

# **ESTÉREIS DE ROCHAS ORNAMENTAIS COMO POTENCIAIS REMINERALIZADORES DE SOLOS – PROTOCOLO AGRONÔMICO I E II**

## **QUARRY WASTE FROM THE EXTRACTION OF ORNAMENTAL STONES AS A POTENTIAL SOIL REMINERALIZER - AGRONOMIC PROTOCOL I E II.**

### **Isabella Andreza do Nascimento**

Aluna de Graduação em Engenharia de Minas, 9º período, Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES

Período PIBIC/CETEM: setembro de 2024 a agosto de 2025  
Isabellaandrez14@gmail.com

### **Guilherme de Resende Camara**

Orientador, Engenheiro Agrônomo, D.Sc.  
gcamara@cetem.gov.br

### **Leonardo Luiz Lyrio da Silveira**

Coorientador, Geólogo, D.Sc.  
leolysil@cetem.gov.br

## **RESUMO**

A expressiva geração de estéreis e rejeitos pela indústria de rochas ornamentais no Brasil tem impulsionado a busca por soluções ambientalmente sustentáveis e alinhadas a economia circular, como o aproveitamento desses materiais na agricultura. O objetivo com este estudo foi avaliar o potencial agronômico de estéreis provenientes da mineração de um sienito (Andradas/MG) para uso como remineralizador de solos, conforme os critérios estabelecidos pela Instrução Normativa nº 05/2016 do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). A pesquisa está estruturada em três fases: (I) caracterização laboratorial do material, (II) testes de incubação e (III) ensaios em casa de vegetação. Até o momento, a Fase I foi concluída, demonstrando características físico-químicas promissoras. As Fases II e III estão em andamento. Espera-se que o material atenda aos requisitos mínimos e máximos dispostos na referida legislação, tanto com relação às especificações de natureza física, quanto químicas e quanto ao seu potencial agronômico, para que seja, então, passível de registro como remineralizador de solos agrícolas.

**Palavras-chave:** Agrominerais, pó de rocha, economia circular, sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

The significant generation of tailings and waste by the ornamental stone industry in Brazil has driven the search for environmentally sustainable solutions aligned with the circular economy, such as the use of these materials in agriculture. This study aimed to evaluate the agronomic potential of tailings from granite mining (Andradas/MG) for use as a soil remineralizer, according to the criteria established by Normative Instruction No. 05/2016 of the Ministry of Agriculture and Livestock (MAPA). The research is structured in three phases: (I) laboratory characterization of the material, (II) incubation tests and (III) greenhouse tests. To date, Phase I has been completed, showing promising physico-chemical characteristics. Phases II and III are underway. It is hoped that the material will meet the minimum and maximum requirements set out in the legislation, both in terms of physical and chemical specifications and its agronomic potential, so that it can then be registered as an agricultural soil remineralizer.

**Keywords:** Agrominerals, rock Powder, circular economy, sustainability.

## **1. INTRODUÇÃO**

A extração de rochas ornamentais é uma atividade de grande relevância econômica no Brasil. Em 2024, as exportações nacionais de materiais rochosos naturais para ornamentação e revestimento alcançaram US\$ 1,26 bilhão e 2,05 milhões de toneladas, registrando um crescimento de 12,92% em valor e 12,56% em volume em relação a 2023 (ABIROCHAS, 2025).

Diante do elevado potencial produtivo do país e das significativas perdas ao longo da cadeia — que podem chegar a 83% da matéria-prima extraída (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2015) —, a geração de grandes volumes de estéreis e rejeitos representa um desafio ambiental relevante. Paralelamente, projeta-se um aumento anual de aproximadamente 6% na demanda global por alimentos, o que exige maior produtividade agrícola.

Nesse contexto, estudos voltados ao aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais como remineralizadores de solos representam uma alternativa sustentável para a gestão desses materiais. Além de contribuir para a redução de impactos ambientais da cadeia produtiva, essa prática pode diminuir a dependência brasileira de fertilizantes importados, promovendo benefícios diretos à segurança alimentar mundial.

## **2. OBJETIVO**

Com esta pesquisa objetivamos analisar o potencial de uso agronômico de estéreis gerados na extração de rocha ornamental oriunda de uma lavra localizada no município de Andradas, Minas Gerais, com vistas à sua utilização como remineralizador de solos, em conformidade com os critérios estabelecidos na Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016, do Ministério da Agricultura e Pecuária – Mapa (BRASIL, 2016).

## **3. METODOLOGIA**

A avaliação do potencial agronômico do uso de estéreis de rochas ornamentais como potenciais remineralizadores de solo foi conduzida conforme as diretrizes da IN nº 5/2016 do Mapa, bem como o "Protocolo para avaliação da eficiência agronômica de remineralizadores de solo - primeira versão" da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). O estudo foi estruturado em três fases principais: Fase I (Etapa Laboratorial), Fase II (Protocolo Agronômico I - Incubação) e Fase III (Protocolo Agronômico II - Casa de Vegetação).

### **3.1. Potencial Remineralizador**

O material em estudo consistiu em um estéril proveniente da extração de rocha ornamental oriunda de uma lavra localizada no município de Andradas, Minas Gerais, cuja descrição petrográfica encontra-se no tópico de resultados e discussão. O material foi previamente cominuído pela empresa contratante e teve sua granulometria verificada como "filler", em conformidade com a IN nº 05/2016 do Mapa.

### **3.2. Fase I: Etapa Laboratorial (Caracterização do Potencial Remineralizador)**

A fase laboratorial consistiu na caracterização química e mineralógica das amostras (análise petrográfica; homogeneização; peneiramento; quarteamento; ajuste e classificação granulométrica; determinação da composição química por Fluorescência de Raios X – FRX; determinação da composição mineralógica por Difração de Raios X – DRX; quantificação do teor de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$  – sílica livre) das amostras pelo método de Rietveld, teste de solubilização para análise de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) e determinação do potencial hidrogeniônico (pH)).

A caracterização física foi determinada em um granulômetro a laser, modelo Mastersize Hydro 2000SM, da empresa Malvern Instruments.

A determinação da composição química foi realizada utilizando um espectrômetro de Fluorescência de Raios X (FRX), modelo S2 Ranger da marca Bruker. Foi determinada também a perda ao fogo de cada amostra, em forno mufla, marca INTI, modelo FL1300/20.

A análise do potencial hidrogeniônico (pH) foi realizada conforme metodologia proposta pelo MAPA (BRASIL, 2017), com auxílio de um agitador magnético Quimis (modelo Q5261) e um pHmetro Marte (modelo MB 100).

A determinação da composição mineralógica das amostras foi realizada via Difração de Raios X (DRX), utilizando um Difratômetro Modelo D8 Advance Eco da Bruker-AXS. A interpretação qualitativa de espectro foi efetuada por comparação com padrões contidos no banco de dados relacional PDF 4+ (ICDD, 2020) em software Bruker Difrac.EVA. Objetivando quantificar o teor de sílica livre (dióxido de silício – SiO<sub>2</sub>) nas amostras submetidas à análise por DRX, foi aplicado o método de Rietveld (RIETVELD, 1969).

O teste de solubilização dos metais Arsênio (As), Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg) e Chumbo (Pb), foi realizado seguindo a metodologia descrita na norma ABNT NBR 10006:2004 (ABNT, 2004). A quantificação dos extratos foi realizada em espetrômetro de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

### **3.3. Fase II: Protocolo Agronômico I (Teste de Incubação)**

Para a execução do proposto, estão sendo testadas 5 diferentes dosagens do potencial remineralizador (zero, 5.00, 10.00, 20.00 e 40.00 toneladas por hectare, respectivamente, aqui denominadas de D0, D1, D2, D3 e D4), com análises realizadas em seis épocas de avaliação (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a aplicação), em 3 repetições, totalizando cinco tratamentos e 90 unidades amostrais. Cada unidade amostral é composta por um recipiente plástico contendo 300g de solo (Areia Normal Brasileira nº 50 (0,6 mm e 0,3 mm; ABNT NBR 7214: 2015), mantido com 60% da capacidade de campo em relação à umidade. Pequenas aberturas nos recipientes plásticos foram feitas para a troca de gases com o ambiente.

A cada 30 dias (épocas de avaliação), são realizadas análises de rotina do solo (Ca, Mg, Al trocáveis, P, K disponíveis, acidez total, pH, saturação por bases, saturação por Al, soma de bases trocáveis e capacidade de troca catiônica a pH 7,0), análise de micronutrientes (Fe, Cu, Zn e Mn) e análise de fósforo remanescente (Prem). As análises de solo são realizadas pelo Laboratório de Solos da Universidade Federal do Espírito Santo, campus Alegre, credenciado e certificado junto a Embrapa Solos, provedora do Programa de Análise de Qualidade de Laboratórios de Fertilidade – PAQLF. Desta forma, ao final do período de incubação, será possível compreender a reatividade do material, ou seja, se o potencial remineralizador possui a capacidade de liberação de nutrientes ao sistema solo-planta e (ou) se altera, positivamente, variáveis de importância do solo.

### **3.4. Fase III: Protocolo Agronômico II (Ensaios em Casa de Vegetação)**

Os ensaios em casa de vegetação (Protocolo Agronômico II) estão sendo realizados no Centro de Tecnologia Mineral - Núcleo Regional do Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil. O estudo está sendo conduzido de forma individualizada para as culturas do girassol (*Helianthus annuus*) e do rabanete (*Raphanus sativus*), cultivadas em dois solos argilosos distintos e característicos da região de origem do potencial remineralizador. Estão sendo realizados oito diferentes ensaios agronômicos, abrangendo dois ciclos de cultivo para cada cultura.

Para a execução do proposto, em cada ensaio foram utilizadas 5 diferentes doses do potencial remineralizador (0.00 t/ha (D0), 1.00 t/ha (D1), 5.00 t/ha (D2), 10.00 t/ha (D3) e 20.00 t/ha (D4)), testados na granulometria ‘filler’. Um tratamento adicional foi testado (D6), referente a adubação convencional realizada para a cultura, totalizando 6 tratamentos, em 4 repetições.

Com o objetivo de isolar e analisar o potencial agronômico da rocha como fonte de nutrientes e sua capacidade de correção da acidez do solo, nenhuma outra fonte de fertilização ou corretivo

de acidez foi adicionada aos tratamentos baseados no remineralizador. Para avaliar o efeito residual, os tratamentos com o potencial remineralizador não foram reaplicados durante o segundo ciclo de cultivo das culturas.

Cada tratamento consistiu em um vaso plástico contendo 20 kg de solo, peneirado e homogeneizado. A umidade do solo está sendo mantida em 80% da capacidade de campo. As práticas agrícolas adotadas durante a condução dos ensaios seguem as recomendações para as respectivas culturas. Cada ensaio tem duração de 50 dias após o transplantio (DAT) para a cultura do girassol, e de 40 DAT para a cultura do rabanete. Aos zero, 25 e 50/40 DAT, são analisadas a altura e o número de folhas para a cultura do rabanete e a altura, número de folhas, diâmetro do caule e presença ou não da inflorescência da cultura do girassol. Ao final do experimento, será determinada a massa fresca da parte aérea (MFPA), obtida logo após o corte, e a massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas, obtida após acondicionamento e secagem em estufa de circulação de ar a  $60 \pm 3^\circ\text{C}$  por 48h, com posterior pesagem em balança de precisão. A Produção de rabanete, assim como a presença ou não da inflorescência do girassol, também estão sendo analisados.

### 3.5. Análise Estatística

Os resultados obtidos nas Fases II e III serão submetidos à análise de variância (Anova). Quando os resultados forem significativos, será realizado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro, com o auxílio do software R, versão 4.1.2 (R CORE TEAM, 2021).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Fase I: Etapa Laboratorial (Caracterização do Potencial Remineralizador)

O potencial remineralizador (PR) em estudo trata-se de uma rocha ígnea intrusiva, com composição mineralógica dominada por Microclina (22,66%), Ortoclásio (18,31%), Augita (17,47%), Oligoclásio (15,26%), Albita (9,38%), Muscovita (5,85%), Actinolita (2,57%), Fluoropatita (2,50%) e Quartzo (1,96%), além de minerais acessórios, sendo caracterizado como um Sienito. Sua cor característica, um marrom escuro a preto com veios dourados, brancos e ocasionalmente vermelhos, é atribuída à presença desses minerais e suas variações.

Para realização da Análise Granulométrica por Peneiramento foram utilizados 500,42g do material em estudo. Deste volume, 100% das partículas foram passantes na peneira ABNT 4, 100% passantes na peneira ABNT 7, 100% passantes na peneira ABNT 10, 100,00% passantes na peneira ABNT 20 e 100,00% passantes na peneira ABNT 50. Estes resultados nos permitem confirmar que o material está de acordo com a faixa granulometria denominada “Filler”, prevista na IN 05/2016.

A composição química obtida por FRX apresentou como principais elementos:  $\text{SiO}_2$  (57,90%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (12,12%),  $\text{CaO}$  (5,92%),  $\text{K}_2\text{O}$  (8,04%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (5,94%),  $\text{MgO}$  (2,97%),  $\text{Na}_2\text{O}$  (2,45%),  $\text{TiO}_2$  (0,97%),  $\text{SO}_3$  (0,15%),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (1,86%),  $\text{BaO}$  (1,08%),  $\text{SrO}$  (0,52%),  $\text{MnO}$  (0,08%) e outros (0,01%), com soma de bases equivalente a 16,93%. De acordo com o exposto, nota-se que o material em estudo é composto majoritariamente por Sílica ( $\text{SiO}_2$ ), contudo este resultado não se refere a chamada ‘Sílica Livre’, a qual foi analisada para atendimento ao proposto na IN mediante DRX e Análise de Rietveld.

A composição mineralógica encontrada no material após análise de DRX e a porcentagem dos minerais calculados pelo método de Rietveld, foram: microclina (22,61%), ortoclásio (18,31%), augita (17,47%), oligoclásio (15,26%), albita (9,38%), muscovita (5,85%), actinolita (2,57%), fluoropatita (2,50%), quartzo (1,96%), titanita (1,74%), cancrinita (1,28%), nefelina (0,55%), sodalita (0,21%), dolomita (0,18%) e caulinita (0,12%). Os resultados obtidos na difração corroboram com os resultados obtidos na análise petrográfica. Quanto ao teor de  $\text{SiO}_2$  livre, o material em análise apresenta valor inferior a 25%, estando em conformidade com o previsto na legislação.

O PR apresenta natureza alcalina, com potencial hidrogeniônico equivalente a 7,98. A composição química obtida através do teste de solubilização do apresentou como resultado os seguintes elementos: SO<sub>4</sub> (9,37 mg/L), Na (2,43 mg/L), Cl (< 1,00 mg/L), Ba (1,40 mg/L), Zn (< 0,005 mg/L), Fe (0,46 mg/L), Cr (< 0,002 mg/L), Se (< 0,02 mg/L), Mn (0,03 mg/L), Al (0,72 mg/L), As (< 0,02 mg/L), Cu (< 0,02 mg/L), Hg (< 0,02 mg/L), Pb (< 0,02 mg/L), Ag (< 0,006 mg/L) e Cd (< 0,003 mg/L).

Todos os resultados obtidos nesta etapa laboratorial permitem concluir que o material possui potencial de uso como remineralizador de solos agrícolas, visto atender todas as especificações, garantias e tolerâncias previstas na Instrução Normativa MAPA Nº 05, de 10 de março de 2016 (Brasil, 2016).

#### **4.2. Fases II e III: Protocolo Agronômico I e Protocolo Agronômico II**

No momento, estas fases da pesquisa encontram-se em andamento. Devido a atrasos operacionais, as análises referentes ao teste de incubação e aos ensaios em casa de vegetação ainda não foram concluídas, razão pela qual os dados correspondentes não são apresentados neste artigo. Entretanto, destaca-se que, para a Fase III, tanto para a cultura do girassol quanto para a do rabanete, o segundo ciclo produtivo está em desenvolvimento, com todas as avaliações previstas até esta fase vegetativa (altura, número de folhas, diâmetro, presença de inflorescência, produção e a massa fresca e seca da parte aérea), descritas na metodologia, já realizadas.

Com base em uma análise preliminar e observacional dos resultados já obtidos, observa-se um indicativo de que o sienito em estudo apresenta potencial agronômico relevante para uso como remineralizador de solos, em consonância com os critérios estabelecidos pela Instrução Normativa nº 05/2016 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

### **5. CONCLUSÕES**

Embora a pesquisa ainda esteja em fase de execução, os resultados preliminares obtidos indicam que os estéreis de rochas ornamentais apresentam potencial agronômico para uso como remineralizadores de solo, em conformidade com os critérios estabelecidos legislação. Os dados parciais sugerem efeitos positivos na melhoria das propriedades do solo e no desenvolvimento das culturas, especialmente em estágios mais avançados e sob maiores dosagens. Esses indícios reforçam a viabilidade do aproveitamento agrícola desses resíduos, contribuindo para práticas mais sustentáveis, a valorização de recursos minerais nacionais e a promoção da economia circular. Resultados conclusivos serão apresentados após a finalização das próximas etapas experimentais.

### **6. AGRADECIMENTOS**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, a empresa Dapaz Natural Stones e ao meu orientador, Guilherme Camara.

### **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BRASIL. Instrução Normativa número 5, de 10 de março de 2016: estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. Brasília: Governo Federal; 2016.

BRASIL. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA, 2017. 240p.

TEAM, R.C. A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2021.

RIETVELD, H. M. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *Journal of Applied Crystallography*, v. 2, p.65-71, 1969.

VIDAL, F.W.H.; AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N.F. (Eds.). *Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. 700 p.

ABIROCHAS. *Exportações 2024 – Informe 01/2025*, 1a ed. Brasília, DF: Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, 2025.