

**POTENCIAL DE REMINERALIZADORES SILICÁTICOS PARA A DISPONIBILIZAÇÃO
DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DA SOJA**

**POTENTIAL OF SILICATE REMINERALIZERS FOR THE AVAILABILITY OF
PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN THE INITIAL DEVELOPMENT OF SOYBEAN**

**POTENCIAL DE LOS REMINERALIZANTES DE SILICATO PARA LA
DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO Y POTASIO EN EL DESARROLLO INICIAL DE LA
SOJA**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n8-191>

Data de submissão: 20/07/2025

Data de publicação: 20/08/2025

Vanessa Regina Alves

Engenheira Agrônoma

Instituição: Universidade Federal do Paraná

E-mail: vanessaa.alves1.va@gmail.com

Orcid: 0009-0007-2249-8902

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0469354888786518>

Augusto Vaghetti Luchese

Professor Associado

Instituição: Universidade Federal do Paraná

E-mail: aluchese@gmail.com

Orcid: 0000-0002-3389-9986

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3033591975237656>

Robson Fernando Missio

Professor Associado

Instituição: Universidade Federal do Paraná

E-mail: rfmmissio@ufpr.br

Orcid: 0000-0002-8534-1175

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2247401382434996>

Alessandra Algeri

Professora Classe A

Instituição: Instituto Federal do Paraná

E-mail: sandra.algeri.UTFPR@gmail.com

Orcid: 0000-0001-7702-1254

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8045859245617691>

Eduardo Lucas Konrad Burin

Professor Associado

Instituição: Universidade Federal do Paraná

E-mail: eduardo.burin@ufpr.br

Orcid: 0000-0003-3334-4910

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3428301389994878>

RESUMO

O Brasil atualmente é líder global geral na exportação de alimentos, porém é fortemente dependente da importação de fertilizantes para atender à elevada demanda da produção agrícola, o que representa um custo expressivo para a economia nacional. Diante da projeção de aumento populacional em cerca de 2,2 bilhões de pessoas até 2050, torna-se necessário ampliar a produção de alimentos de forma sustentável, minimizando gastos com insumos externos. Nesse contexto, os remineralizadores de solo surgem como alternativa economicamente acessível e amplamente disponível no território brasileiro. Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de diferentes rochas silicáticas na disponibilização de fósforo (P) e potássio (K) no solo, no acúmulo de teor foliar, nos teores de extração e na produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) na cultura da soja. O experimento foi conduzido em arranjo fatorial 5x4, com quatro repetições, utilizando dois tipos de dacito, um granodiorito, uma rocha máfica alterada e um basalto, aplicados em quatro doses ($0, 33, 66$ e 99 Mg ha^{-1}) em solo de textura argilo-argilosa. Os resultados demonstraram que a máfica alterada foi a rocha mais eficiente na disponibilização de P e ocupou a segunda posição na disponibilização de K. O melhor remineralizador nas avaliações de K foi o basalto. Embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas significativas na produção de MSPA entre os tratamentos, os remineralizadores contribuíram para seu incremento. Os resultados reforçam o potencial dessas rochas como fontes complementares de nutrientes em estratégias de manejo mais sustentáveis.

Palavras-chave: Pó de Rocha. Rochagem. *Glycine max*.

ABSTRACT

Brazil currently leads the global food export market, but is heavily dependent on fertilizer imports to meet the high demand for agricultural production, which represents a significant cost to the national economy. Given the projected population increase of approximately 2.2 billion people by 2050, it is essential to expand food production sustainably, minimizing expenditure on external inputs. In this context, soil remineralizers emerge as an economically accessible alternative that is widely available in Brazil. This study aimed to evaluate the effectiveness of different silicate rocks in the availability of phosphorus (P) and potassium (K) in the soil, in the accumulation of leaf content, in the extraction rates, and in the production of shoot dry matter (SDM) in soybean crops. The experiment was conducted in a 5x4 factorial arrangement with four replicates, using two types of dacite: a granodiorite, an altered mafic rock, and a basalt. These rocks were applied at four rates ($0, 33, 66$, and 99 Mg ha^{-1}) to a clayey-clayey soil. The results showed that the altered mafic rock was the most efficient in P release and ranked second in K release. Basalt was the best remineralizer in the K evaluations. Although no statistically significant differences were observed in MSPA production between treatments, the remineralizers contributed to its increase. The results reinforce the potential of these rocks as complementary nutrient sources in more sustainable management strategies.

Keywords: Rock Dust. Rock Powder. *Glycine max*.

RESUMEN

El Brasil actualmente es líder mundial en exportación de alimentos, por eso es fuertemente dependiente de la importación de fertilizantes para atender la elevada demanda de producción agrícola, o que representa un cuidado expresivo para la economía nacional. Diante da projeção de aumento poblacional em cerca de 2,2 mil millones de personas hasta 2050, torna-se necesario ampliar a producción de alimentos de forma sustentable, minimizando gastos con insumos externos. Nese contexto, os remineralizadores de solo surgem como alternativa económicalemente accesible y ampliamente disponible en territorio brasileño. Este trabajo teve como objetivo garantizar la eficiencia de diferentes rocas silicáticas na disponibilização de fósforo (P) y potássio (K) no solo, no acumulación

de teor foliar, nos teores de extração e na produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) na cultura da soja. El experimento fue realizado en arreglo factorial 5x4, con cuatro repeticiones, utilizando dos tipos de dacito, un granodiorito, una roca mágica alterada y un basalto, aplicados en cuatro dosis (0, 33, 66 y 99 Mg ha⁻¹) en solo de textura argilo-argilosa. Los resultados demuestran que una máquina alterada foi a rocha más eficiente na disponibilización de P e ocupa una segunda posición na disponibilización de K. O mejor remineralizador nas avaliações de K foi o basalto. Embora não tenham sido observadas diferencias estadísticas significativas en la producción de MSPA entre los tratamientos, los remineralizadores contribuyen a su incremento. Los resultados refuerzan el potencial de estas rocas como fuentes complementarias de nutrientes en estrategias de manejo más sostenibles.

Palabras clave: Pó de Rocha. Rocagem. *Glycine max*.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os maiores exportadores de alimentos do mundo, em contrapartida está entre os maiores importadores de fertilizantes (DANTAS et al. 2022). Segundo dados da Associação Nacional Para Difusão de Adubos - ANDA, em 2024, foram produzidas aproximadamente 7,22 milhões de toneladas de fertilizantes e importadas 41,35 milhões de toneladas, ou seja, importamos mais de cinco vezes o que produzimos. Essa dependência externa eleva o custo de produção dos agricultores que ficam expostos a oscilações de preço do mercado internacional (PILLON, 2017).

O gasto com importação de fertilizantes influencia negativamente a economia brasileira, já que a agricultura sustenta boa parte do PIB Nacional (BRASIL, 2021). Com uma previsão de que a população aumentará em 2,2 bilhões de pessoas até 2050 (ONU, 2022), esse crescimento populacional gera um aumento na demanda de alimentos, não apenas em quantidade, pois a população está cada vez mais exigente em consumir produtos vindos de manejo sustentável (PILLON, 2017). Essa crescente demanda aliada a dependência de fertilizantes do mercado internacional, mostra que o Brasil precisa aumentar a produção nacional de fertilizantes, através de investimento em pesquisas e em industrialização (BRASIL, 2021).

Uma alternativa para diminuir a demanda externa de fertilizantes, é o uso de remineralizadores de solo que são uma fonte alternativa de nutrientes (DANTAS et al. 2022).

A eficácia agronômica dos remineralizadores depende de aspectos como a mineralogia, a composição química e o tamanho das partículas, além das condições climáticas, do tipo de solo e da atividade dos microrganismos (SWOBODA et al. 2022; BURGHELEA et al. 2018; BAWHEDE et al. 2024).

Dentre os benefícios comprovados dos remineralizadores encontra-se que estes podem disponibilizar fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), além de elevar o pH, soma de bases, V% e CTC (ALOVISI et al. 2020; CONCEIÇÃO et al. 2022; BRASIL et al. 2022; LUCHESE et al. 2023; SANTANA et al., 2025). Os remineralizadores também trazem outras vantagens significativas como a promoção da simbiose entre fungos micorrízicos e plantas, e a melhora na absorção de nutrientes (SANTOS, 2018; BURGHELEA et al. 2018).

Os remineralizadores podem ser provenientes de resíduos da mineração, o que promove benefícios econômicos para o setor ao utilizar um subproduto antes desperdiçado (NUNES, 2012). Comparado aos fertilizantes convencionais, o pó de rocha é uma alternativa mais sustentável e não poluente (BERGMANN et al. 2014).

Há trabalhos que demonstram melhorias que estes promovem na fertilidade do solo, aumentando a absorção de nutrientes pelas plantas, bem como a produção de massa seca e a produtividade (CASTRO et al. 2015; MORETTI et al. 2019; RODRIGUES et al. 2024).

Dentre resultados positivos observados podemos citar Alovisi et al. (2020), que em um experimento utilizando pó de basalto, constataram elevação de pH em água de 5,9 para 6,4, bem como o aumento nos teores de cátions no solo. Também utilizando basalto, Luchese et al. (2023) observaram aumento do pH do solo, bem como de teores de cálcio, magnésio, fósforo e potássio. Ainda no quesito potássio, observaram que ocorre liberação lenta no solo, fator importante devido a sua alta mobilidade no solo que causa perdas por lixiviação.

A liberação de nutrientes pelos remineralizadores pode propiciar aumento destes nas plantas bem como culminar com ganhos de produtividade, como verificou-se no estudo de Crusciol et al. (2022) que observaram aumento de potássio foliar e da produtividade utilizando duas rochas silicatadas e cloreto de potássio, obtiveram resultados positivos e similares nos três tratamentos.

Swoboda et al. (2022) observaram resultados divergentes nos trabalhos estudados, se por um lado ocorrem pesquisas que apresentam resultados positivos, por outro lado há trabalhos que apresentam resultados não satisfatórios como no caso de Alovisi et al. (2017) que não observaram incrementos de nutrientes ao solo, nem incremento na produtividade das culturas ao avaliar o uso de pó de basalto associado ou não ao bioativo Penergetic nas culturas de milho e soja. Essa inconsistência nos resultados de trabalhos acumulados, prova que há a necessidade de aprofundar estudos sobre os remineralizadores, suas dinâmicas e aplicações. É preciso obter mais informações sobre as interações que ocorrem entre rochas distintas quando aplicadas a um determinado tipo de solo e cultivado com uma cultura específica.

Diante desse cenário, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de diferentes remineralizadores na disponibilização de fósforo e potássio no cultivo da soja em solo de textura argilosa.

2 METODOLOGIA

2.1 DESCRIÇÃO DO ENSAIO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da empresa Renutra Science, no município de Palotina, estado do Paraná, Brasil, em delineamento inteiramente casualizado, organizado em esquema fatorial 5x4, sendo dois dacitos do Rio Grande do Sul (dacito 1 e dacito 2), um granodiorito de Santa Catarina, uma máfica alterada do Distrito Federal e um basalto do Paraná, utilizando 4 doses de cada material (0, 33, 66 e 99 Mg ha⁻¹), avaliado em solo de textura Argilo-argiloso com 4 repetições.

O solo utilizado para o desenvolvimento do experimento foi coletado na profundidade de 0-40 cm em propriedade agrícola no município de Cascavel no estado do Paraná, Brasil. O solo foi estocado em pilhas e deixado para secar tendo uma amostra coletada para caracterização química e granulométrica, ambas apresentadas na TABELA 1.

As características químicas, granulométricas e mineralógicas dos pós de rocha utilizados no experimento estão apresentadas na TABELA 2 e TABELA 3.

Tabela 1. Análise química e granulométrica do solo.

pH CaCl ₂	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	CO	Areia	Silte	Argila
	-----cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----		
4,09	0,95	8,63	0,95	0,24	0,10	2,47	22,6	288	159	553

Fonte: A autora (2025).

pH (CaCl₂)(0,01 mol L⁻¹): taxa de solução do solo de 1:2,5; os teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; os teores de K⁺ e P foram extraídos utilizando Mehlich-1; o CO (carbono orgânico do solo) foi determinado pelo Método Walkley Black; H+Al (acidez potencial total) determinada pelo método tampão pH SMP.

Tabela 2. Composição química, por espectrometria de fluorescência de raios X e análise granulométrica por peneiramento do pó de rocha utilizado no experimento.

Óxidos	Remineralizadores				
	Dacito 1	Granodiorito	Máfica	Basalto	Dacito 2
SiO ₂ (%)	67,86	68,70	38,00	52,21	65,00
Al ₂ O (%)	12,83	14,04	9,56	13,07	12,40
Fe ₂ O (%)	6,41	4,23	22,7	12,44	7,16
CaO (%)	3,17	1,34	2,17	10,38	3,85
MgO (%)	0,81	0,77	5,39	5,84	1,45
K ₂ O (%)	4,23	5,24	3,96	1,01	3,67
Na ₂ O (%)	2,71	3,87	<0,1	2,05	3,30
TiO ₂ (%)	0,86	0,65	9,25	1,67	1,06
MnO (%)	0,11	0,00	0,38	0,18	0,13
P ₂ O ₅ (%)	0,22	0,15	2,07	0,20	0,28
PF (%)	0,56	0,61	6,98	0,00	0,00
Soma (%)	99,76	100,6	100,46	99,06	100,16
Abertura (mm)	Massa retida (%)				
2,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,85	22,6	38,7	39,5	9,2	2,5
0,30	45,6	46,1	23,5	23,9	23,5
<0,30	31,8	15,2	45,5	66,9	74,0

Fonte: A autora (2025).

Óxidos Pós de Rocha - SiO₂: dióxido de silício; Al₂O₃: óxido de alumínio; Fe₂O₃: óxido de ferro; CaO: óxido de cálcio; MgO: óxido de magnésio; K₂O: óxido de potássio; Na₂O: óxido de sódio; TiO₂: dióxido de titânio; MnO: óxido de manganês; P₂O₅: pentóxido de fósforo; PF: perda ao fogo.

O solo coletado e seco foi peneirado e disposto em vasos plásticos de 5 L. As quantidades dos tratamentos foram calculadas para uma relação de volume correspondente a 2.000.000 L de solo ha⁻¹. A mistura solo/pó de rocha foi mantida umedecida por 60 dias para promover a reação. Posteriormente, foram semeadas 5 sementes de soja (Monsoy 6210 IPRO). O desbaste foi realizado 20 dias após a

semeadura, deixando apenas 2 plantas por vaso. As plantas foram irrigadas com regador manual todos os dias durante todo o período do estudo.

Tabela 3. Descrição mineralógica por difração de raios X, método Rietveld, de pós de rocha aplicados em experimentos.

Mineral	Fórmula	Dacito 1	Granodi orito	Máfica (%)	Basalto	Dacito 2
Andesina	(Na,Ca)(Si,Al) ₄ O ₈	26,48	66,48		3,00	40,99
Sanidina	(K,Na)(Al,Si) ₄ O ₈	38,73				30,41
Armalcolita	(Mg,Fe ²⁺)Ti ₂ O ₅			31,4		
Plogofita	NaCa ₂ (Mg,Fe ²⁺) ₄ (Al,Fe ³⁺) (Si ₆ Al ₂)O ₂₂ (OH) ₂			25,0		
Quartzo	SiO ₂	25,77	20,73	7,5	1,35	19,54
Augita	(Ca,Na)(Fe,Mg,Al,Ti) (Si,Al) ₂ O ₆				34,65	
Ortoclásio	Ka ₁ Si ₃ O ₈		0,50		2,12	
Caulinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄		0,16	12,50		
Actinolita	(Ca,Na) ₂ (Mg,Fe ²⁺ ,Al) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂		5,93			
Magnetita	Fe ²⁺ Fe ₂ O ₄	2,16	2,94		3,41	
Clinocloro	(Mg,Fe ²⁺) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	0,37	0,43			
Hematita	α-Fe ₂ O ₃	2,93	0,09	10,1	0,18	3,66
Labradorita	(Na,Ca)(Al,Si) ₄ O ₈			7,7	38,28	
Esmectita	Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .nH ₂ O				6,65	
Biotita	K(Mg,Fe) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂		2,06			
Muscovita	Ka ₁ 2(AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	0,88				
Dolomita	(Ca,Mg)CO	1,40				
Calcita	CaCO ₃	0,25	0,43			0,12
Ulvospinel	TiFeO ₄				0,12	
Apatita	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH)		0,17			0,22
Ilmenita	Fe ²⁺ TiO ₃				1,98	
Rutilo	TiO ₂			1,4		
Anatásio	TiO ₂	0,22		4,5		0,21
Baixa cristalidade					8,20	

Fonte: A autora (2025)

2.2 AVALIAÇÕES DE PLANTAS

A colheita foi realizada em todos os experimentos após 40 dias a semeadura, cortando-se a parte aérea das plantas. O material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 50° C por aproximadamente 48 horas, com posterior pesagem para determinação da Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e moagem para análise foliar.

Após a digestão sulfúrica da parte aérea, o P foi determinado por espectrofotometria, o K por fotometria de chama (SILVA, 2009).

2.3 AVALIAÇÕES DE SOLO

O solo foi coletado para análise química no mesmo dia do corte da parte aérea. O material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 50° C por aproximadamente 48 horas, com posterior moagem para análise. As avaliações das características do solo como pH em CaCl₂ (potenciometria), H+Al (potenciometria) determinado pela metodologia do tampão pH SMP, P (espectrofotometria) e K (fotometria) em Mehlich I.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

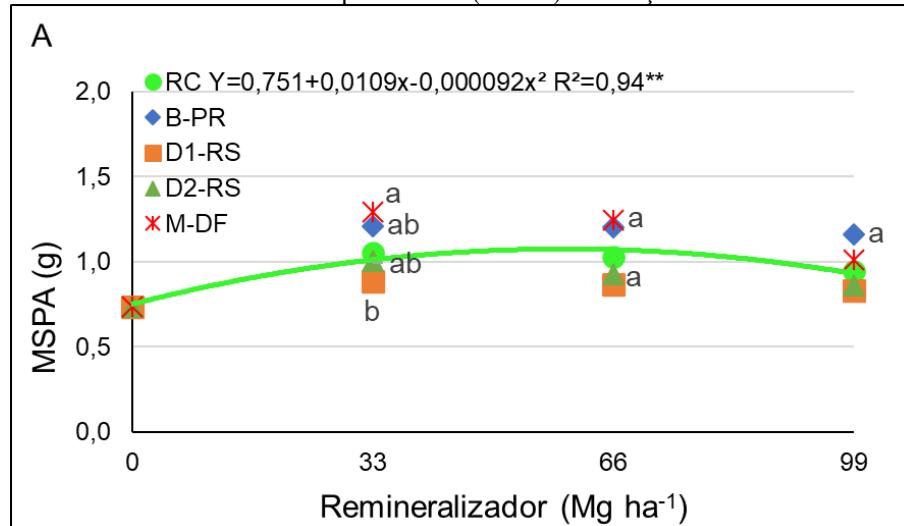
Após as avaliações, os dados foram tabulados e submetidos ao teste de homogeneidade de variância e distribuição normal (SHAPIRO e WILK, 1965; LILLIEFORS, 1967). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e, nos casos de significância para as doses (fator quantitativo), foi realizada uma análise de regressão para testar o modelo de melhor ajuste para os dados, conforme recomendado por Ferreira (2011). Todas as análises foram executadas com o software Sisvar.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA), não demonstrou estatisticamente a interação entre os materiais, ou seja, não ocorreu diferenças no comportamento desta variável em função do material aplicado. Na análise de regressão conjunta dos materiais é possível notar aumento de matéria seca, apresentando pico em 59,24 Mg ha⁻¹ com 1,07 gramas de média, seguida de uma leve queda conforme o aumento das doses, que ocorreu independente da rocha utilizada (Figura 1A), este resultado demonstra que independente da rocha que constitui o remineralizador a aplicação deste insumo tem capacidade de promover o melhor desenvolvimento da planta.

Assim, podemos concluir que, sendo representativo ou não, o teor de nutrientes disponibilizados pelos remineralizadores conseguiu melhorar o crescimento das plantas. Deve-se considerar que o solo utilizado no experimento possuí baixa fertilidade, com todos os nutrientes apresentando teor baixo ou muito baixo, além de apresentar acidez ativa e potencial elevadas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 1. Acúmulo de Matéria Seca da parte Aérea (MSPA) em função das doses de remineralizador.



Fonte: A autora (2025).

As rochas estão representadas por basalto (B-PR), dacito 1 (D1-RS), dacito 2 (D2-RS), granodiorito (G-SC) e máfica alterada (M-DF). RC= regressão conjunta. * e ** indicam significância estatística de 1% e 5%, respectivamente.

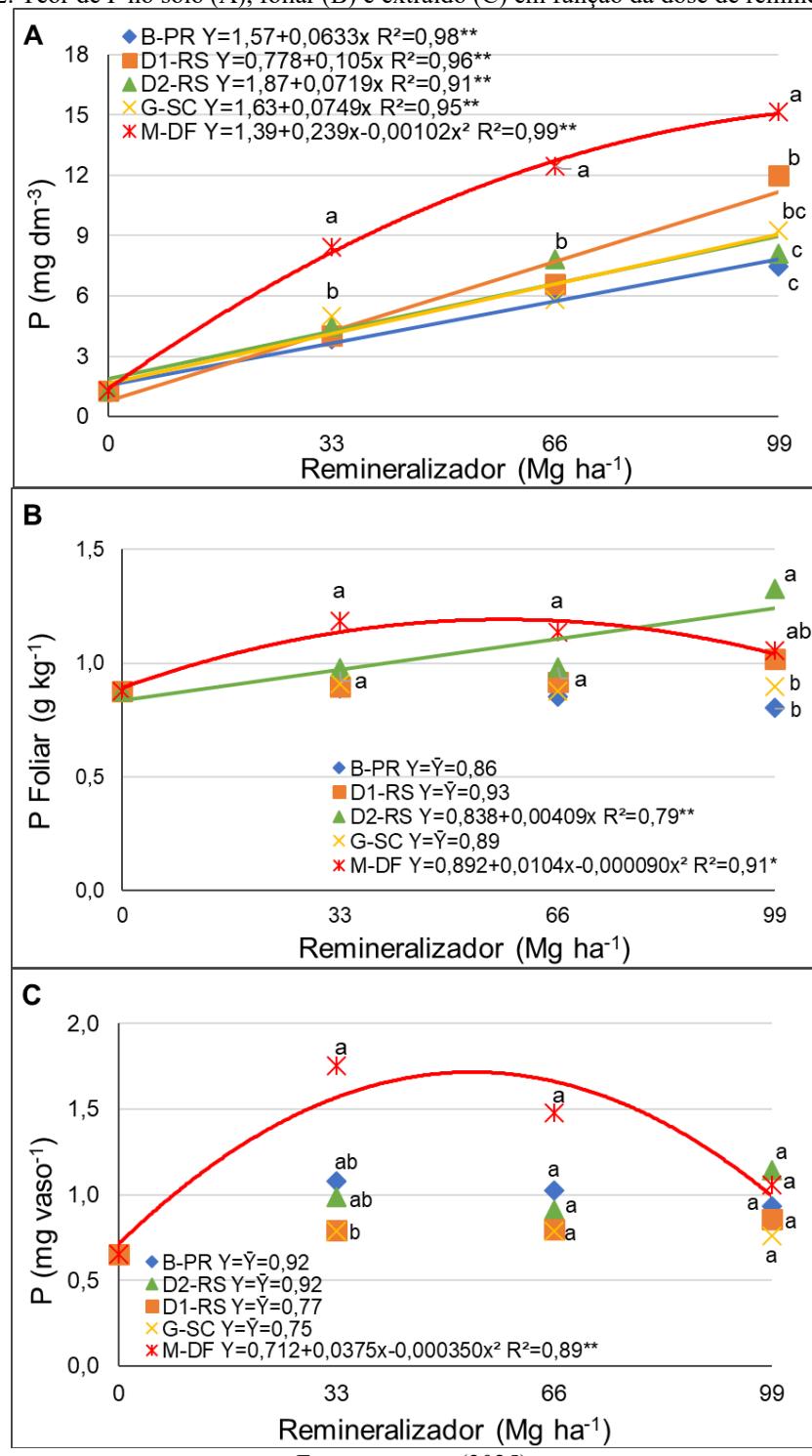
A melhoria das características morfológicas das plantas é comumente observada em diversos trabalhos, que utilizam rochas com características semelhantes as utilizadas neste trabalho como no caso de Souza et al. (2017) que trabalhando com uma ultramáfica do Monte Santo – TO, aplicada a cultura do milheto, observaram aumento crescente da massa seca até a maior dose estudada ($33\ Mg\ ha^{-1}$). Trabalhando com as culturas de soja e sorgo, Almeida et al. (2022) constataram aumento vegetativo em ambas, com a utilização de remineralizador provindo de olivina melilitito, ambos na maior dose, correspondente a $10\ Mg\ ha^{-1}$.

Souza (2022) trabalhando com milho sendo aplicado pó de basalto, analisou a altura das plantas, diâmetro de colmos, índice de área foliar estimado, teor de clorofila e matéria seca da parte aérea, obtendo que todas as características analisadas foram superiores estatisticamente à testemunha.

Incrementos no desenvolvimento das plantas são frequentemente consequência da melhoria na fertilidade do solo, e a melhora no desempenho dessa variável pode estar relacionada ao aumento dos teores de P no solo, uma vez que esse nutriente está presente em baixas concentrações no solo utilizado e tende a ser pouco liberado em solos com elevados teores de argila (SCHINDWEIN et al., 2013).

Com relação a características de fertilidade do solo observou-se que todos os materiais utilizados disponibilizaram P para o solo, ocorrendo incremento nos teores deste nutriente em função das doses para todos os materiais, contudo ocorreram diferenças significativas entre os materiais com alguns destes tendo disponibilizado mais fósforo que os outros (Figura 2A).

Figura 2. Teor de P no solo (A), foliar (B) e extraído (C) em função da dose de remineralizador



Fonte: a autora (2025).

As rochas estão representadas por basalto (B-PR), dacito 1 (D1-RS), dacito 2 (D2-RS), granodiorito (G-SC) e máfica alterada (M-DF). * e ** indicam significância estatística de 1% e 5%, respectivamente.

A rocha máfica foi a que expressou resultados mais elevados na disponibilização do P ao solo, distinguindo-se dos demais materiais desde a menor dose aplicada, com aumento progressivo nos teores. Na maior dose (99 Mg ha^{-1}), os teores de P no solo chegaram à $15,16 \text{ mg dm}^{-3}$. Esses dados demonstram que o solo passou da classe muito baixo para alto teor de fósforo, de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (NEPAR/SBCS, 2019).

As demais rochas apresentaram comportamento semelhante a respeito dos teores de P no solo nas doses de 33 e 66 Mg ha^{-1} , diferenciando-se apenas na dose de 99 Mg ha^{-1} . Nessa condição, o dacito 1 obteve $12,01 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo, ficando logo abaixo da máfica, também promovendo a elevação da classe de P de muito baixa para alta.

Granodiorito, basalto e dacito 2, tiveram comportamentos semelhantes no solo, com ambas as 3 rochas tendo incrementos lineares e com coeficientes angulares semelhantes ($0,0633$; $0,0719$ e $0,0749$ para basalto, dacito 2 e granodiorito respectivamente) (Figura 2A). Nestes 3 materiais ocorreu como diferença apenas o fato do granodiorito, na maior dose ter apresentado um teor de $9,27 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, semelhante ao dacito 1, mas distinto em comparação basalto e dacito 2.

Entretanto, diferenciando-se da rocha máfica o granodiorito não conseguiu promover acúmulo foliar nem extração significativa de P, mesmo tendo elevado os teores de P no solo para uma concentração considerada média (Figura 2B e C). Esse desempenho pode ser explicado pela sua baixa concentração de P_2O_5 , sendo aplicados $49,5 \text{ kg ha}^{-1}$, 99 kg ha^{-1} e $148,5 \text{ kg ha}^{-1}$ nas doses de 33 , 66 e 99 Mg ha^{-1} , respectivamente.

Cabe destacar que os estudos envolvendo o uso de granodiorito como fonte de fósforo ainda são escassos, demandando maior aprofundamento por meio de experimentações em diferentes culturas e condições edafoclimáticas.

Embora sem diferença estatística entre as médias, e ambos apresentando elevação do solo para teor médio, o dacito 2 em comparação ao basalto apresentou como vantagem no desempenho o fato de na maior dose, disponibilizar no solo $8,08 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, enquanto o basalto apenas alcançou teor de $7,48 \text{ mg dm}^{-3}$, possivelmente isto ocorreu pela quantidade de P contido nestes materiais, onde o basalto apresentou na maior dose uma aplicação de apenas 198 kg ha^{-1} contra $217,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 aplicado pelo dacito 2.

Na análise dos teores de P foliar, constatou-se ainda que as plantas cultivadas no solo que recebeu a rocha máfica, foram capazes de absorver o fósforo disponibilizado, sendo que o maior acúmulo ocorreu na dose de aproximadamente $57,78 \text{ Mg ha}^{-1}$, com teores de $1,19 \text{ g kg}^{-1}$ de P na parte aérea (Figura 2B). No entanto, houve redução nos teores foliares à medida que as doses aumentaram, chegando a $1,13 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de 99 Mg ha^{-1} , momento em que o dacito 2 ultrapassou a máfica em

acúmulo foliar, contudo quando se observa a extração do nutriente no solo tratado com esta rocha não foi verificada resposta às doses aplicadas (Figura 2C). A boa performance de dacito em acúmulo foliar foi documentada por Dalmora (2023), que observou incrementos significativos nos teores de P no solo e foliar nas culturas de milho, aveia-preta e eucalipto. De forma inversa, Silva et al. (2022), ao utilizarem uma mistura de dacito e Gabro nas culturas de feijão e aveia-preta, identificaram aumento de P no solo, mas não nos tecidos vegetais.

Para as demais rochas, basalto, dacito 1 e granodiorito, os teores foliares e a extração não apresentaram respostas significativas (Figura 2B e C).

Deve-se destacar que os valores referências para diagnóstico de P foliar varia entre as literaturas, mas para NEPAR/SBCS (2019) situam-se entre 2,8 e 3,6 g kg⁻¹. Nesta pesquisa o máximo de acúmulo foliar de P foi de 1,32 g kg⁻¹ por via do dacito 2, embora isso possa significar que nenhum dos remineralizadores analisados tenha sido capaz de suprir a demanda de P foliar, é importante pontuar que a análise foi realizada na planta inteira e não em folhas do terço médio como é o caso do material que constitui os valores dos comparativos utilizados.

Ressaltamos ainda que em outros trabalhos em que se avaliou os teores de P na planta inteira, com frequência os teores não atingem os intervalos de conformidade para análise foliar (LUCHESE et al., 2021; LUCHESE et al., 2023).

Ao contrário das demais rochas utilizadas a rocha máfica apresentou resultados estatisticamente significativos, quanto à extração (Figura 2C), com comportamento semelhante ao da curva de acúmulo foliar, indicando melhor aproveitamento na dose de aproximadamente 61,99 Mg ha⁻¹ pela planta.

A elevação dos teores de P no solo e no tecido foliar, mesmo com uma extração de P maior que a dos demais materiais, evidencia que a aplicação da rocha máfica foi superior para este nutriente (Figura 2A, B e C). Esses resultados encontrados com aplicação da rocha máfica podem ser atribuídos ao teor de P₂O₅ presente em sua composição química (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Considerando a aplicação das doses, foram fornecidos ao solo 683,2 kg ha⁻¹, 1.366,2 kg ha⁻¹ e 2.049,3 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nas doses de 33, 66 e 99 Mg ha⁻¹, respectivamente, valores consideravelmente superiores aos dos demais remineralizadores. Como por exemplo o dacito 1, que foi um material com boa resposta a disponibilização de P, apresentou um aporte de P₂O₅ equivalente a apenas 10,6% do total aplicado pela rocha máfica.

Outro fato importante a se considerar, é que analisando sua mineralogia (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), observa-se a presença de hematita e caulinita que evidencia processos de intemperismo, conferindo à rocha máfica características como alta reatividade química e facilidade de fragmentação (HEFFERAN e O'BRIEN, 2010).

Na outra extremidade podemos observar que o basalto foi a rocha com o pior desempenho em relação ao P, devendo-se considerar que a quantidade de P_2O_5 aplicada foi de 66 kg ha^{-1} , 132 kg ha^{-1} e 198 kg ha^{-1} nas respectivas doses, isso simboliza apenas 9,6% da quantidade de P_2O_5 fornecida pela rocha máfica demonstrando sua baixa concentração, porém comparando ao granodiorito, o basalto forneceu 25% a mais de P_2O_5 o que sugere a baixa liberação de P pelo material.

A limitada performance do basalto em relação ao P pode estar associada à ausência de apatita — principal mineral responsável pela liberação desse nutriente nessa litologia, conforme descrito por Lewis et al. (2021), o que foi confirmado pela análise mineralógica (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Resultado similar foi observado por Luchese et al. (2021) nas culturas de soja e milho, relatando incremento de P no solo com o uso de basalto, mas sem reflexo nos teores foliares, ao passo que Luchese et al. (2023) observaram aumentos tanto no solo quanto nos tecidos vegetais de soja e milho. Conceição et al. (2022) também reportaram elevação linear dos teores de P e K no solo e nas plantas de milho e feijão.

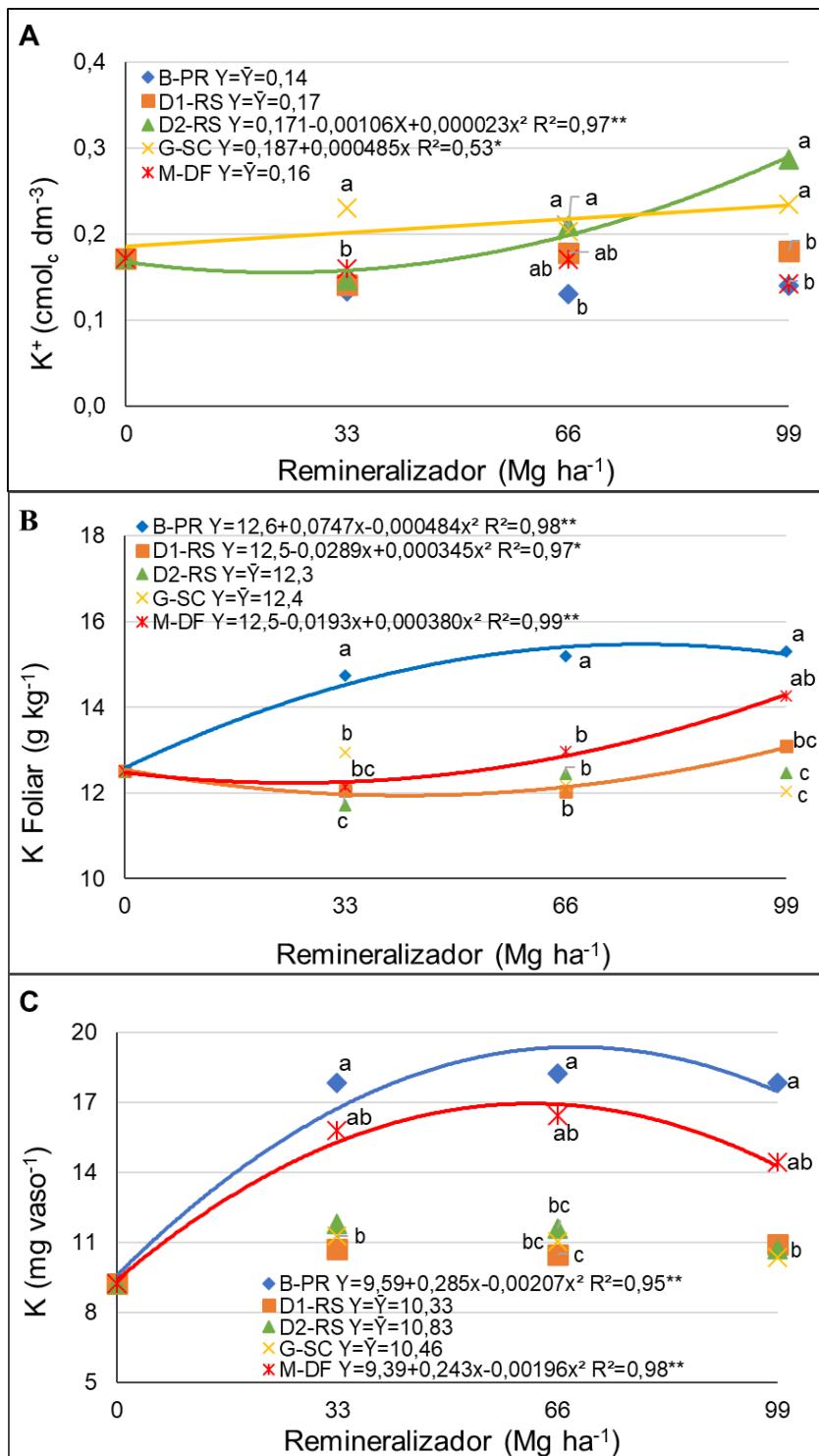
Ainda é relevante sinalizar que mesmo que os valores de extração de P pela cultura não tenham apresentado resposta estatística significativa em função das doses aplicadas para as rochas dacito, 1 e 2, granodiorito e basalto (Figura 2C), na maioria das doses estes materiais se assemelharam a rocha máfica, único material que promoveu extração significativa em função das doses utilizadas.

Assim, com relação aos teores extraídos, somente na dose de 33 Mg ha^{-1} , é que ocorreram diferenças expressivas, com a rocha máfica sendo superior aos teores extraídos pela cultura, enquanto dacito 1 foi a rocha que apresentou a menor extração, com as demais rochas ficando entre estas duas sem se diferenciarem (Figura 2C).

Deve-se salientar que, com a dinâmica do P no solo documentada por Faquin (2005), pode-se pressupor que a disponibilização do P no solo, seguida pela baixa incidência de extração e acúmulo foliar, que o P aderiu aos coloides do solo, principalmente pela alta acidez e acidez potencial que o solo possuía inicialmente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Outro nutriente presente em baixa concentração no solo, sendo assim limitante ao desenvolvimento das plantas e inserido no solo com a aplicação das rochas é o K. Para este nutriente apenas o dacito 2 e o granodiorito apresentaram diferença estatística significativa nos teores de K disponível no solo, com as demais rochas exibindo médias similares à da testemunha, sem evidência de incremento relevante (Figura 3.A).

Figura 3. Teor de K no solo (A), foliar (B) e extraído (C) em função da dose de remineralizador



Fonte: A Autora (2025).

As rochas estão representadas por basalto (B-PR), dacito 1 (D1-RS), dacito 2 (D2-RS), granodiorito (G-SC) e máfica alterada (M-DF). * e ** indicam significância estatística de 1% e 5%, respectivamente.

Comparando o dacito 2 e o granodiorito verifica-se que apenas na dose de 33 Mg ha⁻¹ ocorreu distinção entre os dois materiais, com o granodiorito promovendo maior disponibilidade de K (0,20 cmol_c dm⁻³), enquanto o dacito 2 forneceu 0,16 cmol_c dm⁻³, não se diferenciando estatisticamente dos demais tratamentos.

Em termos de classificação de fertilidade do solo, ambos os remineralizadores (dacito 2 e granodiorito) elevaram os teores de K de classe média para alta na maior dose. Contudo, ambas não apresentaram resultados significativos na análise foliar e de extração (Figura 3.B e 3C). As outras 3 rochas estudadas, dacito 1, máfica e basalto, mesmo não sendo verificado aumento da disponibilidade no solo, as plantas tiveram os teores de K no tecido aumentado, se não desde o começo, como ocorre para o basalto, pelo menos nas maiores doses.

Estudos relacionados ao granodiorito constataram efeitos positivos do material quanto a disponibilização de K. Silva (2024) estudando o granulito, litologia semelhante ao granodiorito, observou melhoria nas características morfológicas da cana-de-açúcar, associada à liberação de K no solo. Contudo, quando Vargas (2022), por sua vez, avaliou um granodiorito gnáissico, associado a composto orgânico, verificou efeito expressivo do remineralizador apenas após nove meses de incubação, com pico de liberação aos 15 meses, indicando que a solubilização do K nesse material ocorre de forma gradual e lenta, com possibilidade de resultados mais expressivos em caso de ensaios com períodos de intemperismo da rocha maiores que os 100 dias, que ocorreram nestes ensaios.

No acúmulo foliar, o basalto foi a rocha com as melhores médias, apresentando aumento desde a menor dose, com acúmulo máximo na dose de 77,2 Mg ha⁻¹ com 15,48 g kg⁻¹ de K foliar (Figura 3.B). O dacito 1 e a rocha máfica diferenciaram-se estatisticamente apenas na dose mais elevada, na qual o dacito 1 resultou em acúmulo de 13,02 g kg⁻¹, enquanto a máfica promoveu 14,31 g kg⁻¹. O desempenho superior da rocha máfica não pode ser atribuído à quantidade de K₂O aplicado, já que forneceu 3920,4 kg ha⁻¹ ao solo, em comparação aos 4187,7 kg ha⁻¹ fornecidos pelo dacito 1. Assim, é plausível associar o melhor desempenho da rocha máfica ao fato de esta ter passado por processos de intemperismo, que favorecem a liberação de potássio.

Assim como para o P, o K também possui parâmetros de avaliação foliar. Tendo os valores ideais na literatura, para NEPAR/SBCS (2019), de 22 a 27 g kg⁻¹. O basalto sendo a melhor rocha em acúmulo foliar de K, obtendo pico de acúmulo de 15,48 g kg⁻¹, não atinge o valor mínimo descrito na literatura, porém novamente ressalta-se, que este trabalho utilizou a planta inteira para determinação foliar, diferente dos valores referência que são de folhas do terço médio.

Na extração somente o basalto e a máfica apresentaram resultados significativos (Figura 3.C). O basalto foi superior a máfica em todas as doses, apresentando maior acúmulo na dose de 68,84 Mg

ha⁻¹ com extração de 19,39 mg vaso⁻¹, enquanto a máfica teve pico de extração de 16,92 mg vaso⁻¹ na dose de 62 Mg ha⁻¹. Considerando a proporção, basalto foi 14,6% superior.

O aumento de K promovido pelo pó de basalto no solo e nas plantas é bem documentado na literatura. Conceição et al. (2022) reportaram elevação linear dos teores de K no solo e nas plantas utilizando basalto. Korchagin et al. (2022), avaliando pó de basalto em pastagens, verificaram aumento de K no solo. Já Luchese et al. (2023) obtiveram os mesmos resultados que os deste trabalho, também utilizando o pó de basalto, observaram ausência de incremento de K no solo devido a eficiente extração pelas plantas.

Eram esperados melhores resultados em relação aos dacitos na disponibilização de K, pois Dalmora et al. (2020) realizaram um estudo ao qual comparou dacito e andesito e seus teores de dissolução, concluindo que o dacito é altamente solúvel, o comparando até mesmo a fertilizantes potássicos altamente solúveis.

Em resumo, observamos que basalto foi a melhor rocha no quesito K pois a planta foi capaz de extrair esse K do solo e acumular nos tecidos foliares. Em seguida temos a rocha máfica com o mesmo comportamento do basalto. O que consolida o basalto ainda como a melhor rocha, é o fato de em sua composição química, possuir um teor de K muito inferior ao da máfica. Esse comportamento do basalto deve-se a presença de ortoclásio em sua composição mineralógica (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), que é fonte direta de K, e também a presença de esmectita, que favorece a liberação de K (HEFFERAN e O'BRIEN, 2010; MELO et al., 2009).

4 CONCLUSÃO

A aplicação de remineralizadores com distintas naturezas mineralógicas apresentou desempenho variável. Estatisticamente todas as rochas utilizadas foram capazes de melhorar o desenvolvimento das plantas de soja, indicando a eficiência do uso desta prática agrícola.

Para o fósforo tem-se o destaque para a rocha máfica, devido a suas características de maior reatividade e concentração, na qual proporcionou a liberação de P no solo que foi absorvido pela planta. O dacito 2, assim como a rocha máfica, forneceu P ao solo que também foi absorvido pela planta. Os demais materiais analisados apenas conseguiram, no rápido período estudado, aumentar as concentrações de P disponível no solo.

No caso do potássio, o basalto e a rocha máfica demonstraram os melhores desempenhos agronômicos na liberação e absorção do nutriente, sendo o basalto superior mesmo possuindo o menor teor de K₂O entre as rochas avaliadas. O granodiorito e o dacito 2 aumentaram os teores de K no solo, contudo, não em condições que possibilitaram a absorção pela planta. Por último na disponibilização

de K, temos a rocha dacito 1, que demonstra uma baixa liberação de K em comparação as demais, sendo suficiente somente para elevar os teores de K no tecido vegetal da planta em doses elevadas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Jaime Antonio de et al. Potencial do pó da rocha olivina melilitito como remineralizador de solos de acordo com tamanho de partículas e doses. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, [S. l.], v. 57, n. Z, p. e01445, 2022. Disponível em: <https://apct.sede.embrapa.br/pab/article/view/27164>. Acesso em: 18 jun. 2025. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.01445>.
- ALOVISI, Alessandra Mayumi Tokura et al. Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, p. 918-932, 2020. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/9218. Acesso em: 13 Jul. 2025. <https://doi.org/10.19177/rsga.v9e02020918-932>.
- ALOVISI, Alessandra Mayumi Tokura et al. Atributos de fertilidade do solo e produtividade de milho e soja influenciados pela rochagem. *Acta Iguazu*, v. 6, n. 5, p. 57–68, 2017. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v6i5.18470>.
- ANDA Associação Nacional para Difusão de Adubos. Disponível em: https://anda.org.br/pesquisa_setorial/. Acesso em: 13 Jul. 2025.
- ASOMANING, Samuel Kwesi. Processes and Factors Affecting Phosphorus Sorption in Soils. In: KYZAS, George; LAZARIDIS, Nikolaos. *Sorption in the 2020s*. IntechOpen. 2020.
- BAUWHEDE, Robrecht Van Der et al. Accelerated weathering of silicate rock dusts predicts the slow-release liming in soils depending on rock mineralogy, soil acidity, and test methodology. *Geoderma*, v. 441, p. 116734, 2024.. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116734>.
- BERGMANN, Magda et al. Considerações sobre o potencial de uso agronômico 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.
- BRASIL, Eliana Paula Fernandes et al. Agronomic Efficiency of Biotite in Soybean and Corn Silage Production. *Journal of Agricultural Science*, v. 15, n. 1, p. 80, 2022. <https://doi.org/10.5539/jas.v15n1p80>.
- BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 240, 11 dez. 2013. Seção 1, p1.
- BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050) Brasília: SAE, 2021 195 p.1v.: il. Anexos.
- BURGHELEA, Carmen I. et al. Trace element mobilization during incipient bioweathering of four rock types. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 234, p. 98-114, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.05.011>.

CASTRO, Gustavo Spadotti Amaral et al. Effects of surface application of dolomitic limestone and calcium-magnesium silicate on soybean and maize in rotation with green manure in a tropical region. *Bragantia*, v. 74, p. 311-321, 2015. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0346>.

CONCEIÇÃO, Lucas Terto et al. Potential of basalt dust to improve soil fertility and crop nutrition. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 10, p. 100443, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100443>.

CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa et al. Broadcast application of ground silicate rocks as potassium sources for grain crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 57, p. e02443, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02443>.

DALMORA, Adilson Celimar et al. Avaliação da potencialidade de duas rochas vulcânicas do estado do Rio Grande do Sul como remineralizador de solos em cultivo de aveia preta, milho e eucalipto. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/271182>. Acesso em: 23 Jun. 2025.

DALMORA, Adilson Celimar et al. "Understanding the mobility of potential nutrients in rock mining by-products: An opportunity for more sustainable agriculture and mining". *Science of The Total Environment*, v. 710, 2020. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136240.

DANTAS, Maria Vitória Bortolan et al. Potencial de uso de remineralizadores de solo no estado de São Paulo. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2022, Campinas. Anais... Campinas: Instituto Agronômico, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1146300/potencial-de-uso-de-remineralizadores-de-solo-no-estado-de-sao-paulo>. Acesso em: 21 de Jul. 2025.

FAQUIN, Valdemar. Nutrição mineral de plantas. Minas Gerais: UFLA/Faepe, 2005.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. Ciência e agrotecnologia, v. 35, p. 1039-1042, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

HEFFERAN, Kevin; O'BRIEN, John. Earth Materials: Introduction to Mineralogy and Petrology. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

KORCHAGIN, Jackson et al. Transferência de nutrientes em pastagens sob tratamento com pó de rocha. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 185, n. 5, p. 656-667, 2022. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200059>.

LEWIS, Amy L. et al. Effects of mineralogy, chemistry and physical properties of basalts on carbon capture potential and plant-nutrient element release via enhanced weathering. *Appl Geochem*, v. 132, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.105023>.

LILLIEFORST, Hubert W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American statistical Association*, v. 62, n. 318, p. 399-402, 1967. <https://doi.org/10.1080/01621459.1967.10482916>.

LUCHESE, Augusto Vaghetti et al. Can basalt rock powder be used as an alternative nutrient source for soybeans and corn? *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 23, n. 3, p. 4044-4054, 2023. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01322-3>.

LUCHESE, Augusto Vaghetti et al. Agronomic feasibility of using basalt powder as soil nutrient remineralizer. *Afr. J. Agric. Res.*, v. 17, n. 3, p. 487-497, 2021. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.15234>.

MELO, Vander de Freitas et al. Reserva Mineral do Solo In: MELO, Vander de Freitas; ALLEONI, Luis Reynaldo Ferracciú. *Química e Mineralogia do Solo - Parte I - Conceitos básicos*. Viçosa: SBCS, 2009. p. 251-332.

MORETTI, Luis Gustavo et al. Dunite in agriculture: physiological changes, nutritional status and soybean yield. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 50, n. 14, p. 1775-1784, 2019. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1635143>.

NUNES, Jéssica Maria Gregory. Caracterização de resíduos e produtos da britagem de rochas basálticas e avaliação da aplicação na rochagem. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em avaliação de impactos ambientais), Centro Universitário La Salle – Unilasalle, Canoas, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11690/549>. Acesso em: 13 Jul. 2025.

ONU News. Perspectiva Global Reportagens Humanas. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/06/1794212>, Acesso em: 07 de nov de 2024.

PILLON, Clenio Nailton. Dos pós de rocha aos remineralizadores: passado, presente e desafios. In: BAMBERG, Adilson Luis et al. *Anais III Congresso Brasileiro de Rochagem*. Pelotas: Triunfal Gráfica e Editora, 2017. p. 15-22.

RODRIGUES, Marlon et al. Paraná Basin Basalt Powder: A Multinutrient Soil Amendment for Enhancing Soil Chemistry and Microbiology. *Journal of South American Earth Sciences*, p. 104957, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.104957>

SANTANA, Adalgisa de Jesus Pereira et al.. Remineralização de solo agrícola: Estudo das alterações químicas decorrentes de intemperismo acelerado. *Revista ARACE*. V. 7, n. 3, p.12227-12240, 2025. <https://doi.org/10.56238/arev7n3-120>.

SANTOS, Rogério Pires. Avaliação da taxa de colonização por fungos micorrízicos arbusculares em solo em consórcio com resíduos de corte de granito e macrófitas aquáticas. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 7, n. 2, p. 690–703, 2018. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018690-703>.

SBCS; NEPAR. Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2019.

SCHLINDWEIN, Jairo André et al. Phosphorus and potassium fertilization in no till southern Brazilian soils. *Agricultural Scienses*, v. 4, n. 12, p. 39-49, 2013. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2013.412A004>.

SHAPIRO, Samuel Sanford; WILK, Martin. Bradbury. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>.

SILVA, Fábio César da. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa informação Tecnológica, 2009.

SILVA, Fábio Júnior Pereira da et al. O blend gabro dacito como remineralizador de solo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 17, n. 1, p. 1-9, 2022. <https://doi.org/10.5039/agraria.v17i1a1419>.

SILVA, Lázaro Matheus Franco da. Remineralizador de rocha granulito como fonte de K e Mg no cultivo de cana-de-açúcar. 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/32537>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SINGTUEN, Vimoltip et al. Alteration of high alkaline and alkaline basaltic rocks: parent rocks in the Lava Durian orchard, Sisaket Province, NE Thailand. *Heliyon*, v. 7, n. 12, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08619>.

SOUZA, Fred Newton Silva et al. Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtidos de resíduos de mineração. *AGRI-ENVIRONMENTAL SCIENCES*, v. 3, n. 1, p. 1-14, 30 set. 2017. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/204>. Acesso em: 13 Jul. 2025. <https://doi.org/10.36725/agries.v3i1.204>.

SOUZA, Gabriel Vinícius Lima da. Avaliação da eficiência agronômica do pó de rocha basáltica como remineralizador de solos. Trabalho de graduação (Bacharelado em Engenharia Agronômica), Universidade Estadual Paulista – Unesp, Jaboticabal, 2022.

SWOBODA, Philipp et al. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. *Science of The Total Environment*, v. 807, p. 150976, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150976>.

VARGAS, Roger Matheus Dubal. Influência do granodiorito gnaissico como fonte de potássio no solo argissolo vermelho. Trabalho de graduação (Bacharelado em Agronomia), Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Santana do Livramento, 2022.