

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JOÃO VITOR PFEIFER MACHADO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA COMPARATIVA ENTRE PÓS DE ROCHAS
GRANODIORÍTICAS E BASÁLTICAS COMO POTENCIAIS FERTILIZANTES
AGRÍCOLAS**

Caçapava do Sul

2023

JOÃO VITOR PFEIFER MACHADO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA COMPARATIVA ENTRE PÓS DE ROCHAS
GRANODIORÍTICAS E BASÁLTICAS COMO POTENCIAIS FERTILIZANTES
AGRÍCOLAS**

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

Orientador: Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin

Coorientador: Prof. Dr. José Waldomiro
Jiménez Rojas

Caçapava do Sul

2023

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

M149c Machado, João Vitor Pfeifer
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA COMPARATIVA ENTRE PÓS DE
ROCHAS GRANODIORÍTICAS E BASÁLTICAS COMO POTENCIAIS
FERTILIZANTES AGRÍCOLAS / João Vitor Pfeifer Machado.
118 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --
Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2023.
"Orientação: Rafael Matias Feltrin".

1. Rochagem. 2. Pó de rocha basáltica. 3. Pó de rocha
granodiorítica. 4. Fertilizante agrícola. 5. Corretivo de
solo. I. Título.

JOAO VITOR PFEIFER MACHADO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA COMPARATIVA ENTRE PÓS
DE ROCHAS GRANODIORÍTICAS E BASÁLTICAS COMO
POTENCIAIS FERTILIZANTES AGRÍCOLAS**

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

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:

26 de janeiro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rafael Feltrin

Orientador

Universidade Federal do Pampa

Prof^a. Dr^a. Cristiane Heredia Gomes

Universidade Federal do Pampa

Químico Guilherme Casa Nova

Universidade Federal do Pampa



Assinado eletronicamente por **GUILHERME PACHECO CASA NOVA, Técnico de Laboratório Área**, em 31/01/2023, às 10:40, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **RAFAEL MATIAS FELTRIN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/02/2023, às 09:35, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CRISTIANE HEREDIA GOMES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/02/2023, às 14:25, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1039003** e o código CRC **119B009D**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

*“Recordarás os dons da terra:
irascível fragrância, barro de ouro,
ervas do mato, loucas raízes,
sortílegos espinhos como espadas.*

*Recordarás o ramo que trouxeste,
ramo de sombra e água com silêncio,
ramo como uma pedra com espuma.*

*E aquela vez foi como nunca e sempre:
vamos ali onde não espera nada
e achamos tudo o que está esperando.”*

Pablo Neruda

AGRADECIMENTOS

O agradecimento fundamental é direcionado aos meus pais, Ionara e Eliseu, meus vetores de condução há vinte e seis anos. A primeira é uma fortaleza intransponível, dona da mais brava e inspiradora gana de viver. O segundo é um foguete de imensurável potência, que rasga os céus em busca de enxergar os mais amplos horizontes. Agradeço, ainda, aos meus avós, Ivo, Nilsa, José e Abrelina, pelo apoio e pelas mais puras demonstrações de carinho. À minha amada irmã Juliana, que este singelo trabalho tenha a honra de inspirar e estimular sua brilhante inteligência. À Zane, à Ângela e à Cláudia, parceiras de tão profunda importância que são, todas, dignas do patamar de uma segunda mãe, e à Bruna, uma segunda irmã. Ao Tio Jorge da Bicicleta (*in memoriam*), luz de incandescência infindável em minha vida. A todos os demais familiares que contribuíram de alguma forma, meu fraterno abraço.

Minhas lembranças dos companheiros tão fundamentais em minha trajetória. Enzo, amigo de inestimável qualidade, irmão de UNIPAMPA que levarei para a vida toda. Evelyn, mulher de presença grandiosa no meu coração, dona de um companheirismo ímpar, em essência, que tive o privilégio de encontrar e que anseio carregar pelo meu caminho. Aos estimados amigos da turma do 7P & ISG. À grande parceria do Giordano e da Tia Lina, amigos do peito, que gentilmente cederam a mim parte do seu teto. Aos colegas Chico, João Saldanha, Leozão e Nanã, entre outras grandes amizades.

Agradeço enormemente ao meu orientador, Rafael Feltrin, e ao co-orientador, José Rojas, pela atenção, zelo e crença neste trabalho. Aos técnicos Guilherme Casa Nova e Angela Fleck, pelo empréstimo generoso de conhecimento no auxílio do estudo dos dados. Aos queridos professores Tiago Gregory e Igor Clemente pela obtenção dos materiais imprescindíveis a este estudo. Sem vocês, profissionais da UNIPAMPA, nada seria possível.

Por fim, agradeço à comunidade da Universidade Federal do Pampa pelos anos de convivência e construção profissional de altíssima categoria, à cidade de Caçapava do Sul pelo acolhimento e ao Governo Federal da República Federativa do Brasil pelo ensino público, plural, laico, diverso, gratuito e de qualidade.

RESUMO

Este trabalho propôs um estudo das características físicas e químicas do pó de rocha oriundo da extração de brita de composição granodiorítica de uma pedreira localizada no município de Pelotas/RS, comparado com o pó de rocha de composição basáltica oriundo de pedreira localizada no município de Montenegro/RS, visando compreender as possibilidades de aplicação desses produtos como fertilizante agrícola. Sendo assim, realizou-se ensaios físicos e químicos para caracterizar a composição dos produtos em função da granulometria, sólidos insolúveis, teores de macro e micronutrientes, elementos tóxicos, teores de cádmio, de ferro e de alumínio, poder de neutralização, pH, condutividade e densidade, o que resultou em desfechos como o poder de neutralização maior que 96% dos materiais, os seus teores médios relacionados a elementos remineralizadores e nutritivos ao solo superiores aos nove por cento mínimos estipulados pelo governo federal, além da sua adequada granulometria, que legitimam, de forma geral, o ótimo potencial de um competente uso de ambos os pós de rocha, a depender das demandas específicas dos usuários, como ótimos fertilizantes e corretivos de solo, se usados de forma constante a longo prazo - significando investimento e bom trato para com o solo - tanto por sua capacidade de ser moído em partículas de tamanho ideal e por seu alto poder de neutralização, quanto pela observância de valores interessantes e adequados de elementos nutritivos, enriquecedores da terra.

Palavras-chave: Pó de rocha. Pó de basalto. Pó de granodiorito. Rochagem. Caracterização física. Caracterização química. Fertilizante. Corretivo de solo.

ABSTRACT

This work proposed a study of the physical and chemical characteristics of the rock powder from the gravel extraction of granodioritic composition from a quarry located in the municipality of Pelotas/RS, compared with the rock powder from gravel extraction of basaltic composition from a quarry located in the municipality of Montenegro/RS, trying to understand the possibilities of application for these materials as agricultural fertilizer. Therefore, physical and chemical tests were carried out to characterize the composition of the products according to granulometry, insoluble solids, macronutrient and micronutrient contents, toxic elements, iron, cadmium and aluminum contents, neutralization power, pH, conductivity and density, which resulted in outcomes like neutralization power greater than ninety-six percent of these materials, its average contents related to remineralizing and nutritive elements to the soil higher than nine percent, which is the minimum value stipulated by the federal government, in addition to its adequate granulometry, that legitimize, in general, the use of both rock powders, depending on the specific demands of users, as excellent fertilizers and soil correctors, if used consistently over the long term - meaning investment and good treatment of the soil - due to their capacity to be milled into particles of ideal size, their high neutralizing power or due to the observance of appropriate and interesting values of nutritive chemical elements, enriching the earth.

Keywords: Rock Powder. Basalt Powder. Granodiorite Powder. Stonemeal. Physical Characterization. Chemical Characterization. Fertilizer. Soil Corrector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização das pedreiras no estado do Rio Grande do Sul.....	18
Figura 2. Mapa dos principais domínios tectônicos do estado do Rio Grande do Sul.	21
Figura 3. Quadro informativo da evolução dos índices de produção e importação de fertilizantes (2019-2022).....	26
Figura 4. Principais demandas mundiais de fertilizantes no ano de 2018.....	33
Figura 5. Gráfico de importação de fertilizantes intermediários vs. produção nacional de fertilizantes.	34
Figura 6. Fluxograma representativo da ordem dos métodos de análise realizados.	40
Figura 7. Chapa de aquecimento SOLAB SL 140 de propriedade da UNIPAMPA. ..	41
Figura 8. Ensaio realizado para o Poder de Neutralização.....	42
Figura 9. Espectômetro de fluorescência por raios-X Brucker modelo S1 Turbo SD-LE de propriedade do LATRAM – UNIPAMPA.	44
Figura 10. Gráfico de histograma gerado para a granulometria do pó basáltico.	48
Figura 11. Gráfico de histograma gerado para a granulometria do pó granodiorítico.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Os macronutrientes relacionados à sua função e origem mineral.....	28
Tabela 2. Resultados da análise granulométrica realizada com peneiramento.....	47
Tabela 3. Apresentação dos dados de tamanho máximo de partícula em acumulados, tamanhos médios de partícula e superfície de partícula.	50
Tabela 4. Relação referente à quantidade de sólidos insolúveis nas amostras analisadas.	52
Tabela 5. Resultados das análises relativas ao Poder de Neutralização das amostras.	54
Tabela 6. Resultados do método da Fluorescência por Raios-X em relação aos elementos remineralizadores.	56
Tabela 7. Dados resultantes do teste adicional de análise de ferro com extração por ácido cítrico.	57
Tabela 8. Dados resultantes do método FRX relacionados aos elementos tóxicos. .	58
Tabela 9. Dados resultantes dos teores de alumínio de acordo com o método FRX.	60
Tabela 10. Teste adicional de extração de alumínio com ácido cítrico.	61
Tabela 11. Resultados das análises de pH e condutividade.	63
Tabela 12. Valores referentes à densidade obtidos.	63

LISTA DE ABREVIATURAS

- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos;
- CE – Condutividade Elétrica;
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais;
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
- ESRG – Escudo Sul-Riograndense;
- FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*;
- FRX – Fluorescência de Raios-X;
- GAL – Granulometria a *Laser*;
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
- LASOMA - Laboratório de Solos e Meio Ambiente;
- LATRAM – Laboratório de Lavra, Planejamento e Tratamento de Minérios;
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;
- NBR – Norma Brasileira;
- ONU – Organização das Nações Unidas;
- PN – Poder de Neutralização;
- SI – Sólidos Insolúveis.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3 JUSTIFICATIVA	16
4 ÁREA DE ESTUDO.....	17
4.1 GEOLOGIA REGIONAL	18
4.1.1 O Escudo Sul-Riograndense (ESRG)	18
4.1.1.1 Batólito Pelotas.....	19
4.1.2 A Bacia do Paraná	20
4.1.2.1 Formação Serra Geral.....	21
4.2 GEOLOGIA LOCAL	22
4.2.1 Pedreira de Pelotas/RS.....	22
4.2.2 Pedreira de Montenegro/RS.....	23
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
5.1 RIQUEZA DO SOLO A PARTIR DA ROCHA-FONTE.....	24
5.2 A DEMANDA POR FERTILIZANTES NO BRASIL.....	25
5.3 USO DO PÓ DE ROCHA NA AGRICULTURA.....	26
5.4 ELEMENTOS ESSENCIAIS	27
5.5 A PERDA DE FERTILIDADE DO SOLO	29
5.5.1 Lixiviação.....	29
5.5.2 Compactação.....	30
5.5.3 Salinização.....	30
5.5.4 Acidez.....	30
5.5.5 Empobrecimento microbiológico	31
5.6 REATIVIDADE.....	31

5.7 ELEMENTOS NUTRIENTES E TÓXICOS DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO	31
5.8 PRODUTOS PARA CORREÇÃO DO SOLO COMERCIALIZADOS NO BRASIL	32
5.9 ROCHAGEM.....	33
6 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
6.1 MATERIAIS UTILIZADOS	35
6.2 O MATERIAL ANALISADO.....	36
6.2.1 Pó de Rocha Granodiorítica da Pedreira de Pelotas	37
6.2.2 Pó de Rocha Basáltica da Pedreira de Montenegro.....	37
6.3 QUARTEAMENTO.....	37
6.4 PENEIRAMENTO E GRANULOMETRIA A LASER (GAL).....	38
6.4.1 Peneiramento.....	38
6.4.2 ANÁLISE DE GRANULOMETRIA A <i>LASER</i>	40
6.5 DETERMINAÇÃO DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS (SI).....	41
6.6 PODER DE NEUTRALIZAÇÃO (PN).....	41
6.7 ESPECTROMETRIA POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX).....	43
6.8 ANÁLISES DE pH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	44
6.9 ATAQUES COM ÁCIDO CÍTRICO E CLORETO DE POTÁSSIO.....	45
6.10 DENSIDADE RELATIVA DOS MATERIAIS	46
7. RESULTADOS	47
7.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	47
7.1.1 Peneiramento.....	47
7.1.2 Granulometria a <i>Laser</i>	48
7.2 SÓLIDOS INSOLÚVEIS	51
7.3 PODER DE NEUTRALIZAÇÃO.....	53
7.4 REMINERALIZADORES E ELEMENTOS TÓXICOS.....	55
7.4.1 Remineralizadores	55

7.4.1.1 Teste adicional de análise de Ferro	57
7.4.2 Elementos Tóxicos	58
7.4.2.1 Testes adicionais de extração de Alumínio	61
7.5 CONDUTIVIDADE E pH	62
7.6 ANÁLISES DE DENSIDADE	63
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
REFERÊNCIAS	69
ANEXO A - RESULTADOS GERADOS PELO MÉTODO FRX	79

1 INTRODUÇÃO

Desde que surgiu no cotidiano da vida humana, há cerca de 12 mil anos, a agricultura reformulou os conceitos básicos, a metodologia diária e a relação dos homens com a natureza. Deixamos de ser nômades e passamos a delimitar, se apropriar e cuidar de espaços fixos. Dietas mais ricas e diversas surgiram e contribuíram na expansão dos índices de natalidade e na expectativa de vida. Desse contexto até os dias de hoje, cresce ininterruptamente a demanda por insumos agrícolas – especialmente os fertilizantes.

O uso de materiais de origem mineral na fertilização não é, contudo, algo alheio ao que acontece no mundo. No ano de 2022, com a ocorrência da guerra entre Rússia e Ucrânia, o Brasil ficou refém da escassez de materiais ricos em fosfatos e potássio, que são originários, em grande parte, dessas duas nações hoje em conflito – sobretudo a russa. O país não tem sido capaz de distribuir de maneira equitativa os recursos oriundos justamente da exportação de produtos do setor primário, o que agrava o problema da desigualdade social, que é ainda mais evidente em áreas rurais (MELGAREJO, 2013). Segundo o IBGE (2019), há uma discrepância entre a relação de áreas de produção e propriedades agrícolas. Ao passo que 74% dessas áreas de produção no território nacional pertencem a 25% dos proprietários de terra, a maior parte dos estabelecimentos agrícolas – cerca de 75% – são de propriedade dos agricultores familiares, donos dos outros 26% das áreas de produção. Estes últimos, de forma geral, possuem propriedades de menos de 10 hectares e que, normalmente, não têm acesso aos fertilizantes (IBGE, 2019), visto que os mesmos estão progressivamente mais caros. A escassez de fertilizantes diante da demanda faz com que produtores acelerem negociações – gerando especulação nos preços que, de forma geral, sobem de valor principalmente na mesa do cidadão.

Uma solução eficaz para o problema seria, em termos gerais, o rastreamento de uma nova fonte de fertilizantes, com quantidade potencialmente relevante em reserva – como podem ser encontrados em certos tipos de rocha. Historicamente, os estudos sobre o uso do pó de rocha como potencial fertilizante não são consolidados e, num momento de instabilidade, como o atual, é providente tornar de novo foco do estudo geocientífico para este tema.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Fazer análise comparativa da caracterização física e química de pós de basalto e de granodioritos como potencial fertilizante agrícola, analisando sua provável competência para o desenvolvimento das culturas agrícolas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Promover diversificação dos produtos capazes de atender à alta demanda por fertilizantes no cenário atual da agricultura brasileira;
- Estudar as possibilidades de aprimoramento da reutilização do material de rejeito de forma econômica e/ou ecologicamente correta.

3 JUSTIFICATIVA

Ao contemplar o cenário atual da enorme demanda de fertilizantes ao redor do globo, especialmente em um país bastante dependente do setor primário, como o Brasil, este trabalho visa estudar a possível contribuição do uso de pó de rocha extraído de pedreiras de extração de brita – sendo uma de composição granodiorítica e outra de composição basáltica – como fertilizante e para auxílio no cultivo no setor agrícola. O estudo parte da necessidade social de se entender de forma adequada a real contribuição de cada possível tipo de rocha que pode oferecer um pó enriquecido em nutrientes necessários ao cultivo, como cálcio, sódio ou ferro, por exemplo. É interessante e necessário arguir sobre a transformação de rochas em potenciais enriquecedoras do solo através da fertilização, já que o panorama atual aponta justamente para uma demanda cada vez maior do uso da terra por conta da expansão

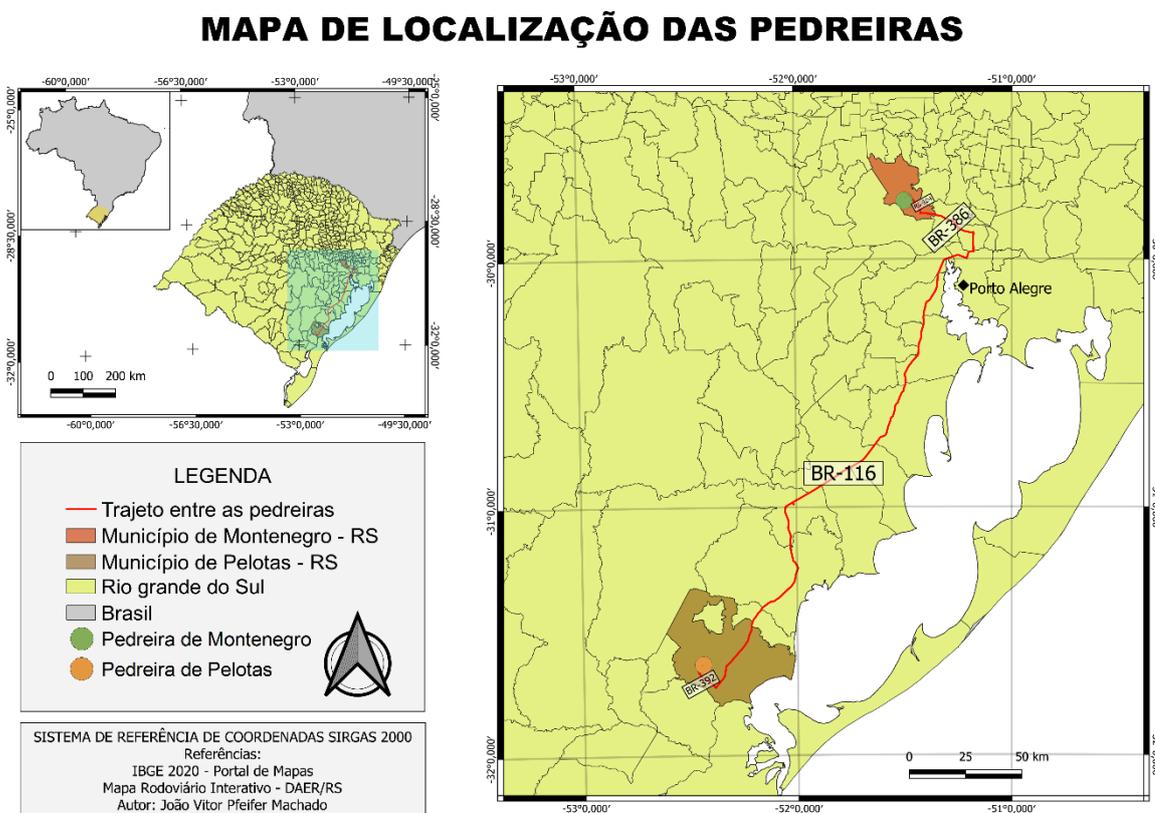
do agronegócio e das extrações minerais pelo país, o que justifica a realização do presente trabalho.

4 ÁREA DE ESTUDO

Como demonstra a figura 1, ambas as pedreiras, seja a localizada em Pelotas, seja a que ocorre em Montenegro, se situam em localidades de fácil acesso a partir da saída da capital do estado, Porto Alegre. Cada uma das pedreiras é de propriedade particular da sua empresa. Assim, por motivos de precaução e resguardo às empresas e aos envolvidos no presente estudo, será tomado como nome genérico da pedreira a sua localização. Assim, a pedreira de composição granodiorítica será denominada “Pedreira de Pelotas”, ao passo que, por sua vez, a pedreira de composição basáltica terá o nome de “Pedreira de Montenegro”. A Pedreira de Pelotas, localizada na zona sul do estado do Rio Grande do Sul, pode ser acessada desde a capital pela BR-116, virando sentido Sul e percorrendo cerca de 245 Km até virar à direita, sentido Noroeste, percorrendo mais 12 Km pela BR-392 até chegar a uma estrada vicinal chamada “Estrada do Salso” percorrendo mais 3,5 Km pela mesma até encontrar a pedreira.

Por sua vez, a Pedreira de Montenegro encontra-se em situação de fácil acesso ao sair da cidade de Porto Alegre, pela BR-448 por 13 Km até a BR-386, virando-se sentido Oeste. Na BR-386, percorre-se cerca de 20 Km até virar à direita, sentido Norte, na RS-124, onde percorre-se mais 4 Km até chegar à pedreira.

Figura 1. Mapa de localização das pedreiras no estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Autor.

4.1 GEOLOGIA REGIONAL

O estado do Rio Grande do Sul apresenta duas grandes entidades principais definidas como domínios tectônicos, onde cada uma abrange uma das duas áreas de estudos relacionadas ao presente trabalho, sendo elas o Escudo Sul-Riograndense, pertencente à Província Mantiqueira, e a Bacia do Paraná, que é composta de rochas sedimentares e vulcânicas.

4.1.1 O Escudo Sul-Riograndense (ESRG)

Localizado na porção centro-sul do estado (DE ALMEIDA *et al.*, 1981), o ESRG é o representante da porção sul da Província Mantiqueira, abrangendo área de cerca

de 65000 km² (CHEMALE JR, 2000). O ESRG tem sua formação associada aos eventos de criação e deformação das crostas continental e oceânica durante o ciclo orogênico Transamazônico (2,26 – 2,00 Ga) e Brasileiro/Pan-Africano (900 - 535 Ma) (HARTMANN et al., 2007). O ESRG pode ser dividido, de acordo com Hartmann *et al.* (2007), em quatro terrenos, denominados Batólito Pelotas, Terreno São Gabriel, Terreno Taquarembó e Terreno Tijucas, levando em consideração aspectos geológicos, geotectônica, geologia estrutural e características isotópicas. É especialmente importante abordar, neste trabalho, sobre o Domínio Pelotas, ou Batólito Pelotas, visto que a Pedreira de Pelotas está localizada dentro dos contornos dessa unidade geológica.

4.1.1.1 Batólito Pelotas

Segundo Philipp *et al.* (2016), o Batólito Pelotas, complexo plutônico de 400 x 120 km de extensão, caracteriza-se como um conjunto de suítes graníticas alongadas em NE-SW do Neoproterozoico, geradas durante e após o auge da orogenia Dom Feliciano, posicionadas a partir do controle dúctil de zonas de cisalhamento de alto ângulo. Sua composição é definida quase em sua totalidade por suítes e plútons graníticos, ainda com apresentação de rochas básicas e septos de metamorfitos encaixantes (PHILIPP, 1998).

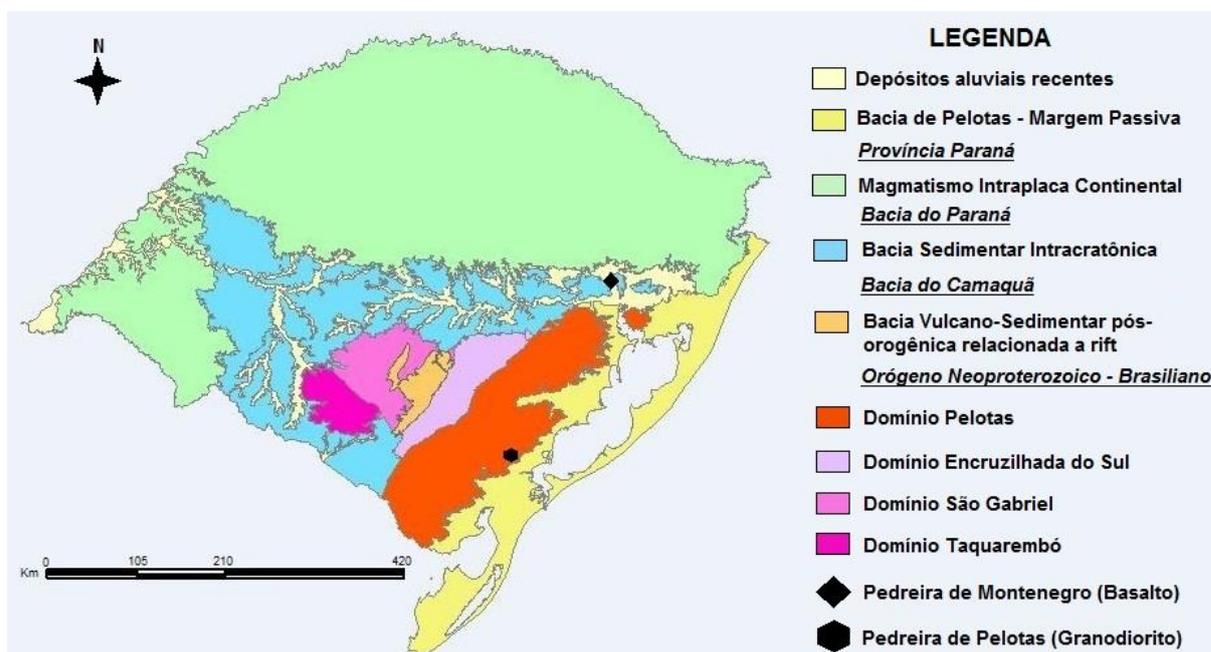
Fragoso Cesar *et al.* (1986) argumenta que essas rochas plutônicas e multi-intrusivas são oriundas de uma longa evolução geológica, que é marcada por eventos de ciclos magmáticos, colisões continentais, eventos de subducção e retrabalhamentos crustais. Esses eventos originaram a divisão do Batólito Pelotas em seis suítes estratigráficas, sendo elas: Pinheiro Machado, Erval, Encruzilhada do Sul, Viamão, Dom Feliciano e Cordilheira. A caracterização das suítes intrusivas citadas é fruto dos trabalhos de Philipp (1998), Philipp *et al.* (2000; 2002; 2003 e 2016), Philipp & Machado (2001; 2005) e Zanon (2005). Segundo Philipp (1998), a presença de enclaves máficos é constatada quase na totalidade dos tipos de granitoides encontrados no batólito, podendo, inclusive, para além dos enclaves máficos, observar a ocorrência de corpos básicos a intermediários, de composição gabroica a

diorítica, na Suíte Intrusiva Pinheiro Machado, Suíte Intrusiva Viamão e na Suíte Granítica Dom Feliciano. Possui idades entre 620 a 550 Ma, o que resulta em uma evolução temporal de aproximadamente 70 Ma, sendo composto essencialmente de rochas graníticas, com alguns afloramentos de rochas básicas e ocorrências metamórficas nas porções encaixantes (PHILIPP, 1998).

4.1.2 A Bacia do Paraná

Por outro lado, conforme ilustra a figura 2, toda a porção do centro ao norte do estado, além do extremo oeste, é composto pelo magmatismo intraplaca continental ocorrido durante o fanerozoico pertencente à Província Paraná e pela Bacia sedimentar intracratônica do fanerozoico, ambas relacionadas à Bacia do Paraná. Gomes (1996) argumenta que a Bacia do Paraná trata-se de uma entidade com características intraplataformais, posta sobre crosta continental ou rejuvenescida durante o Proterozoico Superior, em resposta a episódios de caráter tectonomagmático produzidos pelo desenvolvimento do ciclo orogênico Brasileiro Pan-Africano, sendo preenchida por rochas vulcânicas e sedimentares com idades que variam entre o Siluriano e o Cretáceo. De acordo com a CPRM (2008), a Bacia do Paraná é representada por sedimentação predominantemente silicilástica e rochas vulcânicas, de idade que evoluiu do Ordoviciano até o Cretáceo. Possui cerca de 1750 Km de comprimento e largura média de 900 Km (GOMES, 1996), estendendo-se pelos estados brasileiros de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Suas rochas vulcânicas são oriundas predominantemente do magmatismo Serra Geral, que, segundo White (1908), formou-se a partir de um evento extensivo de lavas basálticas, que originou um imenso volume em áreas cratônicas continentais, com idade de evolução entre 138 e 128 Ma (STEWART *et al.*, 1996). O magmatismo da Formação Serra Geral é predominantemente dominado por basaltos e basaltos andesíticos com afinidade toleítica que se distribuem em derrames vulcânicos de até 2 Km de espessura, representantes de mais de 90% deste vulcanismo (CPRM, 2008).

Figura 2. Mapa dos principais domínios tectônicos do estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Extraído e modificado de BRASIL (2006) e TEIXEIRA (2021).

4.1.2.1 Formação Serra Geral

Quando rompeu-se o supercontinente Gondwana, houve a reativação de antigas suturas, através do rifteamento sul-atlantiano, em movimentações diversas, o que gerou conjuntos novos de falhas e rupturas, fator que possibilitou a injeção e o extravasamento de enormes volumes de rochas ígneas (MILANI, 2004). Silva (2015) esclarece que o que constitui a Formação Serra Geral é uma sucessão de rochas vulcânicas, onde, na região de Pontal de Paranapanema/SP, se chega à espessura remanescente máxima de cerca de 2 Km, principalmente composta por derrames de natureza básica, mas com derrames efusivos ácidos que podem ocorrer de maneira subordinada. Segundo Niewinski (2017), há a predominância, na base, de derrames de composição básica, formados por basaltos e basaltos-andesíticos de afinidade toleítica, ao passo que, no topo, ocorre a tendência de que os derrames evoluam para composições mais ácidas, constituídos de riolitos e riodacitos.

De acordo com Peate *et al.* (1992), o magmatismo Serra Geral divide-se em oito fácies distintas, a partir de suas variações texturais, composicionais (elementos

menores, elementos traço e terras raras), dados geocronológicos e, ainda, a disposição entre os derrames e as intrusivas na bacia. O autor divide a classificação antiga das rochas basálticas de Baixo-Ti, Alto-Ti e Riolitos em fácies, sendo elas: Gramado, Esmeralda e Ribeira; Paranapanema, Pitanga e Urubici; Palmas e Chapecó, respectivamente (PEATE et al, 1992. In: TEIXEIRA, 2021).

4.2 GEOLOGIA LOCAL

As pedreiras estão localizadas em regiões distintas do Rio Grande do Sul, o que ocasionou diferentes condições geológicas para cada uma delas, como citado anteriormente, ocasionando a apresentação de aspectos composicionais e litológicos diversos entre as mesmas.

4.2.1 Pedreira de Pelotas/RS

A Pedreira localizada na cidade de Pelotas trata-se de um importante local de extração de brita na região sul do Rio Grande do Sul. Localizada no Complexo Granítico-Gnáissico Pinheiro Machado, se estende ao longo da maior parte da porção central do Batólito Pelotas e apresenta domínio de metagranitóides porfíricos. A pedreira é essencialmente granítica, sendo a rocha principal um monzogranito com enclaves dioríticos e veios aplíticos e granitos pegmatitos (Grecco *et al.*, 2014). De acordo com Bergmann *et al.* (2012), o Granodiorito apresenta injeções de veios graníticos leucocráticos e pegmatitos a quartzo, pirita, muscovita e feldspato potássico, que estão encaixados em zonas de falha transcorrentes na área da pedreira. O percentual de máficos (biotita e hornblenda) é variável, ocorrendo termos mesocráticos com tendência à composição tonalítica. Análises petrográficas apontam como prováveis fontes dos nutrientes liberados nas colunas de lixiviação a hornblenda (Mg), que mostra alteração segundo as clivagens, e micro vênulas de carbonato internas a grãos de ortoclásio (Ca), além de uma diversidade de minerais acessórios como pistacita, titanita e apatita que agregam o potencial para outros macro e micronutrientes". Assim, os granitoides da área são predominantemente

granodioríticos a monzograníticos. Ainda de acordo com Bergmann *et al.* (2012), a rocha lavrada para brita no local trata-se de um biotita-anfibólio granodiorítico gnáissico do Complexo Pinheiro Machado, componente do Escudo Sul-Riograndense e oriundo do Neoproterozoico. Os granitoides, que, segundo Philipp *et al.* (2002), possuem idades entre 540-530 Ma (Ar-Ar), estão cortados por zonas de cisalhamento de aspecto dúctil, apresentando bandamento de aspecto gnáissico.

4.2.2 Pedreira de Montenegro/RS

A Pedreira localizada no município de Montenegro configura-se como de composição litológica basáltica, delimitada em um topo de morro e circundada por rochas sedimentares mais antigas da Formação Piramboia, que afloram em áreas mais baixas topograficamente (TEIXEIRA, 2021; CPRM, 2008). De acordo com Teixeira (2021), basaltos de coloração escura, com textura afanítica e raros cristais de plagioclásio e piroxênio afloram na pedreira. Além disso, as disjunções colunares são bastante comuns e muito evidentes, podendo formar clivagens bem desenvolvidas na rocha.

Segundo Bergmann (2014), as rochas básicas, predominantes em extensão no Grupo Serra Geral, têm teores médios entre 50 e 53%, com quantidades relativamente maiores de Mg, Ca e P. Ainda segundo Bergmann (2014), a mineralogia dos basaltos apresenta essencialmente plagioclásios cálcicos, como Labradorita, andesina e piroxênios, minerais que são vulneráveis ao intemperismo, podendo liberar os óxidos de Mg e Ca. Por fim, Bergmann (2014) esclarece que a apatita ocorre como mineral acessório, com teores abaixo de 3%, em agulhas de escala micrométrica, ocas e separadas, o que, segundo Bergmann *et al.* (2009), são fatores que podem determinar a abertura dos cristais de apatita, conseqüentemente aumentando seu potencial de solubilidade no meio exógeno.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 RIQUEZA DO SOLO A PARTIR DA ROCHA-FONTE

Conforme Mazoyer e Marcel (1933), a alteração da rocha-fonte sob o efeito da ação de agentes climáticos, químicos e biológicos (variações de temperatura, água, oxigênio, gás carbônico, ácidos do solo, microrganismos, raízes, etc.) se traduz para as rochas compactas, por seu fracionamento em partículas, que classificamos, em função de seu tamanho, em cascalhos (> 2 mm), areia (entre 2 mm e 0,06 mm), siltes (0,06 a 0,002 mm) e argilas ($< 0,002$ mm) (MAZOYER E MARCEL, 1933; ABNT, 1984). Ainda segundo os autores, as proporções entre essas diferentes classes de partículas determinam a composição granulométrica, ou textura do solo, que é muito variável: existem solos grossos e solos finos, solos com predominância de cascalhos, arenoso, siltoso, argiloso e solos mistos de todos os tipos, cujas propriedades físicas, possibilidades de utilização agrícola e fertilidade são muito diferentes. A textura de um solo só evolui lentamente. Ela constitui um tipo de herança granulométrica bastante estável, que se encontra, todavia, submetida a formas de alteração que comportam transformações físicas (hidratação, expansão), físico-químicas (transformação das micas em argilas) ou químicas (MAZOYER E MARCEL, 1933). Ainda segundo esses autores, o resultado mais importante de todas essas transformações é, finalmente, a solubilização da rocha-fonte: esta libera progressivamente sais minerais de forma solúvel na água do solo e absorvível pelas raízes.

Assim, para Mazoyer e Marcel (1933), a maior parte dos sais minerais absorvidos e incorporados na biomassa de um povoamento vegetal provém originalmente da solubilização da rocha-fonte, com exceção dos sais nitrogenados, que são formados pelo nitrogênio do ar. A fertilidade mineral de um solo é, então, função da natureza da rocha-fonte - mais ou menos rica em elementos nutritivos e seu grau de alteração.

5.2 A DEMANDA POR FERTILIZANTES NO BRASIL

A atenção que o Brasil ofereceu, a partir da segunda metade do século XX, ao contexto agrário através de crédito para agricultores e extensão rural, além dos investimentos em pesquisa, auxiliaram a modernizar e progredir o cenário da agricultura no país (TEIXEIRA, 2021), tornando-o uma das principais nações exportadoras de produtos primários do mundo. Segundo a EMBRAPA (2018), a produção de grãos, que era de cerca de 47 milhões de toneladas em 1977, passou para 237 milhões de toneladas em 2017 - ou seja, em 40 anos, com uma área plantada ligeiramente maior, o Brasil produziu mais de cinco vezes mais grãos.

Tal diferença é oriunda de fatores como o avanço nos estudos de solos, litologias e técnicas agrícolas, melhoramento genético e fertilização do solo (TEIXEIRA, 2021), este último, que configura alta dependência do Brasil da importação. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANANDA, 2022), cerca de 39,2 milhões de toneladas - ou 85% dos fertilizantes utilizados em 2021 - eram importados, impactando diretamente no custo de produção. Essa proporção se vê nos últimos anos e tem tendência de manutenção para o ano de 2022, como se pode ver na figura 3.

Figura 3. Quadro informativo da evolução dos índices de produção e importação de fertilizantes (2019-2022).

Fertilizantes Entregues ao Mercado (em toneladas de produto)					
	2019	2020	2021	2022	2022x2021
Janeiro	2.762.157	3.046.746	3.397.952	3.222.516	-5,2%
Fevereiro	2.235.156	2.571.859	3.042.183	2.508.739	-17,5%
Março	1.623.922	1.875.598	2.572.269	2.924.642	13,7%
Abril	1.637.469	2.059.897	1.944.941		
Mai	2.458.117	3.120.093	3.417.618		
Junho	3.099.378	3.611.897	4.383.800		
Julho	3.811.462	4.168.557	5.058.905		
Agosto	4.436.869	4.414.657	5.021.080		
Setembro	4.270.476	4.613.620	4.794.462		
Outubro	4.116.433	4.173.316	4.706.336		
Novembro	3.154.588	3.595.904	4.201.286		
Dezembro	2.632.354	3.311.994	3.314.239		
Janeiro a Março	6.621.235	7.494.203	9.012.404	8.655.897	-4,0%
Total do Ano	36.238.381	40.564.138	45.855.071	8.655.897	

Produção Nacional de Fertilizantes Intermediários e Complexos NP (em toneladas de produto)					
	2019	2020	2021	2022	2022x2021
Janeiro	678.269	595.914	519.737	593.969	14,3%
Fevereiro	561.222	547.619	462.616	563.684	21,8%
Março	598.542	554.556	559.929	635.142	13,4%
Abril	522.289	569.995	516.899		
Mai	526.638	590.427	582.018		
Junho	574.984	560.088	532.473		
Julho	578.219	603.196	657.936		
Agosto	580.392	486.546	687.866		
Setembro	579.550	486.469	617.105		
Outubro	685.602	484.223	599.024		
Novembro	640.333	486.377	590.512		
Dezembro	656.711	550.795	663.950		
Janeiro a Março	1.838.033	1.698.089	1.542.282	1.792.795	16,2%
Total do Ano	7.182.751	6.516.205	6.990.065	1.792.795	

Fonte: ANDA (2022).

5.3 USO DO PÓ DE ROCHA NA AGRICULTURA

A utilização de remineralizadores de solo, sob a forma de pó de rocha não é recente e surgiu como mais uma alternativa. Segundo Theodoro (2016) e Pinheiro (2018), na Roma e na Grécia antigas, havia a prática da utilização de algum pó de rocha a partir do uso de margas de calcário na preparação de solos para cultivos. Hensel (2003) cita o uso de “farinha de pedra” oriunda de rochas de composição silicática, como granitos, gnaisses e basaltos no solo, em função da sua riqueza em aluminossilicatos que, se alterados, eventualmente podem liberar elementos como Potássio, Magnésio, Silício, Cálcio, Fósforo, Sódio, Zinco, Ferro ou Cobre. Contudo, o seu uso no modelo atual de agricultura demanda estudos técnicos e de viabilidade econômica e ambiental para se consolidar como tecnologia efetiva e viável (LAPIDO-LOUREIRO *et al.*, 2009). O aumento do pH, a melhora da estrutura do solo e o aporte de macro e micronutrientes são os principais resultados apontados por pesquisadores e agricultores para justificar o uso do pó de rocha nos manejos de

fertilização. Destaca-se o fato de os principais resultados e o maior número de pesquisas serem levadas a cabo no segmento da agricultura familiar, em especial no sistema orgânico e/ou agroecológicos de produção (THEODORO *et al.*, 2006; THEODORO *et al.*, 2012; SOUZA, 2014).

Manejar racionalmente os recursos levando em conta as especificidades do meio local, de forma integrada com as demais práticas produtivas conservacionistas, constitui-se, numa forma de resguardar a soberania alimentar, gerar trabalho e promover um desenvolvimento rural sustentável do ponto de vista econômico, social e ambiental (EMBRAPA, 2018; THEODORO *et al.*, 2006).

5.4 ELEMENTOS ESSENCIAIS

Teixeira (2021) argumenta que elementos essenciais são todos aqueles que as plantas podem absorver do solo, sejam eles benéficos ou tóxicos, desempenhando funções estruturais e envolvidos em processos relacionados ao metabolismo das plantas. De acordo com Straaten (2007), a produtividade e a qualidade do ciclo de vida da planta estão, dessa forma, diretamente ligadas à nutrição mineral.

São dois os grupos que subdividem os nutrientes que compõem o sistema planta, comumente situados em soluções no solo: os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) (STRAATEN, 2007). A tabela 1 apresenta uma relação dos macronutrientes com suas funções e origens minerais.

Tabela 1. Os macronutrientes relacionados à sua função e origem mineral.

Fonte: Teixeira (2021), adaptado de Straaten (2007).

ELEMENTO	FUNÇÃO	MINERAIS
Fósforo	Armazenamento e transferência de energia no metabolismo. Constituinte essencial do RNA e DNA. Atua no crescimento radicular, de desenvolvimento de frutos e sementes.	Grupo da Apatita, especificadamente Fluorapatitas, associada a rochas ígneas como carbonatitos e micapiroxenitos; Francolitas, de ambientes marinhos; Hidroxiapatitas, de depósitos ósseos, ambientes ígneos e metamórficos e Carbonato de Hidroxiapatita, que é encontrada basicamente em guano.
Cálcio	Estabilização estrutural das células, ativação enzimática e auxilia em processos nas raízes.	Os minerais comuns não silicatados de Mg e Ca: Calcita, Dolomita, Gipsita e Magnesita. Os minerais silicatados de Mg e Ca: Diopsídio, Epidoto, Anortita, Hornblenda, Tremolita, Actinolita, Forsterita, Serpentinita, Clorita, Talco, Flogopita e Vermiculita.
Magnésio	Importante para reações na fotossíntese, formação de enzimas e síntese de proteínas.	
Potássio	Promove e regula a ativação enzimática, atua na translocação de carboidratos, aumenta a eficiência do uso da água e a resistência aos efeitos das secas e doenças. Constitui os fluidos que preenchem tecidos internos, e é também mais concentrado em caules e folhas do que em sementes.	Rochas sedimentares do tipo Evaporitos, em forma de sais solúveis como Silvita e Carlinita. Encontrado em concentrações significativas em minerais da família dos silicatos como a Leucita, biotita-flogopita, glauconita e algumas zoólitas potássicas; Apesar da abundância de feldspato potássico, este mineral não constitui uma fonte disponível em curto prazo de Potássio por ser relativamente insolúvel.

5.5 A PERDA DE FERTILIDADE DO SOLO

A capacidade de um solo agrícola de fornecer os elementos essenciais para o desenvolvimento saudável das plantas durante todo o seu ciclo é o que unanimemente define-se como produtividade. Contudo, a produtividade pode variar de um solo para outro, ou no mesmo solo num dado período de tempo, sendo o esgotamento do solo um fenômeno recorrente. Segundo dados da FAO – *Food and Agriculture Organization of United Union*, 30% das terras passíveis de estabelecimento de cultivo do mundo apresentam, de alguma forma, estágio de degradação (DIAS, 2016), com perdas por volta de 24 bilhões de toneladas de solos férteis por ano. Isso ocorre com a perda de nutrientes ocasionada por agentes naturais ou por ação humana quando promove ações inapropriadas no manejo de seus cultivares. Alguns fatores são, deste modo, os que mais afetam a produtividade dos solos, a saber:

5.5.1 Lixiviação

Trata-se do deslocamento de materiais solúveis do solo pelo efeito de erosão ou da infiltração da água em direção ao lençol freático. As precipitações pluviométricas em solos nus acarretam na destruição de agregados em partículas primárias: areia, silte e argila. Fatores físicos influenciam no comportamento do contato entre a água e o material sólido do solo (SLOOT, 1997). Ao exceder a capacidade de infiltração do solo, a água escorre pela superfície levando consigo as partículas mais finas de solo (argila e silte), a matéria orgânica e qualquer material solúvel na superfície, como corretivos de acidez e adubos químicos e ou orgânicos. Tal fenômeno, contudo, pode ser evitado com a adoção do plantio direto sem revolver a terra, com a cobertura permanente do solo com plantas vivas ou vegetação morta e a construção de terraços ou curvas de níveis em solos com declive. A lixiviação, contudo, pode apresentar papel positivo para casos onde potenciais fertilizantes, como pós de rocha, tenham seus nutrientes extraídos em meio ao solo, nesses ambientes onde, ao mesmo tempo, é evitada a lixiviação dos aspectos férteis originais daquele solo.

5.5.2 Compactação

O solo está compactado assim que a proporção do volume total dos poros em relação ao do solo é inadequado ao desenvolvimento máximo de uma cultura ou manejo eficiente do campo (MANTOVANI, 1987). Trata-se do aumento demasiado da densidade do solo causando a redução drástica de sua capacidade de drenagem. Isso se dá pela utilização da mecanização pesada, pelo pisoteamento dos rebanhos animais ou por práticas de manejo em condição de umidade desfavoráveis.

5.5.3 Salinização

A incidência de altas temperaturas em regiões quentes propicia um estado de evaporação alto e constante, facilitando que haja o depósito sobre o solo de uma camada dura de sais, o que também ocorrer por ação humana, pelo uso equivocado ou exagerado de nutrientes sem a correta orientação técnica. Segundo Medeiros *et al.* (2012), é muito comum o acúmulo de sais no solo nos cultivos protegidos, especialmente graças às altas doses de fertilizantes aplicados e a falta de lixiviação dos sais acumulados após um cultivo.

5.5.4 Acidez

O desequilíbrio do pH do solo reduz a oferta de alguns macros e micronutrientes para as plantas, como por exemplo o NPK. Quando isso ocorre, há desequilíbrio das bases do solo, trazendo a presença do alumínio, que vem a intoxicar o próprio solo e as plantas. Um solo que se apresenta em condições de baixa fertilidade por conta da acidez está associado, em grande parte, à pobreza em bases trocáveis e ao excesso de alumínio e manganês (MALAVOLTA, 2006).

5.5.5 Empobrecimento microbiológico

A aplicação desordenada de insumos químicos como adubos, inseticidas e herbicidas sacrificam as colônias de microrganismos impedindo a reciclagem da matéria orgânica.

5.6 REATIVIDADE

Segundo Primavesi (2004), o corretivo é passível de análise granulométrica a partir do peneiramento mecânico, com peneiras de aberturas de malhas diversas, a fim de possibilitar a avaliação da granulometria das amostras, pois o tamanho das partículas dos corretivos é característica de fundamental importância dos materiais, sendo também importante mensurar sua reatividade.

A reatividade de um corretivo é a velocidade de sua reação no solo. Depende das condições de clima e de solo, da natureza química do corretivo e também da sua granulometria. Quanto maior a acidez, a temperatura e a umidade, tanto maior será a reatividade (PRIMAVESI, 2004).

5.7 ELEMENTOS NUTRIENTES E TÓXICOS DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO

A Instrução Normativa (IN) nº 05/2016 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) define como as qualidades químicas que um remineralizador deve possuir para seu registro a posse de teor, considerando as somas de bases de CaO, MgO e K₂O igual ou superior a 9%, sendo que, especificamente a relação de K₂O deve ser igual ou maior do que 1%. Também define que não pode haver relação de teores potencialmente tóxicos maiores do que:

- a) 15 ppm para Arsênio (As);
- b) 10 ppm para Cádmiio (Cd);

c) 0,1 ppm para Mercúrio (Hg); e

d) 200 ppm para Chumbo (Pb).

É possível obter os parâmetros químicos que indicam a presença de elemento fertilizante na rocha ao colocar amostras pulverizadas sob a análise de fluorescência de Raios-X (FRX). Os resultados desta análise são apresentados na forma de óxidos simples das principais bases que possam constar na composição da rocha (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , MnO , Na_2O , P_2O_5 e TiO_2).

5.8 PRODUTOS PARA CORREÇÃO DO SOLO COMERCIALIZADOS NO BRASIL

Em abordagem recente, a revista de economia Exame (2022) esboçou a seguinte situação: “Hoje, o Brasil importa 85% dos fertilizantes que consome na sua produção agrícola. Apenas em 2021, o país consumiu 43 milhões de toneladas de fertilizantes, 73% deste montante somente em três culturas: soja, milho e cana-de-açúcar. Somos o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, atrás de China, Índia e Estados Unidos, com o diferencial que, ao contrário de nós, estes países são grandes produtores mundiais. A grande demanda, contudo, é pelo NPK, um fertilizante mineral, composto por Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), uma vez que, cada um destes traz resultados específicos fundamentais para o desenvolvimento das plantas ao longo de seu ciclo produtivo, sendo o Nitrogênio responsável pelo crescimento forte das plantas, principalmente das folhas e o caule. Já o fósforo é vital para a floração, a frutificação e o crescimento das raízes. Por fim, o potássio as torna bem mais resistentes às pragas e às doenças. Contudo, a produção deste insumo envolve uma gama bem maior de substâncias”. Portanto, evidencia-se a necessidade de buscar fontes de fertilizantes minerais alternativas ao atual sistema de mercado, privilegiando a produção nacional ao aproveitar-se da ampla geodiversidade inserida no território brasileiro, que pode gerar resíduos potencialmente benéficos à fertilização das plantas, através de métodos como a rochagem.

5.9 ROCHAGEM

A rochagem é uma técnica de fertilização que tem como princípio o uso de determinados pós de rocha ou minérios extraídos adicionados a solos empobrecidos em elementos nutritivos, seja pelo intemperismo ou pela massiva atividade agropecuária. Apesar de a utilização de rochas moídas como origem de nutrientes para a agricultura ser uma prática antiga, o que hoje se conhece como técnica de rochagem ficou esquecida a partir do surgimento dos fertilizantes solúveis. Todavia, o fato de o Brasil ser um dos principais importadores de fertilizantes do globo (figura 4), a questão da necessidade de se dar um aproveitamento às enormes quantias de rejeito de minério e o surgimento da agroecologia como vertente filosófica da agricultura moderna, condenando o uso de fertilizantes solúveis médios, a técnica da rochagem voltou à pauta, pois torna possível o manejo de rejeitos e a utilização de recursos químicos ecologicamente corretos e disponíveis localmente (DE CARVALHO, 2013).

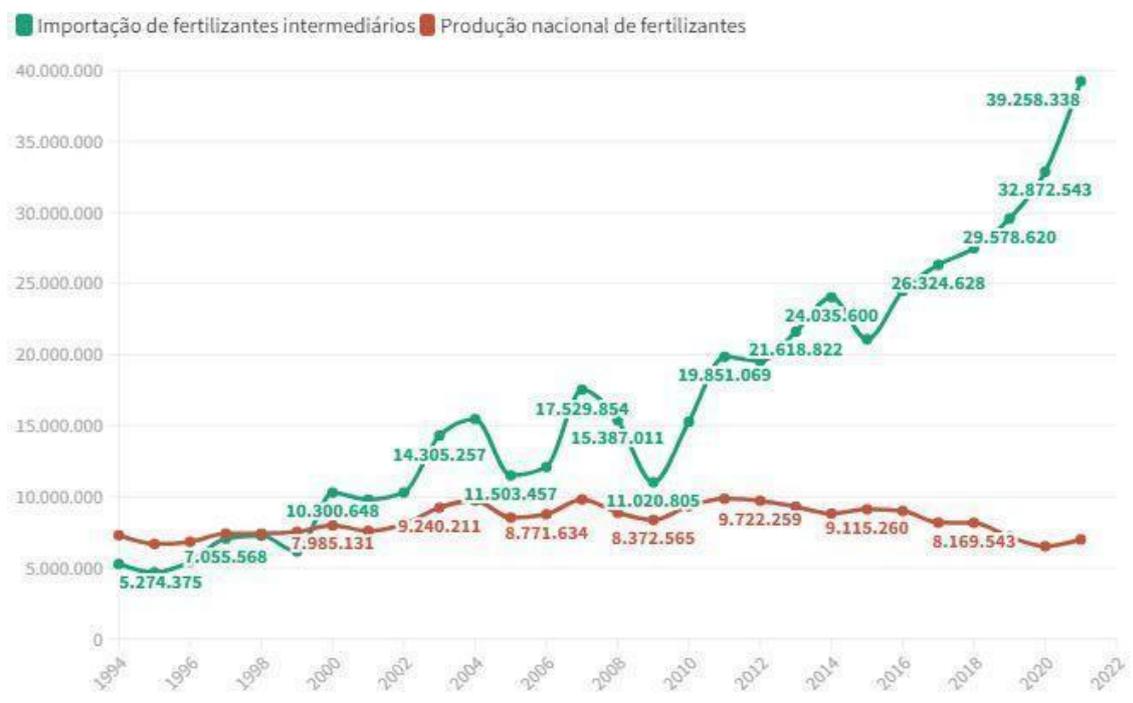
Figura 4. Principais demandas mundiais de fertilizantes no ano de 2018.



Fonte: Bolsa de Comercio de Rosario (2018).

À primeira vista, a desvantagem dessa situação é o peso dos gastos com importação sobre o saldo da balança comercial em relação ao setor primário do Brasil (figura 5), que, associado à dependência dos defensivos agrícolas, contribui para a insegurança alimentar do país. Entretanto, para além disso, os fertilizantes médios costumam representar altos custos em relação ao seu transporte a longas distâncias e beneficiamento quando já estão em solo nacional. Criam, ainda, problemas ambientais relacionados, entre outros fatores, à liberação de gases poluentes na atmosfera e a eutrofização de águas superficiais e subterrâneas (TILMAN *et al.*, 2001; MARTINS *et al.*, 2010; MANNING, 2010, In: DE CARVALHO, 2013). A alternativa do uso do pó de rocha como estratégia sustentável de manuseio dos solos para cobrir esses problemas socioeconômicos relacionados à sua fertilidade, todavia, carece de maiores estudos e informações para que se considere a importância da inserção e avaliação de seus custos na agenda econômica do sistema agrícola nacional.

Figura 5. Gráfico de importação de fertilizantes intermediários vs. produção nacional de fertilizantes.



Fonte: CNN Brasil (2022)

Os estudos mais conhecidos atualmente são relacionados à capacidade de substâncias máficas, como o pó de basalto (ESCOSTEGUY; KLAMT, 1998; BONIAO *et al.*, 2002; LOPES-ASSAD *et al.* 2010. In: DE CARVALHO, 2013), ou materiais que se destaquem por seu alto teor nutritivo, porém de distribuição mais pontual, tais como

o glauconito (PIZA *et al.*, 2011), o flogopitito (SOUZA FILHO *et al.*, 2006; RIBEIRO *et al.*, 2010), ou o mica-xisto (BASAK; BISWAS, 2009), entre outros. Contudo, comumente os minerais não apresentam dissolução rápida o bastante no meio natural para que tenham aproveitamento considerável na agricultura, o que atrapalha estudos realizados em períodos curtos de tempo. Além disso, substratos ou solos estéreis, de baixa atividade microbiológica ou em localidades de clima muito frio ou temperado, pequenas quantidades de material ou, ainda, de granulometria muito grossa estão relacionados ao desfavorecimento dos resultados quanto ao uso de pó de rochas silicatadas (HINSINGER *et al.*, 2001). Segundo de Carvalho (2013), contribuem para a pouca ocorrência de regularizações e disponibilidade de pós de rocha no mercado: a falta de programas governamentais voltados ao estudo e produção de matérias-primas oriundas da rochagem, a falta de legislação especificamente elaborada para este tema e a preferência pela produtividade em larga escala em detrimento do zelo pela qualidade do alimento e do desenvolvimento sustentável. Entretanto, alguns focos de produção sustentável utilizando pó moído de algumas pedreiras são observados em determinados sistemas orgânicos de produção, geralmente protagonizados por pequenos e médios agricultores ou em cooperativas.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 MATERIAIS UTILIZADOS

A seguir, serão apresentados os materiais, equipamentos e reagentes utilizados ao longo da metodologia de análise dos objetos de estudo do presente trabalho:

- 2 sacos plásticos limpos para armazenagem das amostras peneiradas;
- 1 quarteador do tipo JONES;
- 3 bandejas limpas para manejo do pó de rocha durante quarteamento;
- Estufa para a secagem do papel filtro contendo os sólidos insolúveis para posterior pesagem dos mesmos;

- Pipetas, provetas, buretas, erlenmeyers e beckers para os experimentos químicos de laboratório;
- Balança Analítica, para realizar a pesagem, com alta precisão, das massas totais das amostras e dos sólidos insolúveis;
- Balança Digital para pesagem de materiais quarteados e peneirados;
- Papel Filtro Qualitativo (80g/m²) para determinação de sólidos insolúveis;
- Condutivímetro;
- Ácido clorídrico 6 mol para determinação de PN e SI;
- Ácido cítrico a 2% para extração de ferro e alumínio;
- Chapa de aquecimento para agitação molecular e consequente indução à dissolução total e neutralização entre os ácidos e bases;
- Potenciômetro com eletrodo para medida do pH e termocompensador;
- Cloreto de Potássio (1 mol/L) para extração de alumínio;
- Hidróxido de sódio para determinação de PN;
- Indicador químico fenolftaleína para titulação e determinação de PN;
- Peneira # 200 *mesh* – abertura 0,075 mm.
- Granulômetro Microtac S3500 via úmido para a utilização do método de granulometria a *laser*;
- Espectômetro BRUCKER S1 Turbo-SD-LE para a utilização do método de fluorescência por Raios X.

6.2 O MATERIAL ANALISADO

Os materiais analisados são oriundos da Pedreira de Pelotas (de composição granodiorítica) e da Pedreira de Montenegro (de composição basáltica). Por motivos de manutenção da higiene dos materiais, ao longo de todo o processo de análise e obtenção de dados, os pós foram mantidos dentro de invólucros fechados.

Antes do quarteamento, os materiais estiveram fechados em sacos plásticos sem abertura, o que os preservou. Após o quarteamento e peneiramento, os pós selecionados foram colocados e mantidos em pacotes plásticos menores, limpos e selados, durante todo o processo de estudo.

Por fim, é válido ressaltar que a quantidade de material selecionado foi suficiente para que cada um dos métodos descritos a seguir fosse realizado com amostras independentes entre si, sem que fosse possível uma contaminação mútua dos pós em função de seu uso com diferentes reagentes e processos na metodologia.

6.2.1 Pó de Rocha Granodiorítica da Pedreira de Pelotas

Cerca de 15 kg deste material foram doados, já moídos, à Universidade Federal do Pampa, na pessoa do Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente, em saída de campo direcionada a essa pedreira, e posteriormente repassada ao orientador do presente trabalho.

6.2.2 Pó de Rocha Basáltica da Pedreira de Montenegro

Este material foi obtido pelo Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory enquanto orientador do Trabalho de Conclusão de Curso da geóloga Thayanne Barbosa dos Santos, intitulado “*Pó de Rochas Basálticas para Utilização Como Remineralizador de Solo em Cultivo de Zea Mays L*”, publicado em 2021, e cerca de 12 kg foram gentilmente cedidos a este trabalho. Trata-se de um pó de rocha já moído.

6.3 QUARTEAMENTO

O processo feito inicialmente foi o de quarteamento, buscando separar aproximadamente 1 Kg para cada pedreira. As amostras da Pedreira de Pelotas estavam armazenadas em dois sacos, sendo um de 10 kg e outro de 5 kg, tendo sido misturados para o quarteamento. A amostragem referente à Pedreira de Montenegro estava em um saco de 12 Kg. A totalidade destas quantias passou pelo filtro de um quarteador de amostras do tipo JONES de aço Inox, sendo por 20x até que fosse possível obter 1 kg para as amostras da Pedreira de Pelotas, e por mais 16x até extrair o quilograma quarteado referente à amostra basáltica da Pedreira de Montenegro. Por

fim, cada uma das amostras foi novamente peneirada, pois não mais do que algumas centenas de gramas eram necessárias para que se passasse na peneira. Primeiramente, as amostras foram sendo retiradas dos sacos alternadamente e passadas pelo quarteador. Este quarteador possui canaletas internas que são inclinadas de forma revezada, ora para um lado, ora para outro, e despejam a amostragem em duas partes iguais, dentro de duas bandejas, uma em cada lado do amostrador. O conteúdo que constava na bandeja da esquerda sempre foi descartado, e o conteúdo que caía na bandeja da direita foi progressivamente selecionado para ambos os materiais, mantendo o mesmo padrão de seleção durante todo o processo.

6.4 PENEIRAMENTO E GRANULOMETRIA A LASER (GAL)

Para um melhor entendimento do aspecto granulométrico dos materiais, que já chegaram com alto grau de moagem à UNIPAMPA, foram realizados dois métodos de estudo, sendo o primeiro o peneiramento, mais simples, e o segundo, para observação de mais fino trato, a granulometria a *laser*.

6.4.1 Peneiramento

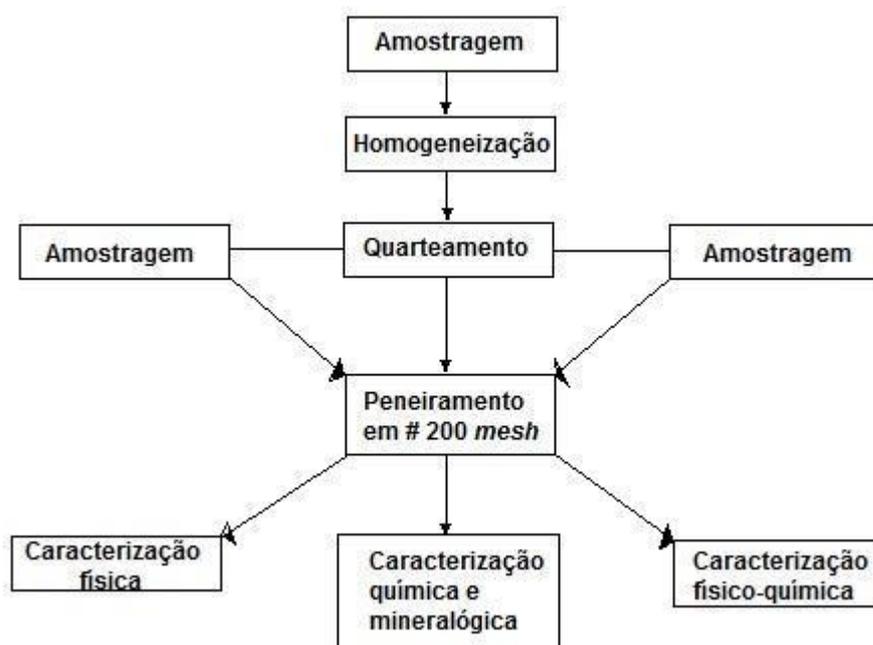
O passo seguinte foi o peneiramento, conforme ilustra a figura 6, quando a intenção é separar grãos maiores e menores do que um determinado tamanho através do uso de peneira. Como os materiais destinados ao presente trabalho já chegaram à UNIPAMPA com alto grau de moagem, o peneiramento resumiu-se à análise granulométrica em apenas uma peneira.

Antes do processo de peneiramento, os materiais quarteados foram pesados, e, após, onde utilizou-se a peneira de abertura 0,075 mm, foram pesados em balança os materiais passantes e não passantes, e comparados, em porcentagem, com a massa do material original. É necessário que as partículas da amostra possuam tamanhos pequenos, portanto com maior área superficial específica, para que sua capacidade de reagir com o solo seja facilitada através de uma maior área de contato, o que favorece a efetividade das reações de dissolução e lixiviação.

Segundo Escosteguy e Klamt (1998), materiais com partículas de tamanho em torno de 0,074 mm respondem melhor aos ensaios. Assim, levando em consideração que o Laboratório de Solos e Meio Ambiente (LASOMA) da UNIPAMPA possui peneiras de # 200 *mesh* (com abertura de 0,075 mm), a atividade de peneiramento foi feita neste laboratório utilizando este material, obtendo entre 300 g e 460 g de partículas que passaram pela peneira para os pós oriundos de cada uma das pedreiras, possibilitando a caracterização física, química e mineralógica das mesmas.

Por fim, as amostras foram mantidas dentro de sacos plásticos, para que as mesmas contivessem o mínimo teor de umidade possível até a pesagem. A análise granulométrica, em resumo, significa a caracterização física do material que foi analisado, representando a observação mais diretamente relacionada com o peneiramento, mas serve, também, como ponto de partida para análises químicas com tamanhos de partícula que possam ser aproveitados pela natureza de forma eficiente – o que requer outras análises químicas. Um corretivo, por exemplo, pelo fato de ser composto de constituintes neutralizantes, que possuem solubilidade baixa, tem reação no solo totalmente dependente do teor de umidade e da quantidade de contato da superfície das partículas com o solo. Entretanto, este contato segue sendo influenciado fundamentalmente a partir do grau de moagem desse corretivo, além de sua mistura ao solo. O contato e a reação das partículas com o solo são maiores à medida em que mais moído está o corretivo.

Figura 6. Fluxograma representativo da ordem dos métodos de análise realizados.



Fonte: Autor.

6.4.2 ANÁLISE DE GRANULOMETRIA A LASER

Para uma observação mais completa e minuciosa da granulometria dos materiais, submeteu-se, ainda, 1 grama de pó de cada pedreira a análise de tamanho de partícula em um granulômetro a *laser* da empresa *Microtac*®, modelo S3500, pertencente ao Laboratório de Lavra, Planejamento e Tratamento de Minérios (LATRAM), realizado em via úmida. Segundo Baracho (2018), esta análise utiliza como princípio o fenômeno de difração da luz, visto que, à medida em que menor for o tamanho da partícula, maior é o ângulo da difração sofrida por um feixe luminoso que atravessa várias partículas. Este procedimento acontece com as partículas situadas em um fluido em movimento, o que gera descontinuidades no fluxo do fluido (BARACHO, 2018). Por fim, uma luz incidente detecta as descontinuidades do fluxo e as correlaciona, através de algoritmos matemáticos, com o tamanho das partículas (ALLEN, 1997; BARACHO, 2018; HILDEBRAND, 1999; SOUSA, 2013).

6.5 DETERMINAÇÃO DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS (SI)

Através do auxílio de balança analítica, pesou-se 1g de cada pó de rocha, assim foi possível determinar a quantidade de sólidos insolúveis, geralmente silicatados, como a areia quartzosa. Foi utilizada a metodologia da filtração simples, utilizando papel filtro, como descrita em Sperotto (2014), ao pesar o papel antes e depois da filtração. Para a diluição das amostras do presente trabalho, adicionou-se 50 ml de HCl 6,0 mol para que se faça a dissolução do material, em chapa aquecida SOLAB SL 140 (figura 7). Então, levou-se o material à estufa, com temperatura em 60°C, até que o papel filtro secasse e pudesse, então, ser novamente pesado, agora com os sólidos que não foram dissolvidos durante o processo.

Figura 7. Chapa de aquecimento SOLAB SL 140 de propriedade da UNIPAMPA.



Fonte: Autor.

6.6 PODER DE NEUTRALIZAÇÃO (PN)

Segundo Veloso et al. (1992), quanto maior for o PN dos materiais, maiores são as suas eficiências ao corrigir a acidez do solo. Em suma, o poder neutralizante dos materiais tem relação com a capacidade dos mesmos de neutralizar a acidez que os solos podem desenvolver ao longo do tempo. De acordo com Primavesi (2004), o

PN de um corretivo é determinado quimicamente no laboratório, ao dissolver a amostra com quantidade conhecida e em excesso de ácido clorídrico, a quente, com concentração de 0,5 mol/L. Assim, o corretivo neutraliza o ácido. Determina-se o ácido em excesso após a filtragem (figura 8), ao titulá-lo com soda, calculando-se, por diferença, o tanto de ácido que foi neutralizado. A partir do princípio da equivalência química, a quantidade de ácido neutralizado é equivalente à quantidade de constituinte neutralizante da amostra do corretivo.

Figura 8. Ensaio realizado para o Poder de Neutralização.



Fonte: Autor.

Após, adiciona-se à amostra o indicador fenolftaleína (ALCARDE, J.C. In: SINDICAL; ABRACAL, 2009), que altera a cor da solução no momento em que a mesma está totalmente neutralizada, para que, então, se adicione NaOH através de bureta na solução, fazendo a titulação no decorrer do processo. O instante em que a solução muda de cor significa que está totalmente neutralizada, e a quantidade de NaOH necessária para o processo está evidenciada na medida da bureta. Em suma, quanto menos NaOH for necessário para que a solução alcance o estado de neutralidade completo, maior foi a capacidade do material de neutralizar o HCl anteriormente aplicado, e vice-versa.

Por fim, após a titulação, a obtenção dos dados finais ocorreu seguindo a metodologia do *Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos* (MAPA, 2017), onde, para a determinação do PN, utilizou-se a seguinte fórmula:

$PN (\%) = 10[(25 \times M1) - (Vb \times M2) / \text{Massa inicial da amostra (em gramas)}]$,
onde:

- PN = poder de neutralização;
- M1 = concentração da solução de HCl em mol/L;
- M2 = concentração da solução de NaOH em mol/L;
- Vb = volume da solução de NaOH gastos na titulação (média) em ml.

6.7 ESPECTROMETRIA POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX)

Foi realizada análise de duas amostras de material oriundo de cada uma das duas pedreiras pelo método de fluorescência de raios-X no LATRAM da Universidade Federal do Pampa. O equipamento utilizado foi o Espectrômetro de FRX Brucker modelo S1 Turbo SD-LE (figura 9). Melo Júnior (2007) argumenta que o método tem por base a medição das intensidades com que raios-X característicos emitidos por determinados elementos respondem a estímulos causados pela excitação de partículas como elétrons, prótons ou íons produzidos em aceleradores de partículas ou ondas eletromagnéticas. Jenkins (1999) explica que, caso ocorra a interação de elétrons da camada mais interna de determinado átomo com fótons com energia na região dos raios-X, pode ocorrer a foto ejeção destes elétrons, o que gera uma vacância. Como resposta a isso, acontece o preenchimento imediato dessas vagas por elétrons de camadas mais próximas, gerando um excesso de energia específico na forma da emissão de raios-X característica de cada tipo de átomo presente na amostra que, enfim, o equipamento detecta realizando varreduras na amostra. Esse método já é considerado uma tecnologia eficiente e tem sido utilizado de forma difundida em diversos trabalhos que demandam de maneira qualitativa a análise de elementos potencialmente fertilizantes ou tóxicos.

Figura 9. Espectômetro de fluorescência por raios-X Brucker modelo S1 Turbo SD-LE de propriedade do LATRAM – UNIPAMPA, onde, em (A), vê-se o espectômetro em funcionamento; em (B), o painel eletrônico com as informações de varredura; em (C), o detalhe para o leitor no topo do aparelho; por fim, em (D), uma das amostras granodioríticas sob análise.



Fonte: Autor.

6.8 ANÁLISES DE pH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

O pH pode influenciar aspectos como solubilidade, forma iônica e concentração em solução dos ambientes do solo, conseqüentemente afetando a absorção e uso dos mesmos pelas plantas de forma direta (McBRIDE e BLASIAK, 1979). De acordo com Batra & Kumar (1993), que estudaram as conseqüências da variabilidade do pH sobre a germinação de sementes, observaram que tal germinação é afetada quando as condições do meio estão extremamente ácidas ou alcalinas.

Seguindo a metodologia de Teixeira (2017), há a pesagem de cerca de 10 gramas do material analisado, onde posteriormente adiciona-se 25 mL de água

destilada. Após, mistura-se a amostra com bastão de vidro por 1 minuto e, então, deixa-se a amostra em repouso por 1 hora. Por fim, agita-se brevemente a amostra, após o repouso, antes de enfim mergulhar os eletrodos do pHmetro na solução e realizar a leitura do pH.

Por sua vez, a Condutividade Elétrica (CE), é afetada pelas variações na disponibilidade de íons e sais nos solos. Carmo & Silva (2016) apontam que a CE regula-se pelos valores das concentrações de H^+ e OH^- , além dos teores trocáveis de K, Mg, Ca, $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$ e de íons fosfato e sulfato, disponibilidade de micronutrientes e etc. Ainda segundo os mesmos autores, em razão do acréscimo dos níveis de calagem, a condutividade aumenta, havendo, portanto, relação positiva entre os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , saturação por bases e pH, para cada classe de solo em particular (CARMO & SILVA, 2016).

Após realizadas as leituras do pH, as soluções seguiram para a leitura do medidor de condutividade elétrica (condutivímetro), que mede a Condutividade Elétrica da solução a partir da resposta que esta apresenta quanto à queda de tensão causada, por centímetro, por sua resistência.

6.9 ATAQUES COM ÁCIDO CÍTRICO E CLORETO DE POTÁSSIO

O ataque com ácido cítrico serve para que as análises disponham de uma forma de simular condições de acidez em que os solos apresentem capacidade de extrair determinados elementos dos minerais. De acordo com Song & Huang (1988), o ácido cítrico, por ser frequentemente liberado pelas raízes das plantas, se apresenta em altas concentrações na rizosfera. É interessante arguir, também, sobre a grande capacidade desse ácido de formar complexos orgânico-metálicos na solução do solo, pois possui alto potencial de interação com metais, o que reverbera na extração de nutrientes a partir dos minerais presentes no solo (MARTIN & SPARKS, 1983; MELO et al., 1995. In: NUNES, 2012). Para a obtenção dos dados, o processo de análise consistiu em adicionar uma triplicata por material de 1 grama de amostra em contato com 100mL da solução de ácido cítrico com concentração de 2% e, depois, a solução foi filtrada e observada em um espectrofotômetro, seguindo a metodologia para determinar a concentração de alumínio e de ferro realizada em Nunes (2012).

A partir do comportamento errático do alumínio, observado ao analisar os dados resultantes deste elemento para diferentes ensaios, realizou-se, também, o ensaio específico de extração desse elemento, retirado das técnicas de extração do Boletim Técnico nº 5 (TEDESCO, 1995), que simula as condições de interação água-solo, utilizando KCl (1 mol/L) como solução extratora e posteriormente titulando o material com solução de NaOH (0,025 mol/L).

6.10 DENSIDADE RELATIVA DOS MATERIAIS

Segundo Sampaio (2007), em tratamento de minérios, o manuseio do minério ocorre na forma de grãos, em grandes volumes, o que gera a necessidade de se conhecer a densidade relativa das amostras. Sampaio (2007) argumenta que o método mais prático de se determinar, com razoável precisão, a densidade de uma rocha, minério ou mineral é através da picnometria.

Assim, seguindo a metodologia descrita em Sampaio (2007), foi utilizado um picnômetro de 50 mL, onde aferiu-se a massa do mesmo, em balança analítica, primeiramente vazio, depois contendo água (no caso do presente estudo, medida em 25°C com densidade 0,997 g/cm³), e posteriormente contendo água misturada a cada um dos pós estudados. Mediu-se, também, 10 gramas de cada um dos pós a seco, dentro do picnômetro. Dessa forma, pôde-se desenvolver a seguinte equação, apresentada abaixo:

$$ds = (A2) - (A1) \div (A4 + A2) - (A1 + A3), \text{ onde:}$$

- ds = densidade dos sólidos;
- A1 = massa do picnômetro limpo;
- A2 = massa do picnômetro + amostra;
- A3 = massa do picnômetro + amostra + água;
- A4 = massa do picnômetro + água.

7. RESULTADOS

7.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os dados iniciais retirados das análises realizadas são relativos ao comportamento granulométrico de ambos os pós.

7.1.1 Peneiramento

A massa dos materiais quarteados passantes e não passantes na peneira foram comparados, em porcentagem, com a massa do material original. Esses dados geraram a tabela 2.

Tabela 2. Resultados da análise granulométrica realizada com peneiramento.

Peneira # 200 mesh	Basalto	Granodiorito
Massa Amostral	1,140 Kg	1,085 Kg
Passante	314 g (27,54%)	454 g (41,84%)
Não Passante	796 g (69,82%)	623 g (57,42%)

Fonte: Autor.

Na análise, foi possível observar que a rocha basáltica ofereceu mais resistência à moagem em relação ao material granodiorítico, pois há uma diferença de mais de 14% nos dois pós de rocha quarteados em relação ao material passante, onde, no caso da Pedreira de Montenegro, menos material teve granulometria menor do que 0,075 mm. Tal fato gera uma primeira impressão de que, possivelmente, uma totalidade moída semelhante desses dois materiais rende uma quantidade ligeiramente maior de partículas de melhor capacidade de interação com o solo para o pó de rocha granodiorítico, pois um volume maior de partículas de granodiorito é menor do que o diâmetro de abertura da peneira utilizada. Entretanto, o processo de peneiramento utilizando uma peneira apenas apresenta a proporção do material que é maior ou menor que determinada granulometria, no caso, 0,075 mm, mas não

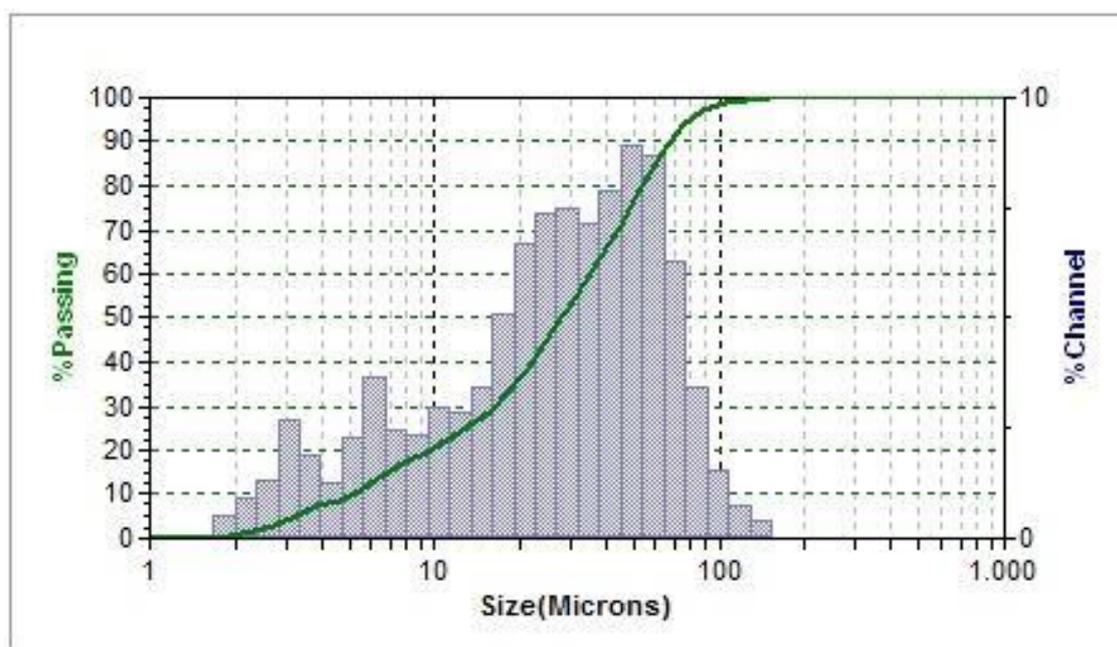
explica o importante aspecto da granulometria média do material passante. Isso porque, como, nesse tipo de análise, é a massa que determina a porcentagem de materiais passantes e não passantes, surge a incerteza de que, possivelmente, partículas de proporções muito finas, de ainda melhor interação com o solo, podem estar bastante presentes no material passante de menor massa, sem grande interferência na quantidade de massa.

7.1.2 Granulometria a Laser

Portanto, para responder a essa questão, o método GAL gerou um gráfico para o material basáltico e outro para o granodiorítico, na forma de histogramas representativos da distribuição granulométrica de cada um dos materiais. A curva de distribuição granulométrica percorre o histograma e correlaciona o tamanho de partícula com a porcentagem de material acumulado de tamanho menor ou igual ao apontado pela curva.

Para o material basáltico, o histograma gerado apresentou-se, conforme ilustra a figura 10, com alta ocorrência de tamanhos entre 10 e 80 μm .

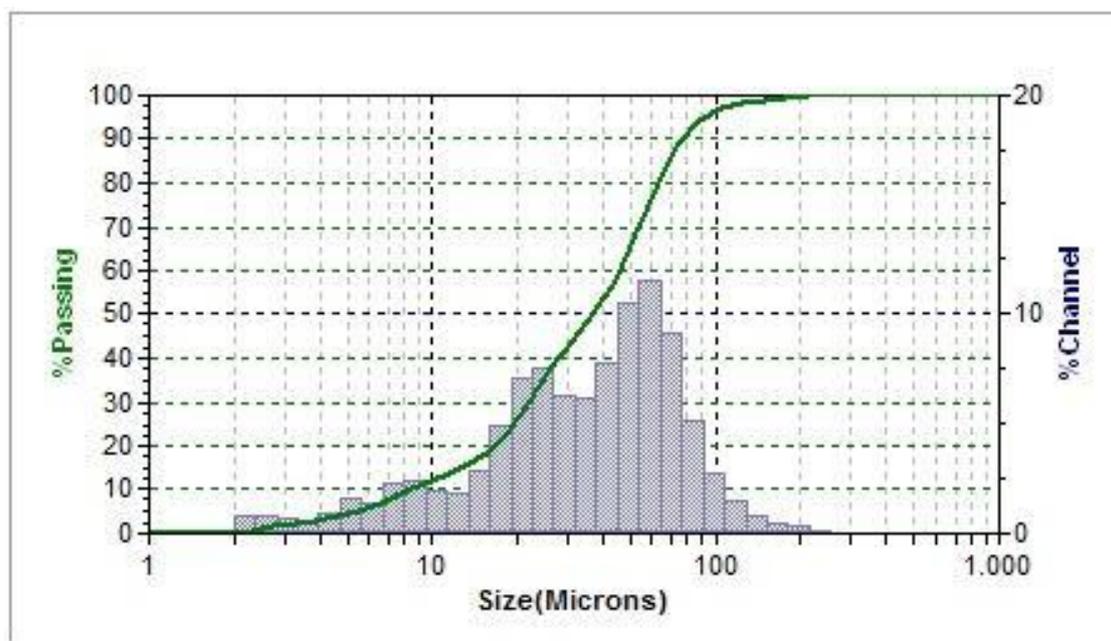
Figura 10. Gráfico de histograma gerado para a granulometria do pó basáltico.



Fonte: Autor.

Por sua vez, o histograma referente ao material granodiorítico ilustra a ocorrência de partículas de tamanho preferencialmente entre 15 e 90 μm , conforme demonstra a figura 11.

Figura 11. Gráfico de histograma gerado para a granulometria do pó granodiorítico.



Fonte: Autor.

Ambos histogramas apresentam boa noção visual e estatística de que, de fato, existe importante diferenciação entre os tamanhos das partículas de cada material. As observações de maior nível de detalhe foram oferecidas pelo equipamento através de um sumário estatístico que compôs os resultados da análise em conjunto com os histogramas já apresentados.

Três aspectos bastante interessantes e de suma importância para a reatividade dos materiais com o solo são apresentados no sumário estatístico. Um deles é o valor exato do tamanho máximo que as partículas têm em função das porcentagens de volume de material acumulado. No caso do presente estudo, a partir do observado nos histogramas, foram tomados como referência os acumulados de 10% (D_{10}), 50% (D_{50}) e 90% (D_{90}). Outro valor importante a ser observado é o tamanho médio das partículas, dado em volume, a fim de mensurar, a título de comparação, qual dos materiais apresenta maior tendência de ter os grãos menores. Por fim, há a relação da quantidade média de área superficial das partículas, em termos de seu diâmetro,

o que confere a noção de quantidade de área superficial que reage com o solo. Todos os aspectos acima citados são apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Apresentação dos dados de tamanho máximo de partícula em acumulados, tamanhos médios de partícula e superfície de partícula.

GAL	BASALTO	GRANODIORITO
D10 (µm)	5,23	8,33
D50 (µm)	27,65	37,00
D90 (µm)	65,80	76,06
Tam. Médio das Partículas (µm)	32,81	41,42
Tam. Médio da Superfície das Partículas (µm)	13,33	19,18

Fonte: Autor.

Como observado na tabela 3, assim como nos histogramas, de fato existe importante diferença no comportamento do tamanho de grão peneirado em cada um dos materiais. Ao passo que, no acumulado de 10% do volume total, o tamanho máximo de grão é de 5,23 µm na amostra basáltica, o valor é de 8,33 µm na amostra granodiorítica. Tal tendência prossegue ao se observar tanto o volume de 50%, onde o tamanho máximo da partícula de pó basáltico é de 27,65 µm, ao passo que o tamanho máximo da partícula do pó granodiorítico chega a 37,00 µm, quanto o volume de 90%, onde o tamanho máximo da partícula é de 65,80 µm no pó basáltico e de 76,06 µm no pó granodiorítico.

Em relação ao tamanho médio das partículas, nota-se que a estatística apresenta a tendência clara de que os grãos de basalto são mais finos em relação aos grãos granodioríticos, o que confere ao pó de basalto uma maior capacidade de interagir com o meio a partir de sua maior quantidade absoluta de área superficial e, portanto, maior capacidade de interagir quimicamente com o solo. Isso se deve, possivelmente, pela provável presença de minerais mais resistentes à moagem no

granodiorito, com destaque para o quartzo. Por fim, o diâmetro médio da superfície das partículas basálticas apresenta 13,33 μm , ao passo que as partículas granodioríticas apresentam diâmetro médio de 19,18 μm . Ainda que a superfície das partículas de pó de basalto sejam ligeiramente menores, o fato de que existem mais grãos deste material em relação ao pó granodiorítico faz com que um valor maior de quantidade absoluta de superfície ocorra no pó basáltico, pois, no pó granodiorítico, menos grãos de maior tamanho e volume possivelmente dificultam a capacidade do solo de interagir quimicamente.

7.2 SÓLIDOS INSOLÚVEIS

Realizou-se uma tabela com dados que utilizaram a quantidade de massa de sólidos que não foram solubilizados após secagem no papel filtro comparados à quantidade total de massa das amostras separadas para este experimento (tabela 4).

Tabela 4. Relação referente à quantidade de sólidos insolúveis nas amostras analisadas.

Amostra	Massa Amostra (g)	Massa dos SI (g)	Quantidade de SI em relação à massa total (%)
Basalto I	1,0505	0,8598	81,85
Basalto II	1,0051	0,8905	88,60
Basalto III	1,0018	0,8980	89,64
Basalto IV	1,0691	0,9572	89,53
Basalto V	1,0098	0,8927	88,40
Média Basalto	1,0273	0,8996	87,60
Granodiorito I	1,0507	0,9200	87,56
Granodiorito II	1,0008	0,8884	88,77
Granodiorito III	1,0136	0,9183	90,60
Granodiorito IV	1,0457	0,8735	83,53
Granodiorito V	1,0261	0,8987	87,58
Média Granodiorito	1,0274	0,8998	87,61

Fonte: Autor.

Esta análise demonstra que a quantidade de SI é semelhante para os dois tipos de material, e revela que, ainda que se saiba que os elementos, na rochagem, são

disponibilizados para o meio, os sólidos que o ácido clorídrico não conseguiu dissolver representam a maior parte da massa do material original. A lentíssima solubilização dessas partículas em meio natural pode indicar que uma aplicação constante destes pós poderia render, a longo prazo, uma reserva de nutrientes importante para a manutenção da capacidade de um solo de se manter nutritivo ao longo do tempo.

7.3 PODER DE NEUTRALIZAÇÃO

Sabendo que a concentração do ácido HCl e da base NaOH foram, ambas, de 0,5 mol/L, e tomando por base os cálculos utilizados nas análises de calcário como corretivo, foi possível, a título comparativo em relação aos materiais do presente trabalho, realizar os cálculos de Poder de Neutralização. Os resultados obtidos revelaram-se surpreendentemente elevados (tabela 5), tanto para as amostras basálticas como para as graníticas, o que confere um uso muito interessante desta ferramenta.

Tabela 5. Resultados das análises relativas ao Poder de Neutralização das amostras.

Amostra	Massa da Amostra (g)	Poder de Neutralização (%)
Basalto I	1,07	91,67
Basalto II	1,01	97,17
Basalto III	1,00	98,50
Basalto IV	1,00	97,32
<i>Média Basalto</i>	1,02	96,30
Granodiorito I	1,04	93,96
Granodiorito II	1,03	96,48
Granodiorito III	1,00	98,42
Granodiorito IV	1,01	97,18
<i>Média Granodiorito</i>	1,02	96,51

Fonte: Autor.

Os resultados do Poder de Neutralização são bastante satisfatórios para os materiais, tendo ambos mais de 96% de PN, o que, em suma, significa que cada 100 gramas desses materiais equivalem, em neutralização, a mais de 96 gramas de CaCO₃, o corretivo referência. Esse valor, então, define ambos os materiais como ótimos corretivos agrícolas, com alta capacidade de neutralização da acidez do solo e grande potencial de uso benéfico à agricultura.

7.4 REMINERALIZADORES E ELEMENTOS TÓXICOS

Como mencionado anteriormente no presente trabalho, mais precisamente no item 5.7, existem algumas normas instituídas referentes à concentração de elementos remineralizadores e tóxicos no solo, e esses aspectos são mais facilmente detectados através do método FRX.

7.4.1 Remineralizadores

Tendo como base a IN nº 05/2016, os resultados adquiridos nas cinco amostras de cada composição são majoritariamente satisfatórios quanto à soma dos elementos nutritivos, inclusive em cada uma das duas médias, sendo o índice médio de CaO maior do que o dobro da média de MgO nos basaltos e, no caso dos granodioritos da Pedreira de Pelotas, CaO e MgO apresentam índices médios muito semelhantes, com mais destaque para K₂O e MgO em relação ao que se apresentava nos Basaltos. Todas as amostras apresentaram, também, índice satisfatório de K₂O, conforme ilustra a tabela 6.

Tabela 6. Resultados do método da Fluorescência por Raios-X em relação aos elementos remineralizadores.

Amostra FRX	CaO (%)	MgO (%)	K₂O	Soma (%)
Basalto I	5,61	3,97	1,04	10,62
Basalto II	5,92	0,00	1,14	7,06
Basalto III	5,93	2,58	1,10	9,61
Basalto IV	5,86	4,08	1,09	11,03
Basalto V	5,94	2,64	1,13	9,71
Média Basalto	5,85	2,65	1,10	9,61
Granodiorito I	3,69	2,51	2,25	8,45
Granodiorito II	3,88	3,59	2,54	10,01
Granodiorito III	3,99	3,94	2,68	10,61
Granodiorito IV	3,98	4,30	2,68	10,96
Granodiorito V	3,94	4,40	2,66	11,00
Média Granodiorito	3,90	3,75	2,56	10,21

Fonte: Autor.

Ao consultar a tabela 1, retirada do trabalho de Teixeira (2021) e modificada de Straaten (2007), pode-se deduzir que o pó de Basalto da Pedreira de Montenegro é um material que, se aplicado corretamente ao solo, conferindo a caracterização granulométrica indicada por Escosteguy e Klamt (1998), anteriormente mencionada, pode fazer a diferença na estabilização da estrutura das células das plantas, auxiliando em processos nas raízes e em ativações enzimáticas – visto que é notavelmente composto por CaO. Por outro lado, da mesma forma, seguindo o mesmo padrão granulométrico e de acordo com a tabela 1, o material granodiorítico da

Pedreira de Pelotas, ao apresentar um teor mais homogêneo de CaO, MgO e K₂O, pode apresentar melhoria das plantas, pois, apesar de apresentar uma quantidade ligeiramente menor de CaO em relação às amostras basálticas, possui importantes teores de MgO e K₂O, o que, respectivamente, pode ser importante para estimular as reações de fotossíntese, na síntese de proteínas e na formação de enzimas e, ainda, promover e regular esta mesma ativação enzimática, ao aumentar a eficiência do uso de água, auxiliando no transporte de carboidratos e estimulando uma maior resistência aos efeitos de secas e de doenças.

7.4.1.1 Teste adicional de análise de Ferro

Conforme descrito no item 6.12, realizou-se teste de análise de ferro utilizando ácido cítrico e, posteriormente, levando as soluções para um espectrofotômetro. Para o ferro, o comprimento de onda com melhor índice de absorbância foi apontado pela curva de calibração como o de 380 nm, podendo definir, a partir das absorbâncias das triplicatas, a concentração média desse elemento para cada tipo de pó, conforme ilustra a tabela 7.

Tabela 7. Dados resultantes do teste adicional de análise de ferro com extração por ácido cítrico.

Amostra	Teor de Fe (mg/L)
Basalto I	389,50
Basalto II	388,52
Basalto III	357,21
Média Basalto	378,41
Granodiorito I	41,83
Granodiorito II	39,90
Granodiorito III	45,67

Média Granodiorito

42,47

Fonte: Autor.

Nota-se clara superioridade nos valores de ferro no Basalto, provavelmente com alta correlação com Ca e Mg, que também apresentam importantes teores (vide tabela 6), possivelmente indicando provável ocorrência de olivina e piroxênio na rocha original, pré britagem e moagem. Costa (2022) argumenta que o ferro participa de diversos processos bioquímicos, tais como a respiração, a fotossíntese e a fixação do azoto atmosférico. A capacidade de alteração do estado de oxidação do Fe possibilita que ocorra a redução de íons nitrato e a formação de ácidos orgânicos e fosfato inorgânico (PESTANA *et al.*, 2014. In: COSTA, 2022). Sobretudo, a aplicação constante do pó basáltico poderia significar o aporte constante deste elemento no solo, visto que o mesmo pode ser facilmente lixiviado.

7.4.2 Elementos Tóxicos

Como a mesma Instrução Normativa dispõe, também, sobre os elementos tóxicos que devem apresentar um valor máximo (vide item 5.7), também foi utilizado o método FRX para averiguar a possível presença destes elementos, conforme apresenta a tabela 8.

Tabela 8. Dados resultantes do método FRX relacionados aos elementos tóxicos.

Amostra FRX	As (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Pb (ppm)
Basalto I	0	0	0	0
Basalto II	0	0	0	0
Basalto III	0	580	0	0
Basalto IV	0	419	0	0
Basalto V	0	0	0	0

Média Basalto	0	199,8	0	0
Granodiorito I	0	485	0	0
Granodiorito II	0	0	0	0
Granodiorito III	0	463	0	0
Granodiorito IV	0	0	0	0
Granodiorito V	0	0	0	0
Média Granodiorito	0	189,6	0	0
Valor Máximo Indicado (ppm)	15	10	0,1	200

Fonte: Autor.

Os valores erráticos de Cádmio, que se apresentam ora zerados e ora elevados, provavelmente se explicam pelo fato de que existem concentrações pontuais de Cd em ambos os materiais que, se considerados levando em conta uma média aritmética, revelam um valor teoricamente alto em uma suposta homogeneidade deste elemento tóxico no solo. Todavia, a maior parte das varreduras feitas pelo espectrômetro revelaram valores zerados de Cádmio em ambos os materiais, o que, de fato, atesta que este elemento não compõe de forma homogênea os pós moídos de rocha - portanto, dificilmente ocasionaria uma contaminação uniforme no solo onde esses pós fossem aplicados. É interessante observar, também, que os demais elementos considerados tóxicos pela IN nº 05/2016 - mercúrio, arsênio e chumbo -, não constam em nenhuma varredura realizada.

Entretanto, o alumínio, que é capaz de causar grandes anormalidades no aspecto citológico das plantas (FERREIRA, 2006), mostra-se presente nas varreduras realizadas de ambos os materiais, conforme observado na tabela 9, bem como no Anexo A.

Tabela 9. Dados resultantes dos teores de alumínio de acordo com o método FRX.

Amostra FRX	Teor de Al (%)
Basalto I	8,21
Basalto II	9,16
Basalto III	8,93
Basalto IV	8,55
Basalto V	9,42
<i>Média Basalto</i>	8,85
Granodiorito I	9,46
Granodiorito II	10,30
Granodiorito III	11,20
Granodiorito IV	11,00
Granodiorito V	11,20
<i>Média Granodiorito</i>	10,63

Fonte: Autor.

Nota-se que a quantidade média de alumínio foi ligeiramente maior nas análises de amostras granodioríticas em relação às basálticas, com uma média superior a 10%. Todavia, o solo pode desenvolver alguns mecanismos de tolerância à toxidez do alumínio. Algumas cultivares de grãos como cevada, trigo, arroz, milho ou ervilha, que são resistentes à toxicidade do alumínio, aumentam o pH da solução nutritiva e, por consequência, tornam o alumínio menos solúvel (KLIMASHEVSKII & DEDOV, 1976; MUGWIRA & PATEL, 1977; FERREIRA, 2006). Portanto, é possível que o próprio fator relacionado ao altíssimo PN desses materiais, como visto anteriormente, pode ser um aliado desse mecanismo.

Além disso, foram realizados ensaios com ácido cítrico para que, como citado anteriormente neste trabalho, a presente pesquisa possa simular condições em que a natureza extrairia o alumínio dos pós, já que as análises de Fluorescência de Raios-X apresentaram níveis consistentes desse elemento.

7.4.2.1 Testes adicionais de extração de Alumínio

A partir da metodologia realizada no item 6.12, pôde-se obter os valores da quantidade de alumínio, em mg/L (tabela 10), estimado de acordo com a curva de calibração na faixa do comprimento de onda 535 nm, que apresentou melhor absorvância para este elemento nas análises dos materiais e definiu a concentração média desse elemento para cada tipo de pó a partir das triplicatas.

Tabela 10. Teste adicional de extração de alumínio com ácido cítrico.

Amostra	Concentração de Al (mg/L)
Basalto I	2,23
Basalto II	2,29
Basalto III	2,31
<i>Média Basalto</i>	2,28
Granodiorito I	1,95
Granodiorito II	1,94
Granodiorito III	2,01

<i>Média Granodiorito</i>	1,97
----------------------------------	-------------

Fonte: Autor

Como observado, ao seguir a metodologia da extração com ácido cítrico, os níveis de alumínio no extrato ficaram maiores nas análises do pó basáltico do que no pó granodiorítico, contrariando a tendência apresentada anteriormente, nos ensaios FRX, onde o teor de alumínio era maior no pó granodiorítico. É provável que isso tenha ocorrido justamente por conta do que se observou nos ensaios de GAL, que detectaram uma tendência de maior interação com o solo do pó basáltico em relação ao pó granodiorítico, já que o tamanho médio das partículas é menor no pó basáltico do que no pó granodiorítico (tabela 3), o que resulta em maior quantidade absoluta de superfície de contato para as partículas basálticas. Entretanto, ambos os valores apresentam valores muito altos da concentração de Al no meio, visto que, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), o valor máximo da concentração deste elemento no extrato deve ser de 0,2 mg/L.

Então, a partir desses valores, foi realizado, como citado no item 6.12, um terceiro método de análise dos teores de alumínio, descrito em TEDESCO (1995), que utiliza Cloreto de Potássio. Surpreendentemente, neste método, as análises de titulação demonstraram alumínio não identificável nas amostras.

Sendo assim, é válido ressaltar que os valores de alumínio, apesar da confiança no método FRX em estimar o teor do elemento no pó bruto, não apresentam confiabilidade em seus resultados ao se analisar as soluções extratoras, que interagiram com o pó. Assim, revelou-se uma dificuldade de determinar os reais valores referentes à provável quantidade de alumínio que interage com o solo.

7.5 CONDUTIVIDADE E pH

Para as análises de Condutividade e pH, também foi gerada uma tabela comparando médias oriundas de duplicatas realizadas no pHmetro e condutímetro (tabela 11).

Tabela 11. Resultados das análises de pH e condutividade.

Amostra	Massa Amostral (g)	pH	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$)
Basalto I	10,02	8,26	211,0
Basalto II	10,00	8,80	193,2
Média Basalto	10,01	8,53	202,1
Granodiorito I	10,04	10,50	192,9
Granodiorito II	10,00	10,40	198,1
Média Granodiorito	10,02	10,45	195,5

Fonte: Autor.

Nas análises de pH e condutividade elétrica, é possível observar que ambas as amostras apresentam teor básico, especialmente a granodiorítica, atestando o que se apresentou nas análises de Poder de Neutralização dos materiais. Também é possível aferir que a condutividade elétrica tende a ser ligeiramente maior nas amostras basálticas em relação às graníticas, o que pode ser considerado uma tendência de leve relação inversamente proporcional com o pH e que denota uma maior presença de íons Ca^{2+} e Mg^{2+} no pó de basalto, fator que confirma a tendência de alta presença de óxidos de Ca e Mg nas amostras basálticas.

7.6 ANÁLISES DE DENSIDADE

As análises de densidade resultaram, em média, mais de uma tonelada e meia por metro cúbico para ambos os materiais, conforme apresenta a tabela 12.

Tabela 12. Valores referentes à densidade obtidos.

Amostra	Densidade (Kg/m^3)
----------------	---

Basalto I	1530
<hr/>	
Basalto II	1560
<hr/>	
<i>Média Basalto</i>	1545
<hr/>	
Granodiorito I	1600
<hr/>	
Granodiorito II	1640
<hr/>	
<i>Média Granodiorito</i>	1620

Fonte: Autor.

Nota-se que a densidade relativa média do granodiorito é maior quando comparada à do basalto, mas não de forma significativa, que interferisse nas logísticas de manejo e transporte desses materiais em equipamentos como escavadeiras e caminhões.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados que foram fruto deste trabalho possibilitaram que certas conclusões pudessem ser tomadas.

O pó de basalto, que possui tamanho médio das partículas de 32,81 μm , tem a tendência de apresentar melhor capacidade de interação com o solo se comparado ao pó granodiorítico, que possui tamanho de partícula médio de 41,42 μm . De certa forma, o pó de basalto, assim, pode oferecer macro e micronutrientes com mais eficiência ao solo. Entretanto, também fica mais suscetível à liberação de elementos tóxicos em relação ao pó granodiorítico, ainda que o cádmio não se apresenta de

forma homogênea nas amostras e, também, que o PN dos próprios materiais possa reduzir a acidez do solo, limitando as interações tóxicas do alumínio.

Ambos os materiais são pouco solúveis a curto prazo, tendo proporções de 87,6% de sólidos insolúveis ao ataque ácido. Ainda assim, a adição de pós de rocha na agricultura favorece que as plantas tenham maior resistência a estresses bióticos e abióticos, o que favorece seu estado nutricional (MELAMED *et al.*, 2007). Apesar de a insolubilidade das partículas ser, em princípio, uma má notícia, a liberação gradual de nutrientes reduz as perdas por lixiviação e favorece, em longo prazo, a fertilização de solos tropicais, como o de grande parte do Brasil, que normalmente são bastante lixiviados, o que causa pobreza de nutrientes para as plantas (DE BRITO *et al.*, 2019). Também é válido ressaltar que o silício, protagonista da insolubilidade de ambos os pós através da sílica (especialmente no granodiorito, em função do quartzo), ainda que não seja um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, é benéfico, segundo estudos, no sentido de que a planta, quando bem nutrida em sílica, apresenta maior potencial de resistência ao ataque de pragas e doenças (DE BRITO *et al.*, 2019).

Os dois materiais apresentam razoável valor de pH, sendo 8,53 o do pó basáltico e 10,45 o do pó granodiorítico. O PN médio de ambos os pós foi bastante elevado, sendo de 96,51% para o granodiorítico e de 96,30% para o basáltico, o que conferiu um excelente poder de neutralização para ambos os materiais, potencialmente podendo servir, no futuro, como alternativas no mercado aos corretivos de solo tradicionais. Reduzindo a acidez do solo, podem, ainda, inibir potenciais toxicidades de elementos como o alumínio, que os próprios pós carregam, mas eventualmente podem, através do PN, anular seus efeitos, como citado anteriormente.

É muito interessante observar que a soma média dos elementos remineralizadores de solo observados na IN nº 05/2016 foi superior em ambos os pós de rocha estudados ao valor mínimo, de 9%, exigida para a comercialização dos pós, e também atingiu o valor mínimo de óxido de potássio (1%). A soma média de elementos remineralizadores no pó de granodiorito atingiu 10,21%, ao passo que a mesma soma média foi de 9,61% no pó de basalto. Ao comparar os dados obtidos com o que se descreve na tabela 1 do presente estudo, chega-se a algumas conclusões. O material granodiorítico apresentou consistentes e homogêneos valores

de CaO, MgO e K₂O, o que pode denotar estímulos às reações de fotossíntese, síntese de proteínas e formação e regulação da atividade enzimática das plantas. O material basáltico, por sua vez, demonstrou sobressalência dos valores de CaO, o que pode auxiliar na estabilização da estrutura das células das plantas e que tende a melhorar sua condutividade elétrica. Por fim, enquanto o pó granodiorítico, por seus notáveis teores de K₂O, pode aumentar a eficiência do uso de água ao estimular a resistência ao efeito de secas e doenças, o pó basáltico, por sua vez, poderia ser fundamental em processos nas raízes e na conservação das estruturas celulares. De forma adicional, possivelmente em função das olivinas e piroxênios no basalto, notou-se uma grande concentração de ferro no pó basáltico, que chegou a 378,41 mg/L, quase nove vezes maior que a concentração observada no pó de granodiorito, que foi de 42,47 mg/L. O ferro no pó basáltico, além de auxiliar na respiração e fotossíntese das plantas, pode ser fundamental, se correta e constantemente aplicado, para que solos onde o ferro é potencialmente lixiviado tenham sempre a presença desse elemento.

Quanto à toxicidade dos materiais, a maioria dos elementos considerados tóxicos pela IN nº 05/2016 (As, Hg e Pb) não foram identificados pelo método FRX. Contudo, o presente estudo viu-se diante de dificuldades para determinar as reais concentrações de cádmio e de alumínio nos pós. Cádmio possivelmente está relacionado com partículas de pó advindas de algum mineral como a calcopirita, que é concentrada e pontual, visto que, vide Anexo A, o comportamento do cobre é semelhante ao do cádmio: errático e ora bastante concentrado, ora zerado. Mesmo assim, como mencionado anteriormente, pode ter ocorrido que, de forma casual, as varreduras do método FRX focaram preferencialmente em pontos em que havia concentração destes elementos, o que de maneira alguma refletiria a presença integral e homogênea de cádmio nos pós. O alumínio, por sua vez, não apresentou comportamento lógico nas análises realizadas com as soluções extratoras, o que torna baixa a confiabilidade dos valores de concentrações desse elemento no extrato.

Por fim, ambos os materiais apresentaram densidade de mais de 1,5 tonelada por m³. Como a densidade média do pó de basalto estabeleceu-se em 1545 Kg/m³ e a do pó de granodiorito é de 1620 Kg/m³, ambos os materiais, a depender do equipamento que os maneja, pode ser transportado com algumas dezenas de metros cúbicos.

Tão importante quanto analisar os dados obtidos, que apontam para a disponibilidade de materiais advindos da rochagem de enorme valor nutritivo ao solo e comercial, é ressaltar que os desafios hoje colocados diante da humanidade são imensos, sendo o principal a luta pela própria sobrevivência como espécie, em decorrência do esgotamento dos recursos naturais, do aquecimento global e de todas as consequências acarretadas por tais fenômenos. De acordo com o mais recente relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), que é um conjunto multidisciplinar de cientistas criado pela ONU para monitorar as mudanças climáticas, esses fenômenos já estão causando eventos climáticos mais severos e frequentes, como inundações, secas, incêndios florestais, tempestades, ondas de frio e calor e outros fenômenos extremos. Tal situação tende a se agravar nas próximas décadas, impactando drasticamente a produção de alimentos no mundo e, por consequência, também a fome. Diante deste quadro, se faz necessário que cada país busque, cada vez mais, aumentar sua soberania agrícola e alimentar tornando-se o mais independente possível na produção de seus insumos agrícolas. Espera-se, assim, que os resultados apresentados neste estudo auxiliem e contribuam com o conhecimento acadêmico para o aumento de alternativas da produção de fertilizantes nacionais, com matéria-prima nacional, advinda do setor da mineração, trazendo significativos benefícios econômicos para agricultores e consumidores através da diminuição dos custos da produção e, por consequência, do preço final dos produtos, bem como significativos benefícios ambientais, na direta proporção em que um volume maior de rejeitos de mineração deixarão de ser problema para se converter em solução para o suprimento da demanda por fertilizantes de forma mais autônoma e independente em relação ao mercado externo. Em caso positivo, poderá ser um interessante ponto de partida para a diversificação no mercado de fertilizantes em momentos de escassez, como o presente, que ocorre apesar da alta demanda existente em um país com as dimensões continentais do Brasil.

9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar o importante aspecto da Capacidade de Troca Catiônica desses materiais, análise que demanda considerável tempo de pesquisa em laboratório, a ponto de ter impossibilitado a inclusão deste item no presente trabalho;
- Observar o comportamento de outros elementos essenciais dos pós, além do alumínio, no importante experimento com extração por ácido cítrico, que simula muito bem as condições do solo;
- Conduzir estudos de campo buscando acompanhar o efeito prático da aplicação desses materiais em diferentes dosagens, tipos de solos e de cultivos agrícolas;
- Realizar estudos mais aprofundados a fim de compreender os verdadeiros teores de alumínio no extrato e o porquê de seus dados iniciais apresentarem comportamento errático;
- Avaliar as reais implicações e efeitos dos teores concentrados e pontuais de cádmio nos pós;
- Ainda que somente uma varredura do método FRX tenha mostrado, em uma amostra de pó de basalto, algum teor de pentóxido de fósforo, possivelmente oriundo das agulhas de apatita descritas por Bergmann (2009), seria importante observar se é possível extrair, também, este composto químico dos pós, pois o fósforo é um elemento de fantástico valor nutritivo.

REFERÊNCIAS

- ABNT, NBR. 10004: **Resíduos sólidos—classificação**. Rio de Janeiro, p. 9-11, 2004.
- ABNT, NBR 7181: **Solo - análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.
- ALCARDE, J.C. **Metodologia oficial de análise de corretivos de acidez, 2ª ed.** Rio Claro: Sindicato das Indústrias de Calcário e Derivados para Uso Agrícola no Estado de São Paulo (SINDICAL)/Associação Brasileira dos Produtores de Calcário (ABRACAL), 2009. 58 p.
- ALLEN, T. Particle Size Measurement, 5 * edition, v.I, London: **Chapman and Hall**, 1997.
- ANDA – AGÊNCIA NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Principais indicadores do setor de fertilizantes – Dados 2022**. 2022. Disponível em: https://anda.org.br/wp-content/uploads/2022/08/Principais_Indicadores_2022.pdf. Acesso em: 09 de jun. 2022.
- ARAUJO, A.C.; GALERY, R.; VALADÃO, G.E.S.; VIANA, P.R.M. Fragmentação. In: ARAUJO, A.C.; VALADÃO, G.E.S. **Introdução ao Tratamento de Minérios**. 1 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007. cap.5. p.85-103.
- BARACHO, Larissa Tavares de Albuquerque. **Desenvolvimento e produção de compósitos de matriz cerâmica baseado em alumina-titânia reforçado com óxido de terra-rara para revestimento do sistema de exaustão de turbina aeroespacial**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- BASAK, B. B.; BISWAS, D.R. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by sudan grass (*Sorghum vulgare Pers.*) grown under two Alfisols. **Plant and Soil**, 317: 235-255, 2009.
- BATRA, LALITA; KUMAR, ASHOK. Effect of alkalinity on germination, growth and nitrogen content of whistling pine (*Casuarina equisetifolia*) and beefwood (*C. glauca*). **INDIAN JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE**, v. 63, p. 412-412, 1993.
- BERGMANN, M., HOFF, R., THEODORO, S.M.C.H. Rochagem: Viabilizando o uso sustentável dos descartes de mineração no distrito mineiro de Ametista do Sul, RS,

Brasil. **CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM**,1., 2009. In: Anais... Brasília, D.F., 2009. Embrapa, p.78-83.

BERGMANN, Magda et al. **Granodiorito gnáissico da pedreira JA Silveira, Pelotas, RS: uma rocha granítica com potencial para remineralização de solos**. Serviço Geológico do Brasil-CPRM; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. 2012.

BERGMANN, Magda; SILVEIRA, C. A. P.; BAMBERG, A. L.; MARTINAZZO, R.; GRECCO, M. F. Considerações sobre o potencial de uso agrônômico das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná.. In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J;T. DA; DONATO, M.. (Org.). **Tecnologia e Inovação em Gemas, Jóias e Mineração**. Porto Alegre: UFRGS, 2014, p. 119-126.

BOLSA DE COMERCIO DE ROSARIO. **Demandantes y exportadores de fertilizantes en el mundo**. 2018. Disponível em: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/demandantes-y>. Acesso em: 08 de jul. 2022.

BONIAO, R. D.; SHAMSHUDDIN, J.; RANST, E. V.; et al. Changes in chemical properties and growth of corn in volcanic soils treated with peat, ground basalt pyroclastics, and calcium silicate. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 33: 1219-1233, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Mapa. **Instrução Normativa Mapa nº 05, de 10 de março de 2016**, sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf>. Acesso em: 01 de dez de 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília : MAPA, 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2006.

CARMO, Davi Lopes do; SILVA, Carlos Alberto. Condutividade elétrica e crescimento do milho em solos contrastantes sob aplicação de diversos níveis de calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1762-1772, 2016.

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

CNN BRASIL. **Importação de fertilizantes pelo Brasil aumenta 440% de 1998 a 2021**. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/importacao-de-fertilizantes-pelo-brasil-aumenta-440-de-1998-a-2021/>. Acesso em: 08 de jul. 2022

COSTA, João Miguel Rodrigues. **A consociação de espécies como ferramenta para a otimização do uso do ferro**. 2022. Tese de Doutorado.

CPRM – Companhia de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil. **Gravataí-SH.22-X-C-V, escala 1:100.000: nota explicativa.**/ Ari Roisenberg, Juliana Charão Marques, Flávio Antônio Bachi, José Carlos Frantz. Programa Geologia do Brasil – Levantamentos Geológicos Básicos – Rio Grande do Sul: UFRGS/CPRM, 2008.

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

DE BRITO, RYCHAELLEN SILVA et al. Rochagem na agricultuta: importância e vantagens para adubação suplementar. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 6, n. 1, 2019.

DE CARVALHO, André Mundstock Xavier. Rochagem: um novo desafio para o manejo sustentável da fertilidade do solo. **SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÕES NO CAMPO**, p. 117, 2013.

DIAS, C. **Estudo revela que 30% dos solos do mundo estão degradados**. EMPRAPA, julho de 2016. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de>

noticias/-/noticia/14343883/estudo-revela-que-30-dos-solos-do-mundo-estao-degradados. Acesso em: 28 de jun. 2022

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira.** – Brasília, DF : Embrapa, 212 p. 2018.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.1, p.11-20, 1998.

EXAME, **revista de economia**, 2022. Disponível em: <https://exame.com/agro/governo-lanca-plano-para-reduzir-dependenciaexterna-de-fertilizantes/>. Acesso em: 01 de ago. 2022.

FERREIRA, R. de P.; MOREIRA, A.; RASSINI, J. B. Toxidez de alumínio em culturas anuais. **Embrapa Pecuária Sudeste-Documentos (INFOTECA-E)**, 2006.

FRAGOSO CESAR, A. R. S.; FIGUEIREDO, M. C. H.; SOLIANI, J. R.; FACCINI, U. F. O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia. **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia**, v.3, 1986, p.1322-1343

GRECCO, M. F. et al. Liberação de nutrientes das frações minerais mesocrática e leucocráticas granitóides da pedreira silveira-Pelotas/RS. In: **Embrapa Clima Temperado-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 47., 2014, Salvador, BA. Trilhando as novas fronteiras dos recursos naturais: anais. Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 2014., 2014.

GOMES, Marcia Elisa Boscato. **Mecanismos de resfriamento, estruturação e processos pós-magmáticos em basaltos da Bacia do Paraná: região de Frederico Westphalen (RS)-Brasil.** 1996.

HARTMANN, Léo Afraneo; CHEMALE JUNIOR, Farid; PHILIPP, Ruy Paulo. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: CIGO-UFRGS (Porto Alegre). **50 anos de Geologia**: Instituto de Geociências Contribuições. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, 2007. p. 97-124

HENSEL, J. **Pães de Pedra**. 2003. Traduzido do original: *Brot aus Steinen, durch mineralische Dúngung der felder* -1898- por: Landgraf, H.; Riveira, J. R. & Pinheiro, J. Salles Editora, Canoas/RS – Brasil. 2003.

HILDEBRAND, H. **Refractive Index Considerations in Light Scattering Particle Size Measurements in Advances in Process Control Measurements for the Ceramic Industry**, A. Jillavenkatesa and G. Onoda, ed., American Ceramic Society, Westerville, OH p. 379, 1999.

HINSINGER, P.; BARROS, O. N. F.; BENEDETTI, M. F.; et al. Plant-induced weathering of a basaltic rock: experimental evidence. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 65: 137-152, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Agricultura familiar**. 2019. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_agricultura_familiar.pdf. Acesso em: 05 dez de 2022.

IPCC. **The evidence is clear: the time for action is now. We can halve emissions by 2030**. 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/2022/04/04/ipcc-ar6-wgiii-pressrelease/>. Acesso em: 08 de jan. 2023.

JENKINS, R. **X-Ray Fluorescence Spectrometry**. Second edition. New York: Wiley, 1999.

KLIMASHEVSKII, E. L.; DEDOV, V. M. Localization of mechanism of growth inhibiting action of Al³⁺ in elongating cell walls. **Soviet Plant Physiology**, v. 28, p. 1060-1066, 1976.

LAPIDO-LOUREIRO, Francisco Eduardo et al. **Fertilizantes agroindústria & sustentabilidade**. CETEM/MCT, 2009.

LOPES-ASSAD, M. L.; AVANSINI, S. H.; ROSA, M. M.; et al. The solubilization of potassium-bearing rock powder by *Aspergillus niger* in small-scale batch fermentations. **Canadian Journal of Microbiology**, 56: 598-605, 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006. 638p.

MANNING, D. A. C. Mineral sources of potassium for plant nutrition - a review. **Agronomy for Sustainable Development**, 30: 281-294, 2010.

MANTOVANI, Evandro Chartuni. **Compactação do solo**. 1987. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/475654/1/Compactacaosolo.pdf>. Acesso em: 29 de jul. 2022.

MARTIN, H.W. SPARKS, D.L. **Kinetics of nonexchangeable potassium release from two Coastal Plain soils**. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:885-887, 1983.

MARTINS, E. S.; RESENDE, A.V.; OLIVEIRA, C. G.; et al. **Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos**. In: FERNANDES, F. R.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. (Eds). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 380p.

MAZOYER, Marcel, 1933. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. Marcel Mazoyer, Laurence Roudart; [tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira]. – São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010.

MCBRIDE, M. B.; BLASIAK, J. J. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.43, p.866-870, 1979.

MEDEIROS, Pedro RF et al. Tolerância da cultura do tomate à salinidade do solo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 51-55, 2012.

MELAMED, R. et al. **Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. CETEM/MCT, Série Estudos e Documentos. 2007, p. 26.

MELGAREJO, L. Entre a miopia destrutiva e resiliência construtiva: dez anos de transgenia e agroecologia no Brasil. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 6, p. 67-70, 2013.

MELO, V.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; NOVAIS, R.F. FONTES, M.P.F. **Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto.** R. Bras. Ci. Solo, 19:165-171, 1995.

MELO JÚNIOR, A. S. **Análise quantitativa do material particulado na região de campinas através das técnicas de microfluorescência de raios-X e reflexão total usando radiação síncrotron.** Tese (Doutorado em Química) - Unicamp, Campinas, São Paulo, 2007.

MILANI, Edison José. **Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná.** Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CDR, p. 265-291, 2004.

MUGWIRA, L. M.; PATEL, S. U. Root zone pH changes and ion uptake imbalances by triticale, wheat and rice. **Agronomy Journal**, v. 69, p. 719-722, 1977.

NIEWINSKI, Francielle da Silva. **Do pó de rocha à fertilidade: uma experiência nos solos de Montenegro/RS.** 2017.

NUNES, Jéssica Maria Gregory. **Caracterização de resíduos e produtos da britagem de rochas basálticas e avaliação da aplicação na rochagem.** 2012.

PEATE, David W.; HAWKESWORTH, Chris J.; MANTOVANI, Marta SM. **Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution.** Bulletin of Volcanology, v. 55, n. 1-2, p. 119-139, 1992.

PESTANA, Maribela; VARENNE, Amarilis de; CORREIA, Pedro José. Clorose férrica induzida pelo calcário. **Revista Ceres**, v. 61, p. 849-855, 2014.

PHILIPP, Ruy Paulo. **A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul.** 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PHILIPP, R.P., NARDI, L. V. S.; BITENCOURT, M. de F. O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M.; De ROS, L. F. (eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: CIGO-UFRGS, 2000. p.133-160.

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R. **Suítes graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrogenéticos**. Porto Alegre: Pesquisas, v.31, n.3, 2001, p.257- 266

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R.; NARDI, L.V.S.; LAFON, J.M. **O magmatismo granítico neoproterozóico do batólito Pelotas no sul do Brasil: Novos dados e revisão da geocronologia regional**. Revista Brasileira de Geociências. 2002.

PHILIPP, R. P; 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**. São Paulo: Revista do Instituto de Geociências - USP, v.3, 2003, p. 71-84.

PHILIPP, R. P; MACHADO, R. **The late Neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batholith, southern Brazil**. Elsevier, Journal of South American Earth Sciences, v.19, 2005, p.461-478.

PHILLIPP R.P., PIMENTEL M.M., CHEMALE JR. F. 2016. **Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Sul do Brasil: relações geológicas e geocronologia U-Pb**. Brazilian Journal of Geology, 46:83-104.

PINHEIRO, Sebastião. **A Agroecologia 7.0**. Juquira Candiru Styagraha, 2018.

PIZA, P. A. T.; BERTOLINO, L. C.; SILVA, A. A. S.; et al. Verdete da região de Cedro do Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio. **Geociências**, 30: 345-356, 2011.

PRIMAVESI, Ana Cândida; PRIMAVESI, Odo. **Características de corretivos agrícolas**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004.

RIBEIRO, L. S.; SANTOS, A. R.; SOUZA, L. F. S.; et al. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34: 891-897, 2010.

SAMPAIO, João Alves; SILVA, Fernanda Arruda Nogueira Gomes da. **Determinação das densidades de sólidos e de polpa**. 2007.

SILVA, Luis Felipe de Sales Dorneles et al. **Formação Serra Geral (Cretáceo, Bacia do Paraná): um modelo análogo para reservatórios não convencionais fraturados**. 2015.

SLOOT, H.A. van der; HEASMAN, L.; VAN DEN BERG, M.J.A; QUEVAUVILLER, P.H. **Harmonization of Leaching/Extraction Tests**. Amsterdam, Elsevier, 1997, 292 p.

SONG, S.K. HUANG, P.M. Dynamics of potassium release from potassiumbearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. **Soil Science Society of America Journal**, n. 52, p. 383-390. 1988.

SOUSA, A. G. **Estudo da viabilidade de fabricação de ferramenta de corte em cerâmica baseada em alumina-titânia reforçada com óxido de lantânio**. [Dissertação], Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

SOUZA, F. N. S. **O potencial de agrominerais silicáticos como fonte de nutrientes na agricultura tropical**. Tese (Doutorado) --Programa de Pós Graduação em Geologia, Instituto de Geociências (IGD), Universidade Federal de Brasília (UnB). Brasília, DF. 2014.

SOUZA FILHO, L. F.; CRUZ, J. L.; SOUZA, L. F. S.; et al. Eficiência de um flogopitito como fonte de potássio para o desenvolvimento inicial do mamoeiro. **Espaço & Geografia**, 9: 215-229, 2006.

SPEROTTO, Raul Antonio. Protocolos e métodos de análise em laboratórios de biotecnologia agroalimentar e de saúde humana. **Editores da Univates**. Lajeado-RS, 2014.

STEWART, K. et al. ^{40}Ar – ^{39}Ar geochronology in the Paraná continental flood basalt province. **Earth and Planetary Science Letters**, Atlanta, v. 143, p. 95–109, 1996.

STRAATEN, Peter van. **Agrogeology: the use of rocks for crops**. Ontario, CA: Enviroquest, 2007.

TEDESCO, M.J., GIANELLO, C., BISSANI, C., et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Depto de Solos da UFRGS, Boletim Técnico n.5, 174 p. 1995.

TEIXEIRA, Paulo César et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 2017.

TEIXEIRA, Thayanne B. **Pó de Rochas Basálticas para Utilização como Remineralizador de Solo em Cultivo de Zea Mays L.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Caçapava do Sul, RS. 2021.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O.; ROCHA, E. L.; REGO, K. G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Revista Espaço e Geografia**, v. 9, n. 2, p. 263–292, 2006.

THEODORO, Suzi Maria de Cordova Huff et al. **A importância de uma rede tecnológica de rochagem para a sustentabilidade em países tropicais**. 2012. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/22642>. Acesso em: 27/07/2022

THEODORO, S.H. A construção do marco legal dos remineralizadores. In. **Anais, III Congresso Brasileiro de Rochagem**. EMBRAPA, Pelotas, 2016.

TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B.; et al. Forecasting agriculturally driven global environmental change. **Science**, 292: 281-284, 2001.

VELOSO, C. A. C. et al. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agrícola**, v. 49, p. 123-128, 1992.

WHITE, I. C. (1908) **Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM, 1988. Parte I, p. 1-300; Parte II, p. 301-617. (Ed. Fac Similar).

ZANON, C. **Petrografia, química mineral, e geoquímica dos enxames de diques e suas encaixantes nas regiões de Piratiní e Pinheiro Machado, RS**. 2005. 306f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, USP, São Paulo.

ANEXO A - RESULTADOS GERADOS PELO MÉTODO FRX

Bruker AXS GmbH
 Östliche Rheinbrückenstr. 49
 76187 Karlsruhe
 Germany

S1 Report

Sample: JOÃO	No.: 376	Date: 28/11/2022	Time: 10:01:00
--------------	----------	---------------------	----------------

Duration: 120,6 s

ID: BASALTO

Field 1: 1

Method: General

Type: GeoChem General FP

Alloys: A390 (0,0)

4032 Al (0,0)

A413.2 (0,0)

Element	Concentration [ppm]
Magnesium Oxide MgO	39700,00

Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	82100,00
Silicon Oxide	SiO ₂	355000,00
Phosphorus Oxide	P ₂ O ₅	0,00
Sulfur	S	0,00
Chlorine	Cl	1100,00
Potassium Oxide	K ₂ O	10400,00
Calcium Oxide	CaO	56100,00
Titanium Oxide	TiO ₂	15100,00
Vanadium	V	0,00
Chromium	Cr	0,00
Manganese Oxide	MnO	1730,00
Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	104000,00

Cobalt	Co	5660,00
Nickel	Ni	0,00
Copper	Cu	74,00
Zinc	Zn	0,00
Arsenic	As	0,00
Selenium	Se	0,00
Rubidium	Rb	0,00
Strontium	Sr	0,00
Yttrium	Y	0,00
Zirconium	Zr	0,00
Niobium	Nb	0,00
Element		Concentration [ppm]

Molybdenum	Mo	47,00
Rhodium	Rh	1260,00
Palladium	Pd	0,00
Silver	Ag	0,00
Cadmium	Cd	0,00
Tin	Sn	0,00
Antimony	Sb	0,00
Cerium	Ce	1630,00
Hafnium	Hf	63,00
Tantalum	Ta	0,00
Tungsten	W	0,00
Platinum	Pt	0,00

Gold	Au	0,00
Mercury	Hg	0,00
Lead	Pb	0,00
Bismuth	Bi	0,00
Thorium	Th	0,00
Uranium	U	0,00

Sample: JOÃO	No.: 377	Date: 28/11/2022	Time: 10:05:00
-----------------	----------	---------------------	-------------------

Duration: 120,6 s

ID: BASALTO

Field 1: 2

Method: General

Type: GeoChem General FP

Alloys: A390 (0,0)

A413.2 (0,0)

4032 AI (0,0)

Element		Concentration [ppm]
Magnesium Oxide	MgO	0,00
Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	91600,00
Silicon Oxide	SiO ₂	402000,00
Phosphorus Oxide	P ₂ O ₅	927,00
Sulfur	S	0,00
Chlorine	Cl	1100,00
Potassium Oxide	K ₂ O	11400,00
Calcium Oxide	CaO	59200,00
Titanium Oxide	TiO ₂	15200,00
Vanadium	V	0,00
Chromium	Cr	0,00

Manganese Oxide	MnO	1760,00
Element		Concentration [ppm]
Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	111000,00
Cobalt	Co	6240,00
Nickel	Ni	0,00
Copper	Cu	0,00
Zinc	Zn	0,00
Arsenic	As	0,00
Selenium	Se	0,00
Rubidium	Rb	0,00
Strontium	Sr	0,00
Yttrium	Y	0,00

Zirconium	Zr	0,00
Niobium	Nb	0,00
Molybdenum	Mo	39,00
Rhodium	Rh	1250,00
Palladium	Pd	0,00
Silver	Ag	0,00
Cadmium	Cd	0,00
Tin	Sn	0,00
Antimony	Sb	0,00
Cerium	Ce	1440,00
Hafnium	Hf	96,00
Tantalum	Ta	0,00

Tungsten	W	0,00
Platinum	Pt	0,00
Gold	Au	0,00
Mercury	Hg	0,00
Lead	Pb	0,00
Bismuth	Bi	0,00
Thorium	Th	0,00
Uranium	U	0,00

Sample: JOÃO

No.:
378

Date: 28/11/2022

Time:
10:08:00

Duration: 120,8 s

ID: GRANODIORITO

Field 1: 1

Method: General

Type: GeoChem General FP

Alloys: A390 (0,0)

4032 Al (0,0)

A413.2 (0,0)

Element		Concentration [ppm]
Magnesium Oxide	Mg O	25100,00
Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	94600,00
Silicon Oxide	Si O ₂	447000,00
Phosphorus Oxide	P ₂ O ₅	0,00
Sulfur	S	0,00
Chlorine	Cl	1140,00
Potassium Oxide	K ₂ O	22500,00
Calcium Oxide	Ca O	36900,00
Titanium Oxide	Ti O ₂	5620,00
Vanadium	V	0,00

Chromium	Cr	0,00
Manganese Oxide	Mn O	538,00
Iron Oxide	Fe 2O 3	36200,00
Cobalt	Co	1980,00
Nickel	Ni	0,00
Copper	Cu	0,00
Zinc	Zn	0,00
Arsenic	As	0,00
Selenium	Se	0,00
Rubidium	Rb	0,00
Strontium	Sr	0,00
Yttrium	Y	0,00

Zirconium	Zr	0,00
Niobium	Nb	0,00
Molybdenum	Mo	0,00
Rhodium	Rh	1660,00
Palladium	Pd	0,00
Silver	Ag	0,00
Cadmium	Cd	485,00
Tin	Sn	0,00
Antimony	Sb	0,00
Cerium	Ce	1810,00
Hafnium	Hf	0,00
Tantalum	Ta	0,00

Tungsten	W	0,00
Platinum	Pt	0,00
Gold	Au	0,00
Mercury	Hg	0,00
Lead	Pb	0,00
Bismuth	Bi	0,00
Thorium	Th	0,00
Uranium	U	0,00

Sample: JOÃO No.: 379 Date: 28/11/2022 Time: 10:13:00

Duration: 120,8 s

ID: GRANODIORITO

Field 1: 2

Method: General

Type: GeoChem General FP

Alloys: A390 (0,0)

4032 Al (0,0)

A413.2 (0,0)

Element		Concentration [ppm]
Magnesium Oxide	MgO	35900,00
Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	103000,00
Silicon Oxide	SiO ₂	490000,00
Phosphorus Oxide	P ₂ O ₅	0,00
Sulfur	S	103,00
Chlorine	Cl	1050,00
Potassium Oxide	K ₂ O	25400,00
Calcium Oxide	CaO	38800,00
Titanium Oxide	TiO ₂	6080,00
Vanadium	V	0,00

Chromium	Cr	0,00
Manganese Oxide	MnO	607,00
Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	40200,00
Cobalt	Co	2350,00
Nickel	Ni	0,00
Copper	Cu	0,00
Zinc	Zn	0,00
Arsenic	As	0,00
Selenium	Se	0,00
Rubidium	Rb	0,00
Strontium	Sr	0,00
Yttrium	Y	0,00

Zirconium	Zr	0,00
Niobium	Nb	0,00
Molybdenum	Mo	58,00
Rhodium	Rh	1480,00
Palladium	Pd	0,00
Silver	Ag	0,00
Cadmium	Cd	0,00
Tin	Sn	0,00
Antimony	Sb	0,00
Cerium	Ce	1870,00
Element		Concentration [ppm]
Hafnium	Hf	0,00

Tantalum	Ta	0,00
Tungsten	W	0,00
Platinum	Pt	0,00
Gold	Au	0,00
Mercury	Hg	0,00
Lead	Pb	0,00
Bismuth	Bi	0,00
Thorium	Th	0,00
Uranium	U	0,00

Sample: JOÃO

No.: 380

Date: 05/12/2022

Time: 13:49:00

Duration: 120,8 s

ID: GRANODIORITO

Field 1: 1

Method: General

Type: GeoChem General FP

Alloys: A390 (0,0)

4032 Al (0,0)

A413.2 (0,0)

Element		Concentration [ppm]
Magnesium Oxide	MgO	39400,00
Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	112000,00
Silicon Oxide	SiO ₂	532000,00
Phosphorus Oxide	P ₂ O ₅	0,00
Sulfur	S	0,00
Chlorine	Cl	1010,00
Potassium Oxide	K ₂ O	26800,00
Calcium Oxide	CaO	39900,00
Titanium Oxide	TiO ₂	6200,00

Vanadium	V	0,00
Chromium	Cr	0,00
Manganese Oxide	MnO	666,00
Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	42900,00
Cobalt	Co	2540,00
Nickel	Ni	0,00
Copper	Cu	0,00
Zinc	Zn	0,00
Arsenic	As	0,00
Selenium	Se	0,00
Rubidium	Rb	0,00
Element		Concentration [ppm]

Strontium	Sr	0,00
Yttrium	Y	0,00
Zirconium	Zr	0,00
Niobium	Nb	0,00
Molybdenum	Mo	15,00
Rhodium	Rh	1220,00
Palladium	Pd	0,00
Silver	Ag	0,00
Cadmium	Cd	463,00
Tin	Sn	0,00
Antimony	Sb	0,00
Cerium	Ce	1980,00

Hafnium	Hf	89,00
Tantalum	Ta	0,00
Tungsten	W	0,00
Platinum	Pt	0,00
Gold	Au	0,00
Mercury	Hg	0,00
Lead	Pb	0,00
Bismuth	Bi	0,00
Thorium	Th	0,00
Uranium	U	0,00

Sample: JOÃO

No.: 381

Date: 05/12/2022

Time: 13:51:00

Duration: 120,8 s

ID: GRANODIORITO

Field 1: 2

Method: General

Type: GeoChem General FP

Alloys: A390 (0,0)

4032 Al (0,0)

A413.2 (0,0)

Element		Concentration [ppm]
Magnesium Oxide	MgO	43000,00
Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	110000,00
Silicon Oxide	SiO ₂	535000,00
Phosphorus Oxide	P ₂ O ₅	0,00
Sulfur	S	0,00
Chlorine	Cl	939,00
Potassium Oxide	K ₂ O	26800,00
Calcium Oxide	CaO	39800,00

Element		Concentration [ppm]
Titanium Oxide	TiO ₂	6110,00
Vanadium	V	0,00
Chromium	Cr	0,00

Manganese Oxide	MnO	681,00
Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	43200,00
Cobalt	Co	2580,00
Nickel	Ni	0,00
Copper	Cu	29,00
Zinc	Zn	0,00
Arsenic	As	0,00
Selenium	Se	0,00
Rubidium	Rb	0,00
Strontium	Sr	0,00
Yttrium	Y	0,00
Zirconium	Zr	0,00

Niobium	Nb	0,00
Molybdenum	Mo	0,00
Rhodium	Rh	1210,00
Palladium	Pd	0,00
Silver	Ag	0,00
Cadmium	Cd	0,00
Tin	Sn	0,00
Antimony	Sb	0,00
Cerium	Ce	1790,00
Hafnium	Hf	0,00
Tantalum	Ta	0,00
Tungsten	W	0,00

Platinum	Pt	0,00
Gold	Au	0,00
Mercury	Hg	0,00
Lead	Pb	0,00
Bismuth	Bi	0,00
Thorium	Th	0,00
Uranium	U	0,00

Sample: JOÃO

No.: 382

Date: 05/12/2022

Time: 13:54:00

Duration: 120,8 s

ID: GRANODIORITO

Field 1: 3

Method: General

Type: GeoChem General FP

Alloys: A390 (0,0)

4032 Al (0,0)

A413.2 (0,0)

Element	Concentration [ppm]
Magnesium Oxide MgO	44000,00
Aluminium Oxide Al ₂ O ₃	112000,00
Silicon Oxide SiO ₂	534000,00
Phosphorus Oxide P ₂ O ₅	0,00
Sulfur S	0,00
Chlorine Cl	985,00
Potassium Oxide K ₂ O	26600,00
Calcium Oxide CaO	39400,00
Titanium Oxide TiO ₂	6020,00
Vanadium V	0,00
Chromium Cr	0,00

Manganese Oxide	MnO	678,00
Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	42600,00
Cobalt	Co	2500,00
Nickel	Ni	0,00
Copper	Cu	0,00
Zinc	Zn	0,00
Arsenic	As	0,00
Selenium	Se	0,00
Rubidium	Rb	0,00
Strontium	Sr	0,00
Yttrium	Y	0,00
Zirconium	Zr	0,00

Niobium	Nb	0,00
Molybdenum	Mo	22,00
Rhodium	Rh	1190,00
Palladium	Pd	0,00
Silver	Ag	0,00
Cadmium	Cd	0,00
Tin	Sn	0,00
Antimony	Sb	0,00
Cerium	Ce	1710,00
Element		Concentration [ppm]
Hafnium	Hf	89,00
Tantalum	Ta	0,00

Tungsten	W	0,00
Platinum	Pt	0,00
Gold	Au	0,00
Mercury	Hg	0,00
Lead	Pb	0,00
Bismuth	Bi	0,00
Thorium	Th	0,00
Uranium	U	0,00

Sample: JOÃO

No.: 383

Date: 05/12/2022 Time: 13:58:00

Duration: 120,5 s

ID: BASALTO

Field 1: 1

Method: General

Type: GeoChem General FP

Alloys:

A390 (0,0)

4032 Al (0,0)

A413.2 (0,0)

Element		Concentration [ppm]
Magnesium Oxide	MgO	25800,00
Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	89300,00
Silicon Oxide	SiO ₂	400000,00
Phosphorus Oxide	P ₂ O ₅	0,00
Sulfur	S	0,00
Chlorine	Cl	1030,00
Potassium Oxide	K ₂ O	11000,00
Calcium Oxide	CaO	59300,00
Titanium Oxide	TiO ₂	16000,00
Vanadium	V	0,00

Chromium	Cr	0,00
Manganese Oxide	MnO	1940,00
Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	115000,00
Cobalt	Co	6530,00
Nickel	Ni	0,00
Copper	Cu	117,00
Zinc	Zn	0,00
Arsenic	As	0,00
Selenium	Se	0,00
Rubidium	Rb	0,00
Element		Concentration [ppm]
Strontium	Sr	0,00

Yttrium	Y	0,00
Zirconium	Zr	0,00
Niobium	Nb	0,00
Molybdenum	Mo	0,00
Rhodium	Rh	1290,00
Palladium	Pd	0,00
Silver	Ag	0,00
Cadmium	Cd	580,00
Tin	Sn	0,00
Antimony	Sb	0,00
Cerium	Ce	1920,00
Hafnium	Hf	0,00

Tantalum	Ta	0,00
Tungsten	W	0,00
Platinum	Pt	0,00
Gold	Au	0,00
Mercury	Hg	0,00
Lead	Pb	0,00
Bismuth	Bi	0,00
Thorium	Th	0,00
Uranium	U	0,00

Sample: JOÃO

No.: 384

Date: 05/12/2022

Time: 14:01:00

Duration: 120,5 s

ID: BASALTO

Field 1: 2

Method: General

Type: GeoChem General FP

Alloys: A390 (0,0)

4032 Al (0,0)

A413.2 (0,0)

Element		Concentration [ppm]
Magnesium Oxide	MgO	40800,00
Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	85500,00
Silicon Oxide	SiO ₂	399000,00
Phosphorus Oxide	P ₂ O ₅	0,00
Sulfur	S	0,00
Chlorine	Cl	925,00
Potassium Oxide	K ₂ O	10900,00
Calcium Oxide	CaO	58600,00

Element		Concentration [ppm]
Titanium Oxide	TiO ₂	15900,00
Vanadium	V	0,00
Chromium	Cr	0,00
Manganese Oxide	MnO	1830,00

Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	113000,0 0
Cobalt	Co	6450,0 0
Nickel	Ni	0,0 0
Copper	Cu	117,0 0
Zinc	Zn	46,0 0
Arsenic	As	0,0 0
Selenium	Se	0,0 0
Rubidium	Rb	0,0 0
Strontium	Sr	0,0 0
Yttrium	Y	0,0 0
Zirconium	Zr	0,0 0
Niobium	Nb	0,0 0

Molybdenum	Mo	23,0 0
Rhodium	Rh	1160,0 0
Palladium	Pd	0,0 0
Silver	Ag	0,0 0
Cadmium	Cd	419,0 0
Tin	Sn	0,0 0
Antimony	Sb	0,0 0
Cerium	Ce	0,0 0
Hafnium	Hf	0,0 0
Tantalum	Ta	0,0 0
Tungsten	W	0,0 0
Platinum	Pt	0,0 0

Gold	Au	0,0 0
Mercury	Hg	0,0 0
Lead	Pb	0,0 0
Bismuth	Bi	0,0 0
Thorium	Th	0,0 0
Uranium	U	0,0 0

Sample: JOÃO

No.: 385

Date: 05/12/2022

Time: 14:03:00

Duration: 120,6 s

ID: BASALTO

Field 1: 3

Method: General

Type: GeoChem General FP

Alloys: A390 (0,0)

4032 Al (0,0)

A413.2 (0,0)

Element	Concentration [ppm]
---------	------------------------

Magnesium Oxide	MgO	26400,00
Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	94200,00
Silicon Oxide	SiO ₂	400000,00
Phosphorus Oxide	P ₂ O ₅	0,00
Sulfur	S	0,00
Chlorine	Cl	1170,00
Potassium Oxide	K ₂ O	11300,00
Calcium Oxide	CaO	59400,00
Titanium Oxide	TiO ₂	16200,00
Vanadium	V	0,00
Chromium	Cr	0,00
Manganese Oxide	MnO	1870,00
Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	114000,00
Cobalt	Co	6450,00
Nickel	Ni	0,00
Copper	Cu	76,00
Zinc	Zn	0,00
Arsenic	As	0,00
Selenium	Se	0,00
Rubidium	Rb	0,00
Strontium	Sr	0,00
Yttrium	Y	0,00
Zirconium	Zr	0,00
Niobium	Nb	0,00

Molybdenum	Mo	18,00
Rhodium	Rh	1150,00
Palladium	Pd	0,00
Silver	Ag	0,00
Cadmium	Cd	0,00
Tin	Sn	0,00
Antimony	Sb	0,00
Cerium	Ce	1610,00
Element		Concentration [ppm]
Hafnium	Hf	109,00
Tantalum	Ta	0,00
Tungsten	W	0,00
Platinum	Pt	0,00
Gold	Au	0,00
Mercury	Hg	0,00
Lead	Pb	0,00
Bismuth	Bi	0,00
Thorium	Th	0,00
Uranium	U	0,00

This analysis was done with a Bruker TurboSD handheld XRF analyzer.