

ESTÉREIS DE ROCHAS ORNAMENTAIS COMO POTENCIAL REMINERALIZADOR DO SOLO – PROTOCOLO AGRONÔMICO I

QUARRY WASTE FROM THE EXTRACTION OF ORNAMENTAL STONES AS A POTENTIAL SOIL REMINERALIZER - AGRONOMIC PROTOCOL I

Thálita Brandão Maurício

Aluna de Graduação em Engenharia de Minas, 7º período, Instituto Federal de Educação
Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES.

Período PIBIC/CETEM: agosto de 2023 a agosto de 2024

halitabm493@gmail.com.

Guilherme de Resende Camara

Orientador, Engenheiro Agrônomo, D.Sc.

g.camara@cetem.gov.br

RESUMO

A necessidade de reposição de nutrientes no solo para a manutenção e aumento da produção e da produtividade agrícola acarreta maior demanda de insumos. Nessa perspectiva, o uso dos estéreis gerados durante a lavra de rochas ornamentais, a partir da técnica de rochagem, podem servir como fonte alternativa de fertilização de solos, com menor custo e de fácil acesso aos produtores rurais. Com esta pesquisa objetivou-se analisar o potencial de uso agronômico de estéreis gerados na extração de rocha ornamental como remineralizador de solos, conforme protocolo agronômico inicial (incubação) vinculado a Instrução Normativa Nº 05/2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. A metodologia utilizada segue o previsto e recomendado no 'Protocolo para avaliação da eficiência agronômica de remineralizadores de solo – primeira versão', da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Os resultados obtidos evidenciam o potencial agronômico do estéril analisado como remineralizador de solos, mediante especificações previstas na legislação, visto ter sido demonstrado que o produto se presta ao fim que se destina.

Palavras-chave: agrominerais; pó de rocha; economia circular; sustentabilidade; resíduos.

ABSTRACT

The need to replenish nutrients in the soil to maintain and increase agricultural production and productivity leads to a greater demand for inputs. From this perspective, the use of quarry waste generated in the ornamental stone production, can serve as an alternative source of soil fertilization, at a lower cost and with easier access for rural producers. This research aimed to analyze the potential agronomic use quarry waste generated in the ornamental stone production as a soil remineralizer, according to the initial agronomic protocol (incubation) linked to Normative Instruction No. 05/2016 of the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. The methodology used follows the provisions and recommendations of the Brazilian Agricultural Research Corporation's 'Protocol for assessing the agronomic efficiency of soil remineralizers - first version'. The results obtained show the agronomic potential of the quarry waste analyzed as a soil remineralizer, by the specifications set out in the legislation, since it has been demonstrated that the product is suitable for its intended purpose.

Key words: agrominerals; stone powder; circular economy, sustainability; waste.

1. INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais brasileiras é amplamente reconhecida no cenário global, destacando-se tanto pelo seu significativo volume de produção e exportação, quanto pela aplicação de tecnologias avançadas na extração e beneficiamento desses materiais (ABIROCHAS, 2021a; 2021b). No entanto, esse potencial produtivo é acompanhado pela geração de estéreis/rejeitos, os quais são considerados como passivos ambientais.

Para conferir maior sustentabilidade e aderência aos princípios da Economia Circular e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estabelecidos pelas Nações Unidas, torna-se imperativo explorar alternativas viáveis para a utilização desses materiais. Uma abordagem promissora consiste na utilização desses como subprodutos para a cadeia do agronegócio, por meio da incorporação dos mesmos como insumos agrícolas, denominados neste contexto como Remineralizadores. Esses subprodutos desempenhariam um papel fundamental na fertilização do solo e na nutrição das plantas, aplicando a técnica conhecida como 'Rochagem' (CAMARA et al., 2021; 2024).

Para que os estéreis/rejeitos provenientes do setor de rochas ornamentais possam ser oficialmente reconhecidos como Remineralizadores, é necessário submetê-los a testes laboratoriais, ensaios agronômicos e registro, conforme especificados na Instrução Normativa nº 05, de 10 de março de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2016).

2. OBJETIVO

Com esta pesquisa objetivou-se analisar o potencial de uso agronômico de estéreis gerados na extração de rocha ornamental como remineralizador de solos, conforme protocolo agronômico inicial (protocolo agronômico I) disposto na Instrução Normativa (IN) Brasileira Nº 05, de 10 de março de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Fase I: Etapa Laboratorial

Para a caracterização química e mineralógica (Análise Petrográfica), amostras da rocha de origem foram enviadas ao Centro de Tecnologia Mineral – Núcleo Regional do Espírito Santo (CETEM - NRES), e as análises seguiram o disposto na ABNT NBR 15845-1:2015, utilizando microscópio petrográfico de luz polarizada, modelo Axioskop 40 CARL ZEISS, marca ZEISS, em luz transmitida, seguindo os critérios propostos por Best (2003).

Todo o material entregue ao CETEM - NRES foi previamente cominuído pela empresa contratante. Foi realizada uma Análise Granulométrica por Peneiramento, após homogeneização, peneiramento e quarteamento do material seguindo metodologia adaptada de Góes et al (2010), sendo os resultados corroborados com o previsto na Instrução Normativa Nº 05/2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2016).

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 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+ em software Bruker Diffraction.EVA.

Objetivando quantificar o teor de sílica livre (dióxido de silício - SiO₂) nas amostras submetidas à análise por DRX, foi aplicado o método de Rietveld (Rietveld, 1969).

O teste de solubilização dos metais Arsênio (As), Cádmiu (Cd), Mercúriu (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 espectrômetro de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

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).

3.2 Fase II: Protocolo Agrônomico I

Para o teste de incubação, inerente a IN MAPA N° 05/2016 (BRASIL, 2016), foi utilizado solo coletado na profundidade de 0 a 0,30 m, cuja classificação textural corresponde a de solos argilosos (média de 37.47% de areia grossa, 9,84% de areia fina, 7.97% de silte e 44.71% de argila).

Para a execução do proposto, foram testadas 3 diferentes dosagens do pó de rocha (0.00, 120.00 gramas e 160.00 gramas, o que corresponde ao volume de aplicação de zero, 13 e 20 toneladas por hectare, respectivamente, aqui denominadas de D0, D1 e D2, em 3 repetições. Os tratamentos, aqui denominados de T1 (D0), T2 (D1) e T3 (D2) estão descritos na tabela a seguir (Tabela 1):

Tabela 1: Descrição dos tratamentos analisados durante o teste do potencial remineralizador por Incubação.

TRATAMENTO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO
T1	D0	SOLO ARGILOSO + DOSE DO POTENCIAL REMINERALIZADOR EM 0 t/ha.
T2	D1	SOLO ARGILOSO + DOSE DO POTENCIAL REMINERALIZADOR EM 13 t/ha.
T3	D2	SOLO ARGILOSO + DOSE DO POTENCIAL REMINERALIZADOR EM 20 t/ha.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cada tratamento é composto por um vaso plástico contendo 10 kg de solo. A umidade do solo de cada tratamento foi mantida em 80% da capacidade de campo. Em todos os vasos foi mantido uma pequena abertura nas sacolas plásticas para a troca de gases com o meio.

De cada tratamento foram retirados 300 g de solo, em três repetições, a cada 30 dias, durante 150 dias, totalizando 6 épocas de avaliação (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a aplicação, aqui denominadas de EA0, EA30, EA60, EA90, EA120 e EA150). No total, foram realizadas 54 análises de solo. Nesta etapa, para cada época de avaliação, foram realizadas análises do solo compostas por: análise de rotina (teores de Calcio, Magnésio, Alumínio trocáveis, Fósforo e Potássio disponíveis, Acidez total, potencial hidrogeniônico, saturação por bases, saturação por Alumínio, soma de bases trocáveis e capacidade de troca catiônica a pH 7,0); análise de micronutrientes (Ferro, Cobre, Zinco, Manganês) e análise de fósforo remanescente (Prem). As análises do solo foram 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, foi possível compreender a reatividade do material, ou seja, se o mesmo libera nutrientes ao sistema solo-planta e (ou) se altera, positivamente, variáveis de importância do solo.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. Quando significativos, foi realizado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro com auxílio do software R, versão 4.1.2 (R CORE TEAM, 2021).

Para fins de utilização da rocha analisada neste estudo como remineralizador destinado a agricultura, os resultados obtidos foram analisados e comparados com as regras sobre definição, classificação, especificações, garantias e tolerâncias previstas na Instrução Normativa MAPA nº 5, de 10 de março de 2016 (BRASIL, 2016).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Fase I: Etapa Laboratorial

O potencial remineralizador (PR) em estudo apresentou coloração cinza escura, de estrutura acamadada e textura argilosa. Os principais minerais constituintes são: sericita (58%), quartzo (25%), opacos (10%), óxido/hidróxido de ferro (3%), carbonato (1%), feldspato potássico (1%), sendo caracterizado como um Varvito do Grupo Itararé, comercialmente denominado de Ardósia.

Para realização da Análise Granulométrica por Peneiramento foram utilizados 982,97g do pó de rocha em estudo. Deste volume, 100% das partículas foram passantes na peneira ABNT 4, 83,66% passantes na peneira ABNT 7 e 23,14% passantes na peneira ABNT 20. Estes resultados nos permitem confirmar que o material está de acordo com a faixa granulometria denominada FARELADO, prevista na IN 05/2016.

A composição química obtida por FRX apresentou como principais elementos: SiO₂ (60,40%), Al₂O₃ (17,70%), Fe₂O₃ (5,89%), MgO (4,64%), K₂O (3,47%), Na₂O (2,12%), CaO (1,34%), TiO₂ (0,88%), SO₃ (0,27%), perda por calcinação de 2,92% e soma de bases equivalente a 9,45%. De acordo com o exposto, nota-se que o material em estudo é composto majoritariamente por Sílica (SiO₂), 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: quartzo (17,96%), albita (23,56%), muscovita (27,47%), microclina (9,20%), clorita (13,59%), caulinita (1,11%), dolomita (1,96%) e outros (5,15%). Os resultados obtidos na difração corroboram com os resultados obtidos na análise petrográfica. Quanto ao teor de SiO₂ 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 8,48. A composição química obtida através do teste de solubilização do apresentou como resultado os seguintes elementos: SO₄ (122,00 mg/L), Na (8,70 mg/L), Cl (4,75 mg/L), Ba (0,19 mg/L), Zn (0,08 mg/L), Fe (0,06 mg/L), Cr (0,04 mg/L), Se (0,04 mg/L), Mn (0,003 mg/L), Al (< 0,04 mg/L), As (< 0,02 mg/L), Cu (< 0,02 mg/L), Hg (< 0,02mg/L), Pb (< 0,02 mg/L), Ag (< 0,001 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. Fase II: Protocolo Agrônomico I

Em função do volume de informações, tabelas e gráficos geradas nesta fase, relacionadas as 17 variáveis agrônomicas avaliadas a cada 30 dias, durante os 150 dias de incubação, e com o intuito de auxiliar na apresentação dos resultados e discussão, foi confeccionada uma tabela que demonstra para quais variáveis analisadas o material em estudo apresenta potencial agrônomico de utilização (Tabela 2).

Tabela 2: Potencial agrônômico dos diferentes tratamentos em função das variáveis do solo analisadas.

TRATAMENTO	DESCRIÇÃO	VARIÁVEL ANALISADA							
		pH	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Cu
T1	Testemunha (D0)	-	-	-	-	-	-	-	-
T2	PR (D1)	•	•	-	•	•	•	•	•
T3	PR (D2)	•	•	-	•	•	•	•	•
		Zn	Mn	H+Al	SB	T	V	Prem	
T1	Testemunha (D0)	-	-	-	-	-	-	-	-
T2	PR (D1)	•	•	•	•	•	•	•	•
T3	PR (D2)	•	•	•	•	•	•	•	•

• = indica a capacidade do potencial remineralizador em estudo (PR) em melhorar a variável do solo analisada, quando comparado a testemunha.

A capacidade do potencial remineralizador em melhorar a variável do solo analisada, quando comparado a testemunha, foi determinada após análise estatística por Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro, sendo considerado como positivos os resultados que apresentaram diferenças quantitativas significativas entre os diferentes tratamentos em estudo.

O presente material atende as premissas inerentes ao ensaio agrônômico de incubação e os resultados obtidos permitem concluir que o potencial remineralizador em estudo possui a capacidade de alterar, positivamente, duas ou mais variáveis geoquímicas do solo.

5. CONCLUSÕES

O material em análise nesta pesquisa, de classificação petrográfica Varvito (Grupo Itararé), comercialmente denominado Ardósia, atende a todos os requisitos mínimos e máximos dispostos na IN MAPA N° 05/2016, tanto com relação às especificações de natureza física, quanto químicas e quanto ao seu potencial agrônômico em testes de incubação. Recomendações de registro e uso do material como remineralizador de solos agrícolas carece de testes de potencial agrônômico em casa de vegetação ou a campo, objetivando demonstrar, definitivamente, que o produto se presta ao fim que se destina.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, a empresa Alto Vale Mineração e ao meu orientador, Guilherme de Resende Camara.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS. Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais no período janeiro-outubro de 2021 - Informe 07/2021, 1a ed. Brasília, DF: Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais; 2021b.

ABIROCHAS. O setor de rochas ornamentais 2021, 1a ed. Brasília, DF: Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais; 2021a.

BEST, M.G. Igneous and metamorphic petrology. Blackwell Publishing Company: Malden - USA, e.2, 2003. 758p.

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.

CAMARA, G.R.; FAITANIN, B.X.; SILVEIRA, L.L.L.; CHIODI FILHO, C.; SANTOS, E.S. Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem - Parte I. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, vol. 30, 71p. 2021.

CAMARA, G.R.; SANTOS, E.S.; SILVEIRA, L.L.L. Remineralizadores de solos: avaliação da conformidade frente à legislação e propostas para sua melhoria. Série Rochas e Minerais Industriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, vol. 35, 83p. 2024.

GÓES, M.A.C.; LUZ, A.B.; POSSA, M.V. Amostragem. In: Tratamento de minérios, 5.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Cap.2. p.23-44.

R CORE TEAM. R: 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, vol. 2, p.65-71, 1969.