

Efeito da aplicação dos remineralizadores no solo

Eduardo de Souza Martins¹, Pablo Rodrigo Hardoi², Éder de Souza Martins³

Resumo - Os remineralizadores são insumos acessíveis aos agricultores. No Brasil, cerca de 5 milhões de hectares já receberam os remineralizadores, os quais têm apresentado resultados consistentes em campo. Os mecanismos de como funcionam os remineralizadores no solo ainda dependem de muito estudo, porém um conjunto de resultados de pesquisas permite conceber um modelo a ser testado. A integração de processos envolvidos inclui respostas das comunidades de microrganismos do solo à adição de minerais primários, quais sejam: crescimento radicular vigoroso das culturas, aumento do potencial de intemperismo de minerais, com conseqüente liberação de nutrientes, e formação de minerais secundários com superfícies ativas, resultando em agregados, fundamentais para a manutenção e para o aumento da matriz organomineral no solo. Solos tropicais pobres em minerais novos e nutrientes são mais responsivos, o que pode ser potencializado pela redução de pesticidas que comprometem a vida no solo e pelo uso de culturas de cobertura que colaboram para a diversidade e para o aporte de carbono. Os remineralizadores, pela ampla disponibilidade nas regiões agrícolas e pelos resultados agrônômicos apresentados, devem ser tratados como recurso estratégico do Agro brasileiro.

Palavras-chave: solo tropical; mineral silicático; insumo agrícola; pó de rocha.

Effect of remineralizers application on the soil

Abstract - Remineralizers are inputs accessible to farmers. About 5 million hectares have already received remineralizers, which have shown consistent results in the field. The mechanisms of how remineralizers work in the soil still depend on a lot of research, but a set of research results allows us to conceive a model to be tested. The integration of processes involved include the responses of soil microorganism communities to the addition of primary minerals, the vigorous root growth, the increase in the weathering potential of minerals with consequent release of nutrients, and the formation of secondary minerals with surfaces active, resulting in the formation of aggregates, which are fundamental for the maintenance and even the increase of the organo-mineral matrix in the soil. Tropical soils poor in new minerals and nutrients are more responsive, which can be enhanced by the reduction of pesticides that compromise soil life and the use of cover crops that contribute to diversity and carbon supply. Remineralizers, due to their wide availability in agricultural regions and the agronomic results presented, should be treated as a strategic resource for Brazilian agriculture.

Keywords: tropical soil; silicate mineral; agricultural input; rock dust.

INTRODUÇÃO

O desempenho dos remineralizadores de solos, o popular “pó de rocha”, deve ser esclarecido por apresentar resultados consistentes no campo.

Como explicar que um insumo potencialmente acessível em todas as regiões agrícolas, com nutrientes de baixa solubilidade e de baixas concentrações, na maior

parte das situações, favoreça o desenvolvimento e a produtividade das plantas em diferentes culturas?

A resposta não é simples e envolve a integração de um conjunto de conhecimentos, cada vez mais utilizados, para explicar o funcionamento dos solos, unindo, principalmente, os contextos físico-químicos e a biologia (BALVANERA *et al.*, 2006). O desafio aumenta, pois apresenta para-

digmas de manejo de fertilidade do solo complementares ao uso intensivo de sais solúveis e de condicionadores para o desenvolvimento das culturas.

Tudo isso soma-se ao fato de os remineralizadores já estarem sendo adotados pelos agricultores em culturas intensivas e extensivas, deixando a pesquisa com diversas perguntas que ainda dependem de muito trabalho (ROCHA *et al.*, 2022).

¹Biólogo, M.Sc., Presidente GAAS, Goiânia, GO, presidente@gaasbrasil.com.

²Eng. Agrônomo, D.Sc., Diretor Técn. Trópica Serviços Agropecuários Ltda., Belo Horizonte, MG, tropica.ag@gmail.com.

³Geólogo, D.Sc., Pesq. EMBRAPA Cerrados, Planaltina, DF, eder.martins@embrapa.br.

No momento em que a área agrícola de uso dos remineralizadores já alcança mais de 5 milhões de hectares, com o Plano Nacional de Fertilizantes (BRASIL, 2021) prevendo um crescimento expressivo, a oportunidade de explorar os mecanismos que explicam o funcionamento destes é bastante oportuna.

Em resumo, as evidências acumuladas, empíricas e científicas, que contribuem para formular a integração de processos envolvidos no funcionamento dos remineralizadores em solos altamente intemperizados, são:

- a) melhor compreensão sobre o intemperismo de rochas silicáticas, principalmente os mecanismos biológicos (EDWARDS *et al.*, 2017);
- b) interação de minerais com o carbono (C) orgânico (LEHMANN; KLEBER, 2015);
- c) importância da matriz organomineral na estabilidade do C no solo (PRONK *et al.*, 2012);
- d) efeito sinérgico da planta e comunidade de microrganismos (BRUNDRETT, 2002; KRINGS *et al.*, 2007);
- e) papel dos minerais na conformação das comunidades de microrganismos do solo (PRONK *et al.*, 2017);
- f) contribuição do microbioma do solo na nutrição das plantas no ambiente das raízes das culturas (LAMBERS *et al.*, 2009).

Este artigo tem como objetivo apresentar um modelo biológico e mineralógico de funcionamento de remineralizadores em solos tropicais altamente intemperizados. Neste sentido, os sistemas agrícolas são considerados resultados de interações de diferentes seres que podem ser manejados para uma agricultura fundamentada em processos de construção duradoura da fertilidade do solo, menos dependente de insumos convencionais, menos poluente e capaz de oferecer produtos de qualidade, proporcionando maior autonomia e independência aos produtores.

MODELO PARA O FUNCIONAMENTO DOS REMINERALIZADORES EM SOLOS AGRÍCOLAS

Os resultados alcançados pelos agricultores com os remineralizadores surpreendem, principalmente na perspectiva solubilista de nutrição das plantas. Porém, o fato da planta adquirir nutrientes na forma de íons não significa que os sais são mais eficientes para fertilizar as culturas. Mesmo assim, o uso de fertilizantes solúveis vem aumentando ao longo do tempo em escala mundial (IFASTAT, 2022) e os custos também crescem proporcionalmente (SIMÕES; CAIXETA-FILHO; PALEKAR, 2018). Por outro lado, o uso intensivo e contínuo de pesticidas e de fertilizantes solúveis em água promove a diminuição da biodiversidade do solo e outros impactos ambientais (BEMAN; ARRIGO; MATSON, 2005; BENDER; WAGG; HEIJDEN, 2016; GAO *et al.*, 2016; WOOD; BRADFORD, 2018). Ao mesmo tempo, a pressão do uso da terra apresenta impactos globais (FOLEY *et al.*, 2005; SMITH *et al.*, 2014; SNYDER *et al.*, 2009) que necessitam de uma

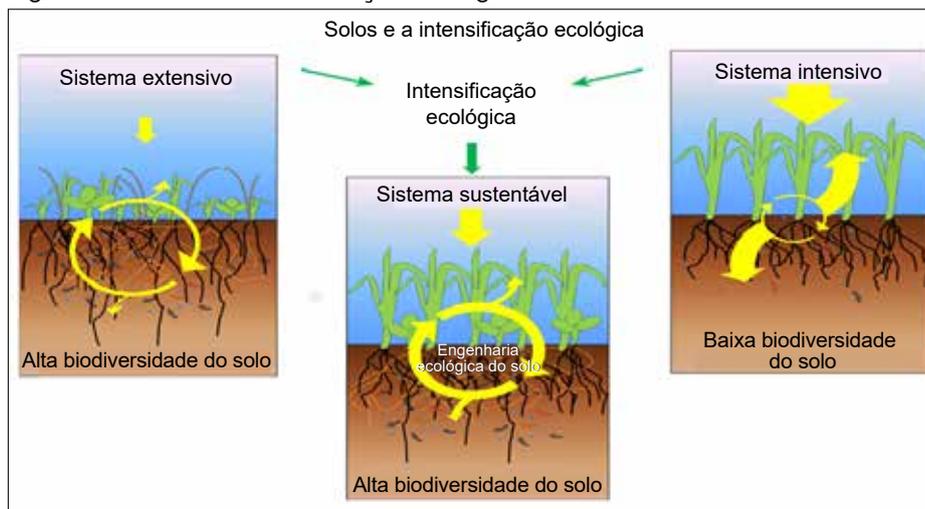
transição para coberturas agrícolas mais funcionais, com intensificação ecológica prevista na agricultura regenerativa e com incremento da qualidade e da saúde do solo (FRANCIS; HARWOOD; PARR, 1986; BENDER; WAGG.; HEIJDEN, 2016; WOOD; BRADFORD, 2018). O uso dos remineralizadores faz parte de uma das estratégias para aumentar a intensificação ecológica (Fig.1).

No sistema solo-planta é fundamental considerar o papel central da microbiota nas funções fundamentais requeridas pela planta (BENDER; WAGG; HEIJDEN, 2016; GIANINAZZI *et al.*, 2010).

Minerais silicáticos adicionados ao solo têm a capacidade de reestruturar as comunidades de microrganismos, fazendo com que alguns grupos aumentem sua representatividade (PRONK *et al.*, 2012, 2017). As indicações são de que os grupos favorecidos pelos minerais silicáticos pouco alterados interajam com as raízes das plantas de forma positiva.

A melhor indicação está no aumento de raízes de todas as culturas, principalmente de raízes secundárias ricas em pelos, conformação que aumenta a interação com o solo (Fig. 2).

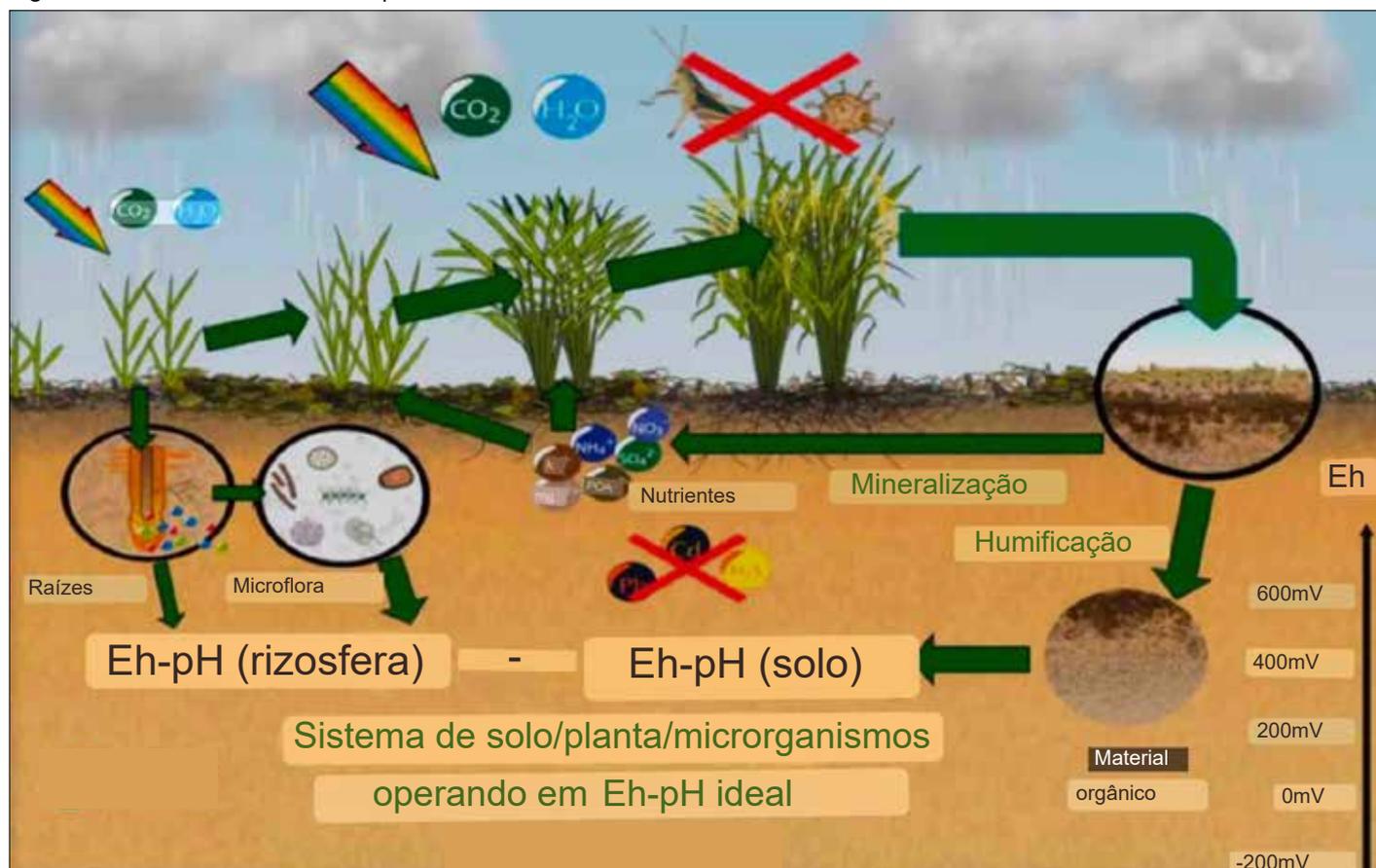
Figura 1 - Solos e a intensificação ecológica



Fonte: Adaptado de Bender, Wagg e Heijden (2016).

Nota: Sistemas extensivos apresentam alta biodiversidade, mas são pouco produtivos. Os sistemas intensivos são altamente produtivos, mas perdem biodiversidade ao longo do tempo. Os sistemas sustentáveis aliam alta produtividade e alta biodiversidade, o que configura o processo de intensificação ecológica.

Figura 2 - Modelo conceitual de plantas cultivadas em solos com remineralizadores



Fonte: Adaptado de Husson *et al.* (2021).

Nota: Remineralizadores podem aumentar o poder tampão do solo da rizosfera e do solo sem planta. Nesta condição as plantas tendem a precisar de menos energia para regular a homeostase do pH e da oxidorredução (Eh), diminuindo, assim, o excesso de estresse oxidativo. Ou seja, são plantas mais eficientes na conversão de energia luminosa em produção vegetal e mais saudáveis que evitam pragas e doenças.

Uma das questões-chave para explicar o funcionamento dos remineralizadores é responder se a comunidade microbiana selecionada pelos minerais silicáticos pouco alterados oferece um portfólio de genes funcionais, passíveis de serem selecionados pelas culturas para a rizosfera, capazes de aumentar a biodisponibilização de nutrientes, melhorar a homeostase do pH e da oxidorredução (Eh), dentre outras (HUSSON *et al.*, 2021).

Essa resposta universal das culturas aos remineralizadores leva à especulação de que minerais silicáticos pouco alterados são capazes de sinalizar para as plantas de cultivo que vale a pena investir em raízes. Equivaleria resgatar a habilidade que as plantas cultivadas tinham nas suas origens

para buscar nutrientes nos minerais do solo? Evidências científicas demonstram que a planta é capaz de inibir a associação com microrganismos simbiotes, e até mesmo alterar a morfologia radicular, quando ocorre a oferta direta de nutrientes na forma de íons pela adubação química (DAHLIN *et al.*, 2015). Dessa forma, destaca-se a importância da sinergia entre a planta e os microrganismos do solo para acelerar o processo de intemperismo dos minerais silicáticos (REIFSCHNEIDER *et al.*, 2021). Será que a comunidade selecionada pelos minerais possui genes funcionais que não só sinalizam para as raízes das culturas, mas também disponibilizam habilidades fundamentais para a mine-

ralização de nutrientes? Algumas dessas perguntas são destinadas para a pesquisa de ponta. Mas existe um significado prático para o manejo e o aumento das raízes nos estádios iniciais das culturas, quais sejam:

- maior volume explorado de solo;
- maior acesso à disponibilidade de água nas camadas superficiais do solo;
- maior volume de rizosfera e oferta de exsudatos das raízes.

Essas características podem contribuir muito para o sucesso da cultura, principalmente se o solo tiver boa aeração, disponibilidade de água, matéria orgânica (MO) e níveis adequados de nutrientes biodisponíveis (Fig. 3).

Figura 3 - Imagens de raízes de plantas cultivadas com e sem pó de rocha



Nota: A - Eucalipto; B - Soja; C - Braquiária; D - Alho; E - Alface.

Em detalhe observam-se as raízes secundárias, em que são liberados os exsudatos. Estes são as “moedas” das plantas para obter a parceria com os microrganismos.

Os microrganismos são onipresentes em tudo o que se refere ao mundo mineral e aos solos (PRONK *et al.*, 2017). Na relação minerais-microrganismos podem-se dividir as interações em dois tipos: as de superfícies como espaço de fixação e as de acesso a nutrientes, o que geralmente ocorre em conjunto.

Quando o remineralizador é aplicado ao solo aumenta-se a superfície específica, criando uma grande ampliação de nichos para interações minerais-microrganismos, o que resulta no aumento de raízes das culturas. Não se sabe ainda o papel da liberação dos nutrientes adsorvidos nos minerais ou mesmo dos metabólitos secundários sintetizados pelos microrganismos no processo de sinalização para crescimento das raízes, provavelmente a combinação conjunta entre estes dois mecanismos leve ao resultado observado no campo.

Mecanismos de intemperismo

O aumento de exsudatos das raízes significa oferta de nutrientes para os microrganismos, por sua vez, o aumento de microrganismos intensifica os mecanismos de biodissolução ou biointemperismo dos minerais adicionados. Os mecanismos envolvem a geração de condições ácidas por meio da síntese de ácidos orgânicos e inorgânicos, da produção de polissacarídeos extracelulares (biofilmes), da quelação, das reações Eh-pH, da segregação de ácidos orgânicos e de ligantes orgânicos – todos contribuindo para o intemperismo dos minerais. Interessante que a adição de remineralizadores inicia um processo em que minerais, microrganismos e plantas se complementam para oferecer funções e serviços fundamentais ao sistema (Fig. 4).

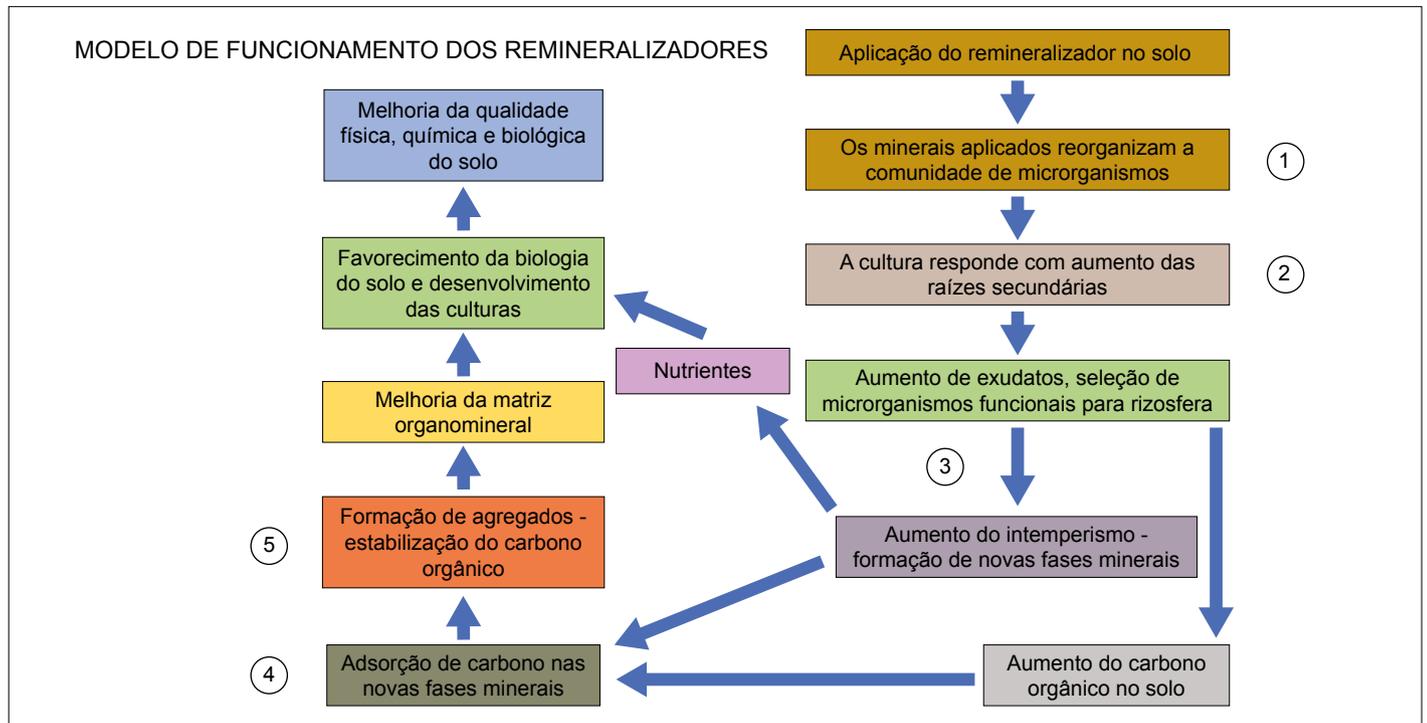
Formação de minerais secundários e disponibilização de nutrientes

A intemperização dos minerais silicáticos de rochas moídas no sistema de agricultura tropical é otimizada em decorrência de:

- aumento de superfície de interação pela cominuição da rocha (RINDER; HAGKE, 2021);
- ativação biológica induzida pelos minerais e pelo aumento de exsudatos das raízes (RAMOS *et al.*, 2022);
- aplicação em área total na superfície, camada de maior quantidade de MO e atividade biológica do solo (CRUSCIOL *et al.*, 2022).

O manejo regenerativo nas condições tropicais permite transformar a remineralização num processo de intemperismo

Figura 4 - Modelo de funcionamento dos remineralizadores



Fonte: Elaboração do autor Eduardo de Souza Martins.

melhorado promovido pelo sistema biológico agrícola, gerando minerais secundários com superfícies ativas e liberação de nutrientes no sistema. Os minerais secundários interagem com os compostos orgânicos provenientes diretamente das plantas, processados pelos microrganismos, e ainda com o material microbiano morto (LEHMANN; KLEBER, 2015). Essa interação gera os microagregados, a matriz organomineral do solo e a base para manter o C orgânico no solo. Sem perturbar o solo mecanicamente, mantendo os níveis adequados de produção primária diversa e o solo coberto, os microagregados evoluem e transformam-se em centros vivos ativos, suportando a cadeia trófica e mantendo a biodiversidade e a retenção de água e de nutrientes – um solo agrícola funcional e resiliente.

A seletividade mineral dos remineralizadores reconformando a comunidade biológica do solo, seguida pelo recrutamento genético funcional das raízes das culturas, cria o efeito “iniciador” que explica o funcionamento da remineralização.

REMINERALIZADORES COMO INSUMOS REGIONAIS NAS PRÁTICAS REGENERATIVAS DA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

Existem ocorrências minerais que podem atender às necessidades da agricultura brasileira de remineralizadores, porém distante de uma disposição de oferta do insumo na maioria das regiões produtivas.

Os volumes requeridos por área são grandes, o que torna os remineralizadores um recurso regional, e, dependendo das características da rocha, os raios de alcance variam de 200 a 300 km, considerando-se a realidade logística de transporte rodoviário do País (Fig. 5).

A rigidez locacional, tanto geológica como logística, requer a adequação da responsividade dos solos regionais com as disponibilidades de rochas.

As necessidades das áreas de produção variam e requerem diferentes soluções que podem ser providas pelos remineralizadores. Por exemplo, solos leves que carecem de aumento de C orgânico demandam remineralizadores ricos em superfície ativa conjugados com coberturas variadas e boa

biomassa. As culturas demandam nutrientes de formas variadas, em outro exemplo, rochas com biotita podem ser boas fontes de potássio (K), prontamente disponíveis para o próximo ciclo.

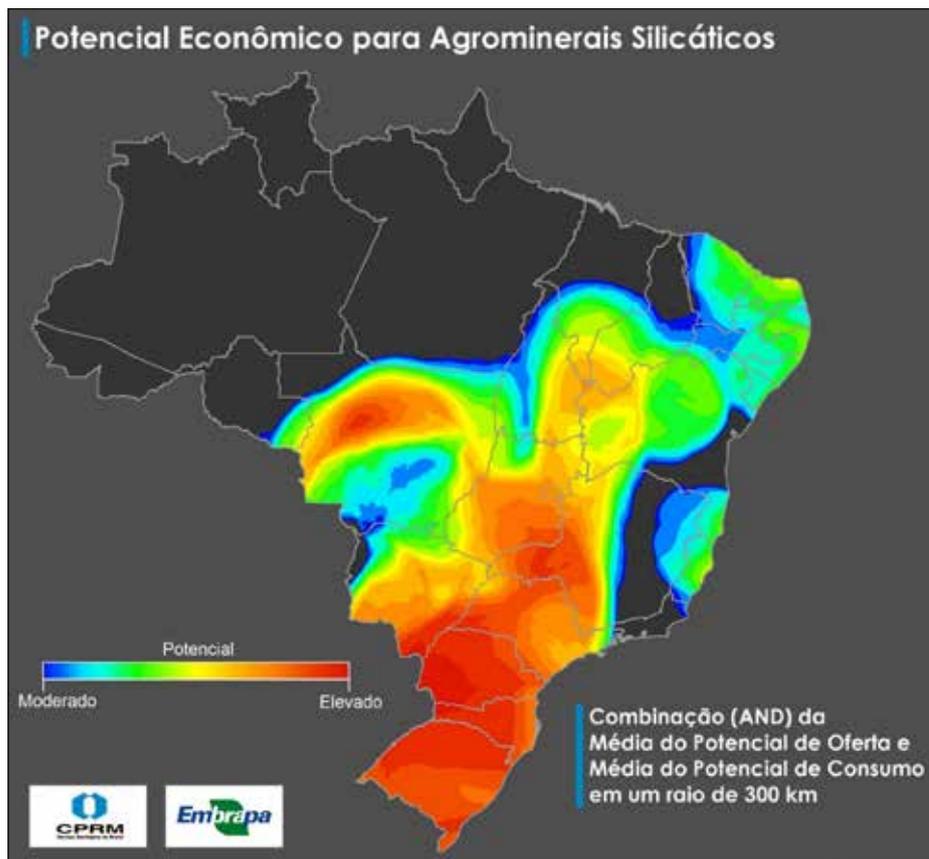
Os remineralizadores são dependentes dos processos de biodisponibilização, pois não adianta aplicá-los sem a ativação biológica do solo ou adotando volumes massivos de pesticidas e fertilizantes solúveis (FOX *et al.*, 2007).

RESPONSIVIDADE DOS SOLOS TROPICAIS AOS REMINERALIZADORES

O avançado intemperismo dos solos tropicais são a base da responsividade dos remineralizadores, mas o funcionamento depende da ativação biológica capaz de tornar possíveis os processos de biodisponibilização (Fig. 6).

A mineralogia do solo também é relevante, em geral os solos são mais responsivos se tiverem origem distinta das rochas utilizadas como remineralizadores. Solos mais arenosos e/ou ácidos também tendem a ser mais responsivos.

Figura 5 - Mapa do Brasil com a potencialidade agrogeológica para uso de remineralizadores



Fonte: Embrapa e CPRM (2018).

Figura 6 - Imagens do torrão de solo arenoso tratado com remineralizadores junto com as raízes da cultura



ADOÇÃO DE OBJETIVOS

A partir de um bom diagnóstico da área a ser trabalhada e da disponibilidade dos meios, o solo deve ser suplementado para poder suplementar as plantas. A perspectiva da fertilidade deve ser compreendida de forma integral, em que melhorias estruturais devem ser sempre buscadas, garantindo rendimentos adequados para cada ciclo. É importante salientar que com o uso de remineralizadores o produtor capitaliza o solo em longo prazo, pois ajuda na formação deste.

Fertilidade para o ciclo (macro e micronutrientes)

As análises comuns de solo continuam sendo a principal ferramenta, mas em muitas situações não refletem os processos de biodisponibilização, pois seus fundamentos orientam-se para o que está solúvel no solo.

Um caminho alternativo, no lugar das regras de três, para estabelecer a demanda de nutrientes, é conhecer as respostas das plantas em rendimento e em sanidade de diferentes contextos e relacionar com as análises. O uso das análises foliares pode auxiliar, enquanto não se dispõe de avaliações acessíveis para a seiva.

Desenvolver o conhecimento da área de produção requer disciplina, cuidados na coleta de solos e sistematização das informações, além dos fundamentos para a análise.

Adotar um laboratório de confiança e georreferenciar as coletas vai permitir avaliações evolutivas e distinguir as referências que de fato valem para o manejo sustentável.

O solo é um dos sistemas vivos mais complexo que existe, deve-se adotar bons princípios ecológicos sobre o seu funcionamento, mas nem sempre haverá explicações prontas a oferecer. A boa ciência, a prática e a humildade são as melhores abordagens.

Aumento da eficiência dos fertilizantes iônicos – redução ou aumento da produtividade

Os processos de transição da agricultura convencional para a sustentável podem

conjugar os remineralizadores com os fertilizantes solúveis.

Quando o objetivo for aumentar a eficiência da fertilização química recomendada, o ideal é acrescentar um remineralizador rico em superfície ativa, avaliando a resposta em produtividade.

Ainda não é claro quais processos estão envolvidos nos resultados observados, mas pode-se indicar a possibilidade da melhoria física e a ativação biológica da rizosfera. Os custos do fertilizante solúvel e dos remineralizadores somam-se, é importante avaliar se a resposta em produtividade compensa (CARNEIRO; DUARTE; COSTA; 2015) e os riscos do manejo no processo de transição (KAHAN, 2008).

Outra abordagem diz respeito à redução da adubação solúvel compensada com a aplicação de remineralizadores. Pode-se compor remineralizadores que sejam ricos em superfície e rochas com capacidade de disponibilização rápida dos nutrientes desejados, reduzindo os aportes dos solúveis seja pelo aumento de eficiência seja pela fonte alternativa de nutriente.

Tanto uma abordagem como outra requerem testes por parte do agricultor, uma vez que a complexidade dos processos envolvidos não permite recomendações genéricas.

É relevante considerar que os princípios de melhoria biológica e física do solo devem sempre estar presentes, mesmo utilizando fertilizantes na forma de sais. O sistema deve ser conduzido para reduzir e, se for possível, eliminar os insumos convencionais de forma gradativa e segura.

Condicionamento do solo – capacidade de troca de cátions, balanço de bases, alumínio trocável, acidez

Em termos químicos, pode-se afirmar que solos agrícolas de qualidade dispõem de nutrientes potencialmente disponíveis para as culturas conforme as demandas no ciclo, em qualidade e em quantidade, e ainda são capazes de reter esses nutrientes na dinâmica climática e no uso do contexto produtivo.

Os desenhos produtivos dominantes na agricultura tropical, intensiva e extensiva, determinam muita monocultura e volumes de exploração de solo relativamente pequenos, tais restrições requerem maior esforço de manejo e dependem de aportes sistemáticos de insumos no solo.

Com práticas que mantenham a cobertura diversa do solo, preferencialmente verde, e com a redução significativa de insumos ofensivos ao microbioma (pesticidas), os remineralizadores podem ajudar muito na construção do sistema do ponto de vista físico-químico:

- a) a capacidade de troca de cátions (CTC) pode ser aumentada e tem caráter permanente (KRAHL *et al.*, 2022; SANTOS *et al.*, 2021);
- b) os materiais básicos ricos em cálcio (Ca) e magnésio (Mg) podem contribuir no pH e no controle do alumínio (Al) tóxico, podendo substituir em parte a calagem com vantagens, sendo que os minerais de rochas silicáticas básicas não geram choque de pH no solo e tem efeito mais longo no condicionamento (CONCEIÇÃO *et al.*, 2022);
- c) os materiais silicáticos melhoram a homeostase Eh no ambiente da rizosfera, essencial para o controle do estresse oxidativo (HUSSON *et al.*, 2021).

Os remineralizadores corretos podem melhorar os atributos físico-químicos de solos altamente intemperizados, o que pode ser feito em médio e longo prazo visando objetivos de melhoria estrutural permanente.

Carbono orgânico no solo – aporte de superfície de qualidade, formação de agregados e aumento homeostático de carbono orgânico

Por muito tempo, a teoria dominante foi de que a estabilização do C no solo dependia de uma complexação de compostos orgânicos, resultado principalmente da atuação da decomposição por microrganismos, o processo de humificação.

Atualmente, o entendimento é que o C mais estável está na forma de interações de compostos orgânicos, principalmente os compostos húmicos com os minerais, conformando a matriz organomineral do solo (LEHMANN; KLEBER, 2015).

A nova teoria é chave para explicar o funcionamento dos remineralizadores em solos tropicais – solos altamente intemperizados, mas com alta capacidade de produção primária e alta atividade de degradação biológica com possibilidade de reter C orgânico se existir oferta de superfície mineral para “ancorar” os compostos orgânicos gerados, e assim proteger parte do C dos processos de decomposição.

É importante ressaltar que os remineralizadores de forma isolada não serão capazes de gerar tais efeitos, mas fazem parte de um conjunto de ferramentas para adequar de forma regenerativa os solos tropicais para produção agrícola intensiva e extensiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de remineralizadores permite o rejuvenescimento dos solos, principalmente aqueles altamente intemperizados, podendo fornecer nutrientes de forma gradual e residual, bem como a formação de minerais secundários, os quais podem aumentar a superfície específica e, conseqüentemente, a retenção de nutrientes, compostos orgânicos e água. Para que o rejuvenescimento seja eficiente, o solo necessita estar biologicamente vivo e ativo. A adoção dos remineralizadores pressupõe a adoção de práticas que privilegiem a vida no solo. Nestas condições, as plantas costumam desenvolver-se melhor e o solo torna-se mais fértil ao longo dos anos. O produtor deve ter consciência de que o uso dos remineralizadores faz parte de um conjunto de práticas que tem a qualidade do solo como base da produção. Como ainda não existe recomendação para tal uso, o produtor é aconselhado a realizar testes em áreas menores para determinar o tipo e a concentração de remineralizador que pode auxiliar a manter o nível atual de produtividade, enquanto promove a redução de custos de produção.

REFERÊNCIAS

- BALVANERA, P. *et al.* Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. **Ecology Letters**, v.9, n.10, p.1146-1156, 2006.
- BEMAN, J.M.; ARRIGO, K.R.; MATSON, P.A. Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms in vulnerable areas of the ocean. **Nature**, v.434, p.211-214, 2005.
- BENDER, S.F.; WAGG, C.; HEIJDEN, M.G.A. van der. An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. **Trends in Ecology & Evolution**, v.31, n.6, p.440-452, June 2016.
- BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050: uma estratégia para os fertilizantes no Brasil**. Brasília, DF: SAE, 2021. 195p. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2022/03/plano-nacional-de-fertilizantes-brasil-2050.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2022.
- BRUNDRETT, M.C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. **New Phytologist**, v.154, n.2, p.275-304, May 2002.
- CARNEIRO, D.M.; DUARTE, S.L.; COSTA, S.A. da. Determinantes dos custos da produção de soja no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 22., 2015, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. São Leopoldo: ABC, [2015]. Tema: Gestão de custos nas estratégias de geração e transmissão de energia.
- CONCEIÇÃO, L.T. *et al.* Potential of basalt dust to improve soil fertility and crop nutrition. **Journal of Agriculture and Food Research**, v.10, Dec. 2022. Article 100443.
- CRUSCIOL, C.A.C. *et al.* Broadcast application of ground silicate rocks as potassium sources for grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.57, 2022, Article 02443.
- DAHLIN, A.S. *et al.* 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.105-117, Jan. 2015.
- EDWARDS, D.P. *et al.* Climate change mitigation: potential benefits and pitfalls of enhanced rock weathering in tropical agriculture. **Biology Letters**, v.13, n.4, Apr. 2017. Article 20160715.
- EMBRAPA; CPRM. **Zoneamento agrogeológico do Brasil: resumo executivo**. Brasília, DF: CPRM: EMBRAPA, 2018. 17p. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/impressao/pdf/zag181205.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2022.
- FOLEY, J.A. *et al.* Global consequences of land use. **Science**, v.309, n.5734, p.570-574, July 2005.
- FOX, J.E. *et al.* Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. **PNAS**, v.104, n.24, p.10282-10287, June 2007.
- FRANCIS, C.A.; HARWOOD, R.R.; PARR, J.F. The potential for regenerative agriculture in the developing world. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.1, n.2, p.65-74, Spring 1986.
- GAO, W. *et al.* Ammonium fertilization causes a decoupling of ammonium cycling in a boreal forest. **Soil Biology and Biochemistry**, v.101, p.114-123, Oct. 2016.
- GIANINAZZI S. *et al.* Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. **Mycorrhiza**, v.20, n.8, p.519-530, Nov. 2010.
- HUSSON, O. *et al.* Soil and plant health in relation to dynamic sustainment of Eh and pH homeostasis: a review. **Plant and Soil**, v.466, n.1/2, p.391-447, Sept. 2021.
- IFASTAT. **International Fertilizer Association**. Paris: IFA, [2022]. Disponível em: <https://www.ifastat.org/>. Acesso em: 11 out. 2022.
- KAHAN, D. **Managing risk in farming**. Rome: FAO, 2008. 114p. (FAO. Farm Management Extension Guide, 3).
- KRAHL, L.L. *et al.* Increase in cation exchange capacity by the action of maize rhizosphere on Mg or Fe biotite-rich rocks. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.52, 2022. Artigo e72376.
- KRINGS, M. *et al.* Fungal endophytes in a 400-million-yr-old land plant: infection pathways, spatial distribution, and host responses. **New Phytologist**, v.174, n.3, p.648-657, May 2007.
- LAMBERS, H. *et al.* Plant-microbe-soil interactions in the rhizosphere: an evolutionary perspective. **Plant Soil**, v.321, n.1/2, p.83-115, Aug. 2009.
- LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, v.528, n.7580, p.60-68, 2015.
- PRONK, G.J. *et al.* Development of biogeochemical interfaces in an artificial soil incubation experiment: aggregation and formation of organo-mineral associations. **Geoderma**, v.189/190, p.585-594, Nov. 2012.
- PRONK, G.J. *et al.* Interaction of minerals, organic matter, and microorganisms during biogeochemical interface formation as shown by a series of artificial soil experiments. **Biology and Fertility of Soils**, v.53, n.1, p.9-22, Jan. 2017.
- RAMOS, C.G. *et al.* Possibilities of using silicate rock powder: an overview. **Geoscience Frontiers**, v.13, n.1, Jan. 2022. Article 101185.
- REIFSCHNEIDER, L. *et al.* Can we improve soil properties and plant biomass using rock powder as soil amendment? In: EGU GENERAL ASSEMBLY, 2021. [Abstracts...]. Gottingen: Copernicus Meetings, 2021. p.EGU21-4512.
- RINDER, T.; HAGKE, C. von. The influence of particle size on the potential of enhanced basalt weathering for carbon dioxide removal - Insights from a regional assessment. **Journal of Cleaner Production**, 315, Sept. 2021. Article 128178.
- ROCHA, F.E. de C. *et al.* **Modelo de Projeto Agrocomportamental aplicado à avaliação da adoção de tecnologia**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2022. 103p. (EMBRAPA. Texto para Discussão, 51).
- SANTOS, L.F. dos. *et al.* Effects of biotite syenite on the nutrient levels and electrical charges in a Brazilian Savanna Ferralsol. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.51, 2021. Article e66691. Special Supplement: Cerrado [Brazilian Savanna].
- SIMÕES, D. da C.; CAIXETA-FILHO, J.V.; PALEKAR, U.S. Fertilizer distribution flows and logistic costs in Brazil: changes and benefits arising from investments in port terminals. **International Food and Agribusiness Management Review**, v.21, n.3, p.407-422, 2018.
- SMITH, P. *et al.* Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: IPCC. **Climate change 2014: mitigation of climate change - Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. cap.11, p.811-922. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter1.pdf. Acesso em: 14 mar. 2022.
- SNYDER, C.S. *et al.* Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.133, n.3/4, p.247-266, Oct. 2009.
- WOOD, S.A.; BRADFORD, M.A. Leveraging a new understanding of how belowground food webs stabilize soil organic matter to promote ecological intensification of agriculture. In: SINGH, B.K. (ed.). **Soil carbon storage: modulators, mechanisms and modeling**. London: Elsevier, 2018. cap.4, p.117-136.