



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 10, nº 2 (2024)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2024v10n2ID33226>



O potencial de rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral para a remineralização de solos

The potential of volcanic rocks from the Serra Geral Group to soil remineralization

Emanuêlle Soares Cardozo¹; Eduarda Gomes de Souza²; Rubia Flores Romani³; Cicero Coelho de Escobar⁴; Willian César Nadaleti⁵; Bruno Müller Vieira⁶; Viter Magalhães Pinto⁷

¹ UFPEL, Centro de Engenharias, Pelotas/RS, Brasil. Email: emanuellesoarescardozo@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3142-7560>

² UFPEL, Centro de Engenharias, Pelotas/RS, Brasil. Email: gseduarda@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7166-2018>

³ UFPEL, Centro de Engenharias, Pelotas/RS, Brasil. Email: fgrubia@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3741-6758>

⁴ UFPEL, Centro de Engenharias, Pelotas/RS, Brasil. Email: cicero.escobar@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6248-9222>

⁵ UFPEL, Centro de Engenharias, Pelotas/RS, Brasil. Email: williancezarnadaleti@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4727-4127>

⁶ UFPEL, Centro de Engenharias, Pelotas/RS, Brasil. Email: bruno.ceng.ufpel@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9615-3778>

⁷ UFPEL, Centro de Engenharias, Pelotas/RS, Brasil. Email: viter.pinto@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9831-1987>

Resumo: O uso de fertilizantes químicos em larga escala gera significativo impacto ambiental negativo. O desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas que fomentem a sustentabilidade, com alternativas que supram as necessidades nutricionais das culturas, têm sido de grande interesse para a comunidade científica. A remineralização do solo é uma prática agrícola que envolve a adição de rochas moídas ao solo, como forma de fornecer nutrientes essenciais às plantas. Os remineralizadores são regulamentados no Brasil pela Lei 12.890/2013 e a Instrução Normativa 05/2016 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) atribui os parâmetros mínimos para que uma rocha seja destinada à remineralização de solos. Neste estudo, realizou-se análise geoquímica comparativa entre os basaltos aflorantes dos municípios de Estância Velha e Campo Bom, nordeste do estado do Rio Grande do Sul, com os parâmetros mínimos estabelecidos pelo MAPA. Constatou-se que as litologias analisadas apresentam características com elevado potencial para serem empregadas como remineralizadores, como teor médio de K₂O equivalente a 1,82%; teor da soma de bases abrangendo intervalo de 13,64 a 17,43% e níveis seguros de arsênio, cádmio, mercúrio e chumbo. A pesquisa e o desenvolvimento contínuos nessa área são fundamentais para encontrar soluções inovadoras e sustentáveis para a agricultura.

Palavras-chave: Rochagem; Sustentabilidade; Agricultura.

Abstract: The large-scale use of chemical fertilizers generates significant negative environmental impacts. The development and improvement of techniques which promote sustainability, with alternatives that meet the nutritional needs of crops, have been of great interest to the scientific community. Soil remineralization is an agricultural practice that adds ground rocks to the soil, providing essential nutrients to the plants. Remineralizers are regulated in Brazil by Law n. 12.890/2013 and Normative Instruction n. 05/2016 of the Ministry of Agriculture, Livestock, and Supply (MAPA) establishes the minimum parameters for a rock to be used for soil remineralization. This study, performed a comparative geochemical analysis between the outcropping basalts of the municipalities of Estância Velha and Campo Bom, the northeastern region of Rio Grande do Sul State, taking into account the minimum parameters established by MAPA. The analyzed lithologies have characteristics with high potential to be employed as remineralizers, such as an average K₂O content of 1.82%, a base saturation ranging from 13.64% to 17.43%, and safe levels of arsenic, cadmium, mercury, and lead. Continuous research and development in this field are essential to finding innovative and sustainable solutions for agriculture.

Keywords: Stonemeal; Sustainability; Agriculture.

Recebido: 14/07/2023; Aceito: 03/08/2024; Publicado: 24/09/2024.

1. Introdução

Tem sido reportado o interesse da comunidade científica no emprego de remineralizadores como alternativa que fomenta a sustentabilidade no manejo e uso de solos (KORCHAGIN; CANER; BORTOLUZZI, 2019). Esta técnica alternativa de adubação, denominada de rochagem, baseia-se na premissa de que determinadas rochas cominuídas têm o potencial de fornecer macronutrientes ao solo (THEODORO; LEONARDOS, 2011). Tais pesquisas são impulsionadas pelo fato de que o Brasil possui ampla geodiversidade e é um dos maiores importadores de fertilizantes químicos do mundo (RAMOS; MELLO; KAUTZMANN, 2014). No ano de 2022, a importação de fertilizantes intermediários e formulação à base de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) alcançou 34,61 milhões de toneladas, representando 84,25% do consumo nacional (ANDA, 2022). O nutriente com maior índice de importação é o potássio, pois aproximadamente 95% deste é proveniente de fontes estrangeiras (BRASIL, 2022).

O elevado consumo de fertilizantes químicos decorre do fato de que os solos brasileiros estão altamente suscetíveis à gradativa redução de fertilidade, em decorrência da intensa atividade agrícola associada ao processo natural de intemperismo (THEODORO *et al.*, 2012). Em comparação aos fertilizantes químicos convencionais, o pó de rocha possui custo de aplicação significativamente menor (<60%) a longo prazo (RAMOS *et al.*, 2022). Em razão da baixa capacidade de solubilização, a qual reduz a lixiviação de macronutrientes, a rochagem possibilita intervalo de quatro a cinco anos entre as aplicações (THEODORO *et al.*, 2021a).

A alteração da Lei nº 6.894/1980 (BRASIL, 1980), popularmente conhecida como “Lei dos fertilizantes”, para a Lei nº 12.890/2013, a qual inseriu remineralizadores na categoria de insumos agrícolas foi marco para a difusão desta técnica no Brasil. 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 comercializada como remineralizador de solos. Entre estes parâmetros, destaca-se:

- I. A soma de bases (CaO + MgO + K₂O) deve ser igual ou superior a 9%;
- II. O teor de óxido de potássio (K₂O) deve ser igual ou superior a 1%;
- III. A SiO₂ livre (quartzo) presente no produto não deve ultrapassar 25%;
- IV. Os elementos potencialmente tóxicos devem apresentar teores inferiores a 15 ppm de arsênio (As), 10 ppm de cádmio (Cd), 0,1 ppm de mercúrio (Hg) e 200 ppm de chumbo (Pb).

Rochas básicas com textura afanítica, como basaltos, são mais propensas a este uso. A razão disso deve-se às características geoquímicas e mineralógicas associadas à maior suscetibilidade ao intemperismo químico, que favorecem a disponibilização dos macronutrientes (DANIELL; TONDER, 2023).

No estado do Rio Grande do Sul (RS), os afloramentos mais significativos de rochas vulcânicas compõem o Grupo Serra Geral (GSG), que abrange 917.000 km² na região sudeste da América do Sul (HARTMANN, 2014). As rochas vulcânicas predominantes são basaltos, basaltos andesíticos e andesitos. O GSG destaca-se pela concentração de jazidas de geodos de ametista e ágata, e pelo potencial metalogenético para depósitos auríferos (HARTMANN, 2014). Ramos, Mello e Kautzmann (2014), Ramos *et al.* (2017) e Korchagin, Caner e Bortoluzzi (2019) alegam que o pó das rochas basálticas do GSG, aflorantes na região de Ametista do Sul e Nova Prata, norte do estado do Rio Grande do Sul (RS), pode ser empregado como fonte de macro e micronutrientes para o solo.

No nordeste do estado do RS situam-se os municípios de Estância Velha e Campo Bom, no âmbito geológico, estes municípios estão inseridos no GSG, e apresentam expressiva atividade de mineração (HARTMANN, 2014). Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo analisar os teores de K₂O e da soma de bases (SB) das litologias aflorantes nestes municípios com o intuito de determinar se estes parâmetros estão em conformidade com o estabelecido pela Instrução Normativa nº 5 do MAPA, para possível utilização destas litologias como fertilizantes alternativos.

2. Metodologia

As litologias alvo deste estudo são exploradas e comercializadas pelas mineradoras Indústria e Comércio de Pedras Ltda. (INCOPEL) e AGCM Construtora e Mineradora Ltda., empreendimentos situados a aproximadamente 50 km de Porto Alegre (RS), nos municípios de Estância Velha e Campo Bom, respectivamente. O mapa de localização da área de estudo (Figura 1) foi confeccionado por meio do *software* livre de código aberto QGIS versão 3.20.2. Nos trabalhos de

cartografia adotou-se o Sistema de Referência de Coordenadas (CRS) e o Sistema de Referência Geodésico para as Américas (SIRGAS 2000).

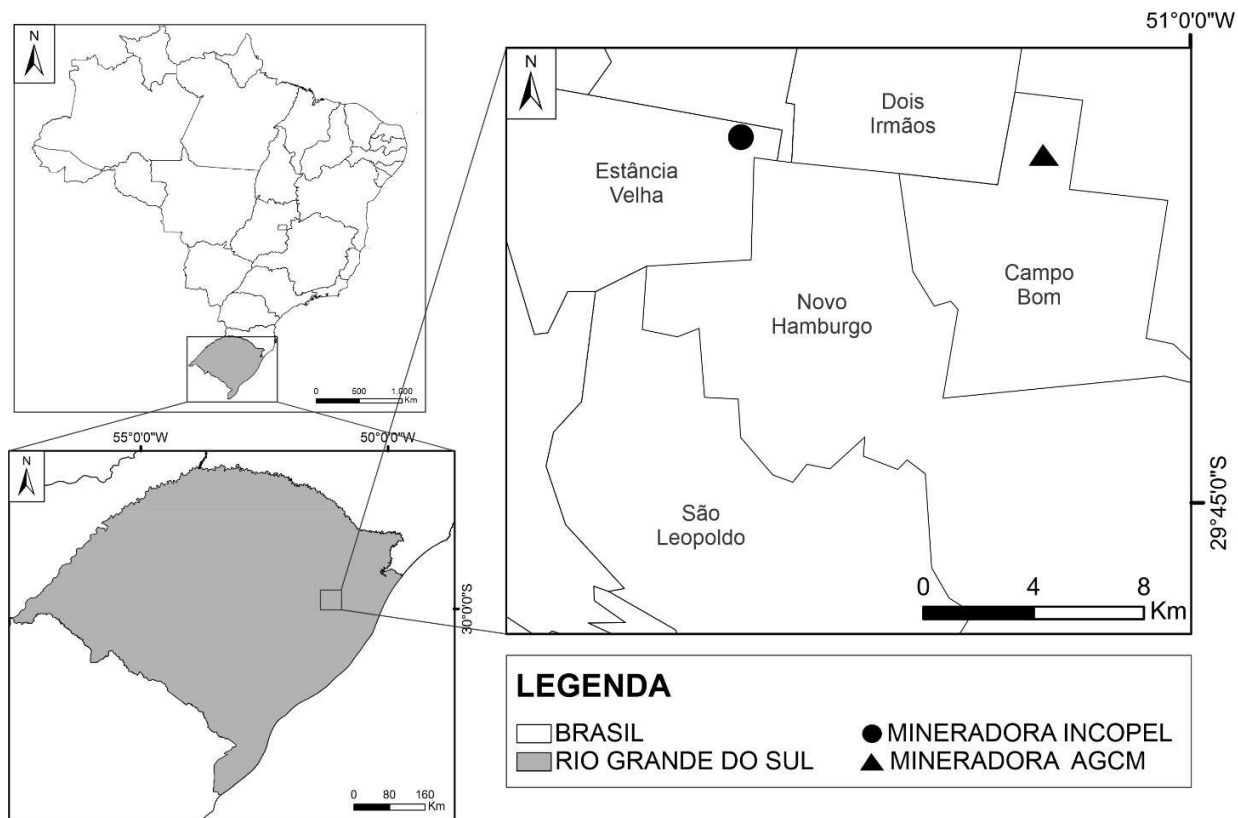


Figura 1 – Localização da área de estudo em escala nacional, estadual e municipal, com ênfase nos pontos de amostragem.

Fonte: Autores (2023).

Análises geoquímicas foram extraídas da pesquisa de Hartmann, Baggio e Duarte (2012), sendo estas realizadas pelo laboratório *Acme Analytical Laboratories*, localizado em Vancouver (Canadá); portanto se caracterizam por análise de dados secundários. Para a detecção dos teores dos óxidos os autores empregaram a técnica de espectrometria de emissão atômica (ICP-OES), e para a detecção dos elementos potencialmente tóxicos a técnica de espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). O banco de dados utilizado no presente estudo é composto por oito análises químicas, sendo três referentes às litologias de Estância Velha (EV01, EV02 e EV03) cinco referentes às litologias de Campo Bom (CB01, CB02, CB03, CB04 e CB05). Os dados geoquímicos foram interpretados por meio de diagramas confeccionados utilizando o *software* livre *Geochemical Data Toolkit* versão 6.0 (JANOULEK; FARROW; ERBAN, 2006).

3. Resultados e discussão

De acordo com os diagramas classificatórios propostos por Middlemost (1994), as litologias analisadas tratam-se de basaltos andesíticos, com SiO_2 variando de 51,52 a 55,74%, com desvio padrão de 1,69% e álcalis ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) de 3,25 a 5,38%, com desvio padrão de 0,22% (Figura 2).

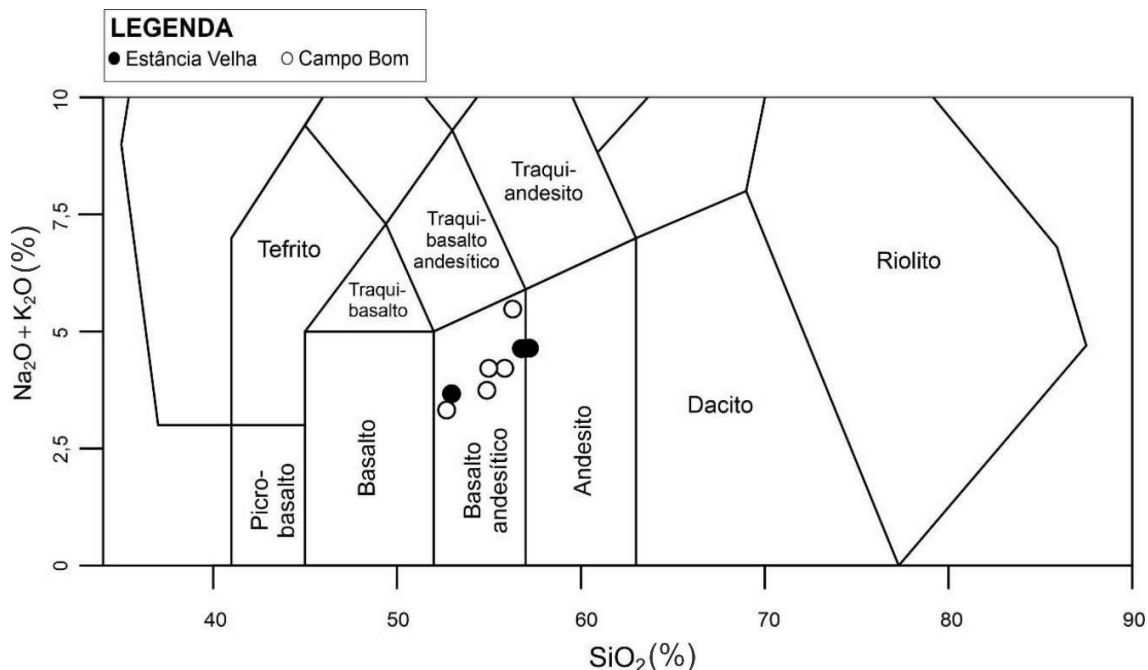


Figura 2 – Diagrama geoquímico classificatório.
 Fonte: Modificado de Middlemost (1994).

Os teores médios de P_2O_5 e K_2O , macronutrientes fundamentais para os solos, equivalem a 0,22% e 1,79%, respectivamente. O teor da SB abrange o intervalo entre 13,64% e 17,43%, estando em conformidade com a Instrução Normativa nº 5 do MAPA. Em relação aos elementos potencialmente tóxicos, estes apresentam teores abaixo do parâmetro máximo estabelecido pela Instrução Normativa nº 5 do MAPA. O teor médio de Pb corresponde a 3,62 ppm, e os elementos As, Cd e Hg possuem teores inferiores ao limite de detecção da técnica analítica empregada (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise geoquímica dos basaltos andesíticos dos municípios de Estância Velha e Campo Bom.

	Estância Velha			Campo Bom				
	EV01	EV02	EV03	CB01	CB02	CB03	CB04	CB05
	%							
SiO₂	55,74	55,34	52,27	55,24	55,27	52,28	53,87	51,52
TiO₂	1,26	1,26	1,3	1,13	1,33	1,31	1,13	1,19
Al₂O₃	14,25	14,32	15,29	14,51	14,22	14,61	14,73	14,78
Fe₂O₃	9,83	9,78	11,78	10,44	10,14	10,07	10,47	10,43
MgO	4,15	4,59	4,98	4,59	4,44	4,46	4,81	6,56
MnO	0,13	0,14	0,17	0,15	0,16	0,18	0,15	0,16
CaO	7,29	7,29	9,13	8,48	6,95	8,51	8,49	9,69
Na₂O	2,33	2,34	2,24	2,36	2,74	2,32	2,43	2,07

K₂O	2,20	2,18	1,39	1,81	2,64	1,25	1,07	1,18
P₂O₅	0,26	0,25	0,15	0,17	0,28	0,27	0,17	0,18
Cr₂O₃	0,005	0,01	0,011	0,007	0,005	0,005	0,006	0,022
SB (K₂O+MgO+CaO)	13,64	14,06	15,50	14,88	14,03	14,22	15,00	17,43
ppm								
As	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cd	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Hg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pb	3,50	3,00	2,00	2,90	3,40	9,70	2,40	2,10

Fonte: Modificado de Hartmann, Baggio e Duarte (2012).

As litologias integrantes do GSG apresentam ampla diversidade geoquímica. No distrito mineiro de Ametista do Sul, norte do estado do Rio Grande do Sul, e no distrito gemológico *Los Catalanes*, em Artigas, no Uruguai, os basaltos explotados são considerados subprodutos da mineração de ametista e integram pilhas de rejeitos (CHIGLINO *et al.*, 2022). A geração de pilhas de rejeitos consiste em uma das grandes problemáticas relacionadas à mineração, sendo estas constituídas por litologias associadas a depósitos minerais ou a rochas ornamentais, porém sem viabilidade econômica. Conforme Markoski (2006), a acumulação de rejeitos da mineração pode resultar no assoreamento de drenagens devido ao descarte inadequado.

Korchagin, Caner e Bortoluzzi (2019) e Chiglino *et al.* (2022) reportaram a aplicabilidade agrônômica do pó dos basaltos explotados em Ametista do Sul e Artigas. Traçou-se um comparativo geoquímico entre os basaltos aflorantes nestas regiões com os basaltos andesíticos de Estância Velha e Campo Bom (Tabela 2). Dessa forma, foi evidenciada a compatibilidade geoquímica entre o teor da SB dos basaltos andesíticos e dos basaltos de Ametista do Sul (Figura 3).

Tabela 2 – Comparativo geoquímico entre as litologias aflorantes em Artigas, Ametista do Sul, Estância Velha e Campo Bom.

Litologia	Município	Teor médio (%)			
		MgO	CaO	K₂O	K₂O+MgO+CaO
Basalto	Artigas	2,72	5,06	1,24	9,02
Basalto	Ametista do Sul	5,46	7,80	1,79	15,05
Basalto Andesítico	Estância Velha	4,57	7,90	1,92	14,40
Basalto Andesítico	Campo Bom	4,97	8,42	1,72	15,11

Fonte: Modificado de Hartmann, Baggio e Duarte (2012), Korchagin, Caner; e Bortoluzzi (2019) e Chiglino et al. (2022).

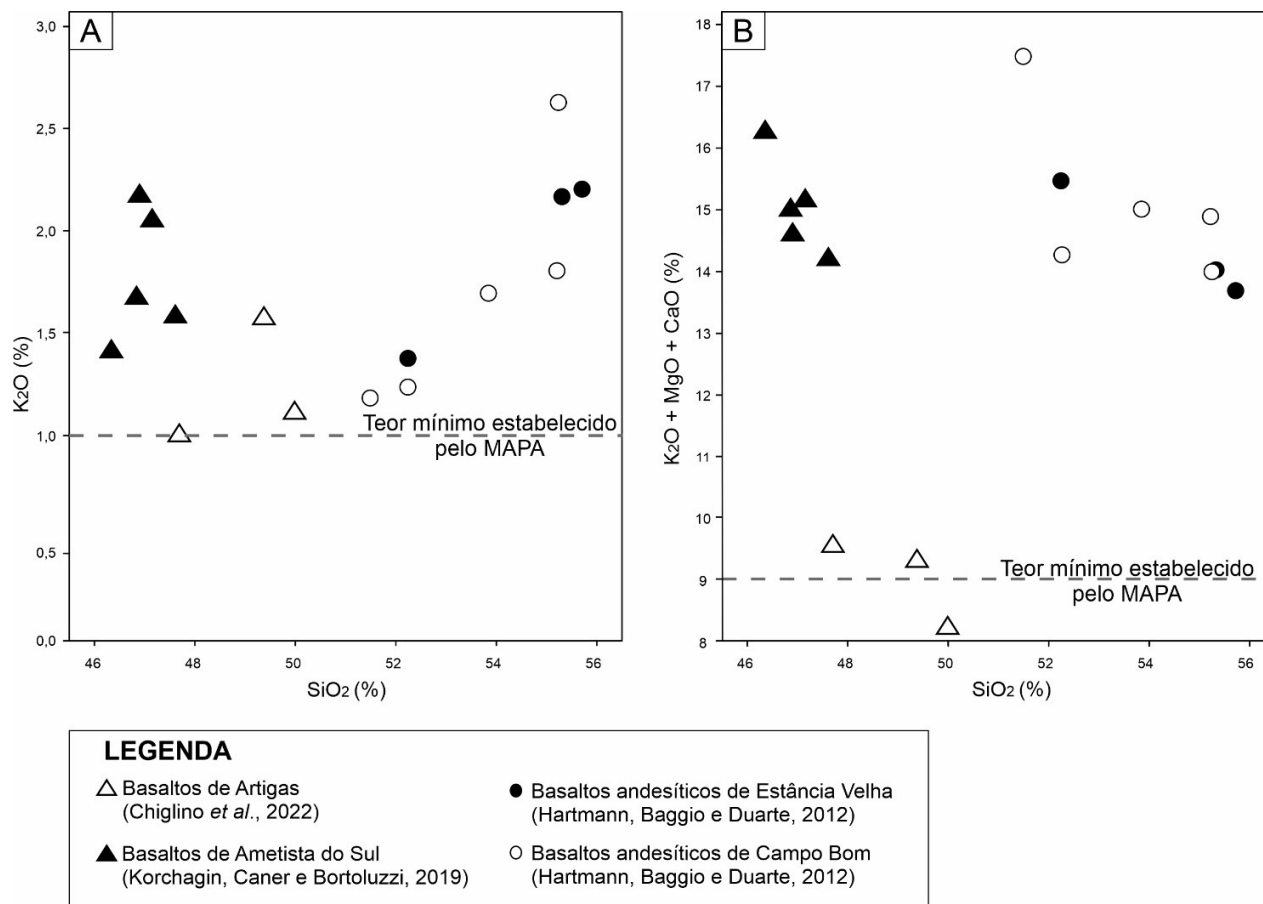


Figura 3 – Correlação entre teores geoquímicos das litologias aflorantes em Artigas, Ametista do Sul, Estância Velha e Campo Bom, utilizando a SiO₂ como índice de diferenciação, enfatizando o parâmetro mínimo estabelecido pelo MAPA. A) K₂O; B) K₂O+MgO+CaO.

Fonte: Autores (2023).

Os resultados deste estudo indicam a viabilidade geoquímica dos basaltos andesíticos do GSG aflorantes na região de Campo Bom e Estância Velha para a remineralização de solos. Hartmann e Duarte (2020) obtiveram resultados semelhantes para uma amostra de basalto andesítico da região de Sinimbu (RS), aproximadamente 145 km de Estância Velha, o qual apresentou 1,83% de K₂O; 7,67% de CaO e 3,99% de MgO, teores favoráveis a remineralização de solos. De mesma forma, Burbano (2020) e Theodoro *et al.* (2021b) constataram que as litologias basálticas do GSG possuem potencialidade para a utilização como insumo agrícola, devido aos elevados teores de MgO e CaO, associados ao baixo conteúdo de quartzo, que propicia o processo de intemperismo e a liberação de nutrientes.

Embora o emprego do pó de rocha para a remineralização de solos seja uma técnica relativamente antiga, na última década esta difundiu-se em países de clima tropical, como o Brasil, Angola, África do Sul e Camarões (THEODORO *et al.*, 2012). Em decorrência da associação de condições geológicas, climáticas e socioambientais favoráveis à remineralização, como a vasta geodiversidade encontrada nestes países, os elevados índices de intemperismo e o difícil acesso do pequeno produtor rural a fertilizantes convencionais (THEODORO; LEONARDOS, 2011). Além disso, a maioria dos fertilizantes químicos são importados da China, Rússia, Estados Unidos, Marrocos, Canadá e Bielorrússia e estão sujeitos a políticas externas e a alterações cambiais de moedas estrangeiras (BRASIL, 2022). O experimento agrícola conduzido por Theodoro *et al.* (2012), com a implantação da técnica de remineralização de solo em pequenas propriedades rurais no Brasil, Angola, África do Sul e Camarões, indicou aumento do índice pH do solo e incremento médio de 30% na produtividade de mandioca e de 20% nas de milho e feijão.

4. Considerações finais

Os resultados deste estudo são promissores para o emprego das litologias vulcânicas aflorantes nos municípios de Estância Velha e Campo Bom, nordeste do estado do RS, como potenciais remineralizadores de solo. Para tanto, estudos complementares como caracterização mineralógica (para a determinação do índice de SiO₂ livre) e ensaios de lixiviação (para avaliar a eficácia e a aplicabilidade agrônômica do pó de basalto andesítico) são recomendados. Informações essenciais para a viabilização do comércio destas litologias como insumo agrícola e a consequente adoção de práticas que fomentem a sustentabilidade do setor.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas.

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: 21 mar. 2023.
- BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. *Plano nacional de fertilizantes 2050 (PNF 2050)*. Brasília, DF: SAE, 2022.
- BRASIL. Lei nº 12.890, 10 dez. 2013. Dispõe 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.
- BRASIL. Instrução Normativa MAPA nº 5, 10 mar. 2016. Dispõe 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.
- BURBANO, D. F. M. *Uso de rocha basáltica como remineralizador de solo em sistema de rotação de cultivos com quinoa*. 2020. 69 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) - Universidade de Brasília, Planaltina, 2020.
- CHIGLINO, L. et al. Basalts of the Arapey Group and their potential use as a source of agrominerals (stonemeal). *Agrociencia Uruguay*, v. 26, n. NE1, 27 maio 2022.
- DANIELL, A.; VAN TONDER, D. M. Opportunity for increasing the soil quality of non-arable and depleted soils in South Africa: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, p. 1–12, 2023.
- HARTMANN, L. A. A história natural do Grupo Serra Geral desde o Cretáceo até o Recente. *Ciência e Natura*, p. 173–182, 2014.
- HARTMANN, L. A.; BAGGIO, S. B.; DUARTE, S. K. Decoding geochemical and gamma-spectrometric signatures from lavas and sand injectites at the base of the Paraná volcanic province, Novo Hamburgo, Brazil. *International Geology Review*, v. 55, n. 4, p. 510–524, 2013.
- HARTMANN, L. A.; DUARTE, S. K. Novo Hamburgo Complex formed by hydrothermal, explosive injection of Botucatu erg sand into extensive tracts of Paraná Volcanic Province (S Brazil). *Journal of Sedimentary Environments*, v. 5, n. 2, p. 187–198, jun. 2020.
- JANOŮŠEK, 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, 1 jun. 2006.

-
- 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, fev. 2019.
- MAPA-MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Mapa vai a Jordânia, Egito e Marrocos para ampliar negociações de fertilizantes. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-vai-a-jordania-egito-e-marrocos-para-ampliar-negociacoes-de-fertilizantes>. Acesso em: 14 abr. 2023.
- MARKOSKI, P. R. *Avaliação de imagens do sensor ASTER para caracterização e mapeamento de rejeitos de garimpo de ametista*. 2006. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- MIDDLEMOST E.A.K. Naming materials in magma/igneous rock system. *Earth Sci. Rev.*, 37,215-224. (1994).
- RAMOS, C. G. et al. 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, jan. 2017.
- RAMOS, C. G. et al. Possibilities of using silicate rock powder: An overview. *Geoscience Frontiers*, v. 13, n. 1, p. 101185, 2022.
- 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.
- THEODORO, S. H. et al. Soil remineralization and recovery of degraded areas: An experience in the tropical region. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 107, p. 103014, abr. 2021a.
- THEODORO, S. H. et al. Rochas basálticas para rejuvenescer solos intemperizados. *Revista Liberato*, p. 45–58, 30 ago. 2021b.
- THEODORO, S. H. et al. A Importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais (The Importance of a Stonemeal Technological Network for Sustainability in Tropical Countries). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 6, p. 1390, 21 jan. 2013.
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. Rochagem: uma questão de soberania nacional. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica*. Gramado. 2011.