



**GEOQUÍMICA DE METACARBONATOS DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE
NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO SUL E ARROIO GRANDE, RS**

Porto Alegre, 2013

LEONARDO PAVLAK NEIS

**GEOQUÍMICA DE METACARBONATOS DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE
NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO SUL E ARROIO GRANDE, RS**

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

Orientadores: Prof. Dr^a. Ana Maria Pimentel Mizusaki
Prof. Dr. Edinei Koester

Porto Alegre, 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Neis, Leonardo Pavlak

Geoquímica de metacarbonatos do Escudo Sul-Rio-Grandense na região de Caçapava do Sul e Arroio Grande, RS . / Leonardo Pavlak Neis. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2013.
[61 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2013.

Orientador: Ana Maria Pimentel Mizusaki; Edinei Koester

1. Metacarbonatos. 2. Geoquímica. 3. Escudo Sul-Rio-Grandense. 4. Geologia isotópica. I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação
Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS
Veleida Ana Blank CRB 10/571

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **“GEOQUÍMICA DE METACARBONATOS DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO SUL E ARROIO GRANDE, RS”**, elaborado por **“LEONARDO PAVLAK NEIS”**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Marcus Vinicius Dorneles Remus

Prof. Dr. Pedro Antônio Roehe Reginato

Prof. Dr. Norberto Dani

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à minha mãe (Magda) que, além de mãe e amiga, nunca mediu esforços para me possibilitar uma educação de qualidade,

Ao meu pai (Alfredo) pelo incentivo para entrar e me formar em uma universidade federal.

Aos meus demais familiares, que sempre buscaram me ajudar.

À minha namorada, Lívia Pommerening, que me ajudou a manter o stress (e a quantidade de chocolate e de café) em níveis normais no final do TCC, quando tudo parecia que daria errado e que não daria tempo.

Aos meus melhores amigos da faculdade, desde o início, Cristiane Zatt Costa, Diego Skieresz de Oliveira e Daiane dos Santos Cardoso (principalmente depois de eu me atrasar no curso) pela amizade que durará para sempre, pelas muitas risadas - e xingamentos de raiva também.

Àqueles que eu fui me aproximando com o passar do tempo: Eliel, Chico, Rafa, Mineiro.

Aos meus irmãos e amigos escoteiros: do GEAS (em especial meus irmãos de chafia Rodrigo, Marina e Carol) e da Sociedade do Anel.

Aos meus amigos Ivos pela diversão e parceria em vários anos.

Aos meus colegas de trabalho na CPRM, em especial ao meu chefe Wilson Wildner (que até consegui fazer eu gostar um pouquinho de rochas vulcânicas), ao meu gerente João Toniolo e à minha colega de sala, Magda Bergmann.

À Prof^a. Ana Maria Mizusaki, por me orientar por mais de quatro anos, discutindo comigo todas as minhas dúvidas neste e em outros temas da geologia.

Ao Prof. Edinei Koester, por quem tenho imensa admiração, pelo incentivo e confiança e pelas conversas sérias ou descontraídas nas saídas de campo ou no laboratório.

À UFRGS e ao Instituto de Geociências pelo ensino competente.

Muito obrigado!

"Se você quiser viver sua vida de maneira criativa, não pode olhar para trás.
Precisa estar disposto a pegar tudo o que fez e quem foi e jogar fora."

Steve Jobs

RESUMO

Neste trabalho, foram escolhidas três áreas de estudo no Escudo Sul-Rio-Grandense onde afloram metacarbonatos metamorfizados sob condições de fácies xisto verde superior a anfibolito. Duas delas (pedreiras Fida e Mudador) situam-se na região centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, próximo à cidade de Caçapava do Sul, e a outra (pedreira Matarazzo) na região sul, próximo à cidade de Arroio Grande. Foram coletadas amostras de cerca de setenta pontos nas três localidades. Com elas, foram confeccionadas lâminas petrográficas, e realizadas análises geoquímicas de rocha total para elementos maiores e traços, análises de difração de raios X e análises isotópicas de Sr. As análises petrográficas e de difração de raios X permitiram a identificação de calcita como mineral dominante nos metacarbonatos Matarazzo, enquanto que a dolomita ocorre em maior proporção no Mudador e no Fida, o que também pode ser confirmado pelas análises químicas, que mostram elevadas concentrações de MgO no Mudador (18,73%) e Fida (20,7%) em relação a outra localidade (0,51%) e de altas quantidades de CaO para os mármore da pedreira Matarazzo (52,29%) quando comparados com as localidades Fida (30,88%) e Mudador (27,74%). Sob ponto de vista isotópico, as análises de Sr mostram razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ao redor de 0,704 para os metacarbonatos da Fida, enquanto que valores mais elevados são observados para os metacarbonatos Mudador (0,711) e Matarazzo (0,706). Esses resultados indicam idades deposicionais mais antigas para os metacarbonatos Fida (900 a 930 Ma - Neoproterozóico, período Toniano) e Matarazzo (820 a 870 Ma - Neoproterozóico, períodos Criogeniano e Toniano) em comparação com o Mudador (550 Ma - Neoproterozóico, período Ediacarano). Conclui-se, portanto, que os mármore em estudo neste trabalho não se formaram em uma mesma bacia sedimentar. Os mármore Fida e Mudador, devido a sua grande semelhança de composição química e mineralógica formaram-se no mesmo oceano, diferentemente dos mármore Matarazzo, que foram precipitados em uma outra bacia e em um evento posterior.

Palavras-Chave: Metacarbonatos. Geoquímica. Escudo Sul-Rio-Grandense, Geologia isotópica. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

ABSTRACT

In this paper, three study areas in the Sul-Rio-Grandense Shield were chosen, where outcrop metamorphosed (green schist to amphibolite facies) carbonates that. Two of the three sampled successions (Fida and Mudador quarries) are located at the south-central region of the Rio Grande do Sul state, next to Caçapava do Sul city, and the other (Matarazzo quarry) at the south region, next to Arroio Grande city. About seventy spots in the three localities were sampled. With them, petrographic slides were confectioned, and performed major and trace chemical elements, X ray diffraction and Sr isotopic analysis. The petrographic and X ray analysis allowed to indentify calcite as dominant mineral in the Matarazzo marbles, while the dolomite occurs in a higher proportion in the Mudador and Fida, what can be also confirmed by the chemical analysis, wich shows higher concentration of MgO in Mudador (18,73%) and Fida (20,7%) than the other locality (0,51%) and high concentrations of CaO to the Matarazzo marbles (52,29%) when compared with the Fida (30,88%) and Mudador (27,74%) localities. From the isotopic point of view, the Sr analysis shows around 0,704 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio to the Fida marbles, while higher values are observed to the Mudador (0,711) and Matarazzo (0,706) marbles. This results indicate older depositional ages to the Fida (900 to 930 Ma - Neoproterozoic, Tonian period) and Matarazzo (820 to 870 Ma - Neoproterozoic, Cryogenian and Tonian period) compared to the Mudador (550 Ma - Neoproterozoic, Ediacaran period) marbles. Due to its close chemical and mineralogical similarity, the Fida and Mudador marbles were formed, therefore, at the same ocean, differently of the Matarazzo marbles, that were precipitated in another sedimentary basin and at a posterior event.

Key words: Geochemistry. Sul-Rio-Grandense Shield, Isotópica geology. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa do estado do Rio Grande do Sul com as cidades próximas às áreas de estudo e as rodovias de acesso a elas a partir de Porto Alegre destacadas.....	16
Figura 2. Mapa geológico do Rio Grande do Sul com as áreas de estudo destacadas em amarelo – região de Caçapava do Sul – e branco – região de Arroio Grande. (Modificado de Wildner et al., 2007).	20
Figura 3. Principais unidades geotectônicas do Sul do Brasil e Uruguay. Zonas de Cisalhamento: 1- Itajaí-Perimbó, 2- Major Gercino, 3- Santana da Boa Vista, 4- Dorsal de Canguçu, 5- Passo do Marinheiro, 6- Ibaré, 7- Sarandi Del Y, 8- Sierra Ballena, 9- Cerro Amaro, 10- Arroio Grande. (Extraído de Lopes, 2012).	20
Figura 4. Mapa geológico da região de Caçapava do Sul com as áreas de estudo destacadas em amarelo (Fida) e branco (Mudador). (Modificado de Remus <i>et al.</i> , 2000).	21
Figura 5. Mapa geológico da região de Arroio Grande com a área de estudo destacada em amarelo (Modificado de Ramos & Koester, submetido).	22
Figura 6. Fotografias das pedreiras em estudo neste trabalho; a) pedreira Fida - aspecto geral, destacando as diversas bancadas; b) pedreira Fida - mármores cortados por sills graníticos; c) pedreira Fida - intercalações métricas a centimétricas de níveis xistosos dentro dos mármores; d) pedreira Mudador - mármores escuros fraturados e dobrados; e) pedreira Mudador - aspecto geral da porção norte da pedreira; f) pedreira Mudador - veios milimétricos a centimétricos cortando os mármores; g) pedreira Matarazzo - foto geral; h) pedreira Matarazzo - fragmentos de rocha máfica dentro dos mármores, com ocorrências centimétricas a métricas.	24
Figura 7. Imagem de satélite da pedreira Matarazzo obtida através do software <i>Google Earth</i>	25
Figura 8. Fluxograma do projeto.	27
Figura 9. Microscópio óptico utilizado na descrição das lâminas petrográficas, modelo <i>Leica ME-LP</i>	31

Figura 10. Esquema simplificado do funcionamento de um difratômetro de raios X. Extraído de Ramos (2011).....	32
Figura 11. Difratômetro utilizado para as análises do projeto, modelo <i>SIEMENS – D 5000</i>	33
Figura 12. A) Processo de abertura das amostras. B) Colunas de troca catiônica.....	35
Figura 13. Espectrômetro de massa TIMS modelo <i>VG-54</i> do Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da UFRGS.....	35
Figura 14. Fotomicrografia das lâminas da pedra Fida; a) aspecto geral dos mármores dolomíticos (LP - aumento de 25X); b) detalhe mostrando a textura granoblástica dos grãos de dolomita (LP - aumento de 25X); c, d) xistos com destaque para a textura lepidoblástica das biotitas (LN, LP - aumento de 100X).	38
Figura 15. Fotomicrografias de lâminas das pedreiras Mudador e Matarazzo; a) pedra Mudador - aspecto geral dos mármores, com destaque para a dimensão de aproximadamente 0,08 mm dos cristais da matriz (LP - aumento de 100X); b) pedra Mudador - veio milimétrico preenchido por quartzo (LP - aumento de 100X); c) pedra Mudador - veio milimétrico preenchido por calcita, com tamanho de grão superior ao apresentado pela matriz (LP - aumento de 100X); d) pedra Matarazzo - aspecto geral dos mármores (LP - aumento de 25X); e) pedra Matarazzo - detalhe do crescimento dos cristais de calcita segundo orientação preferencial (LP - aumento de 25X); f) pedra Matarazzo - contato entre mármore e o sienito (LP - aumento de 25X); g) pedra Matarazzo - aspecto geral do tonalito (LP - aumento de 25X); h) pedra Matarazzo - titanita presente como mineral acessório da rocha (LP - aumento de 100X).	39
Figura 16. Difratogramas das amostras da pedra Fida. A) FID-01; B) FID-03.....	41
Figura 17. Difratograma da amostra MUD-05 da pedra Mudador.	42
Figura 18. Difratogramas das amostras da pedra Matarazzo. A) MAT-01; B) MAT-02.....	43

Figura 19. A) Diagrama CaO x MgO; B) Diagrama CaO x SiO₂; C) Diagrama CaO x Fe₂O₃; D) Diagrama CaO x Al₂O₃; E) Diagrama SiO₂ x MgO; F) Diagrama SiO₂ x Fe₂O₃..... 47

Figura 20. Curva de variação da razão isotópica ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ao longo do Neoproterozóico. No campo em azul, interpretação das amostras Matarazzo; em verde, interpretação das amostras Fida; no campo em vermelho, interpretação das amostras Mudador. (Modificado de Halverson & Shields-Zhou, 2011)..... 52

Figura 21. Diagramas com parâmetros indicativos da interação dos mármorees com fluidos não marinhos após sua precipitação. A) Diagrama ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr X Mn/Sr, mostrando no campo inferior, amostras com conteúdo primário e, no campo superior, conteúdo diagenético; B) Diagrama Sr/Ca X MnO (ppm), com amostras da pedreira Matarazzo no campo do conteúdo primário e as demais no conteúdo diagenético..... 53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados da geoquímica de rocha total para elementos maiores.	45
Tabela 2. Resultados da geoquímica de rocha total para elementos traços.	46
Tabela 3. Valores da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para cada amostra.	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.2	PREMISSAS.....	14
1.3	HIPÓTESES	15
1.4	OBJETIVOS.....	15
1.5	LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	16
2	ESTADO DA ARTE E GEOLOGIA DAS ÁREAS DE ESTUDO	17
2.1	GEOLOGIA DAS ÁREAS DE ESTUDO	18
2.2	GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS DAS PEDREIRAS	23
3	METODOLOGIA.....	26
3.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
3.2	TRABALHO DE CAMPO	27
3.3	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA A ETAPA DE LABORATÓRIO	
	28	
3.3.1	<i>Lâminas delgadas</i>	29
3.3.2	<i>Análises de difração de raios X e análises isotópicas de estrôncio</i>	30
3.4	LABORATÓRIO.....	30
3.4.1	<i>Microscopia óptica</i>	30
3.4.2	<i>Difratometria de raios X</i>	31
3.4.3	<i>Geoquímica de rocha total</i>	33
3.4.4	<i>Geologia Isotópica (Sr/Sr)</i>	34
4	RESULTADOS	36
4.1	PETROGRAFIA	36
4.2	DIFRATOMETRIA DE RAIOS X.....	40
4.3	GEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL	43
4.4	GEOLOGIA ISOTÓPICA	47
5	DISCUSSÕES	49
6	CONCLUSÕES.....	55
7	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de corpos carbonáticos no Escudo Sul-Rio-Grandense vem sendo citada desde os primeiros trabalhos de mapeamento geológico do Rio Grande do Sul, principalmente após a fundação da Escola de Geologia da UFRGS, em 1957. Mapeamentos geológicos em diversas escalas desta e de outras instituições (UNISINOS, CPRM, DNPM) apontaram em diversas áreas dentro do escudo, lentes de carbonatos metamorfizados encaixados em outras rochas.

Porém, até pouco tempo atrás, essas rochas raramente eram alvo de um estudo detalhado que as colocassem em primeiro plano. Muito menos em comparação umas com as outras, mesmo sabendo-se da importância delas para o entendimento da evolução do Escudo Sul-Rio-Grandense.

Neste sentido, a possibilidade de obtenção de dados com aplicação de uma metodologia envolvendo geoquímica e geologia isotópica torna-se interessante e fundamental. Pode-se dizer que elas formam uma intersecção no sentido de que a estratigrafia de uma determinada área seja calibrada com a coluna de tempo geológico. A estratigrafia aliada a geoquímica e geologia isotópica também apresentam um ponto comum, que é possibilitar uma melhor correlação estratigráfica nos diferentes intervalos de tempo geológico em áreas complexas e nos estudos de proveniência.

Devido a essa circunstância, foram estudadas três sequências carbonáticas no Escudo Sul-Rio-Grandense. Duas delas na área de Caçapava do Sul (Fida e Mudador) e outra na região de Arroio Grande (Matarazzo).

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O estudo das rochas carbonáticas tem se mostrado cada vez mais necessário para o avanço do entendimento das bacias sedimentares e sua relação com a estratigrafia, principalmente no Pré-Cambriano. Entretanto, poucos trabalhos no Brasil apresentam estudos com enfoque principal nos carbonatos. E essa situação é pior ainda quando se tratam de carbonatos metamorfizados (Abreu Lima, 1997; Alvarenga *et al.*, 2007b; Figueiredo, 2010; Cunha, 2012).

No Escudo Sul-Rio-Grandense, Bortolotto (1987 e 1988), Remus *et al.* (2000), Gazzoni (2010) e Goulart *et al.* (2013) são alguns dos trabalhos que colocam em primeiro plano o estudo dessas rochas.

Nesse sentido, procurou-se verificar como as diversas técnicas propostas para esse trabalho funcionaram em carbonatos metamorfizados do Escudo Sul-Rio-Grandense.

1.2 PREMISAS

Razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, geoquímica de elementos maiores, menores e traços, (além de parâmetros isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$, que não serão realizados neste trabalho) têm sido utilizados com sucesso para a determinação de idades deposicionais de carbonatos na América do Sul (Alvarenga *et al.*, 2007a; Misi *et al.*, 2007) e Europa (Melezhik *et al.*, 2005). Conforme demonstrado por Melezhik *et al.* (2005), até mesmo mármore com alto grau de metamorfismo preservam seus conteúdos isotópicos de Sr, C e O, permitindo correlações estratigráficas com a água do mar em diferentes períodos geológicos.

Além disso, a possibilidade de se realizar uma boa amostragem nessas regiões torna o projeto viável para verificar e comparar os resultados com trabalhos de diversos autores da literatura, anteriormente citados.

1.3 HIPÓTESES

Buscando um entendimento da formação dos metacarbonatos do Escudo Sul-Rio-Grandense (precipitação e bacia), trabalha-se com as seguintes hipóteses:

- Os metacarbonatos do Escudo Sul-Rio-Grandense em estudo fazem parte da mesma bacia sedimentar, tendo se formado sob diferentes condições químicas e físicas.
- Tais rochas não sofreram modificações em sua composição química e mineral que comprometam os resultados das análises de geoquímica de rocha total e de geologia isotópica durante a diagênese e/ou o metamorfismo. Sendo assim, são confiáveis os resultados encontrados.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é aplicar técnicas de geoquímica de rocha total, petrografia, difratometria de raios X e geologia isotópica para interpretar o processo de deposição dos metacarbonatos do Escudo Sul-Rio-Grandense, comparando as ocorrências em estudo e sua relação temporal com as rochas encaixantes. Como objetivos específicos, destacam-se:

- Testar se os metacarbonatos em estudo (ou do Escudo Sul-Rio-Grandense) pertencem a uma mesma bacia sedimentar;
- Testar as condições de precipitação dos metacarbonatos em diferentes ambientes geoquímicos. Isto é, verificar se a precipitação nesses diferentes ambientes pode resultar em diferentes resultados geoquímicos mesmo se tratando da mesma bacia sedimentar.

1.5 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Duas das três áreas de estudo do projeto ficam na região centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, perto da cidade de Caçapava do Sul (cerca de 260 km da capital, Porto Alegre) e com acesso feito pela rodovia BR 290. Essas áreas são chamadas, neste trabalho, de Fida (10 km a sudeste de Caçapava do Sul, com acesso pela rodovia BR 392) e Mudador (40 km a sudoeste de Caçapava do Sul, com acesso pela rodovia BR 153).

A outra área estudada está localizada na região Sul do estado, próxima a cidade de Arroio Grande (350 km de Porto Alegre) e com acesso feito pela rodovia BR 116. A pedreira é denominada Matarazzo, e localiza-se a cerca de 30 km a nordeste de Arroio Grande, com acesso pela rodovia BR 116 e estradas locais.

As áreas de estudo e seus acessos podem ser visualizadas na figura 1.

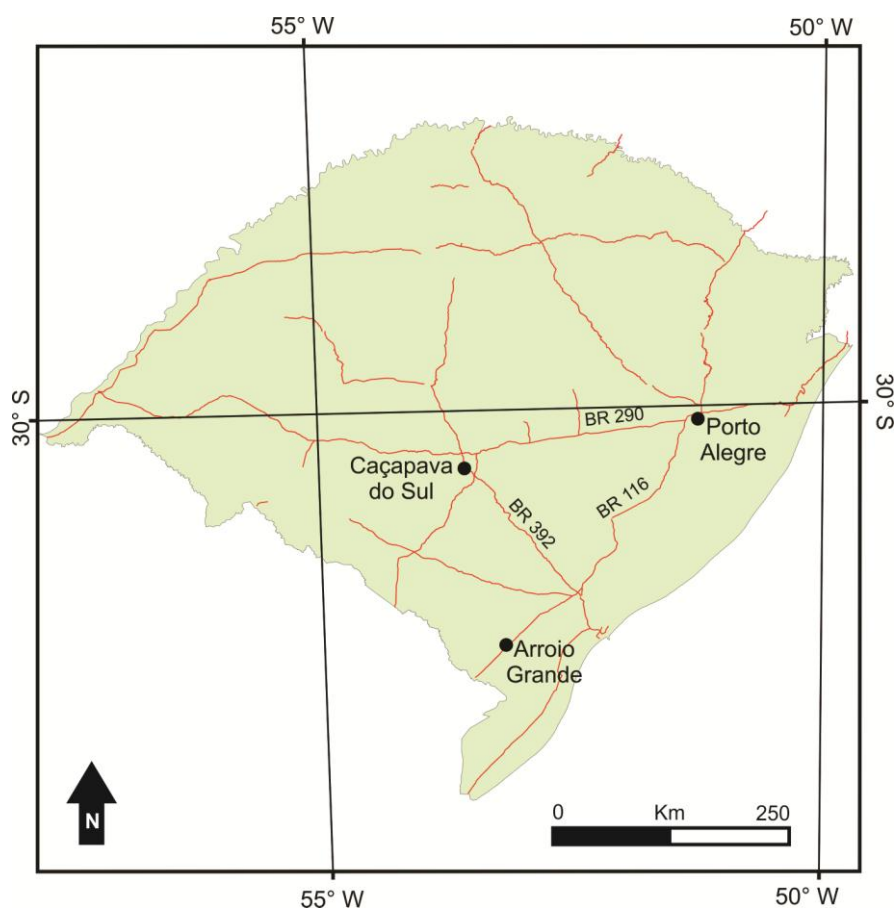


Figura 1. Mapa do estado do Rio Grande do Sul com as cidades próximas às áreas de estudo e as rodovias de acesso a elas a partir de Porto Alegre destacadas.

2 ESTADO DA ARTE E GEOLOGIA DAS ÁREAS DE ESTUDO

Os mármore do Escudo Sul-Rio-Grandense foram muito pouco estudados. Na maioria dos casos eles eram apenas citados em trabalhos com outros enfoques.

Na área de Caçapava do Sul, Bortolotto (1987; 1988) foi o primeiro a estudá-los especificamente, caracterizando-os como mármore dolomíticos impuros – composição predominantemente dolomítica – com presença de calcita nos halos de alteração hidrotermal. Posteriormente, Remus *et al.* (2000) trabalhou nos mármore estudando, especificamente, a ocorrência de mineralizações de cobre associadas ao Granito Caçapava. Nessa mesma linha, Gazzoni (2010) definiu padrões mineralógicos nos depósitos de minério de cobre hospedados em escarnitos e nos mármore deste estudo.

A exceção é o trabalho de Goulart *et al.* (2013), que classifica sequências carbonáticas da Formação Passo Feio e do Complexo Cambaí petrográfica e geoquimicamente, aplicando, também, uma análise integrada de isótopos de Sr, C e O, situando-os em um intervalo de 770 a 730 Ma.

Da mesma forma, os mármore da região de Arroio Grande não possuem trabalhos específicos. Apesar de possuir trabalhos publicados, poucos deles detalhavam a região, e entre esses, somente alguns detalham as ocorrências de mármore na região, apenas citando-os. Conforme Philipp *et al.* (2000; 2002), a nordeste do município de Arroio ocorrem lentes calcárias e margas metamorizadas denominadas Mármore e Anfibolitos Vilas Matarazzo e Pedreiras. Ramos (2011) cita, também, os mármore que ocorrem na região de Arroio Grande, definindo-os como corpos com

dimensões quilométricas que têm como rochas encaixantes o Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado.

2.1 GEOLOGIA DAS ÁREAS DE ESTUDO

As três áreas de estudo localizam-se no Escudo Sul-Rio-Grandense (Fig. 2), porção sul da Província Mantiqueira (Hasui et al., 1975; Almeida et al., 1981), área onde ocorrem rochas ígneas, metamórficas e sedimentares pré-paleozóicas com gênese relacionada aos ciclos Transamazônico - Paleoproterozóico - e Brasileiro/Pan-Africano - Neoproterozóico - (Hartmann et al., 1999; Soliani Jr. et al., 2000; Borba, 2006).

O Escudo Sul-Rio-Grandense é composto por um pedaço de um antigo núcleo cratônico (Cráton Rio de La Plata), chamado de Terreno Taquarembó, em contato com uma zona de acreção e retrabalhamento crustal (originada durante o ciclo Brasileiro/Pan-Africano), chamada de Cinturão Dom Feliciano (Hartmann, 2007).

Pode-se dividir o Escudo Sul-Rio-Grandense em 4 Terrenos, definidos a partir de características estruturais, petrotectônicas e isotópicas distintas, e limitados por zonas de cisalhamento dúcteis de escala continental (Fig.3). São eles: Terreno Taquarembó, Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas e Batólito Pelotas. As áreas de estudo desse trabalho ficam no Terreno São Gabriel e no Batólito Pelotas.

O Terreno São Gabriel, onde ficam as áreas de estudo Fida e Mudador, ocorre ao norte do lineamento Ibaré e a oeste da sutura de Caçapava (Fig. 3) e possui geologia formada pela ocorrência do granito Caçapava (Paleozoico Inferior), circundada pelo Complexo Metamórfico Passo Feio (metapelitos, xistos quartzo-feldspáticos, quartzitos e meta-vulcânicas subordinadas) - Neoproterozóico. Na parte das coberturas sedimentares e vulcanossedimentares há a Formação Hilário, com pelitos e arenitos, tufos e vulcânicas básicas. Além disso, há ainda a Formação Acampamento Velho, com riolitos, traquitos, dacitos e alguns tufos. Na parte oeste da área pelitos e arenitos da Formação Santa Bárbara e na parte leste a Formação Guaritas com a Fácies Varzinha, de conglomerados polimíticos.

Há ainda ocorrência da Formação Rio do Sul, do Grupo Itararé, com folhelhos e argilitos, além de ritmitos, arenitos e diamictitos. Por fim, bem ao leste, há uma cobertura cenozóica de depósitos aluvionares atuais (Fig. 4).

A região sul do Escudo Sul-Rio-Grandense, onde está localizada a área de estudo de Arroio Grande, apesar de possuir alguns trabalhos e mapas publicados, é pouco detalhada. Conforme Ramos (2011), várias regiões ainda carecem de estudos aprofundados, uma vez que algumas unidades têm dimensões com menos de 1 km de extensão.

A região de Arroio Grande está inserida na porção leste do Escudo Sul-Rio-Grandense, bloco geofísico leste (Fernandes *et al.*, 1995) ou Batólito Pelotas (Fragoso César *et al.*, 1986; Phillip & Machado, 2006; Hartmann *et al.*, 2007), com extensão aproximada de 370 km, largura de 70 a 110 km e continuidade ao norte, em Santa Catarina, e ao sul, no Uruguai (Phillip *et al.*, 2000). Seus limites são dados, a oeste, pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (Mesquita e Fernandes, 1990) e pela Zona de Cisalhamento Passo do Marinheiro. Seu limite leste e norte é definido por discordância com as rochas sedimentares da Bacia do Paraná e com os sedimentos da Planície Costeira.

A geologia do Batólito Pelotas é, resumidamente, composta por seis suítes granitóides relacionadas a uma grande variedade de xenólitos de rochas metamórficas de alto a baixo grau (Phillip, 1998; Phillip *et al.*, 2000, 2002), chamados de septos do embasamento (Fragoso César, 1986).

A área de Arroio Grande possui geologia composta por Anfibolitos, Serpentinitos e Xistos Arroio Grande, Mármore e Anfibolitos Matarazzo (unidade de enfoque neste trabalho), Quartzitos e Xistos do Erval, Complexo granito-gnáissico Pinheiro Machado, Granitos Figueirinha, Capão do Leão e Chasqueiro, Grupo Bom Jardim, Grupo Guatá, Grupo São Bento e Serra do Erval, além dos depósitos sedimentares recentes (Fig. 5).

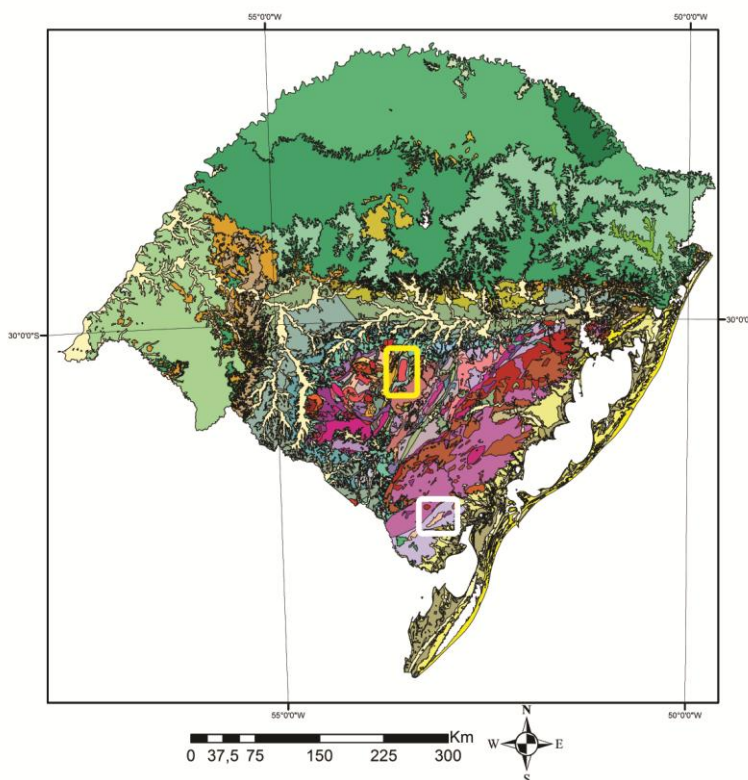


Figura 2. Mapa geológico do Rio Grande do Sul com as áreas de estudo destacadas em amarelo – região de Caçapava do Sul – e branco – região de Arroio Grande. (Modificado de Wildner et al., 2007).

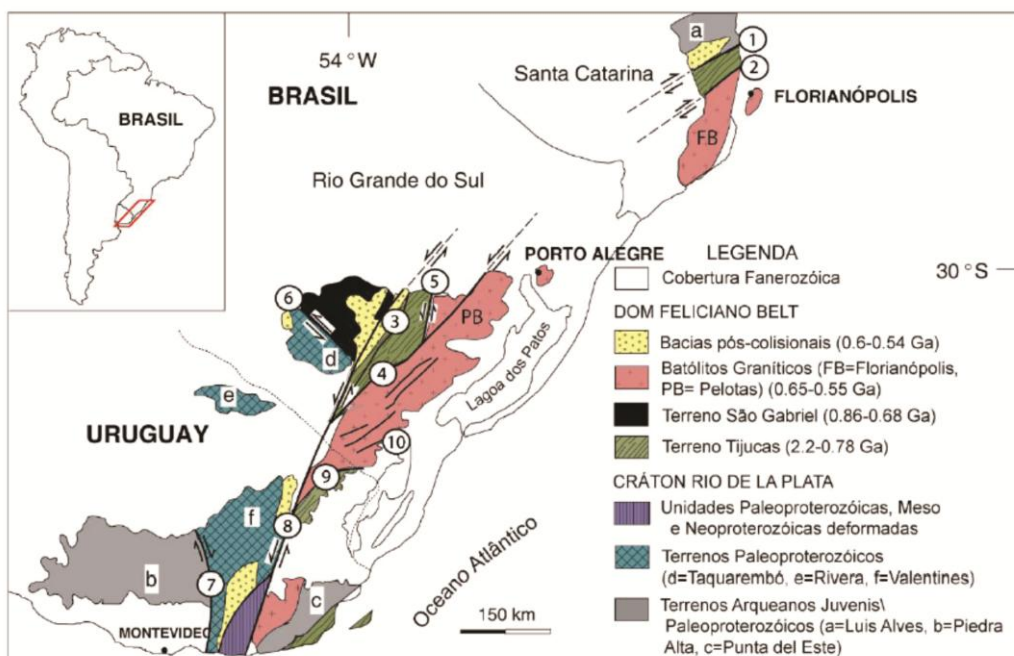


Figura 3. Principais unidades geotectônicas do Sul do Brasil e Uruguai. Zonas de Cisalhamento: 1- Itajaí-Perimbó, 2- Major Gercino, 3- Santana da Boa Vista, 4- Dorsal de Canguçu, 5- Passo do Marinheiro, 6- Ibaré, 7- Sarandi Del Y, 8- Sierra Ballena, 9- Cerro Amaro, 10- Arroio Grande. (Extraído de Lopes, 2012).

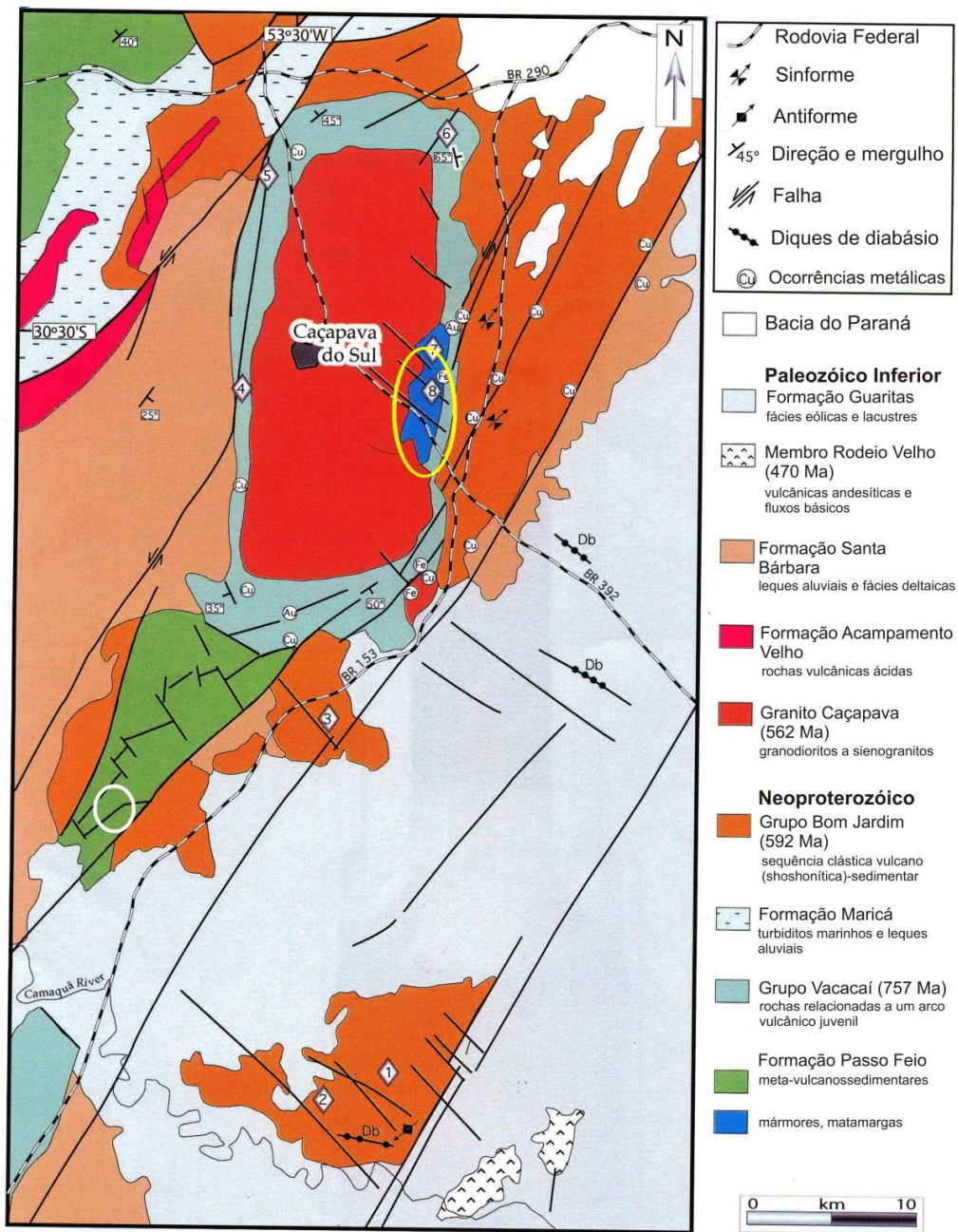


Figura 4. Mapa geológico da região de Caçapava do Sul com as áreas de estudo destacadas em amarelo (Fida) e branco (Mudador). (Modificado de Remus *et al.*, 2000).

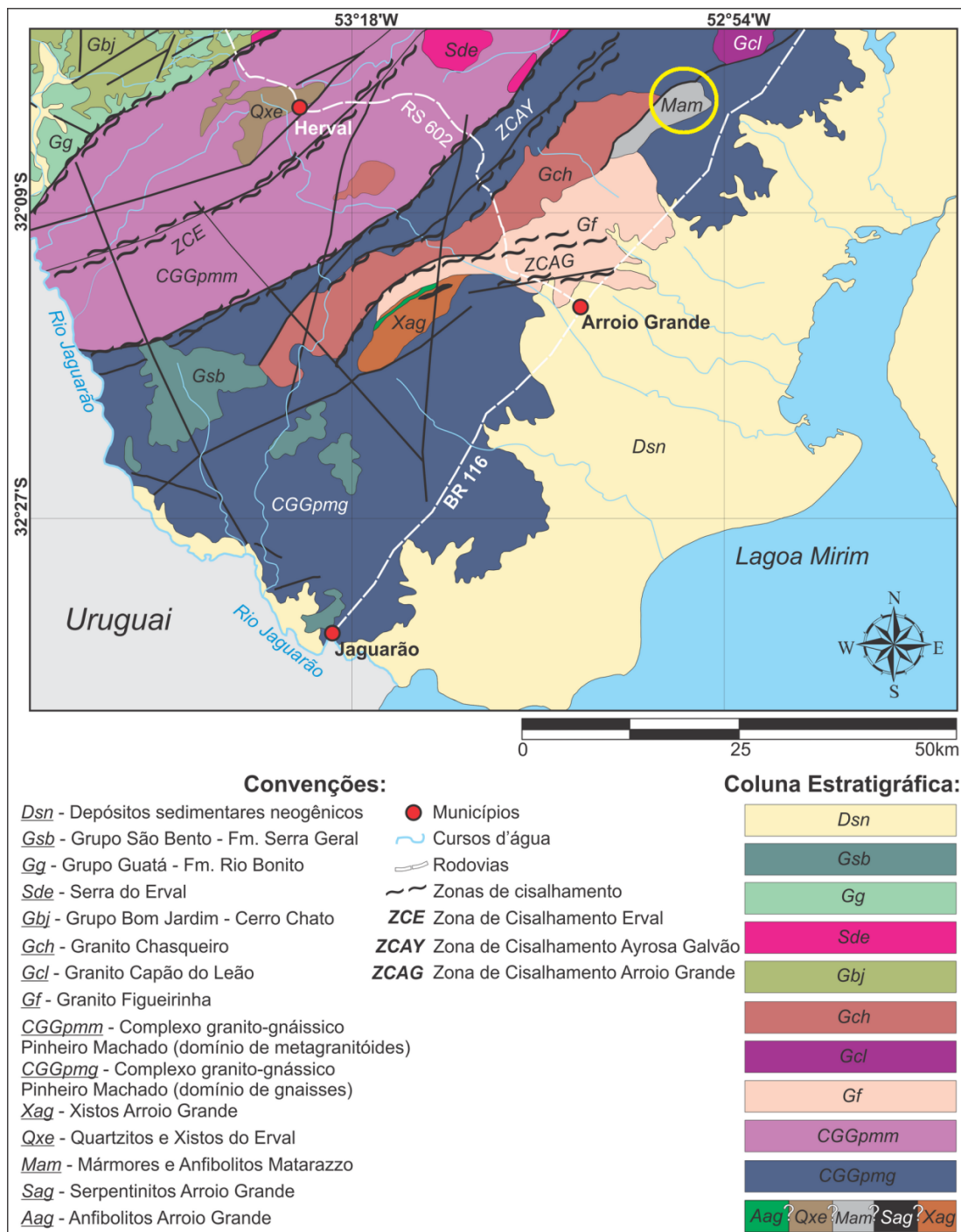


Figura 5. Mapa geológico da região de Arroio Grande com a área de estudo destacada em amarelo (Modificado de Ramos & Koester, submetido).

2.2 GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS DAS PEDREIRAS

A pedreira Fida possui dimensões de 100 m x 350 m e profundidade de 60 m, como é possível visualizar na figura 6. Ela é apenas uma, entre várias pedreiras que compõem uma lente de cerca de 8 km de extensão. Os mármores ocorrem com uma estrutura que foi identificada como a S_0 . Além disso, são cortados por diques graníticos e se intercalam com xistos escuros, de espessura centimétrica.

A pedreira Mudador divide-se em duas porções: a porção a sul, onde afloram mármores fraturados e dobrados, de coloração marrom avermelhado; e a porção norte, na qual afloram mármores pretos extraídos para ornamentação. Nota-se, nessa pedreira, que o corpo passou por um tectonismo, gerando diversos fraturamentos preferenciais e dobramentos, bem como várias famílias de veios ora calcíticos ora quartzosos que cortam os mármores sem orientação preferencial, com espessura média de até 5 cm e, subordinadamente, 17 cm.

Da mesma forma que a pedreira Fida, a Matarazzo possui dimensões de 100 m x 500 m, estando atualmente desativada. Através do *software Google Earth* foi possível obter uma imagem de satélite de boa qualidade da pedreira (Fig. 7). Nela encontra-se, predominantemente, um mármore branco sem muita variedade mineral. Destacam-se, porém, inúmeros corpos máficos, como um possível anfíbolito, que ocorrem no meio do mármore, lembrando xenólitos. Esses corpos tem formas, contatos e tamanho variados, centimétricos a métricos. Os mármores Matarazzo são cortados, também, por um dique de tonalito, com espessura de cerca de 5 m.

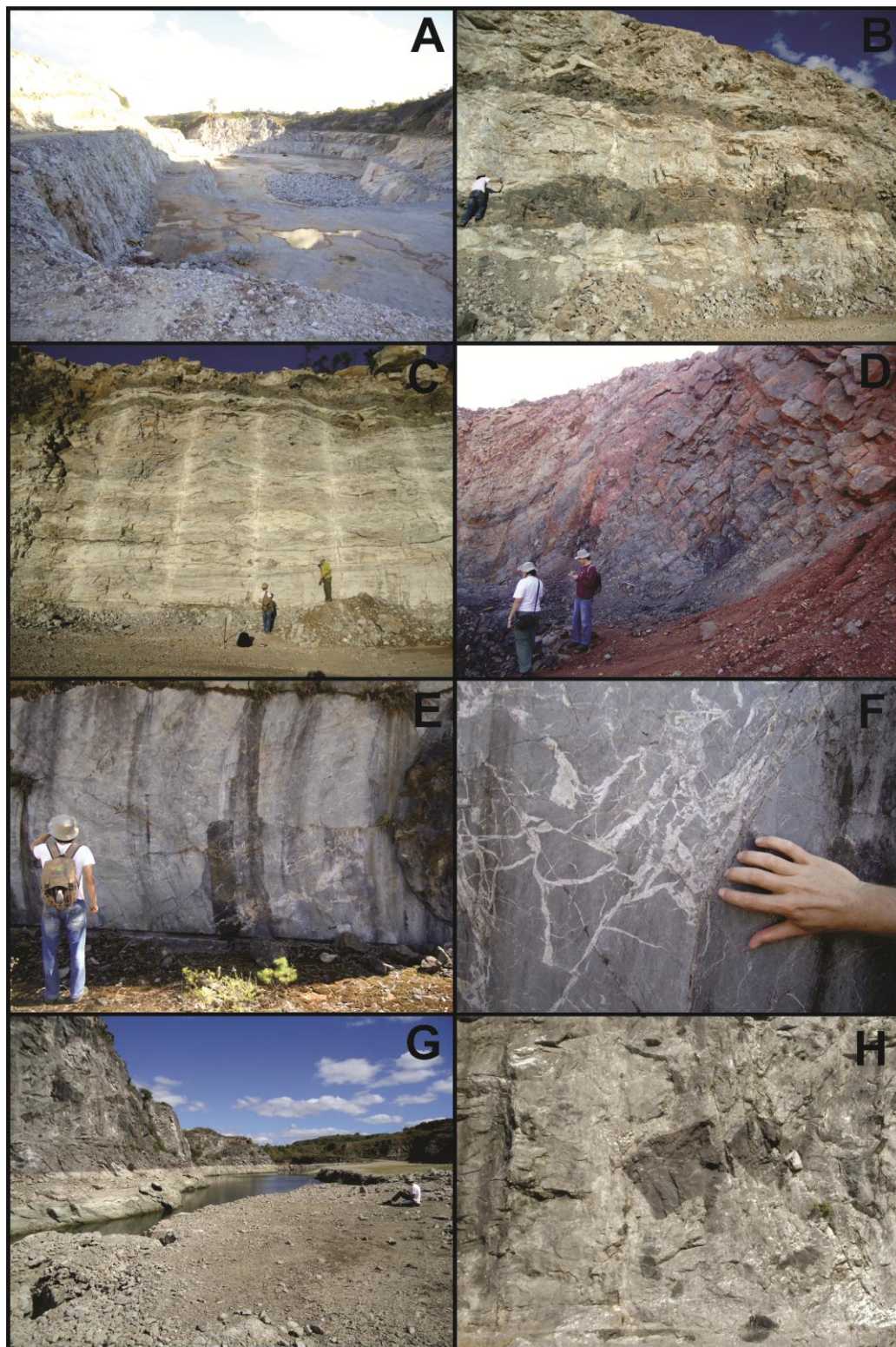


Figura 6. Fotografias das pedreiras em estudo neste trabalho; a) pedreira Fida - aspecto geral, destacando as diversas bancadas; b) pedreira Fida - mármores cortados por sills graníticos; c) pedreira Fida - intercalações métricas a centimétricas de níveis xistosos dentro dos mármores; d) pedreira Mudador - mármores escuros fraturados e dobrados; e) pedreira Mudador - aspecto geral da porção norte da pedreira; f) pedreira Mudador - veios milimétricos a centimétricos cortando os mármores; g) pedreira Matarazzo - foto geral; h) pedreira Matarazzo - fragmentos de rocha máfica dentro dos mármores, com ocorrências centimétricas a métricas.

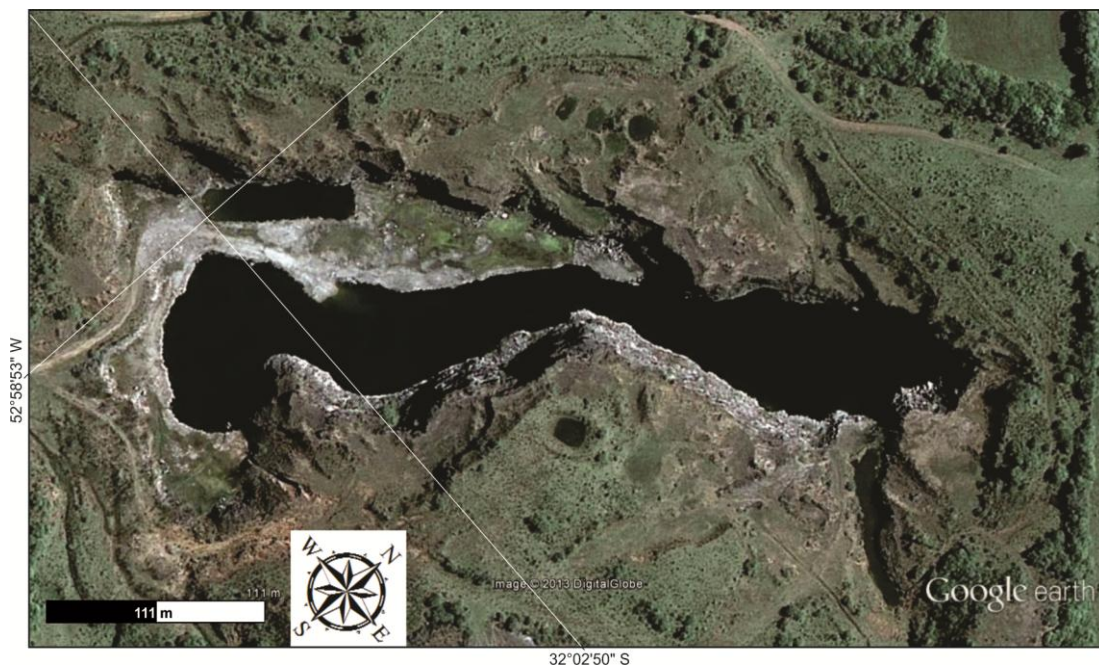


Figura 7. Imagem de satélite da pedreira Matarazzo obtida através do software *Google Earth*.

3 METODOLOGIA

Diversas técnicas analíticas foram executadas para a obtenção dos resultados esperados com este trabalho. Essas técnicas, bem como os materiais, equipamentos e métodos utilizados são descritas e discutidas neste capítulo, e podem ser acompanhadas, também, através do fluxograma projetual (Fig. 8).

A metodologia do trabalho pode ser dividida em seis etapas para, no fim, obter os resultados esperados.

- Etapa 1 – Revisão bibliográfica;
- Etapa 2 – Trabalho de campo;
- Etapa 3 - Preparação das amostras para a etapa de laboratório;
- Etapa 4 - Laboratório;
- Etapa 5 - Discussão e apresentação dos resultados;
- Etapa 6 - Confeção do trabalho final

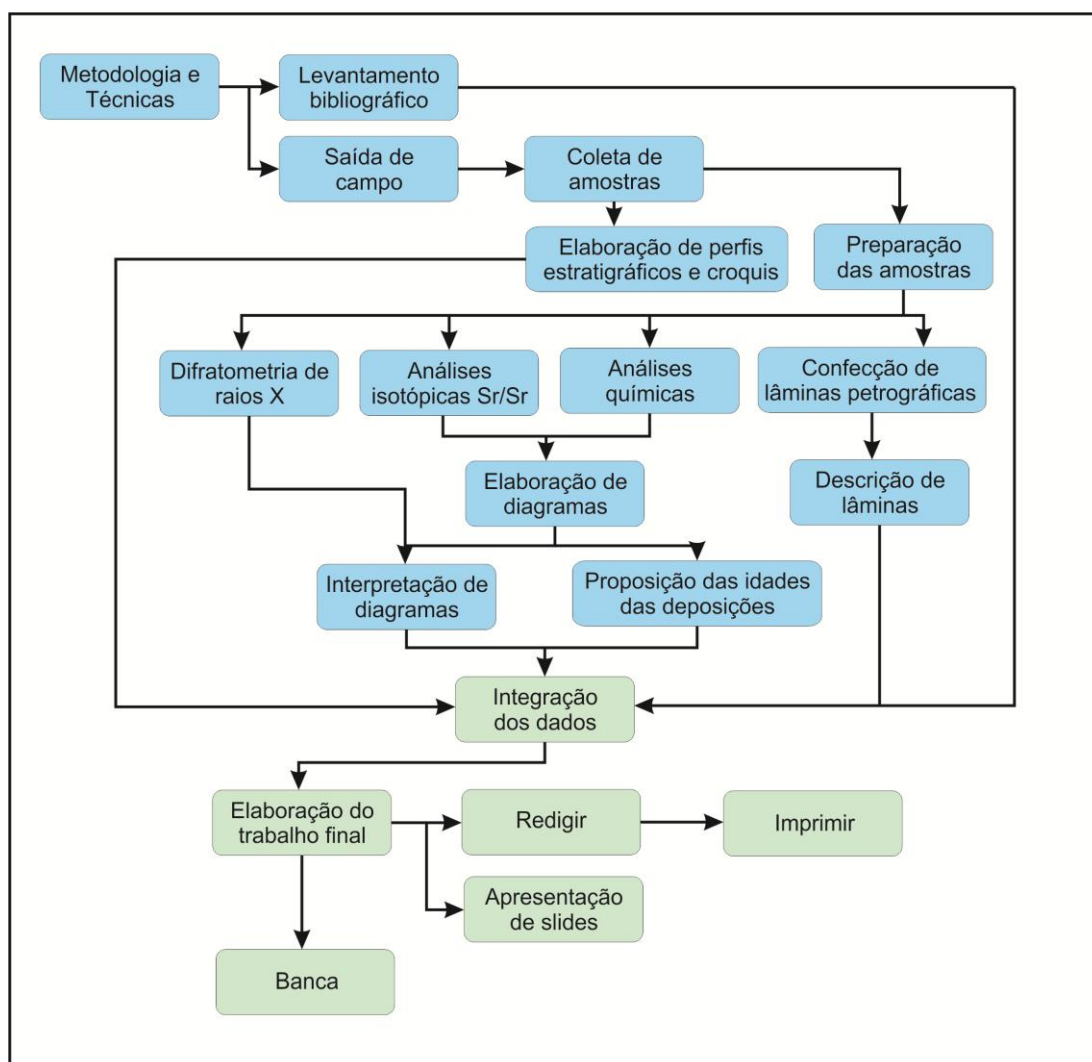


Figura 8. Fluxograma do projeto.

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foi feita uma compilação bibliográfica de assuntos vinculados ao projeto, como artigos científicos, livros. Nessa etapa aconteceu, também, a seleção das áreas de estudo através de mapas fotos aéreas e imagens de satélites.

3.2 TRABALHO DE CAMPO

Nessa etapa do projeto foi realizada uma saída de campo nos dias 8 a 11 de abril de 2013. Como forma de preparação de material para o campo,

foram utilizados mapas geológicos e imagens de satélite das áreas de estudo.

Durante os dias de campo foram feitas visitas diretamente aos afloramentos e perfis regionais nas proximidades dos mesmos. Esses percursos foram feitos a pé e com o auxílio de veículo, sendo coletadas 56 amostras com marretas de 2 kg, sempre procurando manter um devido controle estratigráfico, coletando amostras ao longo de perfis verticais (quando era possível identificar a S_0), da base para o topo. Dez amostras foram selecionadas para a confecção de lâminas delgadas, quinze amostras foram selecionadas para análises por difratometria de raios X e análises isotópicas de estrôncio.

Efetuuou-se também, em todos os pontos visitados, coleta das coordenadas geográficas através de equipamentos de Sistema de Posicionamento Global (GPS) da marca *Garmin*, além da tomada de fotografias e croquis dos afloramentos e dos locais de amostragem. Todas as coordenadas estão georreferenciadas na Projeção Universal Transversal de Mercator (UTM), *datum* Córrego Alegre.

Outras saídas de campo foram realizadas em fevereiro de 2010 e fevereiro de 2011, durante período de Bolsa de Iniciação Científica, com visitas pontuais às pedreiras. Os resultados de todas as idas ao campo foram unificados em um banco de dados no software *Microsoft Excel 2007*, totalizando 75 amostras das três áreas de estudo.

3.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA A ETAPA DE LABORATÓRIO

As amostras coletadas na etapa de campo foram lavadas para facilitar a realização da descrição petrográfica macroscópica das mesmas.

Após a descrição macroscópica, as amostras escolhidas para confecção de lâminas petrográficas, análises de geoquímica de rocha total, análises de difração de raios X e análises isotópicas de estrôncio foram separadas e encaminhadas ao Laboratório de Preparação de amostras do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), tendo início a etapa de preparação das mesmas.

O processo de preparação das amostras é um ponto crítico onde o risco de contaminação é grande se não forem tomados cuidados básicos em relação à limpeza dos equipamentos e utensílios utilizados. Para evitar a contaminação das amostras, apenas a confecção de lâminas petrográficas será feita no Laboratório de Preparação de Amostras. A preparação das amostras para análises de difração de raios X e análises isotópicas de estrôncio será feita a mão, em gral de porcelana e gral de ágata. Já a preparação das amostras analisadas por ICP-MS, foi feita pelo laboratório que realizou as análises, o *Acme Analytical Laboratories Ltd.*, localizado em Vancouver, no Canadá.

3.3.1 Lâminas delgadas

Para a confecção das lâminas delgadas, as dez amostras selecionadas passam pelos seguintes tratamentos:

- corte em fatias de aproximadamente 2 cm de espessura;
- corte na forma de tabletes com o formato das lâminas delgadas;
- polimento de uma das superfícies do tablete;
- colagem de uma lâmina de vidro na superfície polida anteriormente;
- secagem do tablete com a lâmina de vidro em uma estufa, permanecendo durante 24 horas para a secagem da cola;
- desbaste do tablete com a lâmina de vidro nas serras menores para a retirada de quantidades desnecessárias de rocha;
- desbaste final do tablete com a lâmina de vidro em uma serra menor e mais delicada;
- lixamento da lâmina em uma série de lixas com distintos potenciais abrasivos (de 120 a 4000 grana);
- acabamento final, com polimento em uma politriz com a aplicação de 100 rotações por minuto durante aproximadamente 5 minutos, com abrasivo composto por alumina.

Terminados todos os procedimentos de confecção das lâminas delgadas, elas ficaram prontas para serem estudadas em microscópios ópticos.

3.3.2 *Análises de difração de raios X e análises isotópicas de estrôncio*

Com as amostras selecionadas para as análises geoquímicas e isotópicas foi realizada a moagem e pulverização com o objetivo de homogeneizar e diminuir os tamanhos dos grãos para uma granulometria fina. Para isso, cada amostra passou pelos seguintes processos:

- fragmentação da rocha com marreta;
- pulverização em gral de porcelana;
- pulverização em gral de ágata.

Nesta etapa de moagem e pulverização do material o risco de contaminação é grande e, para evitá-la, todos os utensílios passam por uma cuidadosa limpeza antes de entrar em contato com a amostra.

O material pulverizado foi enviado aos seguintes laboratórios:

Laboratório de Geologia Isotópica (LGI) do IG da UFRGS: onde foram realizadas as análises isotópicas de estrôncio.

Laboratório de Difractometria de Raios X do IG da UFRGS: onde foram realizadas as análises por difratometria de raios X.

3.4 LABORATÓRIO

Nesta etapa as amostras preparadas foram enviadas aos laboratórios correspondentes ao método de investigação a ser utilizado.

3.4.1 *Microscopia óptica*

Com as lâminas delgadas prontas foi iniciado o processo de estudo petrográfico das mesmas. Foi utilizado um microscópio óptico binocular de luz polarizada (Fig. 9), com aumento de até 400 vezes modelo *Leica ME-LP*. No estudo petrográfico foram identificados e descritos para cada lâmina delgada os seus minerais constituintes, paragênese, texturas, estruturas, transformações e deformações causadas por processos metamórficos e

retrometamórficos entre outros aspectos fundamentais para a correta classificação da amostra e definição de litotipos, grau metamórfico e caracterização textural.



Figura 9. Microscópio óptico utilizado na descrição das lâminas petrográficas, modelo *Leica ME-LP*.

3.4.2 Difractometria de raios X

O objetivo da difratometria de raios X é a identificação de materiais cristalinos, principalmente em amostras cujo poder do microscópio petrográfico é insuficiente.

A técnica consiste em emitir um feixe de raios X que atinge a amostra em estudo. Quando este feixe atinge a amostra ele é difratado em várias direções (Fig. 10). Isto ocorre porque o comprimento de onda dos raios X (entre 0,01 e 10 nm) é da mesma ordem de grandeza que as distâncias entre planos cristalinos da rede de um cristal, ocorrendo então o fenômeno físico da difração. Cada mineral possui um padrão característico de difração do feixe de raios X, sendo possível, assim, a precisa identificação dos minerais constituintes da amostra.

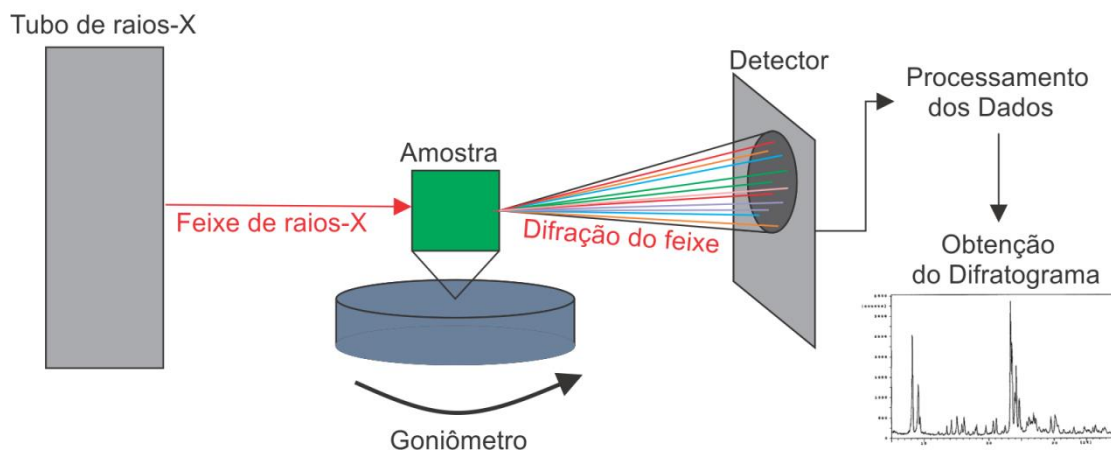


Figura 10. Esquema simplificado do funcionamento de um difratômetro de raios X. Extraído de Ramos (2011).

As amostras pulverizadas selecionadas para as análises difratométricas foram encaminhadas ao Laboratório de Difractometria de raios X do Instituto de Geociências da UFRGS onde foram analisadas em um difratômetro *SIEMENS – D 5000* (Fig. 11).

Para a realização da difratometria de raios X é necessário que a amostra pulverizada seja preparada antes de ser analisada pelo difratômetro. As amostras foram analisadas pelo método do pó (rocha total), apenas. Nesse método, a amostra pulverizada é colocada em uma lâmina de vidro com centro côncavo e então esta lâmina de vidro é colocada no difratômetro para a realização da análise.



Figura 11. Difratorômetro utilizado para as análises do projeto, modelo *SIEMENS – D 5000*

3.4.3 Geoquímica de rocha total

Foram analisadas geoquimicamente 18 amostras, no laboratório *Acme Analytical Laboratories Ltd.*, localizado em Vancouver, no Canadá. As amostras foram enviadas em pequenas frações, fragmentadas das amostras maiores com uma marreta.

No laboratório elas foram fragmentadas em frações menores e moídas em um moinho de bolas de ágata. As amostras foram analisadas pelas técnicas ICP (Plasma Acoplado Indutivamente) e ICP-MS (Espectrometria de Massa).

O ICP foi utilizado para elementos maiores, na forma de óxidos, com limite de detecção de 0,01%. Nesse método, 0,1 g da amostra é transformada em vidro através da mistura do fundente metaborato/tetraborato de lítio (*fifty/fifty*). Feito isso, a pastilha é dissolvida em digestão nítrica e diluída. A perda ao fogo é obtida através da diferença de peso após calcinação da amostra em forno de temperatura de 1000 °C por uma hora. Essa diferença de peso está relacionada a componentes voláteis da amostra.

O ICP-MS foi utilizado para analisar elementos traços e terras raras, com um limite de detecção de 0,005 a 2 ppm. O método funciona por meio

da ionização das substâncias pelo plasma indutivamente acoplado. Esses íons gerados atravessam um campo magnético que curva suas trajetórias de modos diferentes, dependendo de suas massas. O campo separa os íons em um padrão chamado espectro de massa. A massa e a carga dos íons podem ser medidas por sua posição no espectro, possibilitando a identificação e quantificação dos elementos presentes na amostra.

3.4.4 Geologia Isotópica (Sr/Sr)

Para realização da análise foi necessário realizar uma preparação química das amostras, passando pelos processos de abertura da amostra e separação química.

A abertura das amostras para separação e coleta da alíquota de estrôncio foi feita através da digestão em ácido acético, como descrito a seguir: São adicionados 5 mL do ácido a 20% a frio em 0,1 gramas de amostra em um tubo de ensaio de polipropileno, que é colocado no ultrassom por 45 minutos e em seguida é centrifugado durante 10 minutos. O sobrenadante (líquido) é retirado. Depois da completa evaporação da fase líquida, adiciona-se ao recipiente 3 mL de HCl 2,5N fracionadamente (1 mL por vez) a fim de retirar toda amostra do *Savillex*, colocando esta em um tubo de ensaio de polipropileno para centrifugá-lo por 10 minutos. Após a centrifugação as amostras estão prontas para a fase de separação química.

A separação química é feita em colunas de separação catiônica (Fig. 12), que se valem do uso de resinas para segregação dos elementos de interesse de acordo com o comportamento deles.

Para isso, primeiro é feito um condicionamento da resina (Rb/Sr Ag 50w-x8 200-400 *mesh hydrogen form*) da coluna Rb-Sr através da adição de 20 mL de ácido clorídrico (HCl) 2,5N na coluna. Em seguida 1 mL da amostra, preparada na etapa de abertura, é adicionado à coluna. Visando a eluição da amostra (dissolução ácida), dá-se início a fase de lavagem por meio da adição de 1 mL HCl 2,5N, que é repetida por mais duas vezes, seguido de mais 20 mL HCl 2,5N; todos os eluidos devem ser desprezados.

A coleta das alíquotas de elementos tem início pela fase do Rb, entretanto, como este estudo baseia-se na análise das razões de Sr, esta fase será descartada. Antes da nova fase de separação, são adicionados 17 mL de HCL 2,5N na coluna, desprezando-se em seguida.

A coleta da alíquota de Sr tem início com a adição à coluna de 14 mL de HCl 2,5N, coletados em *Saville* de 15 mL, aos quais se adiciona 2 gotas de HNO₃ 7,0N. O recipiente, com a alíquota de Sr + ácido, é colocado para secar, aberto, em chapa quente.

As soluções das amostras são então depositadas sobre os filamentos metálicos, para prosseguirem para análise no Espectrômetro de massa TIMS modelo VG-54 (Fig. 13).

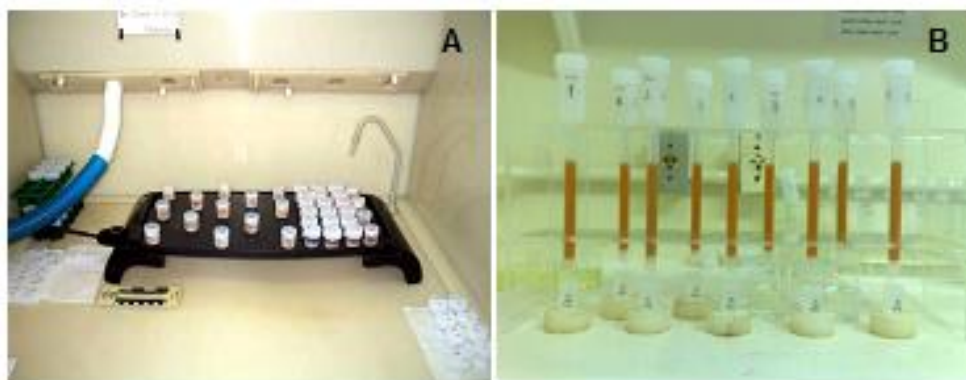


Figura 12. A) Processo de abertura das amostras. B) Colunas de troca catiônica.



Figura 13. Espectrômetro de massa TIMS modelo VG-54 do Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da UFRGS.

4 RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados obtidos com as diferentes técnicas e análises empregadas no projeto.

4.1 PETROGRAFIA

Os mármorees da pedreira Fida são compostos por dolomita como mineral principal (mármorees dolomíticos) e 10% de biotita, muscovita e calcita. Os grãos de dolomita, com tamanho médio de 2 mm, estão em uma matriz de textura média arranjada de forma aleatória, isto é, sem orientação preferencial, mas com textura granoblástica bem caracterizada (Fig. 14).

Os xistos de coloração escura que ocorrem intercalados com os mármorees dolomíticos possuem uma matriz fina, (grãos de 0,5 a 1 mm) composta de feldspato potássico (K-feldspato), plagioclásio, biotita, anfibólio e quartzo e traços de clorita e opacos. Apresentam uma xistosidade bem definida macroscopicamente que foi confirmada na lâmina como sendo causada pela textura lepidoblástica (orientação das biotitas em planos preferenciais paralelos entre si).

Os mármorees da pedreira Mudador, embora possuam uma coloração escura macroscopicamente, possuem quase 100% da composição mineral incolor microscopicamente. A rocha é equigranular, sendo homogênea em toda a extensão da lâmina. Os cristais de dolomita que preenchem fraturas são euédricos, bem formados, apresentando inclusive, maclas. Isso não ocorre nos cristais de dolomita que compõem a matriz, até pelo fato de serem muito pequenos (em média 0,08 mm). A matriz é composta predominantemente por dolomita (95%) e opacos (5%), arranjados de forma

aleatória. Nota-se também um intenso faturamento na rocha, preenchidos por quartzo, dolomita e opacos. Em algumas amostras as fraturas são preenchidas predominantemente por quartzo e em outras por dolomita (Fig. 15). Os cristais de quartzo que preenchem essas fraturas são anédricos, ora de forma arredondada, ora de forma alongada mas com extinção ondulante. Já os cristais de dolomita são, em geral, bem formados (euédricos), alongados, apresentando, inclusive, maclas em uma ou duas direções. Os opacos são, em sua maioria cristais arredondados porém, quando preenchem fraturas, são bastante alongados.

A pedreira Matarazzo possui mármore essencialmente calcíticos com 10% de K-feldspato e quartzo, todos com tamanho de grão médio (em média 2 mm). Algumas lâminas mostraram orientação preferencial das calcitas e outras completamente aleatórias.

Na amostra MAT-19 da pedreira Matarazzo foi possível observar o contato entre o mármore e uma outra rocha, silicática, de matriz fina, composta de quartzo, K-feldspato, microclínio, plagioclásio e anfibólio, classificada como sendo um sienito.

A amostra MAT-06 dos diques que cortam os mármore Matarazzo é composta por plagioclásio e quartzo (predominantemente) e menores quantidades de biotita e titanita, sendo classificado como um tonalito.

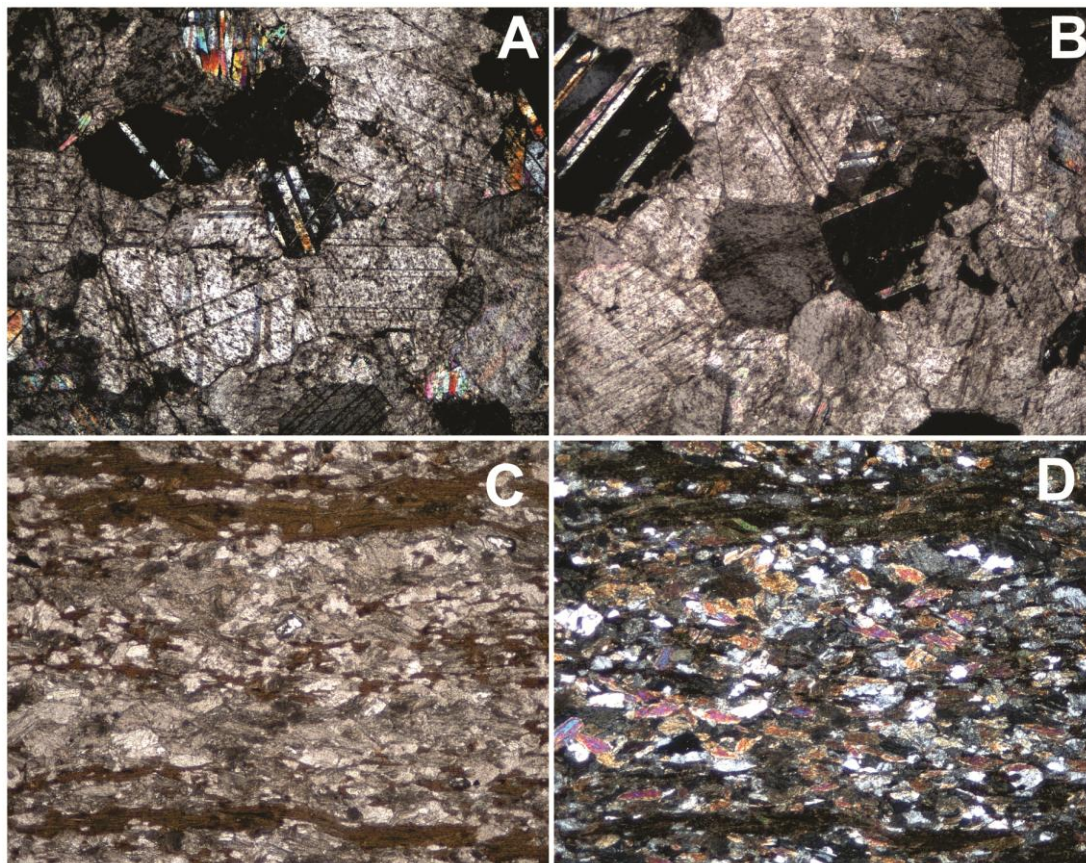


Figura 14. Fotomicrografia das lâminas da pedra Fida; a) aspecto geral dos mármore dolomíticos (LP - aumento de 25X); b) detalhe mostrando a textura granoblástica do grãos de dolomita (LP - aumento de 25X); c, d) xistos com destaque para a textura lepidoblástica das biotitas (LN, LP - aumento de 100X).

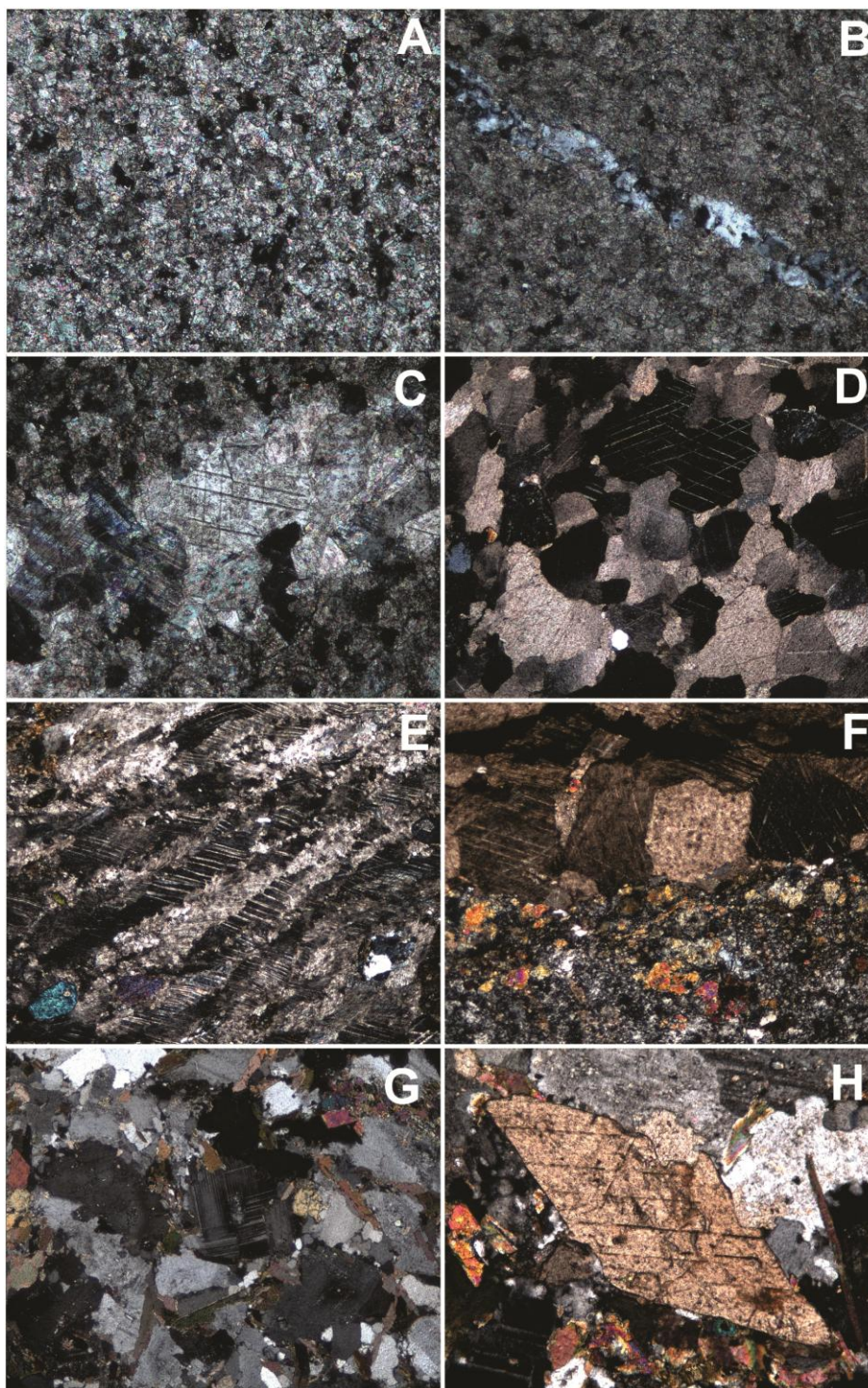


Figura 15. Fotomicrografias de lâminas das pedreiras Mudador e Matarazzo; a) pedreira Mudador - aspecto geral dos mármore, com destaque para a dimensão de aproximadamente 0,08 mm dos cristais da matriz (LP - aumento de 100X); b) pedreira Mudador - veio milimétrico preenchido por quartzo (LP - aumento de 100X); c) pedreira Mudador - veio milimétrico preenchido por calcita, com tamanho de grão superior ao apresentado pela matriz (LP - aumento de 100X); d) pedreira Matarazzo - aspecto geral dos mármore (LP - aumento de 25X); e) pedreira Matarazzo - detalhe do crescimento dos cristais de calcita segundo orientação preferencial (LP - aumento de 25X); f) pedreira Matarazzo - contato entre mármore e o sienito (LP - aumento de 25X); g) pedreira Matarazzo - aspecto geral do tonalito (LP - aumento de 25X); h) pedreira Matarazzo - titanita presente como mineral acessório da rocha (LP - aumento de 100X).

4.2 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

Foram realizadas análises de difração de raios X nos mármore das pedreiras Fida, Mudador e Matarazzo.

Nos difratogramas obtidos a partir de análises de tipo rocha total dos mármore da pedreira Fida (Fig. 16) identifica-se a seguinte mineralogia: dolomita, calcita, muscovita e biotita. Alguns picos dos difratogramas indicam a possibilidade da presença de talco (?).

Já, na pedreira Mudador (Fig. 17), a interpretação das amostras dos mármore mostra: dolomita, calcita e quartzo.

Em relação as amostras dos mármore da pedreira Matarazzo (Fig. 18), identifica-se calcita, K-feldspato, quartzo e, possivelmente, traços de gipsita (?).

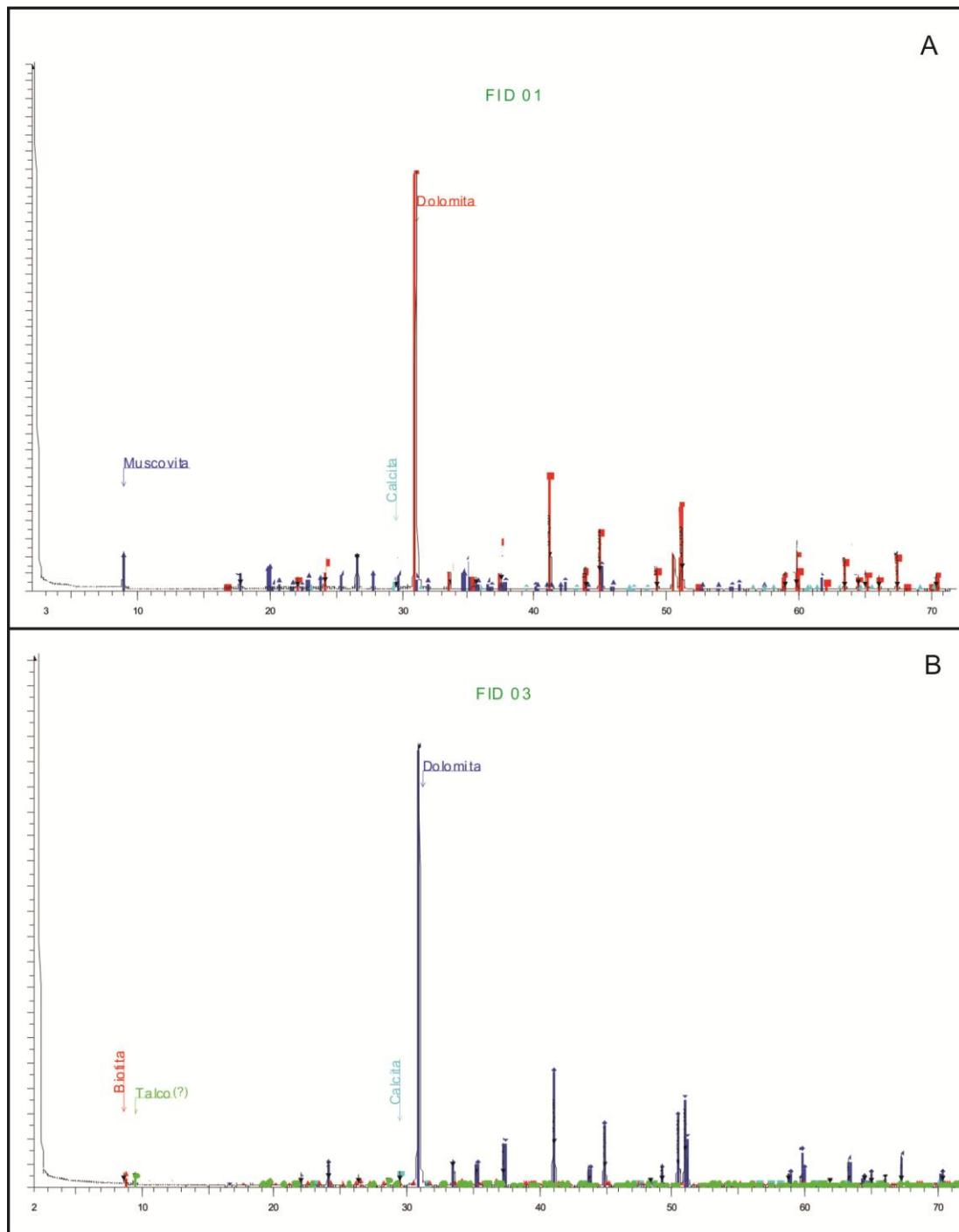


Figura 16. Difratoqramas das amostras da pedra Fida. A) FID-01; B) FID-03.

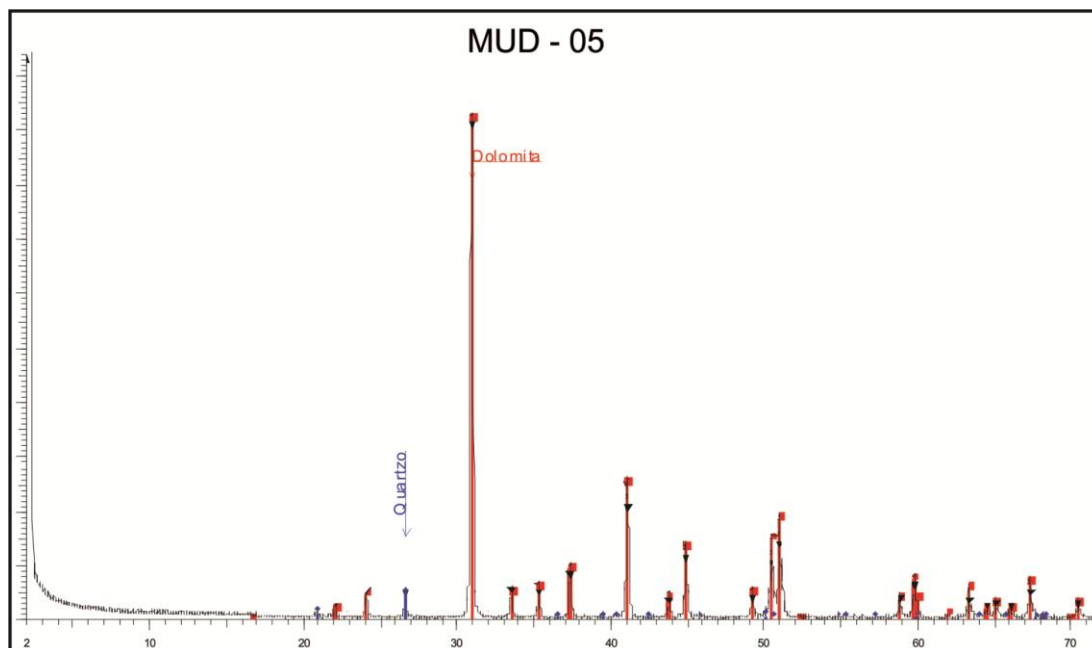


Figura 17. Difratoograma da amostra MUD-05 da pedreira Mudador.

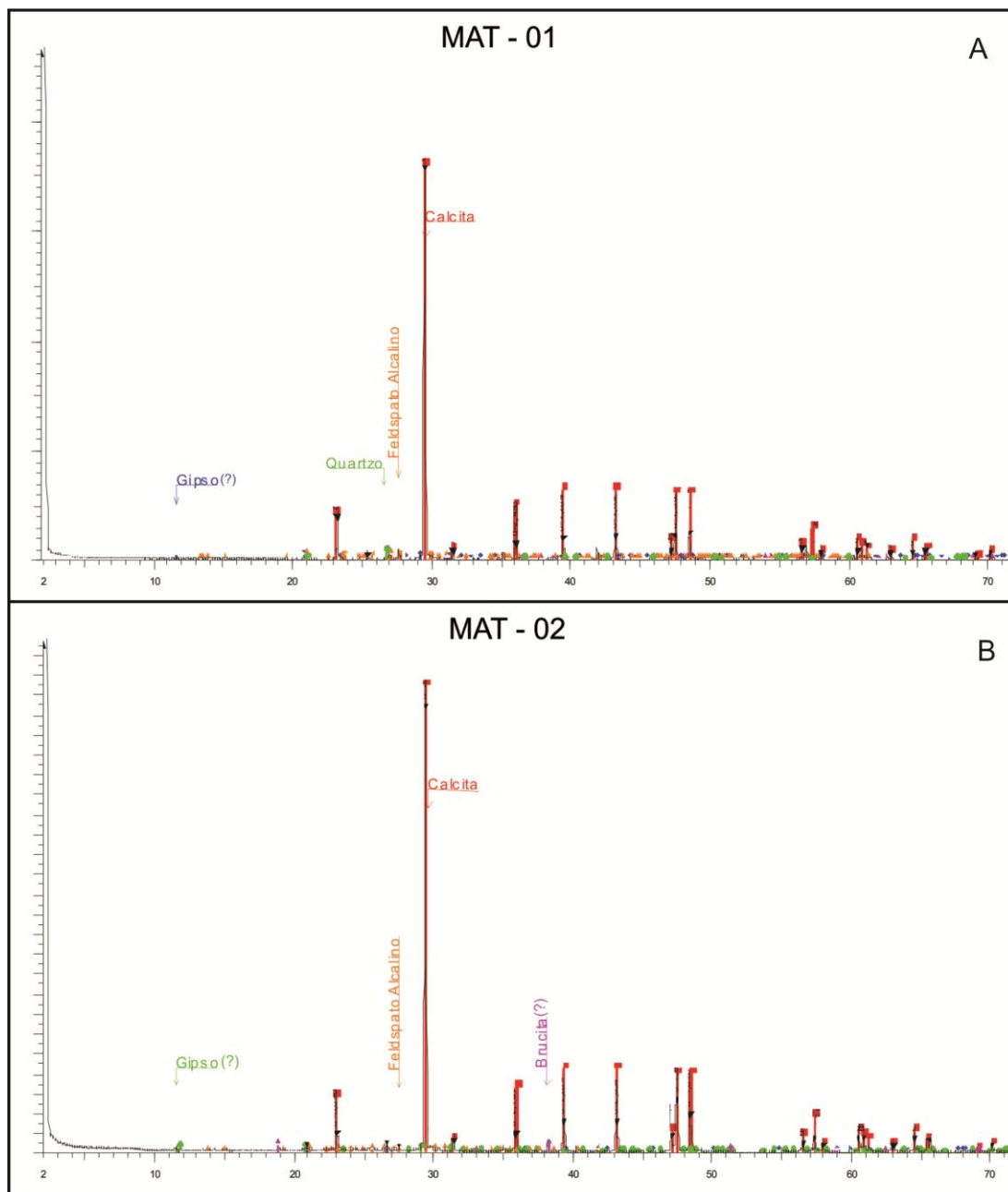


Figura 18. Difratoformas das amostras da pedra Matarazzo. A) MAT-01; B) MAT-02.

4.3 GEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL

As Tabelas 1 e 2 contém os resultados das análises químicas de rocha total deste trabalho. Com elas, foram gerados os diagramas da Figura 19, nos quais observa-se:

- que as amostras da pedra Fida, em comparação com as amostras das outras pedreiras, são ricas em óxidos de Mg e pobres em óxidos de Si, Fe e Ca;
- que as amostras da pedra Mudador, comparadas com as amostras das demais pedreiras, são ricas em óxidos de Fe, Si, Mg e pobres em óxidos de Ca;
- e que as amostras da pedra Matarazzo, se comparadas com as amostras das pedreiras Fida e Mudador, são mármore ricas em óxidos de Ca e Si e pobres em óxidos de Fe e Mg.

Tabela 1. Resultados da geoquímica de rocha total para elementos maiores.

Símbolo Analítico	Unidade	MATARAZO					MUDADOR					FIDA					
		MAT 01	MAT 02	MAT 03	MAT 04	MAT 05	MUD 01	MUD 02	MUD 03	MUD 04	MUD 05	FID 01	FID 03	FID 05	FID 13	FID 19	FID 23
SiO ₂	%	9,32	4,67	6,98	6,97	8,74	6,01	12,85	11,49	4,17	3,91	1,81	2,50	1,27	0,61	1,80	1,33
Al ₂ O ₃	%	0,58	0,31	0,72	0,27	0,41	0,52	0,34	1,17	0,64	0,37	0,33	0,35	0,13	0,06	0,15	0,17
Fe ₂ O ₃	%	0,53	0,35	0,71	0,34	0,49	1,09	1,28	1,15	1,77	1,37	0,22	0,24	0,49	0,55	0,30	0,27
MnO	%	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,02	0,03	0,04	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
MgO	%	0,54	0,52	0,53	0,44	0,50	19,43	17,66	17,85	19,19	19,50	20,49	20,36	20,37	21,52	20,70	20,77
CaO	%	51,37	53,24	52,39	52,33	52,12	28,14	26,39	26,24	28,67	29,28	31,26	31,44	31,24	30,05	30,66	30,62
Na ₂ O	%	0,15	0,04	0,07	0,04	0,06	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
K ₂ O	%	0,15	0,08	0,15	0,05	0,13	0,16	0,11	0,47	0,23	0,12	0,13	0,13	0,02	0,02	0,05	0,04
TiO ₂	%	0,08	0,03	0,12	0,04	0,05	0,03	0,02	0,07	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
P ₂ O ₅	%	0,08	0,06	0,07	0,06	0,07	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
LOI	%	36,9	40,4	38,0	39,2	37,1	44,2	40,9	41,2	44,9	45,0	45,4	44,6	46,1	47,1	46,3	46,7
Total	%	99,72	99,72	99,76	99,76	99,69	99,67	99,66	99,73	99,70	99,64	99,71	99,67	99,68	99,96	100,01	99,96

Tabela 2. Resultados da geoquímica de rocha total para elementos traços.

Símbolo Analítico	Unidade	MATARAZO					MUDADOR					FIDA					
		MAT 01	MAT 02	MAT 03	MAT 04	MAT 05	MUD 01	MUD 02	MUD 03	MUD 04	MUD 05	FID 01	FID 03	FID 05	FID 13	FID 19	FID 23
Sc	ppm	1	0,5	1	0,5	1,0	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
V	ppm	11	4	11	4	4	15	15	33	20	22	4	4	4	4	4	4
Cr2O3	%	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Co	ppm	3,1	1,7	3,3	1,9	2,2	1,2	1,4	1,8	1,7	5,8	0,5	0,6	0,5	1,8	0,7	0,8
Ni	ppm	6,2	4,4	11,5	6,0	5,5	6,9	10,0	8,4	9,7	7,1	1,7	3	2,7	1,5	3,9	2,3
Cu	ppm	9,8	6,6	18,5	8,3	11,7	7,8	15,5	2,4	40,8	2,1	0,5	0,4	0,2	2,3	0,5	0,2
Rb	ppm	5,5	2,6	4,7	1,9	4,2	3,4	2,3	9,7	4,5	3,5	2,5	2,7	0,5	0,1	0,5	1,2
Sr	ppm	2158,8	2012,9	2139,3	2221,3	2344,9	70,7	65,1	71,8	77,0	82,5	56,1	60,3	126,9	66,9	55,4	61,8
Y	ppm	10,1	7,5	9,1	7,2	8,4	2,6	3,2	3,7	3,3	2,2	1	1,2	3,1	3,4	2,0	1,7
Zr	ppm	11,9	5,7	14,8	7,4	6,5	10,5	7,9	17,1	7,7	3,4	6,3	8,6	4,5	1,1	2,7	7,8
Nb	ppm	1,1	0,5	2,4	0,9	0,7	0,6	0,8	1,9	0,6	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
Cs	ppm	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
Ba	ppm	90	62	98	62	104	12	7	32	11	8	31	26	6	8	17	9
La	ppm	5,7	3,6	4,4	3,5	4,5	3,3	2,8	3,8	3,2	2,0	1,1	1,2	1,4	3,0	1,5	1,7
Ce	ppm	8,7	5,6	7,4	5,8	7,1	6,5	5,9	8,7	6,8	4,3	2,2	2,4	2,4	2,4	2,1	2,1
Pr	ppm	1,38	0,87	1,14	0,92	1,12	0,72	0,65	0,96	0,75	0,46	0,23	0,24	0,29	0,26	0,27	0,27
Nd	ppm	6,3	3,6	5,2	4,1	5,3	2,9	3,0	3,6	2,9	2,1	0,9	1,0	1,0	0,5	1,5	0,7
Sm	ppm	1,26	0,83	1,08	0,85	1,01	0,51	0,51	0,65	0,60	0,29	0,12	0,17	0,21	0,15	0,17	0,09
Eu	ppm	0,30	0,19	0,25	0,22	0,24	0,12	0,12	0,15	0,14	0,07	0,03	0,04	0,11	0,06	0,05	0,0
Gd	ppm	1,30	0,91	1,20	0,99	1,14	0,46	0,44	0,65	0,53	0,29	0,18	0,17	0,28	0,28	0,30	0,16
Tb	ppm	0,24	0,16	0,19	0,15	0,19	0,08	0,08	0,10	0,09	0,05	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,01
Dy	ppm	1,33	1,01	1,25	0,99	1,00	0,44	0,43	0,59	0,50	0,27	0,12	0,12	0,25	0,17	0,12	0,03
Ho	ppm	0,31	0,21	0,25	0,19	0,22	0,08	0,11	0,11	0,10	0,06	0,03	0,03	0,05	0,08	0,06	0,02
Er	ppm	0,73	0,58	0,63	0,51	0,62	0,22	0,28	0,31	0,23	0,14	0,08	0,09	0,17	0,25	0,20	0,10
Tm	ppm	0,13	0,07	0,09	0,08	0,10	0,04	0,05	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,03	0,04	0,03	0,01
Yb	ppm	0,60	0,44	0,49	0,45	0,47	0,25	0,31	0,34	0,25	0,18	0,09	0,08	0,17	0,19	0,07	0,19
Lu	ppm	0,12	0,07	0,08	0,06	0,09	0,04	0,05	0,05	0,04	0,02	0,09	0,08	0,17	0,03	0,01	0,03
Hf	ppm	0,3	0,1	0,4	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Ta	ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Th	ppm	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,5	0,3	1,5	0,5	0,1	0,12	0,17	0,21	0,10	0,10	0,10
U	ppm	3,3	3,2	5,5	3,2	3,0	1,4	1,7	1,5	2,1	1,4	0,5	0,4	0,5	0,7	0,3	0,2
Zn	ppm	3	1	4	4	2	6	5	5	3	5	3	4	8	3	8	4
Pb	ppm	1,3	0,8	1,6	1,0	1,1	2,1	4,9	2,9	1,5	1,3	4,7	1,2	2,3	0,8	1,2	1,4

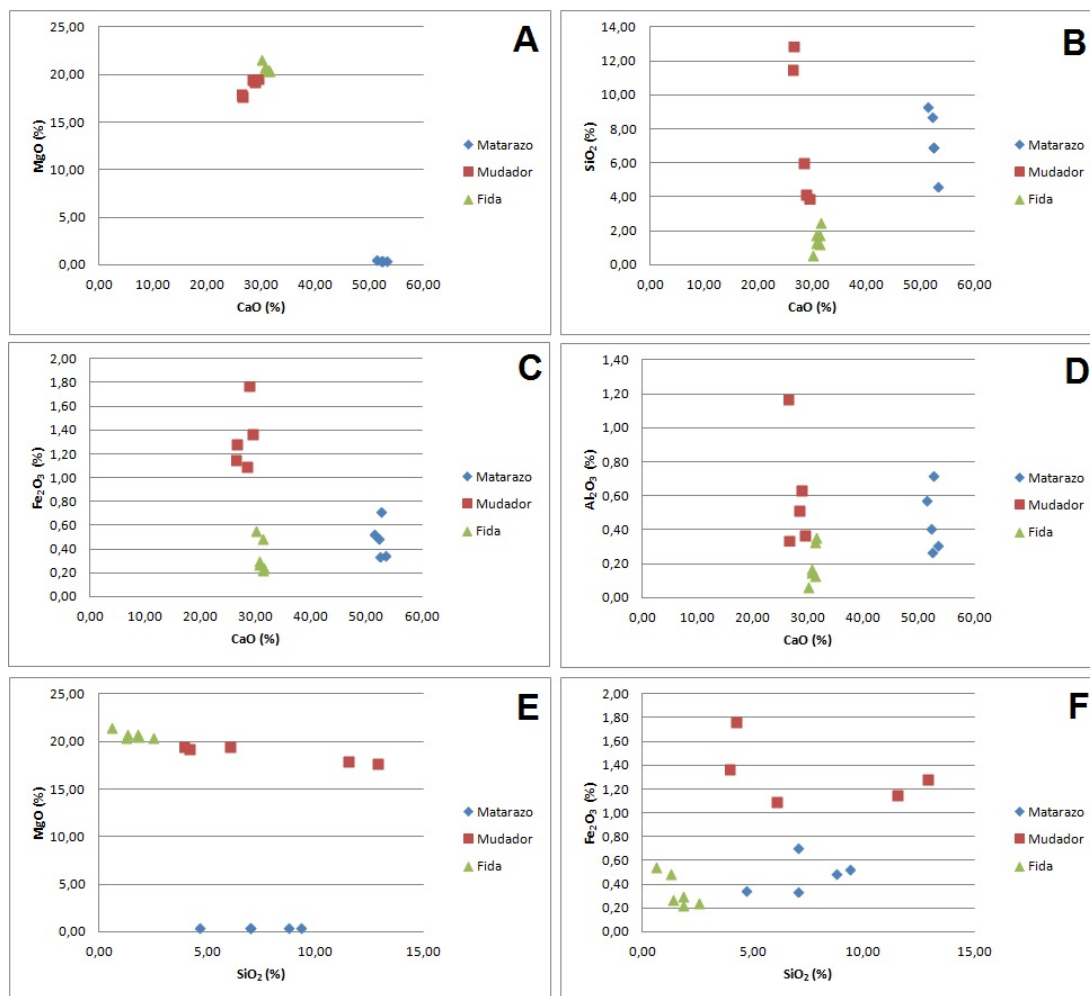


Figura 19. A) Diagrama CaO x MgO; B) Diagrama CaO x SiO₂; C) Diagrama CaO x Fe₂O₃; D) Diagrama CaO x Al₂O₃; E) Diagrama SiO₂ x MgO; F) Diagrama SiO₂ x Fe₂O₃.

4.4 GEOLOGIA ISOTÓPICA

A Tabela 3 contém as razões isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidas nas amostras das três pedreiras. Na Fida, os resultados dos mármore (amostras FID-01, FID-03 e FID-05) são valores próximos de 0,704 enquanto que os resultados dos xistos (amostras FID-02 e FID-04) foram diferentes de uma amostra para outra. Na pedreira Mudador, as amostras apresentam valores próximos de 0,711 e na Matarazzo 0,706.

Tabela 3. Valores da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para cada amostra.

	Amostra	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
FIDA	FID 01	0,713106
	FID 02	0,714251
	FID 03	0,704859
	FID 04	0,731746
	FID 05	0,704801
MATARAZZO	MAT 01	0,706204
	MAT 02	0,706239
	MAT 03	0,706068
	MAT 04	0,706337
	MAT 05	0,706179
MUDADOR	MUD 01	0,711895
	MUD 02	0,711313
	MUD 03	0,712764
	MUD 04	0,712704
	MUD 05	0,711773

5 DISCUSSÕES

É subjetivo discutir sobre a ocorrência de lentes de mármore junto a corpos graníticos ou ultramáficos maiores apenas citando-os, como se fossem uma mesma unidade em todas as suas ocorrências no Escudo Sul-Rio-Grandense. Isto é o que vinha sendo feito até alguns trabalhos mais recentes como Goulart *et al.* (2013), já citado anteriormente, que começou a individualizar essas ocorrências e a questionar se sua origem é a mesma nas diferentes localidades do escudo.

A metodologia proposta nesse trabalho procurou avaliar individualmente cada corpo para, assim, poder compará-los entre si e com outras ocorrências no Rio Grande do Sul e no Brasil.

A petrografia mostrou composição mineralógica semelhante entre as amostras das pedreiras Fida e Mudador e foi, posteriormente, complementada com os resultados da Difractometria de Raios X -, com presença de dolomita como mineral dominante. A diferença está no tamanho de grão (médio para Fida e fino para Mudador) e em características macroscópicas (coloração diferente, presença de veios mais jovens no Mudador, por exemplo). As duas ocorrências são afetadas por tectonismo que gerou fraturas e dobras. As amostras da pedreira Matarazzo, por sua vez, possuem a calcita como mineral dominante. Porém, a presença de anfíbolitos em meio aos mármore da pedreira Matarazzo evidencia um (ou mais) evento(s) tectônico(s) também, que teria soerguido a borda da bacia e lançado rochas do embasamento na área plataformal onde depositavam-se os mármore. Quanto ao metamorfismo, pode-se dizer que foi de grau alto

na região Fida, onde é possível identificar textura granoblástica nos grãos de dolomita.

Através da geoquímica de elementos maiores foi possível, também, separar as amostras Fida e Mudador das ocorrências da Matarazzo. Teores de CaO dos mármore Matarazzo (média de 52,29%) são muito mais elevados que os teores dos mármore Fida e Mudador (30,88% e 27,74% respectivamente). O oposto acontece quando compara-se os teores de MgO. Os valores para os mármore Matarazzo (média 0,51%) são muito mais baixos que os valores encontrados nas amostras Fida e Mudador (20,7% e 18,73% respectivamente), corroborando com a identificação da petrografia e da difratometria de raios X, de mineral dominante sendo dolomita para as ocorrências Fida e Mudador e calcita para a Matarazzo.

Com essa relação de teores foi possível comparar as razões Mg/Ca nas diferentes áreas de estudo, como foi realizado por Goulart *et al.* (2013), onde as razões encontradas nos mármore calcíticos foram entre 0,004 e 0,1 (média de 0,03) e nos mármore dolomíticos, razões entre 0,49 e 0,58 (com média 0,56). Neste trabalho, os valores para as amostras da pedreira Matarazzo (que possui calcita como mineral predominante) foram de 0,007 a 0,009 (com média 0,008), enquanto que nas regiões Fida e Mudador (mármore dolomíticos), as razões encontradas foram entre 0,54 a 0,6, com média 0,56).

Os demais teores de elementos maiores não separam tão claramente as ocorrências em estudo como o CaO e o MgO. Por isso, elas são comparadas com esses óxidos, a fim de, em um diagrama binário, separar duplamente as áreas de estudo. Esses diagramas binários são apresentados na Figura 19. Neles, é possível ver que as amostras das pedreiras Fida e Mudador (ambas na região de Caçapava do Sul) assemelham-se em quase todos os diagramas, claramente destacadas das amostras da pedreira Matarazzo.

Essa relação mineralógica e química entre as amostras da pedreira Fida e Mudador, com uma diferença da pedreira Matarazzo leva a crer que se tratam de duas bacias sedimentares distintas, cada uma com suas

características químicas (diferença nas composições) e de embasamento (presença de anfíbolitos em meio aos mármore na pedreira Matarazzo).

Para se interpretar as análises isotópicas de estrôncio, parte-se do pressuposto que quando carbonatos marinhos precipitam, eles guardam a composição isotópica de Sr da água do mar em sua estrutura (Jacobsen & Kaufman, 1999). Sendo assim, montou-se uma curva da variação da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ na água do mar ao longo do tempo geológico, que é utilizada como parâmetro para se definir a idade em que esses carbonatos precipitaram. Conforme pode ser visto na Tabela 3, as razões encontradas neste trabalho variaram de 0,704 a 0,714 (desconsiderando-se o único resultado fora dessa margem, 0,731). Esses valores foram plotados em uma curva de variação da composição isotópica da água do mar durante o Neoproterozóico (Fig. 20), mostrando que os mármore Fida, com razões 0,704 possuem idade deposicional entre 900 e 930 Ma, sendo do período Toniano, Neoproterozóicos. Os mármore Matarazzo, com razões 0,706, possuem idade entre 820 e 870 Ma, sendo do limite dos período Criogeniano e Toniano, Neoproterozóicos. Por fim, as razões dos mármore Mudador, em média 0,711, mostram terem idade deposicional menor que 550 Ma, sendo do período Ediacarano, Neoproterozóico.

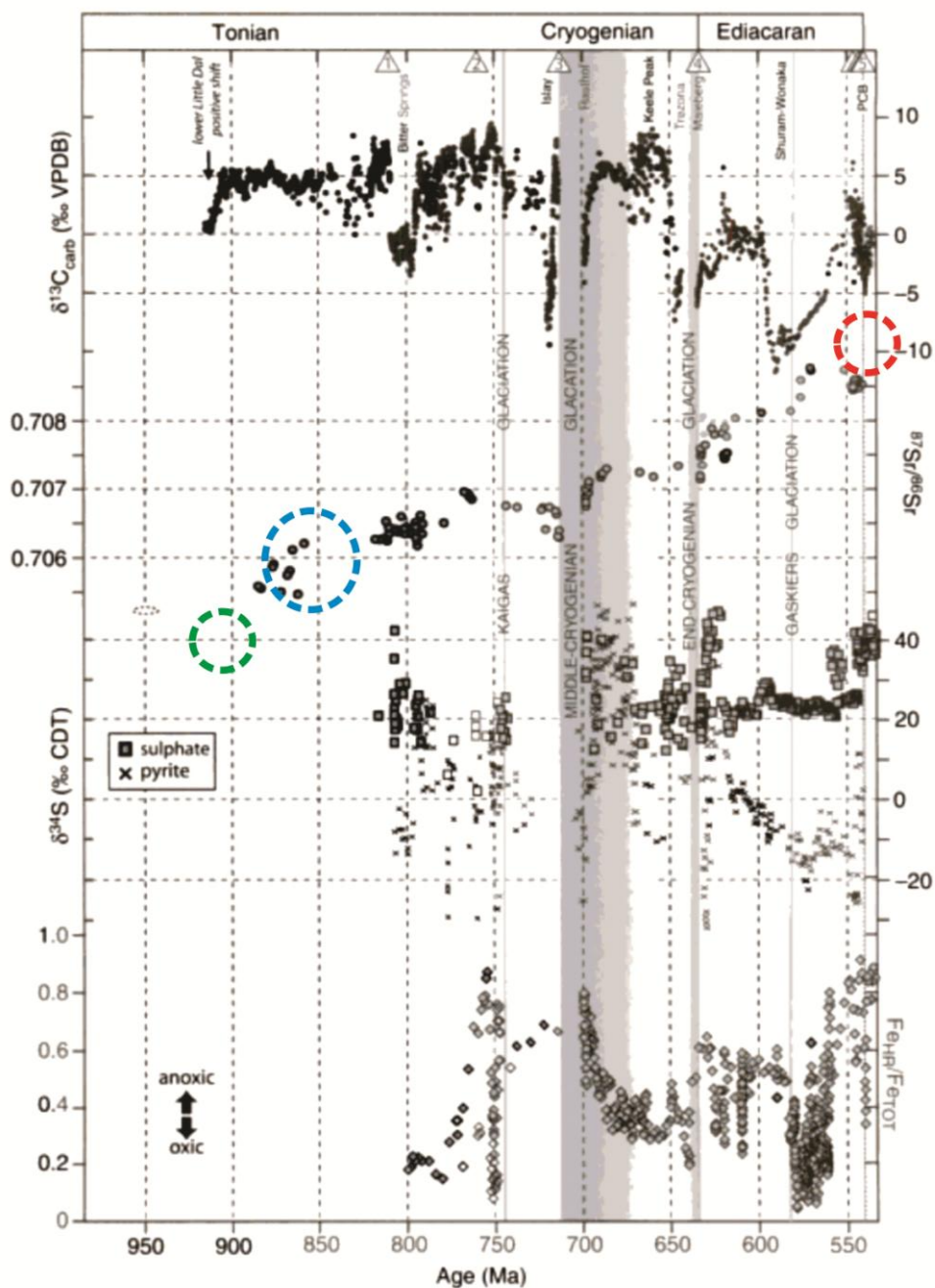


Figura 20. Curva de variação da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ao longo do Neoproterozóico. No campo em azul, interpretação das amostras Matarazzo; em verde, interpretação das amostras Fida; no campo em vermelho, interpretação das amostras Mudador. (Modificado de Halverson & Shields-Zhou, 2011).

Porém pode ocorrer interação dos carbonatos com outros minerais formados por fluidos não-marinhos, alterando a composição isotópica original. Para que se controle isso, são utilizados alguns parâmetros, como as razões Mn/Sr e Sr/Ca com relação aos teores de MnO e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

(Denison *et al.*, 1994), que indicam interação dos carbonatos com fluidos não marinhos, como água doce ou meteórica, que costumam ter mais Mn e Fe e menos Sr que a água do mar. Somado a isso, o Sr tende a ser lixiviado da estrutura dos carbonatos durante a diagênese, enquanto que o Mn é incorporado (Brand & Veizer, 1980).

Ao se realizar tais parâmetros (Fig. 21), observa-se que as amostras MAT-01, MAT-02, MAT-03, MAT-04, MAT-05 da pedreira Matarazzo e FID-03 e FID-05 da Fida ficam no campo primário, não tendo sofrido ação de outros fluidos durante a diagênese ou o metamorfismo. As demais amostras (todas da pedreira Mudador e FID-01 da pedreira Fida) não devem ser consideradas como resultados verdadeiros da sua precipitação original, posto que houve a entrada de fluidos não-marinhos em sua estrutura e/ou a perda do estrôncio original.

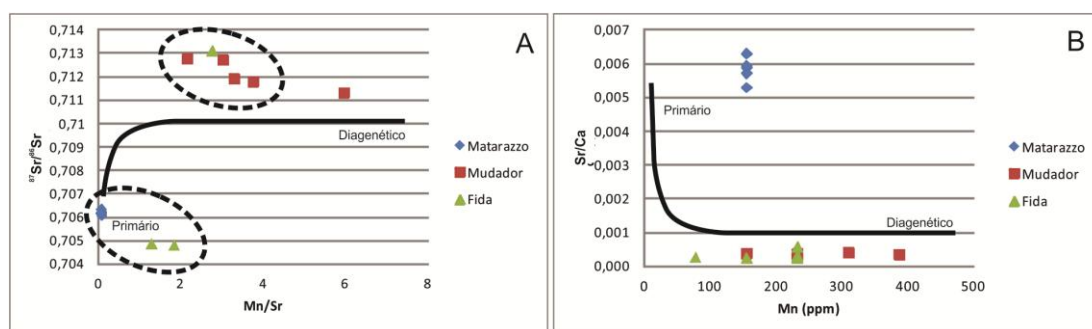


Figura 21. Diagramas com parâmetros indicativos da interação dos mármore com fluidos não marinhos após sua precipitação. A) Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ X Mn/Sr, mostrando no campo inferior, amostras com conteúdo primário e, no campo superior, conteúdo diagenético; B) Diagrama Sr/Ca X MnO (ppm), com amostras da pedreira Matarazzo no campo do conteúdo primário e as demais no conteúdo diagenético.

Por fim, pode-se fazer um comparativo das razões isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidas nos mármore em estudo com demais ocorrências de carbonatos no Brasil e no Rio Grande do Sul.

Dentro do Escudo Sul-Rio-Grandense, Goulart *et al.* (2013) obteve razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,706 e 0,710 nas três ocorrências de seu estudo (Formação Passo Feio, Complexo Cambaí, Complexo Coxilha do Batovi), sendo interpretadas com idades entre 770 e 730 Ma sendo, portanto, mais jovens que os mármore Fida e Matarazzo.

No Brasil, os estudos desse tipo se concentram no Grupo Bambuí (região central do Brasil). Nessa área, Cunha (2012) obteve razões isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,707 e 0,708 nas duas ocorrências de seu estudo (Formação Lagoa do Jacaré e Formação Sete Lagoas), sendo interpretadas com idades entre 630 e 575 Ma sendo mais jovens que os mármores Fida e Matarazzo. Figueiredo (2010) obteve razões entre 0,707 e 0,708 também, relacionando a deposição da sua unidade em estudo a glaciação Marinoana (entre 650 e 630 Ma) sendo, então, mais recentes que os mármores Fida e Matarazzo.

6 CONCLUSÕES

Após a apresentação e discussão dos resultados obtidos com este trabalho, é possível concluir que:

É possível trabalhar a metodologia empregada neste trabalho em carbonatos que sofreram metamorfismo - inclusive em grau alto - desde que seja tomado um certo cuidado na seleção das amostras e na avaliação da influência de fluidos não marinhos na sua composição;

Os mármore Fida e Mudador, mesmo que diferentes em aspectos macroscópicos, são muito semelhantes quando se trata de composição mineralógica e química. Tais mármore se diferenciam claramente do Matarazzo, na região sul do escudo, química e mineralogicamente;

As amostras do mármore Mudador e uma amostra do mármore Fida não podem ser consideradas como resultado fiel para a análise isotópica de Sr, já que sofreram influência de fluidos não marinhos; Essas amostras não podem ser consideradas, portanto para a definição de uma idade deposicional das rochas;

Os mármore Fida possuem razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0,704, com uma idade deposicional estimada em 900 a 930 Ma;

Os mármore Matarazzo apresentaram razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0,706. com idade deposicional estimada em 820 a 870 Ma;

Os mármore em estudo neste trabalho não se formaram na mesma bacia sedimentar. Os Fida e Mudador possuem características químicas - principalmente - que indicam serem geneticamente relacionados, tendo sido formados sob condições semelhantes, em uma mesma bacia.

Diferentemente do mármore Matarazzo, que possui composição química e mineralógica distinta, sendo uma bacia a parte e em um momento posterior.

Comparando as razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos mármore das pedreiras Fida e Matarazzo com demais ocorrências no Rio Grande do Sul (Goulart *et al.*, 2013) e Brasil (Figueiredo, 2010; Cunha, 2012) percebe-se que se tratam de mármore de deposição mais antiga (idades deposicionais entre 820 e 930 Ma) que as demais ocorrências no Rio Grande do Sul (770 a 730 Ma) e no Brasil (650 a 575 Ma).

7 REFERÊNCIAS

Abreu Lima S.A. 1997. **Fácies, ambiente deposicional e aspectos diagenéticos das rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas na região norte de Minas Gerais, *Bacia do São Francisco***. 121p. Dissertação de Mestrado. Escola de Minas/UFOP, Ouro Preto.

Almeida, F.F.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A. 1981. **Brazilian Structural Provinces: An Introduction**. Earth Science Reviews, 17:1-29.

Alvarenga, C.J.S.; Dardenne, M.A.; Santos, R.V.; Brod, E.R.; Gioia, S.M.C.L.; Sial, A.N.; Dantas, E.L. & Ferreira, V.P. 2007. **Isotope stratigraphy of Neoproterozoic cap carbonates in the Araras Group, Brazil**. Gondwana Research, doi10.1016/j.gr.2007.05.004 (in press).

Alvarenga, C.J.S.; Giustina, M.E.S.D.; Silva, C.N.G.; Santos, R.V.; Gioia, S.M.C.L.; Guimarães, E.M.; Dardenne, M.A.; Sial, A.N.; Ferreira, V.P. 2007 **Isótopos de C e Sr em carbonatos pré e pós-glaciação Jequitai (Esturtiano) na região de Bezerra-Formosa, Goiás**. Rev. Bras. Geociências, 37 (4 supl):147-155).

Borba, A.W., 2006. **Evolução geológica da “Bacia do Camaquã” (Neoproterozóico e Paleozóico inferior do Escudo Sul-Rio-Grandense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade do Rio Grande do Sul, 474p.

Bortolotto, O.J. 1987. **Petrografia das marmores de Cacapava do sul, RS**. Ciencia e Natura. Santa Maria, RS vol. 9, p. 37-65 : il.

Bortolotto, O.J. 1988. **Metamorfismo termal dos mármores de Cacapava do Sul**. Ciencia e Natura. Santa Maria, RS vol. 10, (1988), p. 25-48 : il.

Brand, U. & Veizer, J. 1980. **Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system - 1: Trace elements**. Journal of Sedimentary Petrology, vol. 50, No 4. p.1219 - 1236.

Chemale Jr., F. 2000. **Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense**. In: Geologia do Rio Grande do Sul, Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p.133-160, 2000.

Cunha, R.B. 2012. **Quimioestratigrafia $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das rochas carbonáticas do grupo Bambuí**. 75 f. : il. Trabalho de conclusão (graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Geologia, Porto Alegre, RS.

Denison, R.E.; Koepnick, R.B.; Fletcher, A.; Howell, M.W.; Callaway, W.S. 1994. **Criteria for the retention of original seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in ancient shelf limestones**. Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), 112. 131-143

Fernandes, L.A.D.; Menegat, R.; Costa, A.F.U.; Koester, E.; Porcher, C.C.; Tommasi, A.; Kraemer, G.; Ramgrab, G.E.; Camozzato, E. 1995. **Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-riograndense: Parte I – Uma Contribuição a Partir do Registro Geológico**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.25, n.4, p.351-374, 1995.

Figueiredo, M.F. 2010. **Quimioestratigrafia isotópica (C, O, S e Sr), geocronologia (Pb-Pb e K-Ar) e proveniência (Sm-Nd) das rochas da Faixa Paraguai Norte, Mato Grosso**. Tese de doutoramento. Universidade de São Paulo.

Fragoso-Cesar, A.R.S.; Figueiredo, M.C.H.; Soliani Jr., E. & Faccini, U.F. 1986. **O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., Goiânia, 1986. *Anais*. Goiânia, SBG, v. 3. p. 1322-1343.

Frantz, J.C. & Remus, M.V.D. 1986. **Geologia de Canguçu-Torrinhas. I: Caracterização petrográfica, estrutural e estratigráfica**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34., 1986, Goiânia. *Anais*. SBG, 2:931-948.

Gazzoni, C.P. 2010. **Padrão mineralógico de ocorrência dos depósitos de minério de cobre hospedados em escarnitos e mármores da região de Caçapava do Sul – RS**. 54 f. : il. Trabalho de conclusão (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Geologia, Porto Alegre, RS.

Goulart, R.V.; Remus, M.V.D. & Reis, R.S. 2013. **Composição isotópica de Sr, C e O e geoquímica de ETRs das rochas carbonáticas do Bloco São Gabriel, Rio Grande do Sul**. Pesquisas em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. vol. 40 (1): 75-97

Halverson, G. P. & Shields-Zhou, G. 2011. **Chemostratigraphy and the Neoproterozoic glaciations**. In: Arnaud, E., Halverson, G.P. & Shields-Zhou, G. (eds) The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations. Geological Society, London, Memoirs, 36, 51–66.

Hartmann, L. A.; Nardi, L. V. S.; Formoso, M. L. L.; Remus, M. V. D.; Lima, E. F.; Mexias, A. S. 1999. **Magmatism and metallogeny in the crustal evolution of Rio Grande do Sul Shield, Brazil**. Pesquisas, 26: 45–63.

Hartmann, L. A.; Chemale, F.; Philipp, R. P. 2007. **Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano**. In: 50 Anos de geologia no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade.

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

Jacobsen, S.B. & Kaufman, A.J. 1999. **The Sr, C and O isotopic evolution of Neoproterozoic seawater**. Chemical Geology 161, 37-57

Lopes, C.G. 2012. **Proveniência das rochas metassedimentares detríticas do Complexo Passo Feio - Terreno São Gabriel, Caçapava do Sul - RS**. Trabalho de conclusão (graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Geologia, Porto Alegre, RS.

Melezhik, V.A.; Roberts, D.; Fallick, A.E.; Gorokhov, I.M. & Kusnetzov, A.B. 2005. **Geochemical preservation potential of high-grade calcite marble versus dolomite marble: implication for isotope chemostratigraphy**. Chemical Geology, 216: 203-224.

Mesquita, M.J.M. & Fernandes, L.A.D. 1990. **Petrografia dos granitóides deformados na Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (região de Quitéria-Capivarita)**. Acta Geologica Leopoldensia, 13(30): 55-74.

Misi, A.; Kaufman, A.J.; Veizer, J.; Powis, K.; Azmy, K.; Boggiani, P.C.; Gaucher, C.; Teixeira, J.B.G.; Sanches, A. & Iyer, S.S.S. 2007. **Chemostratigraphic correlation of Neoproterozoic successions in South America**. Chemical Geology, 237: 143-167.

Philipp R.P. 1998. **A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul**. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 255p.

Phillip, R.P.; Nardi, L.V.S. & Bitencourt, M.F. 2000. **O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul**. In: Geologia do Rio Grande do Sul, Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p.133-160, 2000.

Philipp, R.P.; Machado, R.; Nardi, L.V.S. & Lafon, J.M. 2002. **O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.32, p.277-290, 2002.

Philipp, R.P. & Machado, R. 2006. **The late Neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batolith, southern Brazil**. Journal of South American Earth Sciences, v.19, p.461-478, 2006.

Ramgrab, G.E.; Toniolo, J.A.; Ferreira, J.A.F.; Machado, J.L.F.; Branco, P.M. & Süffert, T. 2000. **Principais Recursos Minerais do Rio Grande do Sul**. In: Geologia do Rio Grande do Sul, Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p.133-160, 2000.

Ramos, R. C. 2011. **Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, RS**. 95 f. : il. Trabalho de conclusão (graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Geologia, Porto Alegre, RS.

Remus, M. V. D.; Hartmann, L. A.; Mcnaughton, N. J.; Groves, D. I. & Fletcher, I. R. 2000. **The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brazilian Cycle in southern Brazil**. Journal of South American Earth Sciences, v. 13, p. 191-216.

Soliani Jr, E.; Koester, E.; Fernandes, L. A. D. 2000. **A geologia isotópica do Escudo Sul-Rio-Grandense – Parte I: métodos isotópicos e valor interpretativo**. In: Holz, M.; De Ros, L. F. (Eds.). Geologia do Rio Grande do Sul. CIGO/UFRGS. Porto Alegre. p. 175–230.

Wildner, W.; Ramgrab, G. E.; Lopes, R. Da C.; Iglesias, C. M. F. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Sul: Escala 1:750.000**. PortoAlegre: CPRM, 2008. 1DVD. Programa Geologia do Brasil; Mapas geológicos Estaduais.