



## **Remineralizadores de solo potencializam a captura de CO<sub>2</sub> e contribuem na mitigação dos efeitos climáticos**

*Rock powder improves CO<sub>2</sub> capture and contributes to mitigate climate effects*

MEDEIROS, Fernanda<sup>1</sup>; THEODORO, Suzi<sup>2</sup>; GOMIDE, Caroline<sup>3</sup>, SANTOS, Olanise<sup>4</sup>; OLIVEIRA, Viviane<sup>5</sup>; VIANA, Manoel<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília, fefah2801@gmail.com; <sup>2</sup> Universidade de Brasília, suzitheodoro@unb.br;

<sup>3</sup> Universidade de Brasília, caroline.gomide@gmail.com; <sup>4</sup> Universidade de Brasília, olanisesantos@yahoo.com; <sup>5</sup> Universidade de Brasília,

vivianeoliveira2423@gmail.com; <sup>6</sup> Universidade de Brasília, manoelebviana501@gmail.com

### **RESUMO EXPANDIDO TÉCNICO CIENTÍFICO**

#### **Eixo Temático: Crise ecológica, e mudanças climáticas: resistências e impactos na agricultura, nas águas e nos bens comuns**

**Resumo:** O uso dos remineralizadores (REM) é uma opção tecnológica emergente, que carrega a possibilidade de alterar positivamente os níveis de fertilidade do solo, a produtividade e a captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera. A mistura de rochas moídas (REM) e compostos orgânicos (CO) potencializa esse processo, aumentando a oferta de nutrientes das rochas para o solo e plantas, favorecendo a captura de CO<sub>2</sub>. Para entendimento desse mecanismo está em andamento uma pesquisa que tem o objetivo de gerar uma metodologia capaz de quantificar a captura de CO<sub>2</sub>, mediante indicadores que estimem o intemperismo acelerado das rochas. O experimento é composto por colunas de lixiviação, com quatro tratamentos: T1: (controle); T2: CO; T3: REM; T4: REM+CO e quatro repetições. Os resultados preliminares mostram que o lixiviado coletado exibe diferenças ao longo do tempo para vários parâmetros, incluindo o pH e a condutividade elétrica, em especial nas parcelas que contém a mistura REM+CO. Ao final da pesquisa espera-se contribuir com as metodologias que visam a quantificação do intemperismo acelerado de rochas, fortalecendo ações para mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** rochagem; fertilidade; ácidos orgânicos; intemperismo aprimorado de rochas.

#### **Introdução**

A saúde do solo está diretamente ligada à segurança alimentar global. Durante décadas, agricultores brasileiros recorreram ao uso de fertilizantes químicos para adequar a natureza à urgência do mercado. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de grãos e ocupa a mesma posição global de consumo de fertilizantes, importando mais de 80% desses insumos (Manning, Theodoro, 2018). Segundo o Plano Nacional de Fertilizantes (Brasil, 2022), o agronegócio brasileiro consumiu nove bilhões de dólares em fertilizantes em 2020. O aumento dos custos de aquisição impactou diretamente no porte dos gastos.

Entretanto, nas condições edafoclimáticas do Brasil, o emprego excessivo de fertilizantes de alta solubilidade tem mostrado que a eficiência desses insumos está cada vez mais comprometida, uma vez que somente uma parte reduzida é



absorvida pelas plantas, permitindo que o excedente seja perdido por lixiviação e/ou imobilização. Além da perda financeira, ocorre o comprometimento da qualidade do sistema hídrico e do solo, causando degradação ambiental.

Nesse contexto, os remineralizadores de solo (REM) se apresentam como uma alternativa ou uma tecnologia complementar aos fertilizantes químicos, que favorece a transição agroecológica (Theodoro, et al. 2020). São insumos derivados de alguns tipos de rochas silicáticas moídas, que fornecem nutrientes diversificados para os solos, gerando culturas mais saudáveis e resilientes. O Brasil é um dos líderes na pesquisa/ desenvolvimento dos REM e possui regulamentação para o uso e comercialização desses produtos (Lei 12.890/2013 e IN 05/2016-MAPA). Atualmente, 54 produtos possuem registro para uso e comercialização (Martins et al, 2023).

Estudos recentes têm apontado o uso de REM como estratégia promissora de sequestro de carbono da atmosfera (Beerling, et al, 2020; Lefebvre, et al, 2019, Guo, et al., 2023). Além da contribuição direta no sequestro de CO<sub>2</sub> via crescimento das plantas (Soares, et al, 2022), os REM têm potencial de promover a captura por meio da carbonatação, no processo denominado intemperismo aprimorado das rochas - *Enhanced Rock Weathering* – ERW (termo em inglês) (Beerling et al., 2020).

O presente trabalho é parte de uma pesquisa desenvolvida na Universidade Brasília, que visa compreender o processo de disponibilização de nutrientes para o solo a partir da interação entre REM e microrganismos, de modo a contribuir com o contribuir como estabelecimento de metodologias que tenham a capacidade de quantificar o processo de ERW, tendo em conta a influência da matéria orgânica no solo como forma de potencializar a captura de CO<sub>2</sub> atmosférico em regiões tropicais.

## **Metodologia**

O experimento piloto está sendo realizado na Estação Experimental da Biologia, localizada na Universidade de Brasília, campus Darcy Ribeiro, onde foram instaladas colunas de lixiviação (Figura 1). A fase piloto tem uma duração de quatro meses. O conjunto de equipamentos utilizados no experimento é composto de um reservatório de água de garrafa, controlador de fluxo, tampa, tubo de malha PVC, malha de nylon, papel de filtro e um recipiente de recolher o líquido lixiviado.

**Caracterização da rocha:** Os kamafugitos são rochas ultrapotássicas de origem vulcânica. Para identificação dos minerais foram realizadas análises de microscopias ópticas (microscópio petrográfico de luz transmitida/ refletida) e eletrônica (MEV/EDS) e a difração de raios-X (DRX). Para determinação do teor de quartzo (sílica livre) - conforme IN 05/2016 - foi feita análise modal (1000 pontos) em lâminas delgadas. A caracterização química foi feita por Fluorescência de Raios-X (FRX). Os elementos potencialmente tóxicos (As, Cd, Hg e Pb) foram determinados



por espectrometria de emissão óptica (ICP-OES) e espectrometria de absorção atômica (AAS).



Figura 1. Estrutura do experimento com as colunas de lixiviação

**Preparo e análise do solo e do esterco:** O solo foi o substrato base das reações químicas e processos de lixiviação. Optou-se por um Latossolo vermelho distrófico, porque é típico do bioma Cerrado. Após ser coletado, foi homogeneizado, seco ao ar e passado em peneira de 2 mm de abertura. A caracterização química foi efetuada utilizando-se a metodologia proposta por Silva (2009), onde os teores disponíveis de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  são determinados após extração em solução de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$  ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) e P, K, Fe, Zn, Mn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, por ácido cítrico a 2%.

O composto orgânico (CO) utilizado derivou de esterco bovino semicurtido. Para caracterização química, coletou-se uma amostra composta do esterco homogeneizado, que foi acondicionada em sacos de papel e colocada em estufa ( $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ) de circulação forçada de ar por 72 h. Após a secagem, o material foi pesado, moído e acondicionado em sacos de polietileno. Em seguida foi submetido à digestão nitroperclórica e os teores dos nutrientes (Ca, Mg, Al e microelementos) foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica; (P e S) por espectrometria de absorção molecular e (K) por fotometria de chama (Silva, 2009).

**Desenho experimental:** As colunas foram preenchidas de acordo com os seguintes tratamentos: T1: solo natural (controle); T2: solo + CO; T3: solo + REM; T4: solo + REM + CO, com quatro repetições. A dosagem de REM (kamafugito) equivaliu a  $40 \text{ t ha}^{-1}$  e de composto orgânico (CO) foi equivalente a  $80 \text{ t ha}^{-1}$ . Os diferentes materiais ou suas misturas foram adicionados 1 kg de solo/ por tubo (1kg/tubo).

**Coleta e análise dos dados:** As colunas receberam água deionizada que permanece em processo de percolação pelo período de 15 dias. Após esse período, o material lixiviado é coletado e analisado para uma série de parâmetros. Neste trabalho somente serão mostrados os resultados referentes às medidas de pH e de condutividade. Os dados desses parâmetros foram submetidos à análise de variância conforme modelo estatístico em fatorial  $2 \times 2$  amostral (modelo hierárquico misto), os preditores com ou sem esterco e com ou sem rocha. Os erros foram



testados quanto à normalidade e homocedasticidade pelos testes de Jarque-Bera e Bartlett. As médias entre os manejos foram comparadas pelo teste SNK a 5% de probabilidade de erro  $\alpha$ . A análise estatística foi feita no software SPEED Stat 2.4 (Carvalho et al., 2020).

## Resultados e Discussão

O pH e a condutividade elétrica dos lixiviados apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ), principalmente naqueles que continham o REM na mistura (Figura 2A e B). Ramos et al. (2006) encontraram valores semelhantes de pH em testes realizados em colunas de lixiviação com Latossolos adubados com wallostonita (rocha rica em silicato de cálcio), fato que demonstra a eficiência dos pós de rocha para elevação do pH do solo. Esse incremento evidencia a presença de  $\text{Ca}^{2+}$ , que é responsável pelo aumento de pH do solo e que se configura como principal elemento do processo de captura de  $\text{CO}_2$  do solo.

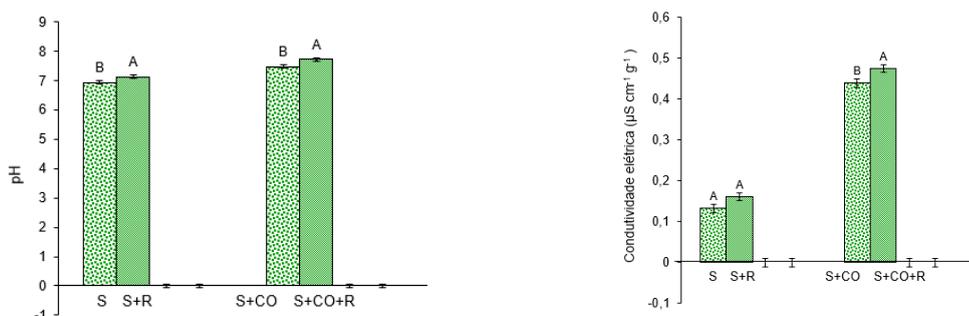


Figura 2. Resultados das análises de condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) e pH, onde S: solo puro (T1), S+R: solo+rocha (T2), S+CO: solo+composto orgânico (T3) e S+CO+R: solo+ composto orgânico+esterco (T4). Letras diferentes apresentaram diferenças significativas entre tratamentos ( $p < 0,05$ ).

A condutividade elétrica, que está relacionada à presença de íons dissolvidos em solução, também apresentou comportamento coerente com a disponibilidade dos cátions presentes nos minerais que compõem essa rocha (kamafugito). Ulrich e Leonardos (1991) classificou os kamafugitos como rocha ultra-potássica, com baixos teores em  $\text{SiO}_2$  e altos e variáveis teores de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Foi possível observar que há diferenças significativas entre todos os tratamentos. Quando se compara o tratamento T1 e T2, percebe-se que a oferta de compostos primários, derivados dos minerais do Kamafugito, resultou em diferenças significativas. Da mesma forma, os tratamentos que continham as misturas de REM (com ou sem CO) - T3 e T4 - também resultaram em diferenças significativas.

Portanto, pode-se pressupor que o REM, derivado da rocha kamafugítica, em associação com o composto orgânico (esterco) potencializou a solubilidade dos minerais e ampliou, de forma mais expressiva a quantidade de cátions na solução que percolou o solo das colunas de lixiviação, favorecendo incrementos nos parâmetros de pH e de condutividade elétrica dos lixiviados ( $p < 0,05$ ). Ainda que essa rocha tenha um expressivo potencial para fornecer cátions para as soluções



que percolam o solo, é inegável o papel desempenhado pelo composto orgânico, sugerindo que a presença de ácidos orgânicos tende a acelerar a ciclagem de nutrientes do solo.

Nesse contexto, as pesquisas que buscam metodologias para quantificar a captura de carbono, por meio do intemperismo aprimorado das rochas, devem levar em conta outras variáveis que não somente o desgaste dos minerais. Em condições de clima tropical, onde os solos são, de maneira geral, lixiviados e formados por argilas 1:1 (em especial caolinitas) a adição de compostos orgânicos (fonte de microrganismos) torna-se uma condição para potencializar processos de biointemperismo.

Por se tratar de práticas simples e com insumos disponíveis localmente (REM e matéria orgânica de diferentes fontes) essa opção está aderente aos pressupostos do manejo agroecológico do solo, mas, também, fortalece agricultores com diferentes perfis produtivos, em especial os agricultores familiares que são menos capitalizados. Nas próximas etapas de pesquisa espera-se indicar quais são os nutrientes disponibilizados e a quantidade de CO<sub>2</sub> capturado.

## **Conclusões**

O acréscimo de REM aos solos amplia a oferta de nutrientes, resultando em incrementos de pH e condutividade elétrica. A associação com fontes orgânicas (esterco) favoreceu o processo de solubilização dos nutrientes, em especial dos cátions de Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup>, o que é retratado pela alteração do pH. Além disso, a presença desses cátions potencializa os processos de captura de CO<sub>2</sub>. Portanto, formas de manejo do solo que considerem a aplicação conjunta de REM e distintas fontes orgânicas têm potencial de sequestrar carbono atmosférico, reforça as hipóteses de que é possível capturar o CO<sub>2</sub> atmosférico intemperismo aprimorado de rochas. No entanto, em condições tropicais, uma salvaguarda para que o processo possa ocorrer de forma mais contundente, refere-se a necessária presença de microrganismos derivada de fontes orgânicas. Tão importante quanto a captura de CO<sub>2</sub>, o uso desses insumos representa um amplo espectro de benefícios econômicos, ambientais, tornando-se uma ferramenta importante para a agricultura mundial.

## **Agradecimentos**

Agradecemos à Grantham Foundation pelo financiamento da pesquisa, à FINATEC pela gestão do recurso na universidade e a Harvest Mineral pela oferta do REM.



## Referências bibliográficas

BEERLING, David J.; et. al. Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. **Nature Plants**, 2018. p. 138–147  
<https://doi.org/10.1038/s41477-018-0108-y>

BRASIL. **Lei no 12.890, de 10 de dezembro de 2013**, 11 dez. 2013. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm)>. Acesso em: 16 jun. 2022.

BRASIL. (2022). Plano Nacional de Fertilizantes 2050. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes>. Acesso 20 mai. 2023

CARVALHO, André M. X.; MENDES, Felipe Q.; MENDES, Fabrícia Q. TAVARES, Leane. F. SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 20(3): e327420312, 2020.

GUO Fuxing et. al. Crop productivity and soil inorganic carbon change mediated by enhanced rock weathering in farmland: A comparative field analysis of multi-agroclimatic regions in central China. **Agricultural Systems**. 210. 2023  
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103691>

LEFEBVRE, David; et al. Assessing the potential of soil carbonation and enhanced weathering through Life Cycle Assessment: a case study for Sao Paulo State, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, 2019. 233(2), p. 468-481.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.099>

MARTINS, Éder M. et al. Produção Brasileira de Remineralizadores e Fertilizantes Naturais: 2019 a 2022. **Revista Novo Solo**. 3. P 10-19. 2023.  
<https://abrefen.org.br/revista-novo-solo/>

RAMOS, Lucélia A.; NOLLA, Antônio; KORNDÖRFER, Gaspar H.; PEREIRA, Hamilton S.; CAMARGO, Monica S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** 30 (5). 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000500011>

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 Ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas. 627p. 2009.

SOARES, Gustavo. J., THEODORO, Suzi. H., CARVALHO, André. X. M., BURBANO, Diego. F; RAMOS, Claudete. G. 2022. Remineralizadores de suelos y sistemas agroforestales: una opción para la captura de CO<sub>2</sub>. *Revista Agroecología* 15 (1). <https://doi.org/10.59187/revistaagroecologia.v151>



THEODORO, Suzi H; MEDEIROS Fernanda P; IANNIRUBERTO Marco; JACOBSON Tamiel K B. Soil remineralization and recovery of degraded areas: An experience in the tropical region. J. S. Am. Earth Sci. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103014>

ULHRICH, Mabel N C, LEONARDOS, Othon H. As rochas ultrabásicas potássicas da Mata da Corda, MG: lamproitos ou kamafugitos? **9. Jornadas Científicas** 1990 <https://doi.org/10.11606/issn.2317-8078.v0i9p93-97>