

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**CAIO JOSÉ GEOFFROY BARBOSA FAGUNDES**

**ESTUDO GEOQUÍMICO COMPARATIVO ENTRE ROCHAS  
CALCÁRIAS VISANDO SEU APROVEITAMENTO TECNOLÓGICO**

**Caçapava do Sul  
2016**

**CAIO JOSÉ GEOFFROY BARBOSA FAGUNDES**

**ESTUDO GEOQUÍMICO COMPARATIVO ENTRE ROCHAS  
CALCÁRIAS VISANDO SEU APROVEITAMENTO TECNOLÓGICO**

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

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Msc. Luiz Delfino  
Teixeira Albarnaz

Coorientador: Prof<sup>o</sup>. Dra. Anelise Marlene  
Schmidt

**Caçapava do Sul  
2016**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo autor através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

F8 Fagundes, Caio José Geoffroy Barbosa  
Estudo Geoquímico Comparativo entre  
Rochas Calcárias Visando seu  
Aproveitamento Tecnológico / Caio José  
Geoffroy Barbosa Fagundes.  
68 p.  
1. Calcário. 2. Corretivo de Solo.

**CAIO JOSÉ GEOFFROY BARBOSA FAGUNDES**

**ESTUDO GEOQUÍMICO COMPARATIVO ENTRE ROCHAS  
CALCÁRIAS VISANDO SEU APROVEITAMENTO TECNOLÓGICO**

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

Trabalho de Conclusão de Curso II defendido e aprovado em: 09/12/2016.

Banca examinadora:

---

Prof. Msc. Luiz Delfino Teixeira Albarnaz

Orientador

UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Luis Eduardo de Souza

UNIPAMPA

---

Quim. Guilherme Pacheco Casa Nova

UNIPAMPA

Dedico este a minha avó Dyrce, por todo  
amor e ternura, Amo você!

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Jesus, por esta e outras vidas.

Aos meus pais Renato e Regina por toda educação, amor e atenção que me deram todos estes anos. O que sou hoje devo inteiramente à vocês, sendo impossível colocar em poucas palavras o profundo amor e admiração que sinto;

Ao meu irmão Igor, pelo companheirismo, fiel amizade e amor.

À minha namorada Barbara, que sempre esteve ao meu lado, me dando conselhos e me apoiando em todos os momentos, amo você.

Aos amigos Juliano, Igor, Victor, Everton e Ikaro que conviveram comigo todos estes anos de faculdade. Juliano, muito obrigado!

A toda minha família, especialmente às minhas tias Vera e Márcia e também ao meu tio Paulinho, por todo amor e carinho que sempre tive.

Ao orientador professor Luiz Delfino, o meu agradecimento e respeito por toda ajuda e suporte para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos os outros que de alguma forma foram importantes em minha vida. Muito obrigado!

“Nunca te envaieças com vantagens que,  
na realidade, são empréstimos de Deus”

Emmanuel

## RESUMO

O calcário é encontrado extensivamente em todos os continentes, extraído de pedreiras em depósitos que variam em idade, desde o Pré-Cambriano até o Holoceno. Como exemplos destas rochas, temos o calcário e o dolomito, representando aproximadamente 15% de todas as rochas sedimentares aflorantes. Diversos autores em importantes trabalhos científicos, classificam os calcários aflorantes nas regiões de Caçapava do Sul, Bagé, Pantano Grande e Vila Nova do Sul com base principalmente nos teores de óxido de cálcio (%CaO) e óxido de magnésio (%MgO). O presente trabalho teve como objetivo o estudo geoquímico comparativo entre as rochas calcárias das regiões estudadas, como matéria-prima para a produção de corretivos de solos ácidos, através da análise dos parâmetros exigidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Com os resultados obtidos, pode-se afirmar que todas as regiões estudadas apresentaram parâmetros químicos acima dos exigidos pela legislação, destacando-se a região de Caçapava do Sul que apresentou uma melhor qualidade para o uso como corretivos de acidez de solos.

Palavras-Chave: Calcário; Corretivo de Solo; Teor.

## **ABSTRACT**

Limestone is found extensively on all continents, extracted from quarries in deposits ranging in age from Precambrian to Holocene. Examples of these rocks are limestone and dolomite, representing approximately 15% of all sedimentary rocks on the surface. Several authors in important scientific papers, classify the surface limestone in the regions of Caçapava do Sul, Bagé, Pantano Grande and Vila Nova do Sul based primarily on calcium oxide content (%CaO) and magnesium oxide (%MgO). This study aims at comparative geochemical study of the calcareous rocks of the regions studied, as raw material for the production of soil correctors by analyzing the parameters required by the Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. With the results, it can be affirmed that all the studied regions presented chemical parameters above those required by the legislation, with emphasis in the region of Caçapava do Sul that presented a better quality for the use as correctives of soil acidity.

Key words: limestone; soil corrector; grade.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Valores do índice Clarke.....	28
Figura 2- Mapa de localização, situação e acesso das áreas de estudo e coleta de amostras.....	32
Figura 3- Mapa de detalhe das áreas de estudo.....	33
Figura 4- Fotos dos campos nos dias das amostragen.....	33
Figura 5- Mapa geológico simplificado das unidades geotectônicas do Escudo Sul-riograndense.....	35
Figura 6- Mapa geológico do Domínio São Gabriel.....	38
Figura 7- Mapa geológico do Batólito Pelotas.....	40
Figura 8- Mapa geológico da Bacia do Camaquã.....	42
Figura 9- Amostras de mármore do município de Bagé selecionadas para as análises.....	46
Figura 10- Amostras de mármore do município Pantano Grande selecionadas para as análises.....	46
Figura 11- Amostras de mármore do município de Vila Nova do Sul selecionadas para as análises.....	47
Figura 12- Amostras de mármore do município de Caçapava do Sul selecionadas para as análises.....	47
Figura 13- Ilustração do processo de preparação das amostras.....	49
Figura 14- Ilustração dos equipamentos, insumos e procedimentos utilizados durante as análises químicas.....	50
Figura 15- Correlação entre as variáveis poder de neutralização e resíduos insolúveis.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação das rochas carbonatadas com base na porcentagem de MgO contida na rocha.....	21
Tabela 2- Características químicas exigidas para uso e comercialização dos corretivos de acidez dos solos.....	26
Tabela 3 - Amostras coletadas com suas respectivas identificações e coordenadas.....	49
Tabela 4- Resultado analítico das amostras provenientes de Bagé.....	53
Tabela 5- Resultado analítico das amostras provenientes de Pantano Grande.....	54
Tabela 6- Resultado analítico das amostras provenientes de Vila Nova do Sul.....	55
Tabela 7- Resultado analítico das amostras provenientes de Caçapava do Sul.....	56
Tabela 8- Tabela comparativa dos valores médios dos parâmetros analisados encontrados em cada município.....	57

## SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO .....	13
2- OBJETIVOS .....	14
3- JUSTIFICATIVA .....	15
4- ESTADO DA ARTE .....	16
5- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	20
5.1- O que é Calcário? .....	20
5.2- Como se forma o Calcário? .....	20
5.3- Classificações da rocha calcária .....	20
5.4- Usos da rocha calcária e sua legislação .....	21
5.4.1- Calcário para a produção de cimento (Cimento hidráulico) .....	21
5.4.2- Calcário na indústria de cerâmica .....	22
5.4.3- Calcário para a fabricação de ração animal .....	22
5.4.4- Calcário na construção civil .....	22
5.4.5- Rochas ornamentais .....	22
5.4.6- Uso do calcário na metalurgia .....	23
5.4.10- Uso do calcário na indústria de plásticos .....	24
5.5- Geoquímica .....	27
6- ÁREA DE ESTUDO .....	31
6.1- Localização e Acesso .....	31
6.2- Contexto Geológico .....	34
6.2.1- Geologia Regional .....	34
6.2.2- Terreno Taquarembó .....	35
6.2.3- Terreno São Gabriel .....	35
6.2.4- Terreno Tijucas .....	36
6.2.5- Batólito Pelotas .....	36
6.3- Geologia Local .....	37
6.3.1- Complexo Cambaí .....	37
6.3.2- Complexo Granítico-Gnáissico .....	38
6.3.3- Complexo Várzea do Capivarita .....	39
6.3.4- Anortosito Capivarita .....	39
6.3.5- Complexo Metamórfico Passo Feio .....	41
6.3.6- Complexo Granítico Caçapava do Sul .....	41

<b>6.3.7- Bacia do Camaquã.....</b>	<b>42</b>
<b>7- METODOLOGIA.....</b>	<b>45</b>
<b>7.1- Ida ao campo para coleta e identificação das amostras .....</b>	<b>45</b>
<b>7.2- Preparação das amostras .....</b>	<b>48</b>
<b>7.3- Realização das análises químicas.....</b>	<b>49</b>
<b>7.3.1- Análise dos parâmetros químicos para determinação da qualidade como possível matéria prima para produção de corretivos de acidez dos solos.....</b>	<b>50</b>
<b>8- RESULTADOS.....</b>	<b>52</b>
<b>8.1- Mármore Bagé.....</b>	<b>52</b>
<b>8.2- Mármore Pantano Grande .....</b>	<b>53</b>
<b>8.4- Mármore Caçapava do Sul.....</b>	<b>55</b>
<b>9- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>58</b>
<b>10- RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>61</b>

## 1- INTRODUÇÃO

As rochas carbonáticas são rochas sedimentares e metassedimentares de origem química e bioquímica, composta essencialmente por minerais carbonáticos como a calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), a dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) e a aragonita ( $\text{CaCO}_3$ ). Além desses minerais, as rochas carbonáticas podem apresentar em quantidades menores a sílica e a argila. O calcário é encontrado extensivamente em todos os continentes, e é extraído de pedreiras, que variam em idade desde o Pré-Cambriano até o Holoceno (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009). Como exemplos destas rochas temos o calcário e o dolomito, representando aproximadamente 15% de todas as rochas sedimentares que afloram no planeta Terra. O cálcio (principal constituinte do calcário) é um dos elementos mais comuns, estimado em 3% à 4% da crosta terrestre (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009).

Os municípios de Caçapava do Sul, Bagé, Pantano Grande e Vila Nova do Sul, são exemplos onde ocorrem depósitos destes tipos de rochas. Suas ocorrências de calcário são exploradas nos dias atuais, com o objetivo de produzir corretivos para solos, matéria-prima para a construção civil, produtos agrícolas e em menor quantidade, cal.

Dessa forma, o estudo se propõe a fazer uma comparação dos teores de óxido de cálcio e óxido de magnésio das rochas calcárias provenientes dos depósitos de calcário das regiões de Caçapava do Sul, Bagé, Pantano Grande e Vila Nova do Sul, para a produção de corretivos de acidez dos solos.

## 2- OBJETIVOS

O calcário é uma das rochas mais úteis e versáteis de todas as rochas e minerais industriais, possuindo uma grande disponibilidade a um baixo custo. Segundo o anuário Mineral Brasileiro de 2006 (AMB, 2006), a produção de calcário bruto (não beneficiado) se dá em quase todos os estados brasileiros (Ministério de Minas e Energia-MME), assim como a produção de calcário beneficiado.

Dessa maneira, o objetivo desse trabalho é realizar a comparação das percentagens de CaO e MgO dos calcários provenientes das regiões de Caçapava do Sul, Bagé, Pantano Grande e Vila Nova do Sul, com a finalidade de identificar qual calcário apresenta melhor qualidade como matéria prima para a produção de corretivos de acidez dos solos.

### **3- JUSTIFICATIVA**

Os usos e funções do calcário são inúmeros, apresentando um grande leque de aplicações. Tanto em setores da indústria quanto na agricultura. O calcário bruto ou beneficiado é utilizado na indústria de cimento, produção de cal virgem, indústria de papel, indústria de plásticos, tintas, vidros, cerâmica, agricultura, na alimentação de animais, indústria metalúrgica, tratamento de água, entre outros.

Não existe ainda nenhum trabalho científico que buscou comparar teores de  $\text{CaO}\%$  e  $\text{MgO}\%$  dos diferentes depósitos de calcário das regiões de Caçapava do Sul, Bagé, Pantano Grande e Vila Nova do Sul, com o propósito de identificar qual calcário apresenta melhor qualidade como matéria prima para a produção dos diferentes produtos provenientes de seu beneficiamento.

#### 4- ESTADO DA ARTE

Não existe na literatura científica nenhum trabalho onde procurou-se comparar diferentes teores de óxidos de cálcio e magnésio das rochas calcárias provenientes dos depósitos de Caçapava do Sul, Bagé, Pantano Grande e Vila Nova do Sul.

Neis (2013) em seu estudo denominado "Geoquímica de Metacarbonatos do Escudo Sul Riograndense na região de Caçapava do Sul e Arroio Grande" estudou três áreas do Escudo Sul Riograndense onde afloram metacarbonatos metamorfizados sob condições de fácies xisto verde. As duas primeiras áreas, próximo a cidade de Caçapava do Sul, mais especificamente nas pedreiras Fida e Mudador, e a outra área localizada na cidade de Arroio Grande, na pedreira Matarazzo. A metodologia do trabalho consistiu de coleta de amostras em 70 pontos distintos, confecção de lâminas petrográficas e posterior análise geoquímica de rocha total para elementos maiores e traços. As análises petrográficas identificaram maior concentração de calcita nos metacarbonatos da pedreira Matarazzo e maior concentração de dolomita nos metacarbonatos das pedreiras Fida e Mudador. As análises químicas confirmaram elevadas concentrações de óxido de magnésio (MgO) nos mármores na região do Mudador e Fida e elevadas concentrações de óxido de cálcio (CaO) para os mármores da região da pedreira Matarazzo.

Em um estudo de Bortolotto (1987) denominado "Petrografia dos Mármores de Caçapava do Sul", defini os mármores do Complexo Passo Feio (RIBEIRO *et al.*, 1966; BITENCOURT, 1983) como dolomíticos. Holz *et al.* (2000) em seu estudo sobre os "Principais Recursos Minerais do Rio Grande do Sul" afirma que as rochas calcárias do Rio Grande do Sul ocorrem como lentes de mármore nas rochas metamórficas de baixo grau (Sequência Vacacaí, Sequência Passo Feio e Grupo Porongos) ou associadas as rochas gnáissicas (Complexo Cambaí, Complexo Várzea do Capivarita). Na cidade de Vila Nova do Sul o calcário é classificado como calcítico, apresentando granulação grossa, coloração branco-cinza claro, encaixados em gnaisses do Complexo Cambaí. Em Caçapava do Sul, os calcários aflorantes pertencem à Sequência Passo Feio (BITENCOURT, 1983), apresentando teores médios de 54,46% de óxido de cálcio e 37,57% de óxido de magnésio (ALBARNAZ E ANVERSA, 1988). Na cidade de Pantano Grande os mármores são vinculados à Suíte

Metamórfica Várzea do Capivarita, ocorrendo como lentes que se intercalam com gnaisses pelíticos, quartzo feldspáticos e calcissilicáticos. Análise mineralógica dos calcários de Pantano Grande indicam concentrações de carbonatos (calcita + dolomita) variando de 70 e 100%.

Goulart (2012) em sua dissertação de mestrado denominada “Caracterização Geoquímica e Isotópica das Rochas Carbonáticas da Zona Central do Embasamento do Rio Grande do Sul” classifica as rochas carbonáticas pertencentes à Formação Passo Feio (Caçapava do Sul), Complexo Cambaí (Vila Nova do Sul) e Complexo Metavulcano-sedimentar Coxilha do Batovi (São Gabriel) inseridas no contexto geológico do Bloco São Gabriel. Na Formação Passo Feio as rochas carbonáticas são classificadas como dolomita mármores impuros. Os mármores do Complexo Coxilha do Batovi são classificados como calcíticos e cálcio-silicáticos e os do Complexo Cambaí são classificados como calcita mármores impuros. Trabalhos anteriores indicam um intervalo entre 770-700 Ma para deposição das rochas carbonáticas pertencentes ao Bloco São Gabriel. De acordo com o autor, os carbonatos da Formação Passo Feio sofreram dolomitização durante a deposição e os carbonatos do Complexo Cambaí não sofreram dolomitização.

Em um trabalho denominado “Evolução metamórfica e estrutural do Complexo Várzea do Capivarita, Cinturão Dom Feliciano, Encruzilhada do Sul, RS”, Bom *et al.* (2014) descreve os mármores aflorantes no município de Pantano Grande como sendo de composição dolomítica silicosa, ocorrendo também mármores calcíticos. Apresentam coloração branco a cinza e estrutura maciça. O autor afirma que durante o posicionamento do Granito Encruzilhada do Sul, os mármores foram afetados pelo calor da intrusão e por fluidos hidrotermais, gerando reações retrometamórficas como serpentinização de olivina e transformação do piroxênio em agregados de clorita e anfibólio.

Goulart *et al.* (2011) realiza um estudo dos mármores de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul, caracterizando as rochas carbonáticas do Complexo Passo Feio e Complexo Cambaí investigando a origem e evolução dessas rochas por meio de caracterização geoquímica. Nesse estudo, foram coletadas 16 amostras em Caçapava do Sul, de mármores da Formação Passo Feio, nas localidades de Coronel Linhares, pedreira Dagoberto Barcelos e pedreira Razera. Esses mármores ocorrem associados a diques

e sills de rochas máficas e granitoides, contemporâneos ao Granito Caçapava, apresentando coloração branca e esverdeada, devido a presença de talco, serpentina e tremolita. Em Vila Nova do Sul, foram coletadas 4 amostras representativas do Complexo Cambaí, provenientes da pedreira Mônego. Nessa região, os mármore ocorrem intrudidos por granitoides, sob a forma de lentes. São mármore maciços de coloração branca.

Os mármore da Formação Passo Feio são classificados como dolomita mármore, e os do Complexo Cambaí como calcita mármore. Os teores de CaO dos dolomita mármore (31,78%) são inferiores aos dos calcita mármore (51,80%). Enquanto que os teores de MgO nos dolomita mármore (20,64%), e nos calcita mármore (1,78%) são totalmente diferentes. De acordo com os autores, existe uma correlação positiva entre as concentrações de CaO e MgO nos dolomita mármore, com valores de 30% para o óxido de cálcio e de 20% para o óxido de magnésio.

Os autores concluem que o processo de dolomitização nos mármore estudados está associado à deposição e diagênese dos carbonatos. Porém essa possibilidade levaria muito tempo, pois o processo de substituição do cálcio pelo magnésio presente na água do mar é lento. Os autores sugerem que o evento de deposição dos mármore do Bloco São Gabriel tenha ocorrido entre 770-700 Ma, sendo que o período de deposição das rochas carbonáticas da Formação Passo Feio encontra-se entre de 770 e 730 Ma e para as rochas carbonáticas do Complexo Cambaí encontra-se entre 740 e 730 Ma.

Por fim, com base nas análises isotópicas, estudo geoquímico e dados coletados à respeito dos mármore das regiões estudadas, os autores sugerem dois possíveis ambientes de formação para os mármore do Complexo Metamórfico Passo Feio e Complexo Cambaí:

(i): Os calcários do Complexo Cambaí e Formação Passo Feio depositaram-se no mesmo período, entre 740 e 730 Ma, no mesmo mar, mas em ambientes diferentes. Os calcários do Complexo Cambaí depositaram-se em ambiente de mar aberto, durante um período curto, não seguido de dolomitização. Os calcários da Formação Passo Feio sofreram dolomitização, concomitante à deposição, indicando ambiente marinho restrito, onde os processos de metamorfismo se desenvolveram ao longo de um período maior, de mais ou menos 30 Ma.

(ii): Os calcários da Formação Passo Feio teriam depositado entre 770 e 730 Ma, e os calcários do Complexo Cambaí posteriormente, entre 740 e 730 Ma, em mares diferentes. A Formação Passo Feio teria depositado em um ambiente de mar mais restrito, associada a margas, onde teria originado os xistos presentes no setor norte da formação. Já o Complexo Cambaí, os calcários teriam sido depositados em ambiente de mar aberto com rápido fechamento e sobreposição do evento metamórfico (GOULART *et al.* 2011).

Eberhardt *et al.* (2002) em seu estudo sobre o aproveitamento industrial do mármore da mina de Hulha Negra próximo ao município de Bagé classifica através de análises químicas o calcário como dolomítico, com altas concentrações de MgO, ideal para uso agrícola. Apresenta alto poder de neutralização com quantidades de CaO (27,8%) e MgO (14,6%).

Em um outro trabalho de Eberhardt *et al.* (2004) sobre a química e evolução mineralógica do mármore de Hulha Negra, afirma que o mármore faz parte da sequência supracrustal contida no Complexo Granulítico Santa Maria Chico.

Hoerlle *et al.* (2009) em seu estudo denominado ``Variedades dos mármore de Caçapava do Sul aspectos petrográficos e genéticos`` classifica os mármore da Unidade Passo Feio, localizado próximos a cidade de Caçapava do Sul, como mármore dolomíticos impuros (BORTOLOTTI, 1987). A metodologia do trabalho consistiu de trabalho de campo e coleta de amostras. Posteriormente foram confeccionadas lâminas delgadas para serem analisadas no microscópio petrográfico. Análises por difratometria de raios-x foram utilizados para confirmar a assembleia mineral das amostras.

Os autores interpretaram que os mármore de coloração branca, é composto essencialmente por dolomita e em menor quantidade calcita. Através da intrusão do granito e aumento da temperatura a mineralogia inicial sofreu algumas transformações. Os mármore esverdeados apresentam essa coloração devido a uma série de transformações químicas, sendo serpentina o principal mineral responsável pela coloração. As variedades de coloração avermelhado, devem-se a presença de hematita distribuídas em veios ou disseminada em domínios particulares dos mármore (HOERLLE *et al.* 2009).

## **5- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **5.1- O que é Calcário?**

O termo calcário na geologia se refere a qualquer rocha que contenha mais de 50% de carbonato de cálcio ou de cálcio e magnésio. Sua mineralogia é composta basicamente por calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita ( $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$ ). O calcário pode apresentar em quantidades menores carbonato de magnésio, e impurezas como sílica e argila. A origem do carbonato de cálcio pode ser desde carapaças e esqueletos calcários de organismos vivos, ou através de precipitação química. Quando sofre processos metamórficos, o calcário passa a ser mármore.

### **5.2- Como se forma o Calcário?**

O calcário é formado a partir de processos químicos, bioquímicos e aloquímicos envolvendo a deposição e decomposição de organismos ricos em cálcio, como conchas, algas, moluscos e corais. O elemento cálcio é um dos elementos mais comuns, chegando a valores de 3-4% da crosta terrestre. Por meio de processos erosivos em rochas ígneas, o cálcio é liberado em forma de íon e conduzido para o mar por meio da drenagem das águas. Por meio de variações na temperatura o dióxido de carbono presente na água causa a precipitação do carbonato de cálcio, formando o calcário (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009).

Outro processo de formação de calcário é através da decomposição de organismos ricos em cálcio, como foraminíferos, corais, moluscos, equinodermos, algas calcáreas e cnidários. Os restos de conchas e esqueletos desses seres vivos se depositam no fundo do assoalho oceânico formando camadas de material carbonático, que com o passar do tempo irão formar as rochas carbonáticas (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009).

### **5.3- Classificações da rocha calcária**

A concentração de MgO no calcário é o parâmetro mais adequado para a classificação da rocha calcária (RAMGRAB E TONIOLO, 2000). Pettijohn (1957) e Bigarella (1956) propôs a seguinte divisão das rochas carbonatadas (Tabela 1):

Tabela 1-Classificação das rochas carbonatadas com base na porcentagem de MgO contida na rocha

DENOMINAÇÃO DOS CALCÁRIOS	PETTIJOHN-%MgO	BIGARELLA-%MgO
Calcário calcítico	0,0 a 1,1	0,0 a 1,1
Calcário magnesiano	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: Pettijohn (1957) e Bigarella (1956)

#### 5.4- Usos da rocha calcária e sua legislação

São inúmeros as aplicações e usos da rocha calcária, sendo os de maior destaque a fabricação de corretivo de solos, cal e cimento. Além, das aplicações nas indústrias de cerâmica, vidro, tintas, fertilizantes, metalurgia, plásticos, papel, agricultura, tratamento de água, construção civil, ração animal e rocha ornamental (RAMGRAB E TONIOLO, 2000).

Como o objetivo do trabalho é realizar um estudo geoquímico comparativo a respeito das rochas calcárias pertencentes às áreas de estudo com seu aproveitamento para produção principalmente de corretivo de solo, só será citada a legislação para comercialização desse produto.

##### 5.4.1- Calcário para a produção de cimento (Cimento hidráulico)

A denominação cimento hidráulico se refere à propriedade hidraulicidade, que é a capacidade de endurecimento do cimento pela ação da água sem intervenção do ar (MINEROPAR, 2009).

O calcário utilizado para produção de cimento deve apresentar elevados teores de  $\text{CaCO}_3$ , baixo teor de sílica, óxidos de ferro e óxidos de alumínio. Um calcário típico para uso na produção de cimento deve conter uma concentração maior ou igual a 82% de carbonato de cálcio.

Dentre os vários tipos de cimento, o mais utilizado é o cimento "Portland". Sua matéria-prima é composta por calcário, gipsita e argila. Sendo que a argila fornece a sílica, o óxido de alumínio e o óxido de ferro. O papel da gipsita é de regular o tempo

necessário para o cimento endurecer após adicionar água a composição. Para cada tonelada de cimento produzida, é necessária 1,4 tonelada de calcário (LINS, 2007).

#### **5.4.2- Calcário na indústria de cerâmica**

Calcário, calcítico ou dolomítico, aplicada na fabricação das massas cerâmicas, fornece ao produto final uma redução nas expansões térmica e por umidade (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009). A adição de carbonato de cálcio reduz a expansão, por umidade, do produto final, quando a massa cerâmica contém quartzo e caulim (LIRA *et al.* 1997).

#### **5.4.3- Calcário para a fabricação de ração animal**

O calcário calcítico puro e moído é muito usado como fonte de cálcio no suplemento alimentar de animais e aves. Outras fontes de cálcio incluem conchas calcárias e mármore britados (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009).

Fernandes e Peixoto (2000), em um estudo denominado “Avaliação de Calcários Dolomíticos como Fontes de Cálcio para Frangos de Corte em Crescimento”, concluiu que a substituição total da farinha de conchas em rações para frangos com até 28 dias de idade por calcário dolomítico como fonte alternativa de cálcio é eficaz para o desenvolvimento da ave.

#### **5.4.4- Calcário na construção civil**

Desde tempos remotos, o calcário vem sendo utilizado na construção civil como matéria-prima para a construção de estradas, moradias, revestimento de terrenos, produção de brita, entre outros. No Brasil, o calcário corresponde a 10% de todas as rochas utilizadas na construção como brita (ANEPAC, 2009).

#### **5.4.5- Rochas ornamentais**

Calcário, dolomito e mármore são usados como rochas ornamentais ou decorativas. O mármore branco é composto basicamente de calcita. A rocha dolomita é composta

predominantemente do mineral dolomita. Certas impurezas podem comprometer a utilização de tais rochas como artigos decorativos ou ornamentais (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009).

#### **5.4.6- Uso do calcário na metalurgia**



Reações como essa são importantes nos processos pirometalúrgicos de altas temperaturas, onde o CaO produzido pela decomposição do  $\text{CaCO}_3$  reage com as impurezas ácidas, por exemplo, nos fornos de fabricação de ferro gusa (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009).

#### **5.4.7- Carbonato de cálcio no tratamento da água**

Por dureza entende-se a característica conferida à água pela presença de sais de metais alcalinos e alcalinoterroros (cloro, cálcio, magnésio, sódio, potássio e outros) e alguns metais, em menores concentrações (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009). Dessa forma, a cal hidratada é um reagente utilizado para remover os íons de cálcio e magnésio da água.

#### **5.4.8- Carbonato de cálcio e magnésio na indústria de vidros**

A dolomita e/ou aragonita é utilizado como matéria prima para fabricação de vidro. Sendo utilizado como fonte de cal na composição soda-cal-sílica, dependendo do tipo de vidro que será fabricado. A cal atua como material fundente sobre a areia de quartzo, aumentando a insolubilidade e resistência, reduzindo a fragilidade do vidro (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009).

#### **5.4.9- Carbonato de cálcio na indústria de tintas**

Os carbonatos de cálcio são extensivamente utilizados em tintas para automóveis. O carbonato de cálcio utilizado como agente de pintura atua como espaçador e redutor da quantidade de  $\text{TiO}_2$  necessário à pintura. Atuando também como provedor das propriedades mecânicas dos vidros (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009).

#### **5.4.10- Uso do calcário na indústria de plásticos**

O carbonato de cálcio é utilizado para melhorar suas propriedades físicas e características de processabilidade. Há muitas vantagens na sua utilização para a produção de plásticos, como:

- proporciona aos compostos de PVC dureza, propriedades de tensão, textura e brilho superficial;
- controla a viscosidade e o coeficiente de expansão térmica;
- proporciona resistência ao polímero e abaixa o custo de produção final do produto;
- favorece a manufatura de poliéster, utilizado na indústria automobilística; (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009).

#### **5.4.11- Calcário na indústria de papel**

O setor de papel consome cerca de 1,3 milhão de toneladas por ano de carbonato de cálcio em todo mundo (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009). A principal utilização do carbonato de cálcio nesse setor é a substituição do caulim e de óxido de titânio nas aplicações de carga e cobertura (LUZ, 1998).

#### **5.4.12- Cal**

A cal é um produto derivado da calcinação do calcário ou do dolomito. A cal é produzida com base em calcário com elevado teor de cálcio ou de magnésio. Sendo que, o cal com elevado cálcio, apresenta menos de 5% de MgO. Quando a cal é um produto derivado de um calcário com elevado teor de magnésio, o produto final é denominado cal dolomítica (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009).

O processo de calcinação é a transformação através do calor, do carbonato de cálcio em óxido de cálcio, conhecido no mercado como cal ordinária. A calcinação ocorre em temperaturas próximas ao grau de fusão do material, de 900 a 1000°C (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009). De acordo com Silva (2009) o produto da calcinação é classificado, conforme o oxido predominante, em:

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

A qualidade comercial de uma cal depende das propriedades químicas do calcário e da maneira pela qual é queimado. Todas as cales são constituídas de óxidos de cálcio ou de uma mistura de óxidos de cálcio e magnésio e podem ser apresentadas na forma de pedras moídas, denominadas cal virgem ou cal viva. A simples adição de água a cal virgem provoca a formação de hidróxido de cálcio, recebendo a denominação de cal hidratada (MINEROPAR, 2009). A equação 2.1 indica a formação do hidróxido de cálcio.



Existem normativas para os usos das cales, assim como especificações das características químicas e físicas mínimas exigidas para cada uso.

#### 5.4.13- Calcário agrícola

O calcário moído e seus derivados, cal virgem e hidratada são aplicados no solo para corrigir a acidez e promover o crescimento das plantas. O cálcio, ao reagir com o hidrogênio, diminui a concentração dos íons hidrogênio, elevando o pH do solo.

O calcário, principalmente o dolomítico, fornece ao solo nutrientes como o cálcio e o magnésio, neutralizando também a acidez causada por fertilizantes nitrogenados, como nitrato, amônio e sulfatos, aumentando o conteúdo orgânico do solo. A taxa de aplicação do calcário no solo ( $\text{kg/m}^2$ ) é na faixa entre 0,1 e 0,9  $\text{kg/m}^2$  de solo (SAMPAIO E ALMEIDA, 2009).

A Instrução Normativa nº 35 de 4 de julho de 2006 da Secretaria de Defesa Agropecuária- DAS do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA adota normas relativas ao Decreto nº 4.954/ 2004, onde constam as especificações para uso e comercialização dos corretivos de acidez dos solos (DNPM, 2009):

Da natureza física:

Art. 2º Os corretivos de acidez terão a natureza física sólida, apresentando se em pó, caracterizado como produto constituído de partículas que deverão passar 100% em peneira de 2 milímetros (ABNT nº 10), no mínimo 70% em peneira de 0,84 milímetros (ABNT nº 20), e no mínimo 50% em peneira de 0,3 milímetros (ABNT nº 50)

Dos corretivos de acidez:

Art. 3º Além das características físicas mínimas estabelecidas no artigo anterior, os corretivos de acidez, de acordo com suas características próprias, terão as seguintes especificações e garantias mínimas (Tabela 2) quanto aos valores do poder de neutralização (PN), soma dos óxidos (%CaO + %MgO) e PRNT (poder relativo de neutralização total).

Tabela 2- Características químicas exigidas para uso e comercialização dos corretivos de acidez dos solos

<b>Material corretivo de acidez</b>	<b>PN (% E CaCO<sub>3</sub>) Mínimo</b>	<b>SOMA %CaO + %MgO Mínimo</b>	<b>PRNT Mínimo (%)</b>
<b>Calcário agrícola</b>	67	38	45
<b>Calcário calcinado agrícola</b>	80	43	54
<b>Cal hidratada agrícola</b>	94	50	90
<b>Cal virgem agrícola</b>	125	68	120
<b>Parâmetros de referencia para outros corretivos de acidez</b>	67	38	45

Fonte: modificado DNPM (2009)

O poder de neutralização (PN) é a capacidade potencial total de bases neutralizantes contidas em corretivo de acidez, expressa em equivalente de Carbonato de Cálcio puro (% E CaCO<sub>3</sub>).

A qualidade do produto é determinada com base no PRNT, um índice dado pelo Poder de Neutralização (PN) e pela Reatividade (RE), expresso pela seguinte equação:

$$\text{PRNT (\%)} = \text{PN} \times \text{RE}/100$$

O conhecimento do PRNT permite uma avaliação quantitativa da reatividade de um corretivo em um período máximo de três meses, não indicando seu efeito residual (SILVA, 2009). Os valores de reatividade dos calcários agrícolas são dados pelos seguintes valores:

- reatividade zero para a fração retida em peneira ABNT nº 10;
- reatividade de 20% para a fração que passa na peneira ABNT nº 20 e fica retido na peneira ABNT nº 20;
- reatividade de 60% para a fração que passa na peneira ABNT nº 20 e fica retido na peneira ABNT nº 50;
- reatividade de 100% para a fração que passa na peneira ABNT nº 50.

A classificação brasileira para os calcários agrícolas é dada pela Instrução Normativa SDA/ nº 35, de 04 de julho de 2006, classificando os calcários em relação ao teor de óxido de magnésio (MgO) em:

- calcário calcítico: menos de 5% de MgO;
- calcário magnesiano: 5 a 12% de MgO;
- calcário dolomítico: acima de 12% de MgO.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento estabelece quatro faixas de PRNT para fins de classificação e comercialização do calcário:

- faixa A: com PRNT entre 45 e 60%;
- faixa B: com PRNT entre 60,1 e 75%;
- faixa C: com PRNT entre 75,1 e 90%;
- faixa D: com PRNT maior que 90%.

Para corrigir a acidez de um solo, deve-se usar tanto menos calcário quanto maior for seu valor de PRNT de acordo com a necessidade do solo onde será aplicado (DNPM, 2009).

## **5.5- Geoquímica**

A Geoquímica é uma ciência derivada da Geologia que tem por objetivo estudar a química do planeta Terra. Utilizando as leis da química para compreender os

processos responsáveis pela distribuição e abundância dos elementos químicos na Terra e nos corpos celestes. Podendo ser dividida em diversas subdisciplinas como Cristalquímica, Geoquímica de Alta Temperatura, Geoquímica de Baixa Temperatura, Geoquímica Oceânica, Geoquímica Orgânica, Geoquímica dos Isótopos, Geoquímica Ambiental e Geoquímica de Exploração Mineral (CBPM. 2016).

A geoquímica tem um papel importante na determinação de elementos maiores, menores, traço e sub-traço. Elementos maiores como Na, Mg, Al, Si, K, Ca e Fe são formadores de rocha, componentes de águas e constituintes de organismos. Sua abundância na crosta é de aproximadamente 1%.

Elementos químicos como Ti, P, S e Mn são classificados como elementos menores com uma abundância relativa na faixa de 1,0 e 0,01%.

Os elementos Be, B, As, Mo e U são classificados como elementos traço com uma abundância média na ordem de 1 parte por milhão (ppm) ou mg/kg. Pt e Pd são os elementos sub-traço expresso em teores médios na faixa de parte por bilhão (ppb) ou µg/kg.

A concentração de elementos químicos na superfície do planeta está condicionado a processos geoquímicos de migração, dispersão e redistribuição. A unidade que expressa a abundância relativa dos elementos químicos é o *Clarke* (Figura 1).

Elemento	Símbolo	Clarke	Elemento	Símbolo	Clarke	Elemento	Símbolo	Clarke
Alumínio	Al	83600,0	Flúor	F	544,0	Platina	Pt	0,0005
Antimônio	Sb	0,2	Fósforo	P	1120,0	Potássio	K	18400,0
Arsênio	As	1,8	Gadolínio	Gd	6,14	Praseodímio	Pr	9,1
Bário	Ba	390,0	Gálio	Ga	19,0	Prata	Ag	0,08
Berílio	Be	2,0	Germânio	Ge	1,5	Rênio	Rh	0,0007
Bismuto	Bi	0,0082	Háfnio	Hf	2,8	Ródio	Ro	0,0002
Boro	B	9,0	Hólmio	Ho	1,26	Rubídio	Rb	78,0
Bromo	Br	2,5	Índio	In	0,24	Rutênio	Ru	0,001
Cádmio	Cd	0,16	Iodo	I	0,46	Samário	Sm	7,02
Cálcio	Ca	46600,0	Iridio	Ir	0,000002	Selênio	Se	0,05
Carbono	C	180,0	Ítrio	Y	31,0	Silício	Si	27,30 %
Cério	Ce	66,4	Lantânio	La	34,6	Sódio	Na	22700,0
Césio	Cs	2,6	Lítio	Li	18,0	Tântalo	Ta	1,7
Chumbo	Pb	13,0	Lutécio	Lu	0,54	Tálio	Tl	0,72
Cloro	Cl	126,0	Magnésio	Mg	27640,0	Telúrio	Te	0,004
Cobalto	Co	29,0	Manganês	Mn	1060,0	Térbio	Tb	1,18
Cobre	Cu	68,0	Mercúrio	Hg	0,086	Titânio	Ti	6320,0
Cromo	Cr	122,0	Molibdênio	Mo	1,2	Tório	Th	8,1
Disprósio	Dy	5,0	Neodímio	Nd	39,6	Túlio	Tm	0,5
Enxofre	S	340,0	Nióbio	Nb	20,0	Urânio	U	2,3
Érbio	Er	3,46	Níquel	Ni	99,0	Vanádio	V	136,0
Escândio	Sc	25,0	Nitrogênio	N	19,0	Wolfrâmio	W	1,2
Estanho	Sn	2,1	Ósmio	Os	0,00002	Ytérbio	Yb	3,1
Estrôncio	Sr	384,0	Ouro	Au	0,004	Zinco	Zn	76,0
Európio	Eu	2,14	Oxigênio	O	45,60 %	Zircônio	Zr	162,0
Ferro	Fe	62200,0	Paládio	Pd	0,015			

Fonte: Extraído de Licht (2001).

Figura 1- Valores dos índices de Clarke

A abundância de elementos químicos nas rochas varia conforme composição mineralógica, disponibilidade dos elementos no ambiente, intemperismo e características de cada mineral à exposição no ambiente físico. Goldschmidt (1937) através de análises naturais em meteoritos, rochas silicatadas e mineralizações sulfetadas propõe uma classificação geoquímica dos elementos químicos, dividindo-os em:

- siderófilos: afinidade pelo ferro e concentrados no núcleo da Terra. São eles os elementos Co, Ni, Mo, Au, Ge, Sn, C, P;
- calcófilos: afinidade pelo enxofre e concentrados nos sulfetos. São eles os elementos Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, Ga, In, Ti;
- litófilos: afinidade pela sílica e concentrados na crosta terrestre em forma de silicatos. São eles os elementos Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba;
- atmófilos: se apresentam como gases na atmosfera. São eles os elementos H, C, N, O, He, Ne, Ar.

A quantificação de elementos químicos no ambiente é realizada através de amostras de materiais coletadas em campo. Podendo ser amostras de rochas, solos, sedimentos de fundo de drenagem, águas superficiais e subterrâneas, tecidos de seres vivos (animais e vegetais). As amostras podem ser analisadas individualmente ou de forma coletiva, dependendo do objetivo da investigação.

As amostras são preparadas e submetidas a ataques químicos e físicos com o objetivo de liberar elementos químicos para permitir sua quantificação. A técnica a ser utilizada dependerá da forma de ocorrência ou comportamento dos elementos químicos na amostra a ser analisada (LICHT, 2001).

Em um estudo de Bağci *et al.* (2009) denominado "Investigação petrográfica e geoquímica dos mármore do Triássico associados ao massivo metamórfico Mendere no sudoeste da Turquia", foram analisadas 32 com o objetivo de investigar a composição mineralógica e geoquímica. Durante o estudo, o autor coletou 13 amostras do mármore Çayboyu e 19 amostras do mármore Kestanecik. Foram analisadas a concentração de elementos maiores, traço e elementos terra rara de todas as amostras coletadas. A concentração de óxidos totais e outros elementos em menores concentrações foram analisadas através de espectrômetro de emissão (ICP) seguido por fusão de meta/tetraborato de lítio e diluição em ácido nítrico. A perda ao

fogo foi medida a uma temperatura de 1000 °C. Elementos traço e terra rara foram analisados por ICP-MS seguido também por fusão meta/tetraborato de lítio e dissolução em ácido nítrico de 0,1 g de massa da amostra.

Barreto (2008) em seu estudo denominado ``Caracterização Geoquímica e Isotópica de Mármore do Terreno Rio Capibaribe, Zona Transversal da Província Borborema, Nordeste do Brasil`` sugere que os mármore dessa região teriam melhor aplicação na indústria de construção civil e agropecuária. Os aspectos químicos analisados foram poder de neutralização (PN) e poder relativo de neutralização total (PRNT). Através de análise geoquímica os mármore estudados apresentam diversos estágios de precipitação e reprecipitação. De acordo com o autor os elementos químicos como Al, Ti, K, Cr, Rb, Ba e Zr são controlados pela fração terrígena. Os elementos Ca, Mg e Sr são controlados pelos minerais carbonáticos e o Fe e Mn controlados por ambos (Graf, 1960). As concentrações de elementos químicos nos mármore podem variar nos estágios pós-deposicionais das rochas sedimentares, no caso calcário. Baseado na classificação de Pettijon (1975) o autor classifica os mármore da região estudada com base no teor de magnésio como calcário calcítico, onde o teor de MgO varia de 0 a 4% e calcário dolomítico, onde o teor de MgO é acima de 18%.

## **6- ÁREA DE ESTUDO**

### **6.1- Localização e Acesso**

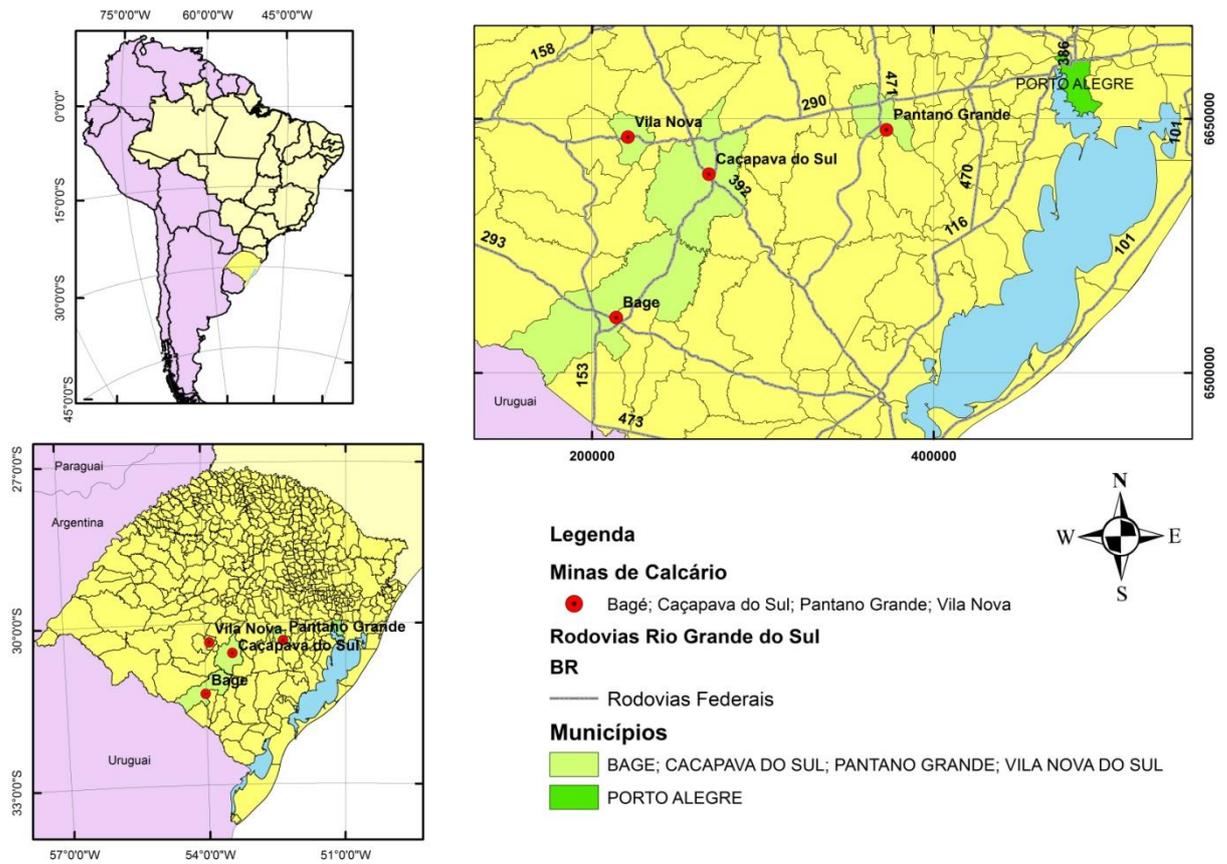
Para a realização do trabalho, foram coletadas amostras em quatro municípios distintos, sendo eles: Caçapava do Sul, Bagé, Pantano Grande e Vila Nova do Sul. Todas estão inseridas dentro do contexto geológico do Escudo Sul Riograndense.

No município de Caçapava do Sul, foram coletadas amostras na localidade Caieras (Figura 2, 3 e 4), localizada no Km 247 da BR-392. Esta localidade está a 260 Km da capital Porto Alegre-RS e pode ser acessada percorrendo-se 241 Km na BR-290 a partir de Porto Alegre, acessando depois a BR-392 em direção ao ponto de coleta (Figura 2 e 4). Esta localidade está inserida na carta topográfica Caçapava do Sul, na escala de (1:50.000) do Serviço Geográfico do Exército.

No município de Bagé, foram coletadas amostras na localidade da Mina Mônimo Unidade Hulha Negra (Figura 2, 3 e 4), localizada no Km 165 da BR-293. Esta localidade está a 365 Km da capital Porto Alegre-RS e pode ser acessada percorrendo-se 224 Km na BR-290 a partir de Porto Alegre, acessando depois a BR-153 e percorrendo 137 Km até acessar a BR-293 e percorrer a partir dessa 3 Km até a localidade da Mina Mônimo Unidade Hulha Negra (Figura 2, 3 e 4). Esta localidade está inserida na carta topográfica Bajé, na escala de (1:50.000) do Serviço Geográfico do Exército.

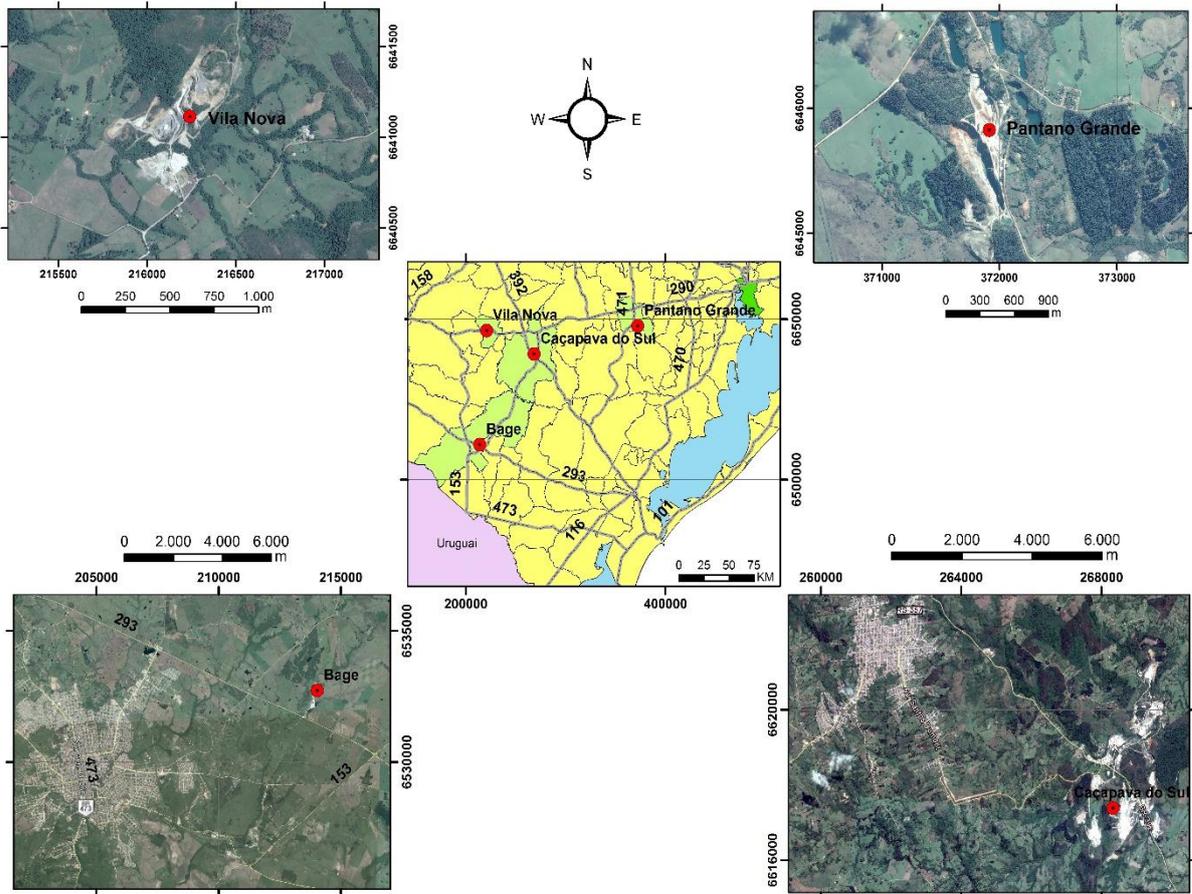
No município de Pantano Grande, foram coletadas amostras na localidade da Mina Inducal-Unidade Pantano Grande (Figura 2, 3 e 4), localizada na Vila Monte Castelo-Capivarita, S/N. Esta localidade está a 141 Km da capital Porto Alegre-RS e pode ser acessada percorrendo-se 121 Km na BR-290 a partir de Porto Alegre, acessando depois a BR-471 e percorrendo 14,4 Km em direção a Mina Inducal-Unidade Pantano Grande (Figura 2, 3 e 4). Esta localidade está inserida na carta topográfica Várzea do Capivarita, na escala de (1:50.000) do Serviço Geográfico do Exército.

No município de Vila Nova do Sul, foram coletadas amostras na localidade da Mineradora Mônimo (Figura 2, 3 e 4), localizada no Km 380 da BR-290. Esta localidade está a 290 Km da capital Porto Alegre-RS e pode ser acessada através da BR-290 a partir de Porto Alegre (Figura 2, 3 e 4). Esta localidade está inserida na carta topográfica Vila Nova, na escala de (1:50.000) do Serviço Geográfico do Exército.



Fonte: Autor

Figura 2- Mapa de localização, situação e acesso das áreas de estudo e coleta de amostras.



Fonte: Autor

Figura 3- Mapa de detalhe das áreas de estudo.



Fonte: Autor

Figura 4- Fotos dos campos nos dias das amostragens

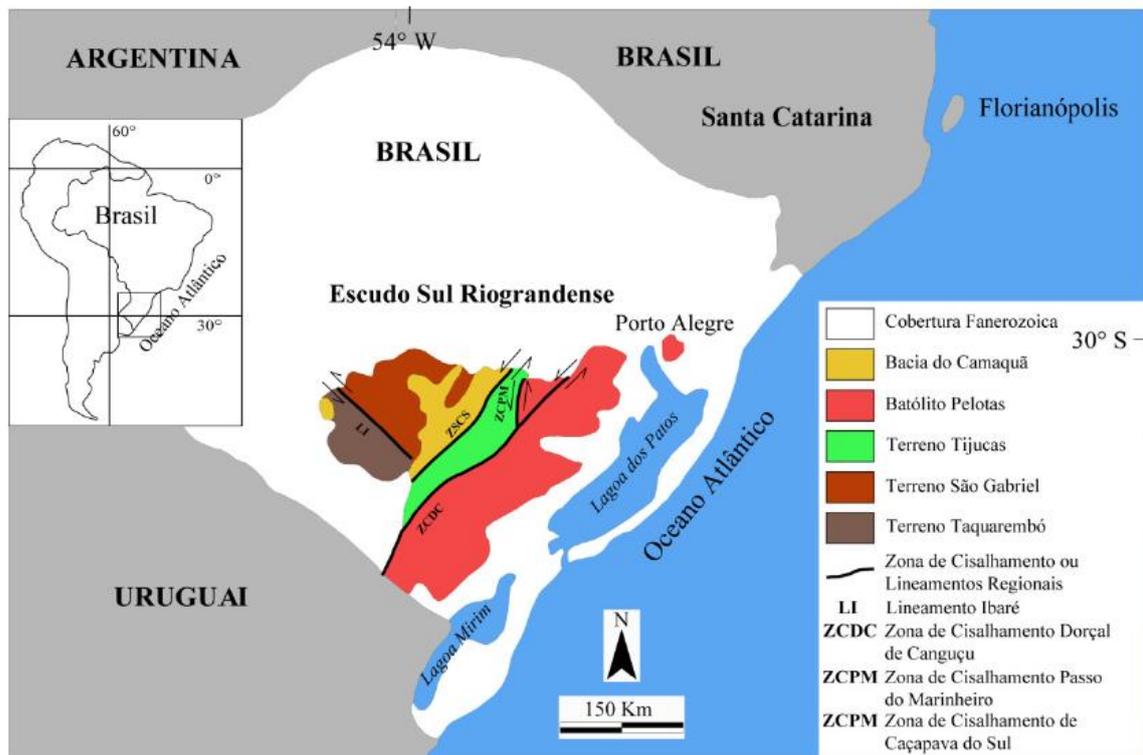
## 6.2- Contexto Geológico

### 6.2.1- Geologia Regional

O Escudo Sul Riograndense (ESRG) (CHEMALE JR., 2000) é o embasamento do Estado do Rio Grande do Sul, localizado na porção centro sul do estado (ALMEIDA *et al.*, 1981). É caracterizado pelo conjunto de rochas Pré-Cambrianas, composto por rochas metamórficas, ígneas e sedimentares relacionadas aos estágios pré, sin e pós colisionais da Orogênese Brasileira no Neoproterozóico (TRAVASSOS, 2014).

Hartmann *et al.* (2007) defini o ESRG (Figura 5) como sendo o resultado de vários processos de deformação de crosta continental, ocorrendo majoritariamente em dois ciclos orogênicos, o primeiro de idade Paleoproterozóica (2,26-2,00 Ga), e o segundo de idade Neoproterozóico definido como ciclo Brasileiro (900-535 Ma). Cada ciclo é registrado por formação de crosta oceânica com micro continentes migrando nestes oceanos e formação de arcos de ilhas e margens ativas.

Dividido em quatro unidades tectono-estratigráficas (Figura 5), sendo elas o Terreno Taquarembó, representando o Cráton Rio de La Plata. Terrenos São Gabriel, Tijucas e o Batólito Pelotas, constituintes do Cinturão Dom Feliciano e as Bacias Sedimentares pós-orogênicas, com idades que variam desde o Pré-Cambriano até o Paleozóico (HARTMANN *et al.*, 2007).



Fonte: Bicca (2013).

Figura 5- Mapa Geológico simplificado das unidades geotectônicas do Escudo Sul Riograndense.

### 6.2.2- Terreno Taquarembó

Localizado a sudoeste do Escudo Sul Riograndense, constituído pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico, composto por rochas metamórficas de alto grau. Sobre o terreno, localizam-se as cidades de Bagé, Dom Pedrito e Candiota.

O Complexo Granulítico Santa Maria Chico (CGSMC) de idade entre 2,5-2,1 Ga, é constituído por granulitos félsicos e máficos, piroxenitos, uma lente de harzburgito, silimanita gnaisses, mármore e gnaisses cálcio-silicáticos. As rochas que constituem o complexo, foram afetadas por retrometamorfismo de contato, devido a intrusão de magmas graníticos Neoproterozóicos (HARTMANN *et al.*, 2000).

### 6.2.3- Terreno São Gabriel

Localizado no centro-oeste do Estado do Rio Grande do Sul, limitando-se a sudoeste com o Terreno Taquarembó através do Lineamento de Ibaré (HARTMANN *et al.*,

2007) e a leste com as unidades da Bacia do Camaquã pela sutura de Caçapava (COSTA, 1997). Sobre o terreno, localizam-se as cidades de Caçapava do Sul, Vila Nova do Sul, São Gabriel e Lavras do Sul.

Jost & Hartmann (1984) definiu como um bloco que apresenta importantes eventos do Ciclo Brasileiro. 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-alkalina alto K, como o Granito Caçapava.

Trabalhos de Machado *et al.* (1990) e Remus *et al.* (1999;2000) realizados nas rochas do Terreno São Gabriel estabeleceram idades geocronológicas entre 770 e 700 Ma para o magmatismo e metamorfismo, das rochas metavulcânicas e metassedimentares do terreno (GOULART *et al.*, 2013).

#### **6.2.4- Terreno Tijucas**

Localizado no centro-sul do estado, limitado com o Batólito Pelotas e leste pela zona de cisalhamento transcorrente dorsal de Canguçu (PHILIPP *et al.*, 2003). Sobre o terreno, localizam-se as cidades de Cachoeira do Sul, Santana da Boa Vista e Pinheiro Machado.

O Terreno Tijucas é composto pelo Complexo Porongos ( $783 \pm 8$  Ma.) (CHEMALE JR., 2000), sendo uma sequência meta-vulcanosedimentar Neoproterozóica, e pelo Complexo Encantadas (2,2 a 2,3 Ga.) (HARTMANN *et al.*, 2003; PHILIPP *et al.*, 2008), constituído por gnaisses Paleoproterozóicos (TRAVASSOS, 2014). Segundo Lusa *et al.* (2010) o Complexo Encantadas é composto por gnaisses tonalíticos, dioríticos, com presença de anfíbolitos e rochas meta-ultramáficas ricas em hornblenda. O Complexo Porongos é composto por rochas metassedimentares e meta-vulcânicas.

#### **6.2.5- Batólito Pelotas**

Localizado no sudeste do estado. Constituído majoritariamente por rochas graníticas de idades entre 650 e 550 Ma (HARTMANN *et al.*, 2000, PHILIPP & MACHADO, 2005). O Batólito Pelotas é composto pelo Complexo Pinheiro Machado e seis suítes

intrusivas: Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, Cordilheira e Dom Feliciano (PHILIPP & MACHADO, 2005).

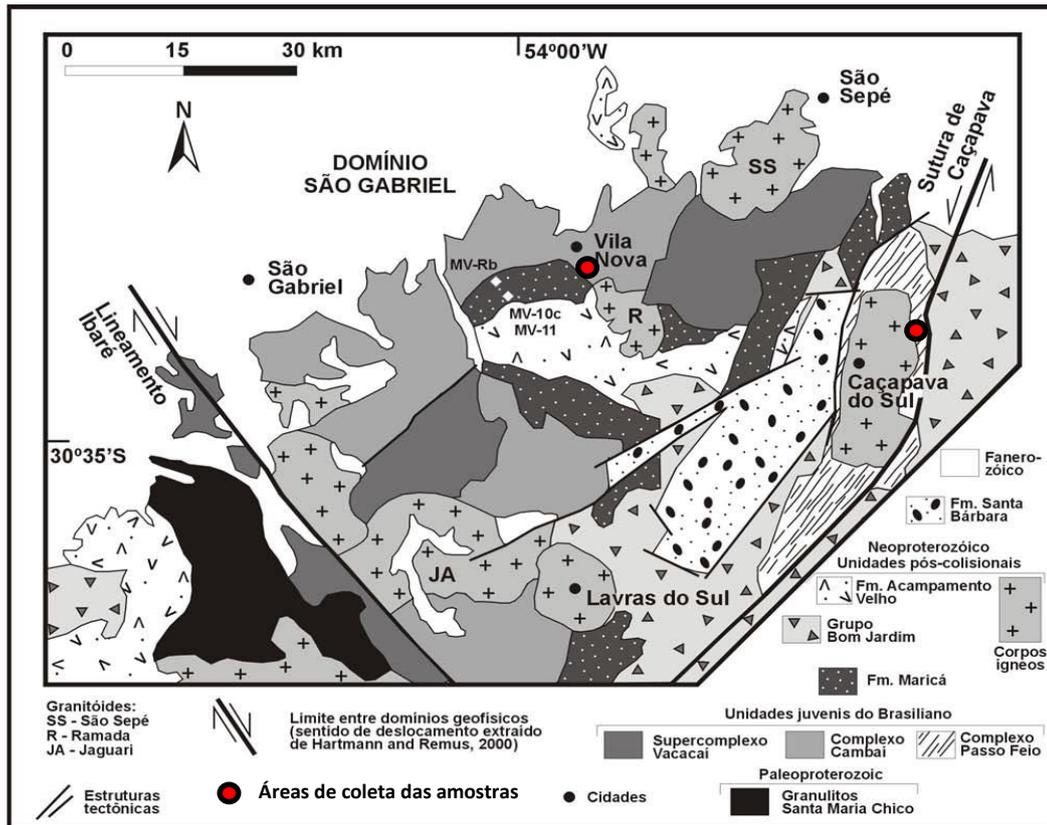
### **6.3- Geologia Local**

#### **6.3.1- Complexo Cambaí**

Goulart *et al.* (2013) em seu trabalho denominado ``Composição isotópica de Sr, C e O e geoquímica de ETRs das rochas carbonáticas do Bloco São Gabriel, Rio Grande do Sul'', define o Complexo Cambaí (Figura 6) como sendo uma unidade composta por gnaisses de composição monzogranítica, granodiorítica, diorítica, tonalítica e trondjemítica, intercalada com anfibolitos e mármore, todos metamorfisados na fácies anfibolito (CHEMALE *et al.*, 1995).

Localizado nas zonas central e oeste do Bloco São Gabriel, o complexo é intrusivo no Grupo Palma. Os mármore ocorrem como lentes em uma sequência metavulcano-sedimentar denominada Complexo Cambaizinho, intrudida pelos granitoides do Complexo Cambaí (GOULART *et al.*, 2013).

Segundo Leite *et al.* (1998), a unidade apresenta idades U-Pb em zircão obtidas por SHRIMP de 750 e 700 Ma.



Fonte: Borba *et al.*, (2007)

Figura 6- Mapa Geológico do Domínio São Gabriel

### 6.3.2- Complexo Granítico-Gnáissico

Composto por rochas graníticas e gnáissicas que afloram na cidade de Bagé e arredores, englobando grandes xenólitos de anfibólitos, rochas calcissilicáticas e lentes de mármore. Fragozo Cesar (1991) defini essa unidade como Granitóides e Gnaisses Bagé.

Os litótipos que compõem essa unidade apresentam granulação grossa, composição granodiorítica a monzogranítica, deformadas e gnaissificadas, com enclaves de rochas calcissilicáticas e lentes de mármore, que são explotadas para a produção de corretivos de solos ácidos (CPRM, 2000).

Inicialmente a unidade não apresenta idade definida. Fragozo Cesar (1991), comparando com outras unidades sugere uma idade transamazônica para o complexo.

### 6.3.3- Complexo Várzea do Capivarita

Bom et al. (2014) em seu estudo denominado ``Evolução metamórfica e estrutural do Complexo Várzea do Capivarita, cinturão Dom Feliciano, Encruzilhada do Sul, RS'', define o Complexo Várzea do Capivarita (CVC) (Figura 7) como uma unidade metassedimentar composta por gnaisses pelíticos, com ocorrência subordinada de gnaisses calci-silicáticos, mármore e quartzitos. No interior do CVC são descritos granitos peraluminosos de forma tabulares. O Complexo Várzea do Capivarita foi afetado por um metamorfismo orogênico em condições de alto grau, no final do Ciclo Orogrênico Brasileiro (BABINSKI *et al.*, 1996; CHEMALE JR., 2000; HARTMANN *et al.*, 2007).

As áreas de exposição do CVC são delimitadas por duas zonas de cisalhamento. Primeiramente ao leste pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu, e ao oeste e ao sul pela Zona de Cisalhamento Passo do Marinheiro (Figura 7).

### 6.3.4- Anortosito Capivarita

Essa unidade ocorre na região de Capivarita, município de Pantano Grande, localizado na porção nordeste do Escudo Sul Riograndense, sendo parte do embasamento do Batólito Pelotas, uma grande área de rochas graníticas que constitui a porção central do Cinturão Dom Feliciano (PHILIPP *et al.*, 2010).

O Anortosito Capivarita (Figura 7) é do tipo maciço, de cor branca, textura equigranular média a grossa, composição homogênea e concentração de máficos entre 2 e 5%. A estrutura principal da rocha é caracterizada por um bandamento descontínuo, definido por minerais máficos e plagioclásios.

Ocorre zonas de contato do anortosito com gnaisses do Complexo Várzea do Capivarita, definido por uma zona de cisalhamento rúptil.

Estruturas primárias no Anortosito Capivarita, sugerem que a unidade evoluiu a partir de processos de fracionamento, derivado de um magma de composição toleítica. De acordo com os autores, o registro metamórfico observado na unidade está relacionado com a evolução do Complexo Metamórfico Várzea do Capivarita, representando um evento de colisão continental no final do Ciclo Brasileiro (PHILIPP *et al.*, 2010).

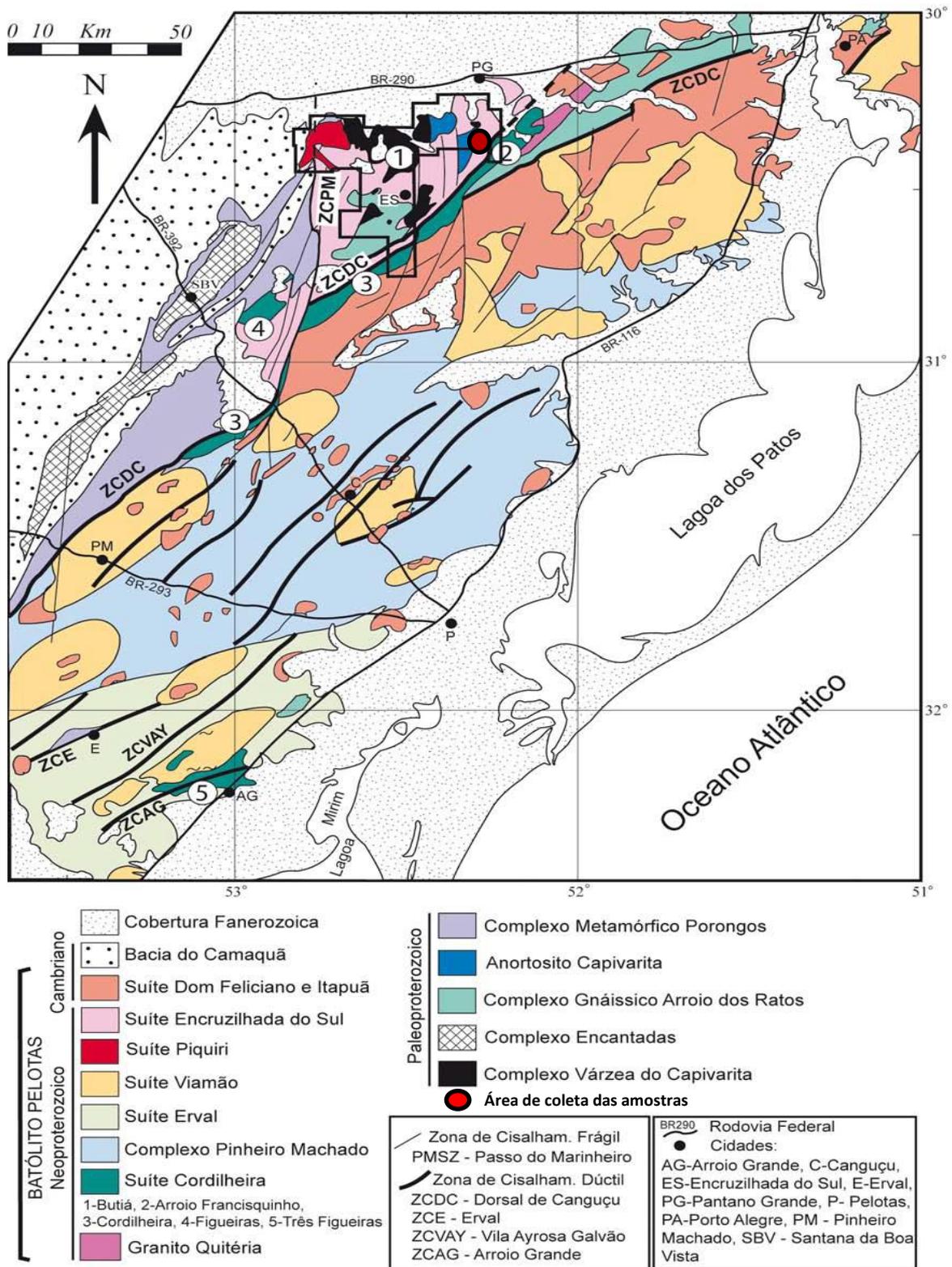


Figura 7- Mapa Geológico do Batólito Pelotas

### **6.3.5- Complexo Metamórfico Passo Feio**

O Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF) (Figura 6) pertence ao Domínio São Gabriel e localiza-se aos redores do Granito Caçapava do Sul. Essa unidade é composta por metapelitos, anfibolitos, rochas metavulcanoclásticas, metavulcânicas, mármore, rochas calcissilicáticas, quartzitos, metaconglomerados e xistos magnesianos (RIBEIRO *et al.*, 1966; BITENCOURT, 1983; REMUS *et al* 2000).

Soliani Jr. (1986) através de datações de K/Ar em muscovitas define uma idade de 556 Ma, para a formação do complexo. Remus *et al.* (2000) através de datações U/Pb em zircões detríticos, define uma idade de  $2053 \pm 43$  Ma. para a cristalização ígnea da rocha fonte e 700 Ma. para o evento metamórfico do CMPF.

Bitencourt (1983) define dois eventos metamórficos para as rochas do CMPF. O primeiro evento, atingiu a fácies anfibolito, zona estauroлита. A presença do mineral andaluzita nessa fase, sugere metamorfismo de baixa pressão. O segundo evento, atingiu a fácies xisto verde. Duas fases de deformação acompanham os eventos metamórficos. Sendo a segunda fase responsável pela foliação metamórfica original.

### **6.3.6- Complexo Granítico Caçapava do Sul**

Bitencourt (1983) define o Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS) (Figura 6) como uma rocha intrusiva com dimensões de 250 Km<sup>2</sup>, apresentando três fácies diferentes: Biotita granitoides, leucogranitoides e granitoides transicionais. A fácies biotita granitoide ocorre nas porções sul, sudoeste e oeste do granito. São rochas de coloração cinza com alta concentração de biotita. A fácies leucogranitoide ocorre na porção norte do granito. São rochas de coloração rosa, com mineralogia composta por granada e muscovita. A fácies granitoides transicionais ocorre na porção central do granito. Com características transicionais entre a primeira e segunda fácies.

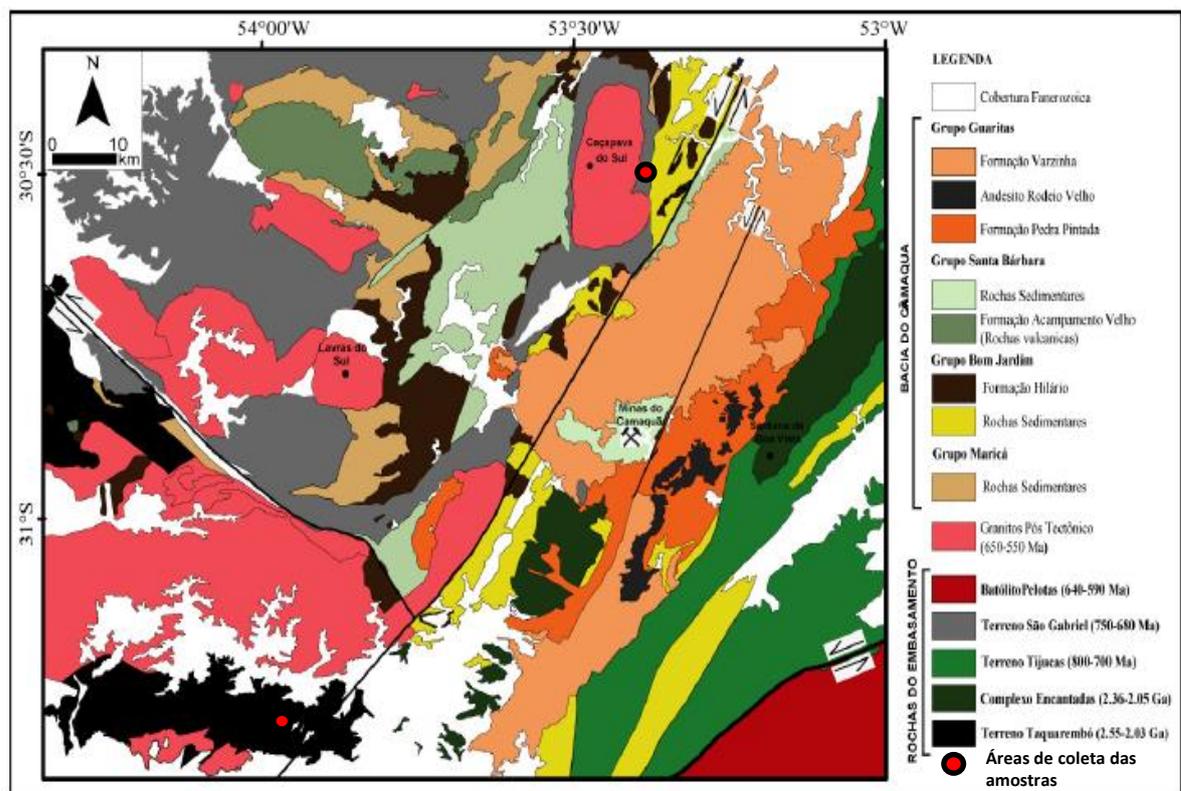
Petrograficamente, o Granito Caçapava do Sul é composto basicamente por leucogranitos, monzogranitos e granodioritos, tonalitos e quartzo-dioritos. Sendo biotita o principal mineral máfico. Os principais minerais acessórios são apatita, zircão, titanita, pirita e magnetita (REMUS, 1999).

Bitencourt (1983) define que nas bordas do CGCS ocorre uma certa foliação, dada pelo alinhamento de minerais máficos e pelo estriamento de quartzo e feldspatos.

Remus *et al.* (1997) define idades de  $565 \pm 14$  Ma para as rochas da porção norte e  $540 \pm 11$  Ma para as rochas da porção sudeste do granito, através de datações U/Pb.

### 6.3.7- Bacia do Camaquã

Paim *et al.* (2000) relaciona a formação da Bacia do Camaquã (Figura 8) aos estágios finais do Ciclo Brasileiro/Pan Africano. Sendo depositada em uma depressão tectônica, onde estão preservados registros de uma série de bacias que se sucedem ao longo do tempo.



Fonte: Extraído de Bicca (2013)

Figura 8- Mapa Geológico da Bacia do Camaquã

Localizada na porção central do Escudo Sul Riograndense, a sequência deposicional da bacia é composta predominantemente por depósitos vulcano-sedimentares, acumuladas desde o final do Neoproterozóico até o Ordoviciano.

A Bacia do Camaquã é subdividida em cinco unidades principais, influenciados por diferentes ambientes tectônicos e separados por discordâncias. As unidades são:

Maricá, Bom Jardim, Acampamento Velho, Santa Bárbara e Guaritas (BORBA *et al.*, 2006).

O Grupo Maricá ocorre no Terreno São Gabriel (BORBA *et al.*, 2008) e compreende três pacotes sedimentares. O pacote Inferior, Intermediário e Superior (BORBA *et al.*, 2006). O pacote inferior é representado por depósitos fluviu-aluviais de canais entrelaçados, composto por depósitos conglomeráticos e arenitos subarcosianos (BICCA, 2013). O pacote intermediário é representado por depósitos de ambiente marinho raso, com fácies deposicionais associadas à depósitos de turbiditos (PAIM *et al.*, 2000). O pacote superior apresenta arenitos com estratificação cruzada acanalada de grande porte (BORBA *et al.*, 2006). Almeida *et al.* (2012) através de datações com zircões detríticos de arenitos define uma idade de deposição de  $601 \pm 13$  Ma.

O Grupo Bom Jardim apresenta idades de deposição entre  $593 \pm 6$  a  $580 \pm 3,6$  Ma. Representa uma unidade Vulcano-sedimentar que está localizado sobre o Grupo Maricá em uma discordância angular. Ocorrem fácies que variam de ritmitos pelíticos a areno-pelíticos, ritmitos arenosos e pelitos com estruturas do tipo gretas de contração (PAIM, 1995). A unidade está recoberta em alguns pontos, por derrames da Formação Hilário (ROBERTSON, 1966).

A Formação Acampamento Velho recobre as unidades Maricá e Bom Jardim em discordância angular. A unidade representa uma sucessão vulcânica de caráter bimodal, com rochas basálticas na base e riolíticas no topo (ALMEIDA *et al.*, 2002). A idade de formação é de  $549,3 \pm 5$  Ma. (SOMMER *et al.*, 2003).

O Grupo Santa Bárbara recobre as rochas da Formação Acampamento Velho (PAIM *et al.*, 2000). É composto por arenitos, conglomerados e siltitos avermelhados. A unidade é de origem continental, e apresenta fácies de leques aluviais, frente deltaica aluvial, lacustre e de canais fluviais entrelaçados (BORBA, 2006). Bicca *et al.* (2010) propõe uma idade de deposição de  $558 \pm 13$  Ma.

O Grupo Guaritas é localizado no topo da Bacia do Camaquã, composto por duas unidades limitadas por discordância erosiva. São elas a Formação Pedra Pintada e a formação Varzinha. A Formação Pedra Pintada é composta por arenitos finos à médio bem selecionados, conglomerados, arenitos grossos e pelitos. Intercalados aos arenitos finos ocorrem derrames basálticos da Formação Rodeio Velho. A Formação

Varzinha é composta por arenitos finos há muito grossos acompanhado por depósitos eólicos na base e recobertos por uma sucessão lacustre. As idades de deposição para as rochas do Grupo Guaritas são de  $547 \pm 6,3$  a  $473,7 \pm 9,4$  Ma. (GIONI *et al.*, 1962).

## **7- METODOLOGIA**

A metodologia adotada para execução do projeto consistiu de ida ao campo e coleta de amostras; preparação dessas amostras para análise química; análise química dos parâmetros, em posse dos resultados; análise destes; e conclusão. A metodologia adotada será descrita a seguir.

### **7.1- Ida ao campo para coleta e identificação das amostras**

Nessa etapa, foram escolhidos os locais de coleta das amostras, nas diferentes cidades estudadas, e coleta dos dados de localização utilizando-se do GPS.

Para essa etapa, foram utilizados:

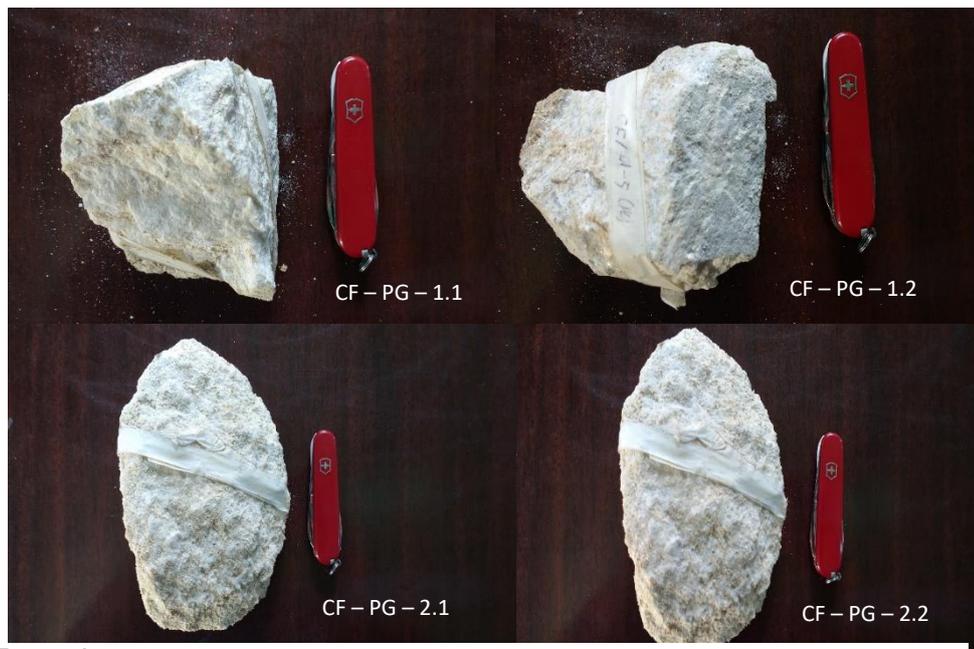
- carro da universidade;
- GPS para a plotagem das coordenadas de cada ponto visitado;
- caderneta de campo;
- martelo petrográfico;
- fita crepe para identificação das amostras; e
- caixa de papelão para armazenar as amostras.

Na cidade de Bagé, localidade Mineração Mônego-Unidade Hulha Negra, foram coletadas 4 amostras (Figura 9). Na cidade de Pantano Grande, localidade Mina Inducal-Unidade Pantano Grande, foram coletadas 4 amostras (Figura 10). Em Vila Nova do Sul, localidade Mineradora Mônego, foram coletadas 2 amostras (Figura 11). Na cidade de Caçapava do Sul, localidade pedreira de propriedade da Indústria de Calcários Caçapava (INDUCAL), foram coletadas 5 amostras (Figura 12).



Fonte Autor

Figura 9- Amostras de mármore do município de Bagé selecionadas para análises



Fonte: Autor

Figura 10- Amostras de mármore do município de Pantano Grande selecionadas para análise



Fonte: Autor

Figura 11- Amostras de mármore do município de Vila Nova do Sul selecionadas para análise



Fonte: Autor

Figura 12- Amostras de mármore do município de Caçapava do Sul selecionadas para análise

Na Tabela 3, estão discriminadas as amostras coletadas, identificação e coordenadas dos locais de coleta.

Tabela 3- Amostras coletadas com suas respectivas identificações e coordenadas

<b>Amostra</b>	<b>Coordendas – Datum WGS 84</b>	<b>Município</b>
<b>CF-BA-1.1</b>	21J- 785114/6532740	Bagé
<b>CF-BA-1.2</b>	21J- 785126/6532726	
<b>CF-BA-2.1</b>	21J- 785148/6532715	
<b>CF-BA-2.2</b>	21J- 785154/6532715	
<b>CF-PG-1.1</b>	22J- 371951/6645311	Pantano Grande
<b>CF-PG-1.2</b>	22J- 371932/6645345	
<b>CF-PG-2.1</b>	22J- 371996/6645213	
<b>CF-PG-2.1</b>	22J- 371938/6645502	
<b>CF-VL-1.1</b>	22J- 216142/6641055	Vila Nova do Sul
<b>CF-VL-1.2</b>	22J- 216123/6641096	
<b>CF-CP-1.1</b>	22J- 267410/6617951	Caçapava do Sul
<b>CF-CP-1.2</b>	22J- 267415/6617940	
<b>CF-CP-2.1</b>	22J- 267455/6618014	
<b>CF-CP-2.2</b>	22J- 267463/6618015	
<b>CF-CP-3.1</b>	22J- 267476/6618023	

Fonte: Autor

## 7.2- Preparação das amostras

A preparação das amostras foi realizada na Indústria de Calcários Caçapava (INDUCAL) pelo técnico da própria empresa, responsável pela moagem e peneiramento. A Figura 13 ilustra o processo de preparação das amostras.

A preparação das amostras compõe-se de duas etapas. Na primeira etapa, efetua-se a moagem das amostras por inteiro, a fim de se obter uma granulometria específica. Na segunda, executa-se o peneiramento do material resultante da moagem, com o objetivo de separar a fração mais fina do material (Figura 13), ou seja, a fração que passou pela peneira ABNT nº50.



Fonte: Autor

Figura 13- Ilustração do processo de preparação das amostras.

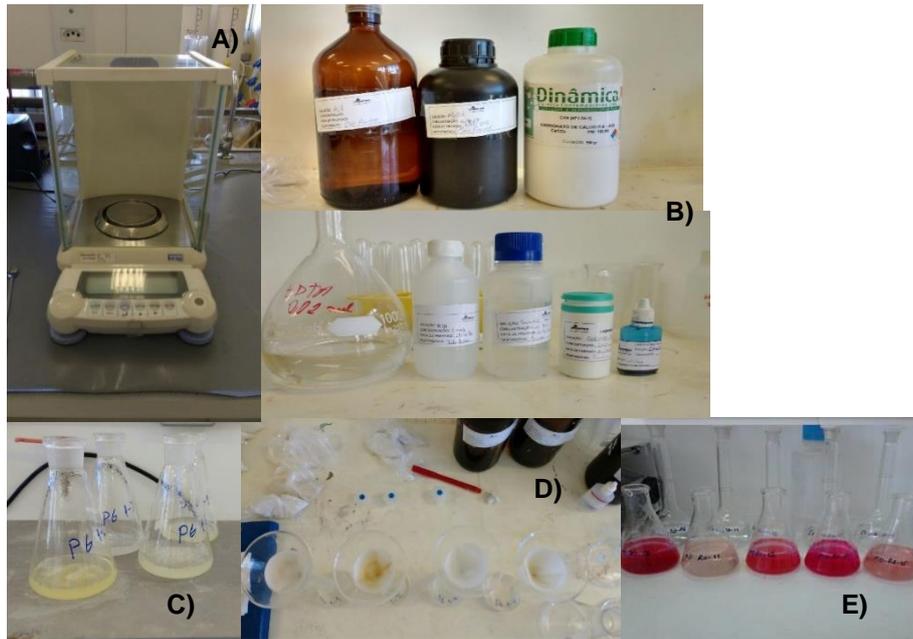
A) triturador utilizado na moagem das amostras; B) embalagens plásticas utilizadas para armazenamento e identificação das amostras já preparadas; C) conjunto de peneiras (10, 20 e 50 da ABNT) utilizadas para peneiramento das amostras; D) fração retida nas peneiras do material de cada amostra.

### 7.3- Realização das análises químicas

Todas as análises químicas e procedimentos adotados foram realizadas no laboratório de química da Universidade Federal do Pampa - Campus Caçapava do Sul (UNIPAMPA) pelo próprio autor com supervisão direta do químico responsável pelo laboratório.

Foram analisadas 15 amostras, sendo todas mármore de coloração branca a creme. Das 15 amostras analisadas, 5 são de Caçapava do Sul, 4 de Bagé, 4 de Pantano Grande e 2 são de Vila Nova do Sul (Tabela 3).

Na Figura 14, observam-se imagens ilustrando parte dos processos químicos adotados e materiais utilizados.



Fonte: Autor

Figura 14- Identificação dos equipamentos, insumos e procedimentos utilizados durante as análises químicas.

A) Balança analítica; B) Reagentes e indicadores utilizados na titulação das amostras; C) Amostras diluídas em ácido clorídrico em aquecimento; D) Filtragem das soluções após aquecimento; E) Resultado da titulação.

Nessa etapa, foram realizadas as análises dos parâmetros químicos para determinação da qualidade dos mármore.

Foi promovida análise química nas amostras selecionadas, para se determinar a qualidade da rocha como matéria prima para produção de corretivos de acidez dos solos. O procedimento adotado será descrito a seguir.

### 7.3.1- Análise dos parâmetros químicos para determinação da qualidade como possível matéria prima para produção de corretivos de acidez dos solos

Os parâmetros químicos analisados foram: poder de neutralização (PN), % de óxido de cálcio (% CaO) e % de óxido de magnésio (% MgO), determinados pela Secretaria de Defesa Agropecuária-DAS do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA e estabelecidos no “Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos”, publicado em 2013 (MAPA, 2014). Todas as análises químicas foram realizadas com base nesse manual analítico. Todas as etapas percorridas, tendo

como base o manual adotado, não serão citadas no trabalho, por conta da sua complexidade, sendo assentado, apenas, o que cada análise representa.

Os parâmetros físicos e químicos analisados para determinação da qualidade dos mármorees como matéria prima para produção de corretivos de solo são:

### I. Poder de neutralização (PN)

O princípio de aplicação do poder de neutralização constitui-se em colocar uma massa conhecida da amostra em contato com uma solução preparada de ácido clorídrico padronizada, fazendo com que o corretivo (no caso, a amostra de mármore) neutralize uma parte do ácido. Após a reação, obtém-se, através de titulação, o quanto de ácido foi neutralizado pelo corretivo (MAPA, 2014). O poder de neutralização foi calculado a partir da Equação 1.

$$PN = 10 \left[ \frac{(25M_1) - (V_b \cdot M_2)}{G} \right] \quad (1)$$

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

O método consiste na solubilização do cálcio e magnésio, contidos na amostra em meio ácido, e sua determinação através de volumetria com EDTA. Os resultados são expressos em massa de seus óxidos, como CaO e MgO (MAPA, 2014). Os óxidos de cálcio e magnésio foram calculados a partir das Equações 2 e 3 respectivamente.

$$CaO_{\left(\frac{m}{m}\right)} = \frac{112,16M (V_1 - V_2)}{G} \quad (2)$$

$$MgO_{\left(\frac{m}{m}\right)} = \frac{80,62M [(V_3 - V_4) - (V_1 - V_2)]}{G} \quad (3)$$

### III. Resíduos insolúveis (RI)

É a fração do material presente na amostra que não é solubilizada pelo ácido durante a análise química. São compostos como: silicatos, cloretos, dentre outros.

São considerados contaminantes e, por isso, afetam a qualidade do material como corretivo.

## 8- RESULTADOS

O resultado das análises químicas representa o teste químico aplicado em cada amostra para se determinar a qualidade do material como possível matéria prima para produção de corretivos de acidez dos solos. As amostras serão divididas por municípios, onde foram coletadas (Bagé, Pântano Grande, Vila Nova do Sul e Caçapava do Sul) e, ao final, será realizado um comparativo entre os mármores provenientes de cada município.

### 8.1- Mármore Bagé

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA estabelece exigências químicas e físicas mínimas para comercialização do calcário como corretivo de acidez dos solos, estipulando que devem ser realizados testes de poder de neutralização (PN); % de óxido de cálcio; e % de óxido de magnésio como parâmetros químicos. Os valores de resíduos insolúveis (RI) também foram calculados, uma vez que apresentam relação com o poder de neutralização (PN).

Na Tabela 4, são apresentados os resultados das análises para as amostras de Bagé.

Tabela 4- Resultado analítico das amostras provenientes do município de Bagé.

<b>Bagé</b>					
<b>Amostra</b>	<b>PN</b>	<b>% CaO</b>	<b>%MgO</b>	<b>%Cao + %MgO</b>	<b>% RI</b>
<b>CF-BA-1.1</b>	98,522	45,899	7,148	53,046	9,599
<b>CF-BA-1.2</b>	92,251	40,848	15,569	56,417	4,101
<b>CF-BA-2.1</b>	83,049	37,299	12,177	49,476	17,533
<b>CF-BA-2.2</b>	87,715	45,718	5,141	50,860	11,070
<b>Média Dos parâmetros</b>	89,983	43,283	9,662	51,953	10,334
<b>Desvio Padrão</b>	6,599	4,150	4,743	3,026	5,524

Fonte: Autor

Como se pode observar na Tabela 4, as amostras analisadas encontram-se dentro das exigências mínimas estabelecidas pela legislação, apresentando valores de PN superiores ao mínimo exigido, que é 67. Os valores de PN variam de 83,049 a 98,522 com uma média de 89,983. Portanto, podem ser utilizados como matéria prima para produção de corretivos de acidez dos solos. Os valores da % de CaO variam de 37,299 a 45,899, com uma média de 43,283, e os valores da % de MgO variam de 5,141 a 15,569, com uma média de 9,662. Os valores da soma da % de CaO + % MgO variam de 49,476 a 56,417 apresentando uma média de 51,953. Os resíduos insolúveis, que é a fração silicática presente em cada amostra, apresentaram valores de 4,101 a 17,533 com uma média de 10,334.

O desvio padrão apresentou alta variação: valores de 6,599 para PN e 5,524 para resíduos insolúveis. Isto ocorre devido à alta variação do PN e RI da amostra CF-BA-2.1 em relação às outras. Com essa variação, podemos observar que a amostra de menor valor de PN apresenta também menor valor de % Cao e % MgO, podendo-se concluir que valores de PN estão diretamente relacionados a valores de % CaO e % MgO.

## 8.2- Mármore Pantano Grande

Na Tabela 5, são apresentados os resultados das análises para as amostras de Pântano Grande

Tabela 5- Resultado analítico das amostras provenientes de Pantano Grande

### Pantano Grande

Amostra	PN	% CaO	%MgO	%Cao + %MgO	% RI
<b>CF-PG-1.1</b>	89,988	37,570	18,933	56,502	16,952
<b>CF-PG-1.2</b>	86,282	40,056	10,243	50,299	9,231
<b>CF-PG-2.1</b>	99,031	50,045	17,885	67,930	2,279
<b>CF-PG-2.1</b>	94,371	43,746	15,638	59,384	3,718
<b>Média Dos parâmetros</b>	92,180	41,901	16,761	57,943	6,475
<b>Desvio Padrão</b>	5,511	5,424	3,873	7,325	6,651

Fonte: Autor

Como podemos observar, os valores de PN para as amostras de Pântano Grande (Tabela 5) variam de 86,282 a 99,031 com uma média de 92,180. Portanto, as amostras apresentam os valores mínimos exigidos para serem utilizados como matéria prima para produção de corretivos. Os valores de % CaO variam de 37,570 a 50,045, com uma média de 41,901, e os valores de % MgO variam de 10,243 a 18,933, com uma média de 16,761. A soma de % CaO + % MgO variou de 50,299 a 67,930, com uma média de 57,943. Os valores de resíduos insolúveis apresentou grande variação, com valores de 2,279 a 16,952 e com uma média de 6,475.

Assim como as amostras de Bagé apresentadas anteriormente, o desvio padrão do PN e RI apresentaram alta variação, com valores de 5,511 e 6,651, respectivamente. Isto se deve ao alto valor de PN da amostra CF-PG-2.1 e ao alto valor de RI da amostra CF-PG-1.1, como foi analisado anteriormente. Existe uma relação entre valores de PN e valores de % CaO e % MgO. Quanto maior o PN de uma amostra, menor o RI da mesma. Conseqüentemente, com um valor de PN alto, os teores de % CaO e % MgO também serão altos.

### 8.3- Mármore Vila Nova do Sul

Na Tabela 6, são apresentados os resultados das análises para as amostras de Vila Nova do Sul.

Tabela 6- Resultado analítico das amostras provenientes de Vila Nova do Sul

<b>Vila Nova Do Sul</b>					
<b>Amostra</b>	<b>PN</b>	<b>% CaO</b>	<b>%MgO</b>	<b>%Cao + %MgO</b>	<b>% RI</b>
<b>CF-VL-1.1</b>	95,558	56,749	2,129	58,879	1,077
<b>CF-VL-1.2</b>	95,666	57,103	2,415	59,519	0,956
<b>Média Dos parâmetros</b>	95,613	56,927	2,273	59,199	1,017
<b>Desvio Padrão</b>	0,076	0,251	0,202	0,453	0,085

Fonte: Autor

Os valores encontrados de PN na Tabela 6 não variam muito. A amostra CF-VL-1.1 apresenta PN de 95,558 e a amostra CF-VL-1.2 um valor de 95,666, com uma média de 95,613. Com valores de PN bem acima do mínimo exigido pela legislação, as

amostras analisadas podem ser utilizadas como matéria prima para produção de corretivos de acidez dos solos. Os valores de % CaO foram de 56,749 e 57,103, respectivamente, com uma média de 56,927. Os valores de % MgO e soma dos óxidos, com médias de 2,273 e 59,199, respectivamente. Os resíduos insolúveis apresentaram-se baixos, com uma média de 1,017. O desvio padrão para todos os parâmetros foi baixo, devido à baixa variação das amostras.

#### 8.4- Mármore Caçapava do Sul

Na Tabela 7 são apresentados os resultados das análises para as amostras de Caçapava do Sul.

Tabela 7- Resultado analítico das amostras provenientes de Caçapava do Sul

<b>Caçapava do Sul</b>					
<b>Amostra</b>	<b>PN</b>	<b>% CaO</b>	<b>%MgO</b>	<b>%Cao + %MgO</b>	<b>% RI</b>
<b>CF-CP-1.1</b>	100,142	41,770	16,892	58,661	4,521
<b>CF-CP-1.2</b>	98,327	36,167	21,617	57,784	4,047
<b>CF-CP-2.1</b>	97,783	35,609	19,870	55,480	5,023
<b>CF-CP-2.2</b>	96,819	32,313	21,318	53,631	4,059
<b>CF-CP-3.1</b>	96,608	29,149	19,056	48,205	4,956
<b>Média Dos</b>	97,783	35,609	19,870	55,480	4,521
<b>parâmetros</b>					
<b>Desvio Padrão</b>	1,419	4,717	1,911	4,157	0,469

Fonte: Autor

Analisando os dados da Tabela 7, podemos observar que os valores de PN variam de 96,608 a 100,142, com uma média de 97,783. Estes valores estão acima do exigido pela legislação, o que determina que essas amostras podem ser utilizadas como matéria prima para corretivos de acidez dos solos. Os valores de % CaO variam de 29,149 a 41,770, com uma média de 35,609 e os valores de % MgO variam de 16,892 a 21,617, com uma média de 19,870. A soma de % CaO + % MgO variou de 48,205

a 58,661, com uma média de 55,480. Os resíduos insolúveis apresentaram-se baixos com uma média de 4,521. O desvio padrão para todos os parâmetros foi baixo, devido à baixa variação das amostras.

A partir de todos os resultados, podemos analisar, comparativamente, as cidades estudadas. Na Tabela 8, evidencia-se a comparação da soma dos óxidos, resíduos insolúveis e poder de neutralização, levando-se em conta suas médias.

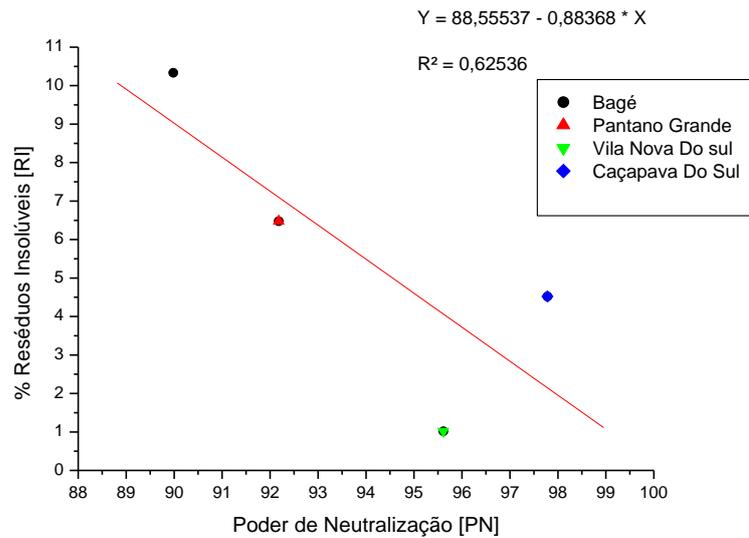
Tabela 8- Tabela comparativa dos valores médios dos parâmetros analisados encontrados em cada município.

<b>Cidade</b>	<b>PN Médio</b>	<b>%Cao + %MgO Médio</b>	<b>% RI Médio</b>
<b>Bagé</b>	89,983	51,953	10,334
<b>Pantano Grande</b>	92,180	57,943	6,475
<b>Vila Nova do Sul</b>	95,613	59,199	1,017
<b>Caçapava do Sul</b>	97,783	55,480	4,521

Fonte: Autor

Analisando a Tabela 8, verifica-se que todas as cidades apresentam valores acima dos exigidos pela legislação para que possam ser utilizadas como matéria prima para produção de corretivos de acidez dos solos.

Os municípios de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul apresentam maiores valores de PN e, conseqüentemente, menores valores de RI, o que já era esperado, considerando que também apresentam altos teores de óxidos. Existe, portanto, uma relação inversamente proporcional entre valores de resíduos insolúveis e valores de poder de neutralização. Isso está demonstrado na Figura 15.



Fonte: Autor

Figura 15- Correlação entre as variáveis poder de neutralização e resíduos insolúveis.

Bagé e Pântano Grande apresentaram menores valores de poder de neutralização e maiores valores de resíduos insolúveis. Como se pode observar nas cidades estudadas, quanto maior os teores de CaO e MgO, maior será o PN, porquanto sendo essas rochas carbonáticas os óxidos nelas existentes têm alto poder de neutralização de íons H<sup>+</sup> encontrados no solo. Outra observação a ser feita é a relação inversamente proporcional entre resíduos insolúveis e o percentual de óxidos presentes nas amostras. Com isso, quanto menor os valores dos óxidos apresentados, maiores serão os valores de RI e, por consequência, os valores de PN serão menores.

## 9- CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho foi identificar qual depósito de mármore de cada município tem maior potencial como matéria prima para produção de corretivos de acidez dos solos.

Com os resultados dos parâmetros químicos analisados, foi possível provar que os mármorees provenientes de cada município apresentam características químicas mínimas exigidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA para seu uso na produção de corretivos de acidez dos solos. Os parâmetros químicos que permitem qualificar a rocha são demonstrados pelos valores médios de poder de neutralização (PN), onde os mármorees de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul extraídos nas localidades estudadas apresentam valores médios de 97,783 e 95,613 respectivamente, e os mármorees de Bagé e Pantano Grande apresentam valores médios de 89,983 e 92,180 respectivamente. Com isso, vale ressaltar os altos valores de poder de neutralização obtidos pelos mármorees de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul, podendo-se afirmar que os mármorees extraídos dessas duas localidades apresentam maior potencial como matéria prima para produção de corretivos de acidez dos solos.

Os mármorees estudados de Bagé e Pantano Grande não apresentaram altos valores de poder de neutralização comparados aos de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul, porém as mesmas apresentam valores significativos de poder de neutralização, estando bem acima do mínimo exigido pela legislação, que é de 67.

Fazendo uma comparação dos teores de óxido de cálcio e óxido de magnésio encontrados nas análises realizadas pelo autor com teores encontrados em outros trabalhos, podemos perceber certa semelhança dos teores em alguns municípios. Nos municípios de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul, Goulart *et al.* (2011) em um estudo sobre os mármorees de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul, encontra teores médios de 31,78% de CaO para os mármorees de Caçapava do Sul e teores médios de 51,80% de CaO para os mármorees de Vila Nova do Sul. Valores estes bem próximos aos encontrados nas análises químicas realizadas. Eberhardt *et al.* (2002) em um estudo sobre o mármore explorado na Mina de Hulha Negra no município de Bagé, encontra teores médios de 27,8% para CaO e 14,6% para MgO, valores diferentes dos encontrados nas análises. Possivelmente essa diferença deve-se a presença de outros óxidos na composição da rocha, como óxido de ferro e óxido de alumínio,

alterando significativamente os valores de teores de CaO e MgO nos mármore estudados. Como não foi possível encontrar estudos que fazem referência a teores de CaO% e MgO% nos mármore de Pantano Grande não foi possível fazer uma comparação.

## **10- RECOMENDAÇÕES**

Em trabalhos futuros, o autor recomenda que sejam feitos outros estudos nos mármore extraídos dessas regiões e de outras, para que possam ser utilizados em outras aplicações tecnológicas.

Que sejam feitas análises petrográficas e químicas para possível aproveitamento como matéria prima para indústria de cerâmica, metalúrgica, tratamento de água, entre outros. Afim de classificar qual mármore explorado das regiões distintas do Estado do Rio Grande do Sul apresentam melhores parâmetros para cada uma de suas diversas aplicações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALBARNAZ, Luiz Delfino Teixeira & Anversa, P. 1988. **Mineração de calcário em Caçapava do Sul.** *Anais.* 1º Encontro Geológico-Mineiro do Rio Grande do Sul, Coordenadoria da Produção Mineral, p. 9-13.

ALMEIDA, Delia del Pilar Montecinos; Zeffass, H; Basei, M; Petry, K; Gomes, C., 2002. **The Acampamento Velho Formation, a Lower Cambrian bimodal volcanic package:geochemical and stratigraphic studies from the Cerro do Bugio, Perau and Serra deSanta Bárbara (Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, RS – Brazil).** Gondwana Research, 5, 721-733.

\_\_\_\_\_ *et al.* **Late to post-orogenic Brasiliano-Pan-Africano volcano-sedimentary basins in the Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil.** INTECH Open Access Publisher, 2012.

AMB – Anuário Mineral Brasileiro, 2006. **Departamento de Produção Mineral – DNPM.** Disponível em <http://www.dnpm.gov.br>, acessado em 05/05/2016.

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil, 2009. **Agregados para a construção civil.** Disponível em [http://anepac.org.br/14/pdf\\_sum\\_mineral/AGREGADOSPARACONSTRUCAOCIVIL2005.pdf](http://anepac.org.br/14/pdf_sum_mineral/AGREGADOSPARACONSTRUCAOCIVIL2005.pdf), acessado em 20/05/2016 às 9:30.

BIGARELLA, João José; SALAMUNI, Riad. **Estudos preliminares na Série Açungui VII: algumas estruturas singenéticas nos dolomitos da Formação Capiçu.** 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.

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

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

BORBA, Andre Weissheimer; MIZUSAKI, Ana Maria Pimentel; SILVA, D.R.A; Koester, E; NORONHA, F.L; CASAGRANDE, J., 2006. **Provenance of the Neoproterozoic Maricá Formation (Sul-rio-grandense Shield, Southern Brazil): Petrographic and Sm-Nd isotopic constraints.** *Gondwana Research*, 9, 464–474.

\_\_\_\_\_ *et al.* **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.

\_\_\_\_\_ *et al.* **U-Pb zircon and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  K-feldspar dating of syn-sedimentary volcanism of the Neoproterozoic Maricá Formation: constraining the age of foreland basin inception and inversion in the Camaquã Basin of southern Brazil.** *Basin Research*, 20, 359–375, 2008.

BARRETO, Maria Clélia Aragão. **Caracterização Geoquímica e Isotópica de Mármore do Terreno Rio Capibaribe, Zona Transversal da Província Borborema, Nordeste do Brasil.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco Centro de Ciências e Tecnologia, Recife 2008.

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.

\_\_\_\_\_ *et al.* **Tectônica e Proveniência do Grupo Santa Bárbara, Região de Minas do Camaquã – RS.** / Marcos Muller Bicca. – Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2013.

BAGCI, Metin *et al.* **Petrographical and geochemical investigation of the Triassic marbles associated with Menderes massif metamorphics, Kavaklıdere, Muğla, SW Turkey.** *Journal of Geochemical Exploration*, 2010.

BOM, Francisco Molina; PHILLIP, Ruy Paulo; ZVIRTES, Gustavo. **Evolução metamórfica e estrutural do Complexo Várzea do Capivarita, Cinturão Dom Feliciano,**

Encruzilhada do Sul, RS. **Pesquisas em Geociências**, 41 (2): 131-153, maio / ago. 2014.

CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa Mineral. **O que é Geoquímica**. <http://www.cbpm.ba.gov.br>, acessado em, 22/11/2016

CHEMALE, Junior Farid; HARTMANN, L.A. & da Silva, L.C. 1995. **Stratigraphy and tectonismo of the Brasiliano Cycle in Southern Brazil**. In. McNiall M. Ed. *Proceedings Volume on Proterozoic Crust and Metallogenic Evolution*, p. 151-166. Communications Geological Society of Namibia (10).

\_\_\_\_\_ *et al.* **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 A. F. U., 1997. **Teste e modelagem geofísica das associações litotectônicas précambrianas no Escudo Sul-rio-grandense**. Porto Alegre. 2v., 257p. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB: Pedro Osório. SH.22-Y-C**. Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:250.000 / organizado por Gilberto Emílio Ramgrab (e) Wilson Wildner. – Brasília: CPRM, 1999.

\_\_\_\_\_ *et al.* **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Cachoeira do Sul, Folha SH.22-Y-A. Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:250.000. / organizado por Carlos Alfredo Porcher e Ricardo da Cunha Lopes. – Brasília: CPRM, 2000.

EBERHARDT, Daliane Bandeira; HARTMANN, Leo Afraneo. **Química e evolução mineralógica de mármore e escarnito de Hulha Negra, RS, Brasil, com base em análises de microsonda eletrônica**. Salão de Iniciação Científica (14. : 2002 dez. 2-6 : UFRGS, Porto Alegre, RS).

\_\_\_\_\_. **Aproveitamento industrial do mármore da Mina Hulha Negra, Bagé, RS, Brasil**. Salão de Iniciação Científica (16. : 2004 out. 25-29 : UFRGS, Porto Alegre, RS).

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.

FERNANDES, Ana Lúcia da Silva; PEIXOTO, Renato Rodrigues. **Avaliação de Calcários Dolomíticos como Fontes de Cálcio para Frangos de Corte em Crescimento**. Ver. Bras. Zootec., 29(6):2260-2267, 2000 (Suplemento 2).

FABRIS, Juliano. **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 (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Pampa. Caçapava do Sul, 2015.

GOLDSCHMIDT, V. M. **The principals of distribution of chemical elements in minerals and rocks**. The seventh hugo muller lecture, delivered before the Chemical Society, 1937.

GIONI, 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; REIS, Rafael Souza dos. **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.

\_\_\_\_\_. **Caracterização Geoquímica e Isotópica das Rochas Carbonáticas da Zona Central do Embasamento do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado – UFRGS. Porto Alegre, 2012.

HOLZ, Michael *et al.* (editores) 2000. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Edição CIGO/UFRGS. 444 páginas.

HARTMANN, Léo Afraneo *et al.* **Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonics 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.

\_\_\_\_\_. *et al.* **Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano.** In: 50 Anos de Geologia no Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Editora Comunicação e Identidade. 2007.

HOERLLE, Guilherme Sonntag (2010). **Variedades dos Mármore de Caçapava do Sul- Aspectos genético e petrográfico.** UFRGS. 2009.

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

LIRA, C; ALARCON, O. E.; SILVEIRA, M. D. M.; BIANCHI, J. A. A.; HONORATO, E. L. e COSTA, L. (1997). **Efeitos da composição e da temperatura de queima na expansão por umidade dos corpos cerâmicos.** Cerâmica Industrial, no 1, vol. 2, p. 27-30.

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.

LINS, F. A. F. (2007). **Cal. Anuário Estatístico, 2007, Setor de Transformação de Não-Metálicos.** Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM, Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral – DTTM/MME - Ministério de Minas e Energia – MME, p. 65-68.

LUSA, Marcelo.; PHILIPP, R. P.; NARDI, L. V. S., 2010. **Geoquímica e petrologia dos metagranitos do Complexo Encantadas, Santana da Boa Vista, (RS): a evolução de uma margem continental ativa no Paleoproterozóico.** Revista Brasileira de Geociências, 40(2): 151-166.

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.

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 02/05/2016 às 11:15.

MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- Secretaria de Defesa Agropecuária. 2012. Instrução Normativa nº 35.

\_\_\_\_\_. **Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos.** Brasília. 2013. MME- Ministério de Minas e Energia. Disponível em <http://www.mme.gov.br>, acessado dia 02/05/2016 às 14:00.

NEIS, Leonardo Pavlak. **Geoquímica de metacarbonatos do escudo Sul-rio-grandense na região de Caçapava do Sul e Arroio Grande, RS.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS – BR, 2013.

LICHT, Otavio Augusto Boni. **A geoquímica multielementar na gestão ambiental identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no estado do Paraná, Brasil.** Curitiba 2001.

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

PAIM, Paulo Sergio Gomes; CHEMALE, Farid Junior; LOPES, R. C. (1995) **Aloestratigrafia, sistemas deposicionais e evolução paleogeográfica da Bacia do Camaquã – Vendiano Superior / Ordoviciano Inferior do RS.** In: Simpósio Sul-brasileiro de Geologia, 6, Encontro de Geologia do Cone Sul, 1, Boletim de Resumos, pp. 39-50.

\_\_\_\_\_ *et al.* **A Bacia do Camaquã.** Geologia do Rio Grande do Sul, p. 231-274, 2000.

PHILIPP, Ruy Paulo; MACHADO, R.; CHEMALE Jr., F. **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.** Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, v. 3, p. 71-84, agosto 2003.

\_\_\_\_\_. *et al.* **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.

\_\_\_\_\_. *et al.* **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.

\_\_\_\_\_. *et al.* **Estruturas primárias e tectônicas do Anortosito Capivarita, Pântano Grande (RS): significado e implicações na sua evolução petrológica.** Revista Brasileira de Geociências 40(1): 99-110, março de 2010. *Arquivo digital disponível on-line no site [www.sbgeo.org.br](http://www.sbgeo.org.br).*

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.

RIBEIRO, Marcelo José; RIBEIRO, Mauricio. **Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul.** Boletim nº. 127, DNPM, Rio de Janeiro, 1966.

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 na 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.

RAMGRAB, G.E.; TONIOLO, J.A.; FERREIRA, J.A.F.; MACHADO, J.LF.; BRANCO, P.M. & SUFFERT, T. 2000. **Principais Recursos Minerais do Rio Grande do Sul**. In: Geologia do Rio Grande do Sul, Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p. 133-160, 2000.

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

SOMMER, C.A.; LIMA, E.F.; NARDI, L.V.S.; LIZ, J.D.; PIEROSAN, R.; WAICHEL, B.L. (2003). **Stratigraph of the Acampamento Velho Alloformation in the amada Plateau, Vila Nova do Sul region, RS**. In: Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudo e Bacias. Porto Alegre, Anais, pp. 105-110.

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.

TRAVASSOS, Rodrigo Piraine. **Interpretação estrutural regional do escudo Sul-rio-grandense – Rio Grande do Sul – Brasil, com base em AEROMAGNETOMETRIA**. Dissertação de Mestrado N° 344. Universidade de Brasília – UNB. Instituto de Geociências – IG. Brasília, 2014.

