

# APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA DO GRANITO IMARUÍ-CAPIVARI EM GLEISSOLO HÁPLICO E ARGISSOLO VERMELHO AMARELO: IMPACTOS NA FERTILIDADE DO SOLO E SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA NA REGIÃO DE IMARUÍ

Edson Luiz ÁVILA<sup>1</sup>

Gabriel Allebrandt THOMAS<sup>2</sup>

Mauricio Oliveira Righi da SILVA<sup>3</sup>

## RESUMO

Este estudo avalia a eficiência do Granito Imaruí-Capivari (GIC) como remineralizador de Gleissolo Háptico e Argissolo Vermelho Amarelo, em condições controladas de casa de vegetação. O objetivo foi determinar se diferentes doses de GIC poderiam melhorar a fertilidade do solo em relação a um fertilizante comercial aprovado pelo MAPA. A metodologia incluiu análises petrográficas e geoquímicas, além de experimentos com cultivos de beterraba e feijão-preto, realizados com múltiplas replicações para garantir a consistência dos dados. Foram utilizadas diferentes doses de GIC e avaliados os efeitos no solo com base nos índices Ki ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e Kr ( $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$ ). A mudança no índice Ki: -42,52% indica uma redução no grau de intemperismo, ou preservação de minerais primários. O aumento no índice Kr: 49,27% indicam um aumento no grau de intemperismo, o que pode estar relacionado à mobilidade de cátions, destacando o GIC como uma alternativa sustentável aos remineralizadores comerciais. Essa aplicação não só reduz a dependência de fertilizantes químicos importados, mas também contribui para práticas agrícolas sustentáveis, alinhadas com esforços globais para uma agricultura mais resiliente e menos intensiva em insumos externos.

**Palavras-chave:** Remineralização do Solo, Capacidade de Troca Catiônica, Fertilidade do Solo.

---

<sup>1</sup> Doutor em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI).

<sup>2</sup> Graduado em Geologia pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

<sup>3</sup> Mestrando em Sensoriamento Remoto na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

## APPLICATION OF ROCK DUST FROM IMARUÍ-CAPIVARI GRANITE IN HAPLIC GLEYSOL AND RED YELLOW ARGISOL: IMPACTS ON SOIL FERTILITY AND AGRICULTURAL SUSTAINABILITY IN THE IMARUÍ REGION

### ABSTRACT

This study evaluated the efficiency of Imaruí-Capivari Granite (GIC) as a soil remineralizer in Haplic Gleysol and Red-Yellow Argisol, under controlled greenhouse conditions. The objective was to determine if different doses of GIC could enhance soil fertility compared to a commercial fertilizer approved by MAPA. The methodology included petrographic and geochemical analyses, as well as experiments with beet and black bean crops, conducted with multiple replications to ensure data consistency. Different doses of GIC were used and the effects on the soil were assessed based on the  $K_i$  ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) and  $K_r$  ( $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$ ) indices. The change in the  $K_i$  index: -42.52% indicates a reduction in the degree of weathering, or preservation of primary minerals. The increase in the  $K_r$  index: 49.27% indicates an increase in the degree of weathering, which may be related to cation mobility, highlighting GIC as a sustainable alternative to commercial remineralizers. This application not only reduces dependence on imported chemical fertilizers, but also contributes to sustainable agricultural practices, aligned with global efforts towards more resilient and less input-intensive agriculture.

**Keywords:** Soil Remineralization, Cation Exchange Capacity, Soil Fertility

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a ONU, a população mundial deve atingir 9 bilhões até 2050. A fim de atender à crescente demanda, a FAO estima que a produção de alimentos será ampliada em 50% (ONU, 2022; FAO, 2017). Esta situação reforça a importância de otimizar o uso de insumos agrícolas, com destaque para o potássio, que é fundamental para o crescimento e resposta ao estresse das plantas (Sardans *et al.*, 2021). A oferta de fertilizantes é desafiada pelos altos preços, influenciados por tensões geopolíticas, como o conflito entre Rússia e Ucrânia, que podem manter os preços altos por muito tempo (Seixas, 2022).

No Brasil, a legislação autoriza o uso do pó de rocha como remineralizador, com o objetivo de melhorar a fertilidade do solo e apoiar a agricultura sustentável (Theodoro *et al.*, 2006; Martins *et al.*, 2010). As Instruções Normativas nº 5 e 6 padronizam o registro e uso de remineralizadores, assegurando sua segurança e eficácia (BRASIL, 2016).

A geodiversidade brasileira oferece rochas como basalto, xistos, kamafigitos, fonolitos, gnaisses e serpentinitos, que se destacam na liberação gradual de nutrientes, promovendo um cultivo mais sustentável (Bergmann *et al.*, 2009; Cola; Simão, 2012; Brito *et al.*, 2019; Aquino *et al.*, 2020; Theodoro *et al.*, 2021; Câmara *et al.*, 2022). A rochagem, além disso, melhora a retenção de água em solos arenosos, reduzindo a necessidade de irrigação e dependência de fertilizantes importados e caros (Beerling *et al.*, 2018).

A dependência do Brasil em importações de KCl impacta a segurança nacional em fertilizantes e contribui para a salinização do solo, prejudicando a saúde das plantas e a produtividade (Ribeiro *et al.*, 2020). O Plano Nacional de Fertilizantes de 2023 visa reduzir essa dependência, aumentando a produção nacional de fertilizantes e expandindo a oferta de nutrientes orgânicos e organominerais (Brasil, 2023).

O pó de granito, como remineralizador, mostrou-se eficaz em diminuir a acidez do solo e aumentar a disponibilidade de Ca, Mg e K, melhorando o rendimento das culturas (Silva *et al.*, 2013). Pesquisas indicam que o pó de rocha pode atuar como corretivo de solo e ser economicamente vantajoso em doses específicas (Faraone e Hillier, 2020; Tamfuh *et al.*, 2022).

Além disso, os pós de rochas silicatadas têm potencial para aumentar a CTC do solo, pois o intemperismo desses materiais leva à formação de argilominerais, que geram cargas negativas.

Devido à sua granulometria fina, esses pós estão mais sujeitos ao intemperismo em comparação com os processos naturais de formação de cargas no solo (Anda *et al.*, 2013).

Martins *et al.* (2023) destacam que remineralizadores corrigem o pH e fornecem nutrientes, formando novas fases minerais com alta carga superficial. O silício é fundamental na ecofisiologia das plantas, conferindo resistência à herbivoria, doenças, estresse hídrico e desequilíbrios nutricionais (Cornelis *et al.*, 2019).

Os fitólitos, silícios amorfos fitogênicos, podem reabastecer o Si no solo durante a pedogênese. Nos solos da região costeira do sudoeste da Austrália, processos pedogenéticos, como a descarbonatação e a formação de óxidos de ferro e argilas, seguidos pela dissolução de argilas e eluviamento de Fe, enriquecem o solo com quartzo. Nessa evolução, os fitólitos controlam a disponibilidade de sílica, enquanto compostos carbonatados de silício diminuem.

Estudos reforçam a sustentabilidade da rochagem pelo seu potencial em apoiar a biodiversidade e contribuir para o sequestro de carbono, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (Ávila e Corrêa, 2024). A rochagem intensifica o processo de intemperismo, essencial na reciclagem de materiais na superfície terrestre, facilitando a liberação lenta de nutrientes (Nesbitt e Young, 1982; Ohta e Arai, 2007).

Martins *et al.* (2023) afirmam que a resposta consistente das plantas aos remineralizadores indica que minerais silicáticos pouco alterados podem incentivar as plantas a desenvolverem raízes mais profundas em busca de nutrientes no solo, como ocorria originalmente. Segundo Dahlin *et al.* (2015), a adubação química pode comprometer essa capacidade, interferindo na relação simbiótica das plantas com microrganismos e alterando a estrutura de suas raízes.

Apesar do reconhecimento das capacidades dos remineralizadores em modificar a química do solo, pouco se sabe sobre como essas alterações se comparam quantitativamente às provocadas pelos fertilizantes convencionais através de múltiplos ciclos de cultivo.

Os índices Ki e Kr, usados neste estudo para quantificar essas mudanças, oferecem uma nova perspectiva sobre a dinâmica de longo prazo do solo, revelando nuances ainda pouco exploradas nas práticas agrícolas vigentes. A investigação desses índices preenche uma lacuna importante e ressalta a necessidade de mais pesquisas sobre os impactos sustentáveis de longo prazo desses tratamentos no solo.

O Granito Imaruí-Capivari (GIC), identificado por Castro e Castro (1969) e Trainini *et al.* (1978), foi avaliado pelo seu potencial remineralizador, analisando a liberação de nutrientes e seus efeitos na fertilidade do solo e na Capacidade de Troca Catiônica (CTC) em dois cultivos. O estudo também utiliza o Índice de Empacotamento de Cátions (K) para avaliar o intemperismo e a durabilidade da rocha, além de investigar seu impacto na diminuição de fertilizantes químicos e na sustentabilidade agrícola (Ceryan *et al.*, 2008a, 2008b). Portanto o objetivo dessa pesquisa foi determinar se diferentes doses de GIC poderiam melhorar a fertilidade do solo em relação a um fertilizante comercial aprovado pelo MAPA.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia do estudo envolveu a aplicação de diferentes doses de Granito Imaruí-Capivari (GIC) em blocos causalizados, com quatro repetições, comparando-as com controles absoluto e positivo, em dois tipos de solos cultivados com beterraba e feijão-preto, em casa de vegetação.

### 2.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS

As amostras foram secas a 70 °C e, em seguida, peneiradas conforme a norma ABNT NBR 7181 (2018), utilizando um peneirador vibratório equipado com peneiras da série Tyler, com aberturas de 2,0 mm a 0,038 mm. Após a separação das frações granulométricas, as amostras foram pesadas.



GIC foi utilizado o Diagrama TAS ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{SiO}_2$ ; Cox *et al.*, 1979) adaptado, para rochas plutônicas, por Wilson (1989). Os resultados foram analisados com os softwares R e GCDkit.

### 2.3 AVALIAÇÃO DO GRAU DE INTEMPERISMO COM BASE NOS ÍNDICES $K_i$ E $K_r$

Para avaliar o grau de intemperismo das amostras, foram utilizados os índices  $K_i$  e  $K_r$ , propostos por Harrassowitz (1926) *apud* Siqueira *et al.* (2014), que quantificam a alteração química em rochas e solos silicáticos.

O índice  $K_i$ , calculado pela relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , com valores elevados ( $> 2$ ), indica pouco intemperismo e preservação de minerais primários, enquanto valores baixos ( $\sim 1$ ) sugerem alto grau de alteração e formação de minerais secundários. O índice  $K_r$  ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO}$ ), com valores  $> 2,5$ , indica intemperismo fraco, entre 1,5 e 2,5, intemperismo moderado, e  $< 1,5$  intemperismo intenso, com perda de cátions móveis.

### 2.4 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE EMPACOTAMENTO DE CÁTIONS

O Índice de Empacotamento de Cátions ( $k$ ) é calculado a partir da composição mineralógica da rocha, obtida por análise geoquímica. Em seguida, determina-se o número de cátions por fórmula unitária de cada mineral e seu volume molar, utilizando densidade e massa molar, conforme a Equação 1:

$$k = \frac{(C \times N_L)}{V_M} \quad (1)$$

onde  $C$  é o número de cátions,  $N_L$  é o número de Avogrado e  $V_M$  é o volume molar. Por fim, o índice total da rocha é obtido pela média ponderada dos  $k$  de cada mineral.

### 2.5 AMOSTRAGEM E CULTIVO EXPERIMENTAL

Para os estudos, foram utilizados dois tipos de solo: Gleissolo Háptico na casa de vegetação CV1, coletado de uma área anteriormente cultivada com arroz e agora usada como pastagem, e Argissolo Vermelho-Amarelo na CV2, obtido de uma área em pousio. O Argissolo tem origem dada pelo Granito Imaruí-Capivari, já o Gleissolo Háptico, possui origem marinha, com intenso retrabalhamento.

O cultivo experimental, envolvendo beterraba e feijão-preto com ciclos de 90 dias, foi organizado em blocos casualizados com quatro repetições e sete tratamentos: testemunho absoluto (ta), com fertilização de nitrogênio (N) e fósforo (P), sem o fertilizante K, e o testemunho positivo (tp), com 3 ton/ha de um fertilizante comercial aprovado pelo MAPA e mais NP. Nos tratamentos com GIC (MIX3, MIX4, MIX5, MIX e MIX7), foram aplicadas doses (3; 6; 9; 12 e 15 t/ha) em dois cultivos consecutivos e mais NP. A Figura 1 mostra os locais de coleta dos solos.

A fertilização foi realizada conforme as normas do Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (2016), publicado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-Núcleo Regional Sul, garantindo uniformidade nos insumos utilizados e consistência nas variáveis estudadas. O método de blocos casualizados minimizou a variação entre blocos, permitindo avaliar a eficácia do GIC como remineralizador em comparação aos controles.

## 2.6 ESTATÍSTICA PARA AVALIAÇÃO DAS VARIAÇÕES DE ÓXIDOS NO SOLO APÓS DIFERENTES CULTIVOS

Para avaliar as variações dos óxidos em cada cultivo, foi adotada uma metodologia específica. Primeiro, aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados. Com base nesses resultados, a análise estatística prosseguiu com o teste de Kruskal-Wallis, seguido de ajustes pós-teste e métodos de correlação. A análise de agrupamento (*clustering*) foi então utilizada para identificar padrões e grupos similares entre os tratamentos, ajudando a compreender melhor as diferenças na composição dos óxidos e nas características do solo após os cultivos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

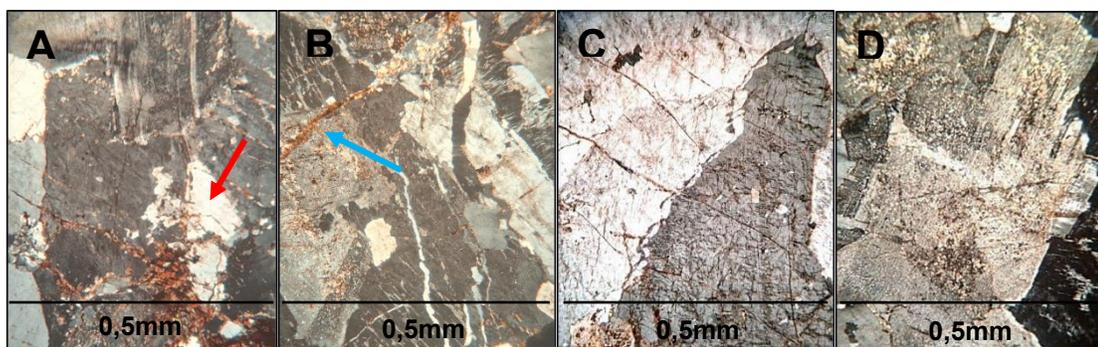
#### 3.1 GRANULOMETRIA DO GIC

O perfil granulométrico do GIC revela que 100% das partículas são menores que 2,0 mm, 93,92% abaixo de 0,840 mm, e 69,74% menores que 0,300 mm. O GIC é classificado como sienogranito (Streckeisen, 1976).

A granulometria ideal de um remineralizador deve considerar fatores como tipo de solo e planta, rocha, dosagem, duração do estudo e modificadores, como bactérias, conforme sugerido por diversos autores (Harley e Gilkes, 2000, Van Straaten, 2006; Manning, 2017).

#### 3.2 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

O Granito Imaruí-Capivari (GIC) possui coloração cinza, textura inequigranular holocristalina e porfírica, com fenocristais de feldspato potássico (microclínio e ortoclásio, 50%), quartzo (23%), plagioclásio (oligoclásio, 20%), biotita (4%) e minerais acessórios (1%) como allanita, titanita, apatita, zircão e secundários (2%) como muscovita, epidoto, clorita, caulinita e argilominerais (Figura 2).



**Figura 2 – A: Plagioclásio com geminação curvada, parcialmente saussuritizado, feldspato potássico com pertita, microfraturado, biotita alterada e presença de albita hidrotermal (seta vermelha); B: Feldspato potássico microfraturado preenchido por quartzo. Na porção superior esquerda, uma microfratura com percolação subsequente associada a fluido com ferro é evidenciada (seta azul). C: Feldspato potássico apresentando macla de Carlsbad, com uma microfratura seccionando perpendicularmente o mineral; D: Plagioclásio parcialmente saussuritizado com borda recristalizada (albita).**

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

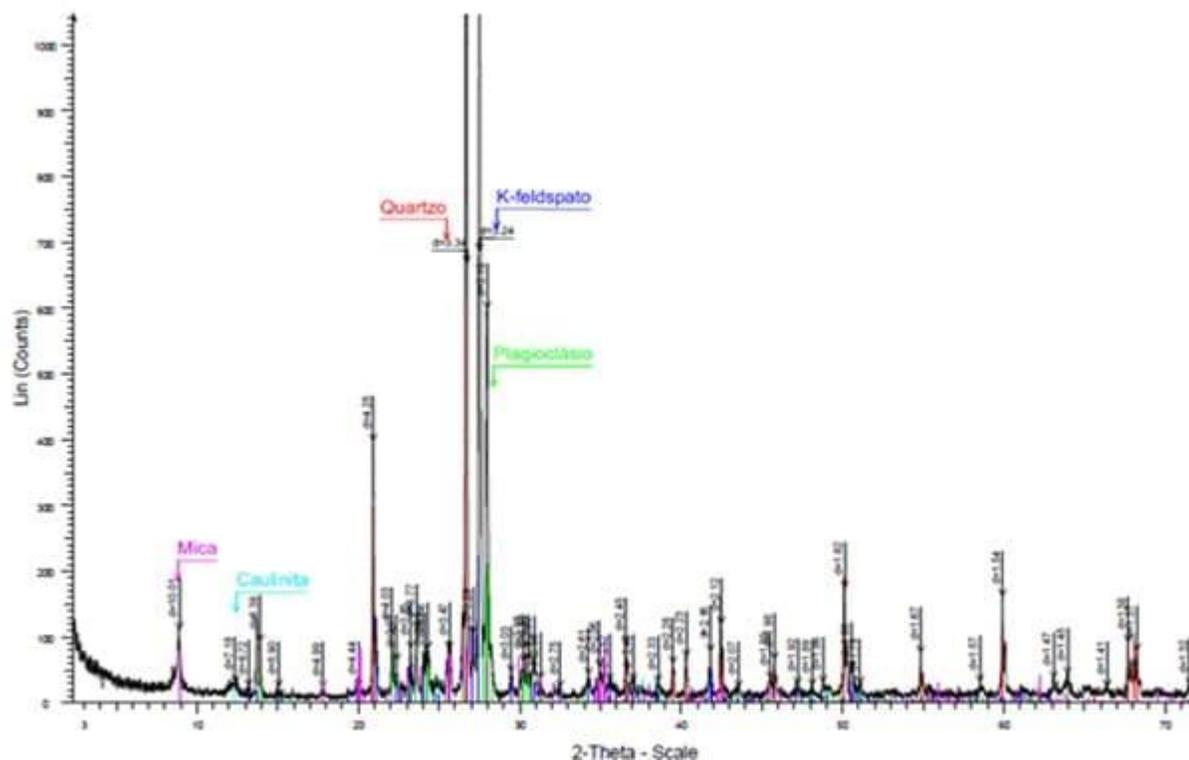
Os feldspatos potássicos, frequentemente micro fraturados, facilitam a formação de sericita, enquanto o plagioclásio ocorre em duas fases: uma primária, tabular e saussuritizada, e uma secundária, subédrica a anédrica. A biotita, com borda de reação e lamelar, exhibe alteração para clorita e óxido de ferro. A deformação plástica, como extinção ondulante e recristalização, é comum no quartzo e nos pórfiros feldspáticos.

A amostra apresenta hidrotermalismo de fraca a média intensidade, com greisenização e recristalização de quartzo. As microfraturas nos feldspatos e sua alteração para sericita indicam fragilidade estrutural, enquanto a saussuritização do plagioclásio e recristalização do quartzo refletem exposição hidrotermal, amplificada pela transformação da biotita em muscovita e clorita, aumentando a vulnerabilidade ao intemperismo químico e liberando potássio (K) para a remineralização de solos.

O Granito Valungana (GV) sofreu intensas transformações hidrotermais, resultando em sericitização dos feldspatos, cloritização e epidotização da biotita, além de muscovitização do plagioclásio (Bastos Neto *et al.*, 1999). A presença de microfraturas e a sericitização dos feldspatos ampliam a superfície exposta dos minerais, enquanto os processos pós-magmáticos reduziram sua ordenação estrutural, ambos favorecendo a lixiviação de K<sup>+</sup> (Ciceri *et al.*, 2017).

### 3.3 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X

O difratograma de raios-X mostra uma predominância de K-feldspato (39%) e plagioclásio (28%), indicando que esses minerais são os principais responsáveis pela liberação gradual de potássio e outros cátions essenciais para a fertilidade do solo (Figura 3).



**Figura 3 – Difratoograma de raios-X**

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

A presença de mica (9%) e caulinita (2%) também sugere a contribuição desses minerais para a estabilidade estrutural e capacidade de troca catiônica, favorecendo o intemperismo e a liberação lenta de nutrientes.

Avila e Corrêa (2023) analisaram o Granito Valsungana, Santa Catarina, via DRX, identificando as composições minerais: 47,30% microclínio, 21,05% albita, 14,49% quartzo, 9,59% ilita e 9,17% caulinita.

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO GIC

A caracterização geoquímica do granitoide do GIC está baseada em determinações de óxidos principais. A tabela 1 mostra os percentuais dos principais óxidos.

As amostras GIC1 e GIC2 do Granito Imaruí-Capivari apresentam altos teores de SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, essenciais para a remineralização do solo. A GIC1 possui maior teor de K<sub>2</sub>O (5,4%) em comparação à GIC2 (4,76%), o que pode influenciar a disponibilidade de potássio.

A GIC2 apresenta maiores concentrações de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO, CaO e Na<sub>2</sub>O, sugerindo variações

mineralógicas locais que podem impactar a liberação de nutrientes no solo. Rochas silicáticas enriquecidas em K têm sido exploradas tanto para aplicação direta (rochagem) quanto para produção alternativa de fertilizantes (Martins *et al.*, 2008).

**Tabela 1 – Percentual dos Principais Óxidos Contidos no GIC**

Amostra	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total
GIC1	69,35	0,3	15,42	1,25	1,62	0,97	0,07	1,78	2,16	5,4	0,1	98,42
GIC2	68,67	0,72	16,64	1,80	2,42	1,17	0,06	1,98	2,57	4,76	0,13	98,60

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

A classificação química da rocha, com base nos dados normativos CIPW, foi plotada no diagrama TAS (Cox *et al.*, 1979) e no diagrama K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub>, classificando a rocha como granito com assinatura subalcalina.

### 3.5 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DA EFICÁCIA DE UM REMINERALIZADOR EM COMPARAÇÃO A FERTILIZANTES NO INTEMPERISMO QUÍMICO DO SOLO

A tabela 2 mostra os graus de intemperismo químico definidos pelo comportamento dos índices Ki e Kr, que quantificam a alteração química e a resistência relativa, respectivamente, das amostras de solo após diferentes tratamentos e cultivos.

**Tabela 2 – Índices Ki e Kr das amostras de solo após diferentes tratamentos e cultivo**

Amostra	Ki	Kr
GIC	4,5	2,8
Test. Absoluto 1º cultivo (tpa1º)	4,88	3,6
Test. Positivo 1º cultivo (tp1º)	3,11	2,51
MIX3 1º cultivo	4,65	3,42
MIX4 1º cultivo	5,02	3,68
MIX5 1º cultivo	4,34	3,26
MIX6 1º cultivo	4,52	3,35

MIX7 1º cultivo	4,32	3,2
Test Absoluto 2º cultivo	4,88	3,57
Test Positivo 2º cultivo	4,82	3,54
MIX3 2º cultivo	4,8	3,57
MIX4 2º cultivo	4,8	3,55
MIX5 2º cultivo	4,9	3,66
MIX6 2º cultivo	4,82	3,52
MIX7 2º cultivo	4,79	3,52

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Analisando a tabela 2, o índice Ki variou de 3,11 (tp1º) a 5,02 (MIX4.1º) no 1º cultivo, e de 4,79 a 4,9 no 2º cultivo. O índice Kr foi de 2,51 a 3,68 no 1º cultivo, e de 3,52 a 3,66 no 2º, confirmando o intemperismo contínuo. A análise estatística revelou uma forte correlação positiva entre os índices Ki e Kr ( $\rho = 0,96$ ,  $p < 0,001$ ), indicando que ambos os índices aumentam consistentemente em todos os tratamentos, incluindo o (ta), e o (tp), e os mixes (MIX1, MIX2 e MIX3) com diferentes doses de GIC.

Os resultados indicam que o comportamento químico do solo em relação ao intemperismo é semelhante entre os grupos analisados, refletindo padrões de preservação mineral e mobilidade de cátions. O teste de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney U não revelou diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos com GIC (3 a 15 ton/ha) e as testemunhas (ta e tp), indicando que o GIC não promoveu alterações significativas nos índices de intemperismo quando comparado ao remineralizador comercial.

Essa estabilidade química sugere que o GIC pode ser uma alternativa viável ao fertilizante convencional, mantendo um comportamento semelhante na dinâmica dos elementos no solo. O Teste de Levene ( $p = 0,59$ ) confirmou a homogeneidade das variâncias entre os grupos, reforçando a consistência dos resultados.

A forte correlação entre os índices Ki e Kr ( $\rho = 0,96$ ,  $p < 0,001$ ) evidencia padrões consistentes de intemperismo e mobilidade de cátions, alinhando-se aos achados de Rocha Filho *et al.* (1985), que destacaram a confiabilidade desses índices na avaliação da alteração química dos minerais. Os resultados sugerem que o GIC apresenta um intemperismo adequado para a liberação gradual de potássio (K) e sílica, elementos fundamentais para a fertilidade do solo e a resiliência

das culturas. A sílica contribui para o fortalecimento das paredes celulares das plantas e melhora a resistência ao estresse hídrico, enquanto o potássio desempenha um papel essencial no metabolismo vegetal, regulando a fotossíntese, o transporte de açúcares e o equilíbrio osmótico.

A literatura reforça a aplicabilidade dos índices Ki e Kr na caracterização do intemperismo e na mobilidade de elementos químicos no solo. Le Blond *et al.* (2015) aplicaram esses índices na análise de processos pedogenéticos em solos da província vulcânica da Etiópia, evidenciando a influência da mineralogia e das condições climáticas na formação e estabilidade de minerais como caulinita e esmectitas. Da mesma forma, Novaes Filho *et al.* (2012) utilizaram os índices na Fazenda Rohsamar (MT) e observaram padrões de remoção de sílica e acúmulo de ferro e alumínio ao longo dos perfis estudados. Esses resultados são consistentes com os resultados do presente estudo, reforçando a aplicabilidade do GIC como remineralizador sem impacto significativo na mobilidade de cátions no solo.

Zheng *et al.* (2008) utilizaram PCA para identificar fontes de metais pesados em solos de Pequim, evidenciando a influência de atividades humanas. Templ *et al.* (2008) discutiram os desafios da análise de cluster em geoquímica, destacando a importância de um pré-processamento adequado. Gielar *et al.* (2012) aplicaram métodos multivariados para caracterizar padrões de poluição em sedimentos do rio Odra, distinguindo fontes de contaminação complexas. Araújo *et al.* (2024), ao avaliar o impacto de resíduos lignocelulósicos e remineralizadores, evidenciaram a aplicabilidade dessas técnicas na análise de atributos químicos do solo, reforçando a necessidade de abordagens estatísticas robustas para a compreensão da dinâmica dos nutrientes.

Dessa forma, os resultados obtidos corroboram a literatura existente, demonstrando que os processos de intemperismo e liberação de cátions ocorrem de maneira gradual e previsível. A comparação com estudos anteriores fortalece a confiabilidade das análises e reforça a aplicabilidade dos índices Ki e Kr na avaliação da reatividade de remineralizadores no solo. Esses achados são fundamentais para a validação do GIC como alternativa viável ao fertilizante comercial, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis e resilientes.

### 3.6 RELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DE EMPACOTAMENTO DE CÁTIOS, A MICROESTRUTURA MINERAL E O ÍNDICE DE ALTERAÇÃO QUÍMICA

Neste estudo, investigamos o Índice de Empacotamento de Cátions ( $k$ ) e o Grau de Intemperismo ( $K_i$  e  $K_r$ ) do (GIC) em dois cultivos (tabela 3). O grau de intemperismo e o índice de empacotamento permitem avaliar a extensão do intemperismo e a redistribuição dos elementos nos minerais secundários.

**Tabela 3 – Índices de Empacotamento de Minerais**

<b>Mineral</b>	<b>Índice de Empacotamento (k)</b>	<b>Unidade</b>
Feldspato Alcalino	$5,55 \times 10^{21}$	mol/cm <sup>3</sup>
Plagioclásio	$6,0 \times 210^{21}$	mol/cm <sup>3</sup>
Biotita	$1,67 \times 10^{22}$	mol/cm <sup>3</sup>
Muscovita	$1,28 \times 10^{22}$	mol/cm <sup>3</sup>
Epidoto	$2,44 \times 10^{22}$	mol/cm <sup>3</sup>
Clorita	$1,08 \times 10^{22}$	mol/cm <sup>3</sup>
Caulinita	$1,24 \times 10^{22}$	mol/cm <sup>3</sup>

Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

O intemperismo do GIC favorece a liberação de cátions como Na, Ca, K, Mg, Si, Al e Fe. No caso do feldspato potássico, a presença de microfraturas facilita a percolação de fluidos da solução do solo, promovendo a alteração para sericita e a liberação gradual de potássio (K), conforme indicado pelo índice de empacotamento. Carroll (1970) classificou os elementos químicos dos minerais em ordem crescente de resistência à removibilidade: Na, Ca, K, Mg, Si, Al, Fe. As microfraturas e alterações nas mesmas aumentam a superfície exposta dos minerais, favorecendo a infiltração de soluções e intensificando a lixiviação de  $K^+$  (Ciceri *et al.*, 2017).

A biotita, com índice de empacotamento elevado ( $k=1,67 \times 10^{22}$  mol/cm<sup>3</sup>), apresenta sinais de alteração para muscovita e clorita, indicando intemperismo avançado e liberação de cátions como K, Mg e Fe. A coloração avermelhada e a perda de estrutura cristalina sugerem oxidação concomitante, com liberação de ferro na forma de magnetita e hematita.

Minerais secundários, embora componham apenas 2% da rocha, aumentam o índice de empacotamento total (de  $4,92 \times 10^{21}$  para  $5,07 \times 10^{21}$  mol/cm<sup>3</sup>) devido à alta reatividade, contribuindo para a liberação rápida de cátions e influenciando a fertilidade do solo.

Feições de deformação em pórfiros e quartzo, como microfraturas e recristalizações, aumentam a superfície reativa, acelerando o intemperismo e a liberação de cátions.

### 3.7 ANÁLISE COMPARATIVA DA CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA EM RESPOSTA A DIFERENTES TRATAMENTOS DE REMINERALIZAÇÃO

Para avaliar a eficácia dos diferentes tratamentos na liberação de nutrientes e na Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis, uma análise não paramétrica adequada para comparar medianas de múltiplos grupos. Os resultados indicaram um valor de H (chi<sup>2</sup>) de 1.498 com um valor de p igual a 1, sugerindo a ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos aplicados nas duas condições de solo analisadas. A realização do pós-teste de Dun reforçou essa conclusão, já que os valores de p permaneceram acima do nível de significância de 0,05, confirmando a semelhança estatística entre as medianas dos tratamentos. Resultados similares foram obtidos por Gonçalves (2015) ao analisar a lixiviação de nutrientes em experimentos com remineralizadores, onde o teste de Kruskal-Wallis também não indicou diferenças significativas entre os grupos avaliados.

Os resultados mostram que os tratamentos MIX, MIX4, MIX5, MIX6 e MIX7, com doses diferenciadas do Granito Imaruí-Capivari (GIC), não geraram variações estatisticamente significativas nas concentrações de elementos/óxidos e na CTC do solo. As testemunhas positivas (tp) e absolutas (ta), tratadas com outros insumos agrícolas, apresentaram comportamento similar, indicando que os tratamentos mantiveram efeitos consistentes na composição química do solo. Esse padrão foi igualmente observado em estudos como o de Amorim (2021), que analisou a produtividade da cevada e verificou que diferentes doses de fertilizante apresentaram respostas estatisticamente semelhantes, sugerindo que outros fatores podem influenciar a resposta agrônômica dos tratamentos.

Apesar das diferenças entre os solos analisados Gleissolo Háplico (CV1) e Argissolo Vermelho-Amarelo (CV2), o comportamento do remineralizador GIC foi semelhante em ambas as condições, sem diferenças expressivas na CTC ou na mobilidade dos elementos químicos avaliados. Esse comportamento reforça a hipótese de que a composição química do solo e sua estabilidade podem ser fatores mais determinantes do que a própria aplicação do remineralizador em curto prazo. Essa constatação está alinhada com as observações de Gonçalves (2015), que apontou a estabilidade química dos solos tratados com remineralizadores, e com os resultados de Amorim (2021), que verificou que a resposta das culturas pode estar mais associada à variabilidade do solo do que às diferenças na aplicação dos insumos.

A análise de agrupamento hierárquico revelou que as amostras tratadas com GIC ("MIX3", "MIX4", "MIX5", "MIX6" e "MIX7") agruparam-se de forma consistente em ambos os solos, indicando um impacto estável e uniforme ao longo dos cultivos. As testemunhas (ta.1°) e (tp1°) distanciaram-se dos demais grupos, sugerindo diferenças químicas, possivelmente associadas à ausência do tratamento com GIC. Esses resultados sugerem que, embora o GIC possa ter um efeito positivo na estabilidade da composição do solo, sua influência direta na CTC ainda necessita de investigações mais prolongadas para verificar possíveis benefícios em longo prazo.

Dessa forma, os resultados deste estudo corroboram pesquisas anteriores, indicando que a aplicação do GIC não altera significativamente a CTC ou a disponibilidade de nutrientes no curto prazo. No entanto, fatores como a dinâmica de liberação de nutrientes ao longo do tempo, interações com a biota do solo e influência das condições ambientais devem ser considerados para uma avaliação mais abrangente da eficiência agrônômica dos remineralizadores.

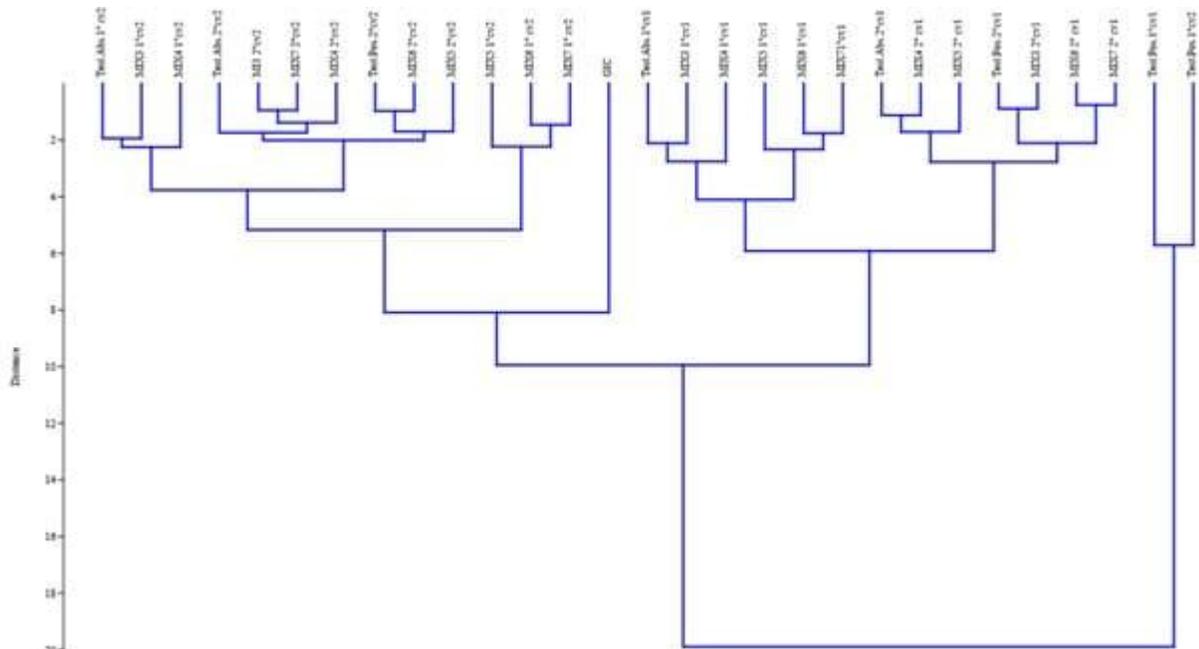
### 3.8 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO DOS TRATAMENTOS COM GIC

O dendrograma da Figura 4 representa uma análise de agrupamento hierárquico. Os rótulos associados a cada ramificação indicam diferentes tratamentos ou condições experimentais, como "MIX", "Teste Positivo" e "Teste Absoluto", aplicados em dois cultivos (CV1 e CV2). A escala à esquerda mostra a distância ou dissimilaridade entre os grupos, indicando quão diferentes ou similares eles são. O "Teste Absoluto CV1" destaca-se notavelmente, formando um cluster distante dos demais, sugerindo que este tratamento tem características únicas em comparação aos outros.

Observa-se também que alguns tratamentos de CV1 estão agrupados de forma próxima aos correspondentes de CV2, indicando que os efeitos desses tratamentos podem ser consistentes entre os cultivos.

No lado direito do dendrograma, a presença de rótulos como "GIC1" e "Max fertilidade Pedológica CV1", juntamente com "Gleissolo" e "Argissolo", aponta para uma similaridade nas respostas desses tipos de solo sob condições específicas de fertilidade máxima durante o primeiro cultivo. Isso sugere que os tratamentos aplicados foram eficazes em modular as propriedades do solo de maneira similar nesses tipos de solo.

Sarker et al., (2023) ressalta a utilidade dos dendrogramas para discernir padrões de desempenho em cultivares de trigo, similarmente ao delineado neste estudo. Tal abordagem reforça a aplicação dessas técnicas para avaliar a consistência e distinções entre tratamentos agronômicos em cultivos distintos, como observado nos clusters que diferenciam as respostas de solos como "Gleissolo" e "Argissolo" em condições experimentais diversas.



**Figura 4: Dendrograma das amostras**

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

#### 4. CONCLUSÃO

O Granito Imaruí-Capivari (GIC) demonstrou ser uma alternativa viável e sustentável aos fertilizantes comerciais na remineralização de solos. Este estudo revelou que, embora as diferenças não sejam estatisticamente significativas em comparação com os fertilizantes comerciais, o GIC aumentou a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) em 30,32%, o que é indicativo de sua capacidade para melhorar a retenção e disponibilidade de nutrientes essenciais como potássio e sílica. Especificamente, a diminuição do índice Ki em -42,52% sugere uma preservação acentuada dos minerais primários, enquanto o aumento de 49,27% no índice Kr indica um intemperismo químico ativo, facilitando a liberação gradual de cátions.

Esses resultados reforçam a utilidade do GIC em promover uma liberação mais controlada e sustentada de nutrientes, contribuindo assim para práticas agrícolas menos dependentes de insumos químicos sintéticos e alinhadas com objetivos de desenvolvimento sustentável. No entanto, considerando a complexidade das interações solo-planta e as variáveis ambientais que influenciam a eficácia dos remineralizadores, recomenda-se a realização de estudos em campo para avaliar melhor o impacto do GIC em diferentes tipos de solo e condições climáticas. Essas pesquisas adicionais ajudarão a otimizar as doses e métodos de aplicação do GIC, maximizando seus benefícios e sustentabilidade a longo prazo.

#### 5 REFERÊNCIAS

AMORIM, R. O. **Aplicação diferenciada de azoto em cobertura, caso de estudo – cevada**. 2021. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Agrônoma - Universidade de Évora, Évora, 2021. 57 P.

AQUINO, J. M. de; TANIGUCHI, C. A. K.; MAGINI, C.; BERNI, G. V. **The potential of alkaline rocks from the Fortaleza volcanic province (Brazil) as natural fertilizers**. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 103, p. 1 – 11, 2020.

ARAÚJO, J.V.S.; ZÁRATE-SALAZAR, J.R.; NASCIMENTO, J.S.; LIMA-FELIX, V.J.; ARAÚJO, V.F.S.; HENRIQUE, R.S.; SILVA-FRAGA, V.; CAMPOS, M.C.C.; DOS SANTOS, R.V. **Efeito da incorporação de substratos pós-cultivo de cogumelo e remineralizador sobre**

**os atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo.** Brazilian Journal of Biology, v. 89, p. 1 – 16, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo - Análise granulométrica.** 2º Versão corrigida. Rio de Janeiro, 2018.

AVILA, E. L.; CORREA, A. X. R. **Potencial do Granito Valsungana: Fonte de K e Sustentabilidade na Agricultura.** Revista de Geociências do Nordeste, v. 10, n. 1, p. 389-401 2024.

BEERLING, D. J.; LEAKE, J. R.; LONG, S. P.; SCHOLLES, J. D.; TON, J.; NELSON, P. N.; BIRD, M.; KANTZAS, E.; TAYLOR, L. L.; SARKAR, B.; KELLAND, M.; DELUCIA, E.; KANTOLA, I.; MÜLLER, C.; RAU, G.; HANSEN, J. Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. **Nature Plants**, v. 4, p. 138-147, 2018.

BERGMANN, M.; HOFF, R.; THEODORO, S.M.D.C.H. Rochagem viabilizando o uso sustentável dos descartes de mineração no distrito mineiro de Ametista do Sul (DMAS), RS, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 1, Brasília. **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem. Brasília: Embrapa Cerrados**, 2009.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SC. 21 - Juruena.** Rio de Janeiro, 1980. 460 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n.5, de 10 de março de 2016.** Diário Oficial da União, seção 1, Brasília, DF, p. 3-4, 11 mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n. 6, de 10 de março de 2016.** Diário Oficial da União, seção 1, Brasília, DF, p. 5-6, 11 mar. 2016.

BRASIL - Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Conselho aprova Plano Nacional de Fertilizantes com metas para superar dependência externa (CONFERT).** Brasília, 2023. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202311/conselho-aprova-plano-nacional-de-fertilizantes-com-metas-para-superar-dependencia-externa>. Acesso em: 21 de maio de 2025.

BRITO, R. S. B.; BATISTA, J. F.; MOREIRA, J. G. V.; MORAES, K. N. O.; SILVA, S. O. **Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação suplementar**. SAJEBTT, v. 6, p. 528 - 540, 2019.

CÂMARA, G. R. et al. **Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem** – Parte I. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021. P. 71 Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2423>. Acesso em: 18 de agosto de 2024

CASTRO, E. C.; CASTRO, V. H. S. **Geologia da Quadrícula de Laguna, Santa Catarina**. Porto Alegre: DNPM, 1969. p. 38.

CERYAN, S. K. ZORLU, C. GOKCEOGLU, A. TEMEL. The use of cation packing index for characterizing the weathering degree of granitic rocks. **Engineering Geology**, v. 98, p. 1–2, 2008.

CICERI, D. Caracterização de agrominerais potássicos: Correlações entre características petrográficas, cominuição e lixiviação de sienitos ultra-potássicos. **Engenharia Mineral**, v. 102, p. 42-57, 2017.

COLA, G. P. A.; SIMÃO, J. B. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 1–8, 2012.

CORNELIS, J.; TOMBEUR, F.; TURNER, B.; LALIBERTÉ, E.; LAMBERS, H. Pedogenic thresholds along a 2 million-year soil chronosequence affect dissolved silicon sources and concentrations. **Geophysical Research Abstracts**, v. 21, p. 1, 2019.

COX, K. G.; BELL, J. D.; PANKHURST, R. J. **The interpretation of igneous rocks**. London: Allen and Unwin, 1979. 450 p.

DAHLIN, A.S.; RAMEZANIAN, A.; CAMPBELL, C.D.; HILLIER, S.; ÖBORN, I. Waste recovered by-products can increase growth of grass–clover mixtures in low fertility soils and alter botanical and mineral nutrient composition. **Annals of Applied Biology**, v. 166, n. 1, p. 207–230, 2014.

FAO. **The State of Food Security and Nutrition in the World**. 2017. 117 p.

FARAONE, N.; HILLIER, N. K. Application of granite rock powder for pest management in herbivores under field conditions. **Journal of Pest Science**, v. 93, n. 1, p. 134 - 140, 2020.

GIELAR, A.; HELIOS-RYBICKA, E.; MÖLLER, S.; EINAX, J. W. Multivariate analysis of sediment data from the upper and middle Odra River (Poland). **Applied Geochemistry**, v. 27, n. 8, p. 1540–1545, 2012.

GLOBALFERT. Importação de fertilizantes bate recorde em 2020. **GlobalFert**, 08 jan. 2021. Disponível em: <https://globalfert.com.br/analises/importacao-de-fertilizantes-bate-recorde-em-2020/>. Acesso em: 23 agosto 2024.

GONÇALVES, B. O.; RAMOS, P. S.; AVELAR, F. G. Teste de Student-Newman-Keuls bootstrap: proposta, avaliação e aplicação em dados de produtividade da graviola. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 445-470, dez. 2015.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Fatores que influenciam a liberação de elementos nutrientes vegetais a partir de pós de rochas silicáticas: um panorama geoquímico. **Ciclagem de Nutrientes em Agroecossistemas**, v. 56, p. 11-36, 2000.

LE BLOND, J. S. et al. Weathering of the Ethiopian volcanic province: a new weathering index to characterize and compare soils. **American Mineralogist**, v. 100, p. 2518-2535, 2015.

MANNING, D. A.C.; BAPTISTA, J.; LIMON, M. S.; BRANDT, K. Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. **Science of The Total Environment**, v. 574, p. 476-481, 2017.

MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. F. Agrominerais – Rochas Silicáticas como Fontes Minerais Alternativas de K para a Agricultura. In: LUZ A. B. e LINS, F. (eds.), **Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações**. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p. 205-221,

MARTINS, É. S.; RESENDE, Á. V.; OLIVEIRA, C. G.; FURTINI NETO, A. E. Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos. In: SANTOS, R. L.; LUZ, A. B. (org.). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 89–104.

MARTINS, E. S., HARDOIM, P. R. Princípios geoquímicos, mineralógicos e biológicos do manejo de remineralizadores de solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 44, n. 321, p. 26-39, 2023.

NESBITT, H.; YOUNG, G. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. **Nature**, v. 299, p. 715-717, 1982.

NOVAES FILHO, J. P.; COUTO, E. G.; RODRIGUES, L. C. M.; CHIG, L. A.; JOHNSON, M. S. Indicativos de descontinuidade litológica de regolitos derivados de granitos em uma microbacia sob floresta Amazônica, em Juruena - MT. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 317-324, 2012.

ONU - **Organização das Nações Unidas**. 2022. Disponível em: <https://population.un.org/dataportal/home>. Acesso em: 8 mar. 2023.

OHTA, T.; ARAI, H. Statistical empirical index of chemical weathering in igneous rocks: A new tool for evaluating the degree of weathering. **Chemical Geology**, v. 240, n. 3-4, p. 280-297, 2007.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

RIBEIRO, R. H.; ANJOS, D. N.; FREITAS, P. G.; RIBEIRO, J. S.. Efeito da salinidade do cloreto de potássio na emergência e no crescimento inicial de plântulas de soja. **PesquisAgro**, v. 3, n. 1, p. 100-117, 2020.

ROCHA FILHO, P.; ANTUNES, F.S. e FALCÃO, M.F.G. Qualitative Influence of the Weathering Degree upon the Mechanical Properties of an Young Gneiss Residual Soils. In: **Proceedings of the 1st. International Conference on Geomechanical in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils**, 1985. p. 281-294.

SARDANS, J.; PENUELAS, J. Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. **Plants**, v. 10, n. 2, p. 419, 2021.

SARKER, U.K.; UDDIN, M.R.; KAYSAR, M.S.; HOSSAIN, M.A.; SOMADDAR, U. Exploring relationship among nitrogen fertilizer, yield and nitrogen use efficiency in modern wheat varieties under subtropical condition. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 103–602, 2023.

SEIXAS, M. A. **A Crise dos Fertilizantes e o Aumento da Insegurança Alimentar Global. Impactos do Conflito Rússia-Ucrânia no Mercado de Commodities Agrícolas**. Série Diálogos Estratégicos – Mercados Internacionais, 2022.

SIQUEIRA, A. C. A.; MAGINI, C.; DANTAS, E. L.; FUCK, R. A.; SASAKI, J. M. Laterites of the Coreau Mid-Domain - geochemistry behavior of lateritic mantles in the Northwest of Ceará State. **Brazilian Journal Geology**, v. 44, ed. 2, p. 249–264, 2014.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC) - RS/SC, 2016. 376 p.

SILVA, B.; PARADELO, R.; VÁZQUEZ, N.; GÁRCIA-RODEJA, E.; BARRAL, M.T. Effect of the addition of granitic powder to an acidic soil from Galicia (NW Spain) in comparison with lime. **Environmental Earth Sciences**, v. 68, p. 429–437 2013.

STRECKEISEN, A.L. Classification and Nomenclature of Igneous Rocks. **Neues Jahrbuch für Mineralogie**, Abhandlungen., 107, p. 144-240, 1976.

TAMFUH, P. A.; IBRAHIM, B.A.; CHOTANGUI, A.H.; CHAM, G.C.; NGONJANG, L.W.; MFOUAPON, H.Y.; MOUNDJEU, E.D.; KABEYENE, V.K.; BITOM, D. Fertilizing Potential of Basalt and Granite Fines for *Vigna unguiculata* Production and Residual Effect on *Telfaira occidentalis* Performance in the Cameroon Western Highlands: Fertilizing potential of basalt and granite fines. **IJESKA**, v. 4, n. 3, p. 395-406, 2022.

TEMPL, M.; FILZMOSE, P.; REIMANN, C. Cluster analysis applied to regional geochemical data: Problems and possibilities. **Applied Geochemistry**, v. 23, n. 8, p. 2198–2213, 2008.

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

THEODORO, S. H.; SANDER, A.; BURBANO, D. F. M.; ALMEIDA, G. R. Rochas basálticas para rejuvenescer solos intemperizados. **Revista Liberato**, v. 22, ed. 37, p. 45–58, 2021.

TRAININI, D.R.; DIAS, A.A.; KREB, A.S.J.; SOUZA, E.C.; CAPELETTI, I.; TONIOLO, J.A.; SILVA, LC. & SILVA, M.A.S. **Projeto Vidal Ramos-Biguaçu. Conv. DNPM/CPRM**, Porto Alegre, p. 303, 1978.

VAN STRAATEN, P. Cultivando rochas e minerais: desafios e oportunidades. **A. Acad. Bras. Ciências**, Rio de Janeiro, v. 78, n. 4, p. 11, 2006.

WILSON, M. **Igneous petrogenesis**. Harper Collins, 1988. 489 p.

ZHENG, Yuan-Ming; CHEN, Tong-Bin; HE, Ji-Zheng. Multivariate geostatistical analysis of heavy metals in topsoils from Beijing, China. **Journal of Soils and Sediments**, v. 8, n. 1, p. 51–58, 2008

*Data de recebimento: 09 de outubro de 2024.*

*Data de aceite: 29 de abril de 2025.*