

# **ANÁLISE DO POTENCIAL DE ROCHAS BASÁLTICAS PARA REMINERALIZAÇÃO DE SOLOS, REGIÃO DE IRAÍ E FREDERICO WESTPHALEN, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

***POTENTIAL ANALYSIS OF BASALTIC ROCKS FOR SOIL REMINERALIZATION, IRAÍ AND FREDERICO WESTPHALEN REGION, RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL***

***ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LAS ROCAS BASÁLTICAS PARA LA REMINERALIZACIÓN DE SUELOS, REGIÓN DE IRAÍ Y FREDERICO WESTPHALEN, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL***

**Emanuëlle Soares Cardozo**

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)  
E-mail: emanuellesoarescardozo@gmail.com

**Viter Magalhães Pinto**

Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)  
E-mail: viter.pinto@gmail.com

**Bruno Müller Vieira**

Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)  
E-mail: bruno.ceng.ufpel@gmail.com

**Willian César Nadaleti**

Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)  
E-mail: williancezarnadaletti@gmail.com

**Johny Barreto Alves**

Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
E-mail: johnybarreto@gmail.com

## **RESUMO**

A utilização de fertilizantes químicos em larga escala gera consequências danosas ao meio ambiente. Assim, o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de técnicas que visam a suprir as necessidades nutricionais dos solos brasileiros com menor impacto ambiental têm se intensificado na última década. Uma alternativa de baixo impacto ambiental é a remineralização dos solos, que constitui um tipo de adubação agrícola realizada por meio da adição de rochas moídas. Situada no norte do Rio Grande do Sul, a região estudada é dotada de solos desenvolvidos sobre rochas basálticas e tem na atividade agrícola sua principal fonte econômica. Os basaltos, além de gerar um solo rico em nutrientes para agricultura, são de ampla utilização na construção civil. A região possui várias pedreiras, além de mineração de ametista e ágata. Essas atividades geram grande material de rejeitos e resíduos com possível potencial para remineralização de solos. A Instrução Normativa nº 5 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil define os parâmetros mínimos para que uma rocha seja destinada à remineralização de solos. Neste estudo, traçou-se um comparativo entre a geoquímica e a mineralogia dos basaltos aflorantes nos municípios de Iraí e Frederico Westphalen, norte do Rio Grande do Sul, com os parâmetros estabelecidos pelo MAPA. Constatou-se que as litologias analisadas apresentam teores compatíveis com a legislação vigente, como o teor médio de K<sub>2</sub>O equivalente a 1,29%; o teor da soma de bases abrangendo um intervalo entre 13,35 e 15,05%; e o índice médio de sílica livre correspondente a 12,31%. É pertinente concluir que os basaltos analisados são potenciais remineralizadores de solos.

**PALAVRAS-CHAVE:** fertilizantes alternativos; agricultura sustentável; geologia ambiental.

## ABSTRACT

The use of chemical fertilizers on a large scale generates harmful consequences for the environment. The development and improvement of techniques aimed at meeting the nutritional needs of Brazilian soils with the least possible environmental impact have intensified in the last decade. The soil remineralization technique is a type of agricultural fertilization through the addition of ground rocks, being an alternative with low environmental impact. The region studied has agricultural activity as its main economic source, with soils developed on basaltic rocks. In addition to generating a soil rich in iron, Basalts are widely used in civil construction and highways, for example. The region has several quarries, as well as amethyst and agate mining. These activities generate large amounts of tailings and residues with possible potential for soil remineralization. Normative Instruction No. 5 from Brazil's Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA) assigns the minimum parameters for a rock to be used for soil remineralization. This study drew a comparison between the geochemistry and mineralogy of outcropping basalts in Iraí and Frederico Westphalen cities, in the north of Rio Grande do Sul state, with the parameters established by MAPA. It has been determined that the analyzed lithologies demonstrate levels by the current legislation. For instance, the average K<sub>2</sub>O content, equivalent to 1.29%, the sum of base content ranging between 13.35 and 15.05%, and the average index of free silica, corresponding to 12.31%. This substantiates the relevance of concluding that the examined basalts hold the potential to serve as soil remineralizers.

**KEYWORDS:** alternative fertilizers; sustainable agriculture; environmental geology.

## RESUMEN

La utilización a gran escala de fertilizantes químicos genera consecuencias perjudiciales para el medio ambiente. Por lo tanto, el desarrollo y perfeccionamiento de técnicas que busquen satisfacer las necesidades nutricionales de los suelos brasileños con el menor impacto ambiental posible se ha intensificado en la última década. La remineralización de los suelos es un tipo de fertilización agrícola que implica la adición de rocas molidas, siendo una alternativa de bajo impacto ambiental. La región estudiada tiene en la actividad agrícola su principal fuente económica, con suelos desarrollados sobre rocas basálticas. Estos basaltos, además de enriquecer el suelo con nutrientes para la agricultura, también son ampliamente utilizados en la construcción. La región cuenta con varias canteras, además de la minería de amatista y ágata. Estas actividades generan una gran cantidad de desechos y residuos con un posible potencial para la remineralización de suelos. La Instrucción Normativa n° 5 del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (MAPA) de Brasil establece los parámetros mínimos para que una roca pueda destinarse a la remineralización de suelos. En este estudio, se realizó una comparación entre la geoquímica y la mineralogía de los basaltos aflorantes en los municipios de Iraí y Frederico Westphalen, al norte del Estado de Rio Grande do Sul, con los parámetros establecidos por el MAPA. Se observó que las litologías analizadas presentan niveles compatibles con la legislación vigente, como el promedio de K<sub>2</sub>O equivalente al 1,29%; el contenido de la suma de bases que abarca un rango entre 13,35 y 15,05%; y el índice promedio de sílice libre correspondiente al 12,31%. Por lo tanto, se concluye que los basaltos analizados tienen el potencial de ser remineralizadores de suelos.

**PALABRAS-CLAVE:** fertilizantes alternativos; agricultura sostenible; geología ambiental.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores importadores de insumos agrícolas do mundo. Em 2021, a importação de fertilizantes intermediários e formulações NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) totalizou mais de 39 milhões de toneladas, 85,49% do consumo nacional (ANDA, 2022). Todavia, o uso de fertilizantes químicos em larga escala gera consequências danosas ao meio ambiente. O potássio, que não é consumido pelas plantas, é lixiviado para os corpos hídricos e resulta no

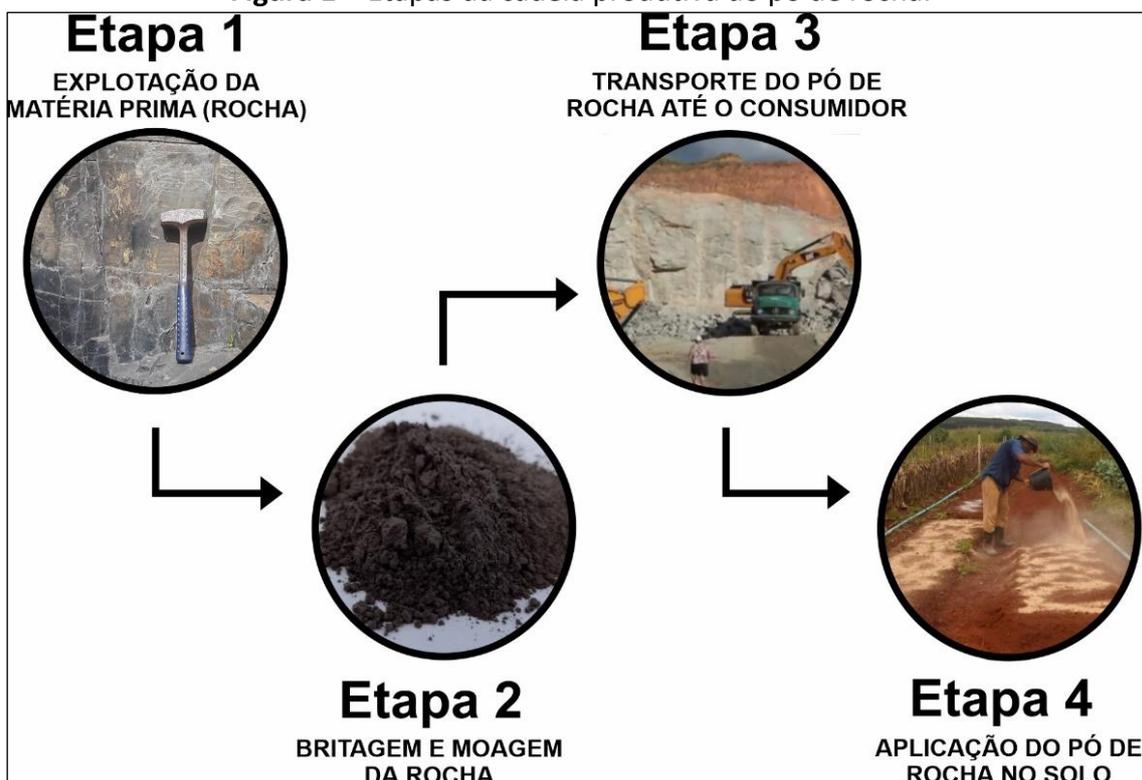
processo de eutrofização; o fósforo fica retido na estrutura de argilas ricas em alumínio e ferro, o que contribui para a contaminação de solos, e o Nitrogênio libera Óxido Nitroso na atmosfera, um dos gases do Efeito Estufa (THEODORO; LEONARDOS, 2011).

O desenvolvimento e o aprimoramento de tecnologias ambientais e economicamente viáveis, que possibilitam a redução da dependência brasileira por fertilizantes químicos importados, intensificaram-se de forma significativa na última década. Entre as possíveis alternativas, destaca-se a remineralização, também conhecida como rochagem. O termo refere-se a uma prática de fertilização do solo pela adição do pó de rocha, que possibilita recompor os nutrientes lixiviados e/ou perdidos pelo uso agrícola intensivo, sem afetar o equilíbrio natural do meio (MACHADO et al., 2009). Os minerais que constituem o pó de rocha, ao serem incorporados ao solo, passam pelo processo de intemperismo, resultando na disponibilização de uma série de macro e micronutrientes, fundamentais para o rejuvenescimento dos solos (RAMOS et al., 2014).

Theodoro et al. (2013) classificam a remineralização como um fertilizante inteligente, pois o pó de rocha possui baixa capacidade de solubilização. Isso permite que as plantas utilizem os nutrientes na medida em forem necessários ao seu desenvolvimento, sem riscos de contaminação dos solos e corpos hídricos pela oferta de nutrientes em excesso.

Os primeiros registros de remineralização dos solos pela adição de pó de rocha datam da Grécia Antiga. No século XVIII, o geocientista James Hutton, considerado o fundador da Geologia Moderna, utilizava a técnica de rochagem em sua fazenda na Escócia (LEONARDOS et al., 1998). Entre os anos 1940 e 1950, foram realizados avanços significativos relacionados ao tema. Na América do Norte, o mineral plagioclásio foi caracterizado como uma fonte alternativa de Cálcio e, na África Ocidental, estudos experimentais indicaram a eficácia do emprego de rocha basáltica para a remineralização de solos degradados pelo intemperismo (RAMOS et al., 2014).

A cadeia produtiva do pó de rocha é composta por quatro etapas (Figura 1). A matéria prima, no caso a rocha, é explorada para um processo de britagem e moagem, sendo convertida em pó. O pó de rocha é transportado e, posteriormente, aplicado no solo (THEODORO, 2020).

**Figura 1** – Etapas da cadeia produtiva do pó de rocha.

Fonte: Adaptado de Theodoro (2020).

No Brasil, os trabalhos pioneiros relacionados à remineralização de solos datam de meados da década de 1950. Frayha (1952) propôs a utilização de fonólitos, um tipo de rocha vulcânica, como fonte de Potássio para agricultura, ao passo que Ilchenko e Guimarães (1953), após a análise das rochas aflorantes na região do município de Poço de Caldas, Minas Gerais (MG), indicaram a aplicabilidade destas rochas como remineralizadores de solos. Obtendo relevância internacional, a pesquisa de Leonardos et al. (1987) aponta para o aumento significativo do índice de fertilidade de solos lateríticos em resposta à adição de pó de basalto.

No final do século XX, Leonardos et al. (2000) apresentaram uma perspectiva promissora em relação à expansão da técnica de rochagem no Brasil. Os autores enfatizaram a importância da realização de ações governamentais para a difusão do uso de pó de rocha para melhorar a qualidade dos solos. Em 2013, os remineralizadores de solo foram inseridos na categoria de insumos agrícolas, alterando a Lei dos Fertilizantes (Lei nº 6.894/1980). A inserção resultou na Lei nº 12.890 de 10 de dezembro de 2013, da qual o Art.3º aponta a seguinte definição de remineralizadores de solo:

Art. 3º remineralizador, o material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do

solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo (BRASIL, 2013).

A Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) atribuiu as especificações e os parâmetros mínimos para que uma litologia seja destinada à remineralização. Dentre esses parâmetros, destacam-se que:

- I. A soma de bases ( $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$ ) deve ser igual ou superior a 9%;
- II. O teor de Óxido de Potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) deve ser igual ou superior a 1%;
- III. O conteúdo de  $\text{SiO}_2$  livre (quartzo) não deve ultrapassar 25%;
- IV. Em relação aos elementos potencialmente tóxicos, o teor limite é de 15 ppm de Arsênio, 10 ppm de Cádmio, 0,1 ppm de Mercúrio e 200 ppm de Chumbo.

As rochas vulcânicas, como basaltos e dacitos, são mais propensas para esse fim. A técnica de rochagem não tem como limitante o uso de uma única litologia que contemple todos os parâmetros estabelecidos pelo MAPA. Diversos estudos relacionados ao melhoramento do solo mediante a utilização da mistura de diferentes litologias foram desenvolvidos e obtiveram resultados satisfatórios. Silva et al. (2022), ao analisarem a mistura de pó de gabro com pó de dacito, concluíram que a mistura é uma fonte de Fósforo com aplicabilidade agronômica.

Associada à problemática do elevado uso de fertilizantes químicos, está a controvérsia acerca do descarte dos resíduos de mineração. A Geodiversidade brasileira favorece a mineração de diversas substâncias, todavia a mineração é cercada de problemas ambientais e sociais, que abrangem desde a implantação do empreendimento até o passivo ambiental gerado. Segundo Markoski (2006), a acumulação de rejeitos da mineração (litologias associadas ao depósito explorado, porém sem valor comercial) pode resultar no assoreamento de drenagens devido ao descarte inadequado.

Em âmbito nacional, sobressaem dois grandes desastres ambientais decorrentes do rompimento de barragens de rejeitos de mineração (THOMPSON et al., 2020): ambos ocorreram no estado de MG, nos municípios de Mariana e Brumadinho, em 2015 e 2019, respectivamente. Esses desastres resultaram em isolamento de áreas habitadas, destruição de moradias e estruturas urbanas, fragmentação de habitats, destruição de áreas de preservação permanente e vegetação

nativa, restrições à pesca e dizimação da fauna. A pesquisa apresentada por Cardoso *et al.* (2022) indicou concentrações anômalas de Chumbo, Estrôncio, Vanádio, Ítrio e Zinco em esqueletos de corais a mais de 220 km ao norte da foz do rio Doce, sendo esses teores associados ao rompimento da barragem de Mariana. A remineralização constitui uma alternativa promissora para o aproveitamento dos subprodutos da mineração, pois possibilita agregar valor a estes e torná-los coprodutos da extração mineral.

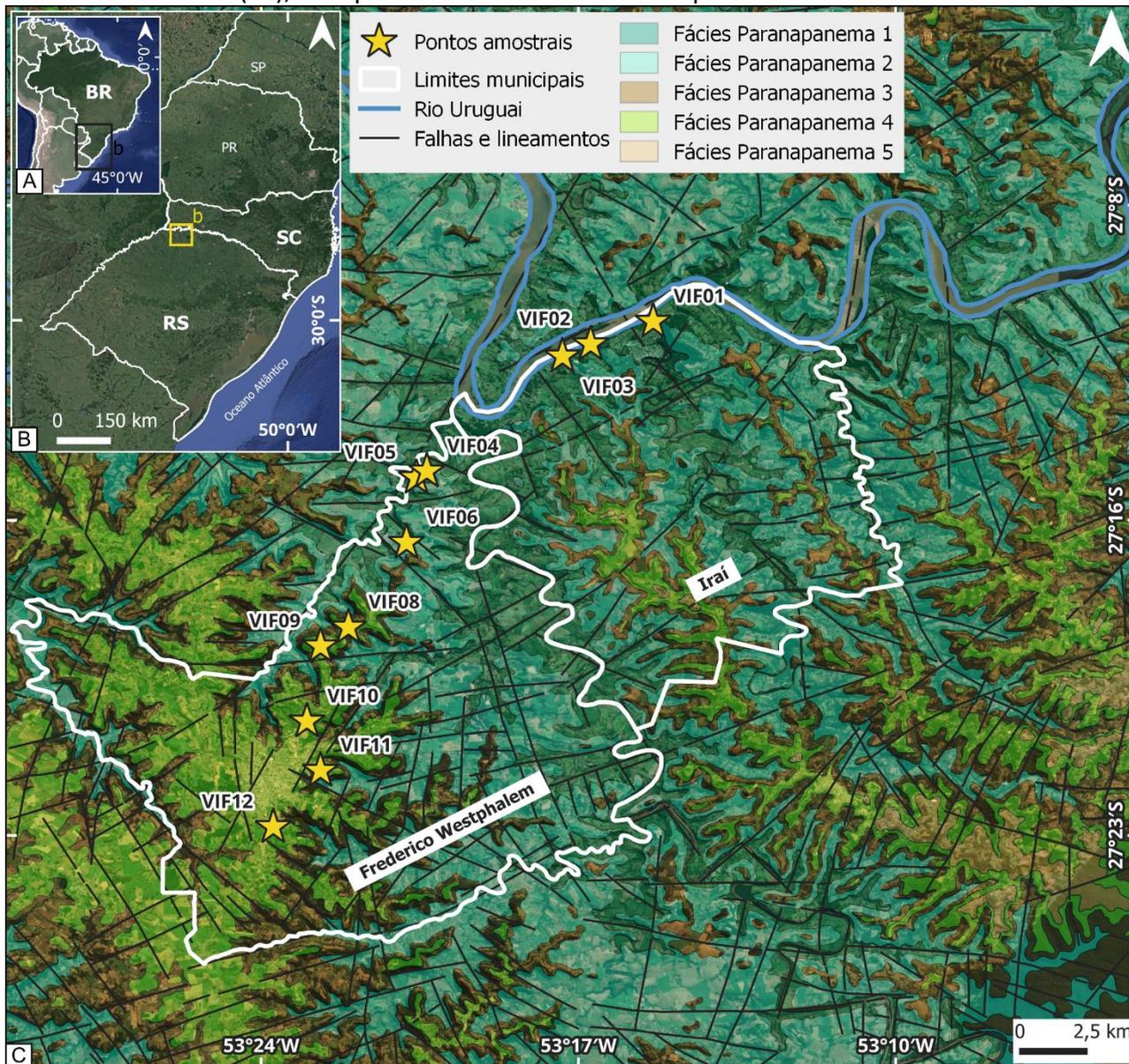
O Rio Grande do Sul (RS) destaca-se por ser o maior produtor mundial de ametistas e ágatas, cuja mineração se concentra no norte do estado. Os geodos de ametista e ágata associam-se a basaltos e dacitos, litologias que são consideradas rejeitos da mineração, por não possuírem viabilidade econômica. As pesquisas de Ramos *et al.* (2014), Santos *et al.* (2016), Ramos *et al.* (2017), Korchagin *et al.* (2019) e Medeiros *et al.* (2021) indicam que os basaltos e dacitos, rejeitos da mineração nos municípios de Ametista do Sul e Nova Prata, são viáveis para a remineralização de solos.

Situados ao norte do Estado do RS, os municípios de Iraí e Frederico Westphalen estão inseridos na Formação Serra Geral, caracterizada por uma sucessão de derrames basálticos. Os municípios apresentam expressiva mineração (pedreiras) de materiais de construção civil e rodovias, além de ocorrências ricas em ametista e ágata, com consequente geração de rejeitos. Assim, mediante o exposto, o presente estudo tem como objetivo analisar os teores de Óxido de Potássio e da Soma de Bases (SB) e o índice de Sílica livre (quartzo) dos basaltos aflorantes nos municípios de Iraí e Frederico Westphalen (RS), de modo a determinar se estes parâmetros estão em conformidade com o estabelecido pela Instrução Normativa nº 5 do MAPA para possível utilização dos rejeitos para remineralização dos solos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo, foram analisadas doze amostras de basaltos da Formação Serra Geral. Três pontos de coleta estão localizados no município de Iraí e nove, no município de Frederico Westphalen (Figura 2, Tabela 1).

**Figura 2** – Mapa de localização e contexto geológico; A) Área de estudo em contexto continental, sinalizada pelo retângulo de traço preto no Sul do território brasileiro; B) Área de estudo em contexto federal, ilustrada pelo retângulo de traço amarelo, no norte do estado do Rio Grande do Sul; C) Mapa geológico do local de pesquisa, nos municípios de Frederico Westphalen (RS) e Iraí (RS), com pontos amostrais sinalizados pelo ícone estrela.



Fonte: Modificado de Dias e Parisi (2007) e Google Earth Pro (2022).

**Tabela 1** – Localização dos pontos de amostragem de basaltos em Iraí e Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil.

Amostras	Município	Coordenada - UTM		Elevação
		SIRGAS 2000		
		mE	Ms	
VIF 1	Iraí	276875	6991143	210 m
VIF 2	Iraí	274547	6990143	240 m
VIF 3	Iraí	273498	6989613	260 m
VIF 4	Frederico Westphalen	268508	6984663	290 m
VIF 5	Frederico Westphalen	268119	6984383	320 m
VIF 6	Frederico Westphalen	267800	6981639	360 m
VIF 7	Frederico Westphalen	267093	6979800	390 m
VIF 8	Frederico Westphalen	265496	6978117	410 m
VIF 9	Frederico Westphalen	264466	6977299	425 m
VIF 10	Frederico Westphalen	264016	6974120	460 m
VIF 11	Frederico Westphalen	264762	6971953	480 m
VIF 12	Frederico Westphalen	263045	6969493	540 m

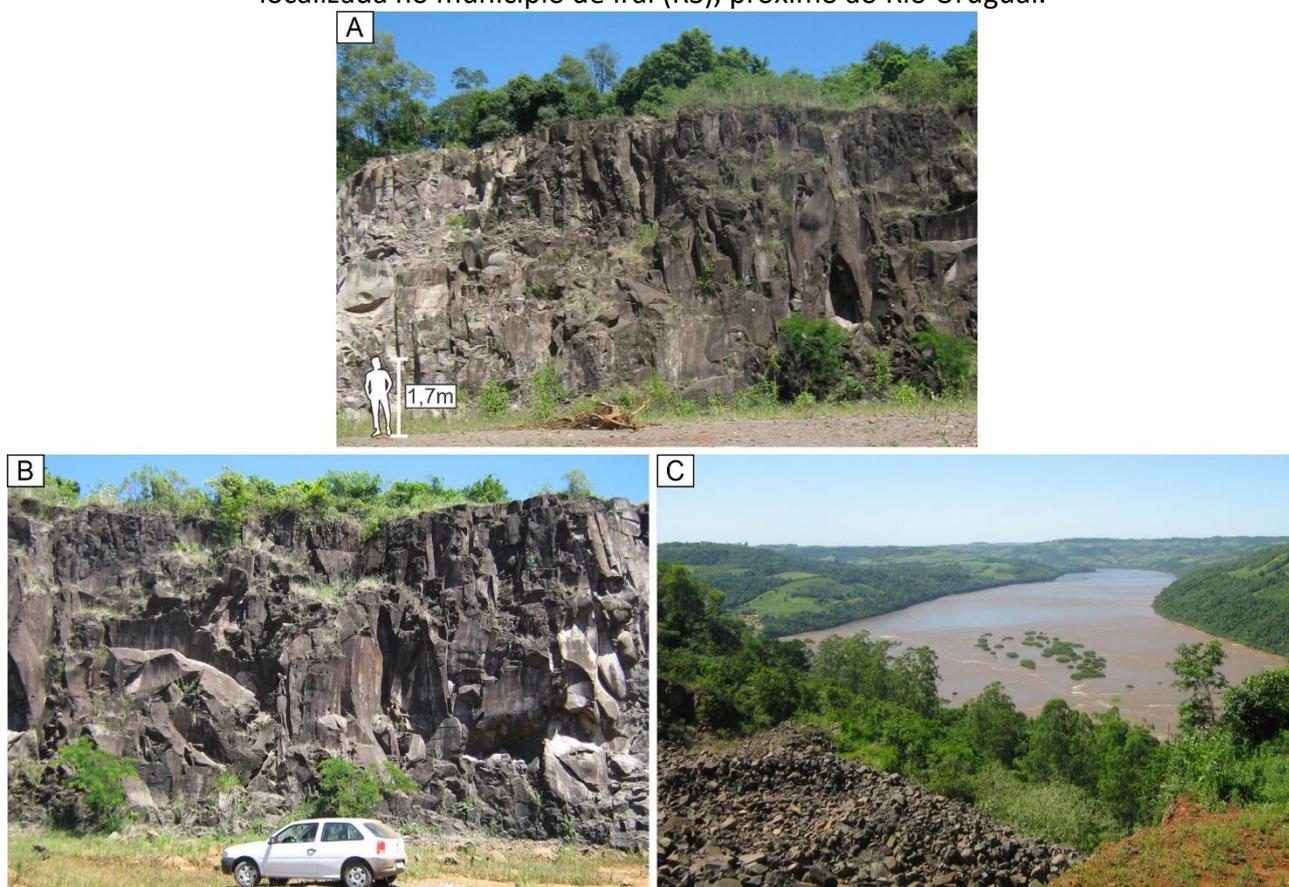
Fonte: Pinto e Hartmann (2011).

As análises geoquímicas dos basaltos, extraídas da pesquisa de Pinto e Hartmann (2011), foram realizadas pelo laboratório *Acme Analytical Laboratories*, localizado em *Vancouver* (Canadá). Para a detecção dos teores de Sílica ( $\text{SiO}_2$ ), Dióxido de Titânio ( $\text{TiO}_2$ ), Óxido de Alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Ferro Total ( $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t})$ ), Óxido de Magnésio ( $\text{MgO}$ ), Óxido de Cálcio ( $\text{CaO}$ ), Óxido de Sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), Óxido de Potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), Fosfato ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), Óxido de Manganês ( $\text{MnO}$ ) e Óxido de Cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), empregou-se a técnica de espectrometria de emissão atômica (ICP-OES). A ICP-OES consiste em uma técnica multielementar embasada na discriminação e na medição da energia eletromagnética emitida por átomos e íons excitados em plasma de Argônio (KHAN et al., 2022). A preparação das amostras para a ICP-OES consiste na fusão de 0,2g de amostras com Metaborato de Lítio ( $\text{LiBO}_2$ ) e

diluição em Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). Os dados geoquímicos obtidos foram analisados por meio do software livre *Geochemical Data Toolkit* (JANOUŁEK et al., 2006).

A determinação do índice de quartzo consistiu na análise petrográfica de duas lâminas delgadas (VIF 2 e VIF 12), confeccionadas pelo Núcleo de Preparação de Amostras (NPA) do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Ambas as amostras foram coletas em pedreiras (Figura 3A e B), e tais litologias compõem pilhas de rejeitos da mineração, sendo, portanto, insignificativas de valor comercial (Figura 3C).

**Figura 3** – A) Pedreira localizada no município de Frederico Westphalen (RS), na qual foi realizada a coleta da amostra VIF 12 (UTM 6969493 mS e 263045 mE); B) Pedreira situada no município de Iraí (RS), com a coleta da amostra VIF 2 (UTM 6990143 Sm e 274547 Em); C) Pilha de rejeitos localizada no município de Iraí (RS), próximo ao Rio Uruguai.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Para a contabilização da incidência dos cristais de quartzo, utilizou-se um microscópio petrográfico binocular polarizado modelo LM5100-PTR com *charriot* acoplado, pertencente ao Laboratório de Petrografia da Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os basaltos analisados exibem teores satisfatórios para a remineralização de solos. Apresentam um moderado teor médio de SiO<sub>2</sub>, que corresponde a 49,47%, e altos teores médios de MgO (4,62%) e CaO (8,60%). No que respeita aos macronutrientes essenciais à remineralização do solo, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, os basaltos têm uma variação de 0,27% a 0,60% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e de 0,77% a 1,59% de K<sub>2</sub>O (Tabela 2).

**Tabela 2** – Análise geoquímica dos basaltos.

Amostras	VIF 1	VIF 2	VIF 3	VIF 4	VIF 5	VIF 6	VIF 7	VIF 8	VIF 9	VIF 10	VIF 11	VIF 12
<b>Óxidos (%)</b>												
SiO <sub>2</sub>	49,75	49,02	49,47	47,23	49,06	49,31	50,4	50,53	49,86	50,12	50,54	50,17
TiO <sub>2</sub>	3,95	3,78	3,35	3,88	3,69	2,42	2,41	2,45	2,46	2,55	2,45	2,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,00	12,51	12,46	12,59	12,36	13,00	12,52	12,53	12,42	12,82	12,66	12,77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (t)	14,78	15,39	15,25	15,98	15,81	14,92	14,91	15,82	15,5	16,14	16,02	15,61
MgO	4,34	3,96	4,14	4,53	4,33	5,64	5,1	4,74	4,84	4,6	4,89	4,8
CaO	8,19	8,3	8,33	8,68	8,36	9,82	8,59	8,8	8,4	8,5	8,7	8,6
Na <sub>2</sub> O	2,59	2,51	2,76	2,42	2,47	2,25	2,45	2,44	2,39	2,66	2,47	2,43
K <sub>2</sub> O	1,56	1,59	0,88	1,17	1,48	0,77	1,36	1,22	1,59	1,27	1,29	1,26
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,48	0,6	0,47	0,59	0,53	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,26	0,27
MnO	0,19	0,21	0,21	0,21	0,22	0,2	0,22	0,22	0,21	0,19	0,23	0,2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,01	0,01	0	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

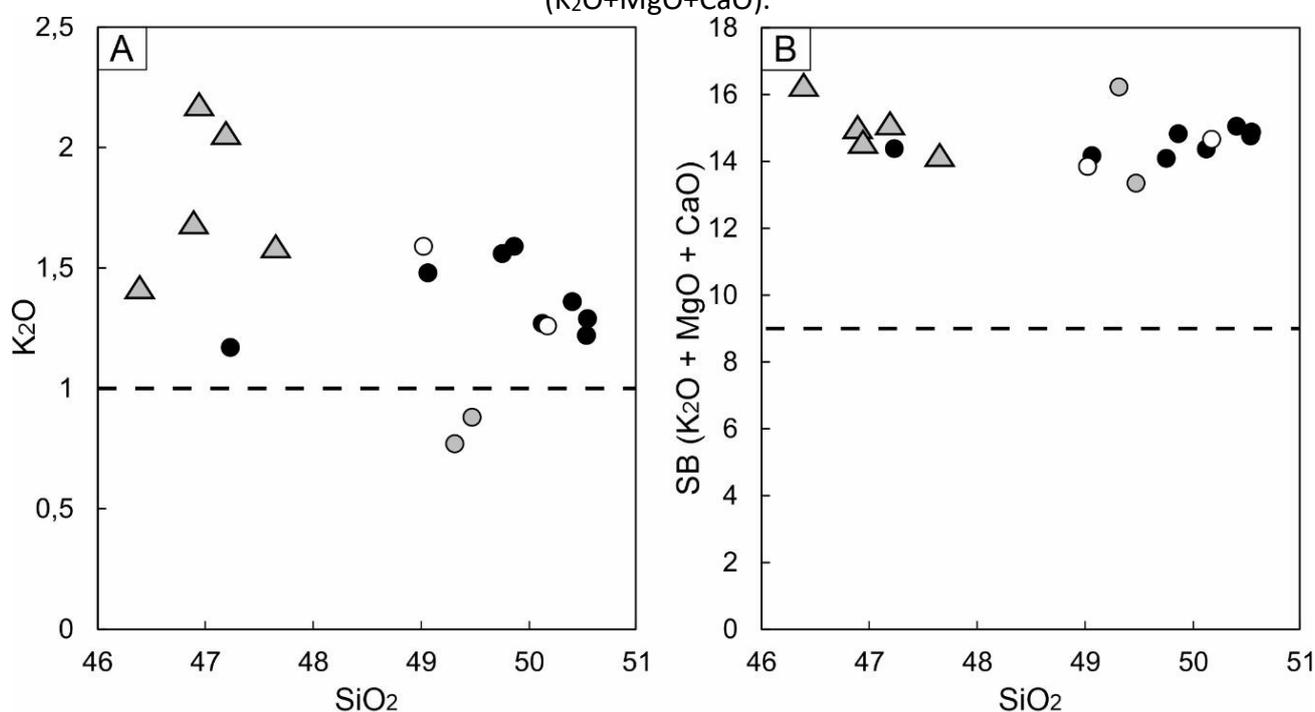
Fonte: Pinto e Hartmann (2011).

Segundo os parâmetros estabelecido pelo MAPA, para esteja apta à comercialização como remineralizador de solos, a litologia deve apresentar um teor de K<sub>2</sub>O igual ou superior a 1%. Nas amostras VIF 3 e VIF 6, o teor de K<sub>2</sub>O está abaixo do teor mínimo (0,88% e 0,77%, respectivamente) (Tabela 2). Entretanto, o teor médio obtido correspondente à totalidade das amostras é de 1,29%. Excluindo as duas amostras de teor insuficiente, o teor médio é de 1,38%, estando em conformidade com a legislação vigente. As pedreiras apresentam teores de 1,6% (VIF-2) e 1,26% (VIF-12). O teor

da SB ( $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$ ) compreende um intervalo entre 13,35 e 15,05%. As amostras, em sua totalidade, apresentaram o teor de SB superior a 9%, parâmetro mínimo exigido para que uma litologia seja viável para a remineralização, segundo a Instrução Normativa nº 5 do MAPA.

Traçou-se um comparativo entre a litologia-alvo deste estudo e os dados obtidos por Korchagin et al. (2019), referentes aos basaltos aflorantes na região de Ametista do Sul (RS), os quais, de acordo com os autores, apresentam aplicabilidade agrônômica. Tal comparativo evidenciou a similaridade geoquímica entre ambas as litologias no que se refere ao teor de  $\text{K}_2\text{O}$  (Figura 4A) e a SB (Figura 4B).

**Figura 4** – Diagramas binários utilizando o teor de  $\text{SiO}_2$  como índice de diferenciação. A)  $\text{K}_2\text{O}$ ; B) SB ( $\text{K}_2\text{O} + \text{MgO} + \text{CaO}$ ).



**LEGENDA**

- △ Basaltos de Ametista do Sul (KORCHAGIN et al., 2019)
- Basaltos de Iraí e Frederico Westphalen (PINTO; HARTMANN, 2011)
  - VIF 1, VIF 4, VIF 5, VIF 7, VIF 8, VIF 9, VIF 10 e VIF 11
  - VIF 3 e VIF 6
  - VIF 2 e VIF 12 (Pedreiras)

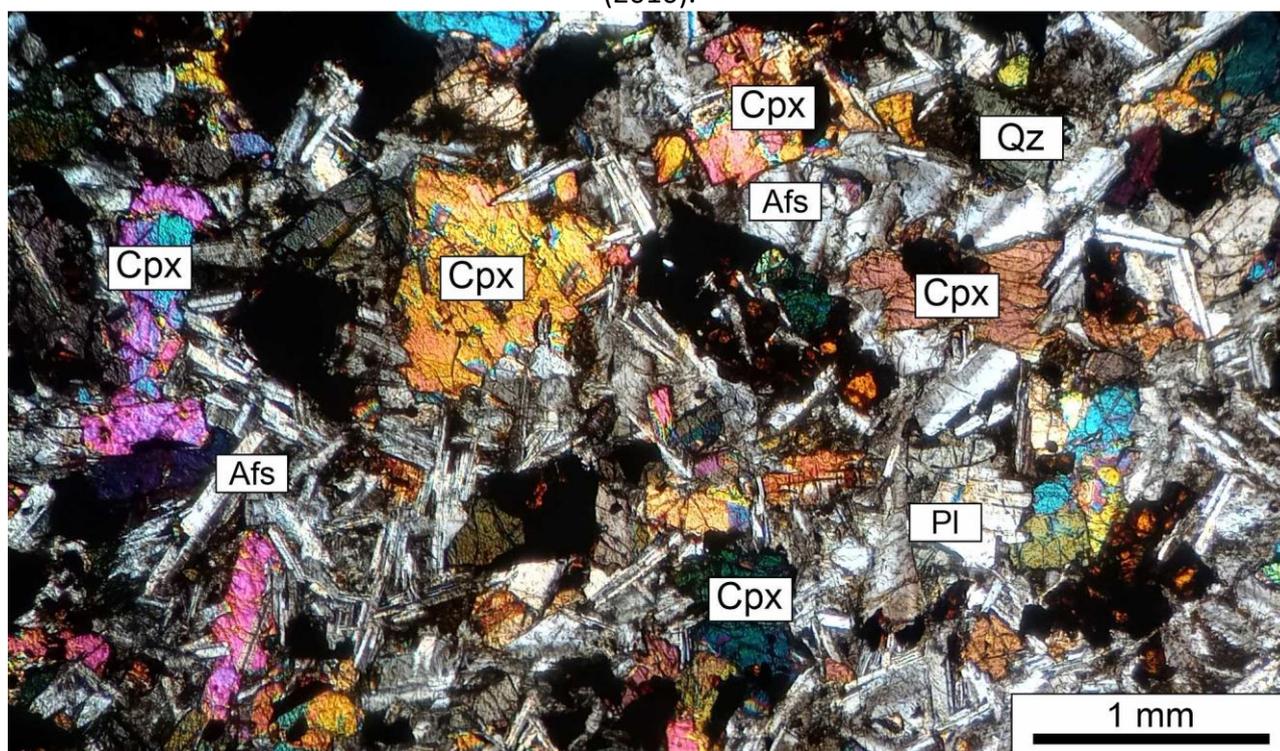
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Com o intuito de determinar o índice de  $\text{SiO}_2$  livre médio dos basaltos aflorantes nos municípios de Iraí e Frederico Westphalen (RS), foram analisadas duas lâminas delgadas relativas às

amostras VIF 02 e VIF 12. O índice de SiO<sub>2</sub> livre nas amostras VIF 02 e VIF 12 equivale a 12,60% e 12,03%, respectivamente. Ambos os valores são compatíveis com aquilo que estabelece a Instrução Normativa n° 5 do MAPA, a qual determina que o teor de SiO<sub>2</sub> livre deve ser inferior a 25%.

De acordo com Pinto et al. (2010), a textura predominante dos basaltos é sub-afanítica, com granulação fina e cristais parcialmente equigranulares. A textura porfírica ocorre de forma secundária, com megacristais de plagioclásio e clinopiroxênio imersos em uma matriz com granulação muito fina. Os basaltos são compostos por plagioclásio, clinopiroxênio, quartzo, feldspato alcalino e minerais opacos (Figura 5). O mineral opaco predominante é a titanomagnetita, que ocorre associada à ilmenita.

**Figura 5** – Fotomicrografias da amostra VIF 02 em luz polarizada, observa-se cristais de feldspato alcalino (Afs), clinopiroxênio (Cpx), plagioclásio (Pl) e quartzo (Qz); Simbologia: Whitney e Evans (2010).



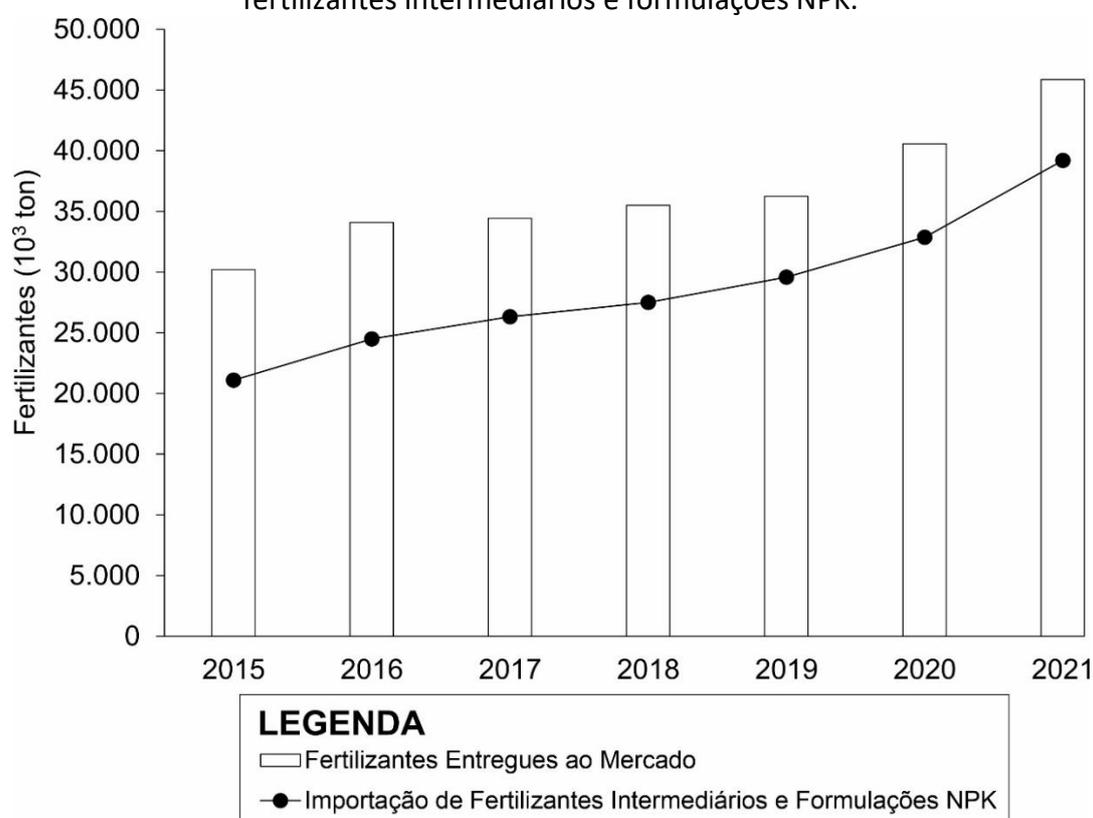
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A integração dos resultados geoquímicos e mineralógicos com os parâmetros estabelecidos pela Instrução Normativa n° 5 do MAPA torna pertinente classificar os basaltos aflorantes na região de Iraí e Frederico Westphalen (RS) como potenciais remineralizadores de solo. A economia brasileira está altamente atrelada ao setor agrícola e, nesse contexto, os solos brasileiros são

suscetíveis a uma gradativa redução da fertilidade, devido à intensa atividade agrícola associada ao processo natural de intemperismo (THEODORO; LEONARDOS, 2011). Esse fato evidencia a necessidade crescente do desenvolvimento de fertilizantes que sejam altamente eficazes e gerem menor impacto ambiental. Preconiza-se que a matéria prima dos fertilizantes provenha de fontes nacionais, no caso, os materiais de descarte (rejeitos de mineração), os quais podem ser utilizados em regiões de intensa atividade agrícola.

Traçando um comparativo entre dados disponibilizados pela Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA) referentes aos oito primeiros meses de 2021 e os de 2022, observa-se que a entrega de fertilizantes ao mercado brasileiro decaiu 10,2%, ao passo que a importação de fertilizantes intermediários e formulações NPK teve um acréscimo de 1,2%. Considerando o período entre 2015 e 2021, de acordo com a ANDA (2022), a totalidade de fertilizantes entregues ao mercado brasileiro aumentou 34,13% e a importação de fertilizantes intermediários e formulações NPK, 46,20% (Figura 6).

**Figura 6** – Correlação entre a entrega de fertilizantes ao mercado brasileiro e a importação de fertilizantes intermediários e formulações NPK.



Fonte: Adaptado de ANDA (2022).

A Rússia destaca-se por ser o maior exportador de fertilizantes à base de nitrogênio e fósforo, em escala mundial, e o principal fornecedor de fertilizantes ao Brasil. Entretanto, o suprimento desses insumos agrícolas pode ser fortemente afetado em decorrência dos conflitos no Leste Europeu (BURBANO et al., 2022). Esse fato evidencia a importância do desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas, como é o caso da remineralização, que possibilitem a redução da dependência brasileira da importação de fertilizantes.

#### 4. CONCLUSÕES

O presente estudo evidencia que os basaltos aflorantes na região norte do RS, nos municípios de Iraí e Frederico Westphalen, são potenciais remineralizadores de solo. Considerando que essas litologias apresentam um teor médio de Óxido de Potássio equivalente a 1,29%, o teor médio da Soma de Bases corresponde a 14,52% e o índice médio Sílica livre, a 12,31%, teores compatíveis com os parâmetros estabelecidos pela Instrução Normativa nº 5 do MAPA.

Recomenda-se a realização de estudos que visam à determinação dos teores dos elementos potencialmente tóxicos (Arsênio, Cádmio, Mercúrio e Chumbo), os quais, de modo geral, são muito baixos em rochas basálticas. Ademais, é recomendável que se realizem ensaios de lixiviação para avaliar a eficácia e a aplicabilidade agrônômica do pó de basalto. Essas informações são essenciais para viabilizar o comércio dessa litologia como insumo agrícola.

#### REFERÊNCIAS

ANDA (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS). **Pesquisa Setorial**: principais indicadores do setor de fertilizantes. 2022. Disponível em: <https://anda.org.br>. Acesso em: 20 dez. 2022.

BRASIL. Instrução Normativa MAPA nº 5, 10 mar. 2016. Dispões regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, República Federativa do Brasil, Brasília, DF, seção 1, p. 10, 2016.

BRASIL. Lei nº 12.890, 10 dez. 2013. Dispões sobre a inclusão dos remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1. 2013.

BURBANO, D. F. M.; THEODORO, S. H.; DE CARVALHO, A. M. X.; RAMOS, C. G. Crushed volcanic rock as soil remineralizer: a strategy to overcome the global fertilizer crisis. **Natural Resources Research**, v. 31, n. 5, p. 2197–2210, 2022.

CARDOSO, G. O.; FALSARELLA, L. N.; CHIROQUE-SOLANO, P. M.; PORCHER, C. C.; LEITZKE, F. P.; WEGNER, A. C.; CARELLI, T.; SALOMON, P. S.; BASTOS, A. C.; SÁ, F.; FALLON, S.; SALGADO, L. T.; MOURA, R. L. Coral growth bands recorded trace elements associated with the Fundão dam collapse. **Science of The Total Environment**, v. 807, p. 150880, 2022.

DIAS, A. A.; PARISI, G. N. **Frederico Westphalen, folha SG. 22-YC-II: estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, CPRM, 2007.

FRAYA, R. Rochas potássicas—possibilidades de aproveitamento para a indústria de adubos. **Min. Metal, Rio de Janeiro**, 1952.

ILCHENKO, W.; GUIMARÃES, D. Sobre a utilização agrícola dos sienitos nefelínicos do Planalto de Poços de Caldas. **MG Inst Tecn Avulso**, v. 15, p. 16, 1953.

JANOŠEK, V.; FARROW, C. M.; ERBAN, V. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). **Journal of Petrology**, v. 47, n. 6, p. 1255–1259, 2006.

KHAN, S. R.; SHARMA, B.; CHAWLA, P. A.; BHATIA, R. Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES): a Powerful Analytical Technique for Elemental Analysis. **Food Analytical Methods**, v. 15, n. 3, p. 666–688, 2022.

KORCHAGIN, J.; CANER, L.; BORTOLUZZI, E. C. Variability of amethyst mining waste: A mineralogical and geochemical approach to evaluate the potential use in agriculture. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 749–758, 2019.

LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers?. **Chemical Geology**, v. 60, n. 1–4, p. 361–370, 1987.

LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H.; ASSAD, M. L. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 3–9, 2000.

MACHADO, R. V.; ANDRADE, F. V.; RIBEIRO, R. C.; RODRIGUES, R. R. Rejeitos de Rochas Ornamentais como Corretivo Alternativo e a Produção de Matéria Seca e Teores de Ca e Mg na Planta e no Solo. *In*: XXIII Encontro Nacional de Tratamento de Minério e Metalurgia Extrativa, 23., 2009, Gramado. **Anais do XXIII ENTMMME**. Porto Alegre: Ufrgs, 2009.

MARKOSKI, Paulo Roberto. **Avaliação de imagens do sensor ASTER para caracterização e mapeamento de rejeitos de garimpo de ametista**. 2006. 70 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MEDEIROS, D. S.; SANCHOTENE, D. M.; RAMOS, C. G.; OLIVEIRA, L. F. S.; SAMPAIO, C. H.; KAUTZMANN, R. M. Soybean crops cultivated with dacite rock by-product: A proof of a cleaner technology to soil remineralization. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 6, p. 106742, 2021.

PINTO, V. M.; HARTMANN, L. A. Flow-by-flow chemical stratigraphy and evolution of thirteen Serra Geral Group basalt flows from Vista Alegre, southernmost Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 83, p. 425–440, 2011.

PINTO, V. M.; HARTMANN, L. A.; WILDNER, W. Epigenetic hydrothermal origin of native copper and supergene enrichment in the Vista Alegre district, Paraná basaltic province, southernmost Brazil. **International Geology Review**, v. 53, n. 10, p. 1163–1179, 2011.

RAMOS, C. G.; DE MELLO, A. G.; KAUTZMANN, R. M. A preliminary study of acid volcanic rocks for stonemeal application. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 1, p. 30–35, 2014.

RAMOS, C. G.; QUEROL, X.; DALMORA, A. C.; DE JESUS PIRES, K. C.; SCHNEIDER, I. A. H.; OLIVEIRA, L. F. S.; KAUTZMANN, R. M. Evaluation of the potential of volcanic rock waste from southern Brazil as a natural soil fertilizer. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2700–2706, 2017.

SANTOS, E. P.; FIOREZE, M.; BENATTI, M. E. Composição química e potencialidade do uso de resíduo de extração de pedra ametista como fertilizante agrícola. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 515–523, 2016.

SILVA, F. J. P.; CARVALHO, A. M. X.; BORGES, P. H. C. The gabbro dacite blend as soil remineralizer. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 17, n. 1, p. 1–9, 2022.

THEODORO, S. H. **Cartilha da Rochagem**. 2. ed. Brasília: Gráfica e Editora Ideal, 2020. 2020. Disponível em: [https://sgbeduca.cprm.gov.br/media/adultos/cartilha\\_rochagem.pdf](https://sgbeduca.cprm.gov.br/media/adultos/cartilha_rochagem.pdf). Acesso em: 16 fev. 2023.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. Rochagem: uma questão de soberania nacional. *In*: XIII Congresso Brasileiro De Geoquímica., 2011, Gramado (RS). **Anais do XIII Congresso Brasileiro De Geoquímica**. Gramado (RS), 2011.

THEODORO, S. M. de C. H.; TCHOUANKOUE, J. P.; GONÇALVES, A. O.; LEONARDOS, O. H.; HARPER, J. A importância de uma rede tecnológica de rochagem para a sustentabilidade em países tropicais. [s. l.], 2012.

THOMPSON, F.; DE OLIVEIRA, B. C.; CORDEIRO, M. C.; MASI, B. P.; RANGEL, T. P.; PAZ, P.; FREITAS, T.; LOPES, G.; SILVA, B. S.; S. CABRAL, A.; SOARES, M.; LACERDA, D.; DOS SANTOS VERGILIO, C.; LOPES-FERREIRA, M.; LIMA, C.; THOMPSON, C.; DE REZENDE, C. E. Severe impacts of the Brumadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. **Science of The Total Environment**, v. 705, p. 135914, 2020.

WHITNEY, D. L.; EVANS, B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. **American Mineralogist**, v. 95, n. 1, p. 185–187, 2010.

*Artigo recebido em: 28/02/2023.  
Aceito para publicação em: 04/11/2023.*