

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JULIANO FABRIS

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS DIFERENTES VARIEDADES DE MÁRMORE DA
REGIÃO DE CAÇAPAVA DO SUL COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A PRODUÇÃO
DE CORRETIVOS DE ACIDEZ DOS SOLOS E CAL**

**Caçapava do Sul
2015**

JULIANO FABRIS

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS DIFERENTES VARIEDADES DE MÁRMORE DA
REGIÃO DE CAÇAPAVA DO SUL COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A PRODUÇÃO
DE CORRETIVOS DE ACIDEZ DOS SOLOS E CAL**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof^o. Msc. Luiz Delfino
Teixeira Albarnaz

**Caçapava do Sul
2015**

JULIANO FABRIS

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS DIFERENTES VARIEDADES DE MÁRMORE DA
REGIÃO DE CAÇAPAVA DO SUL COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A PRODUÇÃO
DE CORRETIVOS DE ACIDEZ DOS SOLOS E CAL**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso II defendido e aprovado em: 04/12/2015.

Banca examinadora:

Prof. Msc. Luiz Delfino Teixeira Albarnaz
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Dr. Luis Eduardo de Souza
UNIPAMPA

Prof. Msc. Vinicius Matté
UNIPAMPA

RESUMO

As rochas carbonáticas ocupam um volume expressivo da crosta terrestre, estando presentes nas mais diversas unidades litoestratigráficas da história terrestre e tendo sido depositadas por processos químicos e biológicos desde o Arqueano (> 2,5 Ga) até o Quaternário (<1,75 Ma). Como exemplos destas rochas têm-se calcários, dolomitos e mármore, que chegam a representar de 10 a 15% de todas as rochas sedimentares e metassedimentares aflorantes pelo mundo. A região de Caçapava do Sul-RS é um exemplo dessa ocorrência, onde afloram mármore que são explorados por diversas empresas mineradoras, representando uma grande fonte de renda e empregos para a cidade. As rochas da região possuem coloração predominantemente branca e, devido às suas características químicas, são classificadas como mármore dolomíticos, que, após sua extração e seu beneficiamento, são comercializadas como calcário agrícola, sendo usados como corretivo de acidez do solo e uma pequena porcentagem como cal. No entanto, além de mármore branco, em alguns pontos são encontradas rochas com coloração preta, rosa, creme, entre outras. Com isso, o presente trabalho teve como objetivo a avaliação da qualidade dos diferentes tipos de mármore (preto, rosa, creme e branco) encontrados na região de Caçapava do Sul-RS, como matéria-prima para a produção de corretivos agrícolas e cal, através da análise dos parâmetros exigidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para a produção de corretivos de acidez e pela norma da ABNT NBR-6473 para a produção de cal. Ao final, pôde-se concluir que todas as variedades de mármore analisadas apresentam as características químicas mínimas exigidas na legislação para a produção de corretivos de acidez dos solos. Já para a produção de cal, apenas as variedades preta, branca e rosa apresentaram o resultado esperado.

Palavras-Chave: Mármore; Qualidade; Corretivos de solo; Cal.

ABSTRACT

The carbonate rocks occupy an expressive volume throughout the Earth's surface. They are found in many lithostratigraphic units, deposited by chemical and biological processes since the Archean (>2.5 GA) until the Quaternary (<1,75 Ma). Limestones and marbles are examples of this type of rock, which represent 10 to 15% of all the metasedimentary and sedimentary rocks in the world. The region of Caçapava do Sul – RS is an example of this occurrence, with marbles that are explored by many mining companies, which represents a large income source and jobs for the city. The rocks of the area are predominantly white and, due to their chemical features, are classified as dolomite marbles that after extraction and beneficiation are commercialized as agricultural limestones, being used as acidity soil corrective and a small percentage as lime. However, besides the white marbles, in some areas, it is possible to find black, pink and cream rocks. Therefore, this research aims to evaluate the quality of the different types of limestones (dark, pink, white and cream) found in Caçapava do Sul - RS as raw material for the production of soil correctors and lime. Through the analysis of the parameters required by the Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento for the production of soil correctors and for the ABNT norm NBR-6473 for the production of lime. It was possible to conclude that all the varieties of marbles analyzed present the minimal chemical features required by the legislation for the production of acidity soil corrective. For the production of lime, only the dark, white and pink varieties presented the expected result.

Keywords: marble; quality; agricultural limestone; lime.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Produto final da moagem das diferentes variedades de mármore da região de Caçapava do Sul-RS.....	11
Figura 2- Mapa rodoviário de acesso às áreas de coleta das amostras.	26
Figura 3- Mapa de localização e situação das áreas de estudo.....	28
Figura 4- Mapa de detalhe das áreas de estudo.....	29
Figura 5- Compartimentação geotectônica do Escudo Sul-Riograndense.....	30
Figura 6- Mapa geológico do Bloco São Gabriel com a área aproximada das áreas de estudo.....	34
Figura 7- Amostras de mármore preto da localidade Arroio Mudador selecionadas para o trabalho.....	38
Figura 8- Amostras de mármore rosa da localidade Arroio Mudador selecionadas para o trabalho.....	38
Figura 9- Amostras de mármore creme da localidade Arroio Mudador selecionadas para o trabalho.....	39
Figura 10- Amostras de mármore branco da localidade Caieiras selecionadas para o trabalho.....	39
Figura 11- Amostras de mármore da variedade rosa da região das Caieiras- Caçapava do Sul.....	40
Figura 12- Amostras representando cada uma das variedades de mármore após o processo de moagem e peneiramento.....	42
Figura 13- Figura ilustrando parte do processo de preparação das amostras. a) triturador utilizado na moagem das amostras coletadas em campo; b) peneiras 10, 20 e 50 da ABNT utilizadas no peneiramento do material; c) material sendo peneirado; d) separação de cada amostra moída em sacos plásticos devidamente identificados.	42
Figura 14- Imagens mostrando alguns equipamentos, materiais e procedimentos usados durante as análises químicas.a) Balança de precisão para pesagem das amostras; b) Amostras diluídas em ácido clorídrico; c) Chapa aquecedora para aumento da reação entre ácido e amostra; d) Filtragem do material após o aquecimento; e) Solução com nova cor após a viragem de cor na titulação; f) Ácido clorídrico e hidróxido de sódio utilizados nas análises.	45
Figura 15- Gráfico de correlação entre as variáveis poder de neutralização e resíduos insolúveis.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação das rochas carbonáticas com base na porcentagem de MgO presente na composição da rocha	15
Tabela 2- Características químicas exigidas para os corretivos de acidez dos solos	16
Tabela 3- Produção e consumo do calcário agrícola no estado do Rio Grande do Sul	18
Tabela 4- Características químicas mínimas exigidas para a comercialização da cal virgem	20
Tabela 5- Características físicas mínimas exigidas para a comercialização da cal virgem	21
Tabela 6- Características químicas e físicas mínimas exigidas para a comercialização da cal hidratada para produção de argamassa.....	21
Tabela 7- Amostras coletadas com suas respectivas identificações, localização, coloração e pedreira onde foram coletadas	41
Tabela 8- Resultados analíticos das amostras de coloração preta	48
Tabela 9- Resultados analíticos das amostras de coloração rosa da localidade Arroio Mudador	50
Tabela 10- Resultados analíticos das amostras de coloração creme	51
Tabela 11- Resultados analíticos das amostras de coloração branca	52
Tabela 12- Resultados analíticos para as amostras de coloração rosa provenientes da região das Caieiras	53
Tabela 13- Tabela comparativa dos valores médios dos parâmetros analisados encontrados para cada variedade de mármore.....	54
Tabela 14- Resultados analíticos para a determinação dos parâmetros exigidos para a produção de cal.....	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	JUSTIFICATIVA.....	11
3	OBJETIVOS.....	13
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1	O que é calcário?	14
4.2	Formação dos calcários	14
4.3	Classificação das rochas carbonáticas	14
4.4	Principais usos da rocha calcária e sua legislação	15
4.4.1	Uso na agricultura.....	15
4.4.2	Calcário para a Indústria da Cal	19
4.4.3	Calcário para a indústria do cimento (cimentos hidráulicos).....	21
4.4.4	Uso na construção civil.....	22
4.4.5	Uso na indústria de papel	22
4.4.6	Uso na indústria de plásticos	22
4.5	Estado da Arte	23
5	ÁREA DE ESTUDO	26
5.1	Localização e acesso	26
5.2	Contexto geológico.....	30
5.2.1	Geologia regional.....	30
5.2.2	Geologia local.....	32
6	METODOLOGIA	37
6.1	Ida ao campo, coleta e identificação das amostras.....	37
6.2	Preparação das amostras	41
6.3	Realização das análises dos parâmetros químicos	43
6.3.1	Análise das amostras para determinação da qualidade como possível matéria prima para a produção de corretivos de acidez dos solos	43
6.3.2	Análise das amostras para a determinação da qualidade como possível matéria prima para a produção de cal.....	45
6.4	Análise e discussão dos resultados	47
7	RESULTADOS.....	48

7.1	Resultado das análises das amostras como possível matéria-prima para produção de corretivos de acidez dos solos	48
7.1.1	Mármore preto-Mudador	48
7.1.2	Mármore rosa-Mudador	49
7.1.3	Mármore creme-Mudador	50
7.1.4	Mármore branco-Caieiras	51
7.1.5	Mármore rosa-Caieiras	53
7.2	Resultado das análise das amostras como possível matéria-prima para produção de cal	55
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
9	RECOMENDAÇÕES	59
10	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

As rochas carbonáticas são rochas sedimentares e metassedimentares que apresentam mais de 50% de minerais carbonáticos, sendo estes representados pela calcita, dolomita e em menores quantidades pela aragonita, siderita e magnesita (SAMPAIO & ALMEIDA, 2008). Elas ocupam um volume expressivo da crosta terrestre e estão presentes nas mais diversas unidades litoestratigráficas, tendo sido depositadas por processos químicos e biológicos desde o Arqueano (> 2,5 Ga) até o Quaternário (<1,75 Ma). Como exemplos dessas rochas têm-se calcários, dolomitos e mármore, que chegam a representar de 10 a 15% de todas as rochas sedimentares e metassedimentares aflorantes pelo mundo (NAHASS & SEVERINO, 2003).

O município de Caçapava do Sul é um exemplo de onde ocorrem grandes depósitos dessas rochas, exploradas por diversas empresas e representando uma importante fonte de renda e empregos para o município.

As rochas exploradas são representadas por mármore dolomíticos (BORTOLOTTI, 1987; GOULART *et al.* 2011) e ocorrem, predominantemente, na coloração branca que, após sua extração e beneficiamento, são comercializados principalmente como corretivos de acidez dos solos e em menores quantidades como cal. No entanto, além dos mármore de coloração branca, também ocorrem outras variedades, tendo as colorações preta, rosa e creme, mas devido à sua coloração, são menos aceitas pelo mercado.

Pesquisas também demonstram que há uma grande demanda do produto no estado, uma vez que o Rio Grande do Sul consome mais calcário agrícola do que produz (ABRACAL, 2014(a) e (b)).

Com isso, o estudo proposto buscou, através da análise de parâmetros químicos como poder de neutralização, soma do percentual de óxidos de Ca e Mg, resíduos insolúveis e perda ao fogo dessas demais variedades de mármore, mostrar a qualidade das mesmas, provando que também podem ser utilizadas como matéria-prima na produção de corretivos de acidez dos solos e cal.

2 JUSTIFICATIVA

Quando pensamos em calcário, automaticamente o que vem em nosso pensamento é uma rocha branca ou o seu produto, um pó branco de granulação bem fina. Este conceito está, infelizmente, inserido tanto no mercado de produção quanto no mercado de consumo desses produtos. No entanto, existem diversas outras variedades desta rocha carbonática, com colorações que variam desde o preto, passando pelo cinza claro, rosa, creme, entre outras. Algumas dessas variedades já são comercializadas como brita e, em alguns poucos lugares, como matéria-prima para a indústria de tintas. No entanto, tentativas de inserção desses produtos como corretivos de solos e cal foram realizadas sem sucesso, devido à coloração dos produtos finais.

Na figura 1, podemos observar a coloração final de algumas variedades dos mármore de Caçapava do Sul após sua moagem, mostrando que há uma grande diferença na coloração do produto resultante, o que dificulta a inserção desses produtos no mercado como corretivos de acidez dos solos e cal.

Figura 1- Produto final da moagem das diferentes variedades de mármore da região de Caçapava do Sul-RS.



Fonte: Autor

Cabe ressaltar que ainda não existe nenhum trabalho científico que buscou fazer uma correlação entre as diferentes variedades de calcário e seus potenciais como matéria-prima para a produção de corretivos de solo e cal.

Neste sentido, este trabalho vem com uma importância tanto científica como econômica, uma vez que aumentará o conhecimento a respeito da qualidade dessas demais variedades de mármore e, com isso, ajudará a desmistificar o conceito de que apenas o calcário branco tem qualidade para ser utilizado na indústria de corretivos de acidez dos solos e cal, podendo colaborar na inserção desses produtos no mercado.

3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo colaborar na desmistificação do conceito de que apenas o calcário branco apresenta qualidade como matéria prima para a produção de corretivos de acidez dos solos e cal, provando através da análise de parâmetros químicos, que as demais variedades (preto, rosa, creme) também possuem qualidade química para a produção desses produtos. Espera-se também, de forma indireta, que este trabalho sirva como documento pelas empresas de mineração de calcário da região, na hora da comercialização de seus produtos, atestando junto aos usuários de calcário, que as demais variedades dessa rocha também apresentam as exigências determinadas pelo Art. 3º. da Instrução Normativa nº 35 de 4 de julho de 2006 da Secretaria de Defesa Agropecuária- SDA do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 O que é calcário?

Na geologia, o calcário é uma rocha sedimentar formada por mais de 50% de minerais carbonáticos como a calcita (CaCO_3) e dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], onde a deposição desses minerais se dá por precipitação química ou pelo acúmulo de agentes biogénéticos. Pode conter também outros carbonatos como a siderita (FeCO_3) e magnesita (MgCO_3), entre outros, (SAMPAIO E ALMEIDA, 2008), além de impurezas como a matéria orgânica, silicatos, fosfatos, sulfetos, sulfatos, entre outros (MINEROPAR, 2009). Quando metamorfizados recebem o nome de mármore.

4.2 Formação dos calcários

Os calcários são rochas sedimentares formadas pela deposição de materiais carbonáticos, seja por precipitação química ou pelo acúmulo de agentes biogénicos.

O Cálcio (Ca) é um dos elementos químicos mais abundantes na crosta terrestre, chegando de 3 à 4% do total. Este está presente nas rochas ígneas, que por processos intempéricos liberam esse elemento na forma de íon para as águas. Uma vez que chega ao oceano, encontra um meio menos solúvel e, em associação com o CO_3 , precipita formando os calcários. Fatores como alta evaporação e variações na temperatura podem aumentar essa precipitação (SAMPAIO E ALMEIDA, 2008).

Um outro mecanismo capaz de formar depósitos de calcário é por deposição biogénica. Neste, restos de carapaças e esqueletos de animais marinhos como moluscos, braquiópodos, cnidários, equinodermos, foraminíferos e algas calcáreas são depositados no assoalho oceânico formando espessas camadas de material carbonático, dando origem com o passar do tempo, às rochas carbonáticas (SAMPAIO E ALMEIDA, 2008).

4.3 Classificação das rochas carbonáticas

As rochas carbonáticas são classificadas de acordo com o teor de óxido de magnésio (MgO) presente em sua composição. Pettijohn (1957) e Bigarella (1956) propuseram a seguinte classificação (tabela 1), dividindo os calcários em 5 grandes grupos:

Tabela 1- Classificação das rochas carbonáticas com base na porcentagem de MgO presente na composição da rocha

DENOMINAÇÃO DOS CALCÁRIOS	PETTIJOHN- %MgO	BIGARELLA- %MgO
Calcário calcítico	0,0 a 1,1	0,0 a 1,1
Calcário magnésiano	1,1 a 2,1	1,1 a 4,3
Calcário dolomítico	2,1 a 10,8	4,3 a 10,5
Dolomítico calcítico	10,8 a 19,5	10,5 a 19,1
Dolomito	19,5 a 21,7	19,1 a 22,0

Fonte: Fonte: Pettijohn (1957) e Bigarella (1956)

4.4 Principais usos da rocha calcária e sua legislação

O emprego do calcário depende de sua composição química e/ou de suas características físicas. Sampaio & Almeida (2008), citam os calcários como matéria-prima para diversos usos, como na agricultura, na produção da cal e de cimentos, na construção civil, nas indústrias de papéis, plásticos, tintas e vidros, na produção de rochas ornamentais, cerâmica, indústria metalúrgica, na alimentação animal e também no tratamento de água.

Como o enfoque do trabalho é a determinação da qualidade dos mármorees como matéria-prima para a produção de corretivos de acidez dos solos e cal, será destacada a legislação para comercialização apenas destes produtos.

4.4.1 Uso na agricultura

Num processo denominado de calagem, tanto o calcário moído como seus produtos, cal virgem e hidratada, escória, entre outros, são aplicados no solo com o intuito de diminuir e corrigir sua acidez, permitindo assim a absorção de elementos presentes no solo pelos vegetais e assim promover o seu crescimento. Este processo também é responsável por diminuir os efeitos nocivos do alumínio e do manganês nos solos. A diminuição da acidez acontece pela reação do íon Ca com os íons de H dissolvidos no solo, aumentando assim seu pH (SAMPAIO E ALMEIDA, 2008). O calcário dolomítico é o mais usado para essa finalidade e disponibiliza dois

elementos essenciais para as plantas, o Ca e o Mg, tendo ambos papel fundamental no crescimento vegetal.

A Instrução Normativa n° 35 de 4 de julho de 2006 da Secretaria de Defesa Agropecuária- SDA do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA adota normas relativas ao Decreto n° 4.954/ 2004, onde constam as seguintes especificações para os corretivos de solos (DNPM, 2009):

Da Natureza Física:

Art. 2°. Os corretivos de acidez terão natureza física sólida, apresentando-se em pó, onde suas partículas deverão passar 100% em peneira de 2 milímetros (ABNT n° 10), no mínimo 70% em peneira de 0,84 milímetros (ABNT n° 20) e no mínimo 50% em peneira de 0,3 milímetros (ABNT n° 50).

Art. 3°. Além das características exigidas no Art. 2°. , os corretivos de acidez deverão apresentar as seguintes características (tabela 2) quanto aos valores de PN (Poder de Neutralização), soma dos óxidos de Ca e Mg (CaO% + MgO%) e PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total).

Tabela 2- Características químicas exigidas para os corretivos de acidez dos solos

Material Corretivo de Acidez	PN (% E CaCO ₃) Mínimo	SOMA (% CaO + % MgO) Mínimo	PRNT Mínimo
Calcário agrícola	67	38	45
Calcário calcinado agrícola	80	43	54
Cal hidratada agrícola	94	50	90
Cal virgem agrícola	125	68	120
Outros	67	38	45

Fonte: modificado de DNPM (2009)

Como se pode observar na tabela 2, algumas exigências mínimas devem ser cumpridas para que o produto seja considerado um corretivo de acidez do solo, como:

- Poder de Neutralização (PN): é a capacidade potencial que o corretivo tem em neutralizar ácidos. É expressa em teor neutralizante equivalente ao carbonato de cálcio (%ECaCO₃);

- Soma (%CaO + %MgO): esse valor corresponde a soma das porcentagens de óxido de cálcio e de óxido de magnésio presente na amostra;
- Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT): o PRNT calcula a eficiência dos corretivos de solo e é estabelecido de acordo com os valores de PN e RE (reatividade das partículas) que é calculado de acordo com sua granulometria. A reatividade é dada pelos seguintes valores:
 - reatividade 0 (zero) para as partículas retidas na peneira ABNT n° 10;
 - reatividade 20% para as partículas que passam pela peneira ABNT n° 10 e ficam retidas na peneira ABNT n° 20;
 - reatividade 60% para a fração que passa pela peneira ABNT n° 20 e fica retida na peneira ABNT n° 50 e;
 - reatividade 100% para as partículas que passam pela peneira ABNT n° 50.

Para efeito dessa Instrução Normativa, os calcários agrícolas terão a seguinte classificação quanto ao teor de Óxido de Magnésio (MgO):

- calcítico: teor de MgO menor que 5%;
- calcário magnesiano: teor de MgO entre 5% e 12%;
- dolomítico: teor de MgO maior que 12%.

Com base na classificação dos corretivos de solo feita da combinação desses três fatores (PN; %CaO + %MgO; PRNT), o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento estabelece quatro faixas de PRNT para efeito de classificação e comercialização de calcário: Faixa A: com PRNT entre 45,0 e 60,0%; Faixa B: com PRNT entre 60,1 e 75,0%; Faixa C: com PRNT entre 75,1 e 90,0%; Faixa D: com PRNT maior que 90,0%. Assim, para se corrigir a acidez do solo, deve-se usar tanto menos calcário quanto maior for o seu PRNT de acordo com a necessidade do solo onde será aplicado (DNPM, 2009).

Produção e consumo do calcário agrícola no Rio Grande do Sul

Segundo um levantamento efetuado pela ABRACAL- Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (ABRACAL, 2014 (a) e (b)), o estado do Rio Grande do Sul produziu entre 1992 e 2013, uma média de 1.928,07 mil toneladas de calcário agrícola por ano, enquanto que o consumo do produto teve uma média de 2.191,2 mil toneladas por ano (Tabela 3). Com isso, podemos observar que a demanda do produto no estado é maior que sua produção, ou seja, o estado tem de importar a diferença de outros estado.

Tabela 3- Produção e consumo do calcário agrícola no estado do Rio Grande do Sul

Ano	Consumo (em 1000 t)	Produção (em 1000 t)
1992	2.818,00	2.386,00
1993	3.696,00	3.170,00
1994	3.122,00	2.768,00
1995	1.392,00	1.157,00
1996	1.799,20	1.587,20
1997	2.319,10	1.791,10
1998	2.103,40	1.850,00
1999	1.870,90	1.739,70
2000	2.004,30	1.768,60
2001	2.267,90	1.894,80
2002	2.267,30	1.844,60
2003	2.823,20	2.443,80
2004	2.273,10	1.935,50
2005	863,2	742,8
2006	1.096,80	900,2
2007	1.561,00	1.411,00
2008	1.963,00	1.830,10
2009	1.876,80	1.792,90
2010	1.779,60	1.644,40
2011	2.435,90	2.232,80
2012	2.632,80	2.447,00
2013	3.251,20	3.080,10
Total	48.216,70	42.417,60

Fonte: Modificado de Abracal (2014(a) e (b))

Isso nos demonstra que há uma grande demanda pelo produto no estado e, com isso, vem a importância de se descobrir, quantificar e qualificar novas reservas,

caso as empresas comecem a produzir uma quantidade maior de calcário agrícola para suprir a necessidade do estado.

4.4.2 Calcário para a Indústria da Cal

A cal virgem é o principal produto da calcinação das rochas carbonáticas, quando essas são elevadas a uma temperatura de 900°C a 1000°C. A cal virgem segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, é o produto composto predominantemente por óxido de cálcio ou por óxido de cálcio e óxido de magnésio, resultantes da calcinação de calcários magnesianos e dolomitos (SILVA, 2009). O produto desse processo é classificado, conforme o óxido predominante, em:

- cal virgem cálcica - com óxido de cálcio entre 90% e 100% do óxido total presente;
- cal virgem magnesiana – com teores de óxido de cálcio entre 65% e 90% do óxido total presente;
- cal virgem dolomítica – com óxido de cálcio entre 58% e 65% do óxido total presente.

Outro tipo de cal comum no mercado é a cal hidratada, um pó de coloração esbranquiçada, resultante da combinação da cal virgem com a água. A cal hidratada também é classificada de acordo com o óxido predominante na sua composição em cal hidratada cálcica, cal hidratada magnesiana e dolomítica (SILVA, 2009).

A qualidade da cal depende, acima de tudo, da qualidade da rocha calcária utilizada no processo de calcinação e pela maneira como esse processo é realizado. Assim, as cales cálcicas têm seu uso direcionado principalmente à indústria química, que exige um produto de maior qualidade. Já as cales magnesianas e dolomíticas tem seu emprego direcionado principalmente a construção civil como aglomerante (MINEROPAR, 2009). Existe então, uma normativa para cada um dos usos das cales, nas quais são indicadas as características químicas e físicas mínimas exigidas para cada uso, sendo que a classificação indicada acima, conforme a quantidade de óxido de cálcio na composição, é que determina para qual finalidade ela pode ser usada.

A NBR- 6453- Cal Virgem- Requisitos (ABNT, 2003(a)) determina as exigências químicas e físicas mínimas para a comercialização da cal virgem como produto para a construção civil. De acordo com essa norma, as cales virgens são divididas em três classes de acordo com suas características químicas e físicas. São elas:

- cal virgem especial CV-E;
- cal virgem comum CV-C;
- cal virgem em pedra CV-P.

As exigências químicas mínimas para cada uma das classes indicadas acima estão dispostas no item 5.1 desta norma e determina as seguintes características (Tabela 4):

Tabela 4- Características químicas mínimas exigidas para a comercialização da cal virgem

Compostos		CV-E	CV-C	CV-P
Anidro carbônico (CO ₂)	Fábrica	≤ 6,0 %	≤ 12,0 %	≤ 12,0 %
	Depósito ou obra	≤ 8,0 %	≤ 15,0 %	≤ 15,0 %
Óxidos totais não voláteis (CaO + MgO)		≥ 90,0 %	≥ 88,0 %	≥ 88,0 %
Água combinada	Fábrica	≤ 3,0 %	≤ 3,5 %	≤ 3,0 %
	Depósito ou obra	≤ 3,6 %	≤ 4,0 %	≤ 3,6 %

Fonte: Modificado de ABNT- NBR 6453(2003(a))

Para efeito dessa norma, os valores de água combinada e óxidos totais não voláteis devem ser calculados como segue.

Água combinada:

$$\text{Água combinada} = \% \text{ perda ao fogo} - \% \text{CO}_2$$

Óxidos totais não voláteis:

$$\%(\text{CaO}_{\text{total}} + \text{MgO}_{\text{total}}) \text{ não voláteis} = \frac{(\% \text{CaO}_{\text{total}} + \% \text{MgO}_{\text{total}})}{100 - \% \text{perda ao fogo}} \times 100$$

Já para as características físicas, determinadas no item 5.2 desta norma, são exigidas as seguintes características (Tabela 5):

Tabela 5- Características físicas mínimas exigidas para a comercialização da cal virgem

Composto	CV-E	CV-C	CV-P	
Finura (% retida acumulada)	Peneira 1,0 mm	≤ 2,0	≤ 5,0	≥ 85,0
	Peneira 0,30 mm	≤ 15,0	≤ 30,0	-

Fonte: Modificado de ABNT- NBR 6453(2003(a))

Para a cal hidratada, que é utilizada principalmente na indústria de argamassas, a norma que determina suas características químicas e físicas mínimas para a comercialização é a NBR- 7175 de 2003 (ABNT, 2003(b)), onde ficam especificados os valores máximos de anidro carbônico (CO₂) e os valores mínimos de óxidos totais não voláteis (CaO + MgO), assim como a granulometria do material, como segue na tabela 6.

Tabela 6- Características químicas e físicas mínimas exigidas para a comercialização da cal hidratada para produção de argamassa

Compostos	CH-I	CH-II	CH-III	
Anidro carbônico (CO ₂)	Fábrica	≤ 5,0 %	≤ 5,0 %	≤ 13,0 %
	Depósito ou obra	≤ 7,0 %	≤ 7,0 %	≤ 15,0 %
Óxidos totais não voláteis (CaO + MgO)	≥ 90,0 %	≥ 88,0 %	≥ 88,0 %	
Finura (% retida acumulada)	Peneira 0,6 mm	≤ 0,5	≤ 0,5	≥ 0,5
	Peneira 0,075 mm	≤ 10,0	≤ 15,0	≤ 15,0

Fonte: modificado de ABNT- NBR-7175 (2003(b))

De um modo geral, quando as amostras apresentam, já na determinação da soma de óxidos de cálcio e magnésio, um teor maior ou igual a 88% dos óxidos totais, a rocha apresenta qualidade química para a produção da cal, tendo-se então de analisar os parâmetros físicos.

4.4.3 Calcário para a indústria do cimento (cimentos hidráulicos)

O cimento é constituído de uma mistura de quatro partes de calcário com uma parte de argilas, tendo como resultado o *clinker*, após ser moído e calcinado em fornos que chegam a atingir 1450°C. Dependendo do tipo de cimento que se deseja produzir são adicionadas ao *clinker* quantidades de gipsita, calcário e outros materiais, que são novamente moídos dando origem ao cimento (SOUZA, 2006).

4.4.4 Uso na construção civil

Grande parte do calcário utilizado no mundo é usado na construção civil, seja diretamente nas obras de construção ou como rochas utilizadas na construção de estradas e diversas outras obras. Segundo a Anepac (2009) (Associação Nacional das Entidades dos Produtores de Agregados para a Construção Civil), no Brasil, o calcário corresponde a 10% de todas as rochas utilizadas na construção como brita.

4.4.5 Uso na indústria de papel

O uso do calcário na produção de papel tem crescido satisfatoriamente desde seu ingresso no mercado como substituto do caulim e do óxido de titânio (LUZ, 1998). O DNPM estima que a utilização do calcário na produção de papel pode chegar a 0,01% da produção nacional de calcário.

4.4.6 Uso na indústria de plásticos

Na indústria de plásticos o calcário é adicionado para melhorar suas propriedades físicas e seu processamento. Além disso, sua adição proporciona:

- dureza, tensão, textura e brilho aos compostos de PVC;
- ajuda no controle da viscosidade e do seu coeficiente de expansão térmica na hora da moldagem das placas;
- confere resistência e reduz o custo do produto e;
- permite que o poliéster seja usado na indústria automobilística em concorrência com o aço e o alumínio.

Além dos usos citados acima, o calcário também é utilizado em outras atividades como na alimentação de animais, na indústria de tintas, na indústria de vidros, na produção de rochas ornamentais, cerâmica, indústria metalúrgica e também no tratamento de água (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009).

4.5 Estado da Arte

Não existe na literatura atual, trabalhos onde os autores fizeram correlações entre calcários de diferentes cores e suas qualidades como matéria prima para diferentes usos. Apenas foram encontrados trabalhos onde amostras de mármore foram analisadas e estes foram classificados como calcítico e dolomítico e trabalhos onde foram estudados os fatores controladores da variação de MgO nos calcários.

Bortolotto (1987) em seu estudo denominado “Petrografia dos Mármore de Caçapava do Sul”, definiu os mármore do Complexo Metamórfico Passo Feio (RIBEIRO *et al.*, 1966; BITENCOURT, 1983) como mármore dolomíticos.

O processo de dolomitização nos calcários calcíticos segundo Suguio (2003), ocorre com o passar do tempo, por ação metassomática ou por soluções ricas em magnésio, substituindo o carbonato de cálcio (CaCO_3) por carbonato de magnésio (MgCO_3). No entanto, Suguio (2003) defende que não se pode descartar a existência de processos de dolomitização sin-genética. Este processo ocorre pela precipitação por nucleação espontânea de cristais na água. Contudo, para que isso ocorra, algumas condições especiais são necessárias, como: altas temperaturas, baixo PH e salinidade de 6 a 8 vezes maior que a normal.

Gross (1998), em sua dissertação de mestrado denominada “Análise Estrutural Aplicada à Lavra de Rocha Ornamental do Mármore Mudador-RS, Brasil”, descreveu a ocorrência de mármore de coloração preta, cinza clara e rosa/avermelhada para a região do Arroio Mudador. Segundo o autor, as rochas carbonáticas da região são classificadas como dolomíticas, com a ocorrência de pequenas lentes calcíticas, as quais ocorrem na coloração cinza clara. Atualmente, esse mármore é explorado e vendido como brita para pavimentação pela empresa Mineração Mônego.

Gallina *et al.* (2009), estudaram os fatores controladores da variação de óxido de magnésio (MgO) nos mármore da mina Rio Bonito no Paraná. A maior parte dos mármore da mina são calcíticos de coloração cinza escura com vênulas de calcita sem nenhuma direção preferencial. São encontrados também em algumas frentes de lavra metacalcários e em outras porções mármore dolomíticos brechados.

Do ponto de vista petrográfico, os mármore calcíticos apresentam granulação fina e homogênea enquanto que os mármore dolomíticos apresentam granulação grosseira. Em análises químicas realizadas, os mármore dolomíticos

apresentaram concentração média de 16% de MgO e de 32% de CaO. Já os mármore calcíticos apresentaram concentrações de 0,8% de MgO e de 52% de CaO. Para a análise de SiO₂, ambos apresentaram valores acima de 10%, no entanto, nos valores que estavam acima desse patamar, só se encontraram mármore dolomíticos. Com relação ao processo de dolomitização, os autores defendem que foi um processo secundário, ou seja, os mármore dolomíticos foram formados pela percolação de fluídos nas fraturas do mármore calcítico, tendo esse a substituição de CaO por MgO (GALLINA *et al*, 2009).

Hoerlle *et al.* (2009) em seu estudo denominado “Variedades dos Mármore de Caçapava do Sul- Aspectos Petrográficos e Genéticos” tentaram correlacionar a petrografia, os aspectos genéticos e as relações entre a mineralogia e a cor dos mármore dolomíticos (BORTOLOTTI, 1987) de Caçapava do sul, no entanto, não analisaram sua qualidade. A metodologia de trabalho adotada pelos autores foi: trabalho de campo com a coleta de amostras que representassem cada cor de mármore a ser analisada, a análise macroscópica das amostras, confecção de laminas para microscopia, difratometria de Raio-X, descrição mineralógica e análise e interpretação dos resultados. Segundo Hoerlle *et al.* (2009), a maior parte do corpo do mármore estudado apresentava coloração branca, sendo este composto predominantemente por dolomita, seguido em menos quantidade por calcita. Já as amostras de coloração esverdeada, assumiram essa cor devido à percolação de fluídos em uma intrusão granítica que através de reações buscando o equilíbrio físico-químico deram origem ao mineral serpentina. Outros minerais como a calcita, a tremolita, o talco e o diopsídio também se formaram nesse processo. E por fim, as variedades avermelhadas de mármore encontradas são o resultado da presença de hematita, estando essa disseminada em veios ou em partes específicas desse mármore.

Também com um trabalho sobre os mármore de Caçapava do Sul, Goulart *et al.* (2011) buscaram caracterizar as rochas carbonáticas do Complexo Passo Feio investigando a origem e evolução dessas rochas por meio de caracterização geoquímica. A caracterização foi realizada por meio de análise de 16 amostras, as quais foram coletadas nas pedreiras Coronel Linhares, Vigor, Dagoberto Barcelos e Razzera. Os mármore analisados ocorrem associados à soleiras e diques máficos, com idade contemporânea ao Complexo Granítico Caçapava do Sul e as amostras coletadas representam as variedades de cor branca e esverdeada, essa atribuída a

presença de minerais como talco, sepiantina e tremolita. Segundo os autores, os mármore de Caçapava do sul são classificados como mármore dolomíticos. De acordo com as análises químicas de elementos maiores, o teor médio de CaO nas amostras é de 31,78%, de MgO é de 20,64% . Já com relação ao Si₂O, os valores nas amostras variaram de 0,79% a 10,11%, com uma média de 3,36%.

Os autores ressaltam que a relação existente entre as concentrações de CaO e MgO são bem próximas, tendo o CaO um teor aproximado a 30% e o MgO um teor aproximado a 20%. Esses óxidos são predominantes na composição da dolomita, mineral que chega a ter de 76 à 98% da composição dos mármore dolomíticos.

Para o processo de dolomitização, Goulart *et al.* (2011) não encontram nenhuma evidencia nas amostras que sugerem uma substituição secundária, ou seja, durante o metamorfismo. Logo, os autores acreditam que o processo de dolomitização está associado à deposição e/ou diagênese dos sedimentos carbonáticos, mas advertem que para que isso ocorresse levaria-se milhares de anos, uma vez que o processo de substituição do Ca pelo Mg presente na água do mar é muito lento. Ainda com relação à formação desses carbonatos, os autores acreditam que a deposição dos sedimentos tenha ocorrido entre 770 e 700 Ma, uma vez que zircões detríticos dessa formação foram datados com idades entre 908 e 774 Ma. e o evento de metamorfismo que deu origem aos mármore data de 700 Ma. Por fim, com o estudo, os autores sugerem dois possíveis ambientes de formação para os mármore do Complexo Metamórfico Passo Feio:

- deposição dos calcários ao longo de um período entre 740 e 730 Ma em um ambiente de mar restrito, o que permitiu a dolomitização primária;
- deposição dos calcários associados a margas ao longo de um período entre 770 e 730 Ma, dando as margas origem aos xistos que se encontram ao norte da Formação.

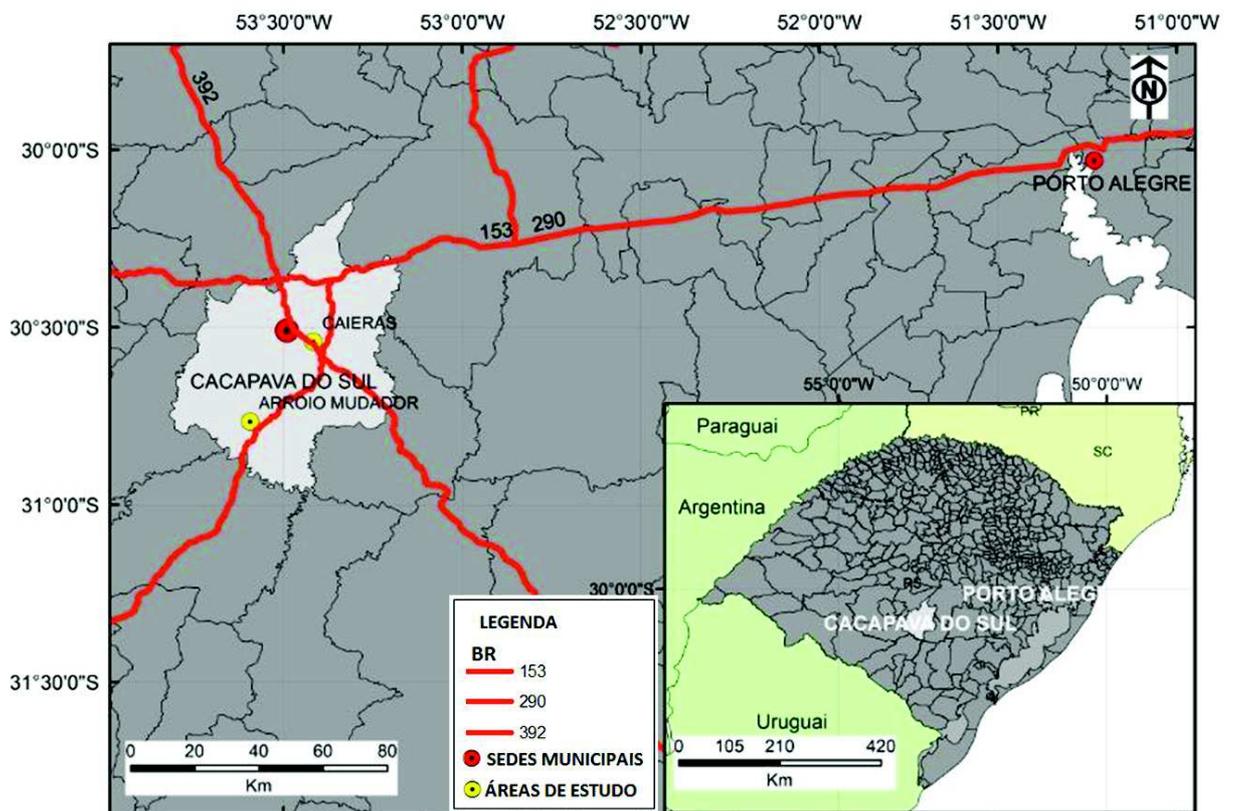
5 ÁREA DE ESTUDO

5.1 Localização e acesso

Para que fosse possível obter todas as variedades de mármore (preta, rosa, creme e branca) as amostras foram coletadas em duas diferentes localidades no município de Caçapava do sul, ambas pertencentes à unidade geológica Complexo Metamórfico Passo Feio (GROSS, 1998; GOULART *et al.* 2011).

As amostras de coloração branca e rosa foram coletadas na localidade Caieiras (Figuras 3 e 4), localizada no Km 247 da BR-392 em Caçapava do sul. Esta localidade localiza-se a 260 Km da capital Porto Alegre e pode ser acessada percorrendo-se 247 Km na BR-290 a partir da capital do RS, acessando então a BR-392, percorrendo-se até o Km 247 desta rodovia (Figura 2). Esta localidade está inserida na carta topográfica Caçapava do Sul, na escala de (1:50.000) do Serviço Geográfico do Exército.

Figura 2- Mapa rodoviário de acesso às áreas de coleta das amostras.

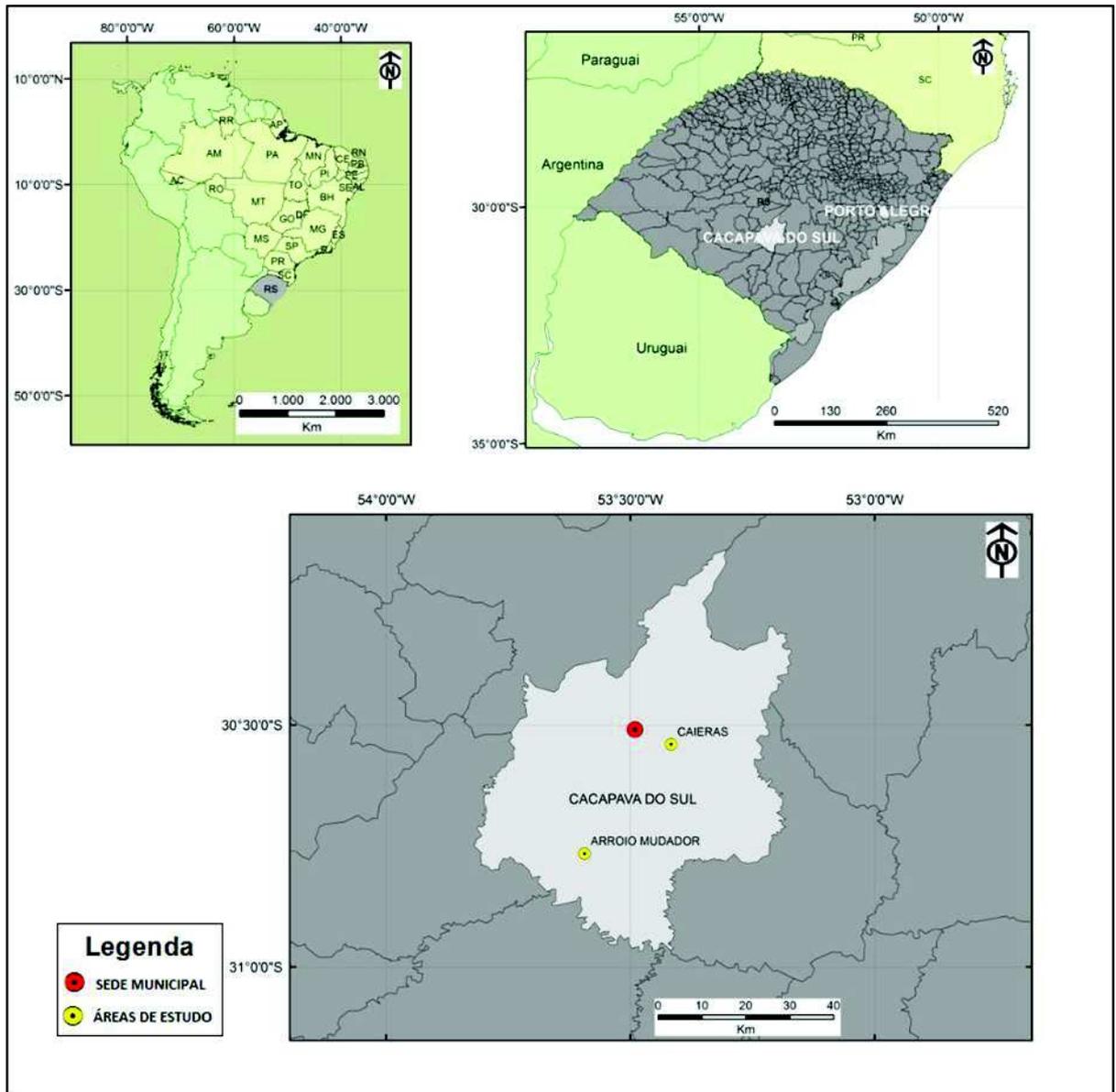


Fonte: Autor

Já a outra parte das amostras, correspondentes às variedades de coloração preta, rosa e creme foram coletadas na região denominada Arroio Mudador- Distrito Seival-Carajá também pertencente ao município de Caçapava do sul. Esta área (Figura 3 e 4) está inserida nas cartas Arroio Carajá e Arroio Santa Bárbara na escala (1:50.000), ambas do Serviço Geográfico do Exército e seu acesso pode ser realizado de duas maneiras (Figura 2):

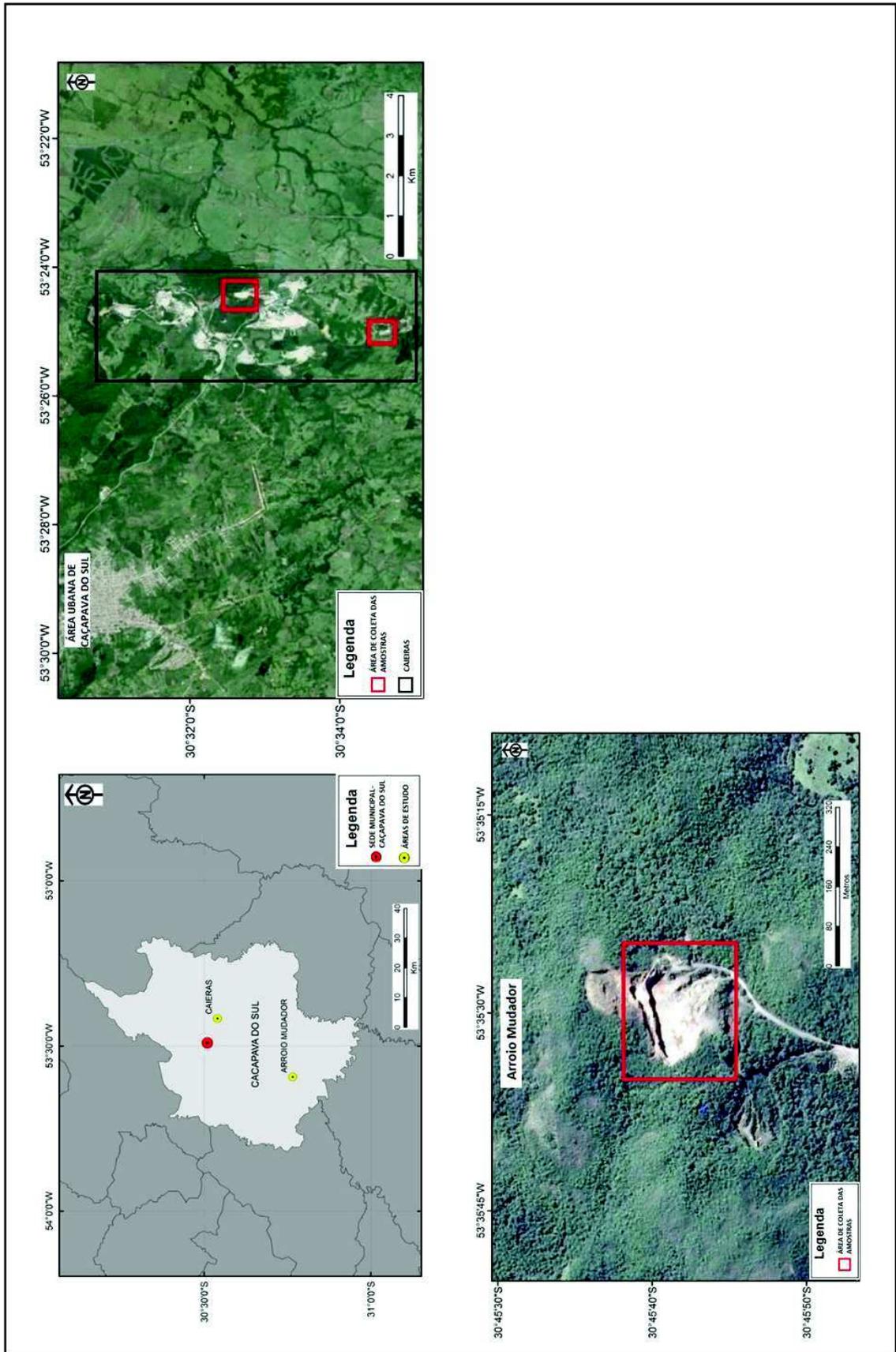
- percorrendo-se 237 Km à partir da capital pela rodovia BR-290, acessando, então, a rodovia BR-153 (Transbrasiliana) e percorrendo nesta rodovia mais 129 Km;
- a outra maneira de se chegar a área é percorrendo-se 247 Km na rodovia BR-290 a partir da capital Porto Alegre, acessando então a BR-392 e percorrendo 24 Km nesta rodovia. Então se chegará a BR-153 (Transbrasiliana), onde se deverá percorrer mais 29 Km, chegando então, à entrada da área.

Figura 3- Mapa de localização e situação das áreas de estudo



Fonte: Autor

Figura 4- Mapa de detalhe das áreas de estudo



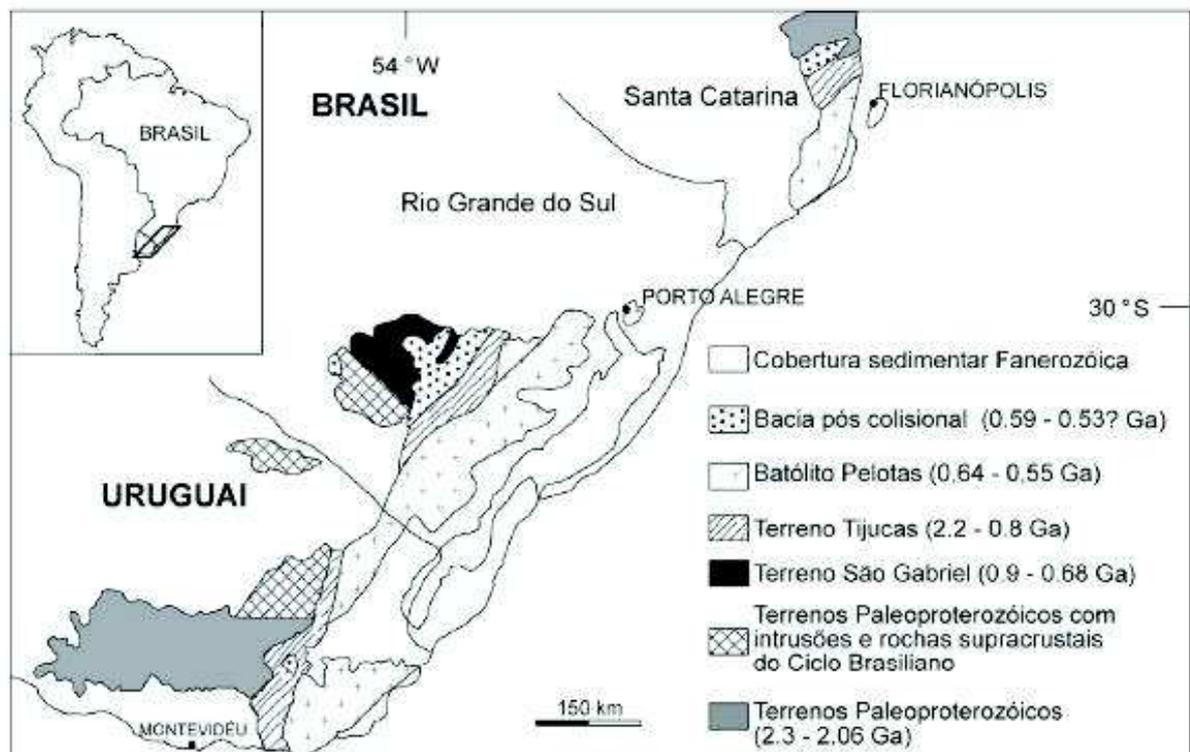
Fonte: Autor

5.2 Contexto geológico

5.2.1 Geologia regional

O embasamento do estado do Rio Grande do Sul é representado pelo Escudo Sul-Riograndense (ESRG) (ALMEIDA *et al.*, 1981), que se localiza na porção centro sul do estado. Com uma área de aproximadamente 65.000 Km² (CHEMALE JR., 2000), o escudo é dividido em cinco unidades geotectônicas (Figura 5): Terreno Taquarembó, Terreno Tijucas, Terreno São Gabriel, Batólito Pelotas e as Bacias Sedimentares pós-orogênicas, com idades que variam desde o Pré-Cambriano até o início do Paleozóico. O Terreno Taquarembó é a parte representativa do antigo Cráton Rio de La Plata e os demais terrenos representam o Cinturão Dom Feliciano, que compõem a parte meridional da Província Mantiqueira (HARTMANN *et al.*, 2007).

Figura 5- Compartimentação geotectônica do Escudo Sul-Riograndense



Fonte: Philipp *et al.* (2007)

Diversos autores como Fragozo Cesar (1991), Fernandes *et al.*, (1995) e Chemale Jr., (2000), propuseram modelos que explicam a atual configuração do ESRG.

Fragoso Cesar *et al.*, (1991), acredita que a formação do atual Escudo Sul-Riograndense se deu pelo choque das rochas do Batólito Pelotas com os Crátoms Rio de La Plata e Kalahari.

Já Fernandes *et al.*, (1995) e Chemale Jr. (2000) acreditam que dois eventos tectônicos foram responsáveis pela atual configuração do escudo. Um primeiro evento, de caráter deformacional transversal ao Cinturão Dom Feliciano, foi ocasionado por processos de empurrão que geraram zonas de cisalhamento e um segundo evento de caráter deformacional longitudinal, onde foram geradas zonas de cisalhamento transcorrentes paralelas ao Cinturão.

Terreno Taquarembó

É representado pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico, com idade aproximada de 2,3 Ga., representando a unidade mais antiga do estado do Rio Grande do Sul. Este complexo é composto por rochas como gnaisses thondjemíticos, granulitos máficos, metapiroxenitos e harzburgitos, com ocorrência subordinada de rochas metassedimentares, tendo o protólito idade aproximada de 2,45 Ga. (HARTMANN *et al.*, 2000) Sobre ele encontram-se as cidades de Bagé, Dom Pedrito e Candiota. Este terreno é limitado a norte pela zona de cisalhamento Ibaré e é recoberto a oeste e a sul pelas rochas da Bacia do Paraná. Rochas graníticas de idade Brasileira (600-550 Ma.) intrudem os granulitos, o que gerou um intenso retrometamorfismo de contato (GASTAL *et al.*, 1995). O evento metamórfico que gerou os granulitos é datado de 2,1 a 2,0 Ga. (HARTMANN *et al.*, 2008).

Terreno Tijucas

É representado por rochas dos complexos Encantadas (2,2 a 2,3 Ga.) (HARTMANN *et al.*, 2003; PHILIPP *et al.*, 2008) e Porongos (783 ± 8 Ma.) (CHEMALE JR., 2000) com idades Paleoproterozóicas (2,2 a 2,0 Ga.) e Neoproterozóicas (0,8 a 0,7 Ga.), respectivamente. Pode ser dividido em duas porções, a leste e a oeste, separadas por grabens, delimitadas por falhas e preenchidos por sedimentos da Bacia do Camaquã. Sobre ele encontram-se as cidades de Cachoeira do sul, Santana da Boa Vista e Pinheiro Machado. Este terreno é limitado pelas zonas de cisalhamento Dorsal de Canguçu e Passo do Marinheiro a leste, e é encoberto a oeste pelas rochas sedimentares da Bacia do Camaquã e a norte e a sul pelas rochas da Bacia do Paraná.

Terreno São Gabriel

O Terreno São Gabriel está localizado na zona oeste do ESRG estando limitado a norte e a oeste pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná, a sul pela Zona de Cisalhamento Ibaré que separa-o do Terreno Taquarembó e a leste pela Sutura de Caçapava do Sul que o separa do Terreno Tijucas. Este terreno foi definido pela primeira vez por Jost & Hartmann (1984) como um bloco que apresenta importantes registros do Ciclo Brasileiro e é composto pelo Complexo Metamórfico Passo Feio, Complexo Coxilha do Batovi e Complexo Cambaí, e também por rochas graníticas sin, tardi e pós tectônicas (GOULART *et al.*, 2011) de composição cálcico-alcalina alto K, entre elas, o Granito Caçapava.

Machado *et al.* (1990) e Remus *et al.* (1999; 2000) estabeleceram idades entre 770 Ma. para o magmatismo e 700 Ma. para o metamorfismo para as rochas metavulcânicas e metassedimentares que compõem o terreno. No entanto, Leite *et al.* (1998), Babinski *et al.* (1997) e Remus *et al.* (2001) estabeleceram idades de 700 a 800 Ma. para o magmatismo de gnaisses e granitoides e idade de 700 Ma. para o metamorfismo mais recente que afetou o terreno.

Sobre este terreno encontram-se as cidades de Caçapava do Sul, Vila Nova do Sul, São Gabriel e Lavras do Sul.

Batólito Pelotas

Ocupando uma área de 400 Km por 100 Km, o Batólito Pelotas constitui a porção mais a leste do ESRG, sendo limitado a norte, a leste e a sudoeste por coberturas sedimentares fanerozóicas e, a oeste, pelo terreno Tijucas. É composto em sua maior parte por suítes graníticas pós-colisionais datadas de 650 à 550 Ma. (BABINSKI *et al.*, 1996; HARTMANN *et al.*, 2000; PHILIPP *et al.*, 2005; PHILIPP & MACHADO, 2005). Ocorrem também rochas básicas e intermediárias.

5.2.2 Geologia local

Segundo o mapa geológico (Figura 6), as unidades geológicas próximas à área de estudo são o Complexo Metamórfico Passo Feio, o Complexo Granítico Caçapava do Sul e os depósitos sedimentares e vulcânicos da Bacia do Camaquã. Todas estas unidades pertencem ao Terreno São Gabriel (Figura 6).

Complexo Metamórfico Passo Feio

O Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF) corresponde a uma unidade vulcano-sedimentar metamorfizada, intrudida pelo Granito Caçapava. Segundo Ribeiro *et al.* (1966), Bitencourt (1983) e Remus *et al.* (2000), sua litologia corresponde a filitos, xistos pelíticos, mármore, quartzitos, metaconglomerados, anfíbolitos, rochas calcissilicáticas, além de metabasaltos e xistos magnesianos.

Com relação a sua idade de formação, Soliani Jr. (1986) através de datações de K/Ar em muscovitas, chegou a uma idade de 556 Ma. para o resfriamento do evento metamórfico. Já Remus *et al.* (2000), através da datação de U/Pb em zircões detríticos, chegou a uma idade de 2053 ± 43 Ma. para a cristalização ígnea da rocha fonte e uma idade de 700 Ma. para o metamorfismo do CMPF.

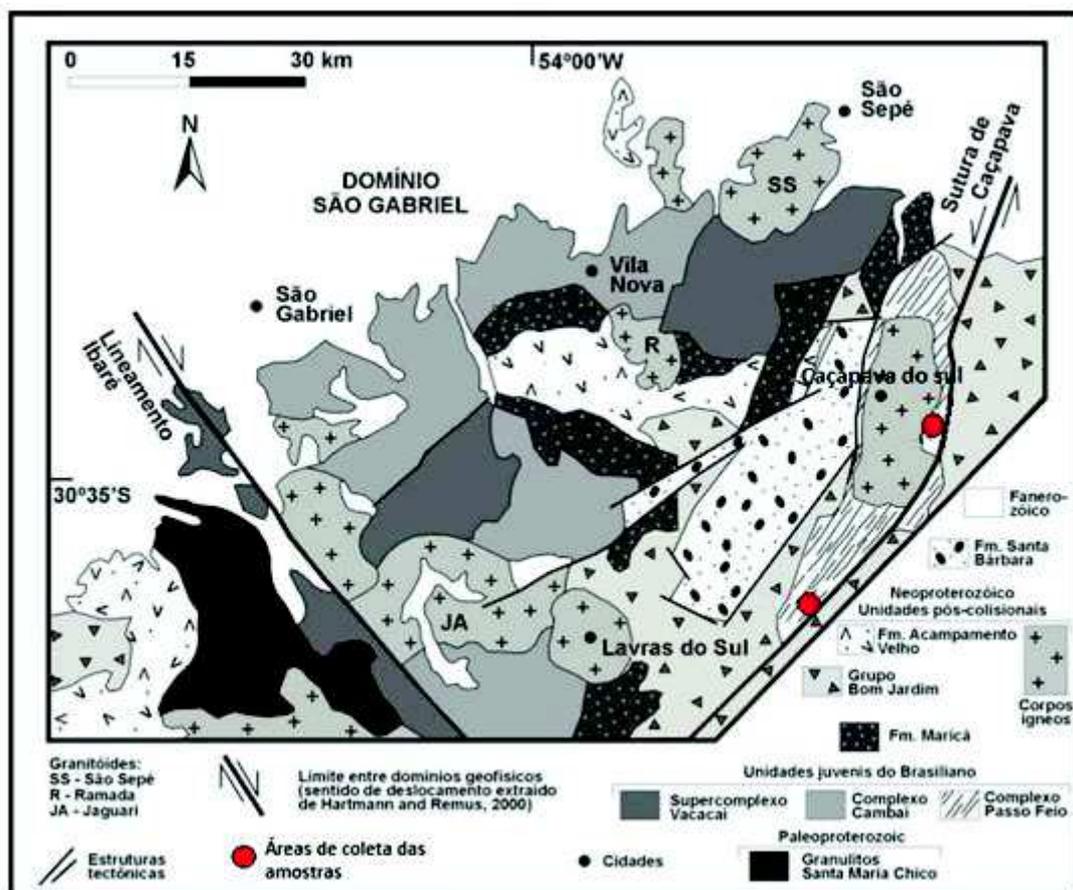
Segundo Bitencourt (1983), duas fases de metamorfismo atingiram o complexo. A primeira fase atingiu a fácies anfíbolito, onde a presença de andaluzita indica um metamorfismo de baixo grau. A segunda fase atingiu a fácies xisto verde. Esses eventos foram ainda, acompanhados por duas fases de deformação. A primeira é reconhecida apenas em microscópio e a segunda é vista como responsável pela foliação metamórfica regional. Bitencourt (1983) acredita ainda que a intrusão do Complexo Granítico Caçapava do Sul tenha participado do segundo evento metamórfico. Já para Remus *et al.* (2000), a intrusão do granito afetou o CMPF apenas nas regiões de contato, com recristalização mineral.

Complexo Granítico Caçapava do Sul

Segundo Bitencourt (1983), o Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS) é uma rocha intrusiva com cerca de 250 Km^2 formado por três principais fácies, que podem ser reconhecidas tanto petrograficamente como geoquimicamente. São elas: Biotita granitóides, leucogranitóides e os granitóides transicionais. Os biotita granitóides correspondem a rochas de coloração cinza com elevados teores de biotita e alanita como acessório. Estes ocorrem nas porções sul, sudoeste e oeste do corpo granítico. Os leucogranitóides possuem coloração rosada, contendo localmente granada e/ou moscovita. Estes ocorrem na porção norte do granito. Associados ainda a essa fácies, ocorrem porções micrograníticas, aplíticas e pegmatíticas. Já os granitóides transicionais apresentam características intermediárias entre as duas primeiras citadas, e ocorrem na porção central do granito Caçapava. Petrograficamente o complexo é composto por biotita

granodioritos, tonalitos, quartzo dioritos, além de monzogranitos e sienogranitos com teores de biotita e moscovita variáveis. Segundo Bitencourt (1983) é possível observar nas bordas do CGCS uma determinada foliação, dada pelo alinhamento de minerais máficos e pelo estiramento de quartzo e feldspatos. A autora cita ainda, que no centro do corpo, as rochas se apresentam muito fraturadas, sendo possível observar falhas normais com direção NW-SE. Segundo Costa *et al.* (1995), estudos gravimétricos indicam que o complexo granítico pode atingir até 4 Km de espessura em sua porção norte. Já para a idade dessas rochas, Remus *et al.* (1997) através de datações U/Pb, obtiveram idades de 565 ± 14 Ma. para as rochas da porção norte e 540 ± 11 Ma. para as rochas da porção sudeste do corpo granítico.

Figura 6- Mapa geológico do Bloco São Gabriel com a área aproximada das áreas de estudo



Fonte: modificado de Borba *et al.* (2007)

Bacia do Camaquã

A bacia do Camaquã, com idades de deposição que vão de 601 ± 13 e $473,7 \pm 9,4$ Ma. é uma das mais tardias unidades formadas no Cinturão dom Feliciano (ALMEIDA *et al.*, 2012; MARASCHIN *et al.*, 2010). Está localizada na porção central

do Terreno São Gabriel e é delimitada a norte pelas rochas da Bacia do Paraná e pelas unidades metamórficas do Terreno São Gabriel, a leste pelo Terreno Tijucas e encobre a sul, parte do Complexo Granulítico Santa Maria Chico, pertencente ao Terreno Taquarembó.

Oliveira (2013), utilizando dados sedimentológicos, estratigráficos e estruturais e também dados geocronológicos apresentados por Paim et al. (2000), Borba & Misuzaki (2003), Sommer *et al.* (2005), Janikian *et al.* (2012) e Almeida *et al.* (2012), dividiu a bacia do Camaquã em três principais ciclos deposicionais, influenciados por diferentes ambientes tectônicos e separados por discordâncias. São eles:

1. Grupo Maricá;
2. Grupo Bom Jardim;
3. Grupo Santa Bárbara e Guaritas;

Segundo a autora, com uma idade de deposição que variou de 601 ± 13 a 593 Ma, o Grupo Maricá corresponde a arenitos arcoseanos, conglomeráticos em alguns pontos e pelitos assentados na base da bacia em contato com as rochas ígneas e metamórficas do ESRG.

Já o Grupo Bom Jardim, com idades de deposição entre 593 ± 6 a $580 \pm 3,6$ Ma, compreende uma unidade vulcano-sedimentar que está assentada sobre o Grupo Maricá em uma discordância angular. As fácies desse grupo são representadas por ritmitos pelíticos a areno-pelíticos, ritmitos arenosos e pelitos com gretas de contração (Paim, 1995). Em alguns pontos, esse grupo está coberto por derrames que constituem a Formação Hilário (ROBERTSON, 1966).

Recobrando as rochas vulcânicas acidas da Formação Acampamento Velho, encontram-se as rochas pertencentes ao Grupo Santa Bárbara (PAIM *et al.*, 2000). Borba & Mizusaki (2003) dividiu este grupo em três sequências, I, II e III, representadas por fácies de leques aluviais, frente deltaica e lacustrina e, canais fluviais. De acordo com Bicca *et al.* (2010), a idade máxima de deposição do Grupo Santa Bárbara foi de 558 ± 13 Ma.

Com idade de deposição de $547 \pm 6,3$ a $473,7 \pm 9,4$ Ma, o Grupo Guaritas (Goni *et al.*, 1962) encontra-se no topo da bacia do Camaquã e corresponde a duas unidades limitadas por discordância erosiva: a Formação Pedra Pintada e a Formação Varzinha. A Formação Pedra Pintada é composta por arenitos finos a médios, com alto grau de seleção, apresentando estruturas bem definidas. Ocorrem

também conglomerados, arenitos grossos e pelitos. Intercalados aos arenitos finos dessa formação ocorrem derrames basálticos à andesíticos pertencentes à Formação Rodeio Velho. Já a Formação Varzinha é representada por arenitos finos a muito grossos seguidos por depósitos eólicos na base e recobertos por uma sucessão lacustre.

6 METODOLOGIA

A metodologia adotada no trabalho consistiu da ida ao campo e coleta das amostras, preparação das amostras para a realização das análises químicas, análises químicas dos parâmetros adotados e, de posse dos resultados, a análise destes e conclusão. Cada parte da metodologia adotada é descrita a seguir.

6.1 Ida ao campo, coleta e identificação das amostras

Nesta etapa, as atividades consistiram na ida ao campo, escolha dos locais de coleta das amostras, coleta das amostras e dos dados de localização de cada uma usando GPS.

Os materiais utilizados nessa etapa foram:

- carro para transporte até o local de coleta das amostras;
- GPS para a coleta das coordenadas dos locais de coleta das amostras;
- caderneta de campo para anotações de campo;
- caneta;
- martelo petrográfico;
- fita adesiva para identificação das amostras;
- caixa de papelão para alocar as amostras;

Os locais de coleta das amostras foram a pedreira Mudador, da localidade Arroio Mudador, de propriedade da Mineração Mônimo, onde foram coletadas as variedades preta, rosa e creme e as pedreiras Roça e Pinheiro Norte de propriedade da Indústria de Calcários Caçapava (INDUCAL), localidade Caieiras, ambas no município de Caçapava do Sul-RS. Nas pedreiras Roça e Pinheiro Norte foram coletadas amostras de colorações branca e rosa, respectivamente (Figura 4).

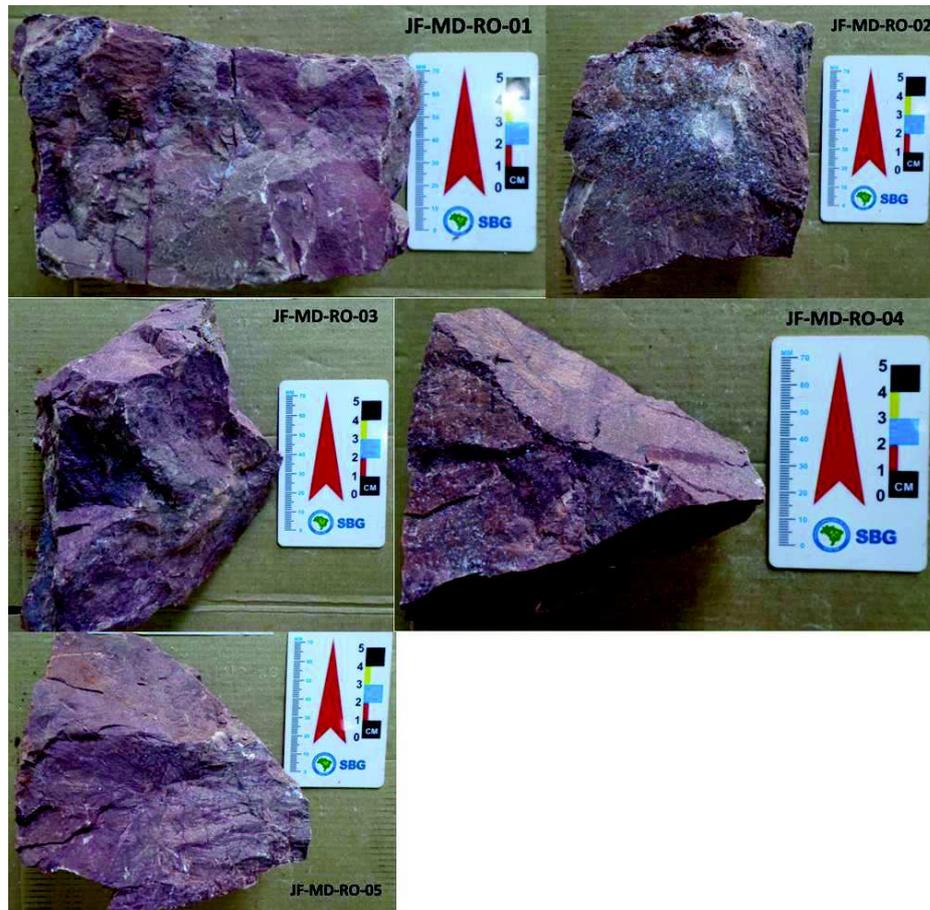
Na pedreira Mudador foram coletadas 14 amostras, sendo 5 amostras de coloração preta (Figura 7), 5 amostras de coloração rosa (Figura 8) e 4 amostras de coloração creme (Figura 9).

Figura 7- Amostras de mármore preto da localidade Arroio Mudador selecionadas para o trabalho



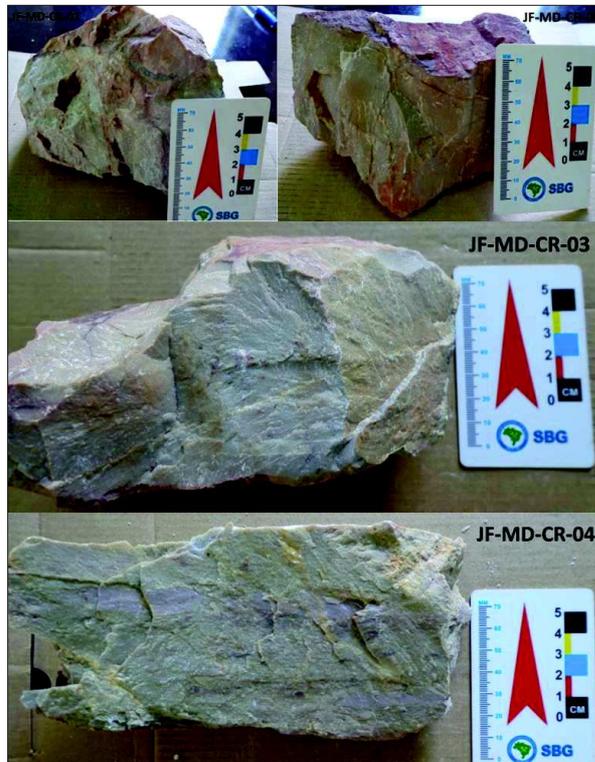
Fonte: Autor

Figura 8- Amostras de mármore rosa da localidade Arroio Mudador selecionadas para o trabalho



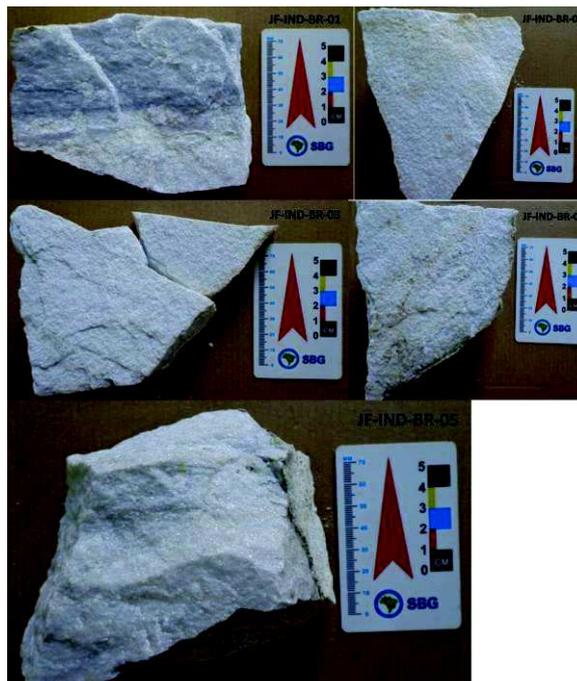
Fonte: Autor

Figura 9- Amostras de mármore creme da localidade Arroio Mudador selecionadas para o trabalho



Fonte: Autor

Figura 10- Amostras de mármore branco da localidade Caieiras selecionadas para o trabalho



Fonte : Autor

Já nas pedreiras Roça e Pinheiro Norte, localizadas na localidade Caieiras, foram coletadas 7 amostras, sendo 5 amostras de mármore branco (Figura 10) e 2 amostras de mármore rosa (Figura 11). Como há a ocorrência da variedade rosa nas duas localidades, foram coletadas amostras em ambas, a fim de se analisar a qualidade das duas.

Figura 11- Amostras de mármore da variedade rosa da região das Caieiras-Caçapava do Sul



Fonte: Autor

Na tabela 7, estão discriminadas todas as amostras coletadas, assim como suas identificações, coordenadas dos locais de coleta, coloração e pedreira onde foram coletadas.

Tabela 7- Amostras coletadas com suas respectivas identificações, localização, coloração e pedra onde foram coletadas

Amostra	Coordenadas- Datum SAD 69	Cor do mármore	Local de coleta
JF-MD-PR-01	22J- 251948/6593868	Preto	
JF-MD-PR-02	22J- 251945/6593879		
JF-MD-PR-03	22J- 251947/6594023		
JF-MD-PR-04	22J- 252027/6494006		
JF-MD-PR-05	22J- 252031/6594003		
JF-MD-RO-01	22J- 251997/6594035	Rosa	Arroio Mudador
JF-MD-RO-02	22J- 251865/6593989		
JF-MD-RO-03	22J- 251851/6593971		
JF-MD-RO-04	22J- 251882/6593955		
JF-MD-RO-05	22J- 251905/6594001		
JF-MD-CR-01	22J- 251875/6594006	Creme	
JF-MD-CR-02	22J- 251905/6594001		
JF-MD-CR-03	22J- 251943/6594012		
JF-MD-CR-04	22J- 251981/ 6594028		
JF-IND-BR-01	22J- 269049/6618021	Branco	Caieiras
JF-IND-BR-02	22J- 269080/6618045		
JF-IND-BR-03	22J- 269077/6618064		
JF-IND-BR-04	22J-269083/6618121		
JF-IND-BR-05	22J- 269061/6618108		
JF-IND-RO-01	22J- 268094/6614782	Rosa	
JF-IND-RO-02	22J- 268094/6614782		

Fonte: Autor

6.2 Preparação das amostras

A preparação das amostras foi realizada na Indústria de Calcários Caçapava (INDUCAL) pelo autor do trabalho, sendo este, supervisionado pelo funcionário da empresa responsável pela parte de preparação. A figura 13 mostra parte do processo de preparação.

A primeira parte da preparação consistiu na moagem das amostras, a fim de se obter uma amostra com granulometria específica para a realização das análises.

Após a moagem, veio a segunda parte da preparação, que consistiu no peneiramento do material resultante da moagem, separando-se a fração mais fina (Figura 12), ou seja, a que passou pela peneira ABNT n°50, para a realização das análises.

Figura 12- Amostras representando cada uma das variedades de mármore após o processo de moagem e peneiramento



Fonte: Autor

Figura 13- Figura ilustrando parte do processo de preparação das amostras. a) triturador utilizado na moagem das amostras coletadas em campo; b) peneiras 10, 20 e 50 da ABNT utilizadas no peneiramento do material; c) material sendo peneirado; d) separação de cada amostra moída em sacos plásticos devidamente identificados.



Fonte: Autor

6.3 Realização das análises dos parâmetros químicos

Na terceira etapa do trabalho foram realizadas as análises dos parâmetros químicos, para a determinação da qualidade das rochas.

Foram realizados dois tipos de análises nas amostras selecionadas, uma para a determinação da qualidade da rocha como matéria prima para corretivos de acidez dos solos e outra para a determinação da qualidade das amostras como matéria prima para a produção de cal. Cada uma dessas análises será descrita a seguir.

6.3.1 Análise das amostras para determinação da qualidade como possível matéria prima para a produção de corretivos de acidez dos solos

Para determinar a qualidade das amostras como possível matéria prima para a produção de corretivos de acidez dos solos, foram realizadas as análises dos parâmetros químicos poder de neutralização (PN), % de óxido de cálcio (%CaO) e % de óxido de magnésio (%MgO), conforme determinado pela Secretaria de Defesa Agropecuária-SDA do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA em seu manual denominado “Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos” publicado em 2013 (MAPA, 2013). Todas as análises químicas foram realizadas de acordo com o que determina esse manual. Devido à complexidade dos procedimentos das análises, estes não serão citados no trabalho, só sendo citado então, o que cada uma das análises representa.

Os princípios das análises realizadas para a determinação da qualidade da rocha como matéria prima para corretivos de solo são:

I. Poder de Neutralização (PN):

Esta análise baseia-se em colocar em contato uma quantidade conhecida do corretivo de acidez com uma quantidade conhecida e em excesso de ácido devidamente padronizado, fazendo com que o corretivo exerça sua capacidade de neutralizar o ácido. Após um tempo de reação, o ácido restante será quantificado por alcalimetria, obtendo-se indiretamente quanto ácido foi neutralizado pelo corretivo. Assim, pelo princípio da equivalência química, a quantidade de ácido neutralizada é equivalente à quantidade de neutralizante contido na amostra (MAPA, 2013).

II. Óxido de cálcio (%CaO) e óxido de magnésio (%MgO)

Para que um produto seja considerado um corretivo de acidez do solo, ele precisa apresentar teores de cálcio e magnésio significativos. Por isso, a identificação desses produtos é feita a partir da quantificação desses elementos.

O princípio da quantificação desses elementos consiste na solubilização desses óxidos contidos nos corretivos e sua determinação por volumetria com EDTA, e seus resultados são expressos pela massa de seus óxidos, CaO e MgO (MAPA, 2013).

III. Resíduos Insolúveis

Os resíduos insolúveis consistem dos materiais que não podem ser solubilizados pelo ácido durante as análises químicas. Esses são considerados como os compostos na forma de cloretos, silicatos, entre outros, e são considerados como uma contaminação para os corretivos de solo e cal, reduzindo sua qualidade. Segundo Sampaio & Almeida (2009) o resíduo mais comum encontrado nas rochas carbonáticas são as argilas. Ainda segundo o autor, compostos de enxofre e fósforo são muito prejudiciais à qualidade dos calcários.

Todas as análises foram realizadas no laboratório de química da Indústria de Calcários Caçapava (INDUCAL), parte pela gestora de qualidade da empresa e parte pelo próprio autor do trabalho, com a supervisão da funcionária da mineradora.

Foram analisadas 21 amostras, sendo 5 amostras de mármore preto, 7 amostras de mármore rosa, 4 amostras de mármore creme e 5 amostras de mármore branco. Algumas imagens dos procedimentos de análise e materiais utilizados são mostradas na figura 14.

Figura 14- Imagens mostrando alguns equipamentos, materiais e procedimentos usados durante as análises químicas. a) Balança de precisão para pesagem das amostras; b) Amostras diluídas em ácido clorídrico; c) Chapa aquecedora para aumento da reação entre ácido e amostra; d) Filtragem do material após o aquecimento; e) Solução com nova cor após a viragem de cor na titulação; f) Ácido clorídrico e hidróxido de sódio utilizados nas análises.



Fonte: Autor

6.3.2 Análise das amostras para a determinação da qualidade como possível matéria prima para a produção de cal

Para a análise da qualidade das amostras como possível matéria prima para a produção de cal, foram realizadas análises de % de óxido de Ca (%CaO), % de óxido de magnésio (%MgO), perda ao fogo (PF) e resíduos insolúveis (RI). Essas análises são exigidas de acordo com a norma NBR-6473 de 2012, a qual já determina como devem ser realizadas as análises químicas e físicas de qualidade da matéria prima.

As análises das amostras selecionadas foram realizadas na empresa Mineração Mônego LTDA pelo responsável de qualidade da empresa e os

resultados foram passados ao autor do trabalho para posterior análise e interpretação. A empresa foi escolhida para a realização das análises por ser grande produtora de cal no município e possuir um laboratório com todos os materiais e equipamentos necessários. As análises foram realizadas todas de acordo com a norma citada acima e devido à complexidade dos procedimentos de análise, esses não serão descritos aqui no trabalho, só sendo descritos os princípios de cada análise realizada.

Os princípios das análises realizadas são:

I. %CaO e %MgO

Os testes para determinação de % de CaO e % de MgO consistem em procedimentos analíticos para a determinação da quantidade desses óxidos presentes na amostra. São os óxidos de Ca e Mg que fornecem as características para que uma rocha possam ser utilizada como corretivo de acidez dos solos e cal.

O procedimento para determinação dos óxidos de Ca e Mg, perda ao fogo (PF) e resíduos insolúveis (RI), só são realizados após a calcinação das amostras. Os procedimentos para calcinação das amostras também são descritos na norma NBR- 6473- análises químicas.

II. Perda ao Fogo (PF)

A Perda ao Fogo consiste na determinação da quantidade de óxido voláteis presentes na amostra, ou seja, consiste na determinação da quantidade de CO₂ que a amostra perde ao ser aquecida à uma temperatura de 1000°C. Essa análise é feita principalmente para a cal, pois, quando o CO₂ é liberado da estrutura da rocha, este fica com a composição restrita aos óxidos não voláteis, como exemplificados abaixo (SAMPAIO & ALMEIDA, 2009).



III. Resíduos Insolúveis (RI)

Os resíduos insolúveis consistem dos materiais que não podem ser solubilizados pelo ácido durante as análises químicas. Esses são considerados como os compostos na forma de cloretos, silicatos, entre outros, e são considerados como uma contaminação para os corretivos de solo e cal, reduzindo sua qualidade. Segundo Sampaio & Almeida (2009) o resíduo mais comum encontrado nas rochas

carbonáticas são as argilas. Ainda segundo o autor, compostos de enxofre e fósforo são muito prejudiciais à qualidade das rochas carbonáticas.

Devido à complexidade da realização das análises para determinação da qualidade das rochas como matéria prima para cal, e como as análises foram realizadas pela empresa Mineração Mônimo com demanda de materiais e mão de obra especializada, as análises foram restritas a duas amostras de cada variedade de mármore. Sendo assim, foram analisadas 9 amostras, sendo 2 de coloração preta, 3 de coloração rosa (2 amostras da pedreira Mudador e 1 amostra da pedreira Pinheiro Norte- INDUCAL), 2 de coloração creme e 2 de coloração branca.

6.4 Análise e discussão dos resultados

De posse de todos os resultados analíticos, iniciou-se então o estudo dos resultados obtidos com as análises químicas tentando-se chegar a uma conclusão do comportamento químico de cada variedade analisada.

7 RESULTADOS

Os resultados obtidos com as análises químicas serão considerados de duas maneiras: para determinação da qualidade das amostras como possível matéria prima para a produção de corretivos de acidez dos solos e para a determinação da qualidade das amostras como possível matéria prima para cal. Em cada etapa, as amostras serão divididas também por variedade de mármore (preto, rosa, creme e branco) e, ao final, será feito um comparativo entre todas as variedades analisadas.

7.1 Resultado das análises das amostras como possível matéria-prima para produção de corretivos de acidez dos solos

7.1.1 Mármore preto-Mudador

Como salientado anteriormente, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA estabelece as exigências químicas e físicas mínimas que um calcário deve apresentar para poder ser comercializado como corretivo de acidez dos solos. No que diz respeito às características químicas, o MAPA determina que devem ser realizados testes de poder de neutralização (PN), % de óxido de cálcio e % de óxido de magnésio como parâmetros mínimos. Também foram analisados os valores de resíduos insolúveis, por este possuir uma estreita relação com o PN. Os resultados das análises para cada variedade de mármore são descritos a seguir.

A tabela 8 nos mostra os valores encontrados nas análises para as amostras de coloração preta.

Tabela 8- Resultados analíticos das amostras de coloração preta

Calcário Preto- Arroio Mudador					
Amostra	PN	%CaO	%MgO	%CaO + %MgO	%RI
JF-MD-PR-01	104,5	33,64	22,38	56,02	4,5
JF-MD-PR-02	100,4	29,72	19,15	48,87	5,4
JF-MD-PR-03	100,8	30,28	19,55	49,83	5,0
JF-MD-PR-04	102,4	32,45	21,68	54,13	5,6
JF-MD-PR-05	105,7	32,7	22,8	55,5	4,0
Média dos parâmetros	102,76	31,76	21,11	52,87	4,9
Desvio padrão	2,06	1,5	1,49	2,95	0,59

Fonte: Autor

A tabela 2, nos mostra os valores mínimos, exigidos pelo MAPA, para que um calcário possa ser comercializado como corretivo de acidez dos solos.

Como podemos observar na tabela 8, todas as amostras analisadas se encontram dentro dos parâmetros mínimos exigidos pela legislação, apresentando todas as amostras valores de PN bem acima do mínimo exigido que é 67. Os valores de PN das amostras variaram de 100,4 a 105,7, apresentando uma média de 102,76, podendo portanto, ser utilizadas como matéria prima para a produção de corretivos de acidez. Os valores de %CaO nas mesmas amostras variaram de 29,72 a 33,64, com uma média de 31,76 e os valores de %MgO variaram de 19,15 a 22,8, com uma média 21,11. A soma dos valores de %CaO e % MgO variaram de 48,87 a 56,02, sendo que a média dos valores foi 52,87. Os resíduos insolúveis, que correspondem à fração de material silicático presente na rocha, apresentaram um valor médio de 4,9, com valores variando entre 4,0 e 5,6. Como não houve muita variação nos resultados de cada amostra, o valor de desvio padrão se apresentou baixo em todos os casos.

Vale salientar que o valor do poder relativo de neutralização total (PRNT) é dado pelo produto do PN com a reatividade (RE) do calcário, e é o PRNT que classifica os calcários nas quatro faixas em que são comercializados. O cálculo da reatividade é feito através da quantificação das parcelas de calcário retidas em cada peneira (peneira granulométrica) após a britagem e peneiramento do material. O presente trabalho não classificou então o calcário de acordo com o PRNT, por este depender também do processo de beneficiamento do produto final.

7.1.2 Mármore rosa-Mudador

A tabela 9 nos mostra os resultados analíticos das amostras de coloração rosa coletadas na pedreira do Arroio Mudador.

Tabela 9- Resultados analíticos das amostras de coloração rosa da localidade Arroio Mudador

Calcário Rosa- Arroio Mudador					
Amostra	PN	%CaO	%MgO	%CaO +	
				%MgO	%RI
JF-MD-RO-01	92,75	26,24	21,1	47,34	17
JF-MD-RO-02	90,77	24,95	15,31	40,26	21,8
JF-MD-RO-03	94,2	27,2	14,71	41,91	19,5
JF-MD-RO-04	93,6	31,12	14,92	46,04	12,1
JF-MD-RO-05	87,7	26,32	15,32	41,64	17,5
Média dos parâmetros	91,80	27,17	16,27	43,44	17,58
Desvio padrão	2,36	2,10	2,43	2,74	3,22

Fonte: Autor

Como podemos observar, nas amostras de coloração rosa o valor de PN variou entre 87,7 e 94,2, apresentando uma média 91,80. Assim, todas as amostras analisadas também se encontram dentro dos parâmetros exigidos pelo MAPA (Tabela 2), apresentando valores de PN bem acima do exigido, podendo assim, serem utilizadas como matéria prima para a produção de corretivos de acidez dos solos. As amostras analisadas apresentaram ainda valores de %CaO variando entre 24,95 e 31,12 com uma média 27,17. Os valores de %MgO apresentaram uma média de 16,27, com valores variando entre 14,71 e 21,1. Já a soma dos valores de %CaO e %MgO apresentaram valores entre 40,26 e 47,34, com uma média de 43,44. Com relação aos resíduos insolúveis, podemos ver que houve um aumento significativo no seu valor em todas as amostras com relação aos valores apresentados pelas amostras de coloração preta. Esse parâmetro variou nas amostras analisadas entre 17,0 e 21,8, com uma média de 17,58. Os valores de desvio padrão se mantiveram baixos assim como para as amostras de mármore preto.

7.1.3 Mármore creme-Mudador

Na tabela 10, podemos ver os resultados obtidos para as amostras de coloração creme.

Tabela 10- Resultados analíticos das amostras de coloração creme

Calcário Creme- Arroio Mudador					
Amostra	PN	%CaO	%MgO	%CaO +	
				%MgO	%RI
JF-MD-CR-01	95,7	25,7	20,8	46,5	17,9
JF-MD-CR-02	99	28,26	21,9	50,16	17
JF-MD-CR-03	91,5	26,92	19	45,92	21
JF-MD-CR-04	94,9	26,6	19,7	46,3	19
Média dos parâmetros	95,28	26,87	20,35	47,22	18,73
Desvio padrão	2,67	0,92	1,10	1,71	1,49

Fonte: Autor

Conforme a tabela 10, os resultados de PN obtidos para as amostras de coloração creme variaram entre 91,5 e 99,0, apresentando uma média de 95,28. Com este resultado, todas as amostras analisadas apresentam os valores mínimos exigidos para que possam ser utilizadas como matéria prima na produção de corretivos de solos. Para essas amostras o valor de %CaO variou entre 25,7 e 28,26 e os valores de %MgO variaram entre 19,0 e 21,9, com médias de 26,87 e 20,35 respectivamente. A soma de %CaO e %MgO variou entre 45,92 e 50,16 com média de 47,22 e os valores de resíduos insolúveis variaram entre 17,0 e 21,0 com média de 18,73, sendo considerado um valor alto se comparado aos valores encontrados nos mármore pretos.

7.1.4 Mármore branco-Caieiras

A tabela 11, nos mostra os resultados de qualidade para as amostras de mármore branco.

Tabela 11- Resultados analíticos das amostras de coloração branca

Calcário Branco- Caieiras- Inducal					
Amostra	PN	%CaO	%MgO	%CaO +	
				%MgO	%RI
JF-IND-BR-01	92,5	28,93	17,39	46,32	19
JF-IND-BR-02	110,5	31,4	23,35	54,75	3,6
JF-IND-BR-03	107,2	30,73	23,99	54,72	4
JF-IND-BR-04	108,2	30,95	22,7	53,65	3,5
JF-IND-BR-05	105,5	29,83	22,05	51,88	3,9
Média dos parâmetros	104,78	30,37	21,90	52,26	6,80
Desvio padrão	6,35	0,88	2,34	3,15	6,10

Fonte: Autor

Os resultados (Tabela 11) obtidos através dos métodos analíticos para os mármore brancos demonstram que o valor do PN para essas amostras variou entre 92,5 e 110,5, apresentando uma média de 104,78. Com esse resultado, todas as amostras se encontram acima do valor mínimo exigido na legislação para comercialização do calcário como corretivos de solos, pois seus valores são muito superiores ao exigido pelo MAPA que é 67, podendo com isso, serem utilizadas como matéria prima na produção dos corretivos. Os valores de %CaO nessas amostras variaram entre 28,93 e 31,4, com uma média de 30,37. Os valores %MgO variaram entre 17,39 e 23,99, com média de 21,90. A soma dos óxidos de Ca e Mg variaram entre 46,32 e 54,35, apresentando um valor médio de 52,26. Os resíduos insolúveis apresentaram a maior variação nos valores, indo de 3,5 a 19,0, com uma média de 6,8.

O desvio padrão para essas amostras foi o que apresentou a maior variação de todas as variedades analisadas até o momento. Este apresentou um valor de 6,35 para o PN e 6,10 para os RI. Isto se deu devido a grande variação nos valores de PN e RI apresentado pela amostra JF-MD-BR-01 com relação às outras amostras. Com essa diferença nos valores, podemos fazer ainda uma nova comparação. Como podemos observar, a amostra que apresentou o menor valor de PN apresentou também os menores valores de %CaO e %MgO, e consequentemente, no valor da soma de %CaO e %MgO. Isso ocorreu porque o valor do PN está diretamente ligado aos valores de %CaO e %MgO presentes nas

amostras. Com isso, quanto maior os valores de CaO e MgO nas amostras, maior será também o seu PN, pois são esses óxidos que oferecem à rocha carbonática, a capacidade de neutralizar os íons H^+ presentes nos solos. Uma outra observação que pode ser feita é que quanto maior a % de resíduos insolúveis na amostra, menor é o PN apresentado por esta. Isso ocorre pois existe uma relação inversamente proporcional nos valores de RI e % de CaO e MgO nas rochas calcárias. Com isso, quanto maior o valor dos resíduos insolúveis, menores serão os valores de %CaO e %MgO e, conseqüentemente, menor será o valor do PN.

7.1.5 Mármore rosa-Caieiras

A tabela 12 nos mostra os resultados obtidos pelas análises para amostras de coloração rosa que ocorrem na região das Caieiras.

Tabela 12- Resultados analíticos para as amostras de coloração rosa provenientes da região das Caieiras

Calcário Rosa- Caieiras-Inducal					
Amostra	PN	%CaO	%MgO	%CaO + %MgO	%RI
JF-IND-RO-09	112,5	32,52	23,83	56,35	3
JF-IND-RO-10	110,23	31,8	22,9	54,7	3,3
Média dos parâmetros	111,37	32,16	23,37	55,53	3,15
Desvio padrão	1,14	0,36	0,47	0,82	0,15

Fonte: Autor

Pelos dados da tabela 12 é possível observar que os valores de PN para as duas amostras analisadas não variaram muito. A primeira amostra apresentou um valor de 112,5 e a segunda, um valor de 110,23, com uma média então, de 111,37. Com isso, as duas amostras analisadas apresentam valores de PN bem acima do valor mínimo exigido na legislação, podendo assim, serem utilizadas como matéria prima na produção de corretivos de acidez dos solos. Os valores de %CaO apresentados foram de 31,8 e 32,52, com uma média de 32,16 e os valores de %MgO e soma de %CaO e %MgO, apresentaram médias de 23,37 e 55,33, respectivamente. Os valores de resíduos insolúveis se apresentam baixos, com uma média de 3,15. O desvio padrão apresentou-se baixo para todos os parâmetros analisados, devido a pouca variação apresentada pelas amostras.

A tabela 13 apresenta um resumo dos resultados obtidos para todas variedades de mármore analisadas, mostrando também se as amostras estão ou não aptas a serem utilizadas na produção de corretivos de acidez.

Tabela 13- Tabela comparativa dos valores médios dos parâmetros analisados encontrados para cada variedade de mármore

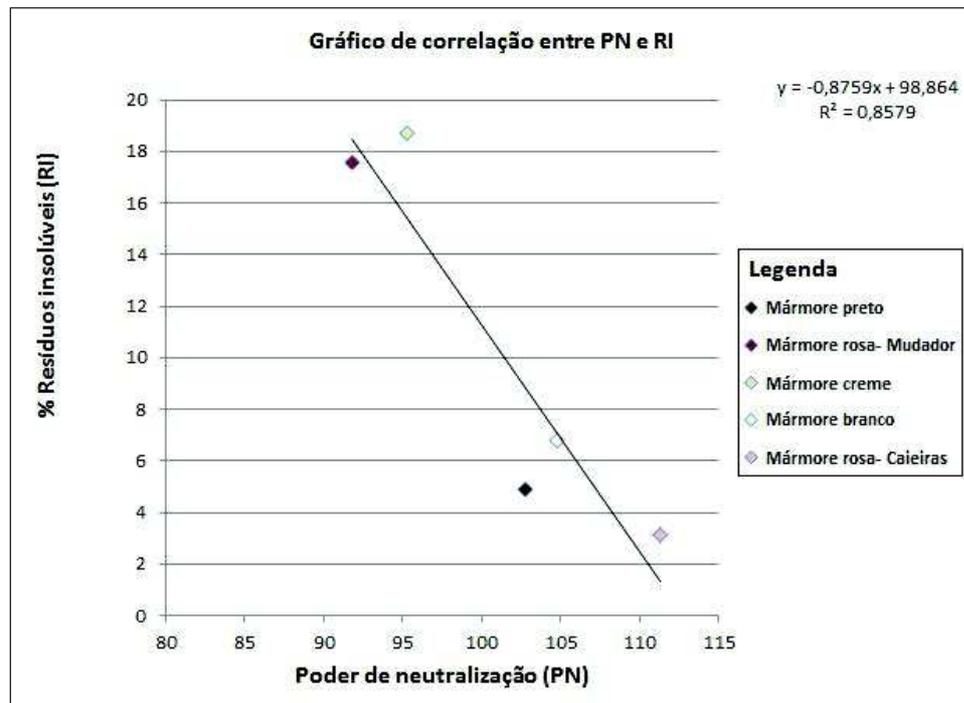
Tipo de mármore	PN médio	(%CaO + %MgO) médio	RI médio	Apresenta as exigências mínimas determinadas pelo MAPA	
				Sim	Não
Preto	102,76	52,87	4,9	x	
Rosa- Mudador	91,8	43,44	17,58	x	
Creme	95,28	47,22	18,73	x	
Branco	105,5	51,88	6,8	x	
Rosa- Caieiras	111,37	55,53	3,15	x	

Fonte: Autor

Observando os dados da tabela 13, verifica-se que todas as variedades de mármore analisadas estão de acordo com as exigências químicas mínimas determinadas pelo MAPA para que possam ser utilizadas como matéria prima para a produção de corretivos de acidez dos solos.

O mármore rosa que ocorre na região das Caieiras (Mina Pinheiro Norte-INDUCAL) foi o que apresentou os maiores valores de PN médio e soma de %CaO e %MgO média. Consequentemente, o mesmo apresentou baixíssimo valor de resíduos insolúveis, pois, como salientado anteriormente, existe uma correlação inversamente proporcional nos valores de PN e RI (Figura 15).

Figura 15- Gráfico de correlação entre as variáveis poder de neutralização e resíduos insolúveis



Fonte: Autor

Já o mármore rosa e creme que ocorrem na localidade Arroio Mudador, foram os que apresentaram os menores valores de PN médio. Os valores médios de poder de neutralização apresentados por essas amostras foram de 91,8 e 95,28, respectivamente. Essas amostras foram as que apresentaram também os maiores valores médios de resíduos insolúveis, com 17,58 e 18,73 respectivamente, afirmando novamente, a correlação inversamente proporcional (Figura 15) existente entre esses parâmetros químicos.

Os mármore pretos que ocorrem na localidade Arroio Mudador e brancos que ocorrem na localidade Caieiras (Mina Roça- INDUCAL) apresentaram valores aproximados de PN, com valores médios de 102,76 e 105,5 respectivamente. Os valores de soma de %CaO e %MgO apresentaram valores médios de 52,87 e 51,88 e os valores de resíduos insolúveis apresentaram valores médios de 4,9 e 6,8 respectivamente.

7.2 Resultado das análise das amostras como possível matéria-prima para produção de cal

Como comentado anteriormente, a norma da ABNT NBR- 6473 determina quais são as exigências químicas e físicas mínimas que um material deve

apresentar para que possa ser comercializado como cal. Dessa forma, as amostras de mármore coletadas nas localidades Arroio Mudador e Caieiras foram analisadas de acordo com essa norma para verificar a qualidade dessas rochas como possível matéria prima para a produção de cal. As exigências químicas e físicas mínimas estão mostradas nas tabelas 4, 5 e 6. Para a classificação das amostras como apta ou não ao uso como matéria prima foi considerado apenas o parâmetro óxidos totais não voláteis, pois este é o parâmetro que determina na prática a qualidade da rocha. Já as características físicas não foram analisadas, por esta depender também do processo de beneficiamento do produto.

A tabela 14 mostra os resultados obtidos através das análises das variedades preta, rosa e creme da pedra Mudador, localidade Arroio Mudador, e, branca e rosa das pedreiras Roça e Pinheiro Norte, localidade Caieiras.

Tabela 14- Resultados analíticos para a determinação dos parâmetros exigidos para a produção de cal

Amostra	Cor da amostra	%CaO	%MgO	PF	RI	Carbonatos totais não voláteis
JF-MD-PR-01	Preta	54,8	36,8	1,75	4,9	93,23
JF-MD-PR-05	Preta	56,36	36,9	1,28	5	94,47
JF-MD-RO-01	Rosa- Mudador	43,27	28,3	2,65	24,5	73,52
JF-MD-RO-02	Rosa- Mudador	42,97	27,65	2,1	26,45	72,13
JF-MD-CR-01	Creme	37,22	33,83	1,67	26,14	72,26
JF-MD-CR-02	Creme	39,89	33,7	1,93	23,5	75,04
JF-IND-BR-01	Branca	45,29	26,41	2,36	25,05	73,43
JF-IND-BR-02	Branca	56,76	37,2	1,2	3,9	95,10
JF-IND-RO-01	Rosa- Caieiras	58,2	37,5	1,3	3,2	96,96

Fonte: Autor

Observa-se na tabela 14 que as únicas amostras que apresentam os valores mínimos de carbonatos totais não voláteis, conforme determina a NBR-6473 para produção de cal, são a JF-MD-PR-01 com 93,23%, a JF-MD-PR-05 com 94,47%, a JF-IND-BR-02 com 95,10 % e a JF-IND-RO-01 com 96,96% de CaO e MgO nas amostras. Essa norma determina que o valor mínimo que a rocha deve apresentar é de 88% desses óxidos. Pode-se observar também que essas amostras são as que apresentam os menores valores de resíduos insolúveis, conforme demonstrado

anteriormente que existe uma correlação negativa entre CaO e MgO presente na rocha e os resíduos insolúveis presentes na mesma. Para as demais amostras analisadas os valores variaram pouco, tanto no parâmetro óxidos totais quanto nos resíduos insolúveis.

Portanto, das amostras analisadas, apenas as variedades preta, branca e rosa de origem da Mina Pinheiro- INDUCAL, apresentam os valores mínimos exigidos pela norma NBR-6473 para seu uso como matéria prima para cal.

Na região das Caieiras - Caçapava do sul, ocorre a predominância de mármore brancos com grandes lentes orientadas no sentido N-S e, nessas lentes ocorrem muitas variações nos teores de resíduos insolúveis e teores de CaO e MgO nas rochas. A maior parte desse mármore apresenta valores elevados de resíduos insolúveis, estando aptos apenas ao uso como corretivos de acidez. Uma pequena parcela de todo esse material apresenta valores baixos de resíduos, estando aptas ao uso como matéria prima para a produção de cal. Na prática, durante a lavra do material no decorrer do dia, algumas amostras são levadas ao laboratório das empresas para as quantificações do PN, %CaO e %MgO das amostras, afim de assegurar a qualidade do produto. Com isso, quando uma amostra aponta valores de PN maiores ou igual a 100, o material é considerado como apto ao uso como matéria prima para cal, sendo então, feito uma catação manual desse material. Após a catação do material, são feitas as análises específicas para cal para garantir a qualidade do produto final. As amostras JF-IND-BR-02 e JF-IND-RO-01 são exemplos dessa pequena parcela dessas rochas que apresentam valores baixos de resíduos insolúveis e elevados teores de CaO e MgO.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente trabalho foi ajudar a desmitificar o conceito de que apenas os mármore de coloração branca apresentam qualidade que os permitam ser utilizados como matéria-prima para produção de corretivos de acidez dos solos e cal.

Através da análise de diversos parâmetros químicos, foi possível provar que todas as variedades de mármore analisadas apresentam as características químicas mínimas exigidas pela legislação para seu uso na produção de corretivos de acidez dos solos. Os resultados que permitem inferir a qualidade química das rochas investigadas são demonstrados através dos valores médios de PN obtidos, onde os mármore pretos, rosa e creme da pedreira Mudador apresentaram valores médios de 102,76, 91,8, e 95,27 respectivamente, e os mármore brancos e rosa da Mina Pinheiro Norte, localidade Caieiras, apresentaram valores médios de PN de 104,78 e 111,36 respectivamente. Com isso, vale destacar os altos valores de poder de neutralização apresentados pelo mármore preto da localidade Arroio Mudador e rosa da localidade Caieiras, confirmando que a ideia da falta de qualidade química dessas demais variedades da rocha, não passa de uma questão cultural, não tendo um apoio técnico-científico. Embora as amostras creme e rosa da localidade Arroio Mudador não tenham apresentado valores tão elevados como o preto e o rosa da localidade Caieiras, as mesmas apresentaram valores significativos de PN, estando bem acima do mínimo exigido pelo MAPA, que é 67.

Os resultados das análises de qualidade das amostras como possível matéria-prima para a produção de cal, não apresentaram resultados tão significativos. Das três variedades que ocorrem na localidade Arroio Mudador, apenas o mármore preto apresentou os valores mínimos de óxidos totais não voláteis exigidos na norma NBR- 6473 da ABNT, com média obtida pelas amostras de 93,85, enquanto o mínimo exigido pela ABNT é 88. As amostras das variedades rosa e creme da mesma localidade não apresentaram os valores mínimos determinados na legislação. Já o mármore rosa da localidade Caieiras apresentou um excelente resultado, com um teor de óxidos totais de 96,96%, o maior obtido entre todas as variedades estudadas. Das duas amostras de mármore branco analisadas, a JF-IND-BR-01 não apresentou o teor de óxidos totais determinado pela norma, enquanto a amostra JF-IND-BR-02 se apresentou dentro dos parâmetros

exigidos, com um teor de 95,10, mostrando que, como salientado anteriormente, existe grande variação na composição química dessa variedade do mármore em Caçapava do Sul. O alto teor de óxidos totais e o baixo teor de resíduos insolúveis apresentados pelas amostras de coloração preta da localidade Arroio Mudador e rosa da localidade Caieiras, mostra novamente que a ideia que existe de que essas variedades de mármore são impuras é cultural, não tendo embasamento técnico-científico.

9 RECOMENDAÇÕES

Como recomendações para trabalhos futuros, o autor acredita que poderiam ser realizadas análises químicas mais específicas com todas as variedades de mármore da região de Caçapava do Sul- RS e também dos municípios vizinhos como Bagé, Vila Nova e São Gabriel, afim de se fazer um comparativo de qualidade das rochas de toda a região. Seria interessante também, através de análises petrográficas e análises por Fluorescência de Raio-X, tentar determinar quais minerais ou elementos químicos são os responsáveis por dar a coloração preta, rosa, creme e demais outras variedades que possam aparecer.

Como recomendação também ao problema da dificuldade de inserção dos produtos finais da moagem dos mármore coloridos, o autor acredita que poderia haver a de criação de novos produtos, para fins distintos, o que aumentaria o valor agregado das rochas analisadas e diminuiria a dificuldade de comercialização desses produtos.

10 REFERÊNCIAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas- **NBR- 6453**- Cal Virgem para Construção Civil- Requisitos- Rio de Janeiro. 2003(a).

_____-**NBR 7175**- Cal Hidratada para Argamassas- Requisitos. Rio de Janeiro. 2003(b).

_____-**NBR 6473**- Cal virgem e hidratada- Análise química.Rio de Janeiro- RJ. 2012.

ABRACAL, 2014(a). **Calcário Agrícola- Brasil- Produção por estado- Período de 1987 a 2013.** Disponível em http://www.abracal.com.br/arquivos/documentos/producao_por_estado_1987_a_2013.pdf, acessado em 15/05/2015 às 13:41.

ABRACAL, 2014(b). **Calcário Agrícola- Brasil- Consumo Aparente por estado- Período de 1992 a 2013.** Disponível em http://www.abracal.com.br/arquivos/documentos/calcario_agricola_brasil_consumo_a_parente_1992_a_2013.pdf, acessado em 15/05/2015 às 13:45.

ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil, 2009. **Agregados para a construção civil.** Disponível em http://www.anepac.org.br/14/pdf_sum_mineral/AGREGADOSPARACONSTRUCAOCIVIL2005.pdf, acessado em 10-04-2015 às 10:45.

ALMEIDA, Delia del Pilar Montecinos; MACHADO, Adriane; CHEMALE JR, Farid. **Late to post-orogenic Brasileiro-Pan-African volcano-sedimentary basins in the Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil.** INTECH Open Access Publisher, 2012.

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques *et al.* **Brazilian structural provinces: an introduction.** Earth-Science Reviews, v. 17, n. 1, p. 1-29, 1981.

BABINSKI, Marly *et al.* **Juvenile accretion at 750–700 Ma in southern Brazil.** *Geology.*, v. 24, p.439-442, maio 1996.

_____ *et al.* **U-Pb and Sm-Nd geochronology of the neoproterozoic granitic-gneissic Dom Feliciano Belt, southern Brazil.** Journal of South American Earth Sciences, v. 10, n. 3, p. 263-274, 1997.

BICCA, Marcos Muller *et al.* **Estudos tectônicos da porção sul da bacia do Camaquã, região das Minas do Camaquã, RS.** In: VI Congresso Uruguayo de

Geologia e II Simpósio Internacional del Neoproterozoico – Cambrico de la Cuenca del Plata, Minas, pp. 34. 2010.

BIGARELLA, João José; SALAMUNI, Riad. **Estudos preliminares na Série Açungui VII: algumas estruturas singenéticas nos dolomitos da Formação Capiru.** Arq. Biol. Tecn, v. 11, 1956.

BITENCOURT, Maria de Fátima. **Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS- Geologia e relações com o corpo granítico.** In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia. **SBG**, Porto Alegre, 1983. p.37-49.

BORBA, André Weissheimer; MIZUSAKI, Ana Maria Pimentel. **Santa Bárbara Formation (Caçapava do Sul, southern Brazil): depositional sequences and evolution of an Early Paleozoic post collisional basin.** Journal of South American Earth Sciences, v.16, n. 5, p. 365-380, 2003.

BORBA, Andre Weissheimer de; MARASCHIN, Anderson José; MIZUSAKI, Ana Maria Pimentel. Evolução tectono-estratigráfica e paleoclimática da Formação Maricá (Escudo Sul-rio-grandense, Brasil): um exercício de geologia histórica e análise integrada de uma bacia sedimentar neoproterozóica. **Pesquisas em Geociências. Porto Alegre, RS. Vol. 34, n. 2 (2007), p. 57-74,2007.**

BORTOLOTTI, Olavo José. **Petrografia dos mármores de Caçapava do Sul, RS.** Ciência e Natura, Santa Maria, v. 9, p. 37-65, 1987.

CHEMALE, Junior Farid. **Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense.** In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), Geologia do Rio Grande do Sul. CIGO-UFRGS, Porto Alegre, 2000. p. 13–52.

COSTA, Antonio Flávio Uberti *et al.* **Testes dos modelos tectônicos de posicionamento do Complexo Granítico Caçapava do Sul através de estudos de modelagem gravimétrica 3-D.** Revista Brasileira de Geofísica. v.13. p. 91-101. 1995.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. 2009. **Sumário Mineral 2008.** Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2008/calcarioagricola.pdf> , acessado em 20-04-2015 às 21:38

FERNANDES, Luis Alberto D'ávila *et al.* **Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Rio-grandense: Parte I- Uma contribuição a partir do**

registro geológico. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 4, n. 25, p.351-37, 1995.

FRAGOSO CÉSAR, Antonio Romalino Santos. **Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: As Orogênias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul**. 1991. 362 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

GALLINA, Fabiana; NETO, José Manuel dos Reis; SALAMUNI, Eduardo. **Fatores controladores da variação de MgO nos mármores da mina Rio Bonito (PR)**. Revista Brasileira de Geociências. v. 39. pags.160 à 168. Março 2009.

GASTAL, Maria do Carmo Pinto. **Classificação dos granitóides pertencentes à Suite Intrusiva Saibro (SIS), RS**. SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, v. 6, p. 72-76, 1995.

GOÑI, Juan Carlos *et al.* **Estratigrafia e Geologia econômica do Pré-cambriano e Eo-paleozóico uruguaio e Sul-rio-grandense**. *Congresso Brasileiro de Geologia*. Vol. 16. 1962.

GOULART, Rossana Vicente; REMUS, Marcus Vinícius Dorneles; DOS REIS, Rafael Souza. **Composição isotópica de Sr, C e O e geoquímica de ETRs das rochas carbonáticas do Bloco São Gabriel, Rio Grande do Sul**. Instituto de Geociências, UFRGS. 2011.

GROSS, Júlio Moretti. **Análise Estrutural Aplicada à Lavra de Rocha Ornamental do Mármore Mudador RS, Brasil**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia, UFRGS. Porto Alegre. 1998.

HARTMANN, Léo Afraneo *et al.* **Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metalogenic evolution of southern Brazil**. Australian Journal of Earth Sciences, v. 47, n. 5, p. 829-844, 2000.

_____. *et al.* **Oceanic plateau accretion at 705 Ma in the southern Brazilian Shield**. In: 4th South American Symposium on Isotope Geology, Salvador. Short papers v. 1, 2003.

_____. CHEMALE JUNIOR, Farid; PHILIPP, Ruy Paulo. **Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano**. In: 50 Anos de Geologia no Rio Grande do Sul. PortoAlegre. Editora Comunicação e Identidade. 2007.

_____. *et al.* **Protolith age of Santa Maria Chico granulites dated on zircons from an associated amphibolite-facies granodiorite in southernmost Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 80, n. 3, p. 543-551, 2008.

HOERLLE, Guilherme Sonntag; REMUS, Marcus Vinicius Dorneles; DANI, Norberto. **Varieties of Marbles of Caçapava do Sul- Aspects genetic and petrographic.** UFRGS. 2009

JANIKIAN, Liliane *et al.* **Ages (U–Pb SHRIMP and LA ICPMS) and stratigraphic evolution of the Neoproterozoic volcano-sedimentary successions from the extensional Camaquã Basin, Southern Brazil.** Gondwana Research, v. 21, n. 2, p. 466-482, 2012.

JOST, H.; HARTMANN, Léo Afraneo. **Província Mantiqueira-Setor Meridional. O Pre-Cambriano do Brasil,** p. 345-68, 1984.

LEITE, Jayme Alfredo Dexheimer *et al.* **SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil.** International Geology Review, v. 40, n. 8, p. 688-705, 1998.

LUZ, Adão Benvindo. **Estudo de Oxidação e Redução de Ferro Contido em Caulins.** Tese de Doutorado em Engenharia Mineral, EPUSP, 1998.

MACHADO, N.; KOPPE, J. C.; HARTMANN, Léo Afraneo. **A late proterozoic U– Pb age for the Bossoroca Belt, Rio Grande do Sul, Brazil.** Journal of South American earth sciences, v. 3, n. 2-3, p. 87-90, 1990.

MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- Secretária de Defesa Agropecuária. 2012. Instrução Normativa ° 35.

_____. **Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos.** Brasília.2013.

MARASCHIN, Anderson José *et al.* **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, v. 29, n. 2, p. 400-411, 2010.

MINEROPAR- Serviço Geológico do Paraná. 2009. **Rochas Carbonáticas- Calcário.** Disponível em <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=31>, acessado dia 05/04/2015 às 20:07.

NAHASS, Samir; SEVERINO, Joaquim. **Calcário Agrícola no Brasil.** Série Estudos & Documentos. CETEM- Ministério da Ciência e Tecnologia. 2003.

OLIVEIRA, Christie Helouise Engelmann de. **Evolução Tectono-Estratigráfica das Bacias Santa Bárbara e Guaritas, Rio Grande do Sul.** 2013.

PAIM, Paulo Sergio Gomes; CHEMALE JUNIOR, Farid; LOPES, Ricardo da Cunha. **Aloestratigrafia, Sistemas Depositionais e Evolução Paleogeografica da Bacia do Camaquã- Vendiano Superior/ Ordoviciano Inferior do RS.** In: VI SIMPÓIO Expandidos (palestras). **Sociedade Brasileira de Geologia**, Porto Alegre, p.39-50. 1995.

_____. CHEMALE JR, Farid.; LOPES, Ricardo da Cunha. **A Bacia do Camaquã.** Geologia do Rio Grande do Sul, p. 231-274, 2000.

PETTIJOHN, Francis John. **Sedimentary rocks – harper and brotthers.** New York, USA: [s.n.] 1957.

PHILIPP, Ruy Paulo; MACHADO, Rômulo; CHEMALE JR, Farid. **Reavaliação e novos dados geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: implicações petrogenéticas e idade de reativação das zonas de cisalhamento.** Geologia USP. Série Científica, v. 3, p. 71-84, 2007.

_____. MACHADO, Romulo. **The Late Neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batolith, Southern Brazil.** Journal Of South American Earth Sciences, Nc, v. 4, n. 19, p.461-478, set. 2005.

_____. LUSA, Marcelo; NARDI, Lauro Valentin Stoll. **Petrology of dioritic, tonalitic and trondhjemitic gneisses from Encantadas Complex, Santana da Boa Vista, southernmost Brazil: paleoproterozoic continental-arc magmatism.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 80, n. 4, p. 735-748, 2008.

REMUS, Marcus Vinicius Dorneles *et al.* **Zircon SHRIMP U/Pb dating and Nd isotope data of granitoids of the são Gabriel Block, southern Brazil: evidence for an Archean/Paleoproterozoic basement.** In: International Symposium on Granite and associated Mineralizations, Salvador, BA. **Extended Abstracts And Program.** v.único, p.271-272.1997.

_____. *et al.* **Gold in the Neoproterozoic juvenile Bossoroca volcanic arc of southernmost Brazil: isotopic constraints on timing and sources.** Journal of South American Earth Sciences, v. 12, n. 4, p. 349-366, 1999.

_____. *et al.* **The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in southern Brazil.** Journal Of South American Earth Sciences. v. 13, p.191-216, jan. 2000.

_____. *et al.* **Crustal evolution of granitoids and gneisses from the Cambaizinho belt, southern Brazil: Review zircon Pb-Pb evaporation ages and Pb-Nd-Sr isotopes.** 2001.

RIBEIRO, Marcelo José *et al.* **Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul**. Boletim n.º 127, DNPM, Rio de Janeiro.1966.

ROBERTSON, Jacques Francis. **Revision of Stratigraphy and nomenclature of rock units in Caçapava-Lavras Region**. Notas e estudos, v. 1, n. 2, p. 41-54, 1966.

SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz. **Calcário e dolomito**. Capítulo 15. Rochas e Minerais Industriais, v. 1, 2008.

SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz. **Calcário e Dolomito** – Capítulo 16, in Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações, Ed. Adão Benvindo da Luz e Fernando A. Freitas Lins. 2009.

SILVA, José Otávio. **Perfil da Cal**. Projeto Estal. Ministério de Minas e Energia & Banco Mundial. J. Mendo Consultoria. 2009.

SOLIANI JUNIOR, Ênio. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-riograndense e suas implicações de ordem geotectônica**. 1986. 465 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, IG, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

SOMMER, Carlos Augusto *et al.* **Potassic and low-and high-Ti mildly alkaline volcanism in the Neoproterozoic Ramada Plateau, southernmost Brazil**. Journal of South American Earth Sciences, v. 18, n. 3, p. 237-254, 2005.

SOUZA, Erika., 2006. **Produção de Cimento**, apresentação de aula da Engenharia Civil, Faculdade Pio Décimo. Disponível em http://linux.alfamaweb.com.br/sgw/downloads/38_114907_PRODUCAODECIMENTO.ppt, acessado em 10-04-2015 às 10:18.

SUGUIO, Kenitiro. **Geologia sedimentar**. Editora Edgard Blücher. São Paulo. 2003.