da amostra PF-02 contendo aproximadamente 100 grãos. a) Capsula resinada com Zircões dispostos no centro; b) Imagem de detalhe.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 21: Filito PF-02 com alternancias de camadas de direferentes granulometrias. Fotomicrografia a luz natural.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 22: Porfiroclastos de quartzo do tipo σ (classificação de Ramsay & Huber, 1987). Movimento Sinistral.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 23: Classificação de porfiroclastos segundo Ramsay & Huber (1987). a) Porfiroclasto do tipo σ; (b) porfiroclasto do tipo δ</i>	<i>46</i>

<i>Figura 24: Fotomicrografia a LP de porfiroblastos de granada e estauroлита associados. Indicação da foliação S_{n+1} crenulando a bt.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 25: A) Fotomicrografia a LP. Porfiroblasto de granada rotacionado com trilhas de inclusões. Xistosidade demarcada por orientação de biotita. B) Fotomicrografia a LN de detalhe mostrando a presença de alos de metamictização gerados pelos zircões inclusos em bt.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 26: Histograma de frequência x idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de zircões detríticos em Ma da amostra PF-01.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 27: Diagrama concórdia para todas as idades dos zircões detríticos da amostra PF-01 em Ma. Erros das elipses são 2σ.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 28: Histograma de frequência x idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de zircões detríticos em Ma da amostra PF-02.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 29: Diagrama concórdia para todas as idades dos zircões detríticos da amostra PF-02 em Ma. Erro das elipses = 2σ.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 30: Histograma de frequência x idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de zircões detríticos em Ma da amostra PF-03.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 31: Diagrama concórdia para todas as idades dos zircões detríticos da amostra PF-01 em Ma. Erro das elipses = 68,3% (1σ).</i>	<i>52</i>
<i>Figura 32: Diagrama concórdia para as idades dos zircões detríticos Neoproterozóicos da amostra PF-03 em Ma. Idades mais jovens que 800 Ma são discordantes, evidenciando perda de Pb. Erro das elipses = 68,3% (1σ).</i>	<i>53</i>
<i>Figura 33: (A) Diagrama simplificado mostrando a linha limite do Craton Kaapvaal e os principais componentes geológicos; (B) Localizações dos domínios Leste, Central, Norte e Oeste (Poujol et al, 2003).....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 34: Mapa tectonico da região sul da África. Cráton Kalahari composto pelos Crátoms Kaapvaal e Zimbabwe juntamente com as faixas móveis Limpopo e Namaqua. (K. Priestley et al., 2005).</i>	<i>57</i>

<i>Figura 35: Bloco diagrama de bacia de margem passiva do tipo Atlântico. Aporte sedimentar fornecendo zircões de proveniências continentais. Modificado de Brown et al. (2003).....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 36: Bloco diagrama de bacia de Ante-arco. Aporte sedimentar fornecendo zircões de proveniências continentais e de arco magmático. Modificado de Brown et al. (2003).....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 37: Mapa geodinâmico simplificado da quebra e abertura do Rodínia. (Li et al., 2008).....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 38: A) Mapa geodinâmico do fechamento do Gondwana, demonstrando a proximidade e colisão entre os crátons Kalahari (KAL), São Francisco-Congo (SFCKA) e Rio de La Plata (RP). Posicionamento do oceano Adamastor entre os crátons. (Bley, 2003).....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 39: Bloco diagrama do modelo evolutivo geotectônico proposto para o Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF). Modificado de Saalman et al. (2005) e Chemale (2000).</i>	<i>66</i>

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1. OBJETIVOS.....	20
1.2. FLUXOGRAMA PROJETUAL.....	21
1.3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	22
2. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	23
2.1. GEOLOGIA REGIONAL.....	23
2.1.1. <i>Província Mantiqueira.....</i>	23
2.1.2. <i>ESRG.....</i>	24
2.1.3. <i>Terreno São Gabriel.....</i>	25
2.2. GEOLOGIA DA ÁREA – COMPLEXO METAMÓRFICO PASSO FEIO	26
3. METODOLOGIA.....	30
3.1. GEOCRONOLOGIA.....	30
3.1.1. <i>Zircão.....</i>	30
3.1.2. <i>Série de Decaimento U-Pb.....</i>	31
3.1.3. <i>Espectrômetro de Massa.....</i>	33
3.1.4. <i>LA-MC-ICPMS(Laser Ablation Multi.....</i>	35
3.1.5. <i>Colector Ion Coupled Mass Spectrometer).....</i>	35
3.1.6. <i>SHRIMP (Sensitive High Resolution Ion MicroProbe).....</i>	36
3.2. COLETA E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS.....	37
3.2.1. <i>Preparação das amostras para espectrômetro de massa.....</i>	40
3.2.2. <i>Petrografia.....</i>	43
4. RESULTADOS.....	44

4.1. ANÁLISE PETROGRÁFICA	44
4.1.1. <i>Filitos (PF-01 e PF-02).....</i>	44
4.1.2. <i>Granada Estaurolita Xisto (PF-03)</i>	46
4.2. U-PB EM ZIRCÃO DETRÍTICO	48
4.2.1. <i>PF-01</i>	48
4.2.2. <i>PF-02</i>	50
4.2.3. <i>PF-03</i>	51
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	54
5.1. ÁREAS FONTES.....	55
5.1.1. <i>3.6 Ga e 3.2 Ga – Populações arqueanas</i>	55
5.1.2. <i>2.4 Ga – População Paleoproterozóica / Sideriana</i>	57
5.1.3. <i>1.8 Ga a 2 Ga – População Paleoproterozóica / Estateriana</i>	58
5.1.4. <i>850 Ma – População Neoproterozóica</i>	58
5.2. AMBIENTES DEPOSICIONAIS.....	59
5.3. IDADES DE DEPOSIÇÃO E FECHAMENTO DA BACIA	60
5.4. PROPOSTA DE MODELO TECTÔNICO.....	62
6. CONCLUSÕES	67
7. REFERÊNCIAS	68

1. INTRODUÇÃO

O complexo Passo Feio é um registro parcial de uma paleobacia, cujos sedimentos foram metamorfizados por um evento de metamorfismo regional orogênico. Hoje este complexo expõe sequências de rochas pelíticas, areníticas e carbonáticas. Está inserido no Terreno São Gabriel, cinturão Dom Feliciano, porção meridional da Província Mantiqueira resultante de acreções de massas continentais durante o Neoproterozóico.

A configuração tectônica e ambiente deposicional dessa paleobacia ainda é motivo de debate na literatura. Ela foi considerada por Fragoso-César (1991) como parte de um ambiente de margem passiva do tipo Atlântico e por Fernandes *et al.* (1992) como um registro sedimentar de uma bacia do tipo Retro-Arco (*back-arc*). Porém, estas sugestões baseiam-se em dados petrográficos, estruturais e outros critérios de campo; o contexto de evolução da área central do escudo, entretanto, ainda pode ser melhor embasado com aplicação de métodos analíticos adicionais, para determinar características geoquímicas e idades de eventos de diferentes origens.

Tomando como premissa que todos os sedimentos de uma determinada região convergem para a área topograficamente mais baixa, e que estes sedimentos arquivam registros de grande parte das exposições rochosas que compunham aquele cenário, podemos encontrar respostas para a proveniência dos sedimentos e da configuração tectônica da bacia original por meio da comparação entre a idade dos zircões detríticos e a idades das rochas fontes.

Consideramos como hipóteses neste trabalho que as prováveis bacias sedimentares que geraram estes registros litológicos tenham sido bacias marinhas dos tipos Margem Passiva, Bacia Retro-Arco ou Bacia de Ante-Arco. Estas respostas serão dadas de acordo com o reconhecimento das fontes contribuintes de sedimentos formadores desta unidade metassedimentar. Serão identificadas por meio de datação, mapeando as diferentes populações de zircões presentes nas rochas amostradas. Isto se torna possível com a datação de um número estatisticamente significativo de zircões objetivando abranger os principais contribuintes destes sedimentos.

A técnica adotada para os estudos geocronológicos é o sistema isotópico U-Pb aplicado em zircões detríticos. Amostras coletadas em campo foram analisadas por LA-MC-ICPMS no Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências - UFRGS e pelo SHRIMP da *Australian National University* em Canberra – Austrália. Com os dados obtidos e dados de datações prévias obtidas por outros estudos na região, foi possível determinar as respectivas áreas fontes dos sedimentos e apresentar possíveis modelos para o tipo e a configuração tectônica da bacia sedimentar onde estas unidades foram depositadas.

1.1. OBJETIVOS

Este estudo almeja expandir o número de datações U-Pb do Complexo Metamórfico Passo Feio a fim de identificar padrões de proveniência dos diferentes segmentos metassedimentares.

Além disso, em uma ótica regional, as informações geradas a partir desta pesquisa quando somadas às de outras unidades do ESRG, serão fundamentais para contribuir no avanço do nível de conhecimento a respeito da evolução tectônica do ciclo Brasileiro na região sul do Brasil.

1.2. FLUXOGRAMA PROJETUAL

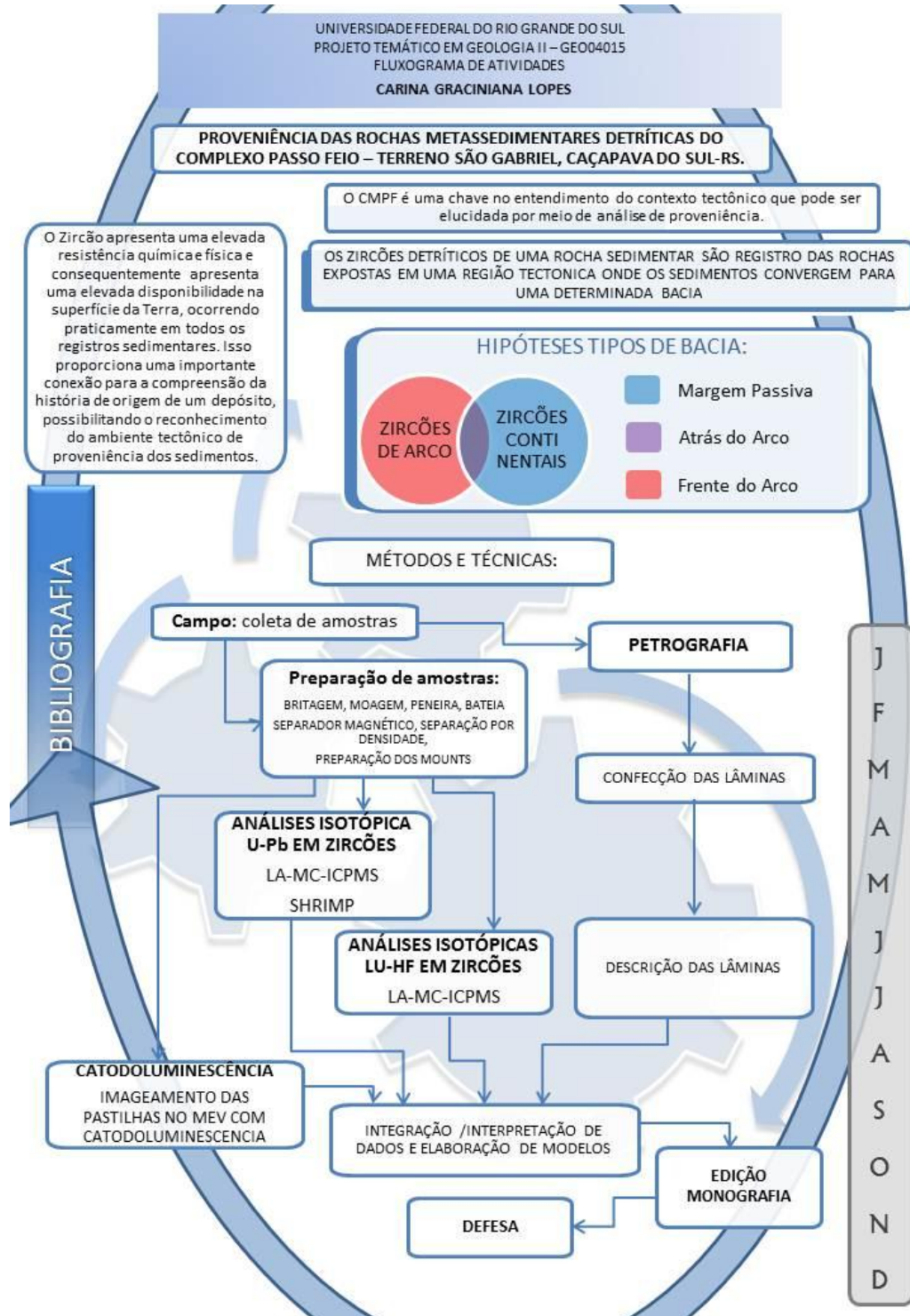


Figura 1: Fluxograma projetual

1.3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O Complexo Passo Feio situa-se nas proximidades da cidade de Caçapava do Sul, centro sul do Estado do Rio Grande do Sul. O acesso à área, a partir da capital Porto Alegre, se dá por meio das rodovias federais BR290 e BR392 por cerca de 260 km (Fig. 2).

A região que compreende o município de Caçapava do Sul e arredores é considerada um centro de referência para estudos geológicos de campo, bem como para ensino e pesquisa da comunidade geológica da UFRGS e também de outras universidades do país. Sua importância reflete a diversidade de exposições rochosas da região.

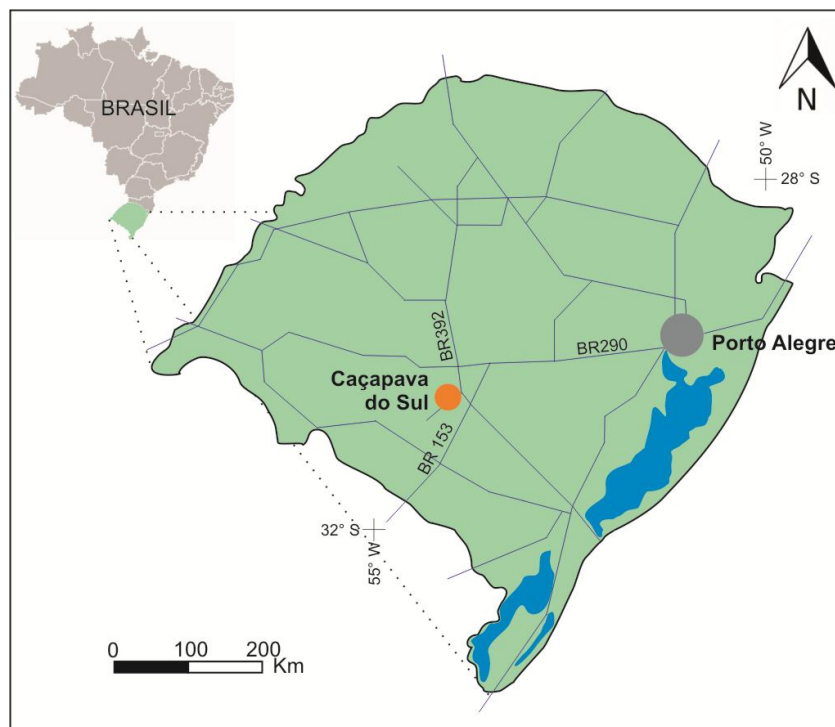


Figura 2: Localização e principais vias de acesso da cidade de Caçapava do Sul, RS - Brasil.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1. GEOLOGIA REGIONAL

2.1.1. Província Mantiqueira

Almeida *et al.* (1977, 1981) define a Província Mantiqueira como uma faixa de direção NE-SW, paralela à costa sudeste e sul do Brasil, com mais de 3.000 km de comprimento, que se estende da Bahia até o Uruguai. Faz limite com as províncias Tocantins, São Francisco e Paraná, e é bordejada, à leste, pela margem continental e pelas bacias costeiras do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas (Fig. 3).

Segundo Heilbron *et al.* (2004) trata-se de um sistema orogênico Neoproterozóico que engloba os orógenos Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano, São Gabriel e a zona de interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira. Sua formação se dá durante o fechamento do supercontinente Gondwana.

Um sistema orogênico nada mais é que um conjunto de orógenos que se justapõem diacronicamente, a exemplo da Província Mantiqueira constituída no referido sistema orogênico neoproterozóico-cambriano. Dizer que o processo orogênético é diacrônico significa, por exemplo, que enquanto ocorre colisão de um arco-de-ilhas com uma margem continental num ramo do sistema orogênico, em outro setor deste sistema pode acabar de ter acontecido uma colisão continente-continente. O resultado disto é que em um mesmo período de tempo pode ocorrer diferentes etapas de evolução, em partes distintas de um mesmo sistema orogênico.

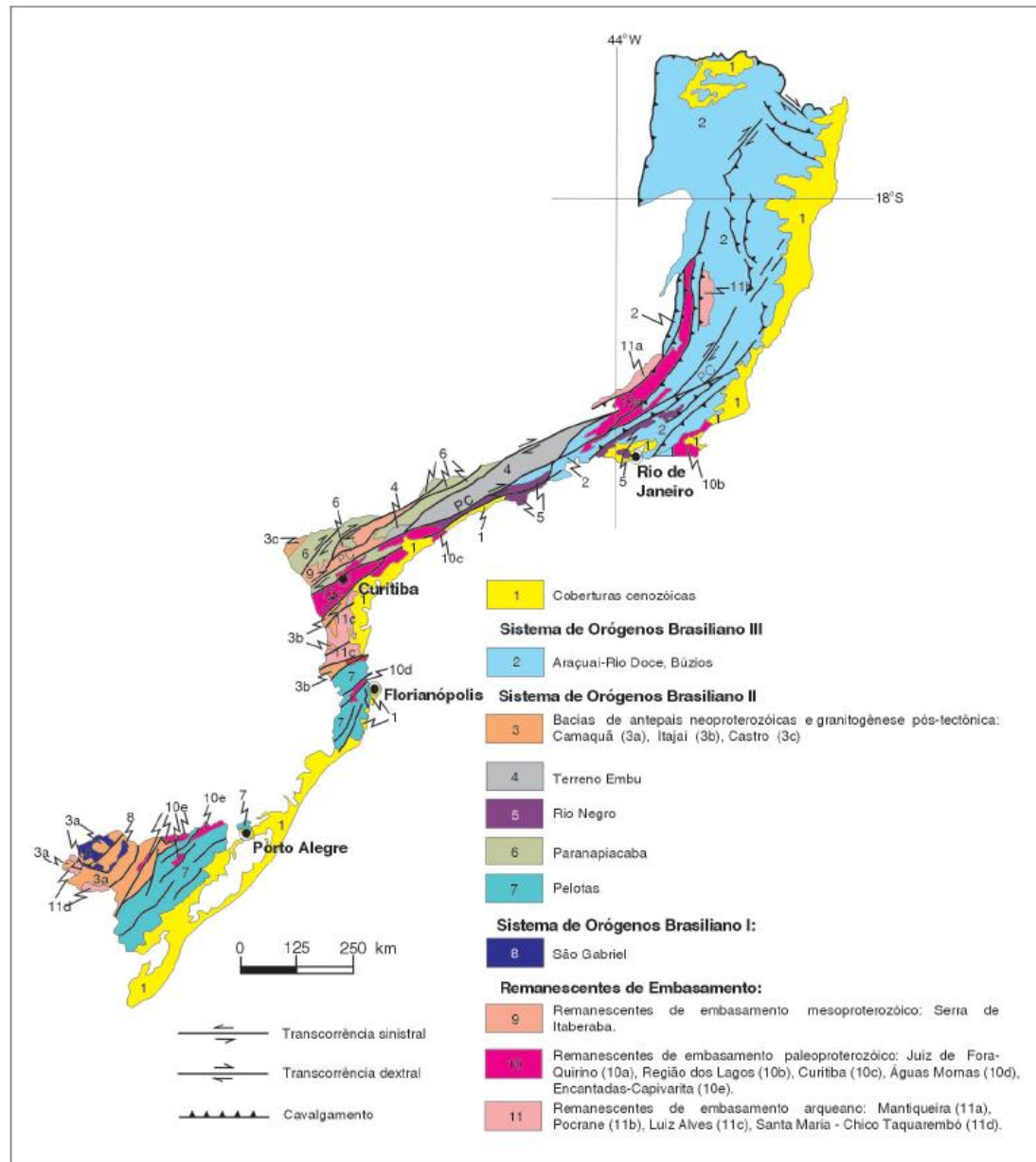


Figura 3: Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Mantiqueira (CPRM, 2003)

2.1.2. Escudo Sul-Rio-Grandense

O Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG), porção meridional da faixa móvel Província Mantiqueira (Hasui *et al.*, 1975; Almeida *et al.*, 1981), é a área do Estado do Rio Grande do Sul onde predominam rochas ígneas, metamórficas e sedimentares pré-paleozóicas, cuja gênese está associada aos ciclos Transamazônico (principalmente em fragmentos paleoproterozóicos geralmente associados ao Cráton Rio de La Plata) e Brasileiro/Pan-Africano (unidades mais jovens neoproterozóicas). Ao longo

do Neoproterozóico (900 – 500 Ma), esta área configurou-se como importante zona de acresção e retrabalhamento crustal (Fragoso-César, 1991; Soliani Jr., 1986; Borba, 2006).

O ESRG subdivide-se nos terrenos Taquarembó, São Gabriel, Tijucas, Pelotas e a bacia pós-colisional do Camaquã, dispostos como faixas alongadas de direção NE-SW, e limitadas por zonas de cisalhamento dúcteis de escala continental (Fig. 4). Esses terrenos foram definidos a partir de características estruturais, petrotectônicas e isotópicas distintas.

2.1.3. Terreno São Gabriel

O Terreno São Gabriel, também nomeado como Cinturão Vila Nova (Chemale Jr., 2000), ocorre ao norte do lineamento Ibaré e a oeste da sutura de Caçapava (Fig.4). É o único terreno neoproterozóico de assinatura claramente juvenil do ESRG (Borba, 2006).

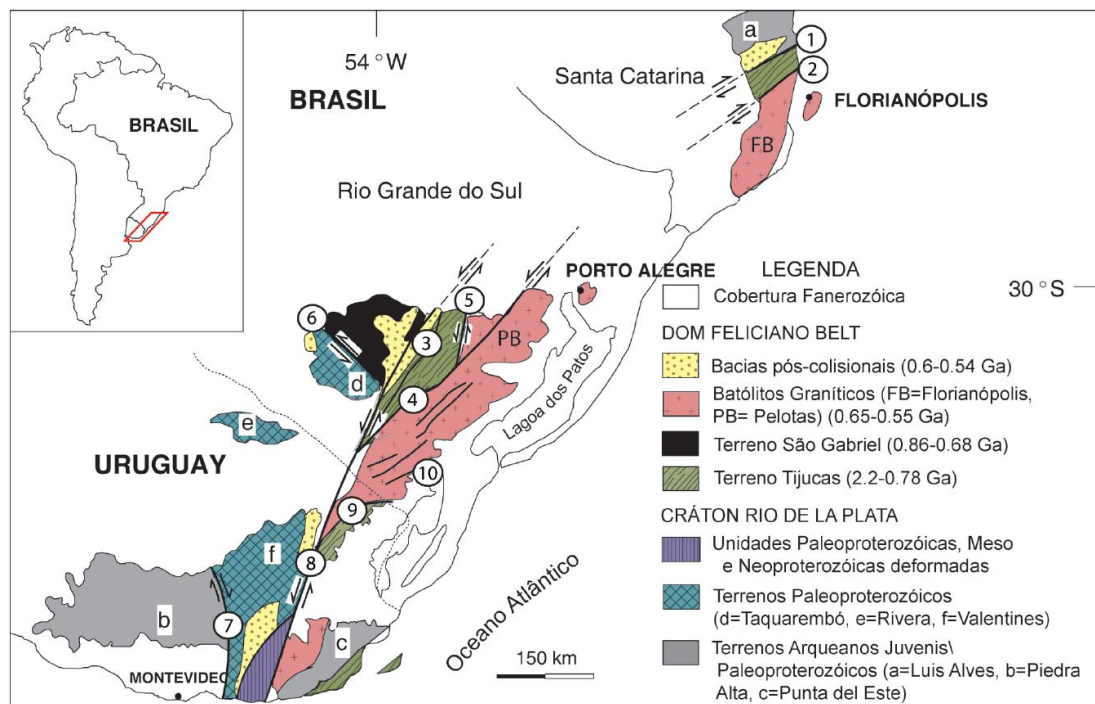


Figura 4: A) Localização da área de estudo na América do Sul. B) Principais unidades geotectônicas do Sul do Brasil e Uruguai. Zonas de Cisalhamento: 1- Itajaí-Perimbó, 2- Major Gercino, 3- Santana da Boa Vista, 4- Dorsal de Canguçu, 5- Passo do Marinheiro, 6- Ibaré, 7- Sarandi Del Y, 8- Sierra Ballena, 9- Cerro Amaro, 10- Arroio Grande. Modificado de Chemale Jr. *et al.*, (2007), Oyhantçabal *et al.*, (2010) e Philipp *et al* (2011).

É subdividido em Terreno Metamórfico de Acresção Palma (idades T_{DM} entre 1000 a 700 Ma – Complexo Cambaí e Supercomplexo Vacacaí) e em Associação vulcano-plutono-Sedimentar Seival (610 a 470 Ma) (Chemale Jr., 2000). Corresponde à Orogênese acrescionária do escudo Sul Brasileiro no ciclo Brasileiro (735-680 Ma), enquanto a Orogênese colisional corresponde ao Dom Feliciano (650-550 Ma) (Hartmann *et al.*, 2000; Heilbron e Machado, 2003; Heilbron *et al.*, 2004 ; Hartmann *et al.*, 2010). Estudos focados principalmente nos eventos acrescionários são importantes para entender a evolução crustal da porção sudoeste do Supercontinente Gondwana (Hartmann *et al.*, 2010).

2.2. GEOLOGIA DA ÁREA – COMPLEXO METAMÓRFICO PASSO FEIO

O Complexo Passo Feio esta inserido no Domínio São Gabriel, ESRG. Bordeja o Granito Caçapava do Sul, e compreende uma sequência de metapelitos, anfibolitos, rochas metavulcanoclásticas, metavulcânicas, mármores, rochas calcissilicáticas, quartzitos xistos magnesianos e rochas quartzo-feldspáticas metamorfizadas (Fig.5) (Bitencourt, 1983).

Os trabalhos pioneiros de mapeamento geológico foram realizados por Ribeiro *et al.* (1966) e Ribeiro (1970) que descreveram os metassedimentos como de origem clástica e incluem o Cinturão Metamórfico Passo Feio na Formação Vacacaí. A região foi também mapeada por alunos de graduação dos cursos de Geologia da UNISINOS (1979) e UFRGS (1998).

O metamorfismo regional compreende desde o fácies xisto verde até o fácies anfibolito, observando-se aumento do grau metamórfico em direção aos plutões que intrudem esse Complexo (ex.: Granito Caçapava). Bitencourt (1983) descreveu dois eventos de metamorfismo regional, M1 e M2, nessas rochas: M1 atingiu a fácies anfibolito, zona da estauroлита; a associação de andaluzita a esse evento sugere que o mesmo foi de baixa pressão; o segundo evento (M2) é retrogressivo, de fácies xisto verde. Duas

fases de deformação, D1 e D2, acompanharam estes eventos. Uma terceira fase deformacional, D3, é reconhecida como geradora da estrutura antiformal regional, a qual mergulha para noroeste com caimento do eixo ora para nordeste e ora para sudoeste, e onde o núcleo é ocupado pelo Granito Caçapava (Bitencourt, 1983).

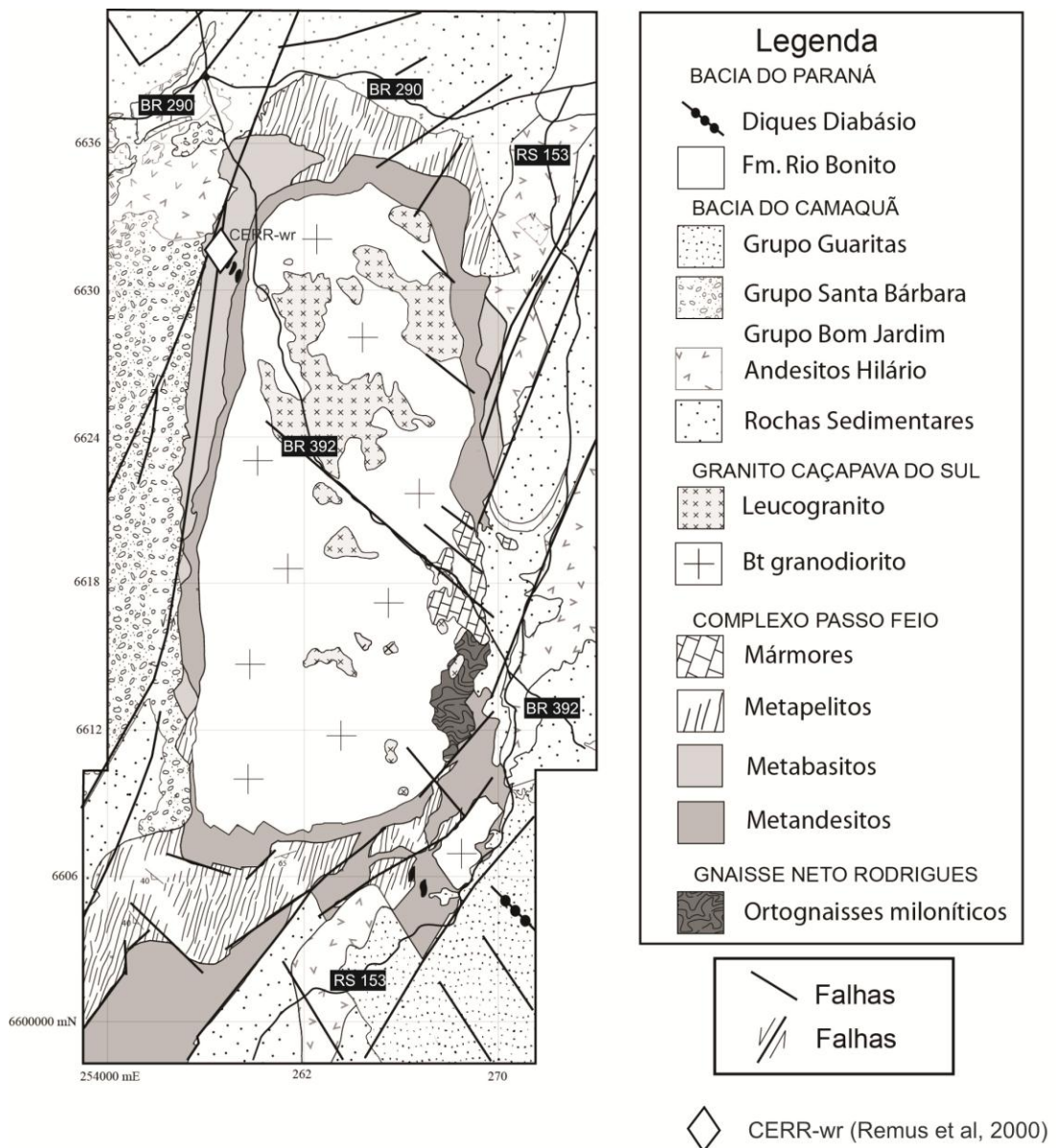


Figura 5: Mapa geológico da área de estudo (Modificado de Philipp *et al.* (2011), UFRGS, 1998.).

Silva Filho *et al.* (1987) estudaram rochas do fácies xisto verde expostas na borda oeste do Complexo Passo Feio e encontraram cinco

fases de deformação: Fase *i*: charneiras isoladas e no interior de porfiroblastos, origem de foliação transposta; *ii*: foliação de transposição associada a um bandamento bastante complexo; a superposição dessa deformação homogênea resulta em achatamento da dobra original, comprovada pela presença de estruturas tipo *boudins* ou *pinch-and-swell*; *iii*: redobramento desse bandamento composto como grandes dobras isoclinais recumbentes talvez relacionadas a falhas de baixo ângulo; *iv*: deformação das estruturas anteriores num sistema de antiformes e sinformes com planos axiais de mergulho acentuado; e *v*: caracterizada por forte clivagem de fratura NW-SE.

Idades de 510 ± 68 Ma obtidas em monazitas do complexo, são atribuídas ao metamorfismo regional orogênico atuante nestas rochas (Tickyj *et al.*, 2004), a qual se assemelha com a idade obtida em zircão para o Granito Caçapava de 562 ± 8 Ma (Remus *et al.*, 2000).

Remus *et al.* (2000) realizaram datações U-Pb via SHRIMP em zircões detríticos de uma amostra metassedimentar no NW da região estudada (Amostra CERR-wr : albita-muscovita-clorita xisto) (Fig. 6). O padrão de proveniência inclui populações de idades Arqueana, Paleoproterozóica e Neoproterozóica (Fig. 6), determinando, portanto, que o Complexo Passo Feio deriva de fontes continentais diversas. Porém, conclusões de proveniência sedimentar baseadas na análise pontual de apenas uma amostra são insuficientes.

Saalmann *et al.* (2005), dataram uma amostra do CMPF ao norte do Granito Caçapava pelo método isotópico Sm/Nd em RT, e obtiveram uma idade T_{DM} de aproximadamente 2500 Ma, indicando uma idade T_{DM} média para as áreas fontes.

A idade máxima de deposição para a paleobacia é pouco conhecida. Os dados geocronológicos de Remus *et al.* (op.cit.) obtiveram os zircões mais jovens com 774 ± 8 Ma, o que sugere esta idade como limite superior para a idade de deposição pontualmente da amostra datada.

Porém, segundo Saalmann *et al.* (2005), a Formação Passo Feio ainda é mal definida e representa uma unidade que é composta por rochas

que não constituem uma única sequência estratigráfica, e sim por associações de diferentes idades.

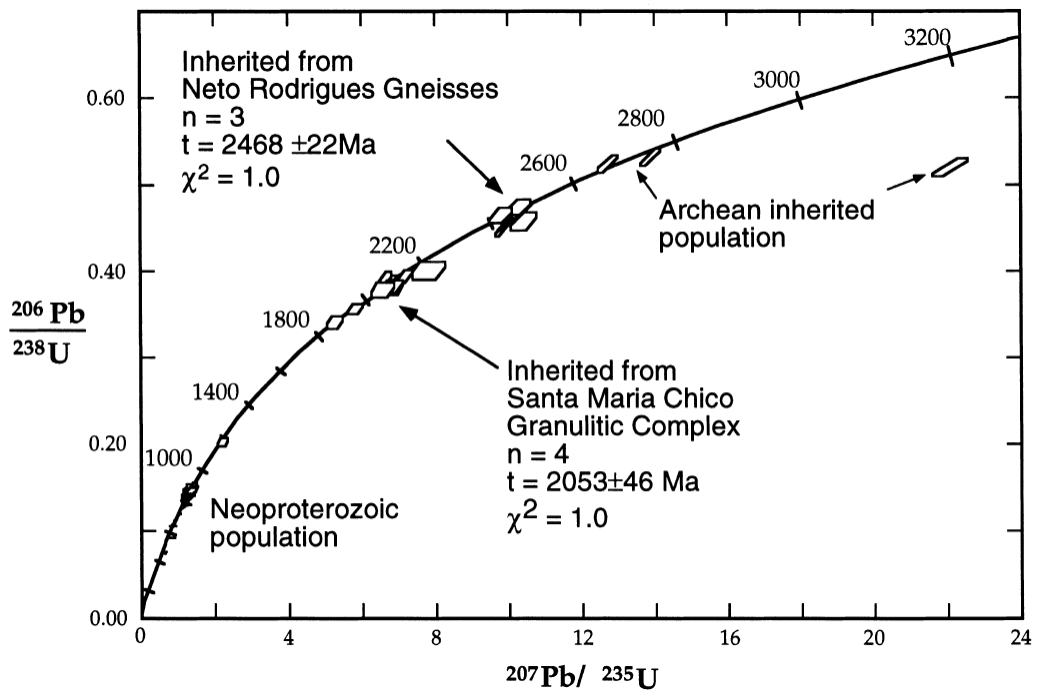


Figura 6: Estudo de proveniência realizado por Remus *et al.*, 2000, em uma amostra de albita-muscovita-clorita xisto (CERR-wr) da Formação Passo Feio, NW da área de estudo.

3. METODOLOGIA

3.1. GEOCRONOLOGIA

3.1.1. Zircão

O zircão é um silicato de zircônio com fórmula química $ZrSiO_4$. É um mineral acessório que ocorre de maneira comum na natureza em rochas sedimentares, ígneas e metamórficas. Apresenta uma elevada resistência química e física devido à sua estrutura cristalina (Finch *et al.*, 2003).

Consequentemente apresenta elevada disponibilidade na superfície da Terra, ocorrendo praticamente em todos os registros sedimentares. Isso proporciona uma importante conexão para a compreensão da história de origem de um depósito sedimentar.

Sendo assim, os zircões têm sido extensivamente utilizados como marcadores de proveniência em rochas sedimentares. Por sua alta temperatura de fechamento e resistência a alteração física e química, torna-se também um instrumento em reconstruções paleogeográficas e tectônicas antigas, como na história de fragmentação neoproterozóica do Rodínia e do estabelecimento da Laurentia (Fedo *et al.*, 2003).

Segundo Andersen (2004) são recomendados, para abranger 95% de populações da proveniência de sedimentos, análises em pelo menos 35 a 75 grãos (com base em análises estatísticas e modelamentos numéricos).

No caso deste estudo, a proveniência dos sedimentos será baseada em datações por meio da série de decaimento U-Pb, a qual é retida e armazenada dentro da estrutura cristalina dos zircões detríticos. Estes nos indicarão as idades das populações de zircões das rochas fontes dos sedimentos retidos na Paleobacia Passo Feio.

3.1.2. Série de Decaimento U-Pb

O Urânio (U) possui dois isótopos radioativos de interesse: ^{238}U e ^{235}U . Suas séries de decaimento são ferramentas com resolução de tempo suficientes para estudar os processos da Terra (Bourdon *et al.*, 2003). Os decaimentos resultam nos isótopos estáveis ^{206}Pb e ^{207}Pb respectivamente, fruto de sucessivas emissões de diversas partículas α (4He) e β (uma partícula com carga negativa semelhante a um elétron), e a liberação de energia (Q).

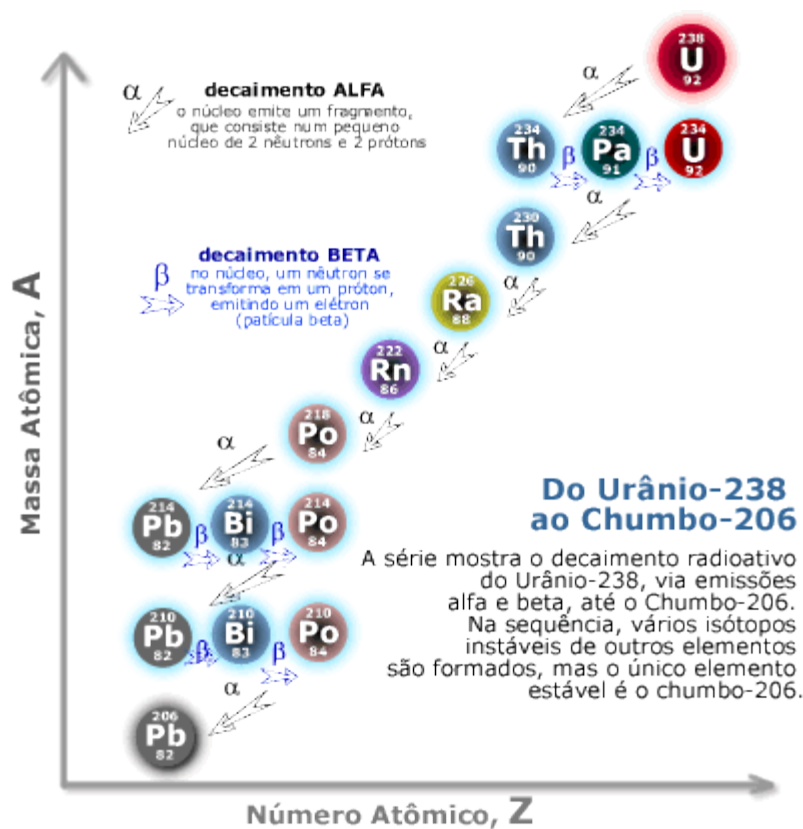
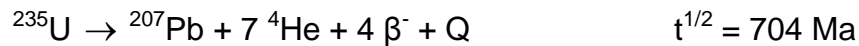
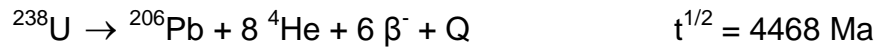


Figura 7: Série do decaimento radioativo do ^{238}U até o ^{206}Pb . Fonte: Revista eletrônica do Departamento de Química - UFSC, ano 4.



Na figura 7 são ilustrados todos os isótopos da série de decaimento $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$.

O U é facilmente incorporado ao zircão durante sua cristalização. Isto se deve às semelhanças entre os raios iônicos e as cargas dos átomos de Zr e U, o que não acontece com o Pb (Fig. 8). Portanto, o zircão é um excelente mineral para utilizar como um geocronômetro pelo método U-Pb, pois praticamente todo o Pb aprisionado na sua estrutura cristalina provém do decaimento radioativo. (Finch *et al.*, 2003).

O método de datação de U-Pb baseia-se nas razões $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ e $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ presentes nos zircões detríticos e suas respectivas meias vidas ($t^{1/2}$). Cada razão é um geocronômetro independente, porém são utilizados em conjunto no diagrama concórdia para verificar se houve ou não uma abertura do sistema para os elementos das duas séries. Se as duas séries tiverem idades absolutas cujas incertezas estejam dentro do desvio de cada idade, estarão dentro de uma curva de concordância, demonstrando que não houve perda ou fracionamento de Pb.

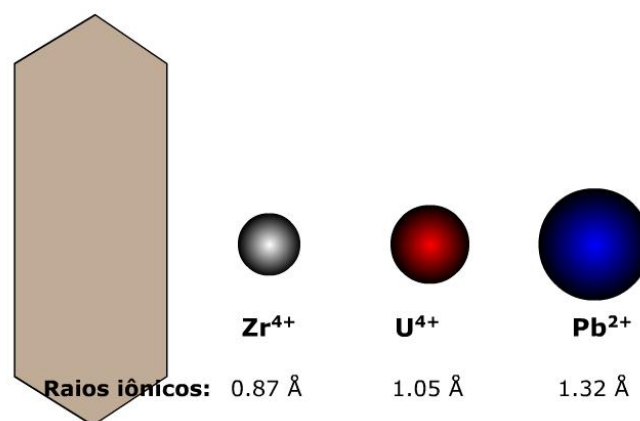


Figura 8: Figura ilustrando cristal de zircão (ZrSiO₄) a esquerda e os átomos de Zr, U e Pb afim de comparar suas cargas e raios iônicos. Modificado de Kare Kullerud-webgeology.

O diagrama concórdia (Fig. 9) representa a linha construída com base em pontos concordantes em razões isotópicas de U/Pb 238/206 e 235/207

que resultam de uma mesma idade. Foi desenvolvida por Wetherill em 1956 (Parrish *et al.*, 2003).

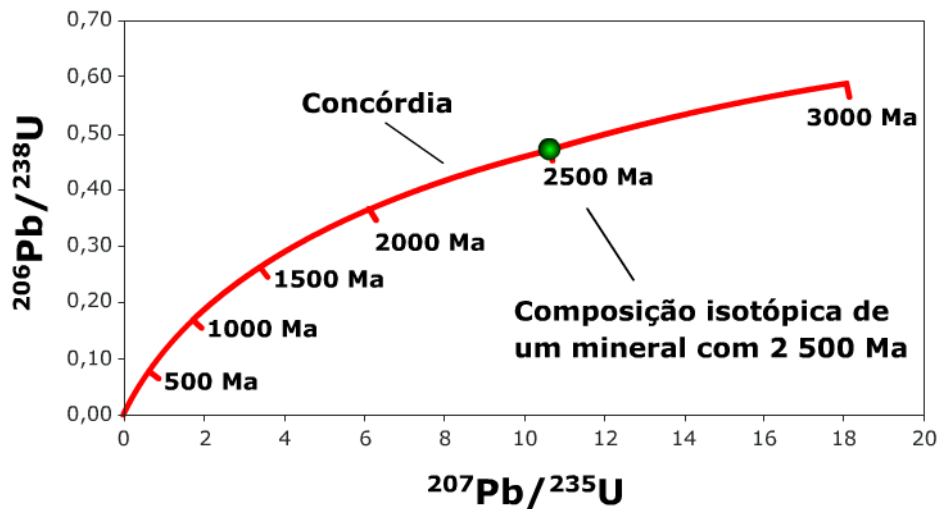


Figura 9: Exemplo de um diagrama concórdia para a composição isotópica de um mineral hipotético. Fonte: Kare Kullerud - webgeology.

3.1.3. Espectrômetro de Massa

Basicamente, a função de um espectrômetro de massa é separar partículas (átomos ou moléculas) com base em suas massas e cargas e em seus movimentos dentro de campos magnéticos e elétricos.

Isto se dá em 4 diferentes etapas: excitação da amostra, aceleração e focalização do feixe de átomos, separação dos íons por um campo magnético e por último a contagem de cada íon por um detector (coletor) (Fig. 10).

Existem três diferentes tipos de espectrômetro de massa: SIMS, TIMS e ICPMS, que foram resumidos da seguinte forma por Sato *et al.* (2002):

“O TIMS tem uma altíssima precisão, mas em contrapartida não faz análise pontual e necessita de um laboratório químico super limpo. Quando utiliza a técnica de "step heating" em mono cristal de zircão produz excelente resultado, desde que o cristal tenha zoneamento e sobrecrecimento regular. Portanto, a aplicação desta técnica é limitada e, além disso, o tempo analítico é grande.

O ICP - MS pode ter a precisão de TIMS se utilizar o analisador eletrostático (ESA), magnético e sistema de detecção multicoletor para análise de elemento químico em meio líquido. Para as análises envolvendo o "Laser Ablation", não é tão preciso quanto o TIMS, mas pode efetuar micro análises em um material sólido. Quando é utilizado o Laser Excimer de comprimento de onda 193 nm, pode-se obter análises quase comparáveis ao SHRIMP. A desvantagem na utilização do laser é a destruição do material no ponto de incidência do feixe. A utilização de abrasão a laser acoplado ao ICP-MS multicoletor de setores eletrostático e magnético ainda está em fase de teste.

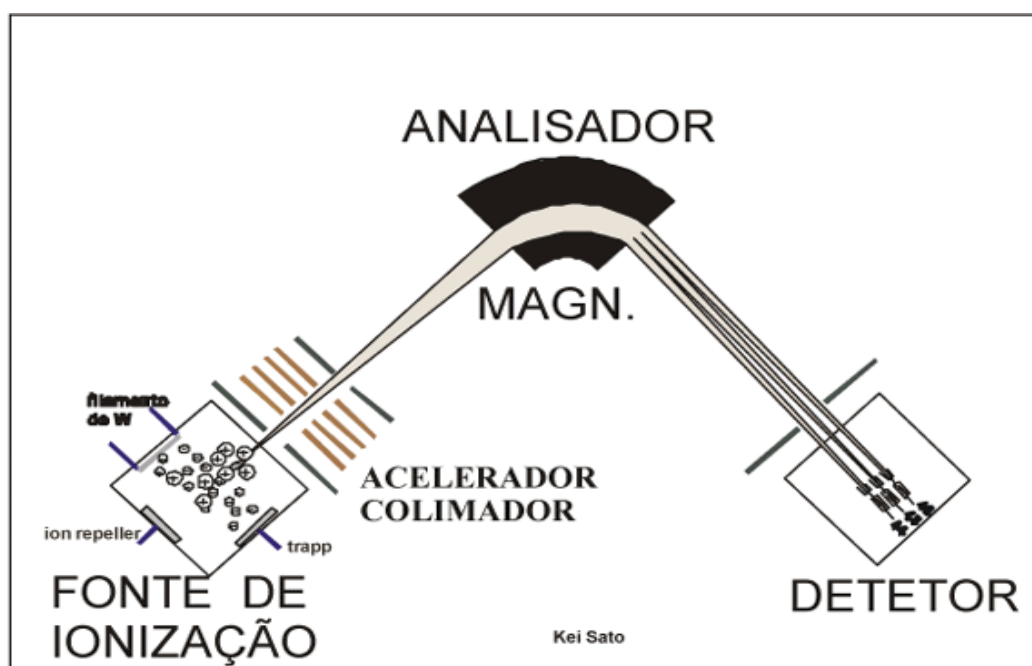


Figura 10: Desenho esquemático de espectrômetro de massa. (Sato *et al.*, 2002)

Os espectrômetros de massa do tipo SIMS que utilizam a sonda iônica, tais como, o SHRIMP e CAMECA, são, no presente momento, os melhores equipamentos para efetuar datação pontual do zircão. Possui uma altíssima resolução de massa (5000 - 10000), mas é um aparelho extremamente caro. A sonda utilizando o feixe de íons de oxigênio provoca uma

mini abrasão no material analisado, mas é suficiente para fazer medidas isotópicas várias vezes no mesmo ponto em dias diferentes. O erro analítico ainda é alto porque usa o monocolletor.”

Neste presente trabalho irão ser utilizados os espectrômetros de massa LA-MC-ICPMS e o SHRIMP, os quais estão detalhados na sequência.

3.1.4. Laser Ablation Multi Colector Ion Coupled Mass Spectrometer - LA-MC-ICPMS

Para realização da datação U-Pb das amostras PF-01 e PF-02 foi utilizado o espectrômetro de massa do Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências - UFRGS: o MC-ICPMS Neptune da Thermo Finnigan acoplado a um laser UP213 da New Wave Research (Fig. 11).

O Laser Ablation ICPMS tem sido aplicado com sucesso para resolver a proveniência de sedimentos de vários terrenos do mundo (Kosler *et al.*, 2003).



Figura 11: LA-MC-ICPMS do Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da UFRGS.

Diferencia-se do SHRIMP por apresentar multicoletores que detectam simultaneamente vários núclídeos, pela fonte de ions ser um plasma de

argônio e pela sonda ser a laser. Além disso também diferencia-se pelo menor tamanho físico do equipamento.

O laser incide nos grãos de zircão, aplicando a cada um deles um *spot* com geralmente 30 μm de diâmetro (Fig 12A). Sua função é ablacionar e colocar o material em suspensão como partículas e gases. Estes por sua vez são carregados por He e Ar até a tocha de plasma ($\sim 5000^\circ\text{C}$) que produz os íons.

A precisão e acurácia das idades obtidas pelas análises deste método é função da estabilidade do sinal analítico, número de íons detectados e incertezas nas correções aplicadas. (Koesler *et al.*, 2003)

As correções são aplicadas fazendo leituras de Branco, Padrão, 4 Amostras e novamente Padrão (Fig. 12B), possibilitando o rastreamento e quantificação das oscilações de erros analíticos. Neste laboratório são utilizados como padrões para U-Pb os zircões GJ-1, proveniente de um pegmatito da África apresentando idade apresentando idade de 608.5 ± 0.4 Ma , o Temora-2, derivado de um diorito gabróico de 417 Ma do sudoeste da Austrália, e o Mud Tank Zircon encontrado em carbonatitos aflorantes no Strangways Range do noroeste da Austrália (732 Ma) (Bertotti, 2009).

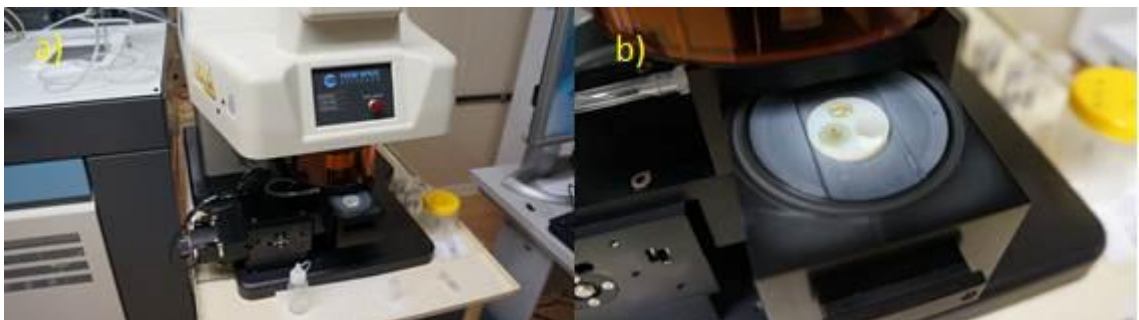


Figura 12: a) Entrada das amostras no Laser Ablation em mounts de grãos de zircão para datação no LA-MC-ICPMS. b) Foto de detalhe; Capacidade de um padrão e duas amostras.

3.1.5. Sensitive High Resolution Ion MicroProbe - SHRIMP

A datação da amostra PF-03 foi realizada no SHRIMP II da *Australian National University* em Canberra – Austrália (Fig. 13).

No SHRIMP, um feixe de íons excita e ioniza o material a ser analisado. O magneto é maior que no ICPMS, e o tubo de vôo, mais longo,

tendo aproximadamente 5m de comprimento. O coletor, etapa final que coleta e conta os íons de um determinado isótopo, é um único, repetindo então o processo para cada isótopo de interesse.

O *mount* preparado para a entrada de amostras do SHRIMP também se diferencia do ICPMS. Trata-se de uma pastilha em epoxi com 1 polegada de diâmetro que é previamente metalizada com ouro.



Figura 13: SHRIMP II da Australian National University em Camberra – Austrália.

3.2. COLETA E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

As amostras para o estudo de proveniência das fontes de sedimentos foram coletadas em trabalho de campo no mês de julho de 2011 em 3 locais distintos na porção Sul do Complexo Passo Feio: PF-01, PF-02 e PF-03.

A figura 14 ilustra o mapa de localização dos pontos de coleta.

Os critérios de amostragem utilizados foram coletar amostras intemperizadas e semi-compactas para facilitar o processo de preparação das mesmas. Isto é coerente visto que os zircões, objetos de interesse, apresentam elevada resistência química e física, não sendo perturbados pelos processos superficiais.

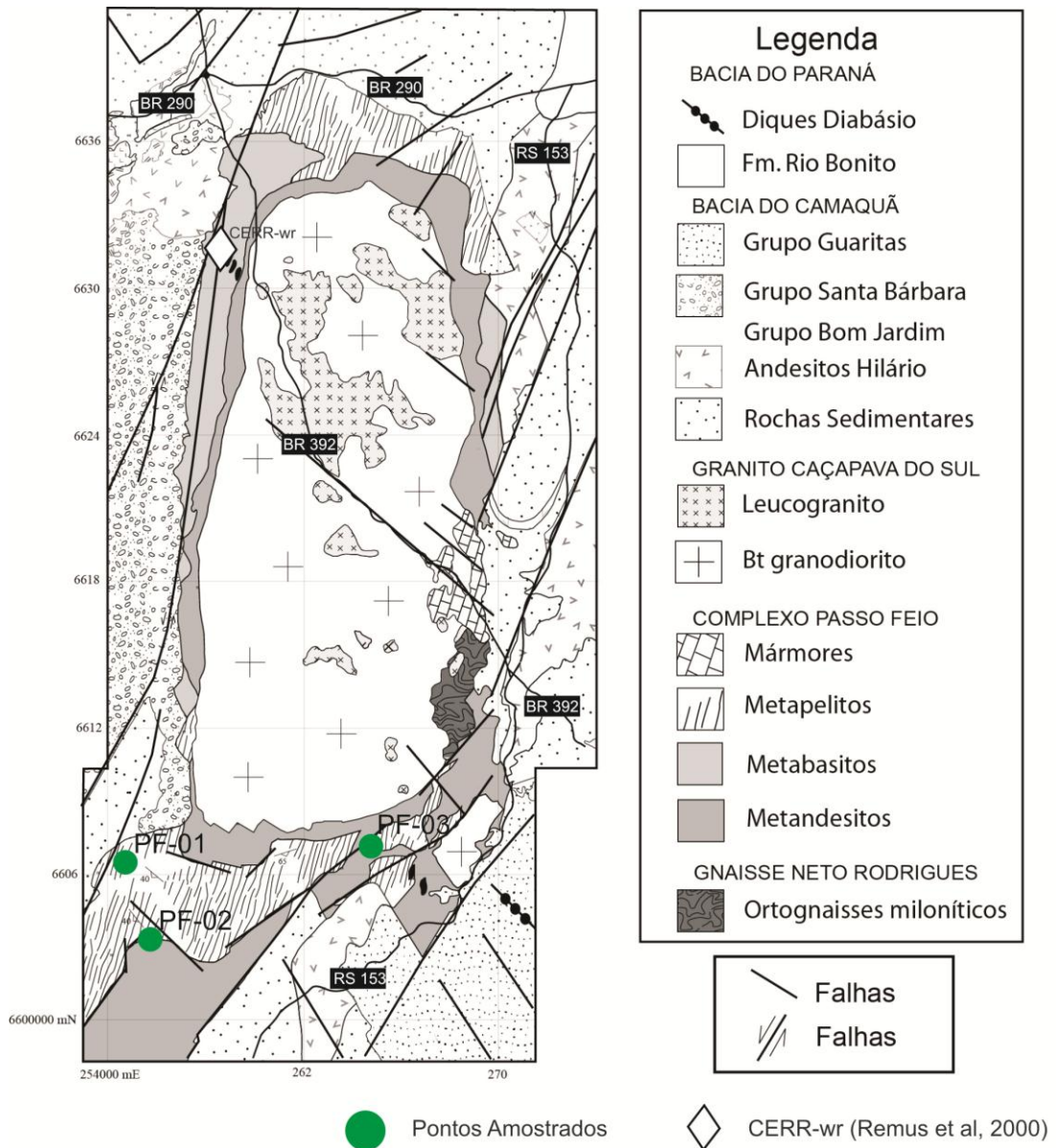


Figura 14: Mapa geológico do Complexo Passo Feio e arredores com a localização das amostras coletadas em campo. Modificado de Philipp *et al.* (2011), UFRGS (1998).

As amostras coletadas são basicamente metassedimentos com graus metamórficos distintos desde o baixo xisto verde até o anfibolito baixo. A amostra *PF-01* caracteriza-se por ser um filito com baixo grau metamórfico (xisto verde). Possui uma foliação penetrativa milimetricamente espaçada. Foi coletada em afloramento do tipo corte de estrada na rodovia RS357, que conecta as cidades de Caçapava do Sul a Lavras do Sul.



Figura 15: PF-02: Filito com foliação penetrativa bem demarcada.

A amostra PF-02 também é um filito com grau metamórfico baixo xisto verde, porém, além da granulação silte-argila, diferencia-se por apresentar níveis arenosos de granulometria areia fina intercalados em sua foliação (Fig. 12). Foi coletada em corte de estrada de aproximadamente meio metro, em uma via de acesso local N-S não pavimentada.



Figura 16: Afloramento no leito do rio de granada estauroлита xisto.

A PF-03, amostrada no sudeste da área, aflorante no leito do rio (Fig. 16), diferencia-se em grau metamórfico das demais. Apresenta mineralogia correspondente à fácies baixo anfíbolito, classificando-se como um granada

estauroлита xisto. Possui xistosidade milimetricamente bem demarcada e penetrativa (Fig. 17).



Figura 17: Foto de detalhe da amostra de mão do Xisto PF-03 com porfiroblastos de granada e de estauroлита.

3.2.1. Preparação das amostras para espectrômetro de massa

A preparação das amostras tem como base a separação mineral, onde os concentrados de zircão são extraídos de amostras de rocha de 1-10 Kg. São britadas, moídas e peneiradas até uma granulometria de 500 μm (Fig. 18). Os zircões são separados dos demais grãos minerais por bateia (concentração dos minerais pesados e descarte dos leves), seleção magnética com o uso do separador isodinâmico Frantz® e separação por densidade em meio líquido em placa de petri (Fig. 19).

O concentrado de grãos de zircões é então montado em uma pastilha, ou “mount” (Fig. 20), a qual é uma cápsula para a entrada das amostras nos espectrômetros de massa. A montagem é realizada utilizando uma lupa binocular, dispendo um número de aproximadamente 100 zircões em uma fita adesiva, a qual adere os grãos. Nesta etapa toma-se o cuidado para que não haja uma escolha tendenciosa humana, utilizando sempre o critério de seleção aleatória.

A fita é aderida à borda de uma cápsula com os grãos voltados para dentro. O interior da cápsula é resinado, aprisionando e fixando os zircões.



Figura 18: Etapas sucessivas de preparação de amostras. a) Britador; b) peneira < 6mm; c) Moinho; d) Peneira < 500 μm .

Depois de montada, a cápsula é desbastada utilizando lixas de diferentes granulometrias e pasta abrasiva de diamante. Isto é para que os grãos de zircão sejam expostos e polidos. Essa exposição é importante para que o *spot* do laser possa analisar a porção central do grão, diminuindo a tendência de fraturas superficiais e aumentar a eficiência de ablação do laser em uma superfície polida.

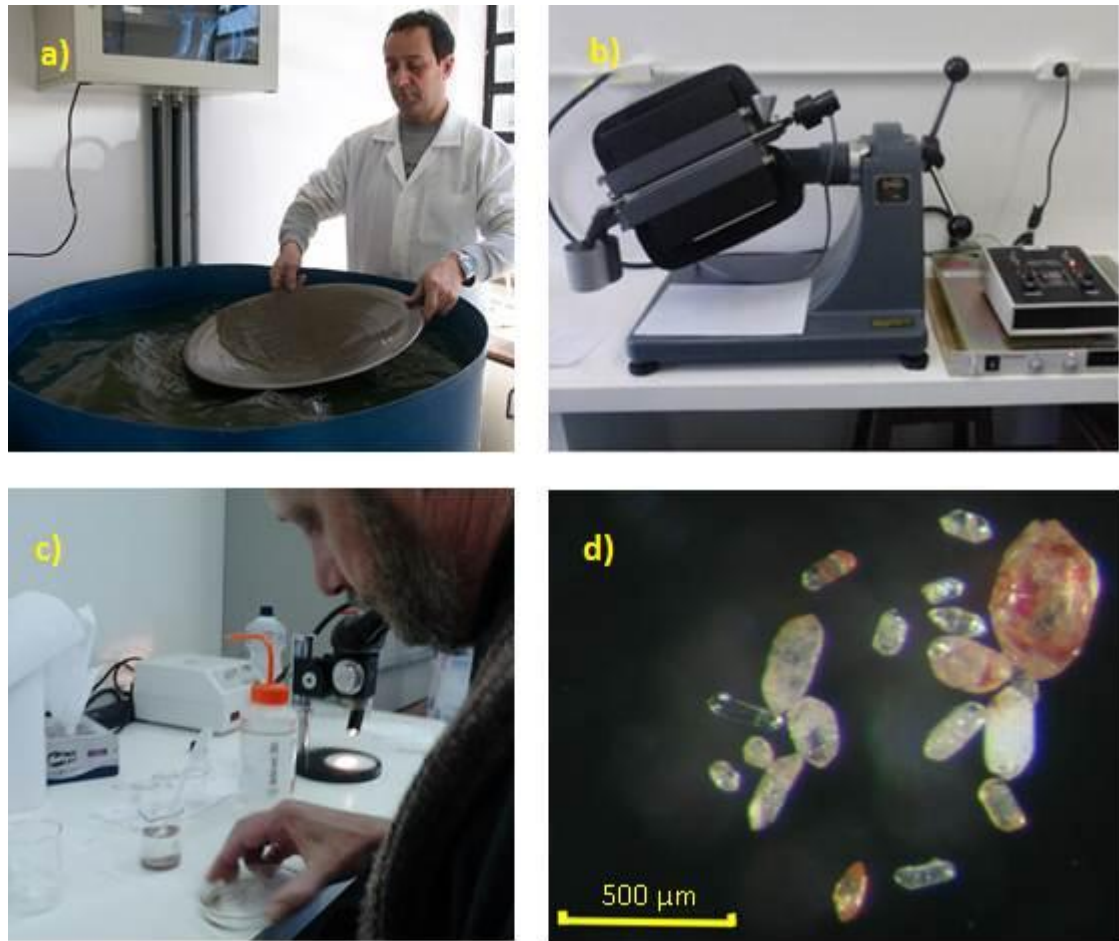


Figura 19: Etapas de separação de grãos minerais para extração de zircões. a) Bateia para separação de minerais pesados; b) Separador magnético isodinâmico Frantz; c) Separação por densidade em meio líquido em placa de petri; d) Concentração de grãos de zircões obtidos da amostra PF-03.

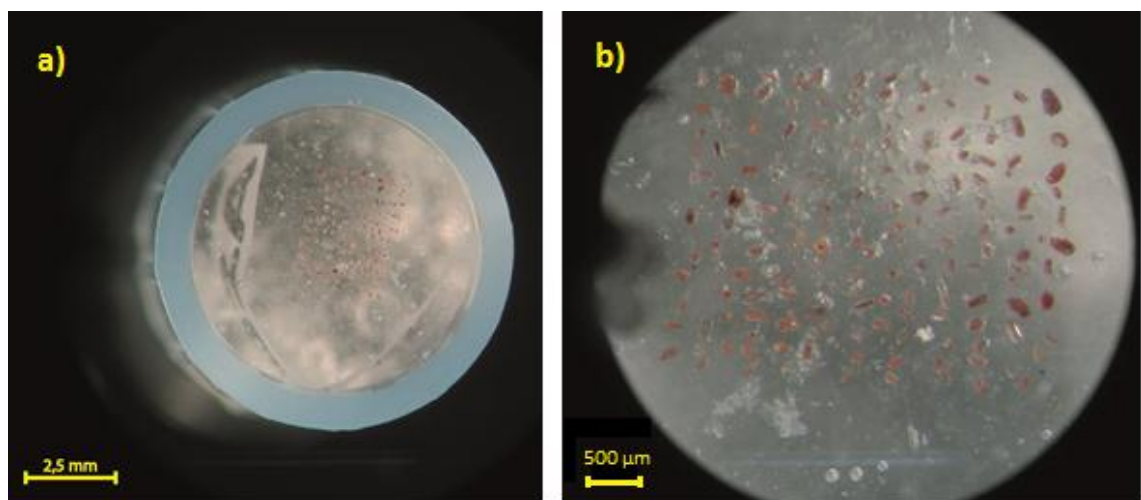


Figura 20: Mount de zircões da amostra PF-02 contendo aproximadamente 100 grãos. a) Capsula resinada com Zircões dispostos no centro; b) Imagem de detalhe.

3.2.2. Petrografia

Como ferramenta integradora da metodologia, a petrografia objetiva uma descrição e classificação correspondente para cada amostra analisada. Foram confeccionadas 4 lâminas delgadas dos pontos PF-02 e PF-03 no laboratório de preparação de amostras do Instituto de Geociências – UFRGS, e concedida 1 lâmina do afloramento PF-01 do material didático do Prof. Ruy Philipp.

A primeira etapa para a confecção de uma lâmina delgada é a demarcação da face escolhida para a exposição. Esta escolha é feita com base nas estruturas da rocha visando a melhor e maior obtenção de dados possível. Subseqüentemente temos o corte das rochas no local demarcado para a redução da rocha ao tamanho da lâmina utilizando uma serra diamantada.

Numa segunda etapa a fatia de rocha é montada sobre uma lâmina de vidro e polida com pó abrasivo progressivamente mais fino até a espessura da amostra seja aproximadamente 0,03 mm.

4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISE PETROGRÁFICA

4.1.1. Filitos (PF-01 e PF-02)

Clo-musc filito

Os filitos amostrados na área, amostras PF-01 e PF-02, apresentam cor marrom clara a bege e estão alterados. A principal estrutura é uma clivagem ardosiana, com espaçamento milimétrico e marcada pela orientação de muscovita e clorita.

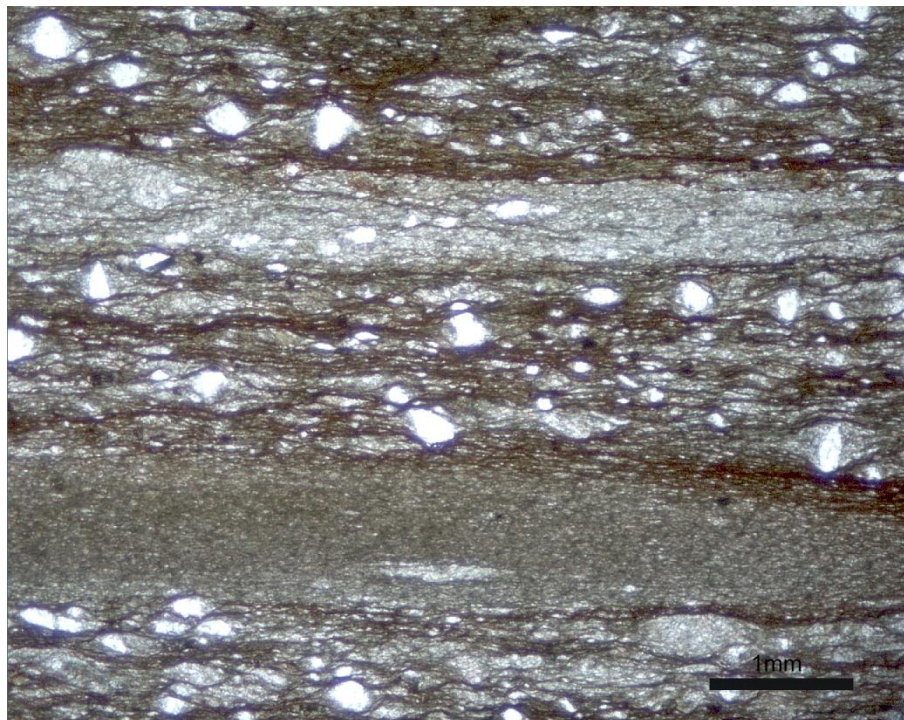


Figura 21: Filito PF-02 com alternâncias de camadas de diferentes granulometrias. Fotomicrografia a luz natural.

O acamamento primário está preservado e é subparalelo à clivagem ardósiana, definido pela alternância entre camadas contínuas e irregulares de níveis pelítico ricos em muscovita e clorita com textura lepidoblástica fina e níveis arenosos com textura blastopsamítica definida por clastos arredondados de quartzo tamanho areia fina a média. As camadas variam em diferentes proporções entre estritamente pelíticas a estritamente arenosas (quartzosas). As mesmas apresentam espessuras variadas de até 4 mm e por vezes estão deformadas até que ocorra um afinamento e/ou rompimento (Fig. 21).

A principal textura é lepidoblástica fina definida pela orientação de muscovita e clorita, e subordinadamente ocorre a textura blastopsamítica com porfiroclastos de quartzo tamanho areia arredondados a subarredondados de até 2 mm (Fig.22A).

Na amostra PF-02 os porfiroclastos de quartzo estão rotacionados do e classificam-se como tipo sigma σ (Ramsay & Huber, 1987), com caudas estiradas e rotação sinistral (Fig.22B,23). Por vezes os grãos de quartzo apresentam subgrãos e estão estirados (fitados) concordantemente com a foliação.

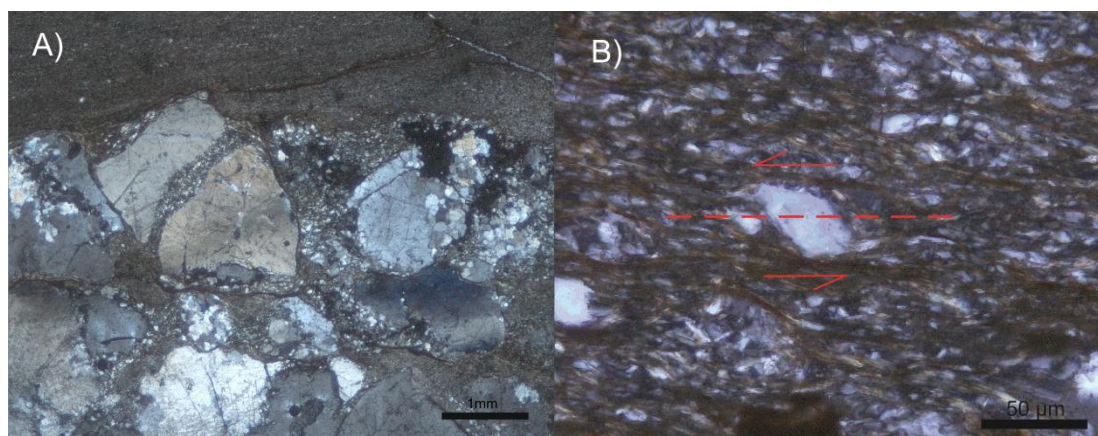


Figura 22: Porções arenosas. A) PF-01 B) PF-02 Porfiroclasto tipo σ (classificação de Ramsay & Huber, 1987). Movimento Sinistral.

As camadas pelíticas são ricas em muscovita e clorita alongadas segundo a foliação e se anastomosam em torno dos porfiroclastos de quartzo quando estes estão presentes.

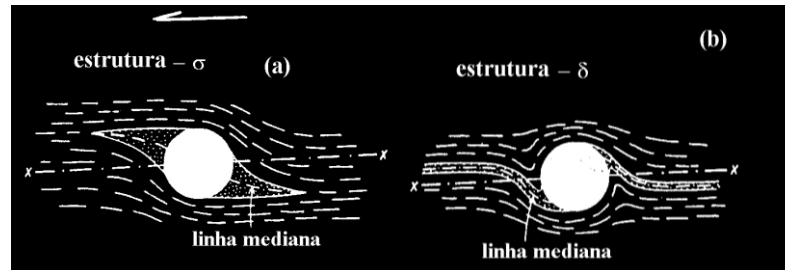


Figura 23: Classificação de porfiroclastos segundo Ramsay & Huber (1987). a) Porfiroclasto do tipo σ ; (b) porfiroclasto do tipo δ

4.1.2. Granada Estauroлита Xisto (PF-03)

Gt-stt-musc-bt xisto

Este xisto pelítico tem cor cinza prateada a preta, com uma xistosidade bem definida, cujo espaçamento milimétrico é marcado pela orientação de biotita e muscovita configurando uma textura lepidoblástica média a grossa (0,5 a 1,5 mm). Ocorrem porfiroblastos de granada e principalmente de estauroлита. A granada tem forma globular a dodecaédrica, com 1 a 3 mm de diâmetro e cor castanha avermelhada, A estauroлита tem forma prismática alongada e cor preta, variando entre 2 e 10 mm.

A foliação S_{n+1} crenula a foliação principal. É pouco demarcada, e embora possua espaçamento maior do que a foliação S_n , ainda apresenta espaçamento milimétrico. Por vezes observa-se a migração da biotita para esta foliação sobreposta S_{n+1} .

A mineralogia compreende essencialmente quartzo, biotita cloritizada, estauroлита, granada, plagioclásio, opacos e zircão.

O quartzo apresenta-se fitado ao longo dos planos de foliação apresentando tamanhos de até 1 mm. Processos de recristalização são atuantes, ocorrendo sub-grãos. Sua extinção é ondulante e os contatos e bordas são irregulares a lobados.

A biotita demarca claramente a foliação definindo textura lepidoblástica. Orienta-se anastomosadamente ao longo da foliação. Diversas vezes a biotita encontra-se cloritizada, processo este visualizado principalmente nas bordas dos grãos e raramente apresentando transformação completa. Sua cor de absorção máxima é castanha.

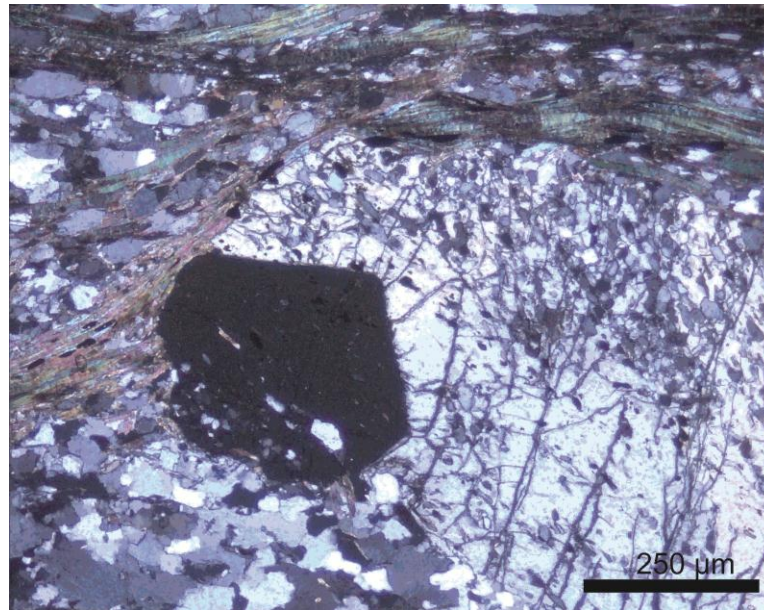


Figura 24: Fotomicrografia a LP de porfiroblastos de granada e estaurolita associados. Indicação da foliação S_{n+1} crenulando a bt.

A estaurolita forma porfiroblastos de tamanhos entre 0,5 e 4 mm. Apresenta pleocroísmo bege a amarelo claro e possui inclusões de quartzo por vezes ocorrendo somente nas bordas e em outros casos disseminados pelo grão. Em alguns grãos as inclusões presentes demarcam uma trilha de inclusões em “Z” evidenciando o crescimento mineral sin-deformacional.

Os porfiroblastos de granada têm forma circular ou dodecaédrica e apresenta inclusões de quartzo. Seus tamanhos variam entre 0,25 e 0,5 mm. Alguns porfiroblastos são claramente rotacionados, enquanto em outros a foliação é interrompida em suas bordas não evidenciando processos deformacionais. Isto sugere que sua cristalização é sin-deformacional. Encontram-se preferencialmente associadas aos porfiroblastos de estaurolita (Fig. 24, 25A).

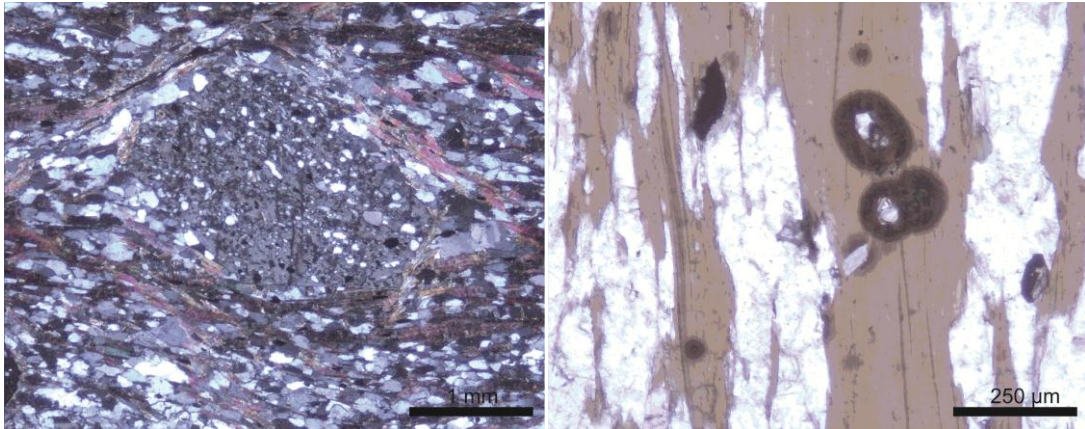


Figura 25: A) Fotomicrografia a LP. Porfiroblasto de granada rotacionado com trilhas de inclusões. Xistosidade demarcada por orientação de biotita. B) Fotomicrografia a LN de detalhe mostrando a presença de halos de metamictização gerados pelos zircões inclusos em bt.

O plagioclásio está presente em pequena proporção, apresentando macla polissintética, bordas irregulares e tamanhos de até 0,2mm (Fig. 25B).

Os zircões e opacos estão presentes como acessório. O zircão apresenta halos de metamictização quando incluso em biotitas.

Observa-se a presença de fraturas preenchidas que vão da borda até o centro da lâmina perpendiculares ou oblíquas à foliação com aberturas de até 0,2mm.

4.2. U-PB EM ZIRCÃO DETRÍTICO

Os resultados isotópicos U/Pb para as amostras analisadas do CMPF estão disponíveis no Apêndice 1. Os resultados foram filtrados de modo que fossem descartadas as análises com mais de 20% de discordância para as obtidas com o LA-ICPMS e de 10% para as obtidas pelo SHRIMP. Abaixo seguem as descrições individualizadas dos resultados para cada.

4.2.1. PF-01

Na amostra PF-01, foram analisados 60 grãos detríticos de zircões de maneira aleatória pelo LA-ICPMS, obtendo datações com resultados satisfatórios em 39 grãos.

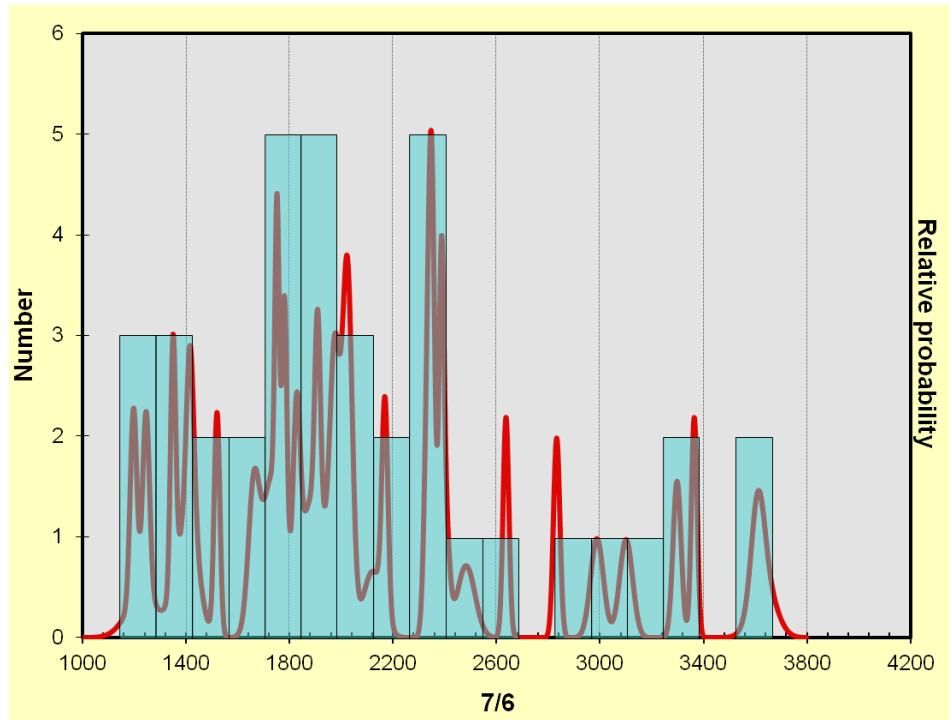


Figura 26: Histograma de frequência x idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de zircões detriticos em Ma da amostra PF-01.

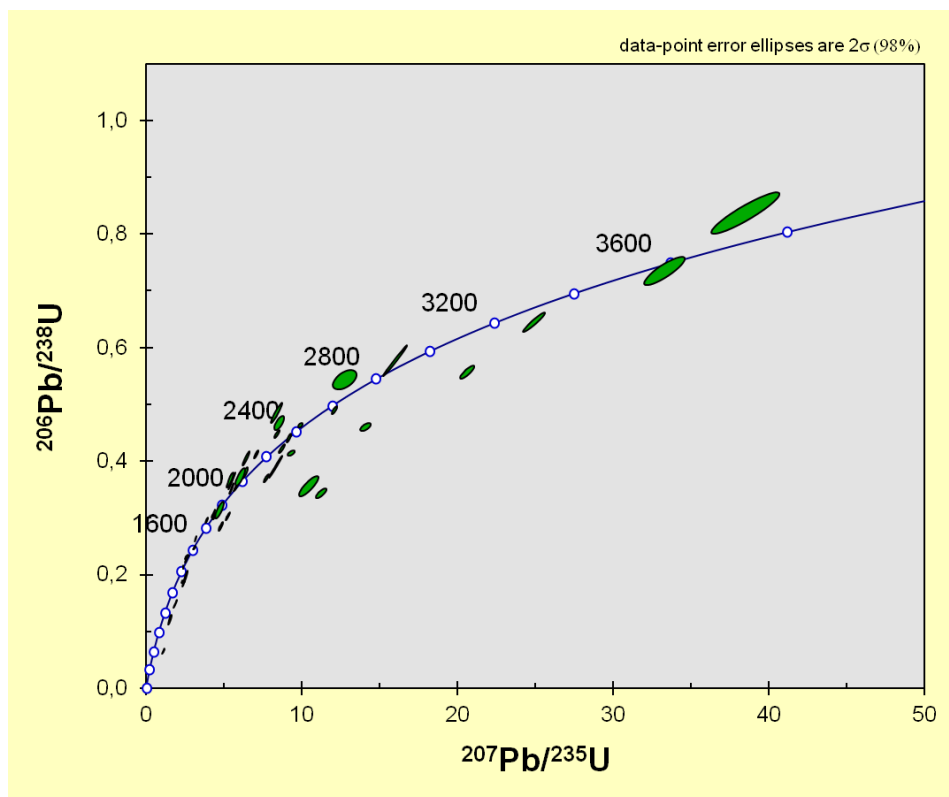


Figura 27: Diagrama concórdia para todas as idades dos zircões detriticos da amostra PF-01 em Ma. Erros das elipses são 2σ .

A idades resultantes $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ variam entre 1197 ± 13 Ma para o zircão mais jovem até 3633 ± 46 Ma para o zircão mais antigo.

As populações de contribuição de aporte sedimentar mais expressivas são fontes com 1800 a 2000 Ma e 2400 Ma (Fig. 26, 27).

4.2.2. PF-02

As datações da amostra PF-02 foram realizadas no LA-ICPMS. Foram analisados aleatoriamente 60 grãos de zircão detrítico, dos quais 40 apresentaram resultados concordantes.

As idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ obtidas estão entre 1728 ± 22 Ma para o zircão mais jovem e 3637 ± 10 Ma para o zircão mais antigo.

O aporte sedimentar com contribuição mais expressiva é a população de zircões com idades em torno de 2400 Ma. (Fig. 28, 29).

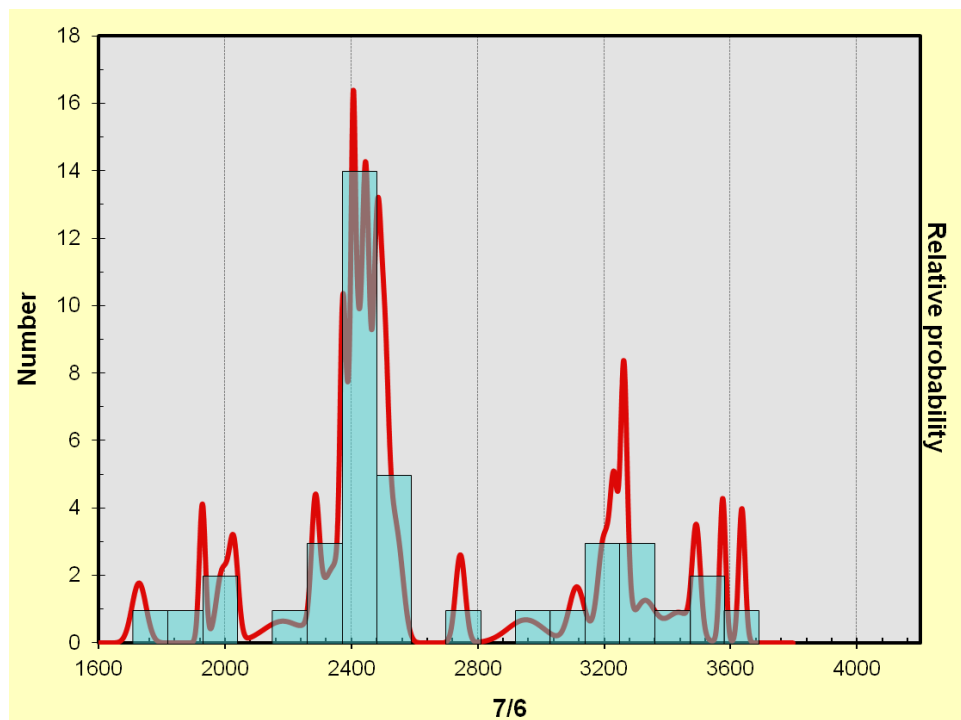


Figura 28: Histograma de frequência x idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de zircões detríticos em Ma da amostra PF-02.

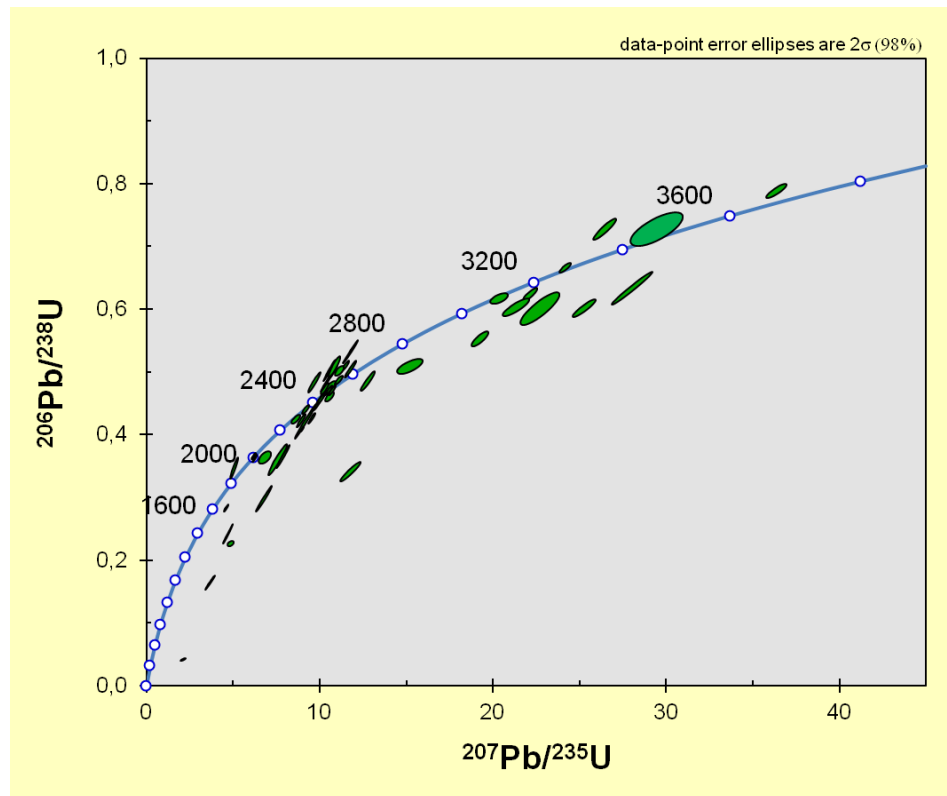


Figura 29: Diagrama concórdia para todas as idades dos zircões detriticos da amostra PF-02 em Ma. Erro das elipses = 2σ .

4.2.3. PF-03

Na amostra PF-03 foram analisados aleatoriamente 70 zircões no SHRIMP, dos quais foram obtidos 44 resultados concordantes.

As idades $207/206$ variam de 803 ± 43 Ma para o zircão mais jovem a 3054 ± 10 Ma para o mais velho (Fig. 30, 31).

As idades plotadas no gráfico da concórdia mais jovens que 800 Ma não são concordantes com a curva concórdia, evidenciando perda de Pb destes grãos de zircão (Fig. 32). O mesmo foi relatado por Remus *et al.* (2000) na amostra CERR-wr, o qual considerou estas perdas como influências de metamorfismo atuante na área.

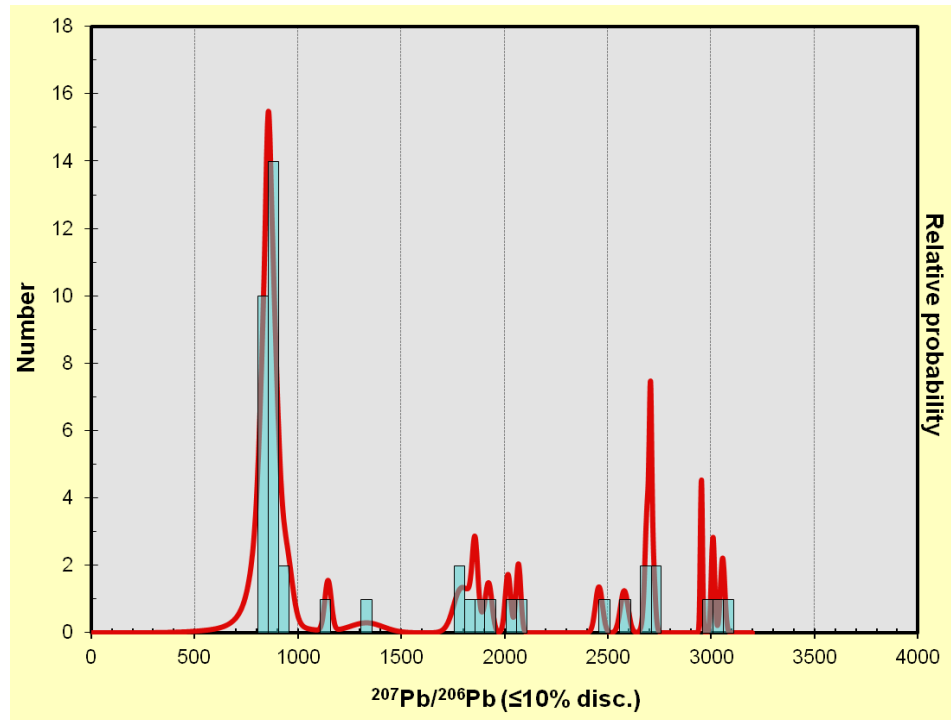


Figura 30: Histograma de frequência x idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de zircões detriticos em Ma da amostra PF-03.

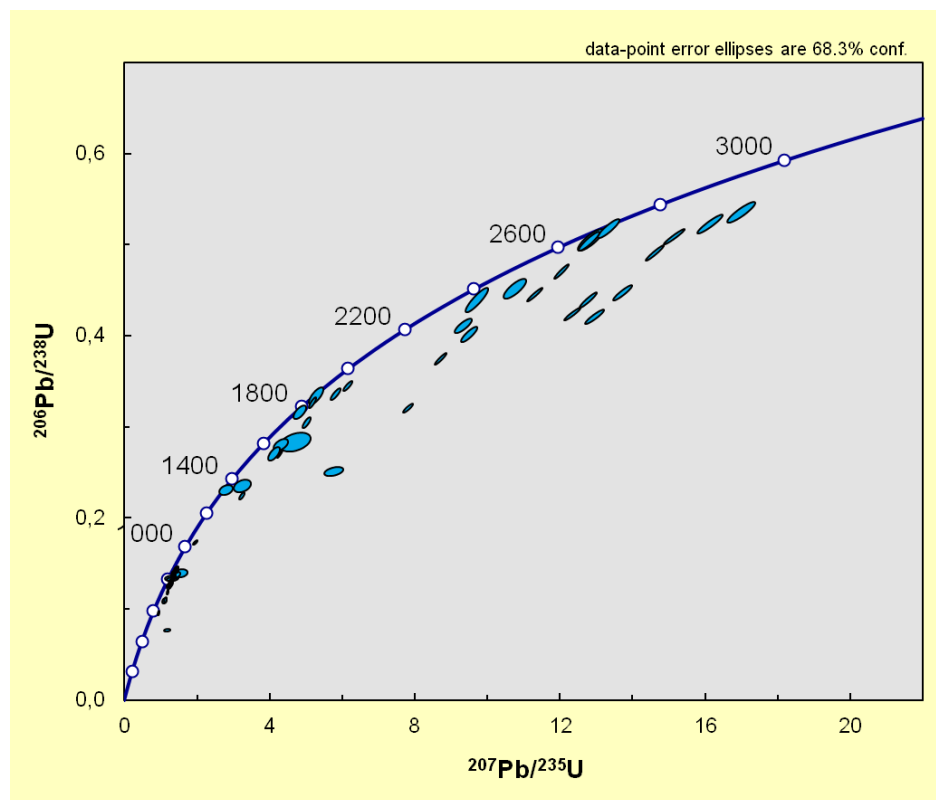


Figura 31: Diagrama concórdia para todas as idades dos zircões detriticos da amostra PF-01 em Ma. Erro das elipses = 68,3% (1σ).

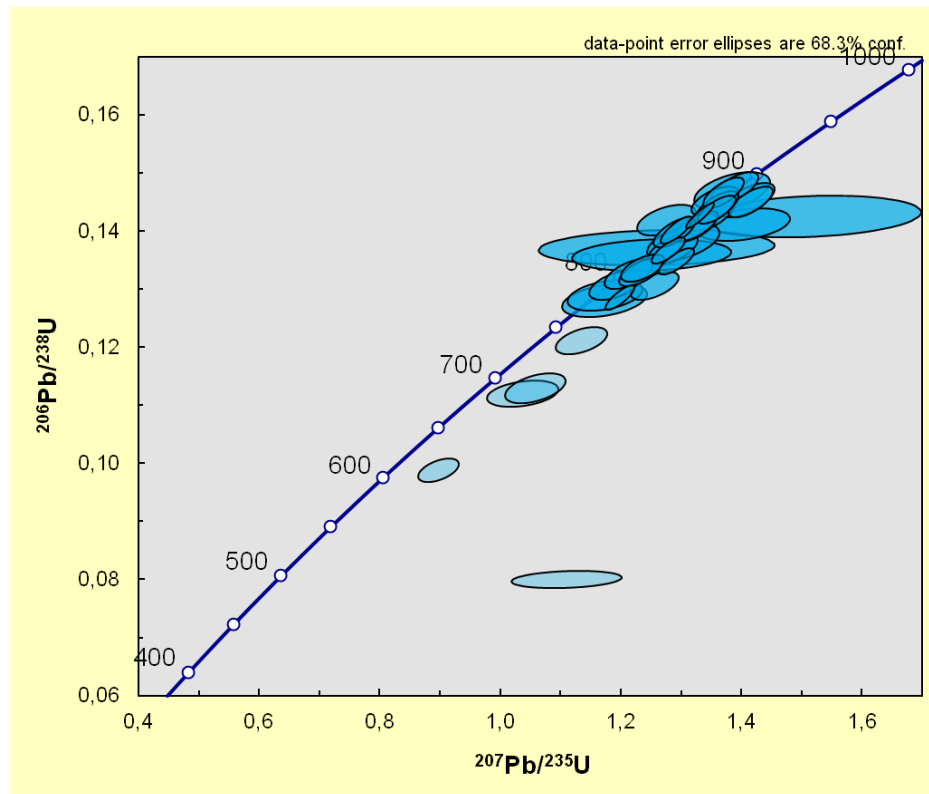


Figura 32: Diagrama concórdia para as idades dos zircões detriticos Neoproterozóicos da amostra PF-03 em Ma. Idades mais jovens que 800 Ma são discordantes, evidenciando perda de Pb. Erro das elipses = 68,3% (1σ).

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As populações de zircão das amostras PF-01 e PF-02 apresentam padrões de idade com comportamento muito semelhantes. As idades na amostra PF-01 variam de 1.2 a 3.6 Ga enquanto na PF-02 estão entre 1.7 e 3.6 Ga. Ambas possuem um pico similar de população expressiva de 2.4 Ga, e o restante se reproduz com diferentes frequências. O comportamento similar das populações de zircões encontrados nestas amostras indicam um terreno fonte similar para as mesmas, porém com diferentes aportes sedimentares ou diferentes períodos de sedimentação.

Embora a população Paleoarqueana – 3.6 Ga - presente em PF-01 e PF-02 não seja abundante ($n=3$), ela é significativa e representa uma das populações de zircões detríticos mais antigos já reconhecidos no Brasil. Um aspecto adicional do padrão de proveniência destas mesmas amostras é a ausência de grãos de zircões neoproterozóicos, comumente observados em outros metassedimentos do Terreno São Gabriel.

A amostra PF-03, por outro lado, possui zircões indicando importantes contribuições de fontes neoproterozóicas, contrastando com as outras amostras. Revela um importante pico em cerca de 850 Ma. A amostra CERR-wr da parte NW da área, previamente datada por Remus *et al.* (2000), usando U-Pb SHRIMP (Fig. 6), também possui populações com idades que são muito semelhantes à PF-03.

5.1. ÁREAS FONTES

5.1.1. 3.6 Ga e 3.2 Ga – Populações arqueanas

A população de zircões detríticos de 3.6 Ga registra a ocorrência de núcleos cratônicos Paleoarqueanos como terrenos fontes presentes para o aporte sedimentar para esta paleobacia.

O baixo número de grãos reflete o baixo potencial de transporte destes sedimentos para dentro da bacia. Isto pode ser apontado como uma consequência do terreno fonte não estar geograficamente próximo ou ainda do tamanho reduzido da área fonte.

No ESRG não existem registros de núcleos arqueanos preservados. Os registros brasileiros das rochas mais antigas encontram-se no Cráton São Francisco em 1 grão de zircão detrítico com 3809 ± 3 Ma (U/Pb - SHRIMP) de um arenito do Grupo Nova Lima no Quadrilátero Ferrífero - (Hartmann *et al.*, 2006) e nos tonalito Sete Voltas, no cráton Amazônico em zircão detrítico do Supergrupo Andorinhas na Província Carajás com 3.67 Ga (Macambira *et al.*, 1998), e na Província Borborema, no Maciço São José do Campestre onde rochas de cerca de 3.5 Ga estão expostas (Dantas *et al.* 2004).

As rochas com idades de aproximadamente 3.6 Ga mais próximas estão no domínio leste do cráton do Kaapvaal, África do Sul (Fig. 33). A rocha mais antiga encontrada neste domínio do Craton Kaapvaal é uma amostra de preservação rara e esparsa de um gnaiss tonalítico bandado com idade U-Pb de 3644 ± 4 Ma do Complexo Gnáissico Ancient (Compston and Kröner, 1988).

Os Cratons Kaapvaal e Zimbabwe juntamente com as faixas móveis Limpopo e Namaqua, são partes integrantes do Cráton do Kalahari (Fig.34) (Ashwal & Burke, 1989). Tem sido uma unidade estável há mais de 2.3 Ga. (McElhinny & McWilliams, 1977).

No Cráton Rio de La Plata são encontrados núcleos arqueanos somente mais jovens que 3408 ± 16 Ma (U/Pb em zircão). Esta idade é referente a um metatonalito do Terreno Nico Perez – Complexo La China,

Uruguai (Hartmann *et al.*, 2001). Isto reforça a idéia do aporte destes zircões detríticos terem provido do cráton Kalahari.

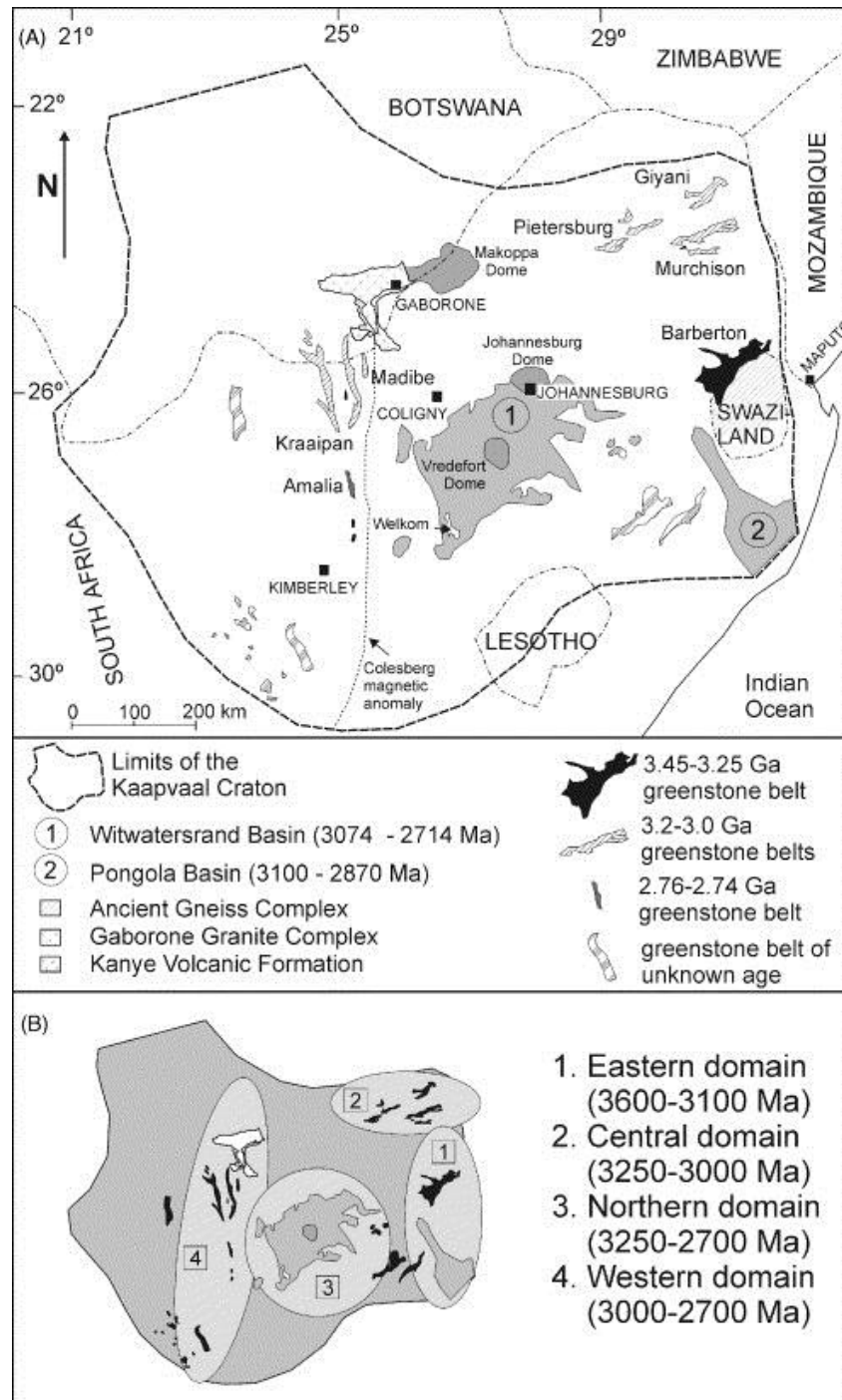


Figura 33: (A) Diagrama simplificado mostrando a linha limite do Craton Kaapvaal e os principais componentes geológicos; (B) Localizações dos domínios Leste, Central, Norte e Oeste (Poujol *et al.*, 2003)

A fonte para a população mesoarqueana de 3.2 Ga pode tanto provir também do cráton Kaapval, como pode ter sua fonte no Cráton Rio de La Plata.

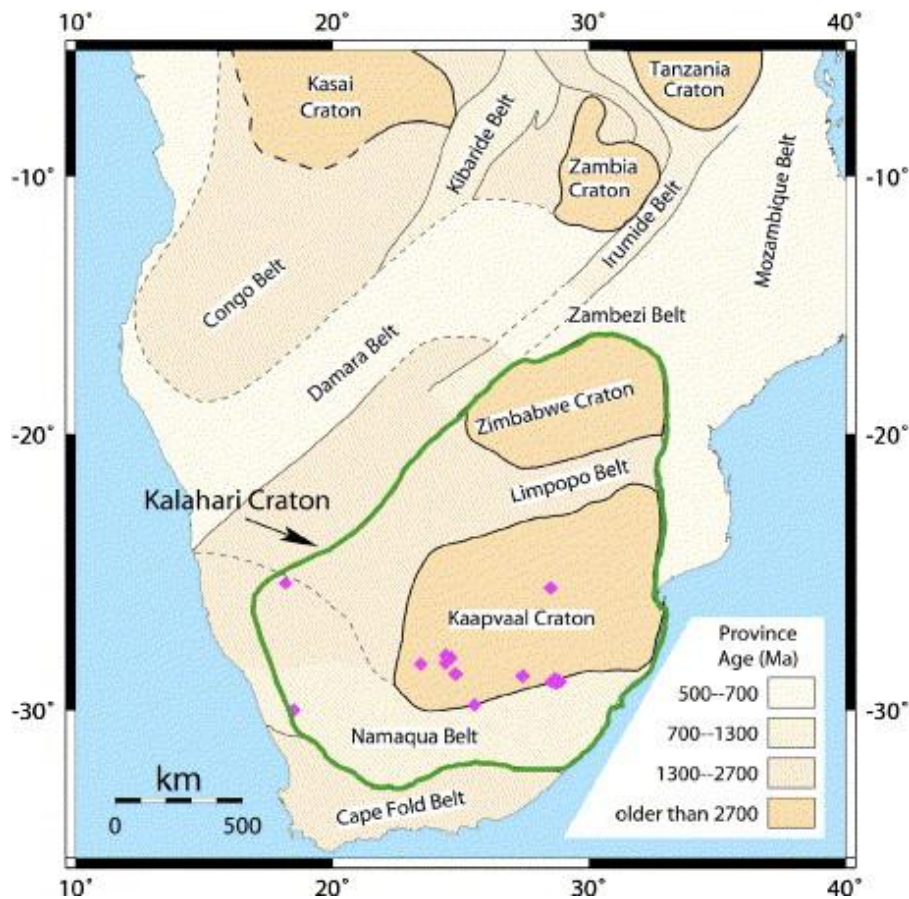


Figura 34: Mapa tectônico da região sul da África. Cráton Kalahari composto pelos Crátons Kaapvaal e Zimbabwe juntamente com as faixas móveis Limpopo e Namaqua. (K. Priestley *et al.*, 2005).

5.1.2. 2.4 Ga – População Paleoproterozóica / Sideriana

Esta população de zircões com idades em torno de 2400 Ma é recorrente para todas as amostras datadas do CMPF. Esta fonte de aporte sedimentar estaria, portanto, sempre presente durante os períodos de deposição de todas as unidades representadas pela amostragem.

Segundo Remus *et al.* (2000), este aporte sedimentar é proveniente do gnaiss Neto Rodrigues (Fig. 6) que hoje está justaposto ao Complexo Metamórfico Passo Feio (vide mapa geológico Fig. 15).

5.1.3. 1.8 Ga a 2 Ga – População Paleoproterozóica / Estateriana

Segundo Remus *et al.* (2000), na amostra CERR-wr, a fonte contribuidora para a população de zircões detríticos semelhante à esta encontrada nas amostras PF-01, PF-02 e PF-03 seria proveniente do Complexo Santa Maria Chico.

Outra provável fonte para explicar as idades mais próximas de 1.8 Ga são provenientes do Complexo Mudorib, um terreno exótico imbricado junto ao Cinturão Kaoko no cráton do Congo (Luft *et al.*, 2011).

5.1.4. 850 Ma – População Neoproterozóica

Esta população encontra-se cronoestratigraficamente no limite entre o os períodos Toniano e Criogeniano. A forte contribuição de aporte sedimentar com zircões destas idades para a amostra PF-03, e a repetição desses dados da amostra CERR-wr investigada por Remus *et al.* (2000), evidencia uma forte atividade na região neste período ou um terreno-fonte dessa idade sendo erodido durante a época de deposição.

Por ser a maior fonte contribuidora de sedimentos para a bacia no período de deposição de PF-03 e CERR-wr, interpreta-se que possivelmente era um terreno fonte proximal, justaposto à paleobacia Passo Feio. Fica evidenciado também que houve uma mudança nas fontes de sedimentos disponíveis entre as amostras PF-01 e PF-02, e as amostras PF-03 e CERR-wr.

Segundo Lenz (2010) o Arco Magmático São Gabriel teve sua primeira fase de geração a partir de 803 Ma, portanto não seria concordante com a idade destes zircões.

Já o arco de Ilhas Passinho, segundo Saalman *et al.* (2005), tem sua formação registrada em zircões de metadioritos na região mais ao sul do bloco São Gabriel com 0,87 Ga e representa o primeiro magmatismo de arco de ilhas e consequente subducção da região. Outro registro relatado com esta idade são os gnaisses dioríticos a tonalíticos da região de Lavras do Sul com 890 Ma (Leite *et al.*, 1998) considerados também como arco de ilhas por Chemale (2000).

5.2. AMBIENTES DEPOSICIONAIS

O contexto geotectônico onde está inserido o CMPF, as associações de rochas, os dados petrográficos, estruturais e outros critérios de campo já haviam sido base para hipóteses a respeito do ambiente deposicional. Ele foi considerado por Fragoso-César (1991) como parte de um ambiente de margem passiva do tipo Atlântico e por Fernandes *et al.* (1992) como um registro sedimentar de uma bacia do tipo retro-arco (*back-arc*).

A ausência de grãos detríticos neoproterozóicos nas amostras PF-01 e PF-02, evidencia que a sedimentação dessas rochas ocorreu em um momento em que não haviam sistemas orogênicos neoproterozóicos presentes para contribuir com o aporte sedimentar para a bacia Passo Feio. Já a ampla diversidade de idades distintas e a ausência de picos unimodais de idades dos zircões detríticos dessas amostras, remetem a um aporte sedimentar continental de fontes diversas. Sendo assim, as amostras PF-01 e PF-02 possivelmente foram depositadas em ambiente marinho de margem passiva do tipo Atlântico (Fig. 35).



Figura 35: Bloco diagrama de bacia de margem passiva do tipo Atlântico. Aporte sedimentar fornecendo zircões de proveniências continentais. Modificado de Brown *et al.* (2003)

Porém as amostras PF-03 e CERR-wr, datada por Remus *et al.* (2000), apresentam uma expressiva população de zircões com idades em torno de 850 Ma, momento de atividade orogênica no contexto geotectônico da região com o surgimento do Arco Passinho. Porém, apesar de apresentar

menor expressividade, os sedimentos ainda apresentam os zircões detríticos continentais, sugerindo que esta fonte ainda contribui para o aporte de sedimentos para a bacia. O ambiente geotectônico onde estes dois aportes simultâneos são coerentes, com a presença do Arco Magmático e do Continente, seria uma bacia marinha do tipo *back-arc* (Fig.36).

Uma possível explicação para que bacia Passo Feio registre estes dois ambientes deposicionais é uma evolução no contexto geotectônico desta bacia, evoluindo de uma bacia de margem passiva para uma bacia de *back-arc*.

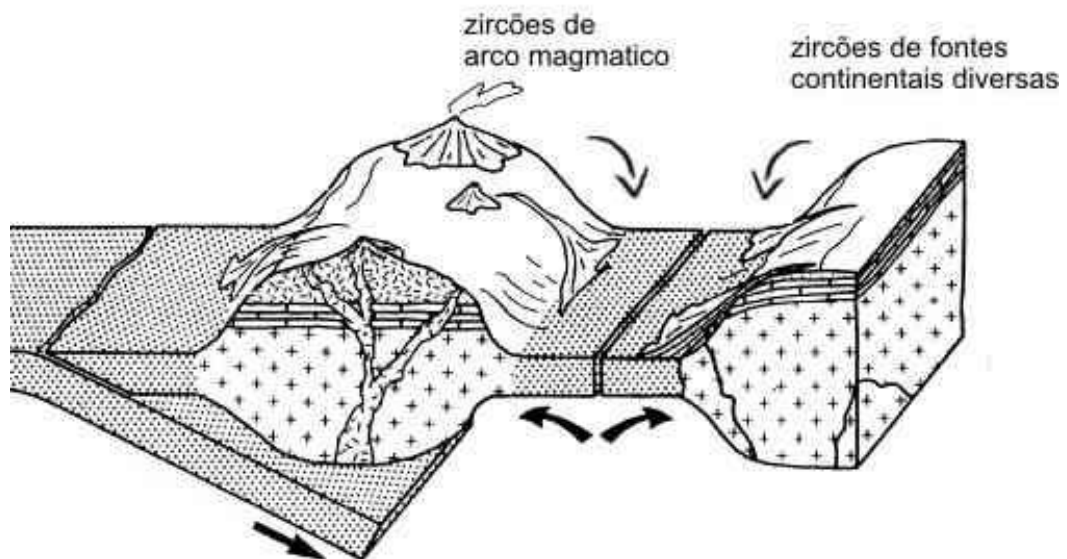


Figura 36: Bloco diagrama de bacia de Retro-Arco. Aporte sedimentar fornecendo zircões de proveniências continentais e de arco magmático. Modificado de Brown *et al.* (2003)

Contudo ainda existe a possibilidade de que as diferentes fontes de sedimentos encontradas entre as amostras sejam reflexo de sedimentações com diferentes aportes sedimentares para dentro de uma única bacia dentro de um mesmo contexto geotectônico.

5.3. IDADES DE DEPOSIÇÃO E FECHAMENTO DA BACIA

As idades máximas de deposição dos metassedimentos estudados podem ser inferidas como menores ou aproximadamente concomitantes à idade do grão de zircão mais jovem. Assim sendo, a idade da sedimentação

para PF-01 seria mais jovem ou igual a ca. 1197 Ma, para PF-02, de ca. 1728 Ma e para PF-03 igual a 803 Ma.

Adicionando à discussão os dados da amostra CERR-wr (Remus *et al.*, 2000), a qual possui o zircão mais jovem com 849 ± 57 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$), deduzimos que sua deposição é igual ou mais jovem do que o mesmo, e, devido à proximidade dos dados, possivelmente foi concomitante à deposição de PF-03.

A idade T_{DM} Sm/Nd obtida por Salmaan *et al.* (2005) em uma amostra do CMPF ao norte do Granito Caçapava é concordante com estes resultados, a qual afirma uma idade de deposição do complexo mais jovem que 2500 Ma .

Embora ainda possa haver uma discussão sobre a possibilidade de que a fonte neoproterozóica de sedimentos tenha sido completamente erodida até o momento da sedimentação das amostras PF-01 e PF-02, não estando mais disponível como área fonte para as mesmas, considera-se esta opção como pouco provável. Ainda hoje, passados 800 Ma, encontram-se o registro de rochas desta idade no Terreno São Gabriel. Isto inviabiliza a idéia de rápida e completa erosão.

Portanto os metassedimentos coletados poderiam ser organizados cronoestratigraficamente de maneira sequencial da base para o topo como PF-02, PF-01 e PF03 / CERR-wr. PF-02 seria o sedimento mais antigo da sequencia e PF-03 / CERR-wr os mais jovens.

A idade de fechamento da paleobacia Passo Feio é então considerada posterior ou concomitante à deposição dos metassedimentos mais jovens (PF-03 e CERR-wr), o que possivelmente ocorre então após, ou em torno de 800 Ma. O limite inferior de idade para este fechamento pode ser então delimitado pela intrusão do granito Caçapava nestas sequências, considerando então que em 560 Ma esta bacia já havia cessado sua deposição.

5.4. PROPOSTA DE MODELO TECTÔNICO

Com base nos resultados sugeridos para as fontes dos sedimentos originais, idades de deposição e padrões de idades, foi elaborado uma sugestão de modelo tectônico que tenta enquadrar a paleobacia Passo Feio no tempo/espaço, com base nos modelos já existentes de Saalman *et al.* (2005) e Chemale (2000) (Fig. 39).

Sugere-se então que a paleobacia Passo Feio teve seu primeiro estágio como uma bacia de margem passiva no oceano Adamastor (Fig.36B), em regime extensivo entre os crátons Kalahari e Rio de La Plata. Recebia aporte de sedimentos de fontes continentais diversas. O segundo estágio se dá com a mudança do regime extensivo para compressivo entre as placas tectônicas, desenvolvendo o arco de ilhas Passinho em torno de 870 Ma (Saalman *et al.*, 2005) ou também considerado por Chemale (2000) como o arco de ilhas representado pelos gnaisses dioríticos a tonalíticos da região de Lavras do Sul com 890 Ma (Leite *et al.*, 1998). A bacia então evolui para uma bacia de retro-arco, modificando seu aporte sedimentar para importante contribuição de provenientes do arco magmático, embora permaneça com aporte continental atuante.

O arco de ilhas teria sido formado segundo ambos os modelos pela subducção intraoceânica para leste, há ca. de 800 Ma. Provavelmente os arcos Passinho e o registrado pelos dioritos de Lavras do Sul fazem parte de um mesmo sistema de arco de ilhas.

Esta evolução tectônica ocorre certamente durante a mudança entre o regime extensivo da quebra e abertura do Rodínia para o regime compressivo do fechamento do Gondwana.

As idades de zircões detríticos de 1.8 Ma possivelmente provenientes do Cinturão Kaoko no cráton do Congo, também inserem esse cráton no contexto geotectônico regional. Os modelos geodinâmicos de abertura e quebra do Rodínia e de fechamento do Gondwana propostos por Li *et al.*, (2008) e Bley (2003) dispõe geograficamente os crátons do Kalahari, Rio de La Plata e Congo justapostos, concordando com as idéias discutidas (Fig. 37, 38).

O modelo de fechamento do oceano entre o arco de ilhas e o cráton do Kalahari onde se encontra a bacia Passo Feio não fica muito claro no modelo de Chemale (2000). Para o modelo de Saalman *et al.* (2005), entre 800 e 700 Ma, o arco Passinho teria colidido com o cráton Rio de La Plata, instalando-se subducção para oeste, com formação do arco São Gabriel, (amalgamação entre os arcos Passinho, região de Palma e o cinturão Bossoroca) . Com esta subducção, os registros sedimentares da bacia Passo Feio ficariam amalgamados no prisma de acreção justaposto ao arco São Gabriel.

É importante ressaltar que esta sugestão de inserção do CMPF em um modelo, considera como base somente dados cronoestratigráficos. Seria necessário uma análise estrutural do complexo para validação do modelo discutido.

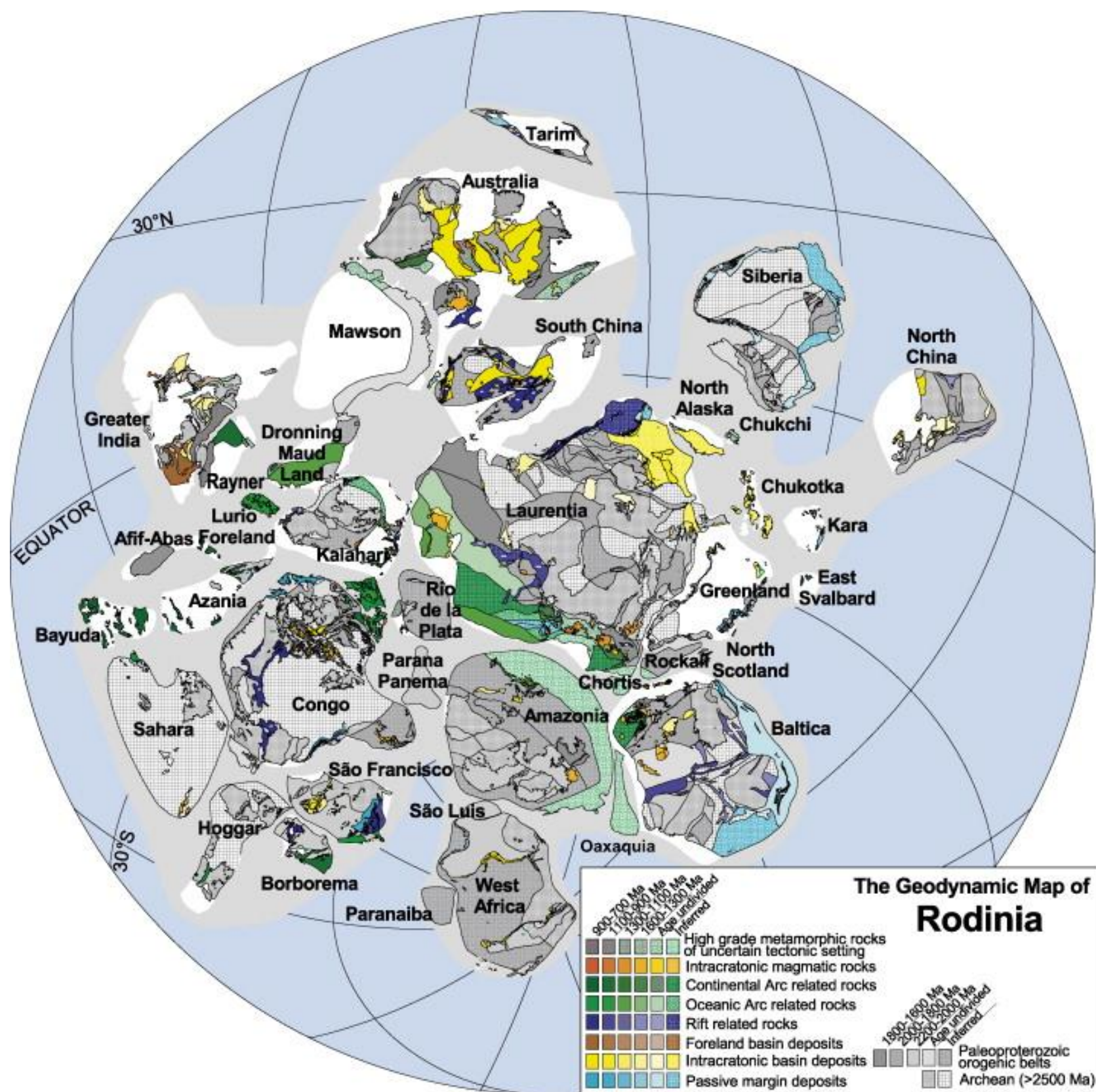


Figura 37: Mapa geodinâmico simplificado da quebra e abertura do Rodinia. (Li *et al.*, 2008)

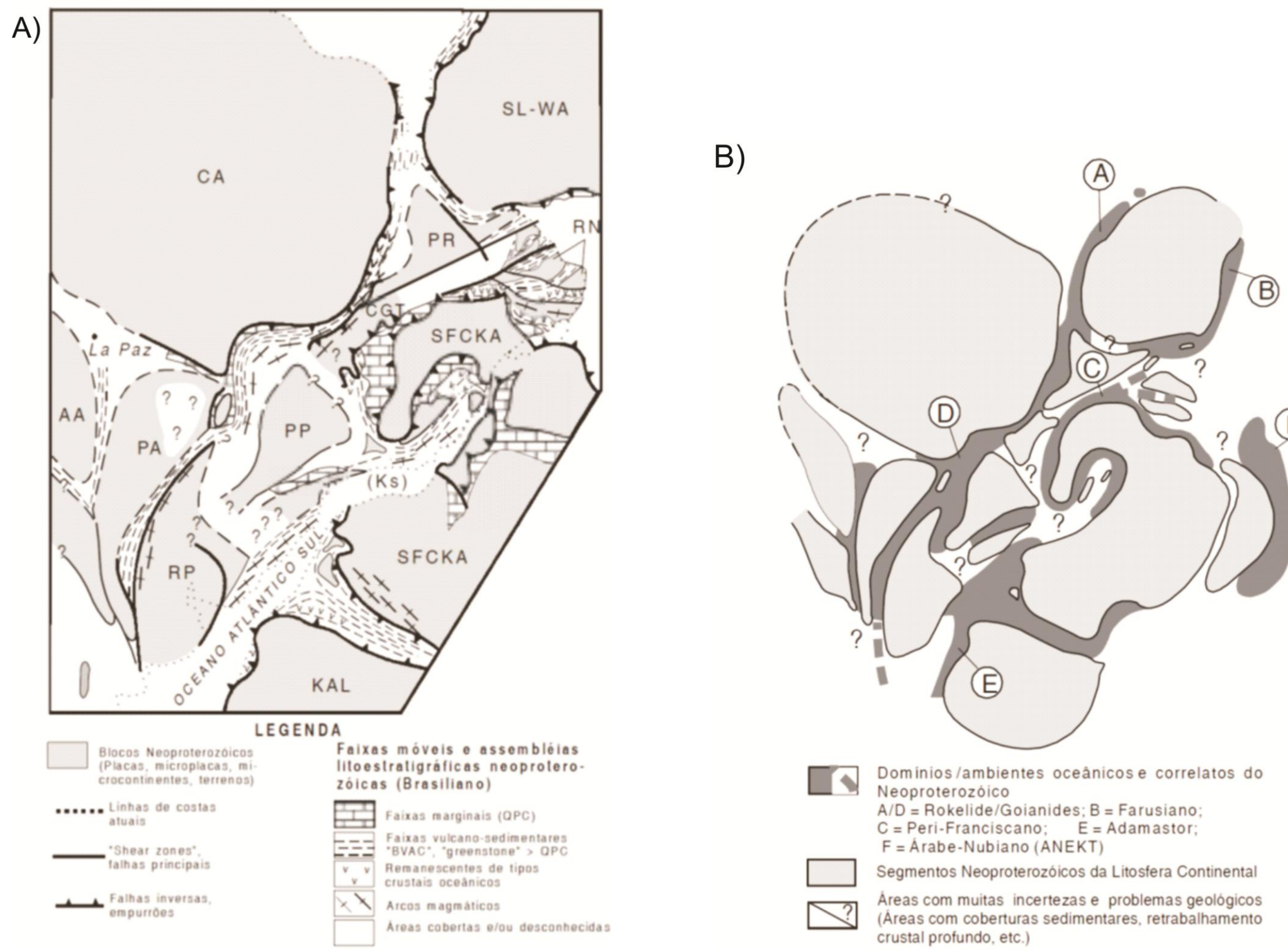
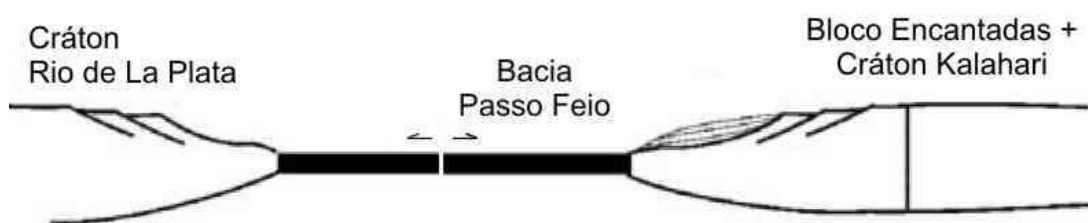


Figura 38: A) Mapa geodinâmico do fechamento do Gondwana, demonstrando a proximidade e colisão entre os crátons Kalahari (KAL), São Francisco-Congo (SFCKA) e Rio de La Plata (RP). Posicionamento do oceano Adamastor entre os crátons. (Brito Neves, 2003)

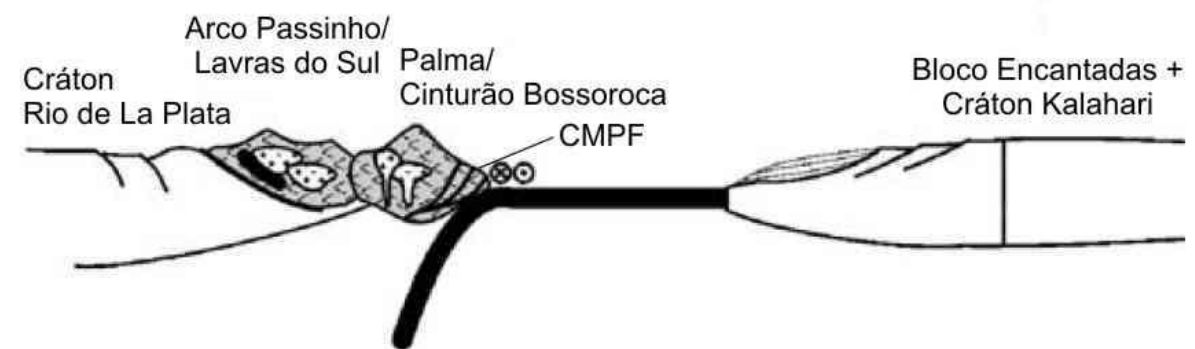
I - 1.2 a 1.0 Ga



II- 900 a 800 Ma



III- 800 a 700 Ma



IV- 750 a 700/650 Ma

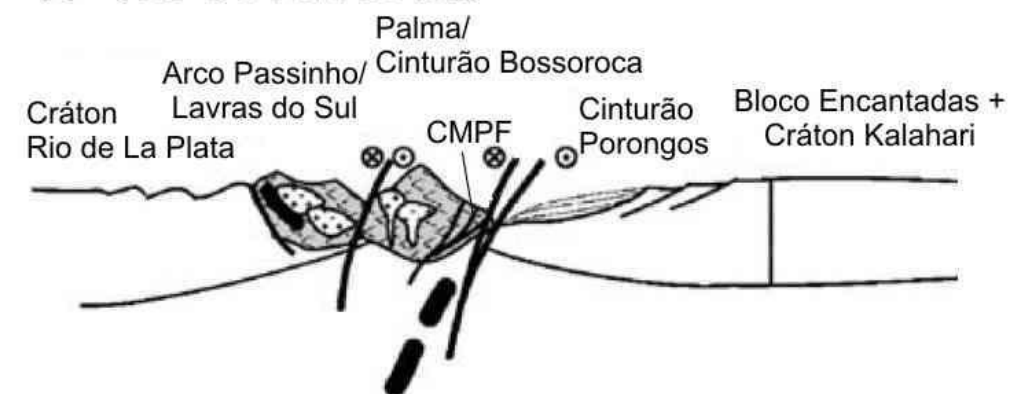


Figura 39: Bloco diagrama do modelo evolutivo geotectônico proposto para o Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF). Modificado de Saalman *et al.* (2005) e Chemale (2000).

6. CONCLUSÕES

- A ausência de zircões neoproterozóicos em PF-01 e PF-02 e sua presença na amostra PF-03 mostram que existem ao menos duas diferentes fontes de aporte sedimentar entre as amostras deste complexo.
- A idade de fechamento da Paleobacia Passo Feio se deu entre 800 Ma e 560 Ma.
- As idades de 3.6 Ga encontrados nos 3 zircões detríticos das amostras PF-01 e PF-02 são o registro de uma das população de zircões mais antigas do Brasil.
- Esta população paleoarqueana remete como fonte de sedimentos o aporte sedimentar do continente Kalahari para a paleobacia Passo Feio, estando esta possivelmente localizada próxima às suas margens.
- O cráton do Congo possivelmente também contribui com o aporte sedimentar, fornecendo sedimentos com fontes de 1.8 Ga.
- A bacia sedimentar Passo Feio evolui de uma bacia de margem passiva do tipo Atlântico para uma bacia do tipo *back-arc* do tipo mar do Japão. Porém futuros estudos são necessários para verificar se não se trata puramente de mudança de aporte sedimentar para uma única bacia, em um único contexto geotectônico.

7. REFERÊNCIAS

ANDERSEN, T. 2004. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: limiting conditions from statistics and numerical simulation. *Chemical Geology*, 216 (2005), 249-270.

ALMEIDA, F.F.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: An Introduction. *Earth Science Reviews*, 17:1-29.

ALMEIDA, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.

ASHWAL, L., BURKE, K., 1989. African lithosphere structure, volcanism, and topography. *Earth Planet. Sci. Lett.* 96, 8–14.

BERTOTTI, A. L., 2009. Metodologia Lutécio/Hafnio em zircão: Geoquímica e aplicações. Exame de qualificação apresentado como requisito para obtenção do Título de Doutor em Geociências – UFRGS.

BITENCOURT. M.F. 1983. Geologia, petrologia e estrutura dos metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 161p.

BOGGS, S., KRINSLEY, D., 2006. Application of cathodoluminescence imaging to the study of sedimentary rocks. Editora Cambridge.

BORBA, A.W., 2006. Evolução geológica da “Bacia do Camaquã” (Neoproterozóico e Paleozóico inferior do Escudo Sul-Rio-Grandense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia,

petrografia e geologia isotópica. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade do Rio Grande do Sul, 474p.

BOURDON, B., TURNER, S., HENDERSON, G. M., LUNDSTROM, C. C., 2003. In: U-series Geochemistry. Vol 52, Cap1.

BRITO NEVES B. B. 2003. A saga dos descendentes de Rodínia na construção de Gondwana. Revista Brasileira de Geociências. 33(1-Sulemento):77-88.

BROWN, S.A.M., ROBERTSON, A.H.F., 2003. Sedimentary geology as a key to understanding the tectonic evolution of the Mesozoic–Early Tertiary Paikon Massif, Vardar suture zone, N Greece. Sedimentary Geology. Volume 160, 1–3, Pag. 179–212.

CHEMALE Jr., F., 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-Rio-Grandense. In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), Geologia do Rio Grande do Sul, Editora UFRGS, Porto Alegre, pp. 13-52.

COMPSTON, W., KRÖNER, A., 1988. Multiple zircon growth within early Archean tonalitic gneiss from the Ancient Gneiss Complex, Swaziland Earth Planet. Sci. Lett., 87 (1988), pp. 13–28

CORFU, F., HANCHAR, J.M., HOSKIN, P.W.O., KINNY, P., 2003. Atlas of Zircon Textures. In: Hanchar, John M. & Hoskin, Paul W.O.; Zircon: Reviews in Mineralogy & Geochemistry. V. 53; cap 7.

DANTAS, E. L. ; VANSCHMUS, W. R. ; HACKSPACHER, P. C. ; NEVES, B. B. B. ; FETTER, A. ; CORDANI, U. ; NUTMAN, A. ; WILLIAMS, I. S. , 2004 . The 3.4-3.5 GA São José do Campestre Massif, NE Brazil : remnants of the oldest crust in South America. Precambrian Research **JCR**, Netherlands, v. 130, n.1, p. 113-137.

FAURE, G. 1986. Principles of Isotope Geology. New York, John Wiley and Sons, Ed. 2, 589p.

FEDO, C. M., SIRCOMBE, K. N., RAINBIRD H. R., 2003. Detrital Zircon Analysis of the Sedimentary Record. In: Hanchar, John M. & Hoskin, Paul W.O.; Zircon: Reviews in Mineralogy & Geochemistry. V. 53; cap 10.

FERNANDES, L.A.; TOMMASI, A. & C.C. PORCHER. 1992a. Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. Journal of South American Earth Science, 5(1): 77-96.

FINCH, R. J., HANCHAR, J. M., 2003. Structure and Chemistry of Zircon and Zircon-Group Minerals. In: Hanchar, John M. & Hoskin, Paul W.O.; Zircon: Reviews in Mineralogy & Geochemistry. V. 53; cap 1.

FRAGOSO-CESAR, A.R.S. 1991. Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: As orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, USP, 362p (inédito).

GERDES, A., ZEH, A. 2006. Combined U-Pb and Hf isotope LA-(MC)-ICP-MS analyses of detrital zircons: Comparison with SHRIMP and new constraints for the provenance and age of American metasediment in central Germany. *Earth and Planetary Science Letters*, 249: 47-61.

HANCHAR, JOHN M. & HOSKIN, PAUL W.O., 2003. Zircon: Reviews in Mineralogy & Geochemistry. V. 53;

HARTMANN, L.A.; PHILIPP, R.P.; SANTOS, J.O.S. 2010. Time frame of 753-680 Ma juvenile accretion during the São Gabriel orogeny, southern Brazil. *Gondwana Research*. v.17(2): 84-99.

HARTMANN, L.A.; ENDO, I.; SUITA, M.T.F. ; FRANTZ, C.; CARNEIRO, M. A ; MCNAUGHTON, N.J ; BARLEY, M. . 2006. Provenance and age delimitation of Quadrilátero Ferrífero sandstones based on zircon U-Pb isotopes. *Journal of South American Earth Sciences*, Holanda, v. 20, p. 273-285.

HARTMANN, L. A., CAMPAL, N., SANTOS, J.O.S., MCNAUGHTON, N.J., BOSSI, J., SCHIPILOV, A., LAFON, J.M., 2001. Archean crust in the Rio de la Plata Craton, Uruguay - SHRIMP U-Pb zircon reconnaissance geochronology. *Journal of South American Earth Sciences JCR*, Holanda, v. 14, p. 557-570.

HARTMANN, L.A.; LEITE, J.A.D., SILVA, L.C., REMUS, M.V.D., MCNAUGHTON, N.J., GROVES, D.I. & FLETCHER, I.R., SANTOS, J.O.S., VASCONCELLOS, M.A.Z., 2000. Advances in SHRIMP geochronology and their impact and understanding the tectonic and metallogenic evolution of southern Brazil. *Australian Journal of Earth Sciences* 47, 829-843.

HASUI, Y., CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(4): 257-266.

HEILBRON, M., MACHADO, N., 2003. Timing of terrance accretion in the Neoproterozoic – Eopaleozoic Ribeira Orogen (SE Brazil). *Precambrian Research* 125, 87-112.

HEILBRON, M., PEDROSA-SOARES, A., NETO, M., SILVA, L.C., TROUW, R., JANASI, V., 2004. Brasiliano orogens in southeast and south Brazil: The 750-550 Ma Brasiliano Event of South America: In: Weinberg, R., Trouw, R., Fuck, R., Hackpacher, P. (Eds), *Journal of the Virtual Explorer (Electronic Edition)*, 17, p. 4. Disponível em: <<http://virtualexplorer.com.au/journal/2004/17>> Acesso em: 25 jun. 2012.

HEILBRON, M.L., PEDROSA-SOARES, A.C., CAMPOS NETO, M.C., SILVA, L.C., TROUW, R. & JANASI, V.A. 2004. Província Mantiqueira. In: V.M. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro & BritoNeves, B.B. (orgs.). *Geologia do Continente Sul-Americano*. São Paulo, Editora Beca, p. 203-234.

KOSLER, J., SYLVESTER, P. J., 2003. Present Trends and the Future of Zircon in Geochronology: Laser Ablation ICPMS. In: Hanchar, John M. & Hoskin, Paul W.O.; *Zircon: Reviews in Mineralogy & Geochemistry*. V. 53; cap 9.

LEITE, J.A.D., HARTMANN, L.A., MCNAUGHTON, N.J., CHEMALE JR., F. 1998. SHRIMP U/Pb zircon geochronology of neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil. *International Geology Review*, 40 (8): 688-705.

LENZ, C., 2010. Evolução do magmatismo neoproterozóico registrado nos ortognaisses Cerro Bori, Cinturão Dom Feliciano no Uruguai. PhD thesis. Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 194 pp.

Li, Z.X., Bogdanova, S. V, Collins, A. S., Davidson, A., Waele, B.De, Ernst, R.E., Fitzsimons, I.C.W., Fuck, R.A., Gladkochub, D.P., Jacobs, J., Karlstrom, K.E., Lul, S., Natapov, L.M., Pease, V., Pisarevsky, S.A., Thrane, K., Vernikovsky, V., 2008. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis. *Precambrian Research* 160: 179–210.

LUFT, J. L. JR., CHEMALE, F. JR., ARMSTRONG, R., 2011. Evidence of 1.7- to 1.8-Ga Collisional Arc in the Kaoko Belt, NW Namibia. *International Journal of Earth Sciences*. Volume 100, Issue 2-3, pp 305-321.

MACAMBIRA, M.J.B., LAFON, J.M., PIDGEON, R., 1998. Crescimento crustal arqueano registrado em zircões de sedimentos da região de Rio Maria, Província Carajás, Pará. In: XL Brazilian Geological Congress, Belo Horizonte, pp. 55.

MCELHINNY, M., MCWILLIAMS, M., 1977. Precambrian geodynamics — a paleomagnetic view. *Tectonophysics* 40, 137–159.

MATTEINI, M., JUNGES, S.L., DANTAS, E.L., PIMENTEL, M.M., BUHN, B. 2010a. In situ zircon U-Pb and Lu-Hf isotope systematic on magmatic rocks: insights on the crustal evolution of the Neoproterozoic Goiás magmatic arc, Brasília belt, Central Brazil. *Gondwana Research*, v. 16, p. 200-212.

MATTEINI M, DANTAS EL, PIMENTEL MM, BÜHN B, 2010b, Combined U-Pb and Lu-Hf isotope analyses by laser ablation MC-ICP-MS: methodology and applications. *Anais Acad Bras Cienc*, 82(2):479-91.

OYHANTÇABAL, P., SIEGISMUND, S., WEMMER, K., 2010. The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences*, v.100, p. 201-220

PARRISH, R. R., NOBLE, S. R., 2003. Zircon U-Th-Pb Geochronology by ID-TIMS. In: Hanchar, John M. & Hoskin, Paul W.O.; *Zircon: Reviews in Mineralogy & Geochemistry*. V. 53; cap 7.

PHILIPP, R. P., BITENCOURT, M. F., JUNGES, S. L., 2011. Nd isotopic study of the Neoproterozoic Vila Nova Arc, south Brazil: implication for evolution of the São Gabriel Belt. *Journal of South American Earth Sciences*, Londres, v. subm., p. subm..

POUJOL, M., ROBB L.J., ANHAEUSSER C.R., GERICKE B., 2003. A review of the geochronological constraints on the evolution of the Kaapvaal Craton, South Africa. *Precambrian Research*. V 127, pag 181–213.

PRIESTLEY, K., MCKENZIE, D., DEBAYLE, E., 2006. The state of the upper mantle beneath southern Africa. *Tectonophysics*. Volume 416, Issues 1–4, 5 April 2006, Pages 101–112.

RAMSAY, J.G., HUBER, M.I., 1987. The Techniques of Modern Structural Geology. Vol. 2: Folds and Fractures. Academic Press, London. 700p.

REMUS, M.V.D., HARTMANN, L.A., MCNAUGHTON, N.J., GROVES, D.I. & FLETCHER, I.R. 2000. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 13 (2000):191-216.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P.R.; FIGUEIREDO FILHO, P.M.; TESSARI, R.I. 1966. *Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Brasil*. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, Boletim 127, 232 p.

RIBEIRO, M., 1970. Geologia da folha de Bom Jardim: Rio Grande do Sul- Brasil. In: Boletim: Divisão de Geologia e Mineralogia. Brasília, 247: 1-142.

SAALMANN, K.; HARTMANN, L.A.; REMUS, M.V.D.; KOESTER, E. & CONCEIÇÃO, R.V. 2005. Sm-Nd isotope geochemistry of metamorphic volcano-sedimentary successions in the São Gabriel Block, southernmost Brazil: evidence for the existence of juvenile Neoproterozoic oceanic crust to the east of the Rio de la Plata craton. *Precambrian Research*, 136: 159-175.

SAALMANN, K.; REMUS, M.V.D. & HARTMANN, L.A. 2006. Structural evolution and tectonic setting of the Porongos belt, southern Brazil. *Geological Magazine*, 143 (1): 59-88

SATO, K., KAWASHITA, K., 2002. Espectrometria de Massas em Geologia Isotópica. *Geol. USP Sér. Cient.*, São Paulo, v. 2, p. 57-77, dezembro.

SILVA FILHO, B.C. & MATSDORF, M. 1987. Análise estrutural dos metamorfitos da borda Oeste do Granito Caçapava, Caçapava do Sul: Implicações geológicas locais e regionais. In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 3, 1987, Curitiba. Atas do III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Curitiba, 1:197-222.

SOLIANI Jr., E. 1986. Os dados geocronológicos do Escudo Sul-Rio-Grandense e suas implicações de ordem geotectônica. Tese de Doutorado,

Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, 425p, inédito.

TICKYJ, H., HARTMANN, L.A., VASCONCELLOS, M.A.Z., PHILIPP, R.P. & REMUS, M.V.D. 2004. Electron microprobe dating of monazite substantiates ages of major geological events in the southern Brazilian Shield. *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 699-713.

UNISINOS, 1979-1. Mapeamento geológico de parte das Folhas de Ibaré e Três Cerros – RS, Trabalho de conclusão.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 1998. Projeto Caçapava do Sul: mapeamento geológico 1:25.000 1998.

Meios Eletrônicos:

Kare Kullerud – webgeology. Universidade de Tromso, Noruega. Versão brasileira pelo Serviço Geológico do Brasil. http://www.ig.uit.no/webgeology/webgeologyfiles/brazil/upb_bra.html; acessado em 27 de maio de 2012.

Revista eletrônica do Departamento de Química - UFSC, ano 4 <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/arquivo.html>. Acessado em 29 de maio de 2012.

Apêndice 1: Resultados U/Pb LA-ICPMS

Spot	Razões isotópicas					Idades						Conc (%)
	Th/U	207Pb/235U	1s(%)	206Pb/238U	1s(%)	207Pb/206Pb	1s(Ma)	207Pb/235U	1s(Ma)	206Pb/238U	1s(Ma)	
PF-01												
03_ZR_1	0,376249	6,296814	2,661445	0,378735	2,181212	1964,86	27,20097	2018,011	23,32035	2070,371	38,62518	105,3699
04_ZR_2	0,294086	8,660841	1,735347	0,421707	1,54922	2333,936	13,38679	2302,971	15,79651	2268,224	29,6232	97,18452
05_ZR_3	0,426947	9,131047	1,607093	0,440938	1,38987	2348,094	13,79377	2351,226	14,70744	2354,838	27,41729	100,2872
06_ZR_4	0,212911	4,349521	2,64239	0,303226	1,737292	1697,296	36,6895	1702,805	21,81491	1707,285	26,05778	100,5886
09_ZR_5	0	20,59879	1,969042	0,556105	1,691756	3298,15	15,80902	3119,904	19,06765	2850,515	38,97392	86,42769
10_ZR_6	0	7,671266	1,632432	0,36986	1,50019	2350,795	11,0003	2193,242	14,6639	2028,743	26,11115	86,3003
11_ZR_7	0	4,593045	1,513137	0,310827	1,446517	1751,873	8,126776	1748,006	12,61713	1744,775	22,11134	99,59479
12_ZR_8	0	5,212187	2,236592	0,303189	1,957203	2024,29	19,17463	1854,61	19,05426	1707,104	29,35353	84,33099
16_ZR_10	0	33,25896	3,254463	0,733929	2,809878	3610,865	25,18059	3588,311	32,0807	3548,043	76,67054	98,26021
17_ZR_11	0	5,480372	3,539622	0,365094	3,501258	1780,576	9,478242	1897,525	30,39464	2006,275	60,3649	112,6756
18_ZR_12	0	15,93291	3,949655	0,575456	3,875961	2832,777	12,38687	2872,782	37,73571	2930,185	91,26485	103,4386
21_ZR_13	0	14,01718	2,028522	0,459845	1,306102	2988,568	24,97386	2750,87	19,22569	2438,872	26,52161	81,6067
22_ZR_14	0	4,764203	2,348753	0,285018	2,169753	1974,432	16,02335	1778,613	19,71143	1616,586	31,02358	81,87599
23_ZR_15	0	2,292145	2,336662	0,188524	1,033092	1386,425	40,24258	1209,869	16,5192	1113,376	10,56371	80,30552
24_ZR_16	0	38,45142	4,618579	0,836282	3,535561	3633,113	45,50229	3731,604	45,70756	3917,762	103,7982	107,8349
29_ZR_17	0	12,03871	1,293655	0,489794	1,103068	2636,791	11,2259	2607,425	12,12813	2569,786	23,37802	97,45883
30_ZR_18	0	2,354897	1,301576	0,213504	1,130156	1196,877	12,73354	1229,041	9,27667	1247,457	12,81802	104,226
31_ZR_19	0	9,856192	1,298354	0,462502	0,827608	2396,988	17,01608	2421,42	11,96891	2450,595	16,87175	102,2364
35_ZR_21	0	3,06191	1,314846	0,247973	1,081011	1416,045	14,31325	1423,215	10,06392	1428,013	13,84674	100,8452
36_ZR_22	0	5,68243	1,341394	0,35267	1,187351	1908,737	11,20647	1928,702	11,58206	1947,335	19,95602	102,0222
38_ZR_24	0	9,266634	2,261165	0,41342	0,978754	2482,524	34,3715	2364,725	20,72316	2230,538	18,45491	89,84963
43_ZR_25	0	24,89567	2,378779	0,64417	2,267388	3364,598	11,23113	3304,133	23,22099	3205,388	57,26615	95,26809
46_ZR_28	0	1,845419	4,504986	0,149087	4,138186	1420,74	34,02717	1061,796	29,6669	895,8437	34,61108	63,05471

52_ZR_30	0	5,420322	2,318786	0,351781	2,19574	1828,085	13,51309	1888,073	19,87736	1943,099	36,83541	106,2915
53_ZR_31	0	8,267259	4,12799	0,390202	4,093444	2387,099	9,074118	2260,738	37,39201	2123,765	74,06597	88,96846
54_ZR_32	0	6,405843	2,854877	0,405042	2,423689	1875,225	27,19747	2033,07	25,07374	2192,214	45,04077	116,9041
57_ZR_33	0	8,492326	3,0395	0,467413	2,172684	2121,719	37,23837	2285,103	27,61125	2472,206	44,61318	116,519
59_ZR_35	0	5,370193	3,391217	0,366794	3,044611	1734,935	27,39271	1880,113	29,02838	2014,299	52,67077	116,1023
60_ZR_36	0	4,312867	2,144465	0,306603	1,830356	1661,21	20,68547	1695,823	17,67609	1723,967	27,68765	103,7778
64_ZR_38	0	2,530146	1,31547	0,223764	1,126549	1245,698	13,30216	1280,743	9,573347	1301,733	13,27886	104,4983
65_ZR_39	0	8,363526	1,474947	0,44807	1,312988	2168,862	11,71083	2271,231	13,37693	2386,669	26,19001	110,0424
70_ZR_42	0,294086	8,342079	3,228489	0,484619	3,081677	2026,607	17,04526	2268,903	29,27251	2547,352	64,8471	125,6954
72_ZR_44	0,212911	7,029633	1,893549	0,412082	1,398662	2010,587	22,64654	2115,184	16,83229	2224,433	26,31205	110,636
75_ZR_45	0	6,024829	4,288808	0,371401	3,448759	1920,866	45,71132	1979,439	37,3487	2035,99	60,20877	105,9934
77_ZR_47	0	11,23375	2,637394	0,343529	2,111548	3101,076	25,18842	2542,72	24,59065	1903,626	34,80454	61,38598
81_ZR_49	0	4,726101	4,668027	0,313978	3,853871	1785,607	48,00665	1771,879	39,12076	1760,253	59,36447	98,58012
88_ZR_54	0	3,848782	1,532322	0,295143	1,416064	1519,678	11,04043	1603,013	12,3501	1667,181	20,80254	109,7062
89_ZR_55	0	3,134009	1,39828	0,262711	1,299795	1349,846	9,947913	1441,08	10,76348	1503,696	17,4328	111,3976
96_ZR_60	0	2,590742	3,43256	0,230848	1,573346	1230,992	59,87275	1298,024	25,14711	1338,943	19,02237	108,7695
PF-02												
04_ZR_02	0,294086	29,42158	4,142144	0,72662	3,017945	3437,142	44,05363	3467,688	40,67611	3520,812	81,87289	102,4343
05_ZR_03	0,426947	4,596542	1,700454	0,282144	1,612141	1928,534	9,688829	1748,641	14,18098	1602,153	22,86944	83,0762
10_ZR_06	0	26,37687	2,04385	0,727329	1,879222	3264,896	12,64264	3360,612	19,99486	3523,455	51,00961	107,9194
11_ZR_07	0	11,4672	1,409652	0,509368	1,287545	2489,878	9,669936	2561,914	13,16528	2653,931	28,01027	106,5888
12_ZR_08	0	10,4907	3,274258	0,473048	2,096296	2464,527	42,48915	2479,096	30,35294	2496,912	43,39691	101,3141
15_ZR_09	0	9,950482	2,99005	0,454574	2,887165	2442,487	13,16536	2430,201	27,58794	2415,554	58,16455	98,89731
16_ZR_10	0	28,00756	3,425336	0,632187	3,371422	3576,132	9,305824	3419,36	33,58127	3158,231	84,17958	88,31416
17_ZR_11	0	11,12181	1,844064	0,501494	1,19493	2464,566	23,72646	2533,387	17,17963	2620,213	25,72781	106,3154
22_ZR_14	0	22,12095	1,584215	0,622812	1,399393	3232,087	11,71222	3189,053	15,39013	3121,098	34,62155	96,56603
23_ZR_15	0	10,2475	1,944223	0,473051	1,705918	2424,812	15,81876	2457,375	17,98614	2496,927	35,3156	102,974
24_ZR_16	0	9,147302	2,009242	0,439923	1,363021	2355,071	25,21881	2352,854	18,39097	2350,296	26,84468	99,79727
28_ZR_18	0	25,22688	2,138094	0,601184	1,970736	3492,438	12,82417	3317,038	20,88207	3034,607	47,69939	86,89079

29_ZR_19	0	10,55206	2,786155	0,502485	2,748517	2371,964	7,783421	2484,504	25,84122	2624,465	59,25559	110,6452
30_ZR_20	0	8,608585	2,230094	0,424468	1,253984	2312,379	31,64544	2297,464	20,28735	2280,729	24,08809	98,63129
33_ZR_21	0	24,09707	1,153161	0,665483	0,998771	3262,485	9,069416	3272,327	11,24246	3288,415	25,72652	100,7948
34_ZR_22	0	8,91486	2,222533	0,422194	2,11537	2381,336	11,61584	2329,324	20,29112	2270,432	40,48161	95,34275
36_ZR_24	0	11,75799	2,470275	0,503966	2,202554	2549,86	18,73484	2585,326	23,11671	2630,82	47,57822	103,175
40_ZR_26	0	19,19465	2,0068	0,551881	1,656271	3198,952	17,91909	3051,65	19,36769	2832,991	37,96964	88,55998
41_ZR_27	0	5,052373	4,115299	0,346386	3,929868	1728,039	22,42066	1828,147	34,88197	1917,319	65,1759	110,9534
42_ZR_28	0	6,228707	1,528542	0,361587	1,301357	2027,873	14,19758	2008,489	13,37348	1989,693	22,27832	98,11722
45_ZR_29	0	36,29429	1,365096	0,787514	1,198636	3636,709	10,00023	3674,509	13,48929	3744,244	34,04194	102,9569
46_ZR_30	0	10,52659	1,942506	0,460082	1,387876	2517,104	22,83863	2482,263	18,01271	2439,921	28,19207	96,93367
47_ZR_31	0	10,74004	1,901127	0,500952	1,7664	2407,223	11,94387	2500,894	17,65945	2617,884	38,00462	108,7512
48_ZR_32	0	21,29853	2,849417	0,602825	1,876103	3223,772	33,84752	3152,278	27,63499	3041,212	45,48626	94,33706
53_ZR_33	0	10,05144	1,694082	0,456978	1,56982	2450,645	10,77331	2439,519	15,64493	2426,199	31,74023	99,00248
54_ZR_34	0	22,6912	4,109689	0,600607	3,53172	3329,122	32,89726	3213,792	39,96771	3032,281	85,42991	91,08353
55_ZR_35	0	10,3895	2,98608	0,484977	2,964128	2405,905	6,141718	2470,114	27,65803	2548,908	62,4046	105,9438
56_ZR_36	0	9,504521	1,726892	0,425938	1,499548	2474,963	14,45275	2387,984	15,86533	2287,378	28,87515	92,4207
61_ZR_39	0	20,30993	1,945045	0,616037	1,212814	3114,065	24,21198	3106,232	18,82287	3094,129	29,80355	99,3598
62_ZR_40	0	15,16044	4,042207	0,508567	1,860791	2952,628	57,91787	2825,371	38,50411	2650,509	40,43891	89,76781
65_ZR_41	0,376249	10,70589	1,54123	0,470865	1,416615	2506,55	10,2129	2497,936	14,31251	2487,355	29,23438	99,23422
66_ZR_42	0,294086	8,951516	1,183003	0,408627	1,046503	2443,772	9,338677	2333,071	10,80496	2208,642	19,56995	90,3784
71_ZR_45	0	10,83717	2,811062	0,508497	2,564184	2397,114	19,59399	2509,26	26,13174	2650,209	55,72003	110,5583
72_ZR_46	0	10,5292	1,433104	0,470683	1,310413	2479,17	9,786435	2482,493	13,28935	2486,555	27,03558	100,2979
73_ZR_47	0	9,651583	2,8846	0,483202	2,798535	2286,195	12,03461	2402,1	26,53994	2541,199	58,77295	111,1541
74_ZR_48	0	11,09849	1,620403	0,487177	1,153845	2509,845	19,13196	2531,432	15,09335	2558,452	24,36633	101,9366
77_ZR_49	0	7,87296	4,174223	0,365423	4,107013	2415,561	12,66556	2216,59	37,60755	2007,827	70,85538	83,12051
80_ZR_52	0	6,169816	1,570446	0,365551	1,154164	1991,67	18,93667	2000,183	13,72199	2008,434	19,9171	100,8417
85_ZR_55	0	12,7278	2,771667	0,484906	2,611888	2745,347	15,24879	2659,718	26,09296	2548,598	54,98335	92,83339
89_ZR_57	0	6,835105	4,265284	0,363092	2,375958	2183,64	61,6333	2090,282	37,78141	1996,813	40,7989	91,44424

Apêndice 2: Resultados U/Pb SHRIMP

Spot	%	ppm	ppm	^{232}Th	ppm	Razões Isotópicas						Idades		Conc. (%)		
						$^{206}\text{Pb}_c$	U	Th	^{238}U	$^{206}\text{Pb}^*$	(1)	(1)	(1)		(1)	(1)
											$^{207}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*$		$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*$
$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}^*$			
PF-03																
1,1	0,00	29	36	1,29	8.26	0.1131	1.7	5.23	2.5	0.3356	1.9	1866	± 30	1849	± 30	99
2,1	0,17	267	242	0,94	32.3	0.06815	1.4	1.321	1.8	0.1406	1.2	847.8	± 9.2	873	± 28	103
3,1	0,19	316	222	0,73	39.2	0.06823	1.3	1.358	1.8	0.1443	1.2	868.9	± 9.7	876	± 26	101
4,1	0,15	238	161	0,70	29.2	0.06855	1.4	1.348	1.8	0.1426	1.2	859.4	± 9.6	885	± 29	103
5,1	0,04	95	51	0,55	42.3	0.1868	0.66	13.36	1.5	0.5186	1.3	2693	± 29	2714	± 11	101
6,1	0,07	458	166	0,37	69.2	0.07792	0.79	1.89	1.4	0.1759	1.1	1044	± 11	1145	± 16	109
8,1	0,00	112	47	0,43	48.7	0.1841	0.61	12.81	1.5	0.5049	1.4	2635	± 30	2690	± 10	102
9,1	0,08	239	101	0,44	27.3	0.06714	1.5	1.23	1.9	0.1329	1.2	804.5	± 9.2	842	± 30	104
11,1	0,20	200	103	0,53	22.9	0.0662	1.7	1.211	2.2	0.1326	1.3	802.5	± 9.9	814	± 36	101
13,1	0,13	183	177	1,00	21.5	0.068	1.7	1.284	2.1	0.1369	1.3	827.1	± 9.8	869	± 35	105
15,1	0,06	836	389	0,48	92.4	0.06751	0.73	1.197	1.3	0.1286	1.1	779.8	± 7.9	854	± 15	109
17,1	0,07	62	64	1,07	23.6	0.16	1	9.72	2.2	0.4406	2	2353	± 39	2456	± 17	104
22,1	0,08	239	322	1,39	30.3	0.06826	1.4	1.387	1.9	0.1474	1.3	886	± 11	876	± 29	99
23,1	0,45	71	69	1,01	19.4	0.109	1.7	4.78	2.3	0.3182	1.5	1781	± 24	1784	± 32	100
24,1	0,05	585	84	0,15	70.5	0.06676	0.83	1.291	1.4	0.1402	1.1	845.9	± 8.7	830	± 17	98
25,1	0,35	66	58	0,92	28.6	0.1844	10	12.86	1.8	0.5057	1.6	2638	± 34	2693	± 17	102
26,1	0,06	289	143	0,51	36.4	0.0677	1.2	1.369	1.7	0.1466	1.2	881.9	± 9.7	859	± 25	97
27,1	0,19	118	40	0,35	14.9	0.0683	2.7	1.383	3	0.1468	1.4	883	± 12	879	± 55	100
28,1	0,00	203	122	0,62	24.4	0.06672	1.3	1.286	1.8	0.1398	1.2	843.5	± 9.8	829	± 27	98
29,1	0,64	91	67	0,76	10.1	0.0662	3.7	1.17	4	0.1281	1.5	777	± 11	814	± 78	105
31,1	0,21	471	419	0,92	54.2	0.067	1.6	1.235	1.9	0.1336	1.1	808.5	± 8.5	838	± 32	104

35,1	0,34	247	211	0,88	27.8	0.0659	2	1.187	2.4	0.1307	1.3	791.7	± 9.4	803	± 43	101
36,1	0,33	530	407	0,79	66.3	0.0677	1.5	1.355	1.9	0.1451	1.1	873.6	± 9.3	860	± 32	98
37,1	0,11	964	172	0,18	390	0.18579	0.34	12.06	1.1	0.4709	1.1	2488	±22	2705.3	± 5.5	108
39,1	0,03	1832	247	0,14	225	0.06757	0.47	1.33	1.1	0.1427	1	860	± 8.4	855.5	± 9.8	99
40,1	0,23	246	41	0,17	30.8	0.07069	1.2	1.413	1.7	0.145	1.2	873	± 9.8	948	± 25	108
45,1	0,22	106	61	0,60	48.9	0.2303	0.66	17.03	1.5	0.5364	1.3	2768	±30	3054	± 10	109
47,1	0,46	139	88	0,65	15.5	0.0659	3.2	1.172	3.5	0.129	1.4	782.1	±10	803	± 68	103
50,1	1,48	156	75	0,49	31.9	0.0857	4.1	2.76	4.4	0.2335	1.5	1353	±18	1332	± 80	98
51,1	4,42	254	145	0,59	31	0.0667	6.8	1.25	7	0.1359	1.3	821	±10	828	±140	101
52,1	0,09	163	134	0,85	47.3	0.12406	0.76	5.79	1.4	0.3385	1.2	1879	±20	2015	± 13	107
57,1	6,77	231	245	1,09	29.2	0.0665	10	1.26	10	0.1372	1.5	829	±11	821	±210	99
58,1	0,10	119	126	1,09	14.1	0.0684	2.6	1.302	3.1	0.1381	1.6	834	±12	880	± 54	105
59,1	0,13	267	80	0,31	75.4	0.11348	0.69	5.144	1.4	0.3287	1.2	1832	±19	1856	± 13	101
61,1	0,11	70	29	0,43	27.1	0.1721	1.1	10.74	1.8	0.4528	1.5	2408	±29	2578	± 19	107
62,1	0,00	121	82	0,70	15.2	0.0703	1.6	1.409	2.1	0.1453	1.4	875	±11	937	± 33	107
65,1	0,06	498	279	0,58	58.4	0.06779	0.88	1.277	1.4	0.1366	1.1	825.5	± 8.5	862	± 18	104
66,1	0,07	294	94	0,33	35.6	0.06813	1.3	1.323	1.8	0.1408	1.2	849.4	± 9.7	872	± 26	103
69,1	0,11	554	428	0,80	68.5	0.06851	1.1	1.357	1.6	0.1437	1.1	865.5	± 9.1	884	± 22	102
70,1	0,06	259	152	0,61	77.3	0.12767	0.65	6.11	1.3	0.3471	1.2	1921	±19	2066	± 11	107