

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

DATAÇÃO ^{40}K - ^{40}Ar DE ILITAS ASSOCIADAS A PROCESSOS
HIDROTERMAIS EM REGIÕES MINERALIZADAS – UMA
APLICAÇÃO NAS MINAS DO CAMAQUÃ (BACIA DO
CAMAQUÃ, SUL DO BRASIL)

DENISE CANARIM

ORIENTADOR: Prof. Dr. André Sampaio Mexias

Volume I

PORTO ALEGRE- 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

DATAÇÃO ^{40}K - ^{40}Ar DE ILITAS ASSOCIADAS A PROCESSOS
HIDROTERMAIS EM REGIÕES MINERALIZADAS – UMA
APLICAÇÃO NAS MINAS DO CAMAQUÃ (BACIA DO
CAMAQUÃ, SUL DO BRASIL)

DENISE CANARIM

ORIENTADOR – Prof. Dr. André Sampaio Mexias

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcus Vinícius Dorneles Remus– Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dra. Delia Del Pilar Montecinos de Almeida – UNIPAMPA Caçapava do
Sul

Prof. Dra. Márcia Elisa Boscato Gomes - Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para obtenção
do Título de Mestre em Geociências

Porto Alegre - 2013

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais e irmãs pelo imenso apoio e por muitas vezes se ocuparem das minhas tarefas durante a realização desse trabalho, cuidando do meu filho com tamanho carinho e atenção.

Ao Pedro pelo simples fato de existir, enchendo a casa de vida e alegria todos os dias. Ao Alan pelo conpanherismo e por dividir comigo essa complicada tarefa de educar.

Agradeço também aos professores do instituto de geociências, sempre dispostos a ajudar, transmitindo o conhecimento de uma forma prazerosa e fascinante. Especialmente aos meus orientadores André Mexias e Ana Maria Misuzaki por acreditarem na pesquisa e me mostrarem todos os caminhos para ela chegar ao fim.

Aos meus amigos queridos por entenderem meus motivos de ausência durante esses anos de mestrado! Em especial aos geólogos Edgar, Thamy, Letícia, Elissa, Cássio, Felipe, Manu, Paula... pela amizade e parceria nesse período.

Os autores agradecem a Companhia Brasileira do Cobre (CBC), na pessoa do seu Presidente Eng. Paulo Régis Mônico pelo apoio irrestrito, permitindo acesso à área de estudo e aos testemunhos de sondagem.

RESUMO

As Minas do Camaquã são compostas pelas Minas Uruguay e São Luiz, foram produtoras de Cu e localizam-se no extremo sul do Brasil (na região do Escudo Sul-rio-grandense) na chamada Bacia do Camaquã (Neoproterozoico ao Paleozoico). A região das Minas do Camaquã é classicamente conhecida como “Janela Bom Jardim” e já foi objeto de diversos estudos porém ainda persistem dúvidas principalmente quanto a gênese do minério e a sua relação temporal. As mineralizações ocorrem alojadas em falhas e como disseminações nos arenitos e conglomerados do Alogrupo Santa Bárbara desta Bacia. Os sulfetos presentes incluem a paragênese composta por calcopirita, bornita, calcocita e pirita, aparecendo o Au e a Ag como principais subprodutos. Na Mina Uruguay destaca-se a presença de um conglomerado com seixos zonados de composição granítica decorrentes dos processos de alteração hidrotermal atuantes nessas rochas. Amostras desses seixos foram coletadas em testemunhos de sondagem e analisados por petrografia, por difratometria de raios X e por microscopia eletrônica de varredura mostrando a presença de alteração hidrotermal de composição ílítica principalmente na porção mais central dos seixos. Assim, em 4 amostras coletadas em diferentes profundidades nos testemunhos foram separadas diferentes frações granulométricas (<1 ; $<0,2$; $<0,3$; $>0,1<0,4$; $<0,4$ μ). Estas frações, ricas em illita foram datadas pelo método ^{40}K - ^{40}Ar e obteve-se diferentes idades ($507,41 \pm 10,37$; $486,74 \pm 9,96$; $466,23 \pm 9,54$; $465,92 \pm 9,48$; $396,84 \pm 8,1$ e $250,61 \pm 5,38$ Ma). São então reconhecidos três grupos de idades:

- $507,41 \pm 10,37$ a $465,92 \pm 9,48$ (Cambro-Ordoviciano);
- $396,84 \pm 8,1$ (Devoniano);
- $250,61 \pm 5,38$ (Triássico).

O primeiro grupo foi relacionado aos processos hidrotermais geradores do minério na região com idades coerentes com dados geocronológicos já existentes. O segundo e terceiro grupo foram interpretados como o registro de atividades tectônica marcadas pelos falhamentos presentes em toda região ou pela reativação desses falhamentos. Conclui-se então que a datação ^{40}K - ^{40}Ar de illitas hidrotermais resulta em dados significativos para a interpretação de regiões mineralizadas.

ABSTRACT

The Camaquã Mines (consisting of the Uruguay and São Luiz Mines) are former producers of Cu and are located on the southern edge of Brazil (in the Sul-Rio-Grandense Shield region) in the Camaquã Basin (Neoproterozoic to Early Paleozoic). The Camaquã Mines region is classically known as the “Bom Jardim Window” and has been the subject of many studies. However questions still remain regarding the genesis of the ore and its temporal relationships. Mineralization occurs in faults and as disseminations in the sandstones and conglomerates of the Santa Bárbara Allogroup of this Basin. The sulfides present include the paragenesis composed of chalcopyrite, bornite, chalcocite and pyrite, with Au and Ag appearing as the main byproducts. The presence of a conglomerate with zoned pebbles of granitic composition resulting from the hydrothermal alteration processes acting on these rocks is highlighted in the Uruguay Mine. Samples from these pebbles were collected from drill cores and analyzed by petrography, x-ray diffraction and scanning electron microscopy, showing hydrothermal alteration of illitic composition, mainly in the innermost portion of the pebbles. Thus, in 4 samples collected from different boring depths, different particle-size fractions were separated (<1 , <0.2 , <0.3 , $>0.1<0.4$, <0.4 μm). These fractions, which were rich in illite, were dated by the ^{40}K - ^{40}Ar method, and different ages were obtained (507.41 ± 10.37 , 486.74 ± 9.96 , 466.23 ± 9.54 , 465.92 ± 9.48 , 396.84 ± 8.1 and 250.61 ± 5.38 Ma), resulting in the recognition of the following three age groups:

- 507.41 ± 10.37 to 465.92 ± 9.48 (Cambro-Ordovician),
- 396.84 ± 8.1 (Devonian),
- 250.61 ± 5.38 (Triassic).

The first group was related to the hydrothermal processes generating the ore in the region, showing ages consistent with existing geochronological data. The second and third groups were interpreted as records of tectonic activity marked by the faulting existing in the entire region or the reactivation of these faults. These findings demonstrate that ^{40}K - ^{40}Ar dating of hydrothermal illites results in data that are significant for the interpretation of mineralized regions.

Keywords: ^{40}K - ^{40}Ar dating, hydrothermal illites, Camaquã Mines, Sul-Rio-Granadense Shield

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
TEXTO EXPLICATIVO DA ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
CAPITULO I	6
1.1 INTRODUÇÃO	6
1.2 OBJETIVOS	8
1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E VIAS DE ACESSO.....	9
1.4 ESTADO DA ARTE.....	10
1.4.1 Método 40K-40Ar.....	10
1.4.2 Região das Minas do Camaquã	12
1.5 CONTEXTO GEOLÓGICO	14
1.5.1 Geologia Regional.....	14
1.5.2 Geologia Local	17
1.6 MATERIAIS E MÉTODOS	22
CAPÍTULO II	23
ARTIGO CIENTÍFICO	23
ABSTRACT.....	24
1. INTRODUCTION	25
2. REGIONAL GEOLOGY	27
3. STUDY AREA	30
4. ⁴⁰ K- ⁴⁰ Ar DATING OF ILLITES.....	34
5. METHODOLOGY AND SAMPLING	35
6. RESULTS.....	39
7. DISCUSSION and CONCLUSIONS	41
Acknowledgments.....	44
9. REFERENCES	44

CAPÍTULO III 50

 RESULTADOS 50

 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 62

ANEXO A – CARTA DE SUBMISSÃO DA REVISTA JOURNAL OF SOUTH AMERICA HEARTH SCIENCE. 69

TEXTO EXPLICATIVO DA ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação possui como objetivo principal a datação dos argilominerais (ilitas) das alterações hidrotermais da região das Minas do Camaquã RS, Mina Uruguaí (Cu-Au), utilizando o método de datação radiométrica ^{40}K - ^{40}Ar . A dissertação de mestrado possui a seguinte estrutura:

Capítulo 1. INTRODUÇÃO/ OBJETIVOS/ LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E VIAS DE ACESSO/ ESTADO DA ARTE/ CONTEXTO GEOLÓGICO/ MATERIAIS E MÉTODOS: Apresenta uma introdução onde é exposto o problema geológico, um breve resumo da área estudada e os métodos utilizado para alcançar os resultados esperados. No estado da arte é apresentado um histórico da datação K-Ar e das pesquisas científicas realizadas na região de estudo. O contexto geológico é apresentado detalhadamente e fechando este capítulo com uma descrição detalhada da metodologia empregada

Capítulo 2. ARTIGO CIENTÍFICO: Intitulado como: *^{40}K - ^{40}Ar Dating of illites associated with hydrothermal processes in mineralized regions – an application in the Camaquã Mines (Camaquã Basin, southern Brazil).*

Constitui o corpo principal da dissertação apresentando os dados geocronológicos decorrentes das datações ^{40}K - ^{40}Ar e os resultados da pesquisa realizada nas ilitas hidrotermais das Minas do Camaquã, RS. Submetido ao periódico *Journal of South America Earth Science*

Capítulo 3. RESULTADOS/ BIBLIOGRAFIA /ANEXOS: Apresenta detalhadamente os resultados obtido em cada método utilizado, toda bibliografia utilizada como fonte de pesquisa para esta dissertação e como anexos estão a carta de submissão do artigo científico e o histórico escolar.

CAPITULO I

1.1 INTRODUÇÃO

A Bacia do Camaquã, localizada na porção centro sul do Rio Grande do Sul, é marcada por um complexo sistema geológico. Possui o registro de sistemas deposicionais marinho, aluviais, eólicos, vulcânicos, vulcanoclásticos dentre outros. Os sucessivos eventos tectônicos, responsáveis pela formação e deformação dessas rochas, contribuem para essa complexidade. Além disso, as unidades da Bacia do Camaquã ocorrem em setores de afloramento isoladas, relativamente distantes e de difícil correlação. O que também tem como consequência uma abundância de interpretações e modelos diferentes para a evolução geológica dessa Bacia.

Um grande número de trabalhos científicos foram publicados focalizando a Bacia do Camaquã. Os trabalhos gerados no final da década de 70 e 80, já sob a influência da tectônica de placas, tiveram ênfase na sedimentologia, na proposição de modelos deposicionais e na interpretação da tectônica. Tais trabalhos reconheciam a Bacia do Camaquã como uma calha única, uma antefossa relacionada à orogênese Brasileira e preenchida por sedimentos molássicos. Somente a partir da década de 90, com a aplicação de novos conceitos e ferramentas de estratigrafia é que teve-se a compreensão de um lócus deposicional onde preservou-se o registro de uma série de bacias que se sucederam no tempo.

Quanto a formação da Bacia, a teoria mais aceita é relacionada a tectônica dos estágios finais do ciclo Brasileiro, com o desenvolvimento de bacias *strike-slip* (Paim *et al.*, 2000; Hartmann *et al.*, 2007).

Depois de Paim (2000) a subdivisão da Bacia do Camaquã nos alogrupos Maricá, Bom Jardim, Cerro do Bugio, Santa Bárbara e Guaritas é a mais aceita e utilizada. Os trabalhos de Borba (2006) e Janikian (2008) constituem um importante acervo de dados geocronológicos para os alogrupos da Bacia. Mesmo assim, com todos os avanços nos campos da sedimentologia e da estratigrafia ainda há significativas lacunas no conhecimento sobre a Bacia, geradas pela escassez de dados concretos de subsuperfície e sobre as relações de contato com rochas magmáticas e com o embasamento.

A região das Minas do Camaquã é o mais importante e explorado distrito metalogenético do Rio Grande do Sul. Distante cerca de 60km de Caçapava do Sul a região compreende dois setores mineralizados. Os setores Uruguay e São Luis, com depósitos de Cu e Au (subproduto), com uma história de mais de 100 anos de exploração e a Jazida Santa Maria com minérios de Pb e Zn ainda não explorados.

As mineralizações aparecem em arenitos e conglomerados localizados em uma região classificada, em trabalhos clássicos para essa área, como “Janela Bom Jardim”, devido a suposta ocorrência isolada de rochas do alogrupo Bom Jardim (Ribeiro, 1966). Para Paim (1994 e 2000) a região apresenta três alogrupos aflorantes Bom Jardim, Cerro do Bugiu e Santa Bárbara. Mais recentemente Fambrini (1998 e 2005), Bicca (2009) e Santos (2012) interpretam essas unidades como pertencentes ao Grupo Santa Bárbara.

Apesar dos diversos trabalhos publicados sobre as mineralizações até hoje a gênese do minério ainda é discutida. Neste trabalho será aplicada uma importante ferramenta da geocronologia (método ^{40}K - ^{40}Ar) para contribuir no esclarecimento dessa questão bem como aumentar o acervo geocronológico da Bacia.

Deste modo, o presente trabalho baseou-se em observações de campo, coleta de amostras em testemunhos de sondagem buscando uma melhor preservação do material e uma detalhada separação granulométrica para aplicação do método geocronológico ^{40}K - ^{40}Ar .

Nas observações de campo na cava da mina desativada e nos testemunhos de sondagem foram identificados, no conglomerado, seixos de granito com feições texturais zonadas (Fig.1). Feições essas que foram associadas a diferenças nas composições dos fluidos que ali percolaram (redox). Alguns desses seixos foram coletados e estudados em laboratório, onde identificou-se a alteração ílítica no centro do seixo. Assim, aplicando o método de datação radiométrica ^{40}K - ^{40}Ar nessas ílitas decorrentes dos processos de alteração hidrotermais sofridos pelos seixos, nos permitiu encontrar idades associadas aos processos geradores de minério.

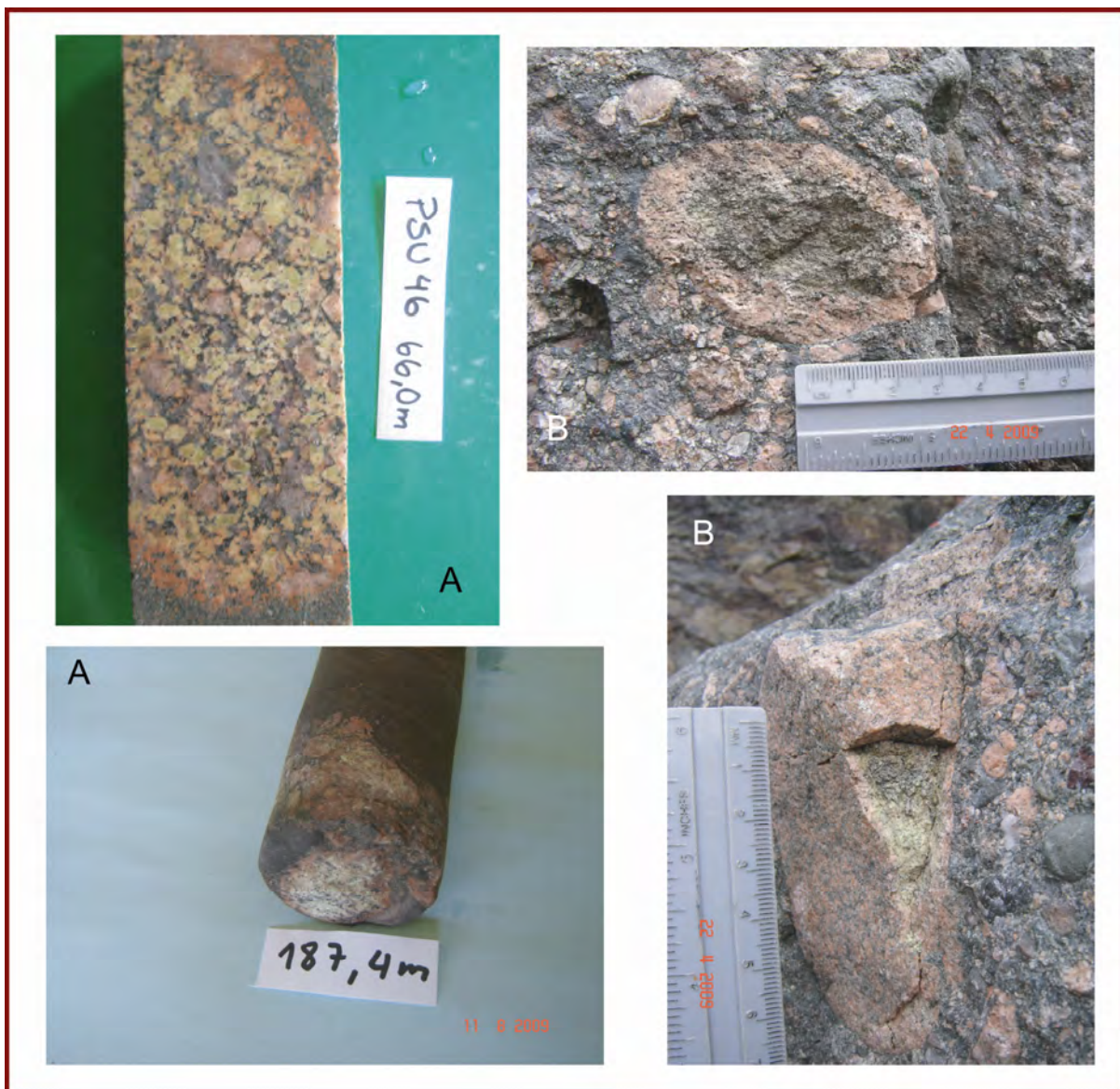


Figura 1: Foto dos seixos zonados. Em A seixos amostrados dos furos de sondagem e em B imagem dos seixos em campo.

1.2 OBJETIVOS

A partir desse histórico geocronológico e do conhecimento sobre a estratigrafia da Bacia do Camaquã, este trabalho visa preencher uma lacuna na geocronologia da metalogenia da Bacia, bem como aumentar o acervo geocronológico da Bacia.

1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E VIAS DE ACESSO

As Minas do Camaquã localizam-se na região sudoeste do Rio Grande do Sul, parte central do Escudo Sul-rio-grandense. Pertence ao município de Caçapava do Sul, distante cerca de 60 km da cidade de Caçapava do Sul. A área localiza-se nas coordenadas 30°47' de latitude sul e 52° 24' de longitude oeste (Figura 2).

O município de Caçapava do Sul localiza-se aproximadamente 350 km de Porto Alegre. O acesso as Minas do Camaquã partindo da capital Porto Alegre é pela BR-290 sentido oeste até o entroncamento desta com a BR-392, seguindo no sentido sul até o entroncamento com a BR-153, a partir daí percorre-se cerca de 20 km, sentido sul, até estrada vicinal a esquerda onde mais 25 km de estrada sem pavimentação até a cidade de Minas do Camaquã.

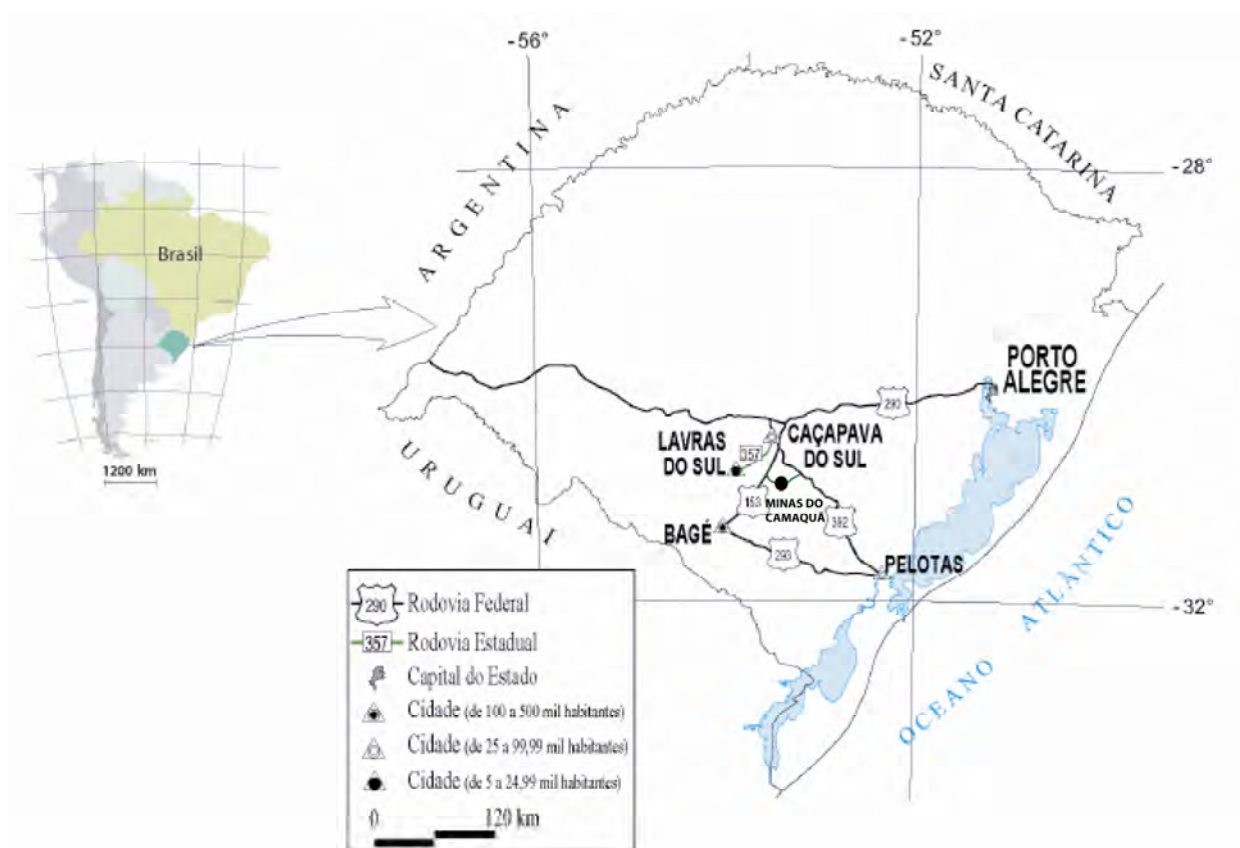


Figura 2: Mapa rodoviário simplificado do Estado do Rio Grande do Sul (adaptado de DNIT, 2002) e localização na América do Sul.

1.4 ESTADO DA ARTE

A datação de ilitas, argilomineral de composição potássica e origem hidrotermal ou diagenética, teve início em meado dos anos 80 envolvendo estudos de datações absolutas pelo método radiométrico ^{40}K - ^{40}Ar em ilitas diagenéticas de arenitos reservatórios e persistem até hoje com diferentes enfoques.

As ilitas são argilominerais sensíveis as mudanças de temperatura, as frações mais finas da illita muitas vezes ocorrem como uma das últimas, ou até mesmo a última fase mineral a ser formada, registrando o último evento sofrido pela rocha (Lee *et al.*, 1985, 1989). As ilitas também são úteis para estudos de eventos tectônicos e história térmica de uma bacia em escala regional (Lee *et al.*, 1989; Barnes *et al.*, 1992; Mossman *et al.*, 1992; Robinson *et al.*, 1993; Zhao *et al.*, 1997; Zwingmann *et al.*, 1999; Uysal *et al.*, 2001) e datação de estruturas geradas por impacto (Uysal *et al.*, 2001). Estudos recentes tem destacado o potencial para a determinação de eventos deformacionais e falhamentos (Zwingmann & Mancktelow, 2004; Zwingmann *et al.*, 2006).

As idades das mineralizações cupríferas das Minas do Camaquã, publicadas até então, são controvertidas. Datações absolutas pelo método radiométrico ^{40}K - ^{40}Ar em amostras de argilas dos setores São Luiz e Uruguai, realizadas por Bonhome & Ribeiro (1983) fornecem idades de $474\pm 11\text{Ma}$, interpretada por eles como a idade mínima para o formação dos filões. Biondi (em comunicação pessoal para Laux (2005)) reporta idades K-Ar de $515\pm 12\text{Ma}$ para clorita dos halos de alteração próximos de veios, $538\pm 7\text{Ma}$ para sericita de halos de alteração próximos de veios e $350\pm 8\text{Ma}$ para argilominerais dos veios! Remus *et al.* (1999), a partir de isótopos de Pb comum em calcopirita, pirita e bornita, obtiveram um arranjo sub-paralelo à isócrona de referência de 592Ma obtida também em zircões (SHRIMP) para o Granito Lavras e o Membro Hilário, neste mesmo trabalho de Remus *et al.* (1999)

1.4.1 Método ^{40}K - ^{40}Ar

A geocronologia é definida como “A ciência da datação e determinação da sequência temporal de eventos da história da Terra” (Neuendorf *et al.*, 2005). Atualmente, a geocronologia tem sido utilizada rotineiramente para definição de idades de diferentes rochas e minerais, contribuindo para outros segmentos das Geociências, como a sedimentologia, a estratigrafia e a paleontologia. Porém, antes da aplicação dos métodos radiométricos de datação, o tempo geológico era estimado e limitado a estudos empíricos semi-quantitativos dos processos sedimentares com taxa de sedimentação controlada e denudação do material geológico (Lewis & Knell, 2001). Com o advento da radioatividade em 1895, houve a possibilidade de uma datação mais acurada das rochas e minerais, ou seja, a definição numérica do tempo de ocorrência ou duração de um evento geológico, possibilitando determinar com rigor quantitativo as taxas dos processos atuantes no passado geológico. Inicialmente, a Geocronologia era aplicada exclusivamente em rochas ígneas, metamórficas e extraterrestres, visando idades referentes a processos termo-tectônicos e de resfriamento. A partir da década de 1970, a aplicação de métodos radiométricos de datação se estendeu para o estudo de rochas sedimentares.

O potássio é um metal alcalino com raio iônico de 1,38Å e o sétimo elemento mais abundante da crosta da Terra. O isótopo mais comum de potássio é o ^{39}K (93% do total de potássio), seguido pelo ^{41}K (7,9%). A forma radioativa ^{40}K é a mais rara (0,01167%). Seu decaimento (meia vida de 1,25Ga) origina o ^{40}K (89,5%) por decaimento beta e o ^{40}Ar (10,5%) por captura de elétrons (Dalrymple & Lanphere, 1969, Renne, 2006). A análise inicia-se através da determinação da concentração do ^{40}K total da amostra de rocha, em geral, pela técnica de fotometria de chama ou espectrometria de emissão e absorção atômica. Para a análise da concentração do ^{40}Ar , é necessária a fusão de uma alíquota da amostra (temperaturas entre 80 a 160°C por 24 horas, de acordo com Robinson *et al.*, 1993; Zwingmann *et al.*, 1998), pois esta permitirá que o gás seja liberado. O ^{40}Ar liberado neste processo é recolhido, purificado e analisado isotopicamente por um espectrômetro de gases. Os valores obtidos para o ^{40}Ar radiogênico (em $\text{cm}^3 \text{Ar}(\text{STP})/\text{g}$ amostra ou mol/g) são aplicados na equação do tempo:

$$T = 1/\lambda_{\text{total}} \ln (\lambda_{\text{total}} / \lambda_{\text{EC}} \cdot {}^{40}\text{Ar}^* / {}^{40}\text{K} + 1)$$

Obtendo-se então a idade radiométrica ^{40}K - ^{40}Ar da amostra de rocha.

1.4.2 Região das Minas do Camaquã

Um dos primeiros trabalhos que cita as rochas das Minas do Camaquã é de Carvalho (1932) que nomeou essas rochas como "Série Camaquã" embora sem denominar a localidade tipo. Posteriormente Leinz (1939) adicionou uma nova unidade à série, que descreveu como fortemente inclinada. Em 1961 uma equipe mista de um convênio USGS/DNPM redefiniu a "Série Camaquã" de Carvalho (1932) como Grupo Camaquã, subdividindo em Formação Santa Bárbara e Guaritas (Robertson, 1966).

Ribeiro (1966) descreveu os arenitos e conglomerados anteriormente agrupados na Formação Santa Bárbara (Robertson 1966) como Grupo Bom Jardim, Formação Arroio dos Nobres, composta pelos Membros Manguerão e Vargas. Ribeiro (1978) incluiu neste Membro Vargas as rochas agrupadas no Grupo Santa Bárbara por Ribeiro (1966). Dividiu ainda os litotipos em 5 níveis mapeáveis em escala 1:25.000: Arenito Inferior, Conglomerado Inferior, Arenito Intermediário, Conglomerado Superior e Arenito Superior.

Tessari & Giffoni (1970) descrevem a Zona de Falha Tapera-Emiliano como constituída por dois extensos falhamentos paralelos, separados entre si por uma distância pouco inferior a um km. Observam que entre as Falhas ocorrem os sedimentos da Formação Santa Bárbara, sendo que em sua porção setentrional ela afetam as camadas da Formação Guaritas. Consideram a porção setentrional dessa Zona de falhas como parte da porção central da Zona de Falhas da Mina do Camaquã.

Bettencourt (1972) escreveu uma tese de doutorado enfatizando a geologia estrutural das Minas do Camaquã, dividindo a Mina Uruguai pela chamada Falha Piritas em duas zonas: Piritas e Uruguai. O autor localizou estratigraficamente as rochas como pertencentes ao Grupo Bom Jardim baseado em Ribeiro *et al.* (1966). Interpretou as feições estruturais dominantes como representadas por grandes falhas transcorrentes com direção NE além das falhas associadas normais,

tracionais e subsidiárias com direção NW. Descreve que tais estruturas estariam associadas às mineralizações e seriam oblíquas ou transversais à direção média das camadas. Observou falhas pós mineralização cortando as estruturas acima. Na opinião do autor os depósitos filonianos teriam se formado por preenchimento e substituição de planos de fraturas e estariam restritos a arenitos, ritmitos e conglomerados dos Membros Vargas e Mangueirão, ressaltando a importância econômica dos depósitos localizados nos conglomerados e arenitos conglomeráticos. Relatou ainda a ocorrência de mineralização disseminada nos espaços entre as falhas.

Bettencourt relata ainda que a jazida do Camaquã apresenta todas as características de depósitos hidrotermais mesotermiais e, com base nos estudos geoquímicos realizados, interpretou as soluções hidrotermais sulfetadas como provenientes de fonte magmática profunda. Os condutos primários seriam as grandes falhas NE que atingiram o embasamento cristalino. Afirma ainda que as soluções teriam sido canalizadas secundariamente para as falhas NW que apresentariam espaços adequados à deposição de sulfetos, óxidos e minerais de ganga.

Fragoso-César *et al.* (1985) separaram as rochas da região, baseados na discordância regional apontada por Robertson (1966), em duas formações: Maricá e Guaritas, separadas entre si por discordância angular e colocadas lado a lado regionalmente por falhas. Neste trabalho o conceito de Formação Maricá proposto é distinto daquele proposto por Robertson (1966) e autores posteriores.

Aplicando o conceito de alostratigrafia, Paim *et al.* (1992), Paim (1994) e Paim *et al.* (1995) interpretaram as sucessões da Formação Santa Bárbara como relativas a ambientes aluviais a deltas lacustres. Posteriormente Paim *et al.* (2002) separaram tais sucessões em dois alogrupos diferentes, incluindo os conglomerados inferiores da unidade no topo do Alogrupo Cerro do Bugio (Aloformação Santa Fé) e as demais unidades (Aloformação Serra dos Lanceiros e Pedra do Segredo) no Alogrupo Santa Bárbara.

A Formação Santa Bárbara de Robertson (1996) foi elevada a categoria de Grupo por Fambrini (1998) com base em estudos de exposições na Sub-Bacia Camaquã Central (região das Minas do Camaquã).

Em análise de paleotensões em estruturas rúpteis das Minas do Camaquã, Santos (2012) identifica quatro paleocampos de tensão distintos: distensão ENE a NE de idade cretácea, compressão NNE a N-S (triássico), distensão NW (paleozóico), compressão WNW (cambriano).

Estudos tectônicos recentes (Bicca, 2009), mostram que tanto as rochas da Janela Bom Jardim quanto as rochas do Alogruppo Guaritas foram afetadas por uma tectônica rúptil, associada a movimentação de falhas direcionais, e posterior movimentações gravitacionais. Esta deformação gerou falhas conjugadas sinistras com direção preferencial N10-45W e dextrais com direção N75W, que sofreram leve rotação, quando comparamos as deformações do Alogruppo Guaritas com seu embasamento.

Estudos de proveniência realizados em amostras do conglomerado inferior e do conglomerado superior da Janela Bom Jardim (Bicca, 2009), datando U-Pb em zircões pelo método LA- ICPMS sugerem uma idade máxima de deposição para os sedimentos da Janela de 558 Ma (Neoproterozóico).

1.5 CONTEXTO GEOLÓGICO

1.5.1 Geologia Regional

A área de estudo está localizada na porção central do Escudo Sul-riograndense, sul do Brasil. Em uma das áreas de afloramento da Bacia do Camaquã, na região conhecida como janela Bom Jardim (Ribeiro, 1966).

O Escudo Sul-riograndense pode ser subdividido em quatro grandes unidades:

1 Bloco Taquarembó (Soliani Jr., 1986), composto principalmente por granulitos de 2.0Ga intrudidos por granitóides neoproterozóicos;

2 Cinturão Tijucas ou Domínio Santana da Boa Vista, composto por unidades gnáissicas, graníticas e anfibolíticas de idade paleoproterozóicas (2,3-2,0 Ga), retrabalhadas ou não por um evento orogênico de 770-800Ma (Paim et al, 2000);

3 Domínio São Gabriel ou Cinturão Vila Nova, formado por acreção juvenil de arco de ilha (760-700Ma) (Babinski *et al.*, 1996), composto por ortognaisses, ofiolitos e rochas supracrustais;

4 Domínio Pelotas ou Cinturão Dom Feliciano, consiste na porção mais a leste do Escudo, é composto por rochas Paleoproterozóicas afetadas por um intenso magmatismo Neoproterozóico (650-500 Ma) (Chemale Jr., 2000).

O modelo tectônico mais aceito para o Escudo Sul-rio-grandense, é o proposto por Chemale Jr. (2000) e está associado ao Ciclo Brasileiro/Pan-Pan-Africano. O autor reconhece duas fases de subducção a leste, em arco de ilha (900-800 Ma) e arco continental (800-700 Ma). Entre 650 e 540 Ma houve uma subducção a oeste e a colisão final entre as placas Rio de La Plata (oeste) e Kalahari (leste). Esta série de eventos foram responsáveis pela progressiva assembléia litológica do Gondwana na região de estudo.

As fases finais e pós colisionais do ciclo Brasileiro/Pan-Africano no sul do Brasil foram marcadas pela formação de bacias orientadas segundo NE do tipo strike-slip, pull-apart e extensional. E o preenchimento vulcano sedimentar dessas bacias é chamado de Bacia do Camaquã (Chemale Jr. *et al.*, 1995; Remus *et al.*, 2000). Compõem a Bacia quatro unidades aloestratigraficas (Paim *et al.*, 1995):

(1) Alogrupo Maricá com depósitos marinhos rasos e fluviais de 630Ma (Borba *et al.*, 2008);

(2) Alogrupo Bom Jardim (entre 600 e 575Ma) (Janikian *et al.*, 2008) com sedimentação fluvio-lacustre e rochas vulcânicas básicas a intermediárias denominadas Formação Hilário (Paim *et al.*, 1995);

(3) Alogrupo Santa Bárbara, composto pelas rochas vulcânicas alcalinas de 545 ± 12 Ma (Almeida *et al.*, 1996) da Formação Acampamento Velho na base e por depósitos de fan-delta e fluviais da Formação Santa Bárbara;

(4) Alogrupo Guaritas, composto por depósitos eólicos, aluviais e fluviais com rochas vulcânica alcalinas básicas a intermediárias de 470 Ma, Membro Rodeio Velho, (Hartmann *et al.*, 1998) ocorrendo na base.

Cada uma dessas unidades apresenta espessura de que variam de alguns metros até centenas de metros, com depósitos que afloram em três sub-bacias, denominas Camaquã Ocidental, Central e Oriental, separadas por altos do embasamento denominados Alto de Caçapava do Sul e Alto da Serra das Encantadas (Janikian, 2005).

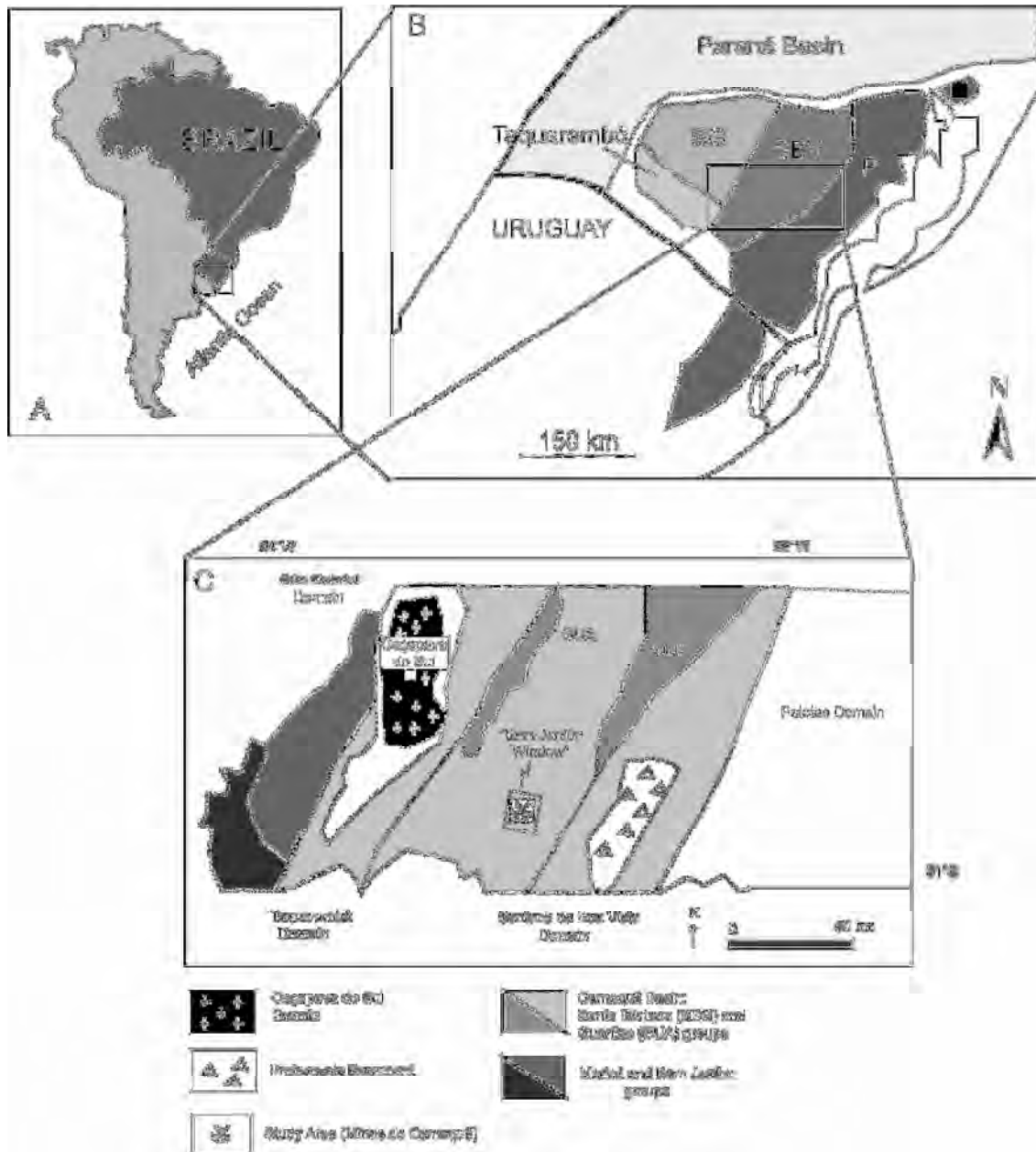


Figura 3 - (A) Área de estudo; (B) Domínios do Escudo Sul-rio-grandense: Taquarambó, São Gabriel (SG), Santana da Boa Vista (SBV) e Pelotas (P) (modif. Chemalle Jr., 2000); (C) detalhe da área de estudo (modif. Borba *et al.*, 2003).

1.5.2 Geologia Local

“Série de Camaquan” foi o nome dado por Carvalho (1932) para referir-se às sequências sedimentares, associadas a manifestações vulcânicas, que recobrem as rochas do Escudo Sul-rio-grandense em suas regiões central e ocidental. Este conjunto de litologias predominantemente sedimentares foi redefinido por Robertson (1966) como Grupo Camaquã.

Foram vários, ao longo do tempo, os arranjos estratigráficos propostos para essas litologias, tendo sido vistas, em conjunto, ou como resultado de processos sedimentares acontecidos em uma bacia que ocupou uma região fortemente fraturada, intermediária a duas faixas orogênicas paralelas (Ribeiro & Fantinel, 1978), ou como consequência da evolução geotectônica de um orógeno a leste, o Cinturão Dom Feliciano (Fragoso-César *et al.*, 1984), ou ainda, separadamente, considerando-se a “Bacia do Camaquã” como associada à evolução do Cinturão Dom Feliciano e a “Bacia do Santa Bárbara” como relacionada ao Cinturão Ribeira, representado no oeste do Rio Grande do Sul (Fragoso-César, 1991).

Os últimos trabalhos, a partir da década de 90, utilizam-se de novos conceitos e ferramentas de estratigrafia como a alostratigrafia e a estratigrafia de sequências. É então que a Bacia do Camaquã passou a ser vista como uma série de bacias que se sucederam no tempo, ocupando o mesmo lócus deposicional. A excelente subdivisão da Bacia do Camaquã nos alogrupos Maricá, Bom Jardim, Cerro do Bugiu, Santa Bárbara e Guaritas somaram-se as tentativas de estabelecer modelos evolutivos para os depósitos sedimentares e vulcânicos (Paim *et al.*, 2000). O trabalho de Borba (2006) sintetiza e integra os dados geológicos dos autores citados acima, expõem novos dados e será utilizado como fonte para esse trabalho.

A Bacia do Camaquã possui orientação NE-SW e está preenchida por rochas sedimentares de origem marinha, eólica e aluvial intercaladas com vulcânicas e vulcanoclásticas de composição variada, cujas idades situam-se no intervalo entre o Proterozóico e o Ordoviciano.

Muitos pesquisadores sugerem uma gênese e evolução simples para a Bacia do Camaquã (Loss & Roisenberg, 1972; Jost, 1984; Issler, 1985; Oliveira & Fernandes, 1991 e 1992; Fernandes *et al.*, 1992), associados a esforços compressoriais do final do Ciclo Brasileiro, gerando uma Bacia molássica, bacia

sucessória, bacia periférica, ou associada a esforços transcorrentes gerando uma bacia do tipo *strike-slip*.

Fragoso-César *et al.* (1982a, b, 1984), Beckel (1990, 1992a) aventam uma evolução múltipla para a Bacia do Camaquã: inicialmente, uma bacia de antefossa associada a falhamentos de empurrão e *napes*, evoluindo para uma bacia do tipo *piggy-back*, e, no final, esforços distensionais criam estruturas do tipo *graben* (Fragoso-César *et al.* 1982a, b, 1984). Para Beckel (1990, 1992a) a Bacia do Camaquã é uma bacia de antepaís, relacionada a esforços tangencias, posteriormente segmentada em diversas bacias do tipo *piggy-back*, evoluindo para bacias transcorrentes do tipo *strike-slip* e, finalmente para bacias distensivas (tipo *graben*), no final do Brasileiro.

A grande maioria dos pesquisadores que trabalham na área, propõem uma evolução a partir de condições marinhas (Formação Maricá), passando até condições completamente continentais (Formação Guaritas) (Ribeiro & Fantinel, 1978; Ribeiro & Lichtenberger, 1978; Gonzales & Teixeira, 1980; Fragoso-César, 1980 e 1983; Fragoso-César *et al.*, 1987; Jost, 1984; Lavina *et al.*, 1985; Leites *et al.*, 1990; Paim, 1994; Paim *et al.*, 1995).

A teoria mais aceita atualmente para a formação da bacia é associada aos estágios finais do Ciclo Brasileiro, com o desenvolvimento de bacias *strike-slip* (Paim *et al.*, 2000; Hartmann *et al.*, 2007).

Um modelo totalmente diferente, constituído com base em observações eminentemente de campo, tem sido proposto nos últimos anos: a Bacia do Camaquã teria sua evolução vinculada a um sistema de riftes extensionais, anorogênicos (Fragoso-Cesar *et al.*, 2000, 2003). Uma das bases desses modelos é fornecida por Pelosi & Fragoso-César (2003): o contato basal da Formação Maricá, que recobre uma superfície já arrasada e aplainada de rochas orogênicas brasileiros do noroeste do Escudo Sul-rio-grandense. Além disso, segundo aqueles autores, a proximidade das rochas sedimentares com suas principais áreas-fonte, se contrapõem com a idéia de que a transcorrência seja o principal mecanismo de formação das bacias. A transcorrência, para Fragoso-César *et al.* (2003), foi posterior a maior parte da sedimentação, e teria provocado a deformação de toda a sucessão de bacias anorogênicas.

A área das Minas do Camaquã é classicamente conhecida como “Janela Bom Jardim” (Ribeiro, 1966) (figura 4) e já foi alvo de diversos estudos. Dentre eles Ribeiro (1978), Teixeira *et al.* (1978a), Gonzales e Teixeira (1980), Ribeiro *et al.* (1980), Veigel & Dardenne (1990), Ribeiro (1992), Paim (1994, 1996 e 2000) e Fambrini (1998, 2003 e 2005). Ribeiro (1966) classifica as rochas encaixantes das mineralizações como pertencentes ao Grupo Bom Jardim. Já Paim (1994, 2000 e 2004) identificou três alogrupos aflorantes na região: Bom Jardim, Cerro do Bugio e Santa Bárbara. Mais recentemente Fambrini (1998, 2001 e 2005), Janikian (2004) e Bicca (2009) interpretaram estas unidades como pertencentes ao Grupo Santa Bárbara.

As denominações de caráter estratigráfico usadas neste trabalho serão as propostas nos últimos trabalhos, que caracterizam as rochas hospedeiras das mineralizações como pertencente ao Grupo Santa Bárbara (Janikian, 2004). Porém não é objetivo deste trabalho uma discussão referente aos aspectos estratigráficos.

As Minas do Camaquã compreendem dois corpos de minério denominados de Mina Uruguai (minas a céu aberto e subterrânea) e São Luiz (subterrânea). O minério ocorre sob duas formas, em filões e disseminações. Os filões preenchem falhas, apresentando os sulfetos sob forma maciça ou em massas irregulares no interior de ganga de quartzo, hematita, clorita, calcita e barita. O minério disseminado ocorre nos conglomerados e arenitos (Bettencourt, 1972; Gonzáles & Teixeira, 1980; Teixeira & Gonzáles, 1988; Veigel, 1989; Beckel, 1990; Ribeiro, 1991). Próximo da superfície há uma zona de oxidação, onde o minério contém pequenas quantidades de ouro e prata (Bettencourt, 1972; Ribeiro, 1991).

As mineralizações apresentam uma paragênese simples, constituída principalmente por sulfetos de cobre: calcopirita, bornita e calcosita, além de pirita. Alguns sulfetos, como wittchenita (Cu_3BiS_3) e idaíta (Cu_3FeS_4) foram detectados em quantidades pouco significativas. Há ainda muitos outros minerais descritos nas minas, principalmente na zona superior da Mina Uruguai, a céu aberto e em galerias abandonadas, provenientes de alteração supergênica, tais como: digenita, crisocola, cuprita, covelita, malaquita, azurita, tenorita e cobre nativo (Bettencourt, 1972; Gonzáles & Teixeira, 1980; Teixeira & Gonzáles, 1988; Ribeiro, 1991).

A paragênese presente, tanto nos filões quanto disseminada nos sedimentos, é a mesma, com exceção do ouro, cuja presença nos sulfetos disseminados não é

referida. Enquanto nos filões predomina a calcopirita, nas disseminações sobressai a calcosita (Bettencourt, 1972; Gonzáles & Teixeira, 1980; Ribeiro 1991).

O ouro e a prata aparecem principalmente associados à calcopirita, bornita e pirita, além da hematita. A presença de ouro livre foi primeiramente descrita em 1977 pela DOCEGEO (Teixeira, 1978), sendo desde então mencionado esporadicamente (Teixeira, 1978; Beckel, 1990; Ribeiro, 1991).

A tectônica atuante na Janela Bom Jardim é bastante complexa devido a grande quantidade de estruturas presentes. Ocorre uma grande estrutura de direção NNE-SSW que limita a porção leste da Janela com o Alogruppo Guaritas. Este lineamento pode atingir mais de 40km e já foi denominado por trabalhos anteriores de Gonzales & Teixeira (1980), Fambrini (1998 e 2005) e Paim (2005) como Zona de Falha Tapera Emiliano, corresponde a grandes falhamentos regionais que provavelmente sofreram várias reativações. Esta estrutura pode ter sido responsável pela exposição das rochas da Janela.

As mineralizações cupríferas estão associadas às falhas e fraturas NW, que estão representadas pela Falha do Cemitério (Gonzáles & Teixeira, 1980), que tem direção N75W.

Todas as unidades da Janela encontram-se basculadas, com mergulhos que variam 25 a 55 graus. Em contraste com as unidades do Alogruppo Guaritas que, na região, encontram-se praticamente horizontalizadas, variando no máximo 15 graus de mergulho. Este fato caracteriza um evento tectônico que atuou na Janela antes da deposição do Alogruppo Guaritas e, provavelmente esta associado a movimentações que ocorreram no embasamento quando ocorreu a intrusão do Granito Caçapava (Bicca, 2009).

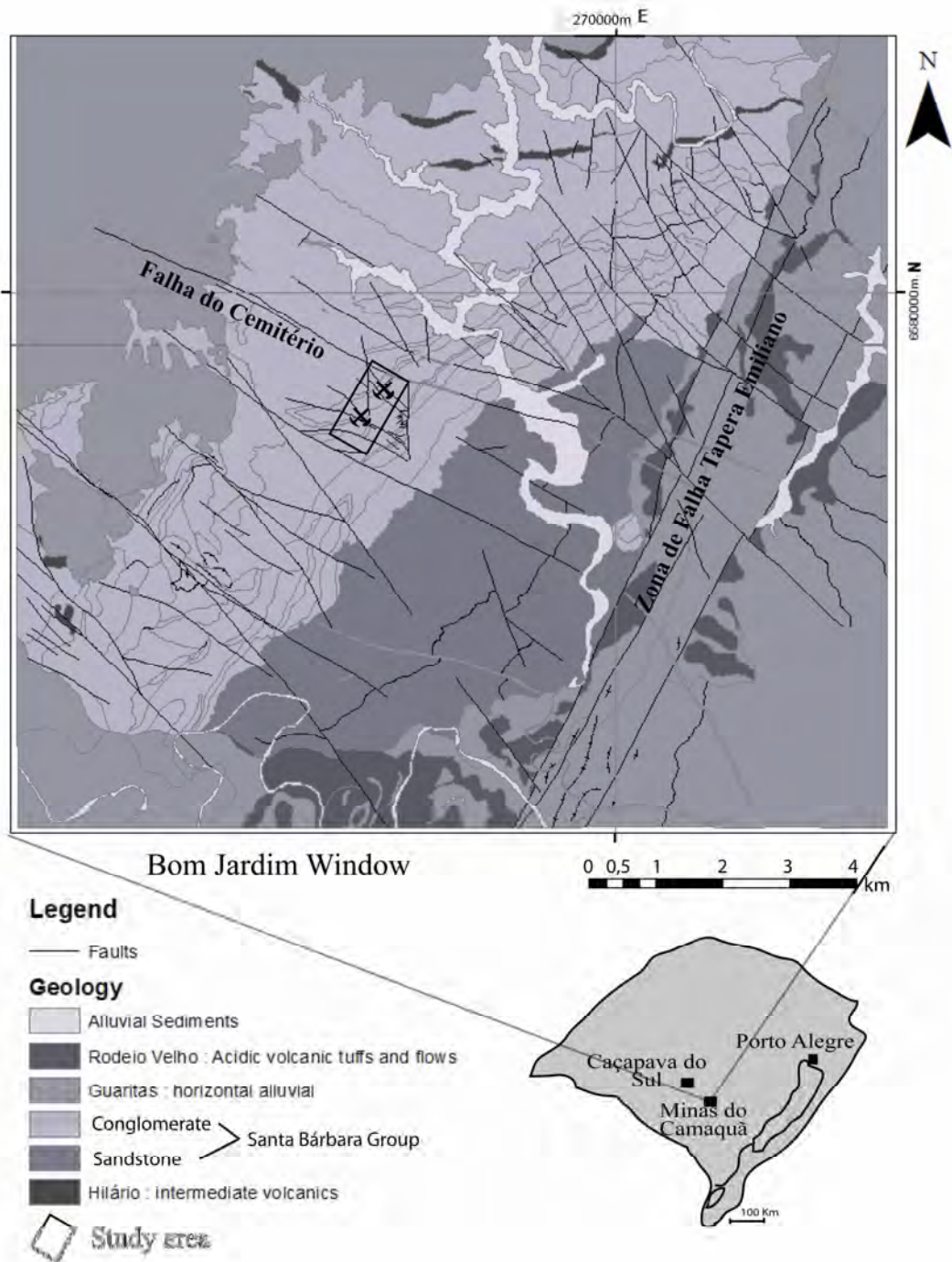


Figura 4: Mapa geológico da “Janela Bom Jardim”(modif. Gonzalez & Teixeira, 1980).

1.6 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em duas etapas: uma de campo e outra de laboratório. No trabalho de campo foram realizadas observações na cava da Mina desativada Uruguay, descrições de testemunhos de sondagem e coleta de amostras, no campo e em testemunhos de sondagem.

No trabalho de laboratório as amostras dos seixos alterados diferencialmente foram separadas e delas confeccionadas lâminas delgadas. Foram utilizadas as técnicas de Petrografia, Difração de Raios X e Microscopia eletrônica de Varredura para identificação dos minerais de alteração. As amostras de campo foram descartadas devido ao elevado grau de alteração dos minerais.

As amostras, dos testemunhos de sondagem, U-41-1 265m ; U-41-1 262,9m ; PSU46 66m e PSU46 63,1m foram lavadas com água deionizada para remoção de qualquer sólido ou líquido contaminante e separadas em diferentes frações granulométricas (U-41-1 265m $<1\mu\text{m}$; U-41-1 262,9m $<0,2\mu\text{m}$; PSU46 66m $>0,1<0,4\mu\text{m}$; PSU46 66m $<0,1\mu\text{m}$; PSU46 66m $<0,3\mu\text{m}$; PSU46 63,1m $<0,4\mu\text{m}$).

Para separação granulométrica foram realizadas as seguintes etapas: 1. desagregação manual dos seixos com cadinho e pistilo de porcelana e água deionizada. 2. essas frações foram submetidas a 24 horas em um agitador orbital. 3. as frações foram então separadas por decantação obedecendo a Lei de Stokes, as frações de $<0,1$ e $<0,2$ foram obtidas utilizando a centrífuga *Sigma 3K30*. 4. a eficiência da separação foi monitorada através da difração de raios X por amostras naturais (secas ao ar), glicoladas e calcinadas com o equipamento Siemens Bruker AXS D5000.

Três amostras representativas dos seixos foram quebradas, separadas e suas superfícies foram analisadas com o Microscópio Eletrônico de Varredura JEOL JSM 5800 com elétrons secundários no Centro de Microscopia Eletrônica da UFRGS. O objetivo dessas análises foi observar a morfologia e a relação das ilitas hidrotermais com os outros componentes microcristalinos da amostra.

Seis amostras de ilitas foram enviadas para o CSIRO Petroleum Laboratories na Australia onde foram datadas pelo método geocronológico ^{40}K - ^{40}Ar .

Todas as técnicas serão melhor detalhadas no Artigo Científico (capítulo II) e nos Resultados (capítulo III).

CAPÍTULO II

ARTIGO CIÊNTÍFICO

^{40}K - ^{40}Ar Dating of illites associated with hydrothermal processes in mineralized regions – an application in the Camaquã Mines (Camaquã Basin, southern Brazil)

Authors: Denise Moreira Canarim^{a,*}, André Sampaio Mexias^b, Ana Maria Mizusaki^b

^a PPGGEO Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001 – Porto Alegre (RS), Brazil

^b Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IG/UFRGS), Caixa Postal 15001 – Porto Alegre (RS), Brazil

*Corresponding author: Tel.: +55 51 32394058; +55 51 84510844. E-mail address dedigeo@gmail.com

ABSTRACT

The Camaquã Mines (consisting of the Uruguay and São Luiz Mines) are former producers of Cu and are located on the southern edge of Brazil (in the Sul-Rio-Grandense Shield region) in the Camaquã Basin (Neoproterozoic to Early Paleozoic). The Camaquã Mines region is classically known as the “Bom Jardim Window” and has been the subject of many studies. However questions still remain regarding the genesis of the ore and its temporal relationships. Mineralization occurs in faults and as disseminations in the sandstones and conglomerates of the Santa Bárbara Group of this Basin. The sulfides present include the paragenesis composed of chalcopyrite, bornite, chalcocite and pyrite, with Au and Ag appearing as the main byproducts. The presence of a conglomerate with zoned pebbles of granitic composition resulting from the hydrothermal alteration processes acting on these rocks is highlighted in the Uruguay Mine. Samples from these pebbles were collected from drill cores and analyzed by petrography, x-ray diffraction and scanning electron microscopy, showing hydrothermal alteration of illitic composition, mainly in the innermost portion of the pebbles. Thus, in 4 samples collected from different boring depths, different particle-size fractions were separated (<1, <0.2, <0.3, >0.1<0.4, <0.4 μm). These fractions, which were rich in illite, were dated by the ^{40}K - ^{40}Ar method, and different ages were obtained (507.41 ± 10.37 , 486.74 ± 9.96 , $466.23 \pm$

9.54, 465.92 ± 9.48 , 396.84 ± 8.1 and 250.61 ± 5.38 Ma), resulting in the recognition of the following three age groups:

- 507.41 ± 10.37 to 465.92 ± 9.48 (Cambro-Ordovician),
- 396.84 ± 8.1 (Devonian),
- 250.61 ± 5.38 (Triassic).

The first group was related to the hydrothermal processes generating the ore in the region, showing ages consistent with existing geochronological data. The second and third groups were interpreted as records of tectonic activity marked by the faulting existing in the entire region or the reactivation of these faults. These findings demonstrate that ^{40}K - ^{40}Ar dating of hydrothermal illites results in data that are significant for the interpretation of mineralized regions.

Keywords: ^{40}K - ^{40}Ar dating, hydrothermal illites, Camaquã Mines, Sul-Rio-Grandense Shield

1. INTRODUCTION

The South American platform composes the stable portion of the South American continent. In this platform's southernmost portion, the Camaquã Basin is a Neoproterozoic/ Eopaleozoic basin located in the central portion of the Sul-Rio-Grandense Shield and characterized by a highly complex geology. This basin contains records of marine, alluvial, aeolian and fluvial depositional systems (among others). Because of this complexity, as well as that the units from the Camaquã Basin occur in isolated, relatively distant outcropping sites of difficult correlation, a wide range of interpretations and geological models for this area have been developed (Borba 2006).

Regarding the origin of the basin, the most accepted theory is related to tectonic processes associated with the final stages of the Brasiliano cycle (between 900 and 500 Ma). During this time, in addition to the stabilization and cratonization of the South-Brazilian Platform, the formation and development of strike-slip basins, including the Camaquã Basin, are distinguished (Paim *et al.* 2000; Hartmann *et al.* 2007).

From the 1990s, the application of new stratigraphy concepts suggested that this basin is, in reality, a depositional locus containing a preserved record of a series of successive superimposed basins (Leites *et al.* 1990; Paim *et al.* 2000). Currently, in the Camaquã Basin, the Allosupergroup Camaquã has been identified, in which, from bottom to top, exist the Maricá, Bom Jardim, Cerro do Bugio, Santa Bárbara and Guaritas allogroups, as detailed by Paim *et al.* (2000). Regarding the chronostratigraphic data, Borba (2006) and Janikian (2008) presented numerous datings for the basin allogroups. However, there are significant gaps in the existing body of knowledge, not only regarding the stratigraphy but also regarding the geochronology of the Basin. These knowledge gaps are attributed to a scarcity of subsurface data, as well as a lack of knowledge regarding the contact of units with magmatic rocks and the basement.

Another interesting point is that the Camaquã Basin has several long-known metallogenetic occurrences (Cu-Au) that have been exploited in the past century and studied by several authors (Leinz & Almeida 1941; Leinz 1946, 1951; Ribeiro 1978b, 1992; Teixeira *et al.* 1978a; Beckel 1990, 1992b).

As demonstrated in figure 1, the Camaquã Mines, which are located near the city of Caçapava do Sul (state of Rio Grande do Sul), are highlighted as the most important and exploited metallogenetic district of the region. The following two mineralized sectors are particularly recognized in this region:

- Uruguay and São Luis Mines with deposits of Cu and Au (byproduct) and supporting over 100 years of operation(s);
- Santa Maria Deposit with Pb and Zn minerals not yet explored.

Copper mineralization (Uruguay and São Luis Mines) occurs as veins embedded in faults with a northwestern direction or disseminated in the sandstones and/or conglomerates of the Santa Bárbara Allogroup (Fambrini 2005; Bica 2009; Santos 2012). These are located in a region named (in classical studies in this area) the “Janela Bom Window”, due to the alleged isolated occurrence of rocks from the Bom Jardim Allogroup (Ribeiro, 1966). Paim (1994, 2000) states that the region has three outcropping allogroups: Bom Jardim, Cerro do Bugio and Santa Bárbara. More recently, Fambrini (2005), Bicca (2009) and Santos (2012) have interpreted these

units as belonging to the Santa Bárbara Group. In the present study, the interpretation of the latter authors was chosen, i.e., the outcrops in the Bom Jardim Window are placed in the Santa Bárbara Group.

Thus, given the current stratigraphic and geochronological overview of the Camaquã Basin, the present study aims to fill a gap in the literature concerning the defined metallogeny ages of the Basin.

It should be noted that, despite the many published studies investigating mineralization in the Camaquã basin, the genesis of the ore and its temporal relationship remain controversial. Thus, we have applied the ^{40}K - ^{40}Ar radiometric method to illites to provide radiometric ages that will help in answering these questions.

The techniques employed to achieve this goal include field observations, description(s) and bore core sampling to identify material with better preservation and detailed particle size separation to which to apply the geochronological ^{40}K - ^{40}Ar method.

Field observations were conducted in the open pit of the deactivated mine aided by drill cores made available by the Brazilian Copper Company (Companhia Brasileira do Cobre - CBC) and stored in the drill core storage shed of the Uruguay Mine (located in the city of Minas do Camaquã). It was possible to recognize the stratigraphic profile in figure 2. In the mineralized sequence, a conglomerate associated with the deposition of an alluvial fan is identified. In this conglomerate, granite pebbles with zoning texture features were recognized. A sampling of the pebbles was collected, and it was verified that the zoning features are associated with an illitic alteration resulting from a hydrothermal process. Thus, applying the ^{40}K - ^{40}Ar radiometric dating method to the illites derived from the hydrothermal alteration processes allowed us to identify the ages associated with the ore-generating processes.

2. REGIONAL GEOLOGY

The Sul-Rio-Grandense Shield (Escudo Sul-Rio-Grandense - ESRG, (Fig. 1), the southern portion of the Mantiqueira Province (Almeida et al.,1981), is the area of the state of Rio Grande do Sul in which igneous, metamorphic and pre-Paleozoic

sedimentary rocks outcrop. The genesis of these rocks is linked to the Trans-Amazonian (Paleoproterozoic) and Brasiliano/Pan-African (Neoproterozoic) cycles (Chemale Jr. 2000; Hartmann *et al.*, 1998). The ESRG can be subdivided into the following four major domains:

- 1) Taquarembó - mainly composed of 2.0 Ga granulites intruded by Neoproterozoic granitoids (Soliani Jr., 1986);
- 2) Santana da Boa Vista or Tijucas Belt - composed of gneiss, granite and amphibolite units from the Paleoproterozoic age (2.3 – 2.0 Ga), possibly reworked by an orogenic event from 770 – 800 Ma (Paim *et al.*, 2000);
- 3) São Gabriel or Vila Nova Belt - formed by juvenile accretion of island arc (760 – 700 Ma) and composed of orthogneisses, ophiolites and supracrustal rocks (Babinski *et al.*, 1996);
- 4) Pelotas or Dom Feliciano Belt - the easternmost portion of the Shield, composed of Paleoproterozoic rocks affected by an intense Neoproterozoic magmatism (650-500 Ma) (Chemale Jr., 2000).

Chemale Jr. (2000) proposed the most accepted tectonic model for the ESRG, in which two phases of subduction, in island arc (900-800 Ma) and a continental arc (800-700 Ma), are recognized to the east. In the interval between 650 and 540 Ma, the authors assume a subduction to the west and the final collision between the Rio de La Plata (west) and Kalahari (east) plates. This series of events is presumed to be responsible for the progressive lithological assemblage in the study area (belonging to Gondwana).

The final and post-collisional phases of the Brasiliano/Pan-African cycle in southern Brazil were marked by the formation of strike-slip, pull-apart and extensional basins oriented to the northeast. The volcano-sedimentary filling of these basins is called the Camaquã Basin (Chemale Jr. *et al.*, 1995). In this basin, Paim *et al.* (2000) have identified the following allogroups:

- (1) Maricá with shallow marine sedimentation and fluvial deposits with an average age of 630 Ma (Borba *et al.*, 2008a);

(2) Bom Jardim (between 600 and 575 Ma; Janikian *et al.* (2008)), characterized by fluvio-lacustrine sedimentation and basic-to-intermediate volcanic rocks that compose the Hilário Formation (Paim *et al.*, 1995). This unit partially corresponds to the Crespos Formation from Ribeiro & Fantinel (1978), to the Cerro Formation from Martins de Santos *et al.* (1978) and to the Sedimentary Volcano Sequence II from Leites *et al.* (1990);

(3) Cerro do Bugio, composed of volcanic rocks of alkaline affinity (Acampamento Velho Formation) and alluvial conglomerates;

(4) Santa Bárbara, composed of alkaline volcanic rocks from 545 ± 12 Ma from the Acampamento Velho Formation (Almeida *et al.*, 1996) in the base and by delta fan and fluvial deposits of the Santa Bárbara Formation;

(5) Guaritas, characterized by aeolian, alluvial and fluvial deposits and, on the base, basic to intermediate alkaline volcanic rocks from 470 Ma (known as the Rodeio Velho Member) (Hartmann *et al.*, 1998).

As shown in figure 1, to the north of the study area is the Paraná Basin. This is an intracratonic basin with basal units that were deposited on the Sul-Rio-Grandense Shield, therein including the Camaquã Basin. The Paraná Basin is represented by dominantly siliciclastic sediments, volcanic rocks of Ordovician to Cretaceous age (Milani, 2007) and their subsidence events (Early Devonian and Early Permian) and magmatism (Cretaceous) (Milani, 1998).

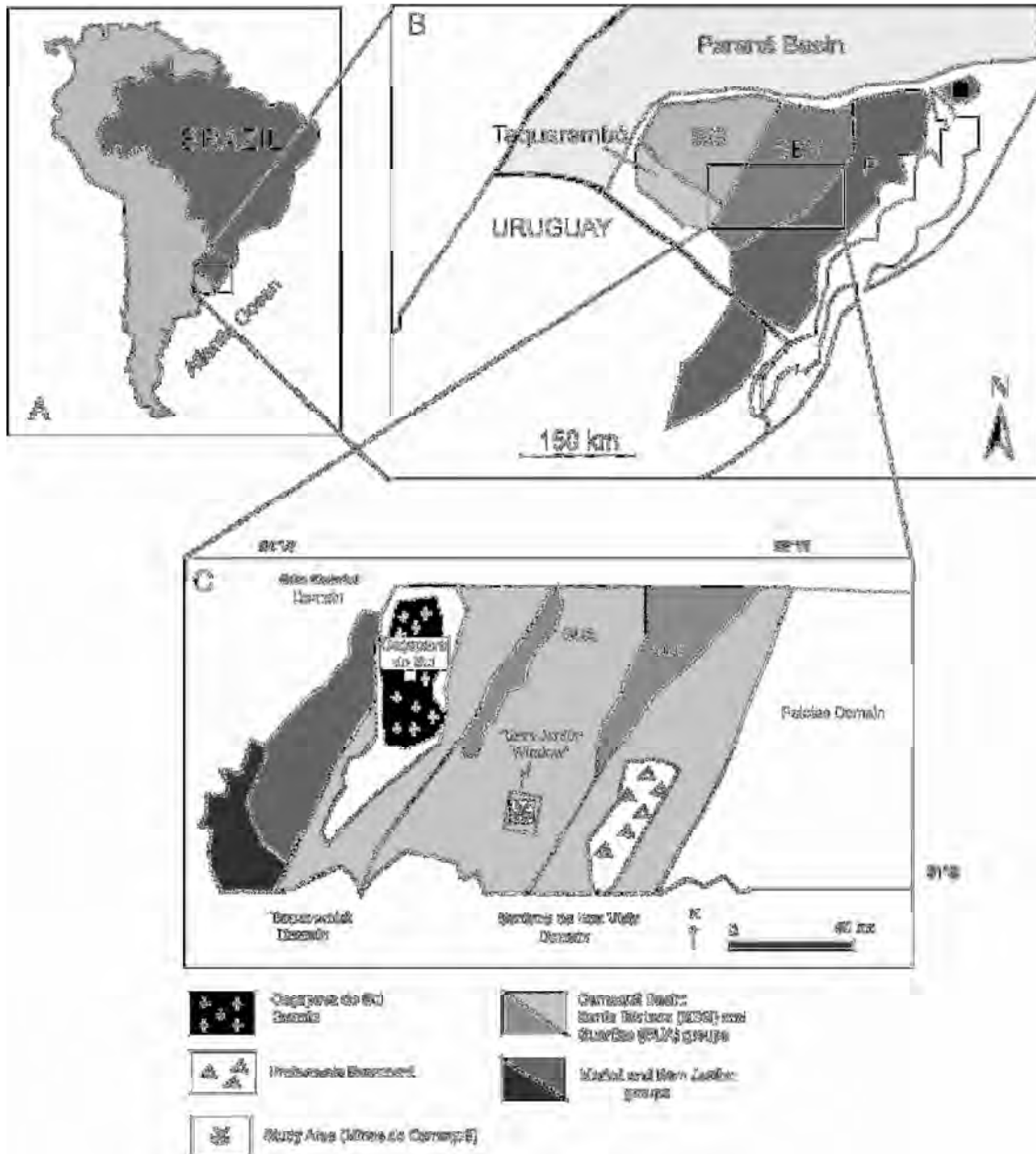


Figure 1 - (A) Study area; (B) Sul-Rio-Grandense Shield Domains: Taquarembó, São Gabriel (SG), Santana da Boa Vista (SBV) and Pelotas (P) (modif. Chemalle Jr., 2000); (C) detail of the study area (modif. Borba *et al.*, 2003).

3. STUDY AREA

The study area is located in the central portion of the Sul-Rio-Grandense Shield and is one of the outcropping portions of the Camaquã Basin. The Camaquã Mines region is classically known as “Bom Jardim Window” (Ribeiro, 1966) and has been the focus of several studies (Ribeiro, 1978; Teixeira *et al.*, 1978a; Gonzales & Teixeira, 1980; Ribeiro *et al.*, 1980; Veigel & Dardenne, 1990; Ribeiro, 1992; Paim,

1994, 2000; Fambrini, 1998, 2003, 2005). Although the nomenclature presented by each author is divergent, the outcropping units are as follows:

Sandstone-pelitic rhythmites at the base, characterizing tempestites superimposed by the following sequence: lower sandstone (LS), lower conglomerate (LC), intermediate sandstone (IS), upper conglomerate (UC) and upper sandstone (US) identified as belonging to the Santa Bárbara Group. Figure 2 presents this stratigraphic profile according to Fambrini (2005).

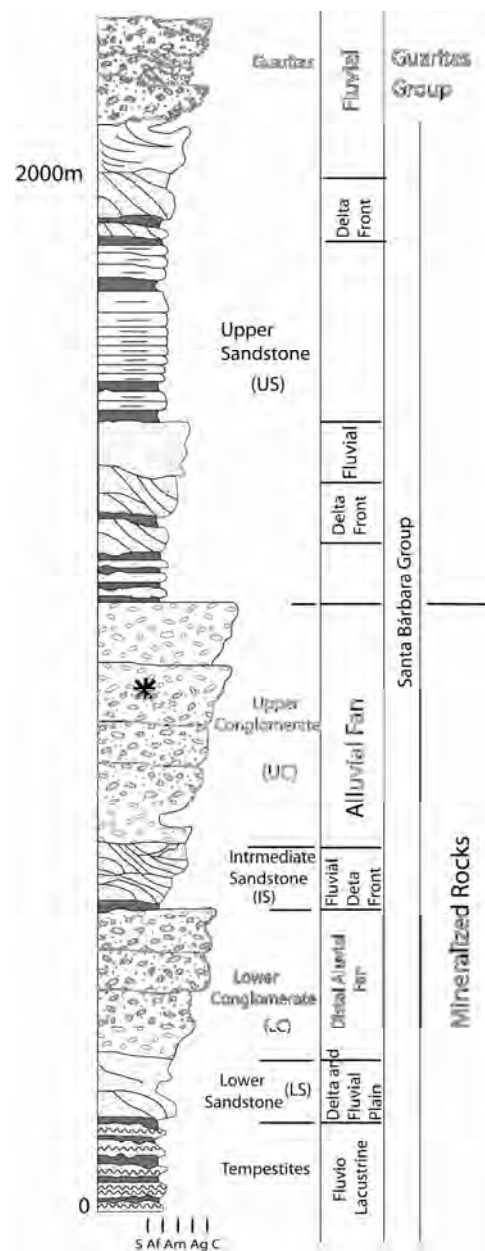


Figure 2 - Stratigraphic profile proposed for the mineralization region; * identifies sampling locations (modif. Faccini *et al.*, 1987; Fambrini, 2005).

Mineralization is hosted in the units (tempestites, LS, LC, IS and UC), as shown in figure 2. The samples analyzed in this study were collected in the upper conglomerate (UC) of the Uruguay Mine, identified as belonging to the Santa Bárbara Group (Fig. 2). The Cu mineral consists of pyrite (Fe_2S), chalcopyrite (CuFeS_2), bornite (Cu_5FeS_4) and chalcocite (Cu_2S), with Au (in hematite and chalcopyrite veins) and Ag (in chalcocite and bornite) being the main byproducts. The Pb and Zn minerals are galena (PbS) and sphalerite (ZnS) (Paim, 2000).

The upper conglomerate, the main focus of this study, is more than 200 m thick. This conglomerate is a poorly sorted conglomerate with a medium-to-coarse arkose matrix. Lithoclasts are of granite, quartzites, shales, rhyolites, mylonites and cataclasites, quartz-feldspar and sedimentary rocks (Gonzalez & Teixeira, 1980). Lenses of clayey material, eventually associated with desiccation cracks, form interbedded levels in the Uruguay Mine conglomerate (Veigel, 1989). This association has been interpreted as belonging to a more proximal facies of an alluvial fan (Faccini *et al.*, 1987).

The tectonics in the “Bom Jardim Window” region are distinguished by their complexity. At the eastern boundary, a large structure in the NNE-SSW direction is the boundary with the Guaritas Group. This structure is the Tapera Emiliano Fault Zone, a lineament of over 40 km that corresponds to a large set of regional faults with several reactivations (Gonzales & Teixeira, 1980; Fambrini, 1998, 2005; Paim, 2005) (Fig. 3).

However, the copper mineralization is predominantly associated with NW-trending faults and fractures, which are represented by the Cemitério Fault (González & Teixeira, 1980) with a N75W direction and pre- and post-mineralization ages (Bettencourt, 1972) (Fig. 3).

According to Bettencourt (1972), the primary conduits of the mineralization are the large NE-trending faults, which reach the crystalline basement and are of pre-mineralization age. The author states that the hydrothermal solutions were secondarily channeled to NW-trending faults with open spaces suitable for deposition of sulfides, oxides and gangue minerals. These faults were subsidiary to the major

NE-trending faults. According to Ribeiro *et al.* (1966), these fractures were established at the end of the Precambrian, with formation peaking during the deposition of the upper portion of the Santa Bárbara Formation. The movement must have continued with periodic pulses, which reached the sediments of the Guaritas formation (Ribeiro & Carraro, 1971).

The sedimentary units present in the “Bom Jardim Window” are tilted, with dips ranging from 25 to 55 degrees in contrast to the units from the Guaritas Group that, in the region, are virtually horizontal (maximum dip of 15 degrees). This fact has been associated with a tectonic event occurring in the “Bom Jardim Window” before the deposition of the Guaritas Group (470 Ma).

In paleostress analyses of brittle structures of the Camaquã Mines, Santos (2012) has identified four distinct paleofields of stresses: an ENE-to-NE extension of Cretaceous age, a NNE-to-N-S compression (Triassic), a NW extension (Paleozoic) and a WNW compression (Cambrian).

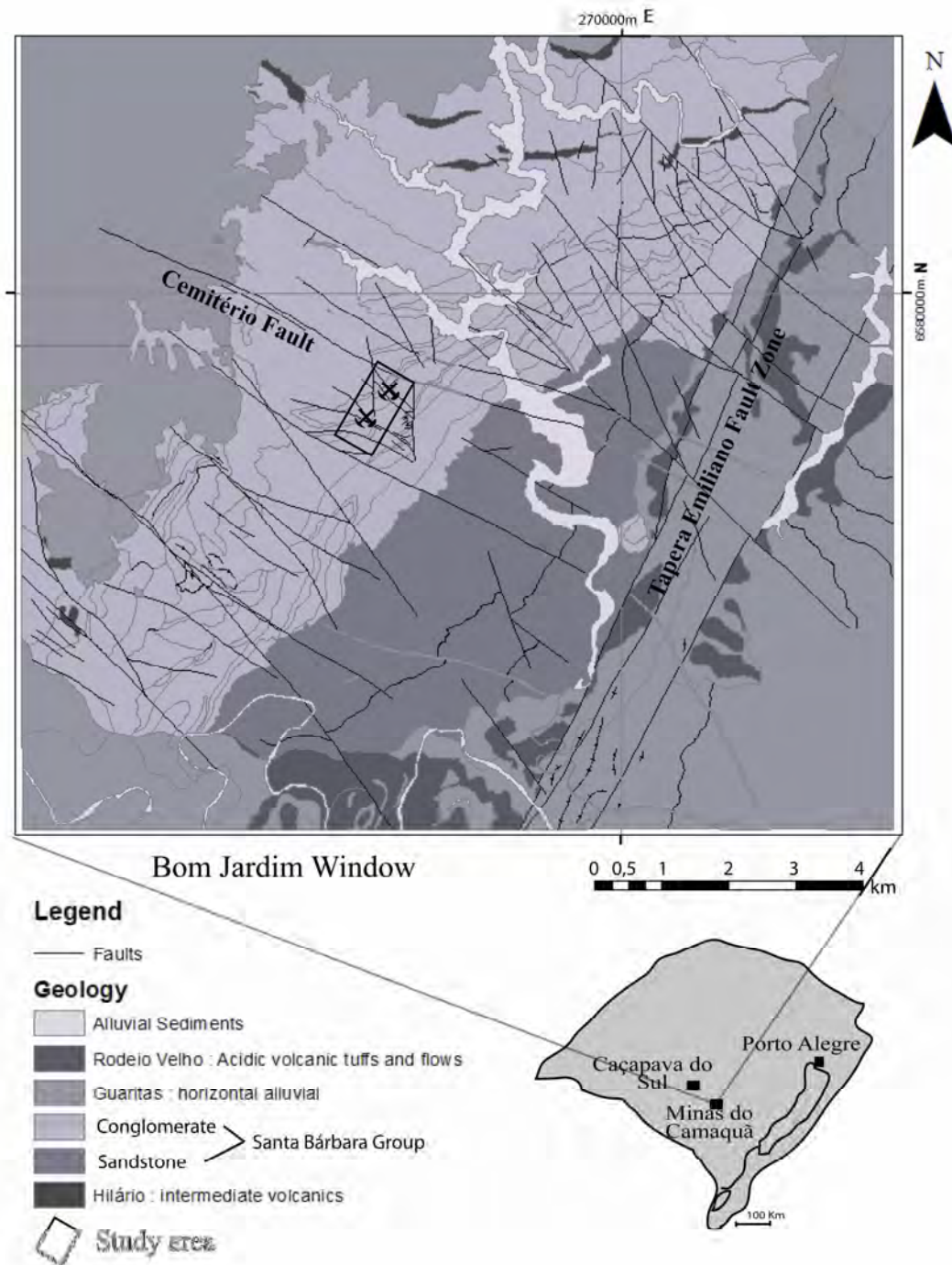


Figure 3 - Geological map of the "Bom Jardim Window" (modif. Gonzalez & Teixeira, 1980).

4. ^{40}K - ^{40}Ar DATING OF ILLITES

The conglomerates represented in the stratigraphic profile shown in figure 2 have altered granitic rock pebbles in which illite has been identified. The presence of illite was related to hydrothermal processes occurring in the region, and it is assumed that ^{40}K - ^{40}Ar dating can identify different mineralization pulses.

Hydrothermal illite in sandstones contains K and therefore is suitable for age determination using the ^{40}K - ^{40}Ar geochronometer. This illite is of interest with regard to the evolution of a geological area because it can provide a ^{40}K - ^{40}Ar age for a heating and/or fluid flow event within a sedimentary basin (Pevear, 1999; Maraschin *et al.*, 2010). Zwingmann (2004, 2006) emphasizes that analyses by the ^{40}K - ^{40}Ar method of illites associated with fault zones are consistent and show accurate results regarding the dating of faulting(s).

Using ^{40}K - ^{40}Ar isotopic systems to date K-bearing illite minerals offers the possibility of establishing the absolute timing of hydrothermal events. However, the radiogenic isotope systematic of sedimentary rocks is complex due to the intimate mixture of minerals of different origins (such as detrital phases), which are potentially from a variety of sources, as well as hydrothermal minerals. Consequently, it is often difficult to interpret unambiguously the ages measured (Maraschin *et al.*, 2010).

5. METHODOLOGY AND SAMPLING

Conglomerate samples containing differentially altered pebbles were collected in drill cores and from the (now deactivated) Uruguay Mine pit. After initial analyses, the samples collected in the mine pit were discarded due to the high degree of alteration of the minerals, which made illite separation unfeasible.

The following samples were taken from the available cores:

- Core U-71-1, which is 583 meters in length and represents the entire sequence of mineralized rocks (zoned pebbles were collected at depths of 265 m and 262.9 m);
- Core PSU- 46, which is 275 meters in length and was sampled at 63.1 m and 66.0 m, with zoned pebbles being recovered.

The pebbles were initially washed with deionized water to remove any contaminants, and the different particle size fractions where the illite was found were immediately separated according to table 1:

Core	Depth (m)	Fraction (μm)
PSU-46	63.1	<0.4
	66	<0.1 <0.3 >0.1<0.4
U-71-1	262.9	<0.2
	265	<1

Table 1- Core sampled, depth and separated particle size fraction.

The following steps were followed to separate the particle size fractions identified in table 1:

1. manual breakdown of the pebbles with porcelain mortar and pestle and deionized water;
2. the resulting fractions were subjected to 24 h in an orbital shaker;
3. the fractions were later separated by decantation, obeying Stokes' Law;
4. the fractions from <0.1 and <0.2 μm were obtained using a Sigma 3K30 centrifuge;
5. separation efficiency was monitored via X ray diffraction (XRD) analyses of each separated fraction.

X ray diffraction analyses, conducted at the X ray Diffraction Laboratory of the Geosciences Institute at the Federal University of Rio Grande do Sul (Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS), confirmed the predominance of illites in the separated particle size fractions. The equipment used for analyses was a Siemens Bruker AXS D5000 diffractometer with a $\text{CuK}\alpha$ radiation (40 kV and 30 mA) goniometer in which the θ - θ system was controlled by computer. The XRD patterns were obtained computationally and analyzed using the SOCABIM software DIFRAC-AT®.

The speed and scanning interval of the goniometer for each type of analysis were as follows: Powder Sample: 1 second for 0.02° step from 2° to $72^\circ 2\theta$; Natural Oriented Sample: 2 seconds for 0.02° step from 2° to $28^\circ 2\theta$; Oriented Sample Saturated with ethylene glycol: 3 seconds for 0.02° step from 2° to $28^\circ 2\theta$; Sample Calcined in 550°C oven for two hours and thirty minutes: 2 seconds for 0.02° step from 2° to $28^\circ 2\theta$; Unoriented Sample for Polytypes: 5 seconds for 0.02° step from 31° to $53^\circ 2\theta$.

In addition, two representative pebble samples (core PSU-46 at 66 m and core U-71-1 at 265 m) were broken, and these surfaces were analyzed with a JEOL JSM 5800 Scanning Electron Microscope in secondary electrons mode (at the Electron Microscopy Center of the UFRGS). These analyses were devised to observe the morphology/ies and relationship(s) of clay minerals with the microcrystalline components of the sample. The coupled EDS allowed a punctual spectrum to be obtained of the chemical elements present in the mineral (Fig. 4).

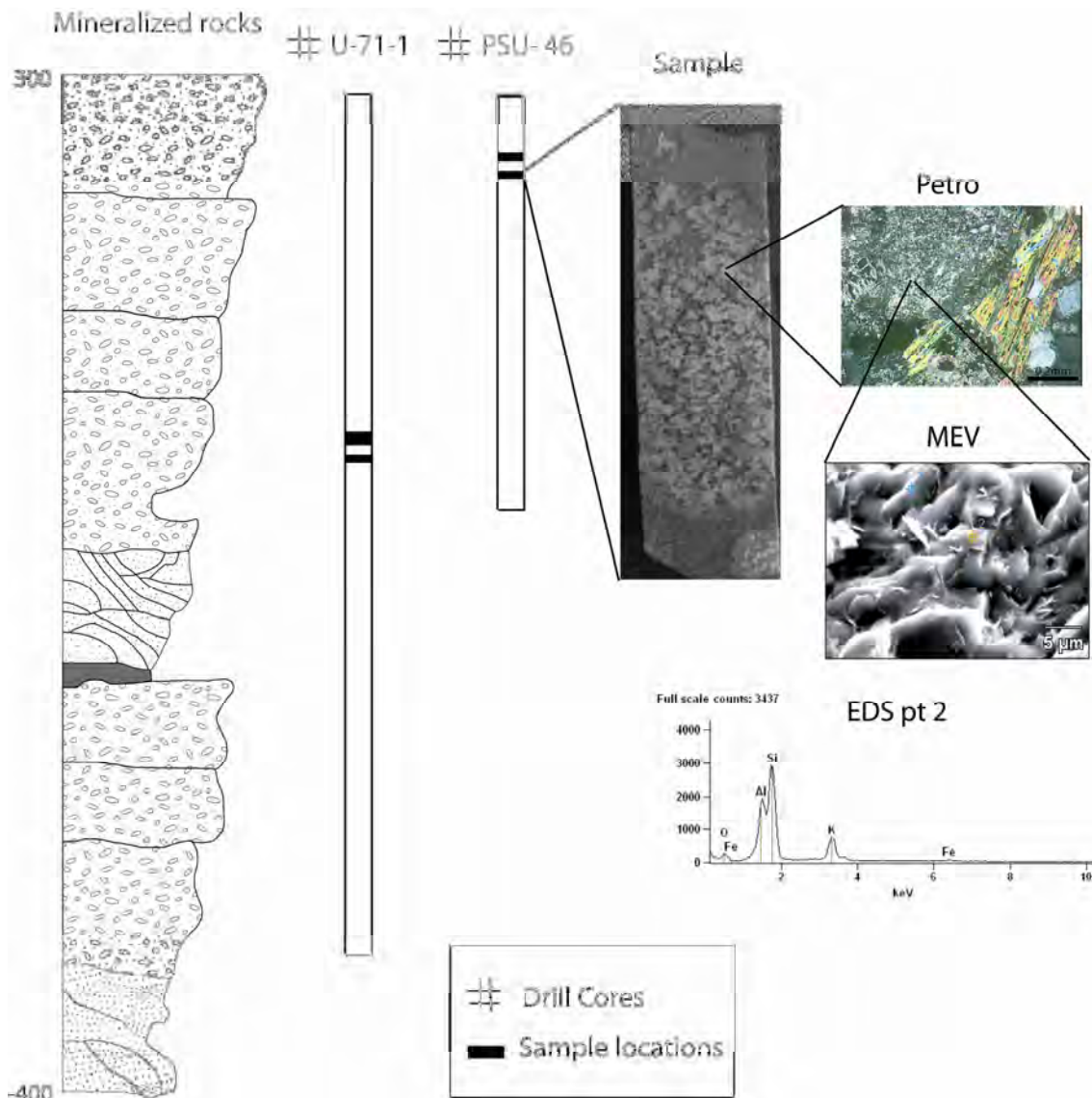


Figure 4- Location of samples in the drill core, stratigraphic profile and petrography detail, Scanning Electron Microscopy (SEM) and EDS spectra.

The separated fractions presented in table 1 were subsequently analyzed via the ^{40}K - ^{40}Ar radiometric method. The K content was determined by atomic absorption (Varian AA 50) using Cs at a 1000-ppm concentration for ion suppression. Sample aliquots (100-200 mg) were dissolved with HF and HNO_3 (Heinrichs & Herrmann, 1990). Once in solution, the samples were diluted to 0.3-1.5 ppm K for atomic absorption analyses. The pooled error of the duplicate K determinations of all samples and standards was less than 2%. Ar isotopic determinations were performed using a procedure similar to that described by Bonhomme *et al.* (1975). Samples were pre-heated under vacuum at 80 °C for several hours to reduce the amount of atmospheric Ar adsorbed onto the mineral surfaces during sample handling. Ar was

extracted from the separated mineral fractions by fusing samples within a vacuum line serviced by an on-line ^{38}Ar spike pipette. The isotopic composition of the spike Ar was measured with a high-sensitivity online VG3600 mass spectrometer. The ^{38}Ar spike was calibrated against standard biotite GA1550 (McDougall & Roksandic, 1974). After fusion of the sample in a low-blank, Heine resistance furnace, the released gases were subjected to a two-stage purification procedure with a CuO getter for the first step and two Ti getters for the second step.

Blanks for the extraction line and mass spectrometer were systematically determined, and the mass discrimination factor was determined periodically via airshots. Circa 25 mg of sample material was required for Ar analyses. During the course of this study, two international standards (one HD-B1 and one LP-6) and three airshot values were analysed. The error for argon analyses is below 1,44%. The ^{40}K - ^{40}Ar ages were calculated using the ^{40}K abundance and decay constants recommended by Steiger and Jager (1977). The age uncertainties take into account the errors during sample weighting, $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ and $^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ measurements and K analyses. These procedures were realized at the CSIRO Petroleum Laboratories in Australia.

6. RESULTS

The granitic composition pebbles separated from the upper conglomerate cored in the region of the Uruguay Mine are associated with the most proximal facies of an alluvial fan from the Santa Bárbara Group. Feldspar is completely altered and partially replaced by illite in these pebbles. Illite is the mineral being dated by the ^{40}K - ^{40}Ar method, and the confirmation and characterization of this clay mineral is imperative. This characterization was confirmed by the fact that the diffractograms presented compositions dominated by illites, and no other mineral was identified in significant amounts (Fig. 5). Polytypes are TV 1M illites (Drits & McCarty, 1996). Moore and Reynolds (1997) suggest that the sequence



is related to the increase in temperature and pressure and that polytype 2M_1 coincide with the beginning of the low-temperature metamorphism zone (280 to 360° C). These authors consider the 1Mt polytype to be of diagenetic or hydrothermal origin, characterizing a temperature lower than 280°C, compatible with the existing

proposals for the region. Fluid inclusion analyses in carbonates indicated temperatures ranging between 80 and 130 °C (Canarim, 2009), thereby confirming the diagenetic or hydrothermal origin of this mineral.

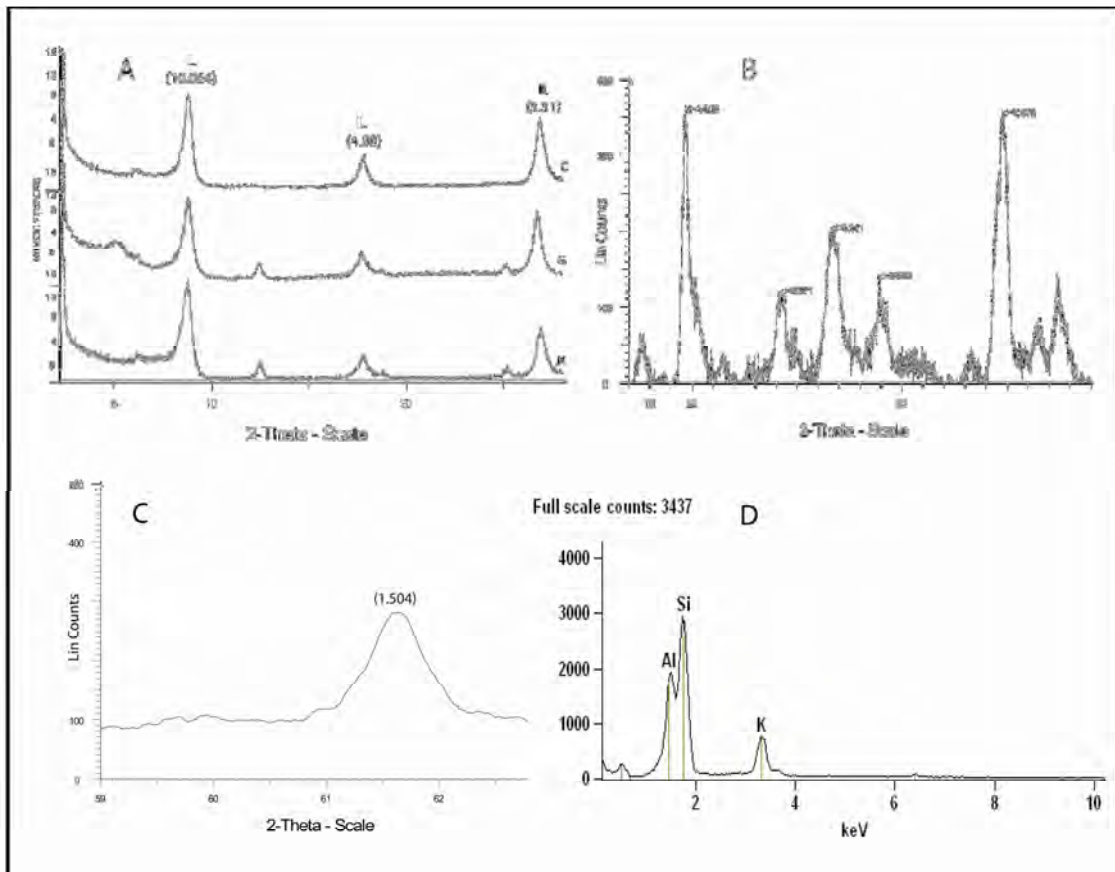


Figure 5 - Diffractograms of the <0.3-μm fraction separated from the PSU-46 core sample at 66 m; A) N= air-dried natural oriented sample; G= sample saturated with ethylene glycol; C= Calcined sample, 550°C, 2:30 h. B) Analysis of polytypes; C) b parameter and D) EDS analysis of a sample fragment.

SEM images were used to characterize typical illite morphologies (Fig. 6), the results of which were confirmed by coupled EDS analyses that enabled observation of significant amounts of K, an important factor in recognizing the illite (Fig. 5).

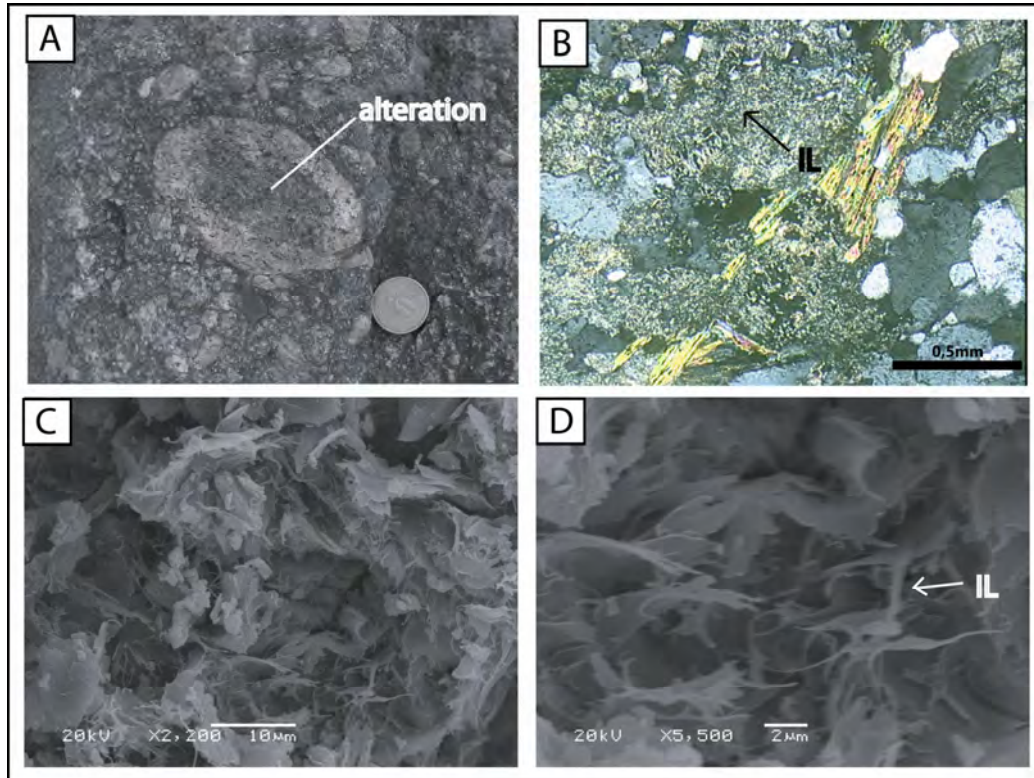


Figure 6 - A) photograph of zoned pebble; B) photomicrograph showing feldspar grains that have been completely altered and replaced by illite (IL); C) Scanning Electron Microscope image showing illite morphology (2,200X, ES); (D) previous photomicrograph showing the filamentous morphology of the illite (IL) (5,500 X, ES).

After identifying and characterizing the illite, the fractions were dated using the ^{40}K - ^{40}Ar method. As demonstrated by the parameters below (Tab. 2), the results were considered excellent.

Sample (ID)	Fraction (μm)	K[%]	Rad. ^{40}Ar [mol/g]	Rad. ^{40}Ar [%]	Age[Ma]	Error[Ma]	Gradstein <i>et al.</i> (2004)
Core PSU 46, 63.1 m	<0.4	6.48	5.97E-09	98.1	465.92	9.48	MiddleOrdovician
Core PSU 46, 66 m	<0.1	6.07	2.83E-09	61.9	250.61	5.38	LowerTriassic
Core PSU 46, 66 m	<0.4 >0.1	6.33	6.43E-09	98.65	507.41	10.37	Late Cambrian
Core PSU 46, 66 m	<0.3	6.42	6.22E-09	97.58	486.74	9.96	LowerOrdovician
Core U71-1, 262.9 m	<0.2	7.93	6.11E-09	98.8	396.84	8.1	MiddleDevonian
Core U71-1, 265 m	<1	7.2	6.64E-09	98.83	466.23	9.54	MiddleOrdovician

Table 2- K-Ar dating results for different fractions.

7. DISCUSSION and CONCLUSIONS

The illites that were separated from the granitic composition pebbles, altered, zoned and cored in the region of the Uruguay Mine (Minas do Camaquã), are

associated with a hydrothermal origin (Canarim, 2009). The finest fractions of these illites were dated using the ^{40}K - ^{40}Ar method, and the ag

illites were dated using the ^{40}K - ^{40}Ar method, and the ages obtained were consistent with existing geochronological data for the region (Borba, 2003; Maraschin *et al.*, 2010; Santos, 2012). As shown in table 2, a total of six ^{40}K - ^{40}Ar ages were obtained for these illite fractions, and the following three groups were recognized (Fig. 7):

- one group aged between 507 and 465 Ma (507.41 ± 10.37 , 486.74 ± 9.96 , 466.23 ± 9.54 and 465.92 ± 9.48 Ma), i.e., Cambro-Ordovician in coarser fractions (between 1 and $0.2 \mu\text{m}$);

- one group aged 396.84 ± 8.1 Ma, in fractions $< 0.2 \mu\text{m}$, and sample(s) collected in the deepest core;

and

- one group aged 250.61 ± 5.38 , in the finest fraction ($< 0.1 \mu\text{m}$) that was possible to separate.

The first group, in which ages averaged between 507.41 ± 10.37 to 465.92 ± 9.48 Ma (Cambrian to Ordovician), was obtained in the illite fraction exhibiting coarser particle size. This time interval was interpreted as corresponding to the main period of formation of these illites when intense hydrothermal activity promoted the alteration of feldspars from granitic pebbles of the Uruguay Mine conglomerate. Based on ^{40}K - ^{40}Ar dating of diagenetic illites separated from the fluvio-eolian sandstones of the Guaritas Allogroup (Camaquã Basin), Maraschin *et al.* (2010) propose ages from 521.7 ± 10.3 to 473.7 ± 9.4 Ma. That interval agrees well with the results obtained in the present study and is indicative of diagenetic processes occurring in the Camaquã Basin associated with the Rodeio Velho Andesite. The U-Pb age determined for zircon from the Rodeio Velho Andesite, 470 ± 19 Ma (Hartmann *et al.*, 1998), is consistent with the above proposition.

An intermediate age of 396.84 Ma (Devonian) was determined for the finer fraction ($< 0.2 \mu\text{m}$). This result was considered indicative of intense tectonic activity recorded by numerous faults occurring in the region. This finding may also mark an episode of ore remobilization because mineralization features suggest that it is

associated with faulting. Santos *et al.* (2012) positions an extension event in the region of the Camaquã Mines between the Cambrian and Triassic. Moreover, in the Paraná Basin, which is adjacent to the study area, a great transgressive event was observed followed by regional uplifting (epeirogenesis), which may be recorded in samples from this period.

An age of 250.61 ± 5.3 (Late Permian) was determined for the finest fraction ($<0.1 \mu\text{m}$), the latest event in the region recorded by the illites. Borba *et al.* (2003) presents fission track ages (in apatites) of 250 Ma for rocks from the Lavras do Sul region (a volcano-sedimentary sequence 50 km away from the study area). A slow and long-lived cooling trend between 366 and 250 Ma may be related to the uplift of the southeastern margin of the Parana Basin, which resulted from the Eo-Hercynian (Chanic) and Tardi-Hercynian (Sanrafaelic) orogenies, and the denudation of this region during Permian sedimentation into the basin. It is assumed that in this period, the southern margin of Gondwana (where the study region is located), was affected by the compression events of this Eo-Hercynian Orogeny. The Sul-Rio-Grandense Shield area possibly underwent an uplifting process in response to these compression events. The juxtaposition of deeper parts (gneissic and dioritic portions) of the granite body in the southern block (in which there are shallower leucogranitoid portions to the north) can be related to the continuous Triassic activity of NW-trending faults, which is perfectly coherent with the northeastward sediment flux observed in the Parana Basin (Borba *et al.*, 2003). Given that it is recorded in the finest illite fraction, this tectonic activity may have been marked by faulting or by reactivation of the NW-trending faults that controlled the mineralization.

The ^{40}K - ^{40}Ar ages determined in this study also provide evidence of recurring tectonic activity and are associated with fluid circulation occurring during the Ordovician to the Permian periods in the Camaquã Mines area.

Combined with tectonic investigations, the technique described in this study can be applied to faults in the study area (or even to the entire Sul-Rio-Grandense Shield) to interpret tectonics acting in the region, helping their stratigraphic position and to provide a prospecting guide of the mineralized areas.

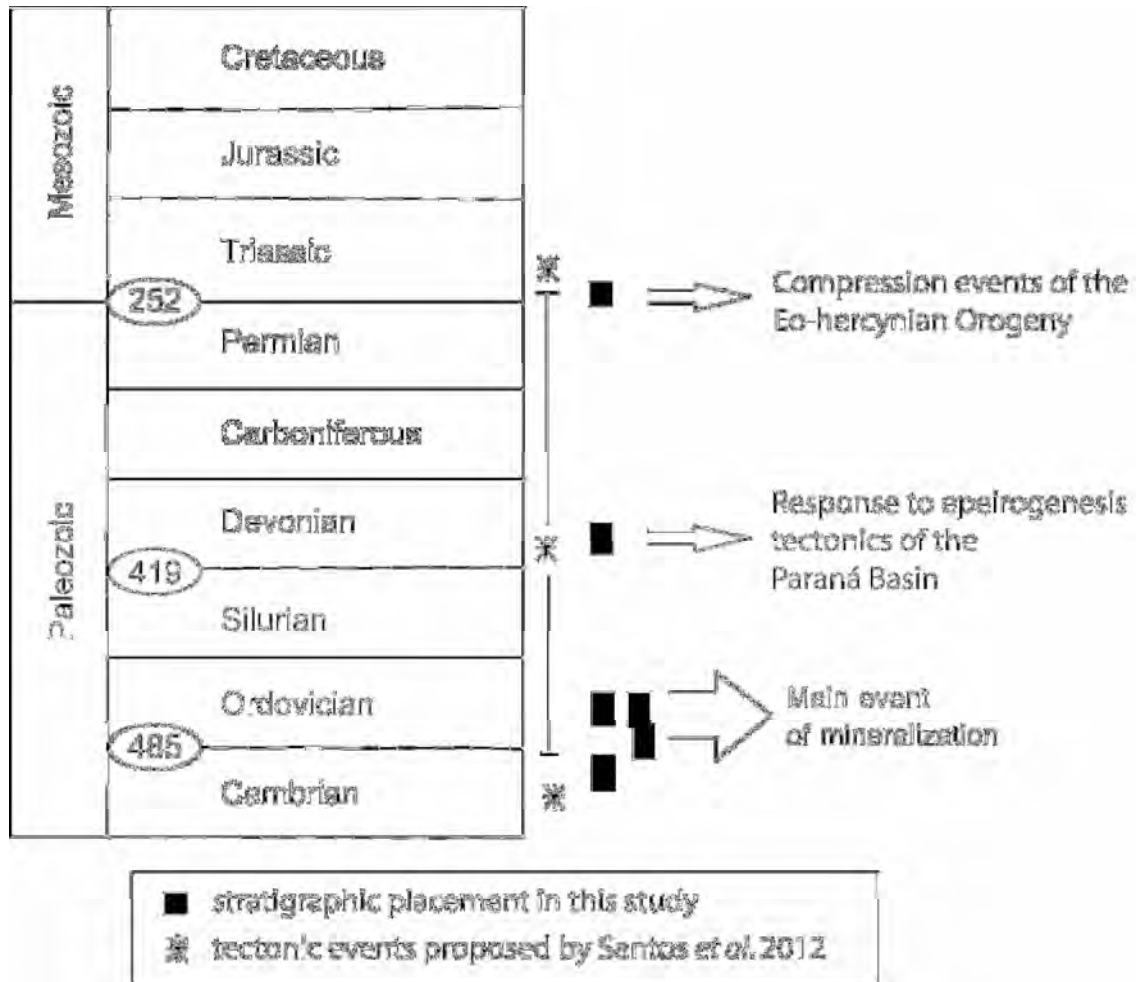


Figure 7 - Stratigraphic placement of the samples in this study, indication of the events related to each group and correlation with proposed tectonic events (based on Santos *et al.* 2012; Borba *et al.*, 2003, IUGS, 2012).

Acknowledgments

This study is part of the first author's master's thesis and was funded by the Brazilian Federal Agency for the Support and Evaluation of Graduate Education (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES) – UFRGS in combination with the Graduate Program at this university. The author is grateful to the program for providing access to the necessary tools to conduct this study, to the Brazilian Copper Company (Companhia Brasileira do Cobre – CBC), represented by Paulo Mônego, for providing access to the area and drill cores, and to her advisors.

9. REFERENCES

Almeida, D.P.M., Zeffass, H., Basei, M.A.S., 1996. Mineralogia, geoquímica e novas idades para o vulcanismo ácido da Bacia do Camaquã, RS [Mineralogy, geochemistry and new ages for the acid volcanism of the Camaquã Basin, RS]. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Anais 2, 19-21.

Almeida, F.F.M, Hasui Y, Brito Neves B.B. & Fuck R.A., 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sciences Reviews*, 17, 1-29.

Babinski, M., Chemale Jr., F., Hartmann, L.A., Van Schmus, W.R., Silva, L.C., 1996. Juvenile accretion at 750-700 Ma in Southern Brazil. *Geology*, 24 (5), 439-442.

Beckel, J., 1990. Metalogenia Del Cu, Pb y Zn em la Cuenca de Camaquã durante el ciclo orogénico Brasileiro, RS. Tese de Doutorado em Geociências, Universidade de Salamanca, Espanha. 275p.

Beckel, J., 1992. Evolução geotectônica da Bacia do Camaquã, RS – proposta de classificação dentro de um conceito mobilista [Geotectonic evolution of the Camaquã Basin, RS – proposed classification within a mobilista context. In: WORKSHOP SOBRE AS BACIAS MOLÁSSICAS BRASILIANAS. Boletim de Resumos Expandidos, 1-5.

Bettencourt, J.S., 1972. A Mina de Cobre de Camaquã, Rio Grande do Sul [The Camaquã Copper Mine, Rio Grande do Sul]. Tese de Doutorado, IG – USP, São Paulo, SP, 267p.

Bicca, M.M., 2009. Estudos Tectônicos na Sub Bacia Camaquã Central. Região de Minas do Camaquã, RS [Tectonic Studies in the Sub Central Camaquã Basin. Minas do Camaquã Region]. Dissertação de Mestrado UFRGS, 90p.

Bonhomme, M.G., Thuizat, R., Pinault, Y., Clauer, N., Wendling, R., Winkler, R., 1975. M' thode de datation potassium-argon. *Appareillageet technique*. Strasbourg.

Borba, A.W., Lima, E.F., Vignol-Lelarge, M.L.M., Mizusaki, A.M., Sparrenberg, I., Barros, C.E., 2003. Significance of Late Paleozoic Fission-track Ages in Volcanic Rocks from the Lavras do Sul Region, Southernmost Brazil. *Gondwana Research*, 6 (1), 79-88.

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 [Geological evolution of the “Camaquã Basin” (Neoproterozoic and Lower Paleozoic of the Sul-Rio-Grandense Shield, RS, Brazil): a view based on the integration of stratigraphy tools, petrography and isotopic geology]. Tese de Dotourado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 110p.

Borba, A.W., Mizusaki, A.M., Santos, J.O.S., McNaughton, N.J., Ones, A.T., Hartmann, L.A., 2008. U-Pb zircon and ^{40}Ar - ^{39}Ar K-feldspar dating of syn-sedimentary volcanism of the Neoproterozoic Maricá Formation: constraining the age of foreland basin inception and inversion in the Camaquã Basin of Southern Brazil. *Basin Research* 20, 359-375.

Canarim, D.M., 2009. Metalogenia das Minas do Camaquã. RS. Contribuição petrográfica, química e isótopos estáveis [Metallogeny of the Camaquã Mines. RS. Petrographic, chemical and stable isotopes contribution]. Dissertação de conclusão de curso UFRGS, 93p.

Chemale Jr., F., Hartmann, L.A., 1995. Stratigraphy and tectonism of the Brasiliano Cycle in Southern Brazil. *Communications of the Geological Survey of Namíbia*, 10, 151-166.

Chemale Jr., F., 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-Riograndense [Geological Evolution of the Sul-Riograndense Shield]. In Holz, M & De Ros, L. F. *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, RS, 13-52.

Drits, V.A., McCarty, D.K., 1996. The nature of diffraction effects from illite and illite-smectite consisting of interstratified trans-vacant and cis-vacant 2:1 layer: A semiquantitative technique for determination of layer type content. *American Mineralogist* 81, 852-863.

Faccini, U.F., Paim, P.S.G., Fragoso-César, A.R.S., 1987. Análise faciológica das molassas brasileiras na Região das Minas do Camaquã, RS [Facies Analysis of the brasiliana molasses in the Camaquã Mines Region, RS]. *Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia*, 3, Atlas, SBG, Curitiba, 1, 75-91.

Leinz, V., Almeida, S.C., 1941. Gênese da Jazida de Cobre “Camaquam”, município de Caçapava – Rio Grande do Sul. Secretaria dos Negócios de Agricultura, Indústria e Comércio do Estado do Rio Grande do Sul [Genesis of the Copper Ore “Camaquam”, city of Caçapava – Rio Grande do Sul. Department of Agriculture, Industry and Commerce of the State of Rio Grande do Sul]. *Boletim – Divisão de Produção Mineral, DPM*, 88, 56p.

Leites, S.R., Lopes, R.C., Wildner, W., Porcher, C.A., Sander, A., 1990. Divisão Litofaciológica da Bacia do Camaquã na folha Passo do Salsinho, Caçapava do Sul RS, e sua interpretação paleoambiental [Lithofaciological Division of the Camaquã Basin on the Passo do Salsinho sheet, Caçapava do Sul, RS, and its paleoenvironmental interpretation]. *Congresso Brasileiro de Geologia* 36, 300-312.

Fambrini, G. L., 1998. O Grupo Camaquã (Transição Proterozóico-Fanerozóico) na região das Minas do Camaquã, RS: Análise estratigráfica de fácies, proveniência e paleocorrentes [The Camaquã Group (Proterozoic – Phanerozoic transition) in the Minas do Camaquã region, RS: Stratigraphic analysis of facies, provenance and paleocurrents]. São Paulo. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 182p.

Fambrini, G.L., Janikian, L., Paes de Almeida, R., Fragoso-César, A.R.S., 2003. O Grupo Santa Bárbara (Neoproterozóico III) na sub-bacia Camaquã Central, RS [The Santa Bárbara Group (Neoproterozoic III) in the Central Camaquã sub-basin, RS]. In *Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudos e Bacias*, Porto Alegre, 116-122.

Fambrini, G.L., Janikian, L., Paes de Almeida, R., Fragoso-César, A.R.S., 2005. O Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na sub-bacia Camaquã Central, RS: estratigrafia e sistemas deposicionais [The Santa Bárbara Group (Ediacaran) in the Central Camaquã sub-basin, RS: stratigraphy and depositional systems]. *Revista Brasileira de Geociências*, 35 (2), 227-238.

Gonzalez, M. & Teixeira, G., 1980. Considerações sobre estratigrafia e ambientes de sedimentação da Região das Minas do Camaquã e Jazida Santa Maria – Rs [Considerations on stratigraphy and sedimentary environments of the Camaquã Mines Region and Santa Maria Ore – RS], In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31. Balneário de Camburiú, 1980. Anais... Balneário de Camburiú, SBG. 3, 1513-1524.

Hartmann, L.A., Silva L.C, Remus, M.V.D., Leite, J.A.D., Philipp, R.P., 1998. Evolução Geotectônica do Sul do Brasil e Uruguai entre 3,3 Ga e 470 Ma [Geotectonics Evolution of southern Brazil and Uruguay between 3.3 Ga and 470 Ma]. In: Congresso Uruguaio de Geologia 2, Punta del Este, 277-284.

Hartmann, L.A, Chemale Jr, F. & Philipp, R.P., 2007. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano [Geotectonics Evolution of Rio Grande do Sul in the Precambrian]. In: Iannuzzi, R & Frantz, J. C. Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 99-123.

Heinrichs, H., Herrmann, A.G., 1990. *Praktikum der Analytischen Geochemie*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 211p.

Janikian, L., Almeida, R.P., Fragoso-Cesar, A.R.S., Corrêa, & ANA PAULA M. REIS PELOSI, A. P. M. R., 2005. Evolução Paleoambiental e Sequências Depositionais do Grupo Bom Jardim e da Formação Acampamento Velho (Supergrupo Camaquã) na Porção Norte da Sub-Bacia Camaquã Ocidental [Paleoenvironmental Evolution and Depositional Sequences of the Bom Jardim Group and Acampamento Velho Formation (Camaquã Supergroup) in the Northern Portion of the Western Camaquã Sub-Basin]. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(2), 245-256.

Janikian, L., Almeida, R.P., Trindade, R.I.F., Fragoso-Cesar, A.R.S., D'Agrella Filho, M.S., Dantas, E.L., Tohver, E., 2008. The continental Record of Ediacaran volcano-sedimentary successions in Southern Brazil and their global implications. *Terra Nova*, 20, 259-266.

Maraschin, A.J., Mizusaki, A.M., Zwingmann, H., Borba, A.W., Sbrissa, G.F., 2010. Illite authigenesis in sandstones of the Guaritas Allogroup (Early Paleozoic): Implications for the depositional age, stratigraphy and evolution of the Camaquã Basin (Southern Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 29, 400-411.

McDougall, I., Roksandic, Z., 1974. Total fusion $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages using HIFAR reactor. *Journal of Geological Society of Australia*, 21, 81-89.

Milani, E.J., Ramos, V.A., 1998. Orogenias Paleozóicas no Domínio Sul-Occidental do Gondwana e os Ciclos de Subsidência da Bacia do Paraná [Paleozoic orogenies in the Southwest Domain of Gondwana and the Paraná Basin Subsidence Cycles]. *Revista Brasileira de Geociências* 28(4), 473-484.

Milani, E.J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A., França, A.B., 2007. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, 15(2), 265-287.

Moore, D.M., Reynolds R.C.Jr., 1997. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Ed. Oxford. Second Edition.

Paim, P.S.G., 1994. Depositional Systems and Paleogeographical evolution of the Camaquã and Santa Barbara Basins, Brazil. D. Phil Thesis, University of Oxford. 277p.

Paim, P.S.G., 1995. Alluvial paleogeography of the Guaritas depositional sequence of Southern Brazil. Spec Publis int. Ass.Sediment., 22, 3-16.

Paim, P.S.G., Chemale Jr., F. & Lopes, R., 2000. A Bacia do Camaquã [The Camaquã Basin]. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.), Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Editora UFRGS.

Pevear, D.R., 1999. Illite and hydrocarbon exploration. Proceedings of Academy of Sciences 96, 3440-3446.

Ribeiro, M. & Fatinel, L.M., 1978. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-Riograndense: I Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul [Petrotectonic Associations of the Sul-Riograndense Shield: I Tabulation and distribution of the petrotectonic associations of the Rio Grande do Sul Shield]. Iheringia, Série Geológica, 5, 19-54.

Ribeiro, M.J, Bocchi, P.R, Figueiredo Filho P.M. & Tessar R., 1966. Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul, RS, Brasil [Geology of the Caçapava do Sul quadrangle, RS, Brazil]. Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral, DNPM, 127-232.

Ribeiro, M. & Carraro, C.C., 1971. Mapa Geotectônico da Região de Caçapava do Sul, RS, Brasil [Geotectonic Map of the Caçapava do Sul Region, RS, Brazil], XXV Congresso Brasileiro de Geologia, Bol. Esp. N1 (Resumo das Comunicações).

Ribeiro, M. & Lichtenberg, E., 1978. Síntese da geologia do Escudo do Rio Grande do Sul [Geology summary of the Rio Grande do Sul Shield]. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30. Recife, 1978. Anais Recife, SBG, 6, 2451-2463.

Ribeiro, M.J., Badi, W.S.E., Gonzalez, A.P., Gonzalez, M.A., Licht, O.B., Teixeira, G., 1980. Jazida Santa Maria, chumbo e zinco estratiformes no Grupo Bom Jardim, Rio Grande do Sul [Santa Maria Ore, lead and zinc stratiforms in the Bom Jardim Group, Rio Grande do Sul]. In: Congresso Brasileiro de Geologia 31. Balneário Camburiú, SBG, Anais, 3, 1725-1742.

Ribeiro, M.J. 1992 Síntese sobre minérios estratiformes da “Bacia do Guaritas” [Stratiform ore synthesis of the “Guaritas Basin”]. In: Workshop sobre as Bacias Molássicas Brasileiras, 1. São Leopoldo, 1992. Boletim de Resumos Expandidos, São Leopoldo, SBG. P. 120-123.

Steiger, R.H., Jager, E., 1977. Subcommission on Geochronology: convention on the use of decay constants in geo and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 36, 359-362.

Santos, M.G.M., Almeida, R.P., Fragoso-Cesar, A.R.S., 2012. Paleostress Analysis in Brittle Structures of the Camaquã Copper Mines. *Revista Brasileira de Geociência*, 42, 573-584.

Soliani Jr. E., 1986. Os dados geocronológicos do Escudo Sul-Riograndense e suas implicações de ordem geotectônica [Geochronological data of the Sul-Riograndense Shield and its geotectonics implications]. São Paulo. 425 p.. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Teixeira, G., 1978. Contribuição ao estudo das mineralizações cupríferas disseminadas no distrito das minas do Camaquã [Contribution to the study of copper mineralization disseminated in the Camaquã mines district]. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. Anais, SBG, 4, 1644-1654.

Veigel, R., 1989. Evolução diagenética e mineralização de Cu-Pb-Zn dos Red Beds do Distrito de Camaquã – RS [Diagenetic Evolution and mineralization of Cu-Pb-Zn of the Red Beds in the Camaquã District]. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília – UnB. 185p.

Veigel, R. & Dardenne, M.A., 1990. Paragênese e sucessão mineral nas diferentes etapas da evolução da mineralização de Cu-Pb-Zn do distrito de Camaquã, RS [Paragenesis and mineral succession in different stages of Cu-Pb-Zn mineralization evolution in the Camaquã district, RS]. *Revista Brasileira de Geociências*. 20(1/4): 55-67.

Zwingmann, Z., Mancktelow, N., 2004. Timing of Alpine fault gouges. *Earth and Planetary Science Letters*, 223, 415-425.

Zwingmann, H. Yamada, K., Tagami, T., 2006. Nojima and MTL fault zone gouge dating, Japan. *Goldschmidt Conference Abstracts*, 86, 30.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Para cada amostra foram realizadas análises natural, glicolada, calcinada, pó, parâmetro B e polítipos. As amostras consistem basicamente de illita. Não foram encontrados outros minerais em quantidades significativas.

As análises por difratometria de raios X permitiram a caracterização das illitas separadas para datação. Foram realizadas no Laboratório de Difratometria de Raios X do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq) do Instituto de Geociências da UFRGS. O equipamento utilizado para as análises é um difratômetro da marca Siemens Bruker AXS D5000 com radiação $\text{CuK}\alpha$, 40 kV e 30 mA. Este aparelho contém goniômetro com sistema θ - θ , controlado por computador. Os padrões de DRX são obtidos numericamente e tratados através do programa DIFRAC-AT® da SOCABIM. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro para cada tipo de análise foram as seguintes: Amostra de rocha total: 1 segundo para 0,02° de degrau do goniômetro de 2° a 72° 2 θ ; Amostra Orientada Natural: 2 segundos para 0,02° de degrau do goniômetro de 2° a 28° 2 θ ; Amostra Orientada Glicolada: 3 segundos para 0,02° de degrau do goniômetro de 2° a 28° 2 θ ; a para Polítipos: 5 segundos para 0,02° de degrau do goniômetro de 31° a 53° 2 θ .

As figuras a seguir mostram os difratogramas obtidos em cada uma das amostras nas seguintes análises, respectivamente: natural, glicolada e calcinada; rocha total; parâmetro b e polítipos.

PSU46 66m <0,3

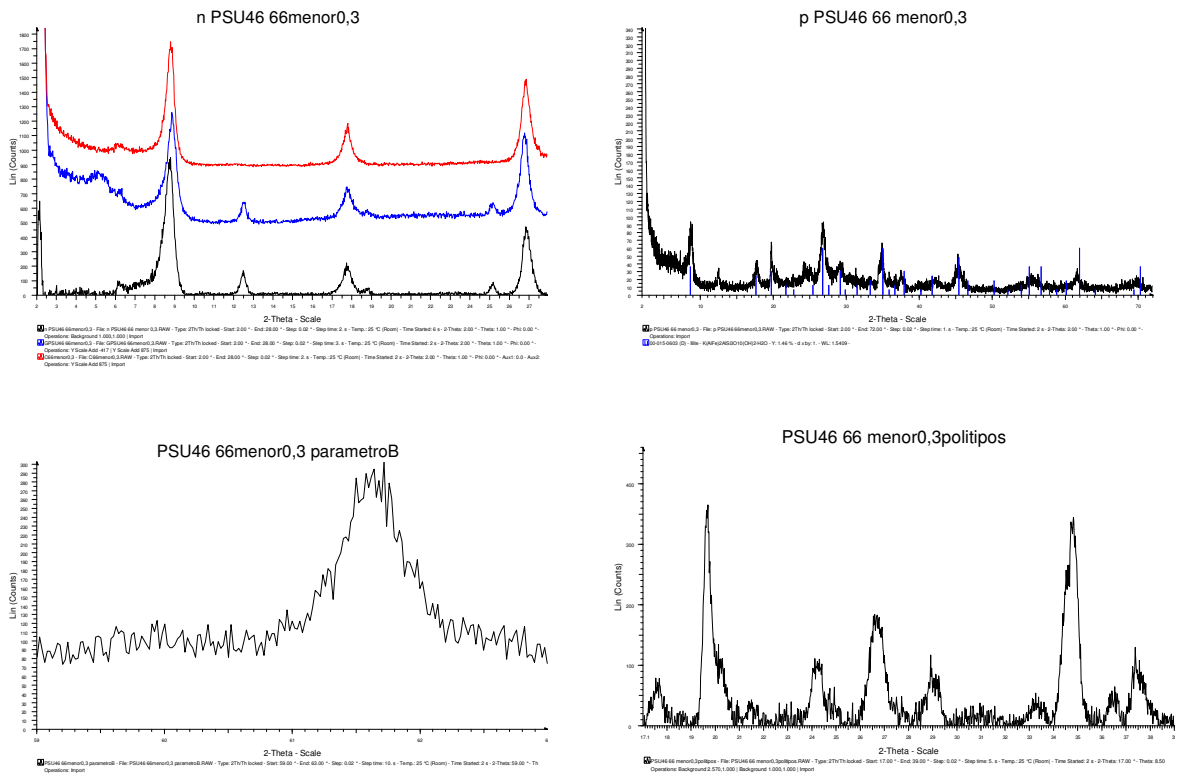


Figura 5: Difractogramas da amostra PSU 46 66 menor 0,3 na sequencia: natural, glicolada e calcinada; rocha total; parametro B e politipos.

N PSU46 63,1 <0,4

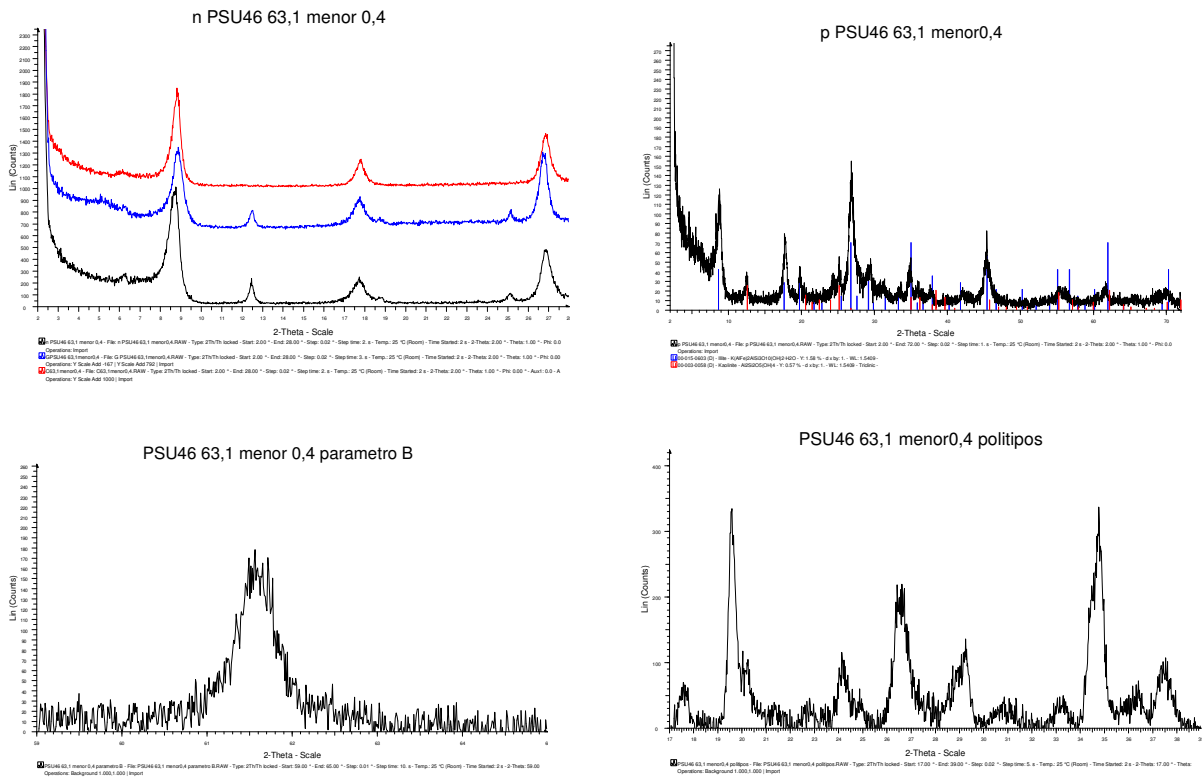


Figura 6: Difractogramas da amostra PSU 46 63,1 menor 0,4 na sequencia: natural, gicolada e calcinada; rocha total; parametro B e politipos.

265,9 <0,2

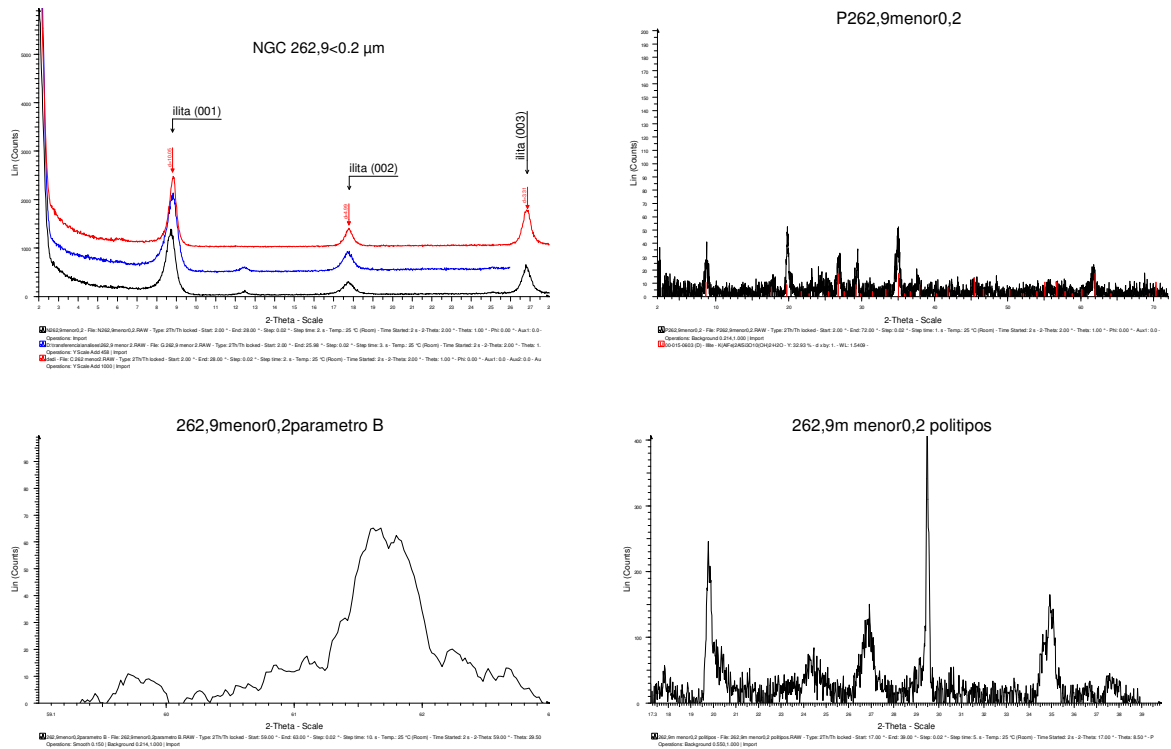


Figura 7: Difratoqramas da amostra 262,9 menor 0,2 na sequencia: natural, glicolada e calcinada; rocha total; parametro B e politipos.

265<1

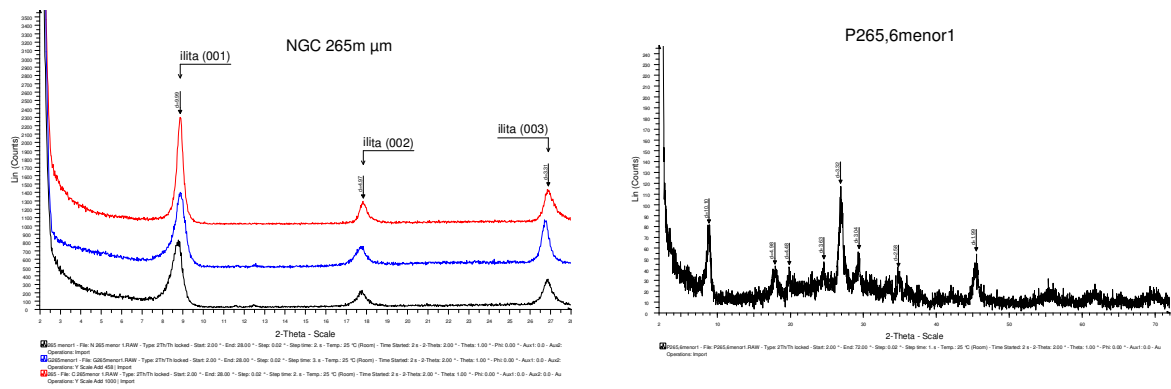


Figura 8: Difratoqramas da amostra 265,6 menor 1 na sequencia: natural, glicolada e calcinada; rocha total.

PSU46 66m <0,1>0,4

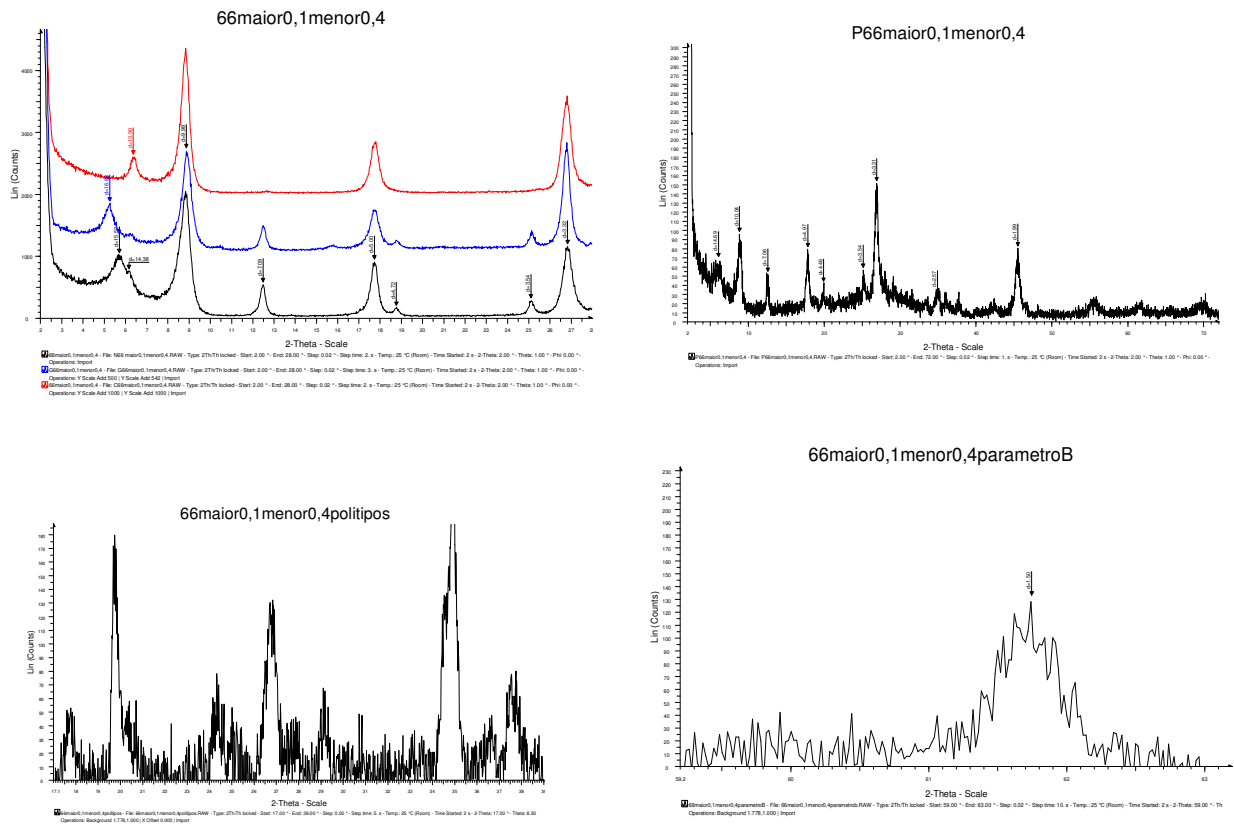


Figura 9: Difratoqramas da amostra PSU 46 66 maior 0,1 menor 0,4 na sequencia: natural, glicolada e calcinada; rocha total; politipos e parametro B .

PSU46 66m <0,1

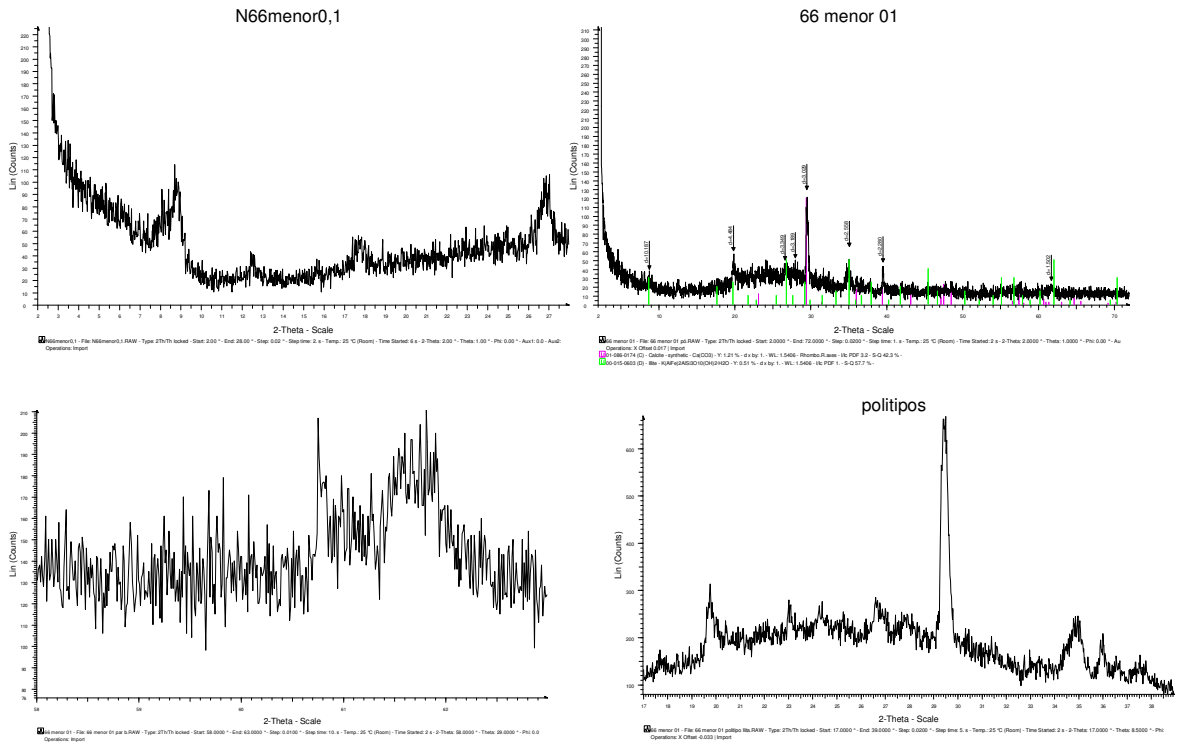


Figura 10: Difractogramas da amostra PSU 46 66 menor 0,1 na sequencia: natural, glicolada e calcinada; rocha total; parametro B e politipos.

PETROGRAFIA

Nesta etapa foram confeccionadas duas lâminas petrográficas delgadas polidas representativas de dois dos seixos zonados (psu 46 66m e U-71-1 265m). As lâminas foram confeccionadas no Laboratório de Apoio Analítico e Preparação de Amostras (ANEXO) do Instituto de Geociências da UFRGS e analisadas em Microscópio binocular MEIJI ML9720 do Departamento de Mineralogia e Petrografia do Instituto de Geociências.

Para aquisição de imagens digitais de feições das lâminas petrográficas utilizou-se o Microscópio Petrográfico Leica DMLP, equipado com câmera digital Sony Exwave HAD.

Os seixos são de composição granítica, compostos por quartzo, mica, plagioclásio e o feldspato encontra-se totalmente alterado e parcialmente substituído por illita. (fig. 11)

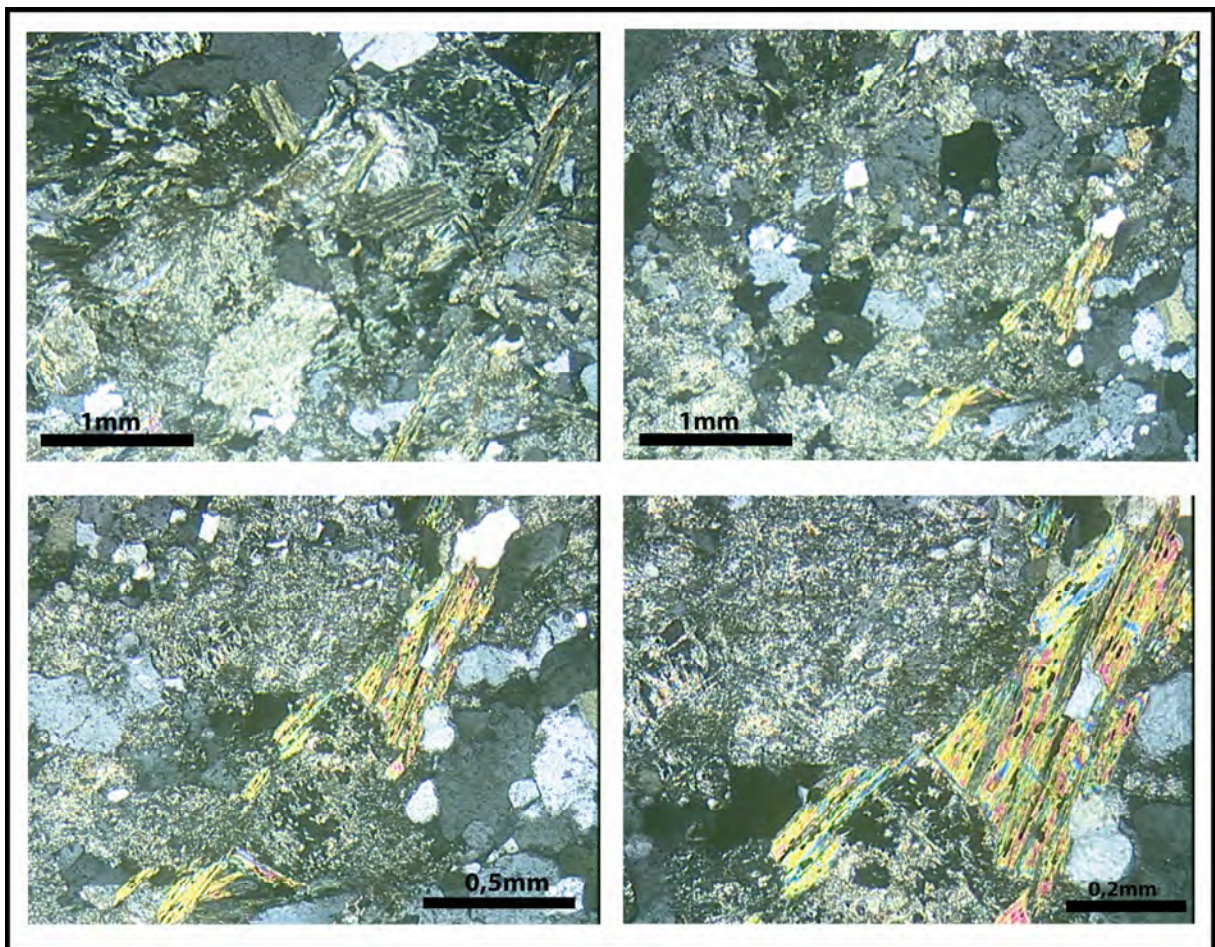


Figura 11: fotomicrografias mostrando grãos de feldspatos completamente alterados e substituídos por illitas.

MEV

Foram realizadas observações morfológicas no microscópio eletrônico Jeol JSM-5800 com detectores de elétrons secundários (SEM), do Centro de Microscopia Eletrônica da UFRGS. O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um equipamento capaz de produzir imagens de alta ampliação (até 300.000 x) e resolução. As imagens fornecidas pelo MEV possuem um caráter virtual, pois o que é visualizado é uma imagem da transcodificação da energia emitida pelos elétrons. O princípio de funcionamento do MEV consiste na emissão de feixes de elétrons por um filamento capilar de tungstênio, mediante a aplicação de uma diferença de potencial que pode variar de 0,5 a 30 kV.

Quando o feixe de elétrons incide sobre um mineral, os elétrons mais externos dos átomos e os íons constituintes são excitados, mudando de níveis energéticos. Ao retornarem para sua posição inicial, liberam a energia adquirida a qual é emitida em comprimento de onda no espectro de raios-x. Um detector instalado na câmara de vácuo do MEV mede a energia associada a esse elétron. Como os elétrons de um determinado átomo possuem energias distintas, é possível, no ponto de incidência do feixe, determinar quais os elementos químicos estão presentes naquele local e assim identificar que mineral está sendo observado. O diâmetro reduzido do feixe permite a determinação da composição mineral em amostras de tamanhos muito reduzidos ($< 5 \mu\text{m}$), permitindo uma análise pontual.

As amostras U-41-1 265m, PSU 46 66m e PSU 63,1m foram quebradas, separadas e suas superfícies foram analisadas. O objetivo dessas análises foi observar a morfologia e a relação das ilitas hidrotermais com os outros componentes microcristalinos da amostra.

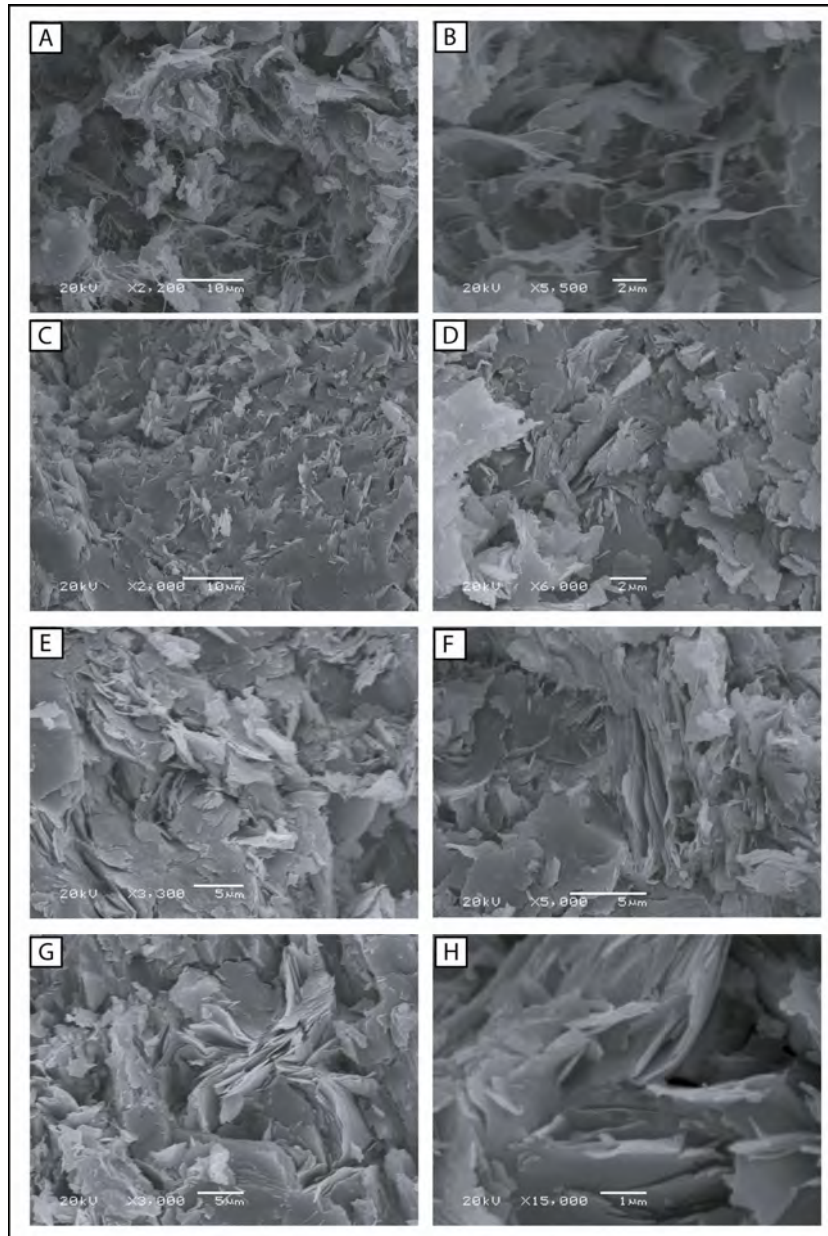


Figura 12: Imagens do Microscópio Eletrônico de varredura, por elétrons secundários mostrando a morfologia encontrada nas ilitas: (A) ilitas filamentosas, (B) detalhe de A; (C) estrutura de organização das partículas; (D) Partículas pseudo-hexagonais; (E) (G) Arranjo das partículas; (F) (H) vista de detalhe das ilitas.

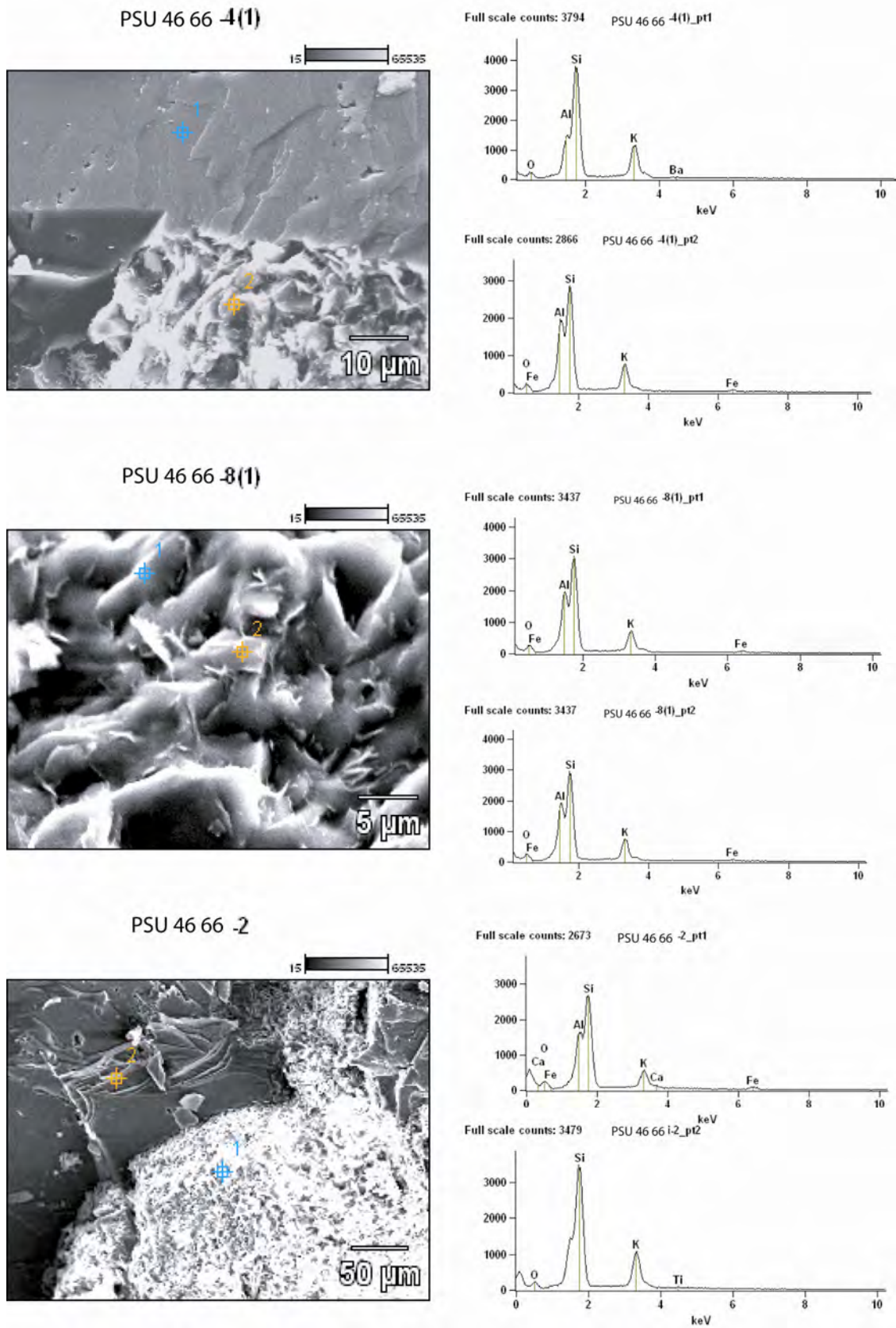


Figura 13: Imagens das ilitas por elétrons secundários e pontos com EDS mostrando a composição química pontual.

DATAÇÃO K-Ar

Após a identificação e caracterização da illita, as frações foram datadas pelo método ^{40}K - ^{40}Ar no CSIRO Petroleum Laboratories na Austrália. Os resultados obtidos (Tab. 2) considerando-se os parâmetros abaixo apresentados podem ser considerados como excelentes:

Sample (ID)	Fraction (μm)	K[%]	Rad.		Age[Ma]	Error[Ma]	Gradstein et al. (2004)
			40Ar[mol/g]	40Ar[%]			
Core PSU 46, 63.1m	<0.4	6,48	5,97E-09	98,1	465,92	9,48	Middle Ordovician
Core PSU 46, 66m	<0.1	6,07	2,83E-09	61,9	250,61	5,38	Lower Triassic
Core PSU 46, 66m	<0.4 >0.1	6,33	6,43E-09	98,65	507,41	10,37	Late Cambrian
Core PSU 46, 66m	<0.3	6,42	6,22E-09	97,58	486,74	9,96	Lower Ordovician
Core U71-1, 262.9m	<0.2	7,93	6,11E-09	98,8	396,84	8,1	Middle Devonian
Core U71-1, 265m	<1	7,2	6,64E-09	98,83	466,23	9,54	Middle Ordovician

Tabela 2- Resultados da datação K-Ar para as diferentes frações.

Considera-se que as idades obtidas são coerentes com dados geocronológicos já existentes para a região (Bonhome & Ribeiro, 1983; Borba, 2003; Maraschin, 2010; Santos 2012). De acordo com a tabela 2, um total de seis idades ^{40}K - ^{40}Ar foram obtidas para estas frações de illita, onde são reconhecidos três grupos:

-um de idades entre 507 e 465 Ma ($507,41 \pm 10,37$; $486,74 \pm 9,96$; $466,23 \pm 9,54$ e $465,92 \pm 9,48$ Ma), ou seja, Cambro-Ordoviciano sempre nas frações mais grossas entre 1 e 0,2 μm ;

-idade de $396,84 \pm 8,1$ Ma, na fração < 0,2 μm e amostra coletada no testemunho mais profundo;

-e idade de $250,61 \pm 5,38$ na fração mais fina (< 0,1 μm) que foi possível separar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida D.P.M., Zeffass H., Basei M.A.S. 1996. Mineralogia, geoquímica e novas idades para o vulcanismo ácido da Bacia do Camaquã, RS. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 39, Anais, 2: 19-21.
- Babinski M., Chemale Jr.F., Hartmann L.A., Van Schmus W.R., Silva L.C. 1996. Juvenile accretion at 750-700 Ma in Southern Brazil. *Geology*, 24 (5): 439-442.
- Barnes D.A., Girard J.P., Aronson J.L. 1992. K-Ar dating of illite diagenesis in the Middle Ordovician St. Peter Sandstone, central Michigan Basin, USA: implications for thermal history. In: Houseknecht D.W., Pittman E.D. (Eds.), *Origin, Diagenesis, and Petrophysics of Clay Minerals in Sandstone, SEPM Special Publications (Society for Sedimentary Geology)*, v. 47, p. 35-48.
- Beckel J. 1990. Metalogenia Del Cu, Pb y Zn em la Cuenca de Camaquã durante el ciclo orogénico Brasileiro, RS. 275p. Tese de Doutorado em Geociências, Universidade de Salamanca, Espanha.
- Beckel J. 1992. Evolução geotectônica da Bacia do Camaquã, RS – proposta de classificação dentro de um conceito mobilista. In: *WORKSHOP SOBRE AS BACIAS MOLÁSSICAS BRASILIANAS*. Boletim de Resumos Expandidos, p. 1-5.
- Bettencourt J.S. 1972. A Mina de Cobre de Camaquã, Rio Grande do Sul. São Paulo. 175p. Tese de Pós-Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Bicca M. 2009. Estudos Tectônicos na Sub-Bacia Camaquã Central, Região das Minas do Camaquã, RS. Monografica de conclusão do curso de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Bonhomme M.G., Ribeiro M.J. 1983. Datação K-Ar das argilas associadas a mineralizações de cobre da Mina Camaquã e de suas encaixantes. In: *Simpósio Sul-brasileiro de Geologia*, 1, vol. 1, pp. 82-88.
- Bonhomme M.G., Thuizat R., Pinault Y., Clauer N., Wendling R., Winkler R. 1975. Méthode de datation potassium-argon. *Appareillage et technique*. Strasbourg.
- Borba A.W., Lima E.F., Vignol-Lelarge M.L.M., Mizusaki A.M., Sparrenberg I., Barros C.E. 2003. Significance of Late Paleozoic Fission-track Ages in Volcanic Rocks from the Lavras do Sul Region, Southernmost Brazil. *Gondwana Research*, v. 6 (1), 79-88.
- 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, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 110p.

- Borba, A.W., Mizusaki, A.M., Santos, J.O.S., McNaughton, N.J., Ones, A.T., Hartmann, L.A., 2008. U-Pb zircon and ^{40}Ar - ^{39}Ar K-feldspar dating of syn-sedimentary volcanism of the Neoproterozoic Maricá Formation: constraining the age of foreland basin inception and inversion in the Camaquã Basin of Southern Brazil. *Basin Research* 20, 359-375.
- Carvalho P.F. 1932. Reconhecimento geológico no Estado do Rio Grande do Sul. *Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil*, 66:1-72.
- Chemale Jr.F., Hartmann L.A. 1995. Stratigraphy and tectonism of the Brasiliano Cycle in Southern Brazil. *Communications of the Geological Survey of Namíbia*, 10, 151-166.
- Chemale Jr, F. 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-Riograndense. In Holz, M & De Ros, L. F. *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, RS. p. 13-52.
- Dalrymple G.B., Lanphere M.A. 1969. Potassium-Argon Dating. Freeman, San Francisco, USA. 258p.
- Fernandes L.A.D., Tommasi A. & Porcher C.C. 1992. Deformation patterns in the southern brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. *Journal of South- America Earth Sciences*, 5 (1):77-96.
- Fambrini G.L. 1998. O Grupo Camaquã (Transição Proterozóico- Fanerozóico) na região das Minas do Camaquã, RS: Análise estratigráfica de fácies, proveniência e paleocorrentes. São Paulo. 182p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Fambrini G.L., Janikian L., Paes de Almeida R., Fragoso-César A.R.S. 2003. O Grupo Santa Bárbara (Neoproterozóico III) na sub-bacia Camaquã Central, RS. In *Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudos e Bacias*, Porto Alegre, 2003, pp. 116-122.
- Fambrini G.L., Janikian L., Paes de Almeida R., Fragoso-César A.R.S. 2005. O Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na sub-bacia Camaquã Central, RS: estratigrafia e sistemas deposicionais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35 (2), pp. 227-238.
- Fragoso-Cesar A.R.S. 1980 O Cráton Rio de La Plata e Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul-Riograndense. In.: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 31. *Balneário Camburiú, 1980*. Anais... Balneário de Camburiú, SBG. v.5, p. 1879-2892.
- Fragoso-Cesar A.R.S, Wernick E & Soliane Jr.E. 1982a. Associações petrotectônicas do cinturão Dom Feliciano (SE da Plataforma Sul- Americana). In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 32., 1982 Salvador. Anais... Salvador: SBG. v. 1, p. 1-12.
- Fragoso-Cesar A.R.S, Wernick E & Soliane Jr.E. 1982b. Evolução Geotectônica do Cinturão Dom Feliciano – Uma contribuição através da aplicação do modelo de

tectônica de Placas. In: *Congresso Brasileiro de Geologia, 32*. Salvador, 1982. Anais... Salvador. SBG. v.1, p. 13-23.

Fragoso-Cesar A.R.S. 1983. Evolução Paleoambiental e Tectônica da Bacia do Camaquã (RS): Uma introdução. Dissertação de Mestrado, UFRGS.

Fragoso-Cesar A.R.S, Lavina E.L., Paim P.S.G. & Faccini U.F. 1984. A antefossa molássica do cinturão Dom Feliciano no Escudo do Rio Grande do Sul. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33.*, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBG. v. 7, p. 3272-3283.

Fragoso-Cesar A.R.S., Faccini U.F., Paim P.S.G., Lavina E.L., Altamirano J.A.F. 1985. Revisão na estratigrafia das molassas do Ciclo Brasileiro no Rio Grande do Sul. In: *Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, 2*. Florianópolis, SBG. p. 477-491.

Fragoso-Cesar A.R.S, Machado R, Rifas C.G. 1987. Observações sobre o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio e correlações com o escudo do Rio Grande do Sul. In: *Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 3*. Curitiba, Atas... Curitiba, SBG. v.2, p. 791-809.

Fragoso-César 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, Universidade de São Paulo, 366 p.

Fragoso-Cesar A.R.S, Machado R., Sayeg H.S. & Fambrini G.L. 1992. Bacias orogênicas do ciclo Brasileiro no Rio Grande do Sul e Uruguai. In: *WORKSHOP SOBRE AS BACIAS MOLÁSSICAS BRASILIANAS*. Boletim de Resumos Extendidos. p. 47-53.

Fragoso-César A.R.S., Fambrini G.L., Paes de Almeida R., Pelosi A.P.M.R., Janikian L., Riccomini C., Machado R., Nogueira A.C.R., Saes G.S. 2000 The Camaquã Extensional Basin: Neoproterozoic to Early Cambrian sequences in southernmost Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v.30 (3), pp.438-441.

Fragoso-César A.R.S., Paes de Almeida R., Fambrini G.L., Pelosi A.P.M.R., Janikian L. 2003 a Bacia Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III – Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. In: *I Encontro sobre a estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudos e Bacias*, pp. 139-144.

Gonzalez M. & Teixeira G. 1980. Considerações sobre estratigrafia e ambientes de sedimentação da Região das Minas do Camaquã e Jazida Santa Maria – Rs, In: *Congresso Brasileiro de Geologia, 31*. Balneário de Camburiú, 1980. Anais... Balneário de Camburiú, SBG. V. 3, p. 1513-1524.

Hartmann L.A, Silva L.C, Remus M.V.D., Leite J.A.D., Philipp R.P. 1998. Evolução Geotectônica do Sul do Brasil e Uruguai entre 3,3 Ga e 470 Ma. In: *Congresso Uruguaio de Geologia 2*, Punta del Este, pp. 277-284.

- Hartmann L.A., Chemale Jr.F. & Philipp R.P. 2007. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: Iannuzzi, R & Frantz, J. C. *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre. p. 99-123 .
- Heinrichs H., Herrmann A.G. 1990. *Praktikum der Analytischen Geochemie*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 211p.
- Issler R.S. 1985 Bacia Periférica Camaquã-Itajaí: elemento tectônico desenvolvido pela tectônica de placas. In: *Simpósio Sul-brasileiro de Geologia*, 2, pp.184-198.
- Janikian L., Almeida R.P., Fragoso-Cesar A.R.S., Corrêa & Reis Pelosi A.P.M.R. 2005. Evolução Paleoambiental e Sequências Depositionais do Grupo Bom Jardim e da Formação Acampamento Velho (Supergrupo Camaquã) na Porção Norte da Sub-Bacia Camaquã Ocidental. *Revista Brasileira de Geociências*, **35**(2):245-256.
- Janikian L., Almeida R.P., Trindade R.I.F., Fragoso-Cesar A.R.S., D'Agrella Filho M.S., Dantas E.L., Tohver E. 2008. The continental Record of Ediacaran volcano-sedimentary successions in Southern Brazil and their global implications. *Terra Nova*, 20, 259-266.
- Jost H. 1984. Sedimentação e Vulcanismo durante o Ciclo Brasileiro no Rio Grande do Sul: uma revisão. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 33., Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, SBG. v. 7, p. 3241-3257.
- Laux J.H.; Lindenmayer Z.G.; Teixeira J.B.G.; Neto A.B. 2005. Ore Genesis at the Camaquã Copper mine, a neoproterozoic sediment-hosted deposit in Southern Brazil. *Ore Geology Reviews*, 26, 71-89.
- Lavina E.L., Faccini U.F., Paim P.S.G., Fragoso-César A.R.S. 1985. Ambientes de Sedimentação da Bacia do Camaquã, Eo-paleozóico do Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, v.21, pp. 185-227.
- Lee M., Aronson J.L., Savin S.M. 1985. K-Ar dating of Rotliegendes Sandstone, Netherlands. *AAPG Bulletin*, v. 68, 1381-1385.
- Lee M., Aronson J.L., Savin S.M. 1989 Timing and conditions of Permian Rotliegend Sandstone diagenesis, southern North Sea: K-Ar and oxygen isotope data. *AAPG Bulletin*, v. 73, 195-215.
- Leites S.R., Lopes R.C., Wildner W., Porcher C.A., Sander A. 1990 Divisão Litofaciológica da Bacia do Camaquã na folha Passo do Salsinho, Caçapava do Sul RS, e sua interpretação paleoambiental. *Congresso Brasileiro de Geologia* 36, 300-312.
- Lewis C.L.E., Knell S.J. 2001. The age of the Earth from 4004 BC to AD 2002. *The Geological Society of London Special Publication*, n. 190, 288p.
- Loss E.L. & Roisenberg A. 1972. Contribuição à caracterização geotectônica da seqüência sedimentar eo-paleozóica do RS. *Pesquisas*, 1:7-12.

- Maraschin A.J. 2008. Aplicação de Métodos Radiométricos em Minerais Diagenéticos de Rochas sedimentares Siliciclásticas. Tese de doutorado, UFRGS, 289p.
- Mc Dougall I., Roksandic Z. 1974. Total fusion $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages using HIFAR reactor. *Journal of Geological Society of Australia*, v. 21, 81-89.
- Mossmann J.R., Clauer N., Liewing N. 1992. Dating thermal anomalies in sedimentary basins: the diagenetic history of clay minerals in the Triassic sandstones of the Paris Basin, France. *Clay Mineral*, v. 27, 211-226.
- Neuendorf K.E., Mehl J.P., Jackson J.A. 2005. *Glossary of Geology*. Alexandria, VA. American Geological Institute. 800p.
- Oliveira J.M.N.T. & Fernandes L.A.D. 1991. Estágios finais de deformação do Cinturão Dom Feliciano: Tectônica e sedimentação da Formação Arroio dos Nobres. In: *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 3 Rio Claro. *Resumos*. Rio Claro, SBG. P. 58-59.
- Oliveira J.M.N.T. & Fernandes L.A.D. 1992. Bacias Molássicas: Mito ou Realidade? In: *Workshop sobre as Bacias Molássicas Brasileiras*, 1 São Leopoldo, 1992. Boletim de Resumos Expandidos, São Leopoldo, SBG, P. 97-105.
- Paim P.S.G. 1994. Depositional Systems and Paleogeographical evolution of the Camaquã and Santa Barbara Basins, Brazil. 277p. D. Phil Thesis, University of Oxford.
- Paim P.S.G. 1995. Alluvial paleogeography of the Guaritas depositional sequence of Southern Brazil. *Spec Publis int. Ass. Sediment.*, 22: 3-16.
- Paim P.S.G. 1996. O sistema desértico úmido Pedra Pintada (Cambro- Ordoviciano do RS). In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 39., Salvador. Anais... Salvador, SBG. v. 2, p. 207-209.
- Paim P.S.G., Chemale Jr.F. & Lopes R. 2000. A Bacia do Camaquã. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.), *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Editora UFRGS.
- Pelosi A.P.M.R., Fragoso-César A.R.S. 2003 Proposta de classificação litoestratigráfica para o Grupo Maricá. *I Encontro sobre a estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudos e Bacias*. Porto Alegre, Anais, 133-138.
- Remus M.V.D., Hartmann L.A., McNaughton N.J., Groves D.I. & Reischl J.L. 1999. Distal Magmatic- Hydrothermal Origem for the Camaquã Cu (Au- Ag) and Santa Maria Pb, Zn (Cu-Ag) Deposits, Southern Brazil. *Gondwana Research*, V. 3, No 2, pp. 155-174.
- Renne P.R. 2006. Progress and challenges in K-Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology. In: Olszewski, T.D. (Ed.), *Geochronology- Emerging Opportunities*. A Publication of the *Paleontological Society*, v. 12, p. 47-66.

- Ribeiro M.J., Bocchi P.R., Figueiredo Filho P.M. & Tessar R. 1966. Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul, RS, Brasil. *Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral*, DNPM, 127: 232.
- Ribeiro M. & Lichtenberg E. 1978. Síntese da geologia do Escudo do Rio Grande do Sul. In: *Congresso Brasileiro de Geologia, 30*. Recife, 1978. Anais... Recife, SBG. V. 6, p. 2451-2463.
- Ribeiro M. & Fatinel L.M. 1978. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-Riograndense: I Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul. *Iheringia, Série Geológica*, 5: 19-54.
- Ribeiro M.J., Badi W.S.E., Gonzalez A.P., Gonzalez M.A., Licht O.B., Teixeira G. 1980. Jazida Santa Maria, chumbo e zinco estratiformes no Grupo Bom Jardim, Rio Grande do Sul. In: *Congresso Brasileiro de Geologia 31*. Balneário Camburiú, 1980. Anais... Balneário de Camburiú, SBG. V. 3, p. 1725-1742.
- Ribeiro M.J. 1991. Sulfetos em Sedimentos Detríticos Cambrianos do Rio Grande do Sul, Brasil. Tese de Doutorado. IG-UFRGS, 416pp.
- Ribeiro M.J. 1992 Síntese sobre minérios estratiformes da "Bacia do Guaritas". In: Workshop sobre as Bacias Molássicas Brasileiras, 1. São Leopoldo, 1992. *Boletim de Resumos Expandidos*, São Leopoldo, SBG. P. 120-123.
- Robertson J. F. 1966. Revision of the stratigraphy and nomenclature of the rock units in Caçapava – Lavras region, State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Notas e Estudos*, 1 (2):41-54.
- Robinson A.G., Coleman M.L., Gluyas J.G. 1993. The age of illite cement growth, Village Field area, southern North Sea: evidence from K-Ar ages and 18O/16O. *AAPG Bulletin*, v.77, 68-80.
- Steiger R.H., Jager E. 1977. Subcommission on Geochronology: convention on the use of decay constants in geo and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 36, 359-362.
- Soliani Jr. E. 1986. Os dados geocronológicos do Escudo Sul-Riograndense e suas implicações de ordem geotectônica. São Paulo. 425 p.. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Teixeira G. 1978. Contribuição ao estudo das mineralizações cupríferas disseminadas no distrito das minas do Camaquã. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30.*, 1978, Recife. Anais... Recife, SBG. v.4, p. 1644-1654.
- Teixeira G. & Gonzalez A.P. 1988. Minas do Camaquã, Município de Caçapava do Sul, RS. In: Schobbenhaus, C. & Coelho, C.E.S. Cood. *Principais Depósitos do Brasil*, DNPM-CVRD. V.3, p. 33-41.
- Uysal I.T., Golding S.D., Thiede 2001. K-Ar and Rb-Sr dating of authigenic illite-smectite in Late Permian coal measures, Queensland, Australia: implication for thermal history. *Chemical Geology*, v. 171, 195-211.

- Veigel R. 1989. Evolução Diagenética e Mineralização Cu-Pb-Zn dos Red-Beds do Distrito de Camaquã-RS. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília – UnB. 185p.
- Veigel R. & Dardenne M. A. 1990. Paragênese e sucessão mineral nas diferentes etapas da evolução da mineralização de Cu-Pb-Zn do distrito de Camaquã, RS. *Ver. Bras. Geoc.* 20(1/4): 55-67.
- Zhao M.W., Ahrendt H., Wemmer K. 1997. K-Ar systematics of illite/smectite in argillaceous rocks from the Ordos basin, China. *Chemical Geology*, v. 136, 153-169.
- Zwingmann Z., Mancktelow N. 2004. Timing of Alpine fault gouges. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 223, 415-425.
- Zwingmann H., Yamada K., Tagami T. 2006. Nojima and MTL fault zone gouge dating, Japan. *Goldschmidt Conference Abstracts*, v. 86, p.30.
- Zwingmann Z., Clauer N., Gaupp R. 1998. Timing of fluid flow in a sandstone reservoir of the north German Rotliegend (Permian) by K-Ar dating of related hydrothermal illite. In: Parnell, J. (Ed.), *Dating and Duration of Fluid Flow and Fluid-Flow Interaction. Geological Society of London Special Publications*, v. 144, p. 91-106.
- Zwingmann H., Clauer N., Gaupp R. 1999. Structure related geochemical (REE) and isotopic (K-Ar, Rb-Sr and $^{18}O/^{16}O$) characteristics of clay minerals from Rotliegend sandstone reservoir (Permian, northern Germany). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 63, 2805-2823.

ANEXO A – CARTA DE BUBMISSÃO DA REVISTA JOURNAL OF SOUTH AMERICA HEARTH SCIENCE

de: **Journal of South American Earth Sciences** <kellogg@geol.sc.edu>
para: dedigeo@gmail.com
data: 28 de fevereiro de 2013 14:48
assunto: Submission Confirmation

Dear Ms. Denise Canarim,

We have received your article "40K-40Ar Dating of illites associated with hydrothermal processes in mineralized regions - an application in the Camaquã Mines (Camaquã Basin, southern Brazil)" for consideration for publication in Journal of South American Earth Sciences.

Your manuscript will be given a reference number once an editor has been assigned.

To track the status of your paper, please do the following:

1. Go to this URL: <http://ees.elsevier.com/sames/>
2. Enter these login details:
Your username is: dedigeo@gmail.com
If you need to retrieve password details, please go to:
http://ees.elsevier.com/sames/automail_query.asp
3. Click [Author Login]
This takes you to the Author Main Menu.
4. Click [Submissions Being Processed]

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System
Journal of South American Earth Sciences

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“DATAÇÃO ^{40}K-^{40}Ar DE ILITAS ASSOCIADAS PROCESSO HIDROTERMAIS EM REGIÕES MINERALIZADAS – A APLICAÇÃO NAS MINAS DO CAMAQUÃ (BACIA DO CAMAQUÃ, SUL DO BRASIL)”
Área de Concentração: GEOQUIMICA
Autor: DENISE MOREIRA CANARIM
Orientador: Prof. Dr. ANDRÉ SAMPAIO MEXIAS
Examinador: Prof. Dra. DELIA DEL PILAR MONTECINOS DE ALMEIDA
Data: 30/03/2013
Conceito: B
<p style="text-align: center;">PARECER:</p> <p>O tema corresponde principalmente as idades ^{40}K-^{40}Ar obtidas em ilitas as quais foram separadas de amostras de granitos da região das minas do Camaquã.</p> <p>A dissertação está bem organizada, tendo um capítulo I, apresentado de forma clássica, com introdução, objetivos, localização da área, estado da arte, contexto geológico e materiais e métodos, todos estes itens em geral, muito bem explicados.</p> <p>Cabe mencionar, que a revisão bibliográfica foi muito restrita, assim chama a atenção a não citação no contexto geotectônico trabalhos de pesquisadores como M. Basei et al. (2000) e Silva et al (2005). Sobre a Bacia do Camaquã artigos de Almeida et al. (2000) sobre Rodeio Velho, Almeida et al (2002) sobre a Fm. Acampamento Velho; Almeida et al.(2005) sobre Acampamento Velho e Rodeio Velho, com dados isotópicos e Almeida et al (2012), onde novas idades U-Pb são apresentadas para os lamprófios da Fm. Hilário, para as rochas da base da Fm. Acampamento Velho e para o Membro Rodeio Velho em capítulo de livro (www.intechopen.com) creio que deveriam ter sido lidos e citados.</p> <p>Penso que se consideramos a idade U-Pb de 547 ± 6.3 Ma (em 5 zircões) obtida por Almeida et al. (2012) para o Membro Rodeio Velho, a idade de 535 ± 10 Ma (Hartmann et al. 2008), feita em zircões detríticos coletados na parte superior do grupo Guaritas e a idade de 470 Ma (em 1 zircão) apresentada por Hartmann <i>et al.</i> (1998), com esta última idade sugerindo que o Magmatismo Rodeio Velho não tenha uma relação direta com o término dos eventos relacionados ao desenvolvimento do Cinturão Dom Feliciano, mas sim, com o início da instalação da Bacia do Paraná, uma discussão interessante poderia ter sido realizada, mais ainda se consideramos que para todos os pesquisadores que trabalham e trabalharam na Bacia do Camaquã, o Membro Rodeio Velho corresponde ao último evento vulcânico associado a evolução da Bacia de Camaquã e esta intercalado as rochas sedimentares da base do Grupo Guaritas. Faltou um pouco de revisão bibliográfica.</p>

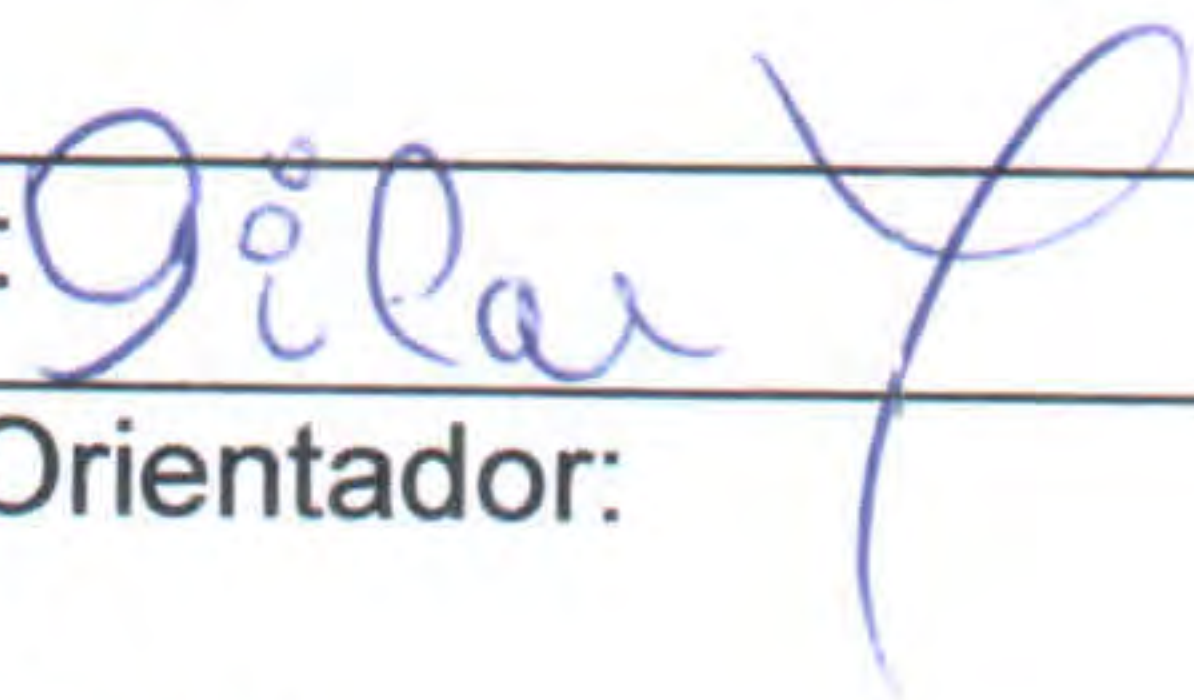
Com relação às Minas de Camaquã, tem um artigo na Acta Geologica Leopoldensia (2001) de Lima, L. "El distrito Minero de Camaquã: Um ejemplo de mineralizaciones tipo epi-mesotermales ..." onde a autora menciona que "o Magmatismo Rodeio Velho pode corresponder ao centro gerador do calor e/ou das soluções hidrotermais que contribuíram na geração das mineralizações de Cu (Ag, Au), Pb e Zn (Cu, Ag) das Minas do Camaquã e Jazida Santa Maria, assim como de outras regiões nos arredores". Esta ideia já tinha sido mencionada pela autora em sua dissertação defendida em 1996. Esse artigo sobre as mineralizações talvez pudesse ter contribuído em alguns tópicos discutidos pela autora.

No capítulo II da dissertação, se apresenta o artigo enviado ao Journal of South America Earth Sciences. Sobre este artigo, mantenho minha opinião manifestada acima, falta incluir dados geocronológicos mais atuais, que com certeza permitiriam a autora fazer uma discussão mais completa sobre a relação das idades das rochas e as idades por ela obtida das ilitas. Artigo interessante, onde se entregam as idades ^{40}K - ^{40}Ar obtidas pela autora a comunidade científica, com boas figuras e fotos. Onde também pode apreciar-se o estudo ao microscópio polarizante e no microscópio eletrônico de varredura feito pela autora.

Por último, no capítulo III, a autora apresenta os resultados das técnicas por ela utilizados na sua pesquisa.

Senti falta de um capítulo final integrador, com uma discussão geral e discussão direta de como o trabalho preencheu a lacuna na geocronologia da bacia do Camaquã.

Assinatura:



Data: 30/03/2013

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"DATAÇÃO 40K-40Ar DE ILITAS ASSOCIADAS A PROCESSOS
HIDROTERMAIS EM REGIÕES MINERALIZADAS - UMA APLICAÇÃO NAS
MINAS DO CAMAQUÃ (BACIA DO CAMAQUÃ, SUL DO BRASIL)"

Área de Concentração: Geoquímica

Autor: DENISE MOREIRA CANARIM

Orientador: Prof. Dr. André Sampaio Mexias

Examinador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Dornelles Remus

Data: 21.06.13

Conceito: A

PARECER:

A dissertação de Mestrado apresentada na forma de artigo científico está adequada às normas da ABNT e contém todos os elementos exigidos e necessários a uma monografia deste nível.

As ilustrações são adequadas e o texto do manuscrito contém as informações e base de dados para propor as conclusões.

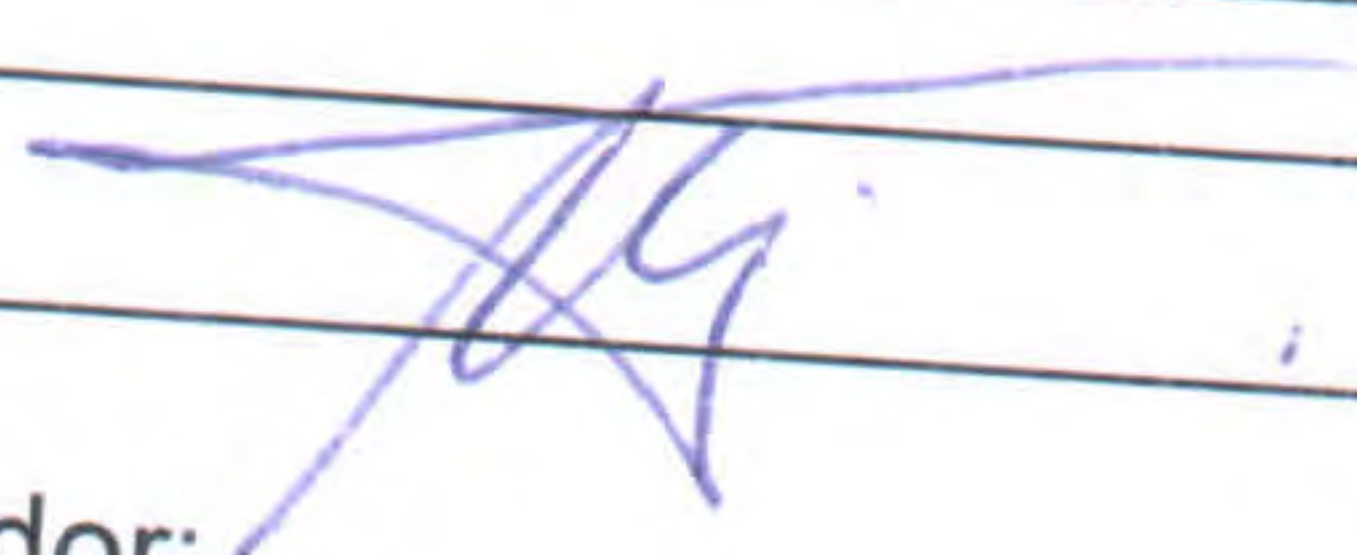
É necessário revisar alguns aspectos especialmente a coerência de alguns itens de escrita e corrigir a lista de referências.

O foco do trabalho deve ser as idades das mineralizações das Minas do Camaquã baseadas em novos dados K-Ar em plotas separadas de seixos de granitos. Os novos dados deverão ser publicados em resultados obtidos em parte de Bohmer & Ribeiro 1983. Esta referência foi omitida no artigo de dissertação e deve ser incluída por natureza de trabalho para de referência na área mineralizada.

A autora deve fazer uma revisão nas idades do hidrotermalismo atribuído ao Membro Formação Pedra Velha pois existem dados novos na literatura que não foram citados e um levantamento no artigo. Tais trabalhos

dos de Sanivian et al indican
idades tectônicas para a unidade Prolejo velho.
As idades obtidas por Hartman
et al 1998 deve ser analisada
com cautela pois foram obtidas
num único grão de zircão e não
possuem representatividade e por isso
nem mesmo significado geológico
relevante. Conclui-se que o fato do
K-Ar em plátos da região de
Mina de Lama que não mostra
de discussões sobre o significado
dos valores obtidos comparados
a todos os dados disponíveis
na região (vulcanismo e plutonismo
& tectonismo) - considerando a importância
também de outros fatores tais como
de deposição do minério e a idade
estimada para deposição da tilita.

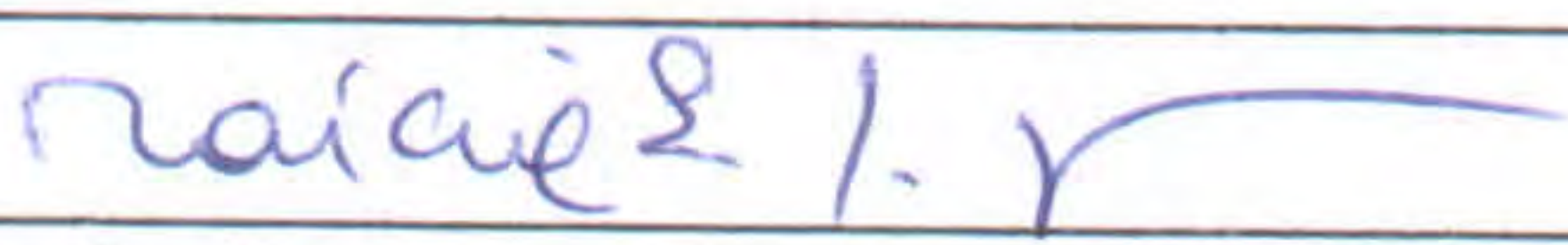
Assinatura:



Data: 21.06.13

Ciente do Orientador: _____

Ciente do Aluno: _____

ANEXO I	
Título da Dissertação/Tese:	
Área de Concentração: Geoquímica	
Autora: Denise Canarin	
Orientador: Prof. Dr. André Sampaio Mexias	
Examinador: Profa. Dra. Márcia Elisa Boscato Gomes	
Data:	
Conceito: A	
PARECER:	
<p>A dissertação tem um objetivo claro a desenvolver. Para isso foram selecionadas amostras representativas do processo de alteração. Foi realizada a separação das ilitas e foram utilizadas diversas técnicas de caracterização deste mineral, como DRX e MEV para a identificação e o controle da pureza da separação mineral. Este mineral foi encaminhado para datação.</p> <p>A autora demonstra domínio de todas as técnicas, sua utilização e interpretação dos resultados.</p> <p>Os resultados obtidos são plenamente condizentes com uma dissertação de mestrado e representam uma contribuição importante para o conhecimento dos processos hidrotermais e de mineralização e para o conhecimento do intervalo de tempo de sua ocorrência.</p> <p>Sugiro um aprofundamento na análise petrográfica destes seixos que mostram um processo muito particular de alteração.</p>	
Assinatura: 	Data: 21/06/13
Ciente do Orientador:	
Ciente do Aluno:	