

AGROMINERAIS NO CENÁRIO BRASILEIRO: UMA BREVE REVISÃO

José Sales Rodrigues^{1*}

Orientador: Josenildo Isidro dos Santos Filho^{2**}

RESUMO

O Brasil deverá manter elevada demanda por alimentos, exigindo maior eficiência agrícola. Nesse contexto, os agrominerais desempenham papel importante na correção e fertilidade dos solos, atuando como fontes de macro e micronutrientes. Materiais como calcário, gesso e remineralizadores contribuem para a produtividade agrícola, embora o país ainda apresente elevada dependência de fertilizantes NPK importados, apesar de possuir reservas minerais expressivas. Este trabalho apresenta uma revisão sistematizada da produção científica sobre agrominerais no Brasil entre 2005 e 2025. A pesquisa foi realizada nas bases Scopus e Web of Science, nas quais foram identificados inicialmente 50 registros, sendo 35 artigos selecionados conforme critérios de inclusão e exclusão. O Brasil responde por cerca de 8% do consumo mundial de fertilizantes e ocupa a quarta posição entre os maiores consumidores. Em 2024, soja, milho e cana-de-açúcar concentraram aproximadamente 75% do consumo nacional, reforçando a necessidade de alternativas aos fertilizantes importados. Nesse cenário, o país tem ampliado o uso de remineralizadores, destacando-se internacionalmente. Dos estudos analisados, 83% foram publicados entre 2021 e 2025, evidenciando o crescimento recente das pesquisas, principalmente sobre remineralizadores e pós de rocha. Os materiais mais investigados incluíram basaltos, biotita-xistos, serpentinitos, fonolitos, sienitos e resíduos de marmoraria. As técnicas de caracterização mais empregadas foram FRX, DRX, ICP-OES, ICP-MS e MEV. Os ensaios agronômicos demonstraram que determinados pós de rocha podem elevar o pH, aumentar a disponibilidade de Ca, Mg, K e P, melhorar a capacidade de troca catiônica e favorecer as propriedades físicas e biológicas do solo, com respostas positivas em culturas como milho, arroz, soja, sorgo e alface. Os resultados indicam que os agrominerais possuem potencial para complementar parcialmente os fertilizantes convencionais e reduzir a dependência externa, embora ainda sejam necessários estudos de longa duração, avaliações econômicas e análises logísticas para ampliar sua aplicação em escala comercial.

Palavras-chave: agrominerais; remineralizadores; sustentabilidade agrícola; Brasil.

ABSTRACT

Brazil is expected to maintain a high demand for food, requiring greater agricultural efficiency. In this context, agrominerals play an important role in soil correction and fertility, acting as sources of macro- and micronutrients. Materials such as limestone, gypsum, and remineralizers contribute to agricultural productivity, although the country still shows a high dependence on imported NPK fertilizers, despite possessing significant mineral reserves. This study presents a systematized review of the scientific production on agrominerals in Brazil between 2005 and 2025. The research was conducted using the Scopus and Web of Science databases, in which 50 records were initially identified, with 35 articles selected according to the inclusion and exclusion criteria. Brazil accounts for approximately 8% of global fertilizer consumption and ranks fourth among the world's largest consumers. In 2024, soybean, corn, and sugarcane accounted for approximately 75% of national fertilizer consumption, reinforcing the need for alternatives to imported fertilizers. In this scenario, the country has expanded the use of remineralizers, standing out internationally. Of the studies analyzed, 83% were published between 2021 and 2025, highlighting the recent growth of research, mainly on remineralizers and rock powders. The most investigated materials included basalts, biotite schists, serpentinites, phonolites, syenites, and marble processing waste. The most frequently used characterization techniques were XRF, XRD, ICP-OES, ICP-MS, and SEM. Agronomic trials demonstrated that certain rock powders can increase soil pH, enhance the availability of Ca, Mg, K, and P, improve cation exchange capacity, and promote the physical and biological properties of the soil, with positive responses in crops such as corn, rice, soybean, sorghum, and lettuce. The results indicate that agrominerals have the potential to partially complement conventional fertilizers and reduce external dependence, although long-term studies, economic evaluations, and logistical analyses are still required to expand their application on a commercial scale.

Keywords: agrominerals; remineralizers; agricultural sustainability; Brazil.

1*Graduando em Engenharia de Minas pela Universidade Federal do Ceará, campus Crateús, engjosesales@gmail.com;

2** Professor do Magistério Superior, Universidade Federal do Ceará, campus Crateús,
josenildo.isidro@crateus.ufc.br;

1 INTRODUÇÃO

As projeções demográficas indicam que o Brasil deverá manter elevada demanda por alimentos nas próximas décadas até 2054, em uma conjuntura de crescimento populacional, envelhecimento demográfico e necessidade de aumento da eficiência produtiva no setor agrícola (Nações Unidas, 2024). Com o objetivo de melhorar a produtividade em diferentes culturas e tipos de solos, a agroindústria tem buscado, principalmente nas últimas décadas, materiais geológicos, chamados de agrominerais, que englobam além das rochas processadas e *in natura*, minerais responsáveis pela reposição de macro e micronutrientes, realizando assim a correção do solo (Zhang et al., 2018).

Os agrominerais correspondem a um grupo de rochas e minerais que podem ser aplicados na agricultura para o manejo da fertilidade do solo (Martinazzo et al., 2022). Nesse contexto, estão inseridos o calcário (CaCO_3), a dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] e o gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), entre outros, comumente utilizados como corretivos para favorecer o desenvolvimento de diversas culturas (Embrapa, 2024). Minerais como apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$), silvita (KCl), halita (NaCl), calcita (CaCO_3), magnesita (MgCO_3) e gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) contêm e liberam um ou mais nutrientes essenciais necessários à vida vegetal, por exemplo, P, K, Ca, Mg e S. Além disso, podem conter elementos-traço ou micronutrientes associados, dependendo de sua composição química e origem geológica. Todos os nutrientes vegetais, com exceção do nitrogênio, são, em última análise, derivados de recursos geológicos (Straaten, 2007).

No cenário nacional, a inspeção e fiscalização do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes destinados à agricultura foram estabelecidas pela lei Nº 6.138 de 08 de novembro de 1974 (Brasil, 1974), que, desde então, passou por diversas revisões. Um marco histórico com reflexo na conjuntura atual, uma vez que esses insumos agrários são um dos fatores que contribuem para o Brasil ser um dos líderes mundiais em exportação de commodities agrícolas (FAOSTAT, 2023).

Para o avanço do setor, o meio acadêmico, aliado ao agronegócio, desenvolveu novas técnicas, como o uso de pó de rocha (EMBRAPA, 2023). Para isso, os remineralizadores, que são usados como fertilizantes naturais e apresentam componentes de baixa solubilidade, atuam repondo a fração mineral intemperizável portadora de nutrientes essenciais ao metabolismo das plantas, auxiliando na melhora gradual dos atributos físico-químicos do solo de forma residual (Straaten, 2007; Martins et al., 2021; Assis; Bono, 2023). Somado a isso, o aperfeiçoamento prático da aplicação do calcário para corrigir a acidez do solo (Dantas et al., 2022) e o uso intensivo dos fertilizantes NPK, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), de alta solubilidade (Silva et al., 2023), integraram-se as variáveis cooperativas do crescimento agroeconômico brasileiro.

Ainda nesse contexto, mais recentemente, os geoinsumos, conhecidos popularmente como farinha de rocha, têm sido estudados pela sua interação com a microbiota do solo e a matéria orgânica. Andreola e Fernandes (2007), afirmam que os microrganismos fazem parte do solo de maneira indissociável, sendo responsáveis por inúmeras reações bioquímicas relacionadas não só com a transformação da matéria orgânica, mas também com o intemperismo das rochas. Nesse sentido, a associação entre remineralizadores e fontes orgânicas pode intensificar a atividade microbiana, favorecendo a liberação de nutrientes presentes nas estruturas minerais e aumentando a eficiência agronômica desses materiais (Theodoro, 2020).

Apesar de apresentar resultados animadores, o Brasil não tem auto-suficiência em qualquer dos nutrientes fundamentais (NPK) intensamente utilizados na formulação de fertilizantes para a agropecuária (Gonçalves et al., 2008). O desequilíbrio na balança comercial é um dos maiores desafios nacionais, evidenciado pelo decreto 2º/2021 do Comitê Interministerial de Análise de Projetos de Minerais Estratégicos (CTAPME) que classifica o enxofre, fosfato, potássio e molibdênio, entre outros, como minérios de importância estratégica em função da dependência de importação desses insumos, mesmo com o país apresentando reservas internas importantes.

No que se refere ao fosfato brasileiro, o Plano Nacional de Fertilizantes (Brasil, 2023) indica a presença de 5,2 Gt (medido + indicado), sinalizando cerca 460 Mt de P_2O_5 contido, enquanto o potássio totaliza 2,3 Mt equivalentes de K_2O (SGB, 2025). Outros agrominerais apresentam resultados significativos, como o calcário agrícola com 59.920,95 Mt produzidas em 2024 (ABRACAL, 2025) e os remineralizadores e fertilizantes silicatados, com uma produção que atingiu 8.940.889 t entre os anos de 2019 e 2023, com destaque para o estado de Minas Gerais, responsável por 45% desse montante (Martins et al., 2024). No entanto, cerca de 85% da demanda de fertilizantes ainda é atendida por importações, dado que a capacidade de produção do setor local é insuficiente para atender o consumo doméstico (Brasil, 2023).

Embora tenham ocorrido avanços nas últimas décadas relacionados ao uso de recursos minerais no manejo da fertilidade e no condicionamento dos solos, a literatura científica ainda apresenta uma quantidade limitada de estudos atualizados que abordem, de maneira ampla e integrada, os agrominerais brasileiros. Grande parte das pesquisas está direcionada a segmentos específicos, como a rochagem (Brito et al., 2019), a investigação de fontes alternativas de potássio (Castro et al., 2006) e a avaliação da relação entre o uso de geoinsumos e a produtividade de culturas cerealíferas (Rodrigues, 2023), frutíferas (Camargo et al., 2012) e oleaginosas (Castro et al., 2006). Apesar do avanço dessas pesquisas, ainda são escassas as revisões que integrem os aspectos geológicos, agronômicos e econômicos

relacionados aos agrominerais no Brasil, o que dificulta a identificação das principais tendências científicas, das lacunas temáticas e das desigualdades regionais na produção do conhecimento.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática e integrativa da produção científica sobre os agrominerais no Brasil, publicada entre 2005 e 2025. A análise busca identificar os principais materiais de origem mineral investigados, suas formas de aplicação, as culturas agrícolas contempladas e as regiões brasileiras abordadas nos estudos. Pretende-se, ainda, examinar a evolução da produção científica no período, reconhecendo as principais tendências de pesquisa e as lacunas temáticas, metodológicas e regionais relacionadas ao uso de agrominerais no país.

2 METODOLOGIA

Segundo Gil (2008), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em materiais previamente elaborados, apresentando como principal vantagem a possibilidade de o pesquisador abranger um conjunto de fenômenos mais amplo do que aquele que poderia ser investigado diretamente. Nesse sentido, o presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, de abordagem quantitativa e qualitativa, conduzida por meio da combinação entre análise bibliométrica e revisão integrativa da literatura. A análise bibliométrica foi empregada para mapear a evolução, a estrutura conceitual e os principais agentes da produção científica sobre agrominerais no Brasil. A revisão integrativa, por sua vez, foi utilizada para examinar criticamente os materiais investigados, os procedimentos metodológicos, as aplicações agrícolas, os principais resultados, as limitações e as lacunas identificadas nos estudos selecionados.

Desse modo, este estudo é o produto de uma pesquisa fundamentada em artigos científicos de autores nacionais e internacionais, adquiridos nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. As buscas ocorreram no âmbito dos agrominerais do Brasil, utilizando um filtro temporal de 2005 a 2025, retornando 50 artigos, 22 no *Web of Science* e 28 no *Scopus*, para essa pesquisa foram utilizados dois operadores booleanos, “AND”, com a finalidade de filtrar os estudos direcionados ao contexto dos agrominerais no Brasil e o “OR”, para relacionar algumas palavras sinônimas relacionadas ao âmbito nacional.

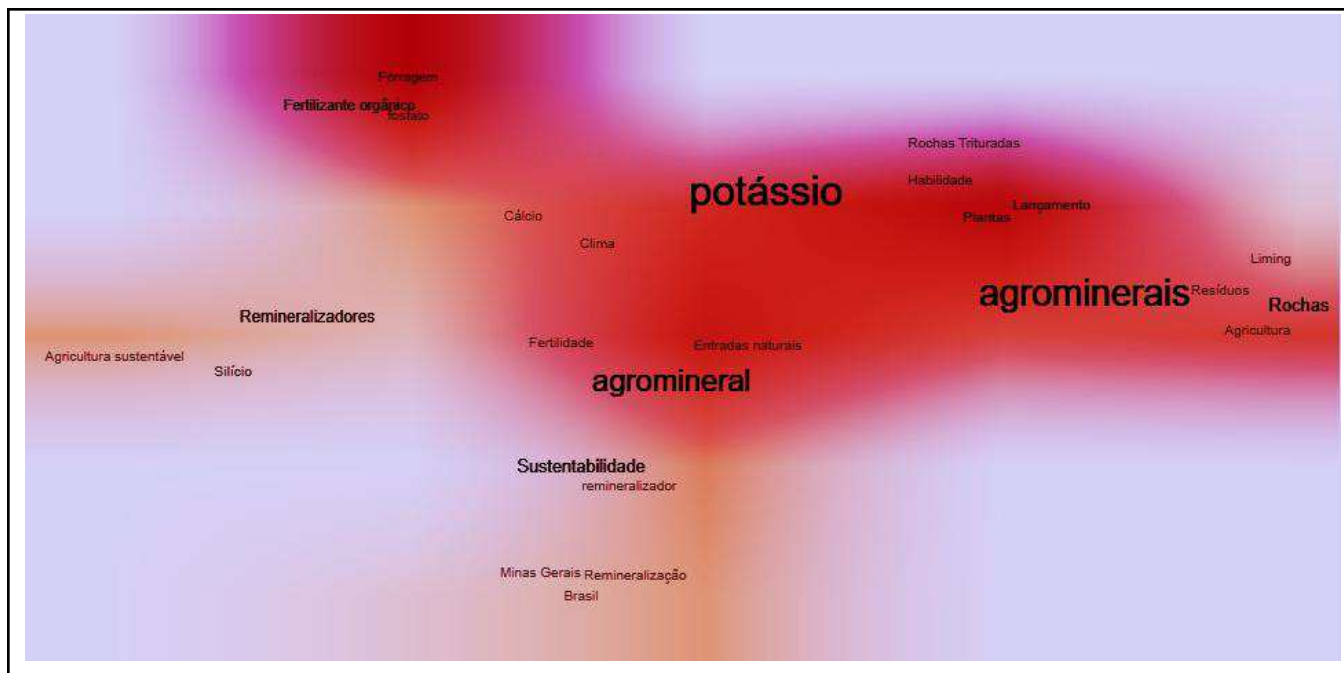
Tabela 1 – Estratégia de pesquisa bibliográfica

Banco de dados	Artigos encontrados	Termos Pesquisados	
		Inglês	Português
<i>Web of Science</i>	22	(“agromineral*”) AND (“Brazilian*” OR “Brazil”)	(“agromineral*”) AND (“brasileiro*” OR “Brasil”)
<i>Scopus</i>	28	(“agromineral*”) AND (“Brazilian*” OR “Brazil”)	(“agromineral*”) AND (“brasileiro*” OR “Brasil”)

Após o delineamento da pesquisa, foi utilizado a linguagem R para a análise bibliométrica dos artigos encontrados, o objetivo foi juntar os pacotes de dados, retirar os documentos repetidos e realizar uma análise preliminar. Nesta revisão foi usado o *software* RStudio, versão livre 2025.09.1+401, que conta com o pacote “Bibliometrix”, acessado a partir de um *script* em R. O pacote Bibliometrix R fornece um conjunto de ferramentas para pesquisa quantitativa em bibliometria. Neste sentido, os pacotes de dados foram importados no RStudio, o qual eliminou um dos documentos duplicados, restando apenas 38 publicações, e possibilitou afirmar que os artigos estão dentro do eixo temático a

partir da rede de co-ocorrência por densidade gerada por meio das palavras-chaves dos documentos anexados (Figura 1). Nesta rede gerada pelo Bibliometrix, o *software* analisa a repetição de palavras-chave em documentos diferentes e as relaciona, quanto maior a frequência dessa co-ocorrência, mais forte é a associação temática entre os termos.

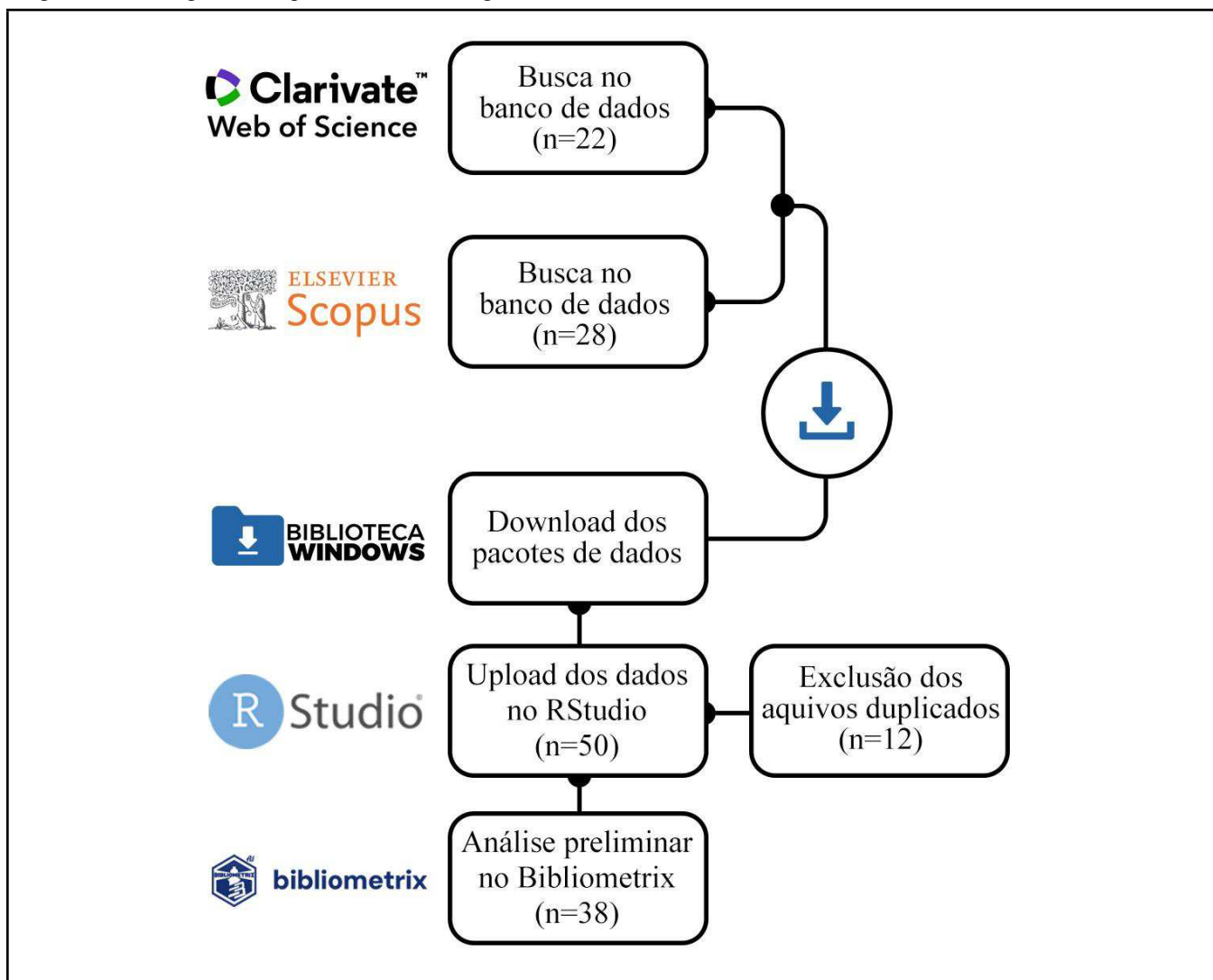
Figura 1 – Rede de co-ocorrência relacionada a temática do estudo



Fonte – Elaborado a partir de dados da *Scopus* e *Web of Science* (2026).

Neste sentido, a primeira etapa deste tópico foi a triagem e seleção preliminar dos artigos, representada de maneira resumida no fluxograma metodológico (Figura 2), que buscou-se verificar os documentos encontrados quanto ao âmbito desta revisão.

Figura 2 – Fluxograma dos processos metodológicos executados



Fonte – Elaborado pelo autor (2026).

Após o processamento prévio dos dados, outros parâmetros de padronização dos estudos foram adotados, sendo avaliados por critérios de inclusão e exclusão, definidos de acordo com os objetivos do trabalho.

2.1 Critérios de inclusão

- Pesquisas que abordem agrominerais ou rochas e minerais utilizados como insumos agrícolas, incluindo remineralizadores de solo, pós de rocha, rochas silicáticas, fosfáticas, potássicas ou outras fontes minerais de nutrientes;
- Trabalhos que tratem da eficiência agronômica, disponibilidade de nutrientes, interações geoquímicas ou impactos ambientais decorrentes do uso de agrominerais;

- Estudos relacionados a ocorrências geológicas brasileiras relevantes para a produção de agrominerais como complexos ígneos alcalinos e carbonatíticos, derrames basálticos, rochas ultramáficas, e depósitos sedimentares de calcário e gipsita;
- Estudos realizados no Brasil;
- Artigos científicos publicados em periódicos nacionais ou internacionais;
- Trabalhos publicados em português e inglês.

2.2 Critérios de exclusão

- Estudos que tratem de fertilizantes químicos, compostos orgânicos, biofertilizantes ou outros sem vínculo com rochas ou minerais;
- Pesquisas realizadas fora do Brasil, sem dados ou implicações diretas para o contexto nacional;
- Resumos e pesquisas publicadas em congressos e eventos;
- Trabalhos em outras línguas;
- Artigo sem disponibilidade para análise completa.

A seleção dos estudos foi realizada mediante leitura dos títulos, resumos e, posteriormente, dos textos completos. Nessa etapa, foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. Dos 38 documentos avaliados, três foram excluídos: um por ter sido publicado em espanhol, um por abordar uma área de estudo localizada em Moçambique sem aplicação direta ao contexto brasileiro e um por não apresentar texto completo disponível. Dessa forma, o corpus final foi constituído por 35 artigos científicos.

Além dos artigos científicos recuperados nas bases descritas, foram consultados relatórios técnicos, boletins, anuários, documentos normativos e publicações institucionais de órgãos oficiais relacionados aos setores mineral e agrícola. Entre as fontes consultadas, destacam-se documentos da Agência Nacional de Mineração (ANM), do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), do Serviço Geológico do Brasil (SGB), do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), do Ministério de Minas e Energia (MME) e da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA).

Esses documentos foram utilizados como fontes complementares para subsidiar a contextualização da produção, da distribuição geográfica, da regulamentação, do uso agrícola e do potencial mineral dos agrominerais no Brasil. Entretanto, por apresentarem natureza documental e padrões de indexação distintos dos artigos científicos, não foram incorporados às análises bibliométricas

realizadas no pacote Bibliometrix. Suas informações foram empregadas nos aspectos econômicos e na discussão dos resultados da revisão integrativa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta caracterização inicial dos documentos no *Bibliometrix*, foram identificados os principais pesquisadores, ou seja, aqueles que aparecem com maior frequência no acervo científico, com destaque para Eder Martins, Giuliano Marchi e Gian Franco Capra, presentes na figura 3, os periódicos científicos responsáveis pelo maior número de publicações, como a Revista da Pesquisa Agropecuária Brasileira, o *Journal of Plant Nutrition* e *Journal of South American Earth Sciences* (Tabela 2), como também as instituições com mais filiações entre os pesquisadores, com destaque para a Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), Universidade de São Paulo (USP) e Universidade de Brasília (UNB).

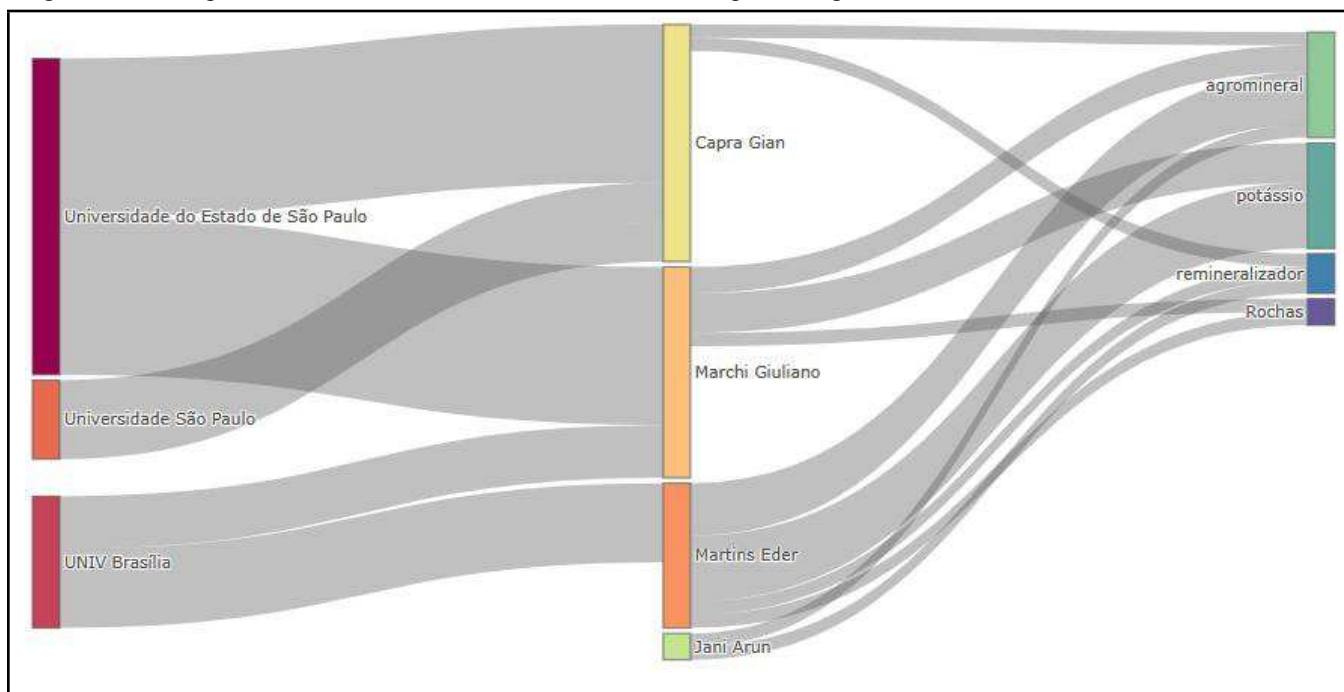
A análise a partir do *bibliometrix* evidencia a relação universidade/autor/assunto (Figura 3) na temática dos geoinsumos nos artigos coletados para a revisão, já que se observa um conjunto de conexões entre instituições e pesquisadores com foco em assuntos como agrominerais de modo geral, potássio, remineralizadores, entre outros.

Tabela 2 – Principais periódicos responsáveis pelas publicações

Fontes	Número de Artigos
Pesquisa Agropecuária Brasileira	8
<i>Journal of Plant Nutrition</i>	2
<i>Journal of South American Earth Sciences</i>	2
Revista Brasileira de Geografia Física	2
<i>Chemical and Biological Technologies in Agriculture</i>	1
<i>Agriculture-Basel</i>	1
Anais da Academia Brasileira de Ciências	1
Anuário do Instituto de Geociências	1
<i>Brazilian Journal of Biology</i>	1

Fonte – Elaborado a partir de dados do *Scopus* e *Web of Science* (2026).

Figura 3 – Principais universidades, autores e assuntos abordados pelos artigos



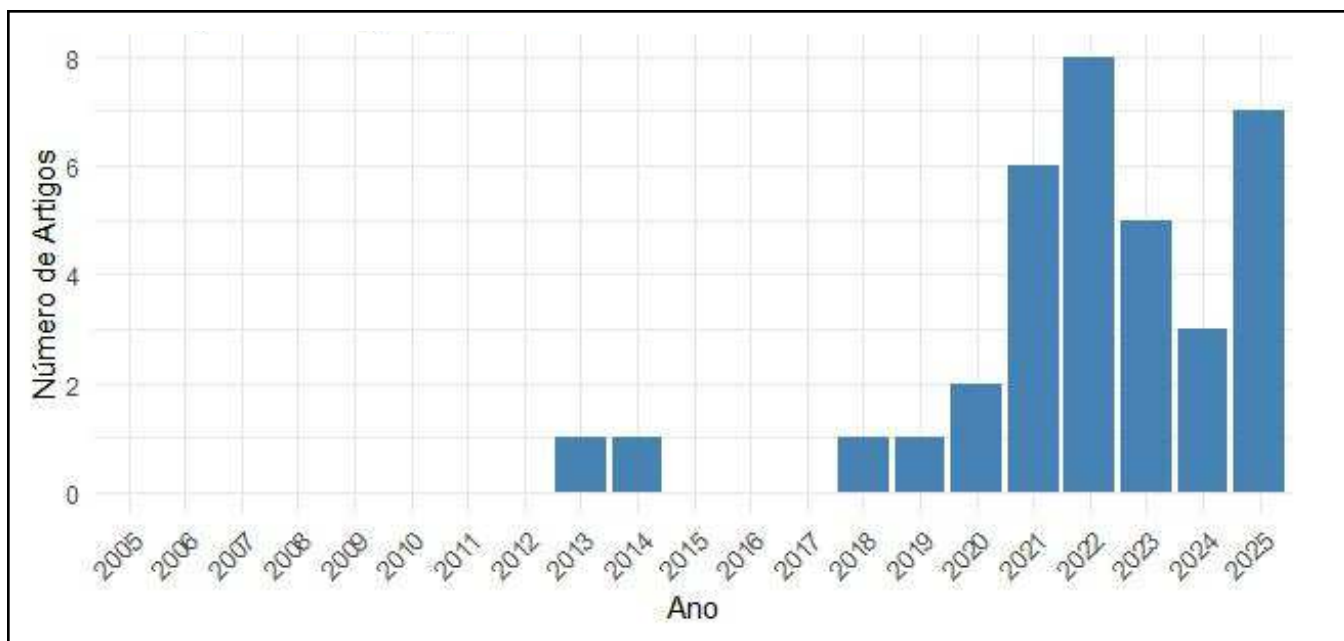
Fonte – Elaborado a partir de dados do *Scopus* e *Web of Science* (2026)

A distribuição temporal dos artigos entre os anos de 2005 e 2025 revela um crescimento dos trabalhos relacionados à temática dos agrominerais, com picos em 2022 e 2025, anos em que foram produzidos 15 dos 35 documentos (Gráfico 1). Pode-se observar nos últimos 5 anos um recorte de maior número de publicações, uma vez que nesse período o conjunto de estudos é superior (29) a todo o intervalo anterior (6) definido no filtro temporal desta revisão. Outro dado importante está relacionado ao estudo de Raymundo et al. (2013), o qual, se apresenta no pacote de dados como o mais antigo, sendo datado do mesmo ano da promulgação Lei nº 12.890, que instituiu os remineralizadores, um ponto de partida para o surgimento de pesquisas científicas voltadas ao uso de pós de rochas como componentes agrícolas. Nessa linha, o aumento significativo nos últimos anos reflete a convergência entre a crescente demanda global por segurança alimentar, as limitações ambientais e econômicas dos fertilizantes convencionais e a necessidade de estratégias agrícolas mais sustentáveis aliados ao interesse acadêmico.

No *ranking* das publicações com maior número de citações no conjunto de documentos, destacam-se Barry Carter (2014), neste caso, um documento apresentado como capítulo de livro, com 14 citações e Raymundo et al. (2013), com 12. O gráfico 2 apresenta também os periódicos referentes a essas publicações, em que *Taylor & Francis Group*, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *Minerals, Chemical and Biological Technologies in Agriculture* e *Pesquisa Agropecuária Brasileira* são alguns dos periódicos de maior relevância associados a essas pesquisas.

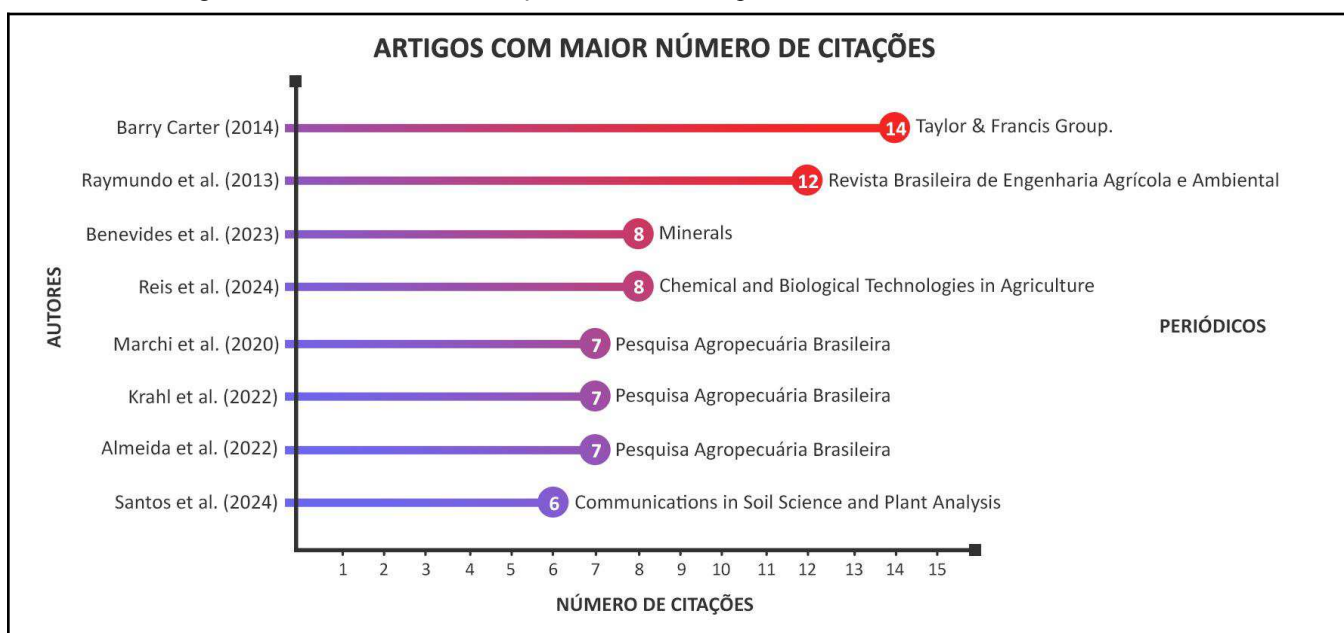
Desse modo, esses resultados indicam que a investigação sobre fertilidade do solo com uso de agrominerais apresenta-se como eixo central dos documentos, refletindo o interesse científico nacional e internacional em alternativas sustentáveis para a nutrição de plantas e o manejo da indústria agrícola.

Gráfico 1 – Número de publicações científicas sobre a temática no intervalo de 2005 a 2025.



Fonte – Elaborado a partir de dados do *Scopus* e *Web of Science* (2026)

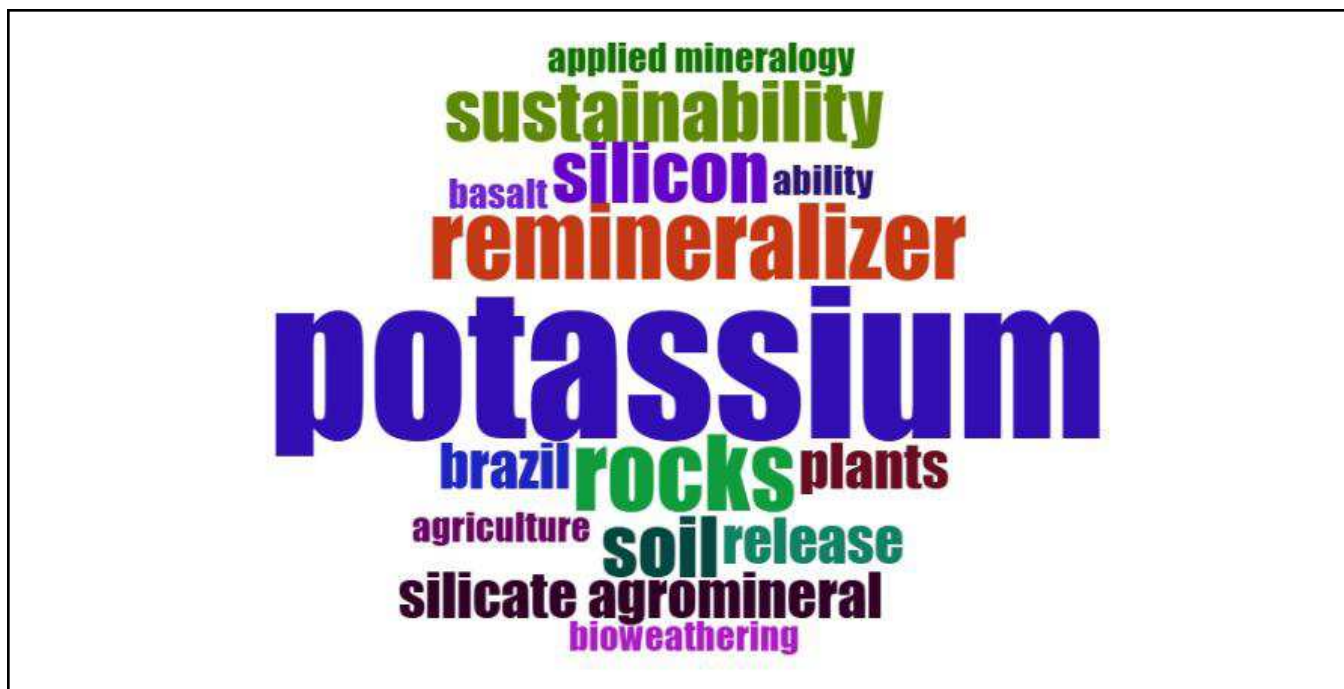
Gráfico 2 – Artigos com maior número de citações, seus autores e periódicos.



Fonte – Elaborado a partir de dados do *Scopus* e *Web of Science* (2026)

Verifica-se ainda, a representação gráfica das principais das palavras associadas aos documentos analisados em um *Word Cloud* (Figura 4), que destaca os termos centrais da coleção de artigos, esta síntese visual contribui para a definição dos caminhos que a temática dos agrominerais está tomando nos últimos anos, indicando a busca por produtos que promovam redução da demanda por nutrientes como o potássio nas lavouras brasileiras, através de remineralizadores de forma sustentável. A figura extraída do *bibliometrix* evidencia os temas mais recorrentes e relevantes nas publicações.

Figura 4 – Termos com maior recorrência nos artigos.

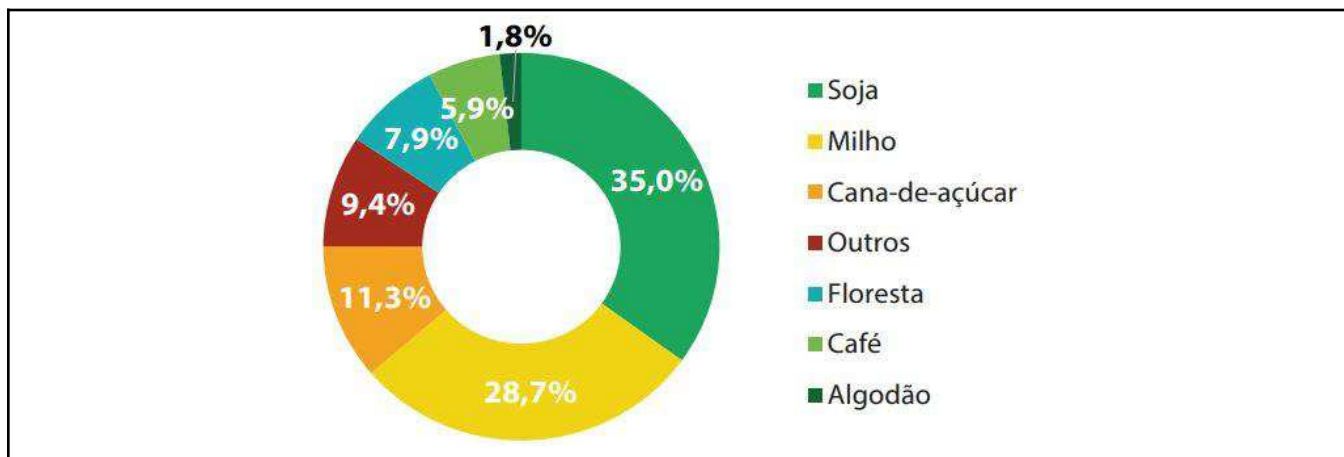


Fonte – Elaborado a partir de dados do *Scopus* e *Web of Science* (2026)

3.2. O mercado de fertilizantes no Brasil

As grandes produções agrícolas do Brasil o tornam responsável por cerca de 8% do consumo global de fertilizantes, sendo o quarto do mundo, atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos, utilizando nutrientes como potássio, cálcio e nitrogênio, que registram os maiores volumes aplicados, da ordem de 38%, 33% e 29%, respectivamente. Em 2024, soja, milho e cana-de-açúcar responderam por 75% do consumo de fertilizantes no país (Gráfico 3), além disso, dados da Globalfert (2025) salientam que o Brasil ocupa posição de destaque no uso de remineralizadores, visto que para o mesmo ano o país liderou a utilização desses adubos, consolidando-se como referência mundial (Brasil, 2020, 2023; Avila, 2022; Globalfert, 2025).

Gráfico 3 – Consumo de fertilizantes por cultura em 2024

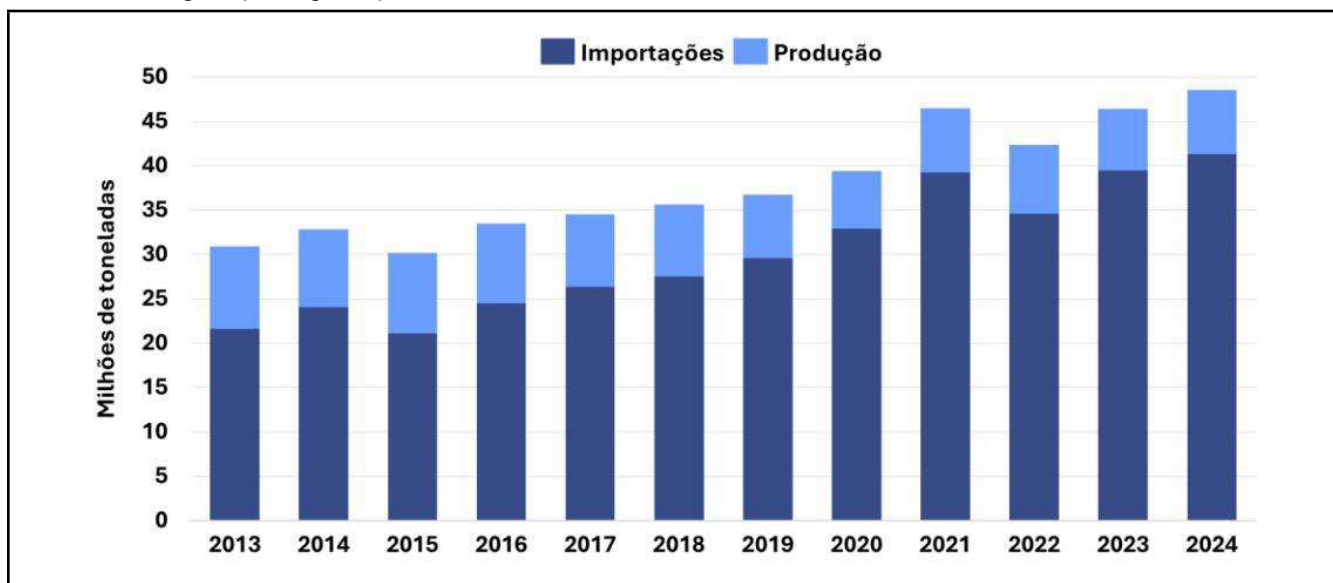


Fonte – (Globalfert, 2025).

Segundo o ANDA (2026), entre janeiro e outubro de 2025, o volume de fertilizantes comercializado no mercado interno atingiu 40,948 milhões de toneladas, tendo uma alta de 8,4% ante a 2024 (37,787 milhões de toneladas), com destaque para Mato Grosso, líder nas entregas ao mercado, atingindo 9.052 mil toneladas. Em relação aos geoquímicos usados na esfera agrícola brasileira, a produção de nitrogenados em 2024 concentrou-se na ureia, com 23,2 milhões de toneladas frente a um consumo de 30 milhões, enquanto o nitrato de amônio apresentou de 524 mil toneladas em Cubatão (SP) na empresa Yara Brasil. Os fertilizantes fosfatados utilizados na agricultura nacional tem origem majoritariamente no exterior, em torno de 8,8 milhões de toneladas importadas em 2024, com destaque para Marrocos, 27% e Rússia 26% do total. Já entre os potássicos, o país importou 13,7 milhões de toneladas, sendo a Rússia a principal origem do cloreto de potássio, 39,5%, por outro lado, o sulfato de potássio somou 52,13 mil toneladas de fontes externas, em grande parte provenientes da Alemanha com 44,6% (Globalfert, 2025).

Devido à baixa capacidade produtiva de fertilizantes sintéticos e reservas de baixa expressão em relação a países como China e Rússia, o Brasil tem buscado fontes alternativas aos NPK, como os remineralizadores e importado grandes volumes de geoquímicos (Gráfico 4), em 2020, o montante chegou a 9 bilhões de dólares, valor que evidencia a dependência externa do setor agrícola nacional (Brasil, 2023; Cardoso et al., 2025).

Gráfico 4 – Importações e produção de fertilizantes no Brasil

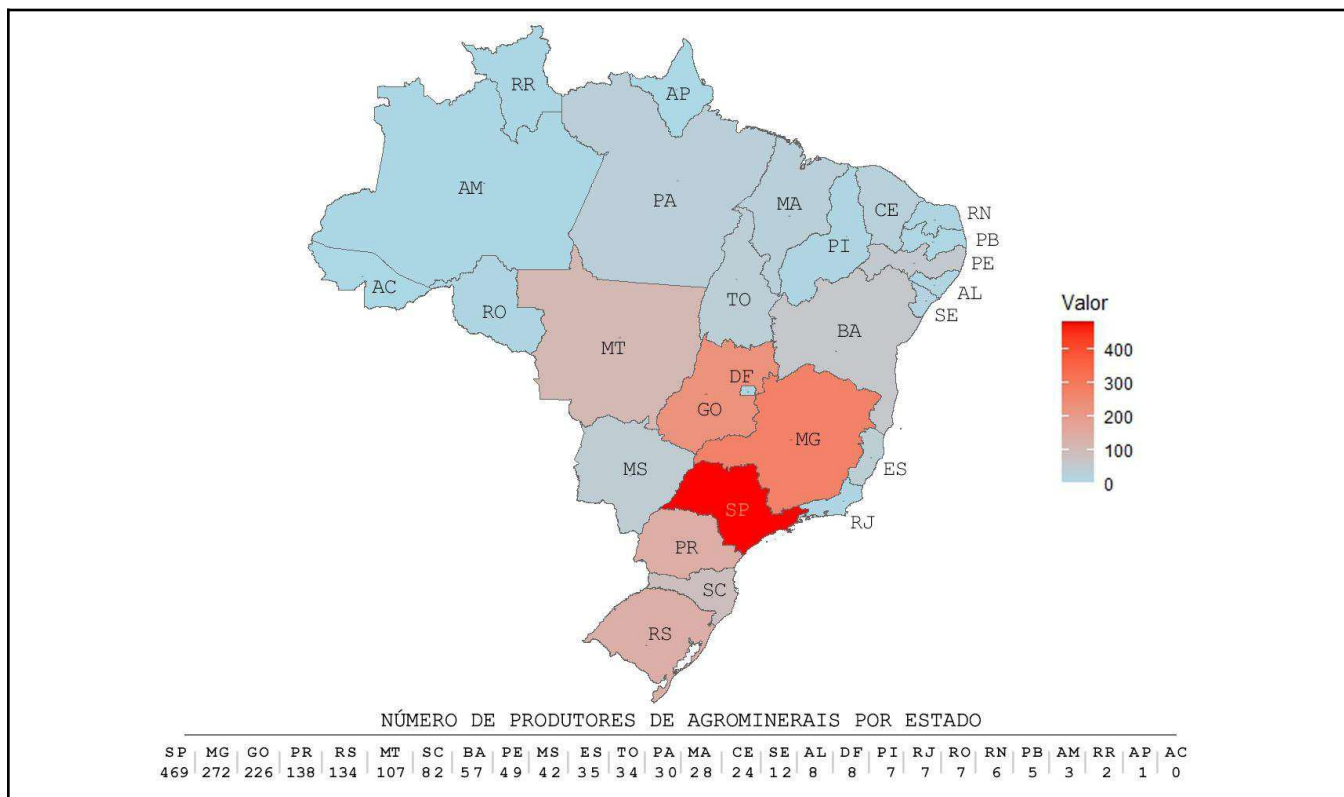


Fonte – (Cardoso et al., 2025).

3.3 Principais regiões produtoras e ocorrências

Segundo dados do MAPA (2026), o Brasil apresenta 2.063 registros de produtores de fertilizantes minerais, corretivos, condicionadores de solo e remineralizadores, com destaque para os estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Paraná, que apresentam o maior número de estabelecimentos ativos (Figura 5).

Figura 5 – Quantidade de produtores de agrominerais por estado



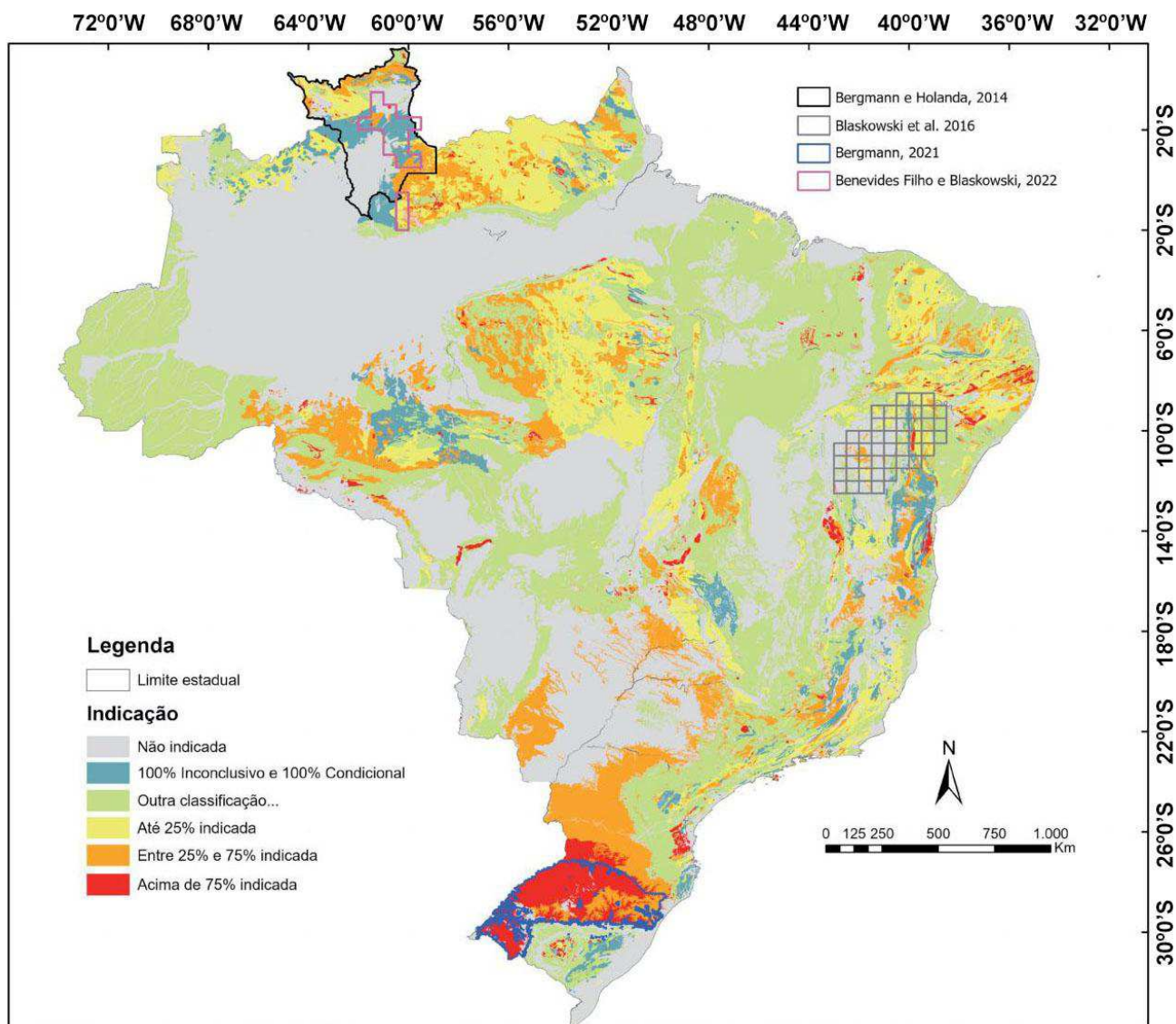
Fonte – Elaborado a partir de dados do MAPA, (2026)

O Brasil é um país geologicamente diversificado, todavia, é característica específica da indústria extrativa mineral, que a oferta de seus produtos dependa da existência do recurso geológico, que em alguns casos pode ser muito raro (Kulaif, Fernandes, 2010). Nesse contexto, a ausência de bens naturais em território nacional configura-se como um dos vetores da dependência externa fertilizantes, principalmente os NPKs (Brasil, 2023).

O plano nacional de fertilizantes (Brasil, 2023) destaca a expansão da produção agrícola brasileira, com uma das maiores taxas de aumento da produtividade na agricultura nos últimos 40 anos, que impulsiona o uso de compostos alternativos, como o pó de rocha silicatada para melhorar a qualidade do solo e manter o desenvolvimento adequado das culturas (Benevides Filho et al., 2023).

Nesse sentido, a alta demanda por esses materiais estimula a prospecção em busca de potencialidades. Magalhães et al. (2024), organizaram um mapa de ocorrências de rochas silicáticas passíveis de uso como remineralizadores, (Figura 6) com uma simbologia separada em seis classificações percentuais de ocorrência de litologias favoráveis dentro de cada unidade geológica.

Figura 6 – Mapa de ocorrência de rochas silicáticas presentes em cada unidade geológica em relação ao seu potencial de uso como agromineral silicático.

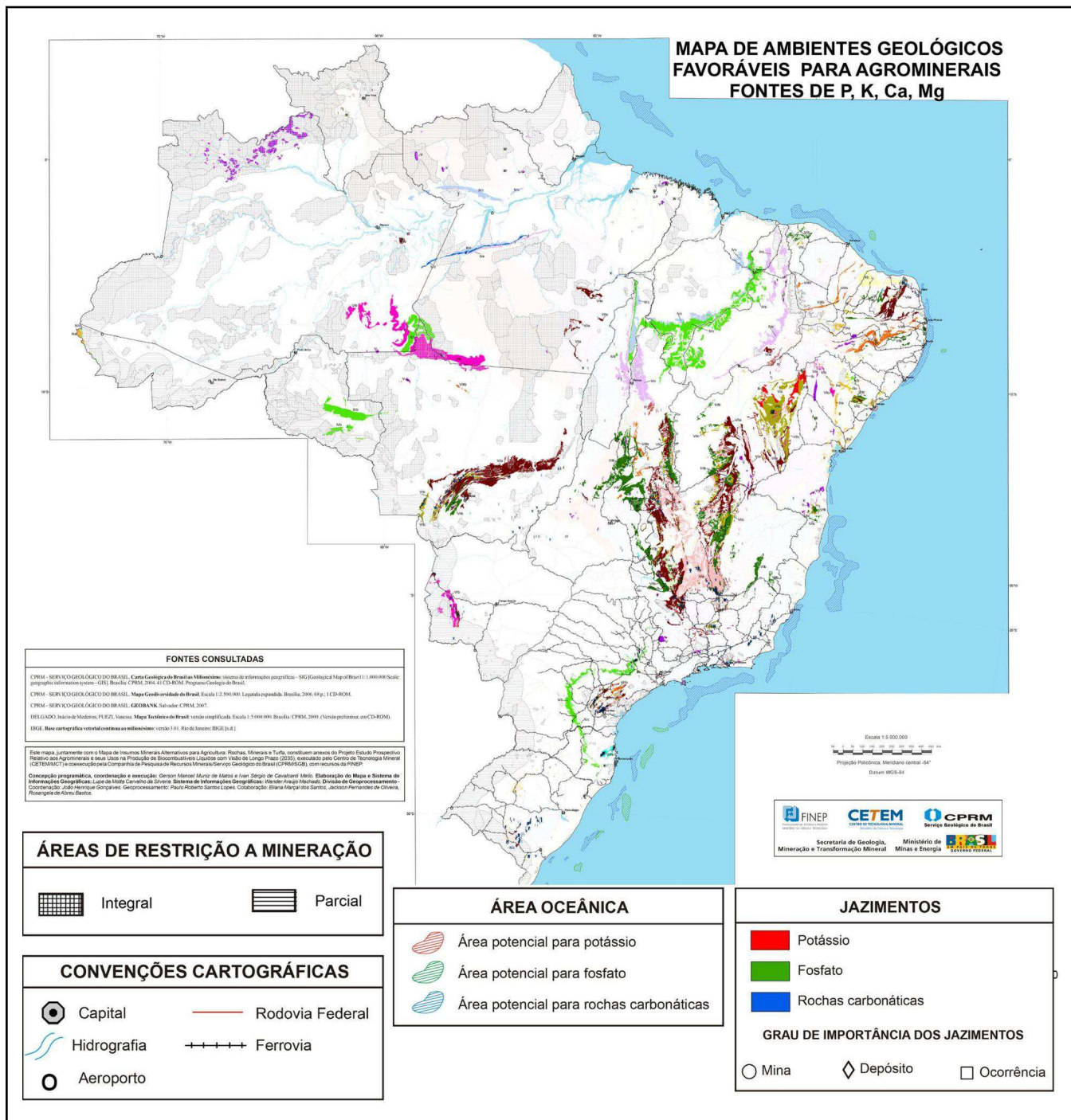


Fonte – Adaptado de Magalhães et al. (2024)

Outros elementos importantes na produção de fertilizantes no Brasil, são os macronutrientes fósforo, potássio, cálcio e magnésio, com diversas regiões passíveis de exploração (Figura 7). Em relação ao fosfato, a produção está voltada para os corpos alcalino-carbonatíticos de Tapira/MG, Salitre/MG, Araxá/MG, Catalão I e II (GO), Cajati/SP, Angico dos Dias/BA, Registro/SP, além das jazidas sedimentares em Arraias/MG, Pratápolis/MG e Bonito/MS, enquanto o potássio conta com reservas de sais localizadas nas regiões de Taquari/Vassouras e Santa Rosa de Lima e Rosário do Catete em Sergipe, bem como nas regiões de Itacoatiara, Nova Olinda do Norte e Autazes no estado do Amazonas (Brasil, 2023). Nessa linha, o mercado brasileiro relacionado ao cálcio está direcionado

principalmente para o calcário, com destaque para os estados de Mato Grosso, Paraná, Goiás e Tocantins (ABRACAL, 2025). Em relação ao magnésio, a extração desse elemento ocorre principalmente na Bahia, Minas Gerais e Pará (SGB, 2025).

Figura 7 – Mapa de ambientes geológicos favoráveis para fósforo, potássio, cálcio e magnésio



Fonte – Adaptado de CETEM (2010)

3.4 Resultados dos documentos

Os documentos selecionados para essa revisão revelam um conjunto de dados específicos associados aos agrominerais estudados nos cenários recentes, todavia, para simplificar os resultados, este tópico foi dividido em caracterização química e mineralógica, experimentos agronômicos, pesquisas correlatas, classificação dos remineralizadores.

3.4.1 Caracterização química e mineralógica dos agrominerais

Este tópico aborda os agrominerais e suas técnicas de caracterização, os resultados das análises químicas, mineralogia e a granulometria dos geoinsumos avaliados nos artigos. Estes resultados estão apresentados no quadro 1 dessa revisão. Desse modo, a análise documental sugere que as rochas máficas e ultramáficas, junto das carbonáticas, tendem a apresentar melhor potencial agronômico já que apresentam maior porcentagem dos nutrientes como o cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e potássio (K), base química dos remineralizadores (Blaskowski et al., 2018; Curtis et al., 2023; Araújo et al., 2025).

No que se refere aos aspectos químicos das amostras analisadas nos artigos, o maior teor de óxido de cálcio (CaO) está presente no estudo de Bamberg et al. (2023), com fosfato natural, apresentando 54%. Demais rochas presentes nesse trabalho, como calcário com folhelho, mármore dolomítico e monzogranito, atingiram 20,5%, 20,9% e 2,4%, respectivamente. Outro trabalho relevante, quanto a este componente calcítico, analisou amostras de resíduos de mármore, os quais apontaram teores de 34,34% para o subproduto do tear de lâmina diamantada, enquanto o descarte do tear de lâmina de aço registrou 35,01%, enquanto o calcário comercial apresenta percentual de 32%. O artigo apresenta ainda valores dos elementos magnesianos nas amostras do corte diamantado com 16,77%, corte com serra de aço com 14,99% e do corretivo calcífero com 14% (Raymundo et al., 2013).

Nessa linha, os levantamentos científicos relativos aos óxidos de magnésio (MgO) presentes no pacote de dados conferem destaque para o dunito ((Mg,Fe)₂SiO₄) com teor de 40%, se tratando de uma rocha ígnea composta principalmente por minerais do grupo das olivinas e serpentinas, como a lizardita (Mg₃Si₂O₅(OH)₄) e a brucita ((Mg(OH)₂). A lizardita é caracterizada como um silicato de magnésio com resistência moderada à meteorização, garantindo respostas iniciais e de médio prazo à disponibilidade de Mg e Si, enquanto a brucita, formada a partir da serpentinização do dunito com baixa resistência à intempéries, promove rápidos efeitos no campo em relativos à disponibilidade de Mg (Moretti et al. 2021). Viana et al. (2021), obteve um percentual maior que 38% de MgO em seu estudo com serpentinito, todavia, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2016), a rocha não apresenta condições para ser classificada como remineralizador, uma vez que o teor de sílica

livre obtido foi menor que 5%, enquanto a legislação aponta para a necessidade de no mínimo 25%. No entanto, a soma de bases ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$) apresenta teor acima de 39%, cumprindo requisito da norma, que determina um valor mínimo de 9%.

Ainda nessa perspectiva, Soares et al. (2021) utilizaram o termofosfato, produzido a partir da combinação de rochas fosfatadas ígneas ricas em apatita com silicatos de magnésio. O produto apresentou teor final de 18% de pentóxido de fósforo (P_2O_5). Os autores também avaliaram o termopotássio, geoinsumo derivado do verdete, rocha constituída principalmente por glauconita, feldspato potássico e micas, como biotita e muscovita. Após a calcinação de uma mistura contendo 67% de verdete e 33% de carbonato de cálcio, foram formadas fases minerais como Kalsilita (KAlSiO_4), leucita (KAlSi_2O_6) e silicatos de cálcio (CaSiO_3 e Ca_2SiO_4).

Esses materiais foram empregados como fontes de fósforo (P) e potássio (K) em um tratamento associado à aplicação de cama de frango, constituída por casca de arroz, penas, resíduos de ração e dejetos. O objetivo foi comparar o desempenho desse tratamento organomineral com o de uma adubação convencional composta por cloreto de potássio, contendo 60% de óxido de potássio (K_2O), e superfosfato triplo, com 46% de P_2O_5 . O tratamento constituído por termofosfato, termopotássio e cama de frango apresentou produção acumulada de matéria seca semelhante à obtida com fertilização convencional. Além disso, proporcionou efeito residual mais prolongado, mantendo a disponibilidade de P e K no solo por maior período. O tratamento convencional, por sua vez, promoveu resposta mais rápida no início do experimento.

Dentro dessa abordagem, o conjunto de informações inclui também ensaios com fonolito e sienito, com frações de potássio na forma de óxido variando de 8% a 13% (Baptista et al., 2022; Reis et al., 2024) e apatita natural contendo 24% (Oliveira et al., 2021).

Entre as técnicas de caracterização mais frequentemente empregadas nos estudos analisados, destacaram-se a Fluorescência de Raios X (FRX), a Difração de Raios X (DRX), a Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), a Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) e a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

A FRX foi utilizada por Curtis et al. (2023) na determinação da composição química de amostras de basalto destinadas ao uso como remineralizador de solos. O material apresentou teores de 50,22% de SiO_2 , 13,92% de óxido de ferro, 12,67% de Al_2O_3 , 8,92% de CaO , 5,36% de MgO e 2,06% de TiO_2 , além de outros componentes químicos. O remineralizador foi avaliado em cinco condições experimentais: T1, remineralizador puro; T2, cama de frango; T3, cama de frango com 10% de remineralizador; T4, cama de frango com 30% de remineralizador; e T5, cama de frango com 50% de

remineralizador. Os melhores resultados foram observados nos tratamentos que combinaram o remineralizador com o resíduo da avicultura, embora seja necessário especificar qual proporção apresentou o melhor desempenho agrônômico.

Na caracterização mineralógica, Moretti et al. (2021) utilizaram a DRX para analisar uma amostra de dunito, identificando aproximadamente 48% de lizardita e 26% de brucita. Citadine et al. (2022), por sua vez, empregaram a ICP-OES na caracterização química de amostras de finos de xisto e calxisto, determinando teores de 55,1% de SiO_2 , 8,3% de CaO , 2,5% de MgO e 0,7% de K_2O . Também foram registrados teores inferiores a 0,5% de P_2O_5 , MnO e Zn . Além dessas concentrações elementares, o estudo reportou uma fração de matéria orgânica de 18,1%, determinada por método complementar.

Bicca et al. (2023) utilizaram conjuntamente técnicas de análise química e DRX para caracterizar uma brecha basáltica. A composição química foi expressa pelos teores de 36,58% de SiO_2 , 16,40% de CaO , 8,97% de Al_2O_3 , 7,98% de Fe_2O_3 , 6,45% de MgO , 1,10% de Na_2O , 0,99% de K_2O , 0,28% de MnO e 0,14% de P_2O_5 . A análise mineralógica identificou fases como calcita, esmectita, piroxênio e plagioclásio. Outra técnica recorrente foi a MEV, empregada por Tele et al. (2022) em conjunto com ICP-OES e ICP-MS na caracterização de um siltito do tipo verdete. A caracterização integrada indicou a presença de quartzo, illita/glauconita, ortoclásio, albita, ilmenita, fluorapatita e dawsonita. A composição química apresentou teores entre 58% e 62% de SiO_2 , entre 7% e 14% de K_2O e aproximadamente 15% de Al_2O_3 . A síntese dos resultados das análises químicas e mineralógicas dos artigos desta revisão estão presentes no quadro 1. Nela, é possível observar além dos dados experimentais com maior nível de detalhamento, os métodos de caracterização e de aplicação utilizados.

A análise das rochas e minerais avaliados evidencia que o basalto e o biotita-xisto são os agrominerais mais estudados, com suas análises químicas sendo abordadas em 10 documentos. A seguir, a tabela 3 elenca as composições obtidas por meio das técnicas citadas anteriormente.

Tabela 3 – Tabela das concentrações de basalto e biotita xisto dos artigos

Rochas	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂	Fonte
Biotita xisto	-	18	4,8	9	-	-	-	-	-	-	Niva et al. (2021)
Basalto	50,22	8,92	5,36	13,92	12,67	2,87	1,32	<0,2	<0,20	2,06	Curtis et al. (2023)
Biotita xisto	62,6		3,2								Krahl et al. (2022)b
Brecha basáltica	36,58	16,43	6,45	7,98	8,97	1,1	0,99	0,14	0,28	-	Bicca et al. (2023)
Basalto	47,7 a 50,6	7,59 a 9,03	3,82 a 5,77	13,25 a 16,1	-	-	-	-	-	-	Reis et al. (2024)
Agromineral basáltico	50,5	10,04	5,52	14,5	12,7	-	-	-	-	-	Rodrigues et al. (2024)
Biotita xisto	4,21	7,71	-	-	-	6,32	-	-	-	-	Araújo et al. (2025)
Basalto	49,86	10,56	5,67	13,8	12,63	-	-	-	-	-	Ribeiro et al. (2025)
Rochas básicas/basálticas	49,86	10,42	5,67	13,8	12,63	-	-	-	-	-	Ribeiro et al. (2025)b
Basalto	49,5	9,8	-	15,6	11,6	-	-	-	-	-	Silva et al. (2025)
Biotita xisto	62,6	-	3,0	-	16,8	-	3,19	-	-	-	

Fonte – Elaborado a partir de dados do *Scopus* e *Web of Science* (2026)

Quadro 1 – Síntese dos resultados encontrados na leitura dos artigos.

AGM*	Carac.*	Composição química (%)													Miner.*	GRAM*	Ativação	Fonte
		SiO ₂	MO*	CaO	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	MnO	Zn	SB*				
Finos de xisto e calxisto.	Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES).	55,5	18,1	8,3	2,5	-	0,7	-	0,7	0,5	-	<0,5	<0,5	-	Silicatos/Quartzo (provenientes do xisto), Carbonatos de cálcio e magnésio (da rocha carbonática/calxisto), Sulfetos/Sulfatos (pelo teor de enxofre) e compostos orgânicos complexos com alta aromaticidade (querogênio).	50% das partículas < 0,3 mm e 50% das partículas entre 0,3 e 0,84 mm (ou 0,85 mm).	Dissolução natural do solo.	Citadine et al. (2022)
Basalto	Espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX) e Difração de raios X (DRX) com refinamento de Rietveld	49,86	-	10,56	5,67	-	13,8	-	-	-	12,63	-	-	-	(32,11%) de piroxênio augita, (15,26%) de plagioclásios labradorita, (19,53%) de andesina, (17,10%) de material de baixa cristalinidade, ortoclásio, celadonita, clorita, apatita e uma fração menor (2,30%) de óxidos inertes (hematita, magnetita, ilmenita, quartzo).		Dissolução natural do solo.	Ribeiro et al. (2025)
Siltito Verde	Difratometria de Raios-X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e análise geoquímica de rocha total (por ICP-AES e ICP-MS).	58 a 62	-	-	-	-	-	-	7 a 14	-	15	-	-	-	Quartzo, ilita/glauconita, ortoclásio (feldspato potássico), albita, ilmenita, fluorapatita e dawsonita	-	Vias químicas (como ataques ácidos), biológicas ou térmicas.	Tele et al. (2022)
Brecha basáltica	Difração de Raios X (DRX) e Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS).	36,58	-	16,43	6,45	1,10	7,98	-	0,99	0,14	8,97	0,28	-	-	Calcita, esmectita, piroxênio e plagioclásio.	100% <0,3 mm	Dissolução natural do solo.	Bicca et al. (2023)
Calcário com folhelho (1)	Análise geoquímica e análise petrográfica para o monzogranite.			20,5 (1)	13,6 (1)					0,2 (1)					Calcário com folhelho: Quartzo, plagioclase (albita), pirita, ilita, esmectita, caulinita, clorita, calcita, dolomita e analcima.	<0,3 mm: 100% para monzogranito e calcário com folhelho; 95% para mármore dolomítico.	Tratamento hidrotérmico com ácido sulfúrico, coincompatibilidades com resíduos orgânicos (como a	Bamberg et al. (2023)
Mármor e dolomítico (2)		-	-	20,9 (2)	15,8 (2)	-	-	-	0,6 (1)	0,1 (3)	-	-	-	-	Monzogranito: Quartzo, feldspato potássico, plagioclase e minerais máficos (biotita, anfibólio e hornblenda).			
				2,4 (3)	1,0 (3)				4,3 (3)	33,9 (4)								
Monzog				54 (4)											Fosfato natural: Francolita, calcita, microfósseis calcários			

ranito (3)															(foraminíferos), argilas (caulinita detritica), chert, gesso secundário e halita.		torta de tungue) e uso de enxofre elementar para auxiliar na dissolução.		
Fosfato natural (4)																			
Serpentino e rochas máfico-ultramáficas	Difração de raios X (DRX), espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). A capacidade de troca catiônica (CTC) do solo foi avaliada por quatro métodos: resina de troca iônica, cloreto de potássio (KCl), troca compulsiva e adsorção de céσιο.	44,4	-	7,32	14,7	-	-	-	-	-	6,42	-	-	-	Muscovita, talco, quartzo, dolomita, anfibólio e um feldspato plagioclásio (provavelmente anortita).	55% < 0,2 mm; 41% entre 0,2 e 1,0 mm; e 4% entre 1,0 e 2,0 mm.	Dissolução natural no solo	Santos et al. (2023)	
Dunito	Difração de Raio X (DRX)	34	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Lizardita (48%), Brucita (26%), Magnesioferrita (17%) e Magnetita (9%).	Passante em 0,297 mm	Dissolução natural no solo	Moretti et al. (2021)	
Basalto	Espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX)	50,22	-	8,92	5,36	2,87	13,92	2,06	1,32	<0,2	12,67	<0,20	-	-	Biotita, flogopita, feldspatoides, feldspatos e minerais máficos.	-	Associação com resíduos orgânicos, para uma dissolução natural no solo	Curtis et al. (2023)	
Resíduo sólido de marmoraria	Difração de Raios X (DRX), Fluorescência de Raios X (FRX) e métodos químicos/colorimétricos para a análise de fertilidade do solo.	58,03	-	7,72	0,92	-	9,11	1,35	6,96	-	14,04	-	-	15,6	Oligoclásio, quartzo, ortoclásio/K-feldspato, biotita/filosilicatos e calcita, além de traços de caulinita.	2 a 0,075 mm e < 0,075 mm	Dissolução natural no solo	Braga et al. (2023)	
Fonolito (1)	Difração de Raios X (DRX), microscopia petrográficas ,	56,4 (1)	-	7,59 a 9,03 (2)	3,82 a 5,77 (2)	6,74 (1)	13,25 a 16,1 (2)	-	8,05 (1)	-	20,9 (1)	-	-	-	Fonolito: Feldspato alcalino (sanidina), feldspatóide (nepheline), mica, piroxênio sódico (aegirina), eudialita e	50% de areia muito fina (0,10 a 0,05 mm), 25% de areia	Dissolução natural no solo	Reis et al. (2024)	
Basalto		47,7									13,8								

(2)	Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) e Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS).	a 50,6 (2)									(3)				zeólita (natrolita).	média (0,5 a 0,25 mm) e 25% de areia muito grossa (2 a 1 mm)		
Granito (3)		76,7 (3)													Basaltos: Dominados por plagioclásio e piroxênio (augita) , com variações contendo mais magnetita (B1), olivina (B2) ou zeólita heulandita (B3).			
															Granito: Abundância de quartzo, plagioclásio e mica.			
Serpentino	Microscopia óptica com contagem de pontos em seção delgada petrográfica (para sílica livre) e análises granulométricas	38,3	-	0,95	38,2	-	5,5 a 7,8	-	-	-	1,7	-	-	-	Lizardita, talco, cromita e magnetita.	100% das partículas passando pelas peneiras nº 04, 07, 10 e 20, e e 93,39% passando pela peneira nº 50.	Dissolução natural no solo	Viana et al. (2021)
Resíduo industrial de mármore	Análise química de Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT)	-	-	34 a 35	15 a 16,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Minerais carbonatos ricos em cálcio (Ca) e magnésio (Mg), como a calcita e/ou a dolomita	<0,3 mm	-	Raymundo et al. (2013)
Apatita natural (1)																		
Rocha potássica (2)	Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma (ICP-OES)	-	-	-	-	-	-	-	8 (2)	24 (1)	-	-	-	-	Apatita e minerais potássicos	-	Inoculação com bactérias oxidantes de enxofre + enxofre + matéria orgânica (vermicomposto)	Oliveira et al. (2021)
Biotita xisto (1)	Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Comprimento de Onda (WDXRF)	-	-	18 (1)	4,8 (1)	7,5 (2)	9,0 (1)	-	8,4 (2)	-	-	-	-	-	Biotita e o feldspatoide	< 0,3 mm para o Biotita Xisto	Dissolução natural no solo	Niva et al. (2021)
Fonolito (2)																< 0,15 mm para o fonolito		
Termofosfato (1)	Caracterização química e mineralógica (não especificada no artigo)	11,01 (2)	-	31,1 (2)	6,9 (2)	-	-	-	6,0 (2)	18 (1)	-	-	-	-	A rocha matriz (verdete): glauconita, feldspato potássico e micas (biotite e muscovita)	-	Tratamento termoquímico (calcinação)	Soares et al. (2021)
Termop									6 a 14	16,5 (1)					termopotássio: kalsilita e leucita, e			

potássio (2)									(3)	46						silicatos de cálcio.		o) para aumentar a solubilida de do potássio e do fosfato	
Verdete (3)									60 (4)	(5)									
Cloreto de potássio (4)																			
Superfo sfato triplo (5)																			
Sienito	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).	-	-	-	-	-	-	-	12 a 13	-	-	-	-	-	-	Feldspato alcalino e feldspato potássico	1 a 3 mm	Dissoluçã o natural no solo	Baptista et al. (2022)
Olivina melilitit o	Fluorescência de Raios-X (FRX) e espectrofotometria de emissão atômica em plasma induzido por argônio (ICP-AES), e análise mineralógica por Difração de Raios-X (DRX)	35 a 38	-	13 a 15	14 a 17	-	-	-	2,7 a 3,5	1,1 a 1,5	-	-	-	-	-	Melilitita, clinopiroxênio do tipo diopsídio, flogopita, olivina e traços de apatita, vermiculita e minerais opacos.	Duas faixas, 1; 100% das partículas passando em peneira de 2,0 mm, e 2; 100% passando em peneira de 0,3 mm	Dissoluçã o natural no solo	Almeida et al. (2022)
Biotita xisto (1)	Difração de Raios-X (DRX), Fluorescência de Raios-X (FRX), Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), Microanálise por Sonda Eletrônica (EPMA) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	62,6 (1)	-	-	3,2 (1)	-	8,16 (2)	-	11, 30 (2)	-	-	-	-	-	-	O biotita xisto é composto principalmente por quartzo, albita, biotita, muscovita e clorita. O biotita sienito é composto majoritariamente por K-feldspato (feldspato potássico), além de albita, biotita, anfibólio e clinopiroxênio.	< 53 µm; 53–300 µm; 300–1.000 µm; > 1.000 µm	Solubiliza ção dos nutrientes ocorreram por biointemp erismo (dissoluçã o induzida por plantas)	Krahl et al. (2022)b
Biotita sienito (2)																			
Basalto (1)		49,5 (1)		9,8 (1)	16,9 (2)		15,6 (1)		2,6 5 (2)		11,6 (1)					Basalto: Principalmente piroxênio e plagioclásio, além de olivina, minerais de baixa cristalinidade (MBC) e ilmenita.			
Kamafu gito (2)	Análise química por óxidos e análise mineralógica (Técnicas não especificadas)	37,6 (2)	-	15,1 (2)	3,0 (3)	-	10,6 (2)	-	3,1 9 (3)	-	16,8 (3)	-	-	-	-		-	Dissoluçã o natural no solo	Silva et al. (2025)
Biotita		62,6 (3)														Kamafugito: Composto por olivina, melilita, phlogopita e minerais de baixa cristalinidade.			

xisto (3)															Biotita xisto: Quartzo, plagioclásio, clorite e piroxênio.			
Biotita- xisto (1)	Difratometria de Raios X (DRX), Fluorescência de Raios X (FRX), microsonda eletrônica e extração química com ácido tartárico e fluoreto de sódio (NaF).	-	-	4,21 (1)	7,71 (1)	-	-	-	6,3 2 (1)	10,8 (2)	-	-	-	-	O biotita-xisto é composto majoritariamente por biotita, acompanhada de quartzo, flogopita e anortita/plagioclásio.	95% passante na malha 0,105 mm	Dissoluçã o natural no solo	Araújo et al. (2025)
Carbona- tito (2)				12,9 (2)											O carbonatito possui a carbonato-fluorapatita como principal mineral fosfático			
Agromi- neral basáltic o	Fluorescência de Raios-X (FRX)	50,5	-	10,0 4	5,52	-	14,5	-	-	-	12,7 0	-	-	-	Composição mineralógica típica de basaltos	100% < 2,00 mm; 78,49% < 0,840 mm; 56,35% < 0,425 mm; 49,62% < 0,300 mm.	Dissoluçã o natural no solo	Rodrigues et al. (2024)
Agromi- neral Silicata do	Caracterização geoquímica, mineralógica (Técnicas não especificadas)	49,86	-	10,4 2	5,67	-	13,8 0	-	-	-	12,6 3	-	-	17,41	Rochas básicas/basálticas	-	Dissoluçã o natural no solo	Ribeiro et al. (2025)
Riolito	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com detector EDS e Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES)	>70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Plagioclásio, Ortoclásio e Quartzo, contendo menores proporções de minerais máficos como hiperstênio e diopsídio	< 75 µm	Dissoluçã o natural no solo potenciali- zado com cama de aviário	Foletto; Nobre (2025)

Fonte – Elaborado a partir de dados da *Scopus* e *Web of Science* (2026).
 Abreviações: AGM = Agromineral; Carac = Técnica de caracterização; Miner. = Mineralogia; GRAM = Granulometria; SB = Soma de bases; MO = Matéria orgânica.

3.4.2 Experimentos agronômicos

Esse grupo de artigos é apresentado no pacote de dados com maior número de publicações (22), alinhando estudos sobre experimentos agronômicos com uso de materiais minerais buscando resultados satisfatórios para a agricultura. Nesse sentido destaca-se o predomínio de pesquisas relacionadas aos remineralizadores silicáticos derivados de rochas basálticas (Ribeiro et al., 2025), biotita-xisto (Krahl et al., 2022), fonolito (Niva et al., 2021), sienito (Baptista et al., 2022), serpentinito (Santos et al., 2023) e resíduos de mineração/marmoraria (Raymundo et al., 2013).

Quanto aos resultados obtidos pelos pesquisadores (Quadro 2), estes podem ser agrupados em impactos químicos, físicos e biológicos. As melhorias químicas do solo mais comuns nos ensaios são atribuídas ao aumento do pH, conforme observado por Niva et al. (2021), que apresentou um ensaio com biotita-xisto na granulometria menor que 0,3mm e fonolito com partículas passantes na malha de 0,15mm, que objetivou avaliar os efeitos adversos potenciais dos agrominerais sobre a comunidade biológica do solo. Outras respostas observadas estão relacionadas a redução dos níveis tóxicos de alumínio e correção gradual da acidez por meio da adição de resíduos de serragem de mármore (Raymundo et al. 2013) e a adição de nutrientes como cálcio (Ca) e silício (Si) a partir de pó de rocha basáltica na cultura de milho e arroz (Curtis et al. 2023; Ribeiro et al. 2025); magnésio (Mg), usando olivina melilitito em plantio de soja e sorgo (Almeida et al. 2022); potássio (K), por meio de calxisto e ritmito em um sistema de cultivo de ameixa japonesa (Citadine et al. 2022); fósforo (P), com fosfato natural em sucessão agrícola de milho e trigo (Bamberg et al. 2023); além da elevação da capacidade de troca catiônica (CTC) com um agromineral silicático em um solo com textura arenosa/média, aumentando o rendimento no cultivo capim sorgo em 35% (Rodrigues et al. 2024).

Nessa perspectiva, um dos efeitos observados sobre as propriedades físicas do solo foi a redução da dispersão da argila em água. Bicca et al. (2023) avaliaram a aplicação de brecha basáltica em um experimento de lixiviação conduzido em cilindros de PVC. Com a aplicação de sete toneladas por hectare (7 t/ha), o material promoveu redução superior a 65% na dispersão da argila em água, em comparação com o tratamento-controle, indicando seu potencial para melhorar a estabilidade física do solo.

No contexto das estratégias de solubilização microbiana de nutrientes, Oliveira et al. (2021) realizaram um experimento agronômico com a cultura da alface utilizando apatita natural moída, contendo 24% de P_2O_5 total, e rocha potássica moída, com 8% de K_2O total. A cada material mineral foi adicionado enxofre elementar (S^0), previamente inoculado com bactérias do gênero *Acidithiobacillus*.

Posteriormente, os materiais foram incorporados ao vermicomposto na proporção mássica de 0,5:0,5:3,0, correspondente, respectivamente, à rocha fosfatada, à rocha potássica e ao composto orgânico. Assim, para cada 0,5 kg de rocha fosfatada e 0,5 kg de rocha potássica, foram utilizados 3,0 kg de vermicomposto. O desempenho do fertilizante organomineral inoculado foi comparado ao de uma adubação convencional composta por sulfato de amônio, contendo 20% de N, superfosfato simples, com 20% de P_2O_5 , e sulfato de potássio, contendo 50% de K_2O . As doses foram definidas com base nas recomendações de adubação para o estado de Pernambuco propostas por Cavalcante et al. (2008).

Quando aplicado em quantidade equivalente a 100% da dose recomendada, o fertilizante organomineral proporcionou produção de alface aproximadamente 50% superior à obtida com a fertilização química e 93% superior à observada no tratamento-controle, sem aplicação de fertilizantes. Na dose correspondente a 150% da recomendação, a produção foi cerca de 72% superior à do tratamento convencional e 121% superior à do controle. Esses resultados indicam que a combinação entre agrominerais, vermicomposto, enxofre elementar e bactérias solubilizadoras pode constituir uma alternativa ao uso exclusivo de fertilizantes convencionais para o aumento da produtividade da alface.

Os estudos avaliados abrangeram diversas culturas, incluindo soja, em estudo com duração de 6 meses (Almeida et al., 2022); arroz e alface, em um experimento de 220 dias com cinco agrominerais (ultramáfica alcalina, biotita xisto, brecha vulcânica, flogopita-xisto e subproduto de mineração de Chapada) (Marchi et al., 2020). Nesse contexto, destaca-se a abordagem experimental de Bamberg et al. (2023), que explorou fosfato natural, calcário com folhelho, mármore dolomítico e monzogranito, distribuídas em oito tratamentos agrônômicos, dado que em 3 desses tratamentos a produtividade dos grãos de milho e trigo foi comparável a taxa média regional de 6749 kg/ha obtida a partir de adubação com NPKs. Sob a perspectiva de lucro, o tratamento 3(T3), reportado como a aplicação de pó de calcário com folhelho e o tratamento 4(T4), em que se aplicou pó de calcário com folhelho aliado a uma mistura com 50% de fósforo proveniente de fosfato natural e 50% de fósforo proveniente de superfosfato triplo solúvel, indicaram uma maior rentabilidade financeira.

Dando continuidade à discussão, Foletto e Nobre (2025) conduziram um estudo experimental na região da Quarta Colônia de Imigração Italiana, no Rio Grande do Sul, com o objetivo de avaliar alternativas sustentáveis aos fertilizantes sintéticos. Inicialmente, amostras de riolito foram submetidas à caracterização petrográfica, que indicou a presença predominante de plagioclásio, com 38,8%, ortoclásio, com 28,2%, e quartzo, com 20,9%, além de minerais subordinados, como hiperstênio e diopsídio. Essa assembleia mineralógica apresenta potencial para o fornecimento gradual de nutrientes, uma vez que o plagioclásio pode conter Ca e Na, o ortoclásio constitui uma fonte potencial de K, e os

piroxênios podem contribuir principalmente com Ca, Mg e Fe.

O riolito atendeu aos critérios de teor de quartzo e soma de bases estabelecidos pela Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. O conteúdo de quartzo, correspondente a 20,9%, permaneceu abaixo do limite máximo de 25%, enquanto a soma dos teores de CaO, MgO e K₂O atingiu 10,51%, superando o valor mínimo de 9%. Entretanto, o enquadramento integral do material como remineralizador também depende do atendimento aos demais critérios químicos, físicos e agronômicos estabelecidos pela regulamentação.

O estudo envolveu ensaios de incubação do solo, análises químicas e experimentos agronômicos com feijão-guandu e capim-elefante, nos quais foram avaliadas diferentes combinações de pó de riolito e cama de frango. Os tratamentos combinados favoreceram o desenvolvimento das plantas, com valores de altura variando de 21 para 40 cm no feijão-guandu e de 61 para 141 cm no capim-elefante. O melhor desempenho foi observado nos tratamentos que associaram o material mineral à cama de frango, a qual forneceu matéria orgânica e nutrientes, especialmente nitrogênio, e possivelmente estimulou a atividade microbiana e a dissolução dos minerais, favorecendo a liberação gradual de nutrientes para as plantas.

Quadro 2 – Efeitos dos remineralizadores nos atributos do solo

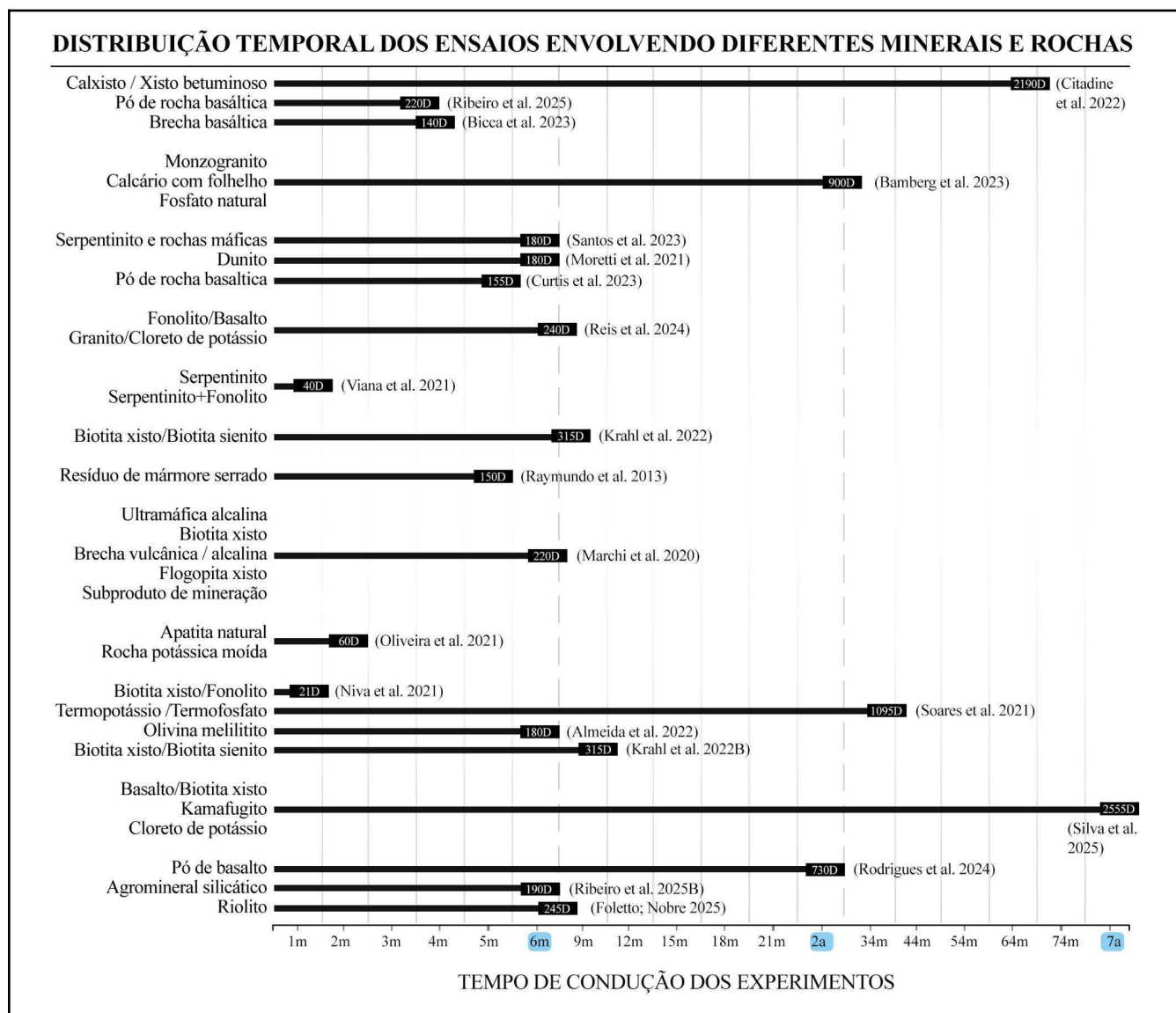
FONTE	MINERAIS E ROCHAS	RESPOSTAS EXPERIMENTAIS	SÍNTESE DOS IMPACTOS NO SOLO
Citadine et al. (2022)	Calxisto / Xisto betuminoso – (1,2)		(1) Aumento de Fósforo
Ribeiro et al. (2025)	Pó de rocha basáltica – (3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 15)		(2) Aumento de Potássio
Bicca et al. (2023)	Brecha basáltica – (12, 13, 21)		(3) Aumento de cálcio
Bamberg et al. (2023)	Monzogranito Calcário com folhelho – (1, 2, 3, 4, 6, 15) Fosfato natural		(4) Aumento de Magnésio
Santos et al. (2023)	Serpentinito e rochas máficas – (6)		(5) Aumento de Silício
Moretti et al. (2021)	Dunito – (4, 5, 6)		(6) Aumento do pH
Curtis et al. (2023)	Pó de rocha basáltica – (1, 2, 3, 4, 6)		(7) Redução do pH
Reis et al. (2024)	Fonolito/Basalto Granito/Cloreto de potássio – (22)		(8) Aumento da soma de bases
Viana et al. (2021)	Serpentinito Serpentinito+Fonolito – (6)		(9) Aumento do CTC*
Krahl et al. (2022)	Biotita xisto/Biotita sienito – (7, 9)		(10) Redução da H ⁺ /Al (acidez potencial)
Raymundo et al. (2013)	Resíduo de mármore serrado – (3, 4, 6, 8, 11, 16)		(11) Redução da Al ³⁺ (alumínio trocável)
Marchi et al. (2020)	Ultramáfica alcalina Biotita xisto Brecha vulcânica / alcalina – (6) Flogopita xisto Subproduto de mineração		(12) Redução da dispersão de argila
Oliveira et al. (2021)	Apatita natural Rocha potássica moída – (1, 2, 7)		(13) Melhora da estrutura do solo
Niva et al. (2021)	Biotita xisto/Fonolito – (6, 17, 18, 19)		(14) Redução da dispersão de argila
Soares et al. (2021)	Termopotássio /Termofosfato – (1,2, 20)		(15) Redução da saturação por alumínio
Baptista et al. (2022)	Sienito – (2, 5)		(16) Aumento da saturação por bases
Almeida et al. (2022)	Olivina melilitito – (1, 3, 4, 6, 11, 16)		(17) Aumento da condutividade elétrica
Krahl et al. (2022)B	Biotita xisto/Biotita sienito – (7)		(18) Redução da porosidade
Silva et al. (2025)	Basalto/Biotita xisto Kamafugito – (2) Cloreto de potássio		(19) Alteração da dinâmica da água
Rodrigues et al. (2024)	Pó de basalto – (1, 3, 4, 5, 8, 9,)		(20) Redução da lixiviação de nutrientes
Ribeiro et al. (2025)B	Agromineral silicático – (6, 8, 16, 5)		(21) Aumento da lixiviação de Na*
Foletto; Nobre (2025)	Riolito – (22)		(22) Melhorou estrutura bacteriana do solo

Fonte – Elaborado a partir de dados do *Scopus* e *Web of Science* (2026)

Dados simplificados relacionados ao tempo de condução dos experimentos com os tipos de agrominerais demonstram que a maioria dos artigos avaliados neste tópico apresentaram experimentos com até 6 meses de duração, com rochas como basalto (Ribeiro et al., 2025), brecha basáltica (Bicca et al., 2023), serpentinito livre ou associadas a fonolito e rochas máficas (Viana et al., 2021; Santos et al., 2023), dunito (Moretti et al. 2021), apatita natural e rochas potássicas (Oliveira et al., 2021), biotita xisto e fonolito (Niva et al. 2021), e olivina mililitito (Almeida et al., 2022). Trabalhos com experimentos conduzidos no intervalo de 6 meses a 2 anos, decorrem de ensaios com fonolito, basalto, granito e cloreto de potássio (Reis et al., 2024), biotita-xisto e biotita-sienito (Krahl et al., 2022a; Krahl et al., 2022b) e riolito (Foletto; Nobre 2025), enquanto os estudos mais duradouros, com períodos mais longos

de observações, estão ligados a calxisto e xisto betuminoso (Citadine et al., 2022), monzogranito, calcário com folhelho e fosfato natural (Bamberg et al., 2023), termopotássio e termofosfato (Soares et al., 2021), e basalto, biotita-xisto, kama fugito e cloreto de potássio (Silva et al., 2025), conforme mostrado no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Duração dos experimentos agrônômicos



Fonte – Elaborado a partir de dados do *Scopus* e *Web of Science* (2026)

Os resultados obtidos nos experimentos agrônômicos apresentados no quadro 3 constituem uma importante base científica e experimental para o avanço das pesquisas e para a avaliação de futuras aplicações em escala de campo. Nos últimos anos, observa-se um interesse crescente da comunidade científica na investigação de diferentes tipos de rochas com potencial para a produção de remineralizadores, visando à substituição parcial de fontes convencionais de nutrientes, especialmente

fósforo e potássio. Nesse contexto, os conhecimentos produzidos pelos estudos analisados fornecem evidências sobre o potencial agrônomo desses materiais e subsidiam avaliações de sua viabilidade técnica. Além disso, o aproveitamento de recursos minerais nacionais pode contribuir para reduzir parcialmente a dependência brasileira de fertilizantes importados e favorecer sistemas agrícolas mais sustentáveis. Entretanto, a comprovação de vantagens econômicas e operacionais em escala de campo ainda depende de estudos complementares que considerem os custos de processamento, transporte, aplicação e resposta agrônômica em diferentes condições de solo e cultivo.

Quadro 3 – Síntese dos resultados encontrados na leitura dos artigos.

Agromineral	Duração do experimento	Efeito no Solo	Efeito nas Plantas	Cultura	Fonte
Calxisto Xisto betuminoso	2190 dias	Aumento de fósforo (P) e potássio (K) no solo.	Maior produção acumulada	Ameixa Japonesa	Citadine et al. (2022)
Pó de rocha basáltica	220 dias	Aumento do pH, SB, saturação por bases (V%), CTC, Ca e disponibilidade de Si / Redução de H ⁺ Al e Al ³⁺ A brecha basáltica reduziu a dispersão de argila em até 79%, o gesso promoveu maior	Alterações anatômicas foliares e melhora potencial na resistência a estresses.	Arroz	Ribeiro et al. (2025)
Brecha basáltica	140 dias	floculação da argila, redução da sodicidade, aumento da lixiviação de Na e melhora da estrutura do solo.	Dado não avaliado	Dado não avaliado	Bicca et al. (2023)
Monzogranito Calcário com folhelho Fosfato natural	900 dias	Aumento do pH do solo / Redução da saturação por alumínio / Aumento de Ca, Mg, P e parcialmente K / Correção da acidez	O tratamento apresentou produtividade semelhante ao NPK convencional	Milho e trigo em sucessão agrícola.	Bamberg et al. (2023)
Pó de rocha silicática (composto por uma mistura de serpentinito e rochas máfico	180 dias	Aumento do pH	Dado não avaliado	Alho poró	Santos et al. (2023)

ultramáficas)					
Dunito	180 dias	Aumento do pH e Mg e Si	Dado não avaliado	Dado não avaliado	Moretti et al. (2021)
Pó de rocha basáltica	155 dias	Aumento do pH, disponibilidade de P, K, Ca e Mg) Melhorou a estrutura da comunidade bacteriana do solo / teores de carbono da biomassa microbiana	Aumento da massa seca	Milho	Curtis et al. (2023)
Fonolito, basalto, granito e cloreto de potássio (KCl)	240 dias	diminuíram com o tempo no uso de KCl	Dado não avaliado	Gramínea tropical Urochloa brizantha	Reis et al. (2024)
Serpentinito e mistura de serpentinito com fonolito	40 dias	Maior disponibilidade nutricional e aumento do pH	Supriu as exigências de magnésio para o crescimento e desenvolvimento do milho e do feijão. Houve absorção de potássio (K) de forma gradual e ferro (Fe), além de magnésio (Mg). A	Milho Feijão	Viana et al. (2021)
Biotita xisto Biotita sienito	315 dias	Redução do pH Aumento do CTC	extração acumulada de potássio pelas plantas após os 315 dias foi maior no substrato de biotita xisto do que no de biotita sienito.	Milho	Krahl et al. (2022)
Resíduo de mármore serrado	150 dias	Aumento do pH, (Ca), (Mg), a saturação por bases (V) e a soma de bases (SB). Reduziram gradativamente a acidez potencial e foram altamente eficientes em neutralizar a acidez trocável, eliminando a toxicidade do alumínio (Al) no	Dado não avaliado	Estudo baseado nas exigências para o cultivo do milho	Raymundo et al. (2013)

			solo.			
Ultramáfica alcalina Biotita xisto Brecha vulcânica / alcalina Flogopita xisto Subproduto de mineração de Chapada (BPC)	220 dias	Aumento do pH	A disponibilidade e absorção de micronutrientes (Cobre - Cu, Níquel - Ni e Zinco - Zn) pelas plantas aumentou com o uso dos agrominerais em comparação com o tratamento controle (sem fertilização)	Alface e Arroz	Marchi et al. (2020)	
Apatita natural moída (rocha fosfática) e rocha potássica moída. Fertilizante microbiano	Dois ciclos de 30 dias (ciclo 1) e 60 dias (ciclo 2).	Redução significativa no pH Aumentou disponibilidade de Fósforo (P) e Potássio (K) no solo, especialmente nas doses de 100% e 150% aumento de nitrogênio total e carbono solúvel efeito residual positivo no ciclo de 60 dias	Aumentou significativamente o peso fresco das plantas, a altura e o diâmetro da alface. Promoveu uma absorção mais gradual e estruturada de Nitrogênio (N). Aumento dos teores de P e K absorvidos pelas plantas em comparação ao fertilizante solúvel.	Alface	Oliveira et al. (2021)	
Biotita xisto Fonolito	21 dias	Aumento do pH (chegando a pH 9,6 na rocha pura). Aumento da condutividade elétrica e do teor de sais dissolvidos. Redução da porosidade e alteração da dinâmica da água	Dado não avaliado	Dado não avaliado	Niva et al. (2021)	
Termopotássio e termofosfato	1095 dias	No tratamento orgânico, os agrominerais aumentaram os teores de P e K no solo de forma gradual e duradoura, com menor lixiviação de K e	Os agrominerais aumentaram de forma duradoura a produtividade da pastagem, igualando ou superando o manejo convencional, além	Capim Marandu leguminosas forrageira	Soares et al. (2021)	

		efeito positivo da <i>Crotalaria juncea</i> .	de favorecerem as leguminosas forrageiras.		
Sienito, rico em feldspato alcalino / feldspato potássico	Dado não avaliado	O estudo mostrou que microrganismos, principalmente Actinobacteria, ajudam no intemperismo dos feldspatos, favorecendo a liberação de nutrientes como K e Si para o solo.	O estudo mostrou que microrganismos nativos do ambiente aumentam a resistência das plantas a doenças	Vegetação nativa do bioma Caatinga Banana Capim guiné/forragem Milho	Baptista et al. (2022)
Olivina melilitito	180 dias	O pó de olivina melilitito melhorou a fertilidade do solo, aumentando pH, Ca, Mg, P e saturação por bases, além de reduzir a acidez e o alumínio, com melhores resultados na granulometria filler.	O agromineral favoreceu o crescimento das plantas e o acúmulo de nutrientes, com maior eficiência da granulometria filler devido à liberação mais rápida de nutrientes	Soja Sorgo	Almeida et al. (2022)
Biotita xisto Biotita sienito	315 dias	O pH do substrato diminuiu linearmente a cada ciclo devido à absorção de bases pelas plantas e à acidificação causada pelo fertilizante e pelas raízes.	Fornecem nutrientes ao milho, com melhor desempenho da biotita xisto. O crescimento e a absorção de nutrientes diminuíram nos ciclos seguintes.	Milho	Krahl et al. (2022)B
Basalto, biotita xisto e kama fugito cloreto de potássio (fertilizante)	2555 dias	Os tratamentos não alteraram os estoques de carbono e nitrogênio do solo. O biotita xisto liberou potássio gradualmente, enquanto o kama fugito apresentou maiores teores de micronutrientes e relação positiva com a ciclagem de	Os agrominerais, especialmente o kama fugito, disponibilizaram potássio em níveis adequados ao crescimento da planta, sendo parte deste nutriente absorvida e removida com a biomassa durante os cortes.	Pastagem cultivada com a gramínea (anteriormente conhecida como Brachiaria)	Silva et al. (2025)

Pó de basalto	730 dias	nutrientes. O remineralizador aumentou os teores de P, S, Ca, Mg, matéria orgânica, soma de bases, CTC e saturação por bases, além de estimular a atividade microbiológica e enzimática. Entretanto, a aplicação conjunta de todos os insumos causou desequilíbrio inicial na microbiota em alguns tratamentos.	Com uma dose de 2500 kg ha⁻¹ do remineralizador, elevou a produtividade em 15% na soja e 35% no sorgo.	Soja Sorgo Granífero	Rodrigues et al. (2024)
Agromineral silicático	190 dias	O agromineral reduziu a acidez do solo e aumentou o pH, a soma de bases, a CTC, a saturação por bases e a disponibilidade de nutrientes e silício.	O efeito residual do agromineral aumentou a densidade estomática da soja e favoreceu a absorção e o acúmulo de nutrientes e silício na parte aérea das plantas. O filler de riolito promoveu o crescimento das plantas, com melhores resultados quando combinado com cama de aviário.	Soja	Ribeiro et al. (2025)B
Riolito	245 dias	Ocorreu desgaste microscópico dos minerais por intemperismo químico e biológico, intensificado pelas raízes, micro organismos e pela cama de aviário, que também forneceu nitrogênio. Os teores químicos da rocha permaneceram dentro dos limites da legislação brasileira.	Guandu e capim elefante apresentaram maior desenvolvimento, sendo o capim elefante o mais eficiente na alteração mineral devido ao sistema radicular denso.	Guandu vermelho Capim elefante	Foletto; Nobre (2025)

3.4.3 Pesquisas correlatas ao uso agrícola de agrominerais

Este tópico aborda os assuntos descritos nos 13 artigos subsequentes (Quadro 4), que se somam aos resultados anteriores e evidenciam o crescimento das pesquisas voltadas ao uso dos agrominerais nos últimos anos. São documentos que incluem pesquisas sobre a origem das rochas e sua composição, viabilidade econômica e análises de resíduos de mineração, com o objetivo de encontrar materiais capazes de fornecer nutrientes, corrigir a acidez e melhorar a qualidade do solo, ao mesmo tempo que reduzem a dependência de fertilizantes importados.

Nesse sentido, Blaskowski et al. (2018), mostraram que o rejeito da Mina Ipueira, no estado da Bahia, apresenta teores importantes de nutrientes como Ca, Mg, K, Fe e Mn, além de baixos níveis de elementos tóxicos. A presença de minerais como serpentina, flogopita, apatita e dolomita reforça o interesse agrônômico desse material, já que ele pode tanto corrigir a acidez quanto liberar nutrientes de forma residual.

Outra linha de pesquisa importante, trata dos resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais. Braga et al. (2023) avaliaram um resíduo de marmoraria, verificando características químicas compatíveis com remineralizadores, incluindo soma de bases adequada, teor de K_2O satisfatório, pH favorável e baixa acidez potencial. Mesmo sem substituir totalmente os fertilizantes convencionais, esse tipo de material pode funcionar como complemento nutricional em projetos agrônômicos e corretivo parcial do solo.

Nessa perspectiva, o quadro de artigos traz também estudos com o objetivo de mapear áreas com potencial para agrominerais. Araújo et al. (2025) fizeram um zoneamento agrogeológico no Chapadão Urucuia, localizado no oeste da Bahia e noroeste de Minas Gerais, identificando regiões com potencial para fornecimento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Esse tipo de trabalho possibilita a localização de fontes promissoras para futuras aplicações em campo.

Em suma, os demais artigos apresentam temas relacionados a análises geoquímicas de basalto (Chigilino et al., 2022), caracterização físico química e mineralógica de quartzo monzonito, pó de basalto e riolito (Benevides et al., 2023), um diagnóstico estratégico da indústria de fertilizantes potássicos no Brasil (Farias et al., 2021), o uso de fluorescência de raios-x portátil (pFRX) aliados a algoritmos de *Machine Learning* para definição da composição química elementar dos agrominerais (Reis et al., 2025), entre outros artigos alheios às temáticas abordadas neste tópico.

Quadro 4 – Insumo avaliado e objetivo das 13 artigos

Insumo avaliado	Objetivo da pesquisa	Fonte
Silito Verdete	Gênese geológica, o estudo defende que o potássio na rocha surgiu por metassomatismo e não por processos sedimentares comuns.	Tele et al. (2022)
Rochas de descarte de mineração de cromita (silicatos e carbonatos, ricos no mineral lizardita/serpentina).	Realizar a caracterização petrológica e química das rochas de descarte da Mina Ipueira com a finalidade de verificar seu potencial agromineral.	Blaskowski et al. (2018)
Resíduo de lama de marmoraria	Avaliação do potencial de utilização do resíduo de lama de uma marmoraria através de análises de fertilidade, mineralógicas e químicas realizadas por difração de raios X e fluorescência de raios X.	Braga et al. (2023)
Minerais ORMUS	Mostrar que esse insumo acelera o crescimento de plantas, recupera a fertilidade do solo e aumenta o sequestro de carbono.	Barry Carter (2014)
Não foi avaliado nem um insumo	Analisar o papel potencial que a pesquisa e a prática de geociências exercem no desenvolvimento sustentável.	Stephenson et al. (2024)
53 amostras com grande diversidade litológica, incluindo rochas ígneas máficas, ultramáficas e félsicas, rochas metamórficas, rochas sedimentares e um coproduto industrial (escória).	Avaliar o uso da espectrometria portátil por fluorescência de raios-X (pFRX) aliada a algoritmos de aprendizado de máquina (machine learning) como uma alternativa rápida, barata e sustentável aos métodos químicos tradicionais para prever a composição química desses agrominerais.	Reis et al. (2025)
Rochas ricas em biotita	Realizar o zoneamento agrogeológico do estado da Paraíba para identificar e definir as potenciais zonas de produção.	Machado et al. (2020)
biotita-xisto e o carbonatito	Realizar o zoneamento agrogeológico (ZAGEO) do Chapadão Urucuia e de seu entorno (oeste da Bahia).	Araujo et al. (2025)
Cloreto de potássio (KCl).	Realizar um diagnóstico estratégico da indústria de fertilizantes potássicos no Brasil avaliando as principais variáveis desse setor, como produção doméstica, demanda do mercado, dependência de importações e	Farias et al. (2021)

projetos futuros.

Rejeito basáltico de uma mineração de ágatas e ametistas	Estudos geoquímicos preliminares.	Chiglino et al. (2022)
3 amostras de pós de rocha: Monzonitos quartzosos, Basaltos e Riolitos	Realizar a caracterização química, mineralógica e granulométrica desses três tipos de pós de rocha para verificar a viabilidade de utilizá-los como remineralizadores de solo.	Benevides et al. (2023)
Não foi avaliado nem um insumo	Realizar uma análise dos impactos da recente territorialização do setor sucroenergético nos municípios do estado de São Paulo.	Girardi et al. (2019)
Depósitos de fosfato utilizando perfilagem de poços	Realizar a perfilagem geofísica de poços.	Caio et al. (2025)

Fonte – Elaborado a partir de dados do *Scopus* e *Web of Science* (2026)

3.4.4 Classificação dos remineralizadores

Segundo a Lei nº 12.890/2013 (Brasil, 2013), remineralizadores são materiais de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo. Desse modo, Corrêa e Oliveira (2024), apresentam um modelo de classificação de diferentes pós de rocha a partir de um diagrama ternário (Figura 8), definindo 7 tipos de desses materiais, os cálcicos ou magnesianos ou cálcio-magnesianos, fosfatados, potássicos, fósforo-cálcicos ou fósforo-magnesianos ou fósforo-cálcio-magnesianos, potássio-cálcicos ou potássio-magnesianos ou potássio-cálcio-magnesianos, fósforo-potássicos e os integrais.

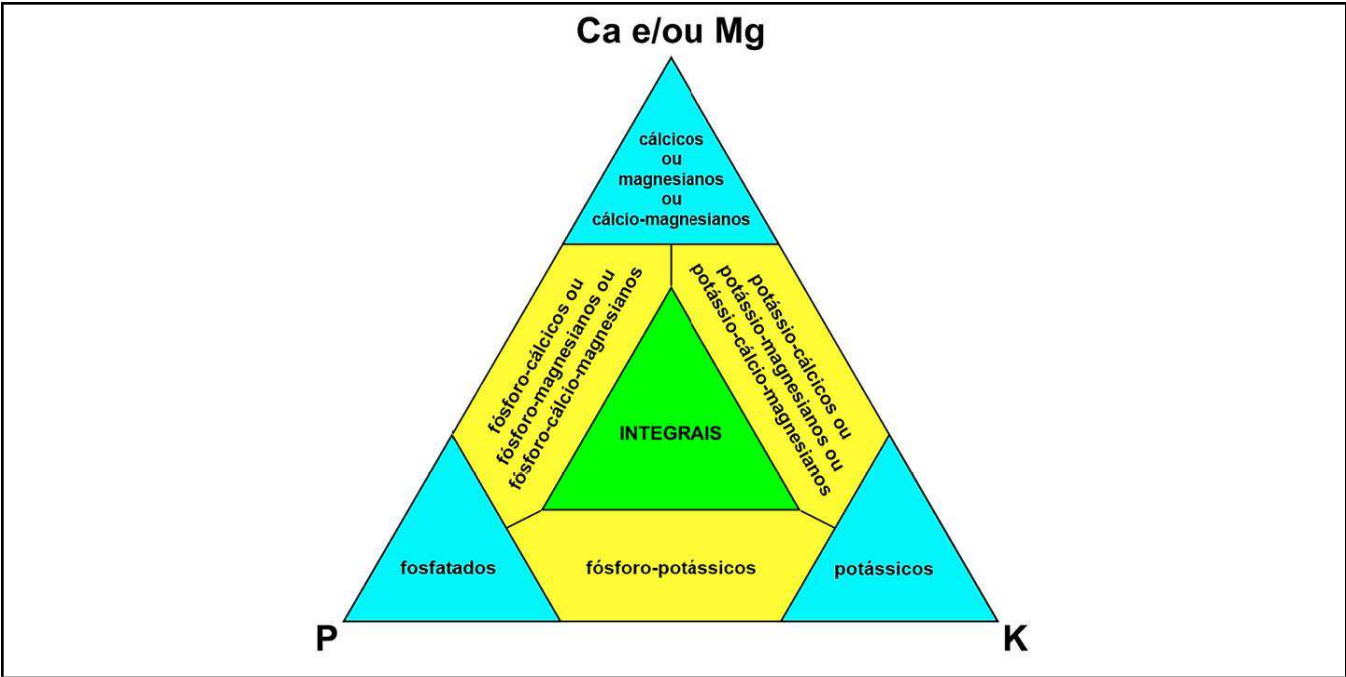
Este diagrama apresentado pelos autores divide 7 agrupamentos com base na concentração de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e/ou magnésio (Mg), todavia, o estudo ainda lista 4 classes de materiais, primários, secundários, integrais e universais, relacionando-os ao esquema ternário (Quadro 5). Nesse sentido os primários são ligados aos remineralizadores fosfatados, potássicos e fósforo-potássicos, além de combinações com Ca e/ou Mg; os secundários, abrangem os calcários, magnesianos e cálcio-magnesianos; os integrais, com rochas que podem fornecer para o solo e plantas todos ou a maioria dos macronutrientes essenciais; e os universais que atendem a todos os critérios legais e agrônômicos, mas têm baixo teor de macronutrientes primário, sendo ricos em micronutrientes como boro (B), cloro (Cl), molibdênio (Mo), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn) e manganês (Mn).

Quadro 5 – Classificação dos remineralizadores

CLASSIFICAÇÃO DOS REMINERALIZADORES		
GRUPOS	SUBGRUPOS	EXEMPLOS
PRIMÁRIOS (P, K)	Fosfatados	Sedimentos fosfáticos (fosforitos)
	Potássicos	Biotita-xistos, sedimentos potássicos (verdetes), nefelinitos, ijolitos, nefelina-sienitos e fonolitos
	Fósforo-potássicos	Rochas ultrabásicas alcalinas (kamafugitos, lamproitos, kimberlitos), carbonatitos
	Fósforo-cálcicos	Associação de sedimentos fosfáticos e calcários calcíticos
	Fósforo-magnesianos	Associação de sedimentos fosfáticos e calcários dolomíticos
	Fósforo-cálcio-magnesianos	Associação de sedimentos fosfáticos e calcários dolomíticos, carbonatitos
	Potássio-cálcicos	Rochas calcissilicáticas potássicas
	Potássio-magnesianos	Flogopita-xistos, rochas calcissilicáticas potássicas
	Potássio-cálcio-magnesianos	Rochas calcissilicáticas potássicas
SECUNDÁRIOS (Ca, Mg)	Cálcicos	Calcários calcíticos, rochas calcissilicáticas
	Magnesianos	Calcários dolomíticos, rochas calcissilicáticas
	Cálcio-magnesianos	Rochas ultrabásicas (dunitos, piroxenitos), rochas calcissilicáticas
INTEGRAIS (multielementar - altos teores)	—	Rochas ultrabásicas alcalinas (kamafugitos, lamproitos, kimberlitos), foscoritos, carbonatitos, produtos compostos (ou blends)
UNIVERSAIS (multielementar - baixos teores)	—	Basaltos, andesitos, sienitos

Fonte – Corrêa e Oliveira (2024).

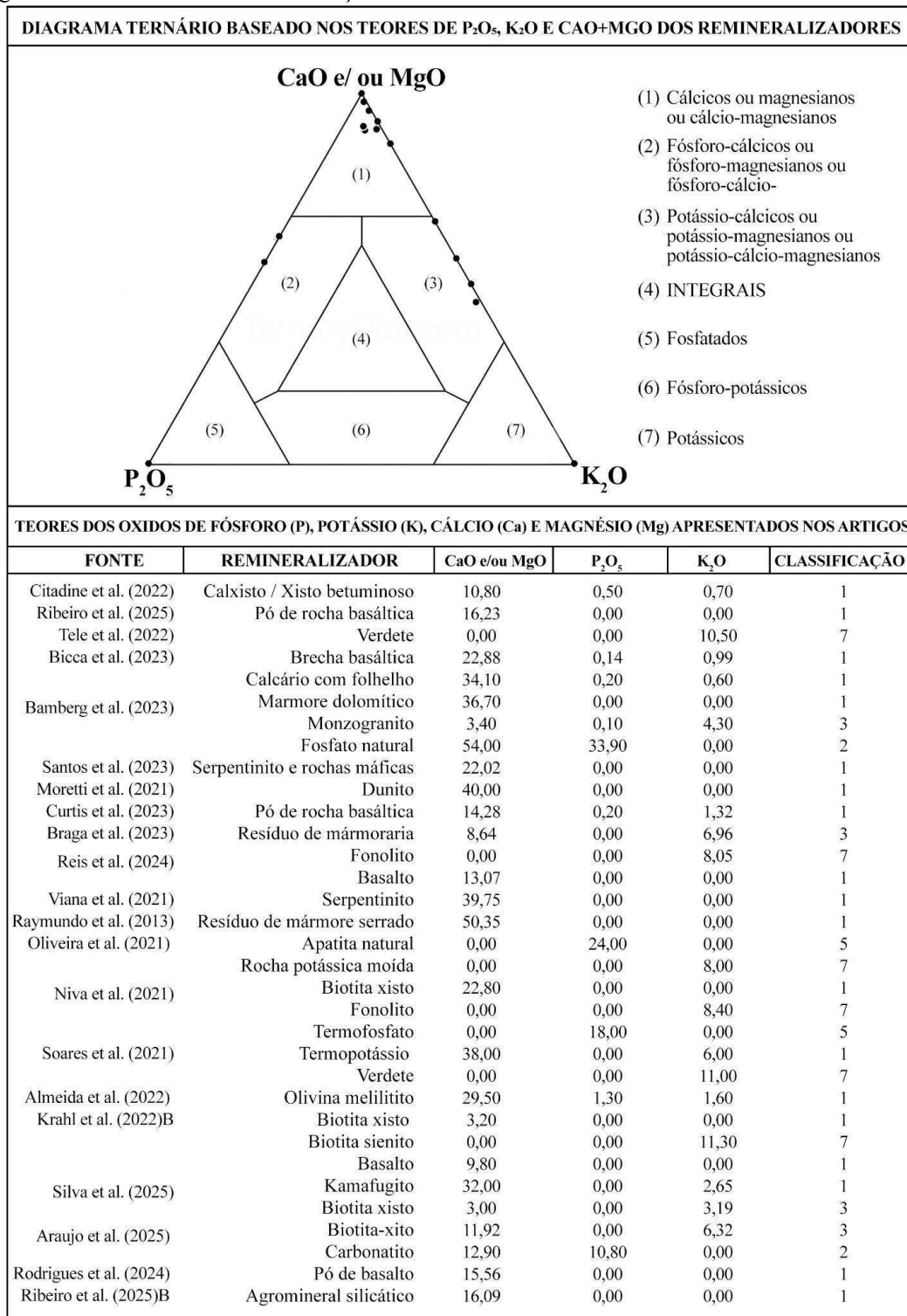
Figura 8 – Diagrama ternário PKCa-Mg



Fonte – Corrêa e Oliveira (2024).

Com base nesse trabalho, foi realizada a classificação dos remineralizadores abordados em cada artigo desta revisão, com suas composições químicas expressas em óxidos (P_2O_5 , K_2O , CaO e/ou MgO), normalizados e plotadas no diagrama ternário (Figura 9) conforme estabelecido pelos autores.

Figura 9: Diagrama ternário ilustrando a classificação dos remineralizadores



Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em dados da Scopus e Web of Science, adaptado de Corrêa e Oliveira (2024).

A projeção dos pontos no diagrama permite identificar a distribuição das amostras entre os diferentes grupos do quadro 5. Nesse sentido, a disposição dos pontos no gráfico sugerem que a maior parte dos materiais estudados se enquadram nos segmentos cálcicos, magnesianos ou cálcio-magnesianos com 19 tipos de rochas, dentre essas, o calxisto (Citadine et al., 2022), basalto (Ribeiro et al., 2025), brecha basáltica (Bicca et al., 2023) e o kamafigito (Silva et al., 2025) indicando a predominância de remineralizadores secundários (Ca e Mg).

A análise do gráfico aponta para ocorrências de rochas dos grupos potássio-cálcicos, potássio-magnesianos e potássio-cálcio-magnesianos, representada por duas amostras de biotita xisto (Araújo et al., 2025; Silva et al., 2025), resíduo de marmoraria (Braga et al., 2023) e monzogranito (Bamberg et al., 2023) entre outras, além da ocorrência de rochas potássicas, como verdete (Soares et al., 2021; Tele et al., 2022), fonolito (Reis et al., 2024) e biotita sienito (Krahl et al., 2022)B, e litotipos fosfáticos que incluem apatita natural (Oliveira et al., 2021) e termofosfato (Soares et al., 2021). A análise a partir da representação gráfica não identificou amostras no grupo das integrais, evidenciando que as rochas analisadas apresentam baixa diversidade em sua assembleia mineral, assim como as fosfáticas-potássicas, sendo constituídas por rochas fosfáticas ou potássicas, sem associação entre ambas.

Essa classificação apresenta-se como meio facilitador recente (2024) na escolha dos tipos de pós de rocha, levando em consideração a sua composição diante da necessidade do solo e das plantas, permitindo aos consumidores escolherem materiais mais eficientes.

3.4.5 Agrominerais em sistemas agrícolas familiares

De acordo com o IBGE (2019), os estabelecimentos da agricultura familiar ocupam aproximadamente 80,9 milhões de hectares, correspondentes a 23% da área total dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. Esse segmento apresenta participação expressiva na produção de milho, mandioca, feijão, arroz, café, trigo, cana-de-açúcar, frutas, hortaliças e produtos de origem animal, incluindo leite, carne, ovos e derivados da criação de suínos, aves, ovinos e caprinos. Nesse contexto, os estudos analisados nesta revisão apresentam resultados promissores para culturas frequentemente conduzidas por agricultores familiares, indicando que determinados agrominerais podem atuar como fontes complementares de nutrientes e reduzir parcialmente a necessidade de fertilizantes minerais solúveis convencionais. Entretanto, sua acessibilidade e viabilidade dependem da disponibilidade regional, dos custos de processamento e transporte e do desempenho agrônomo nas condições locais de cultivo.

Os artigos avaliados indicam que diferentes pós de rocha podem disponibilizar nutrientes como potássio, magnésio, cálcio, fósforo e micronutrientes, dependendo de sua composição mineralógica, granulometria e reatividade. Foram observadas respostas agronômicas positivas em experimentos com milho utilizando biotita xisto e biotita sienito (Krahl et al., 2022), com feijão cultivado em tratamentos contendo serpentinito e misturas de serpentinito e fonolito (Viana et al., 2021), e com alface submetida à aplicação de apatita natural e rocha potássica moída (Oliveira et al., 2021).

Entre os efeitos potencialmente relevantes para a agricultura familiar, destaca-se a elevação do pH do solo promovida por determinados materiais, como pós de basalto, calcário associado a folhelho, serpentinito, dunito e rochas máficas e ultramáficas (Moretti et al., 2021; Bamberg et al., 2023; Santos et al., 2023; Ribeiro et al., 2025). Alguns estudos também registraram aumento da capacidade de troca catiônica, propriedade que favorece a retenção de cátions essenciais, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} . Rodrigues et al. (2024), por exemplo, relataram aumento de produtividade em cultivo de sorgo forrageiro submetido à aplicação de material agromineral. O sorgo, espécie cerealífera da família Poaceae, possui ampla utilização na alimentação animal e na produção de silagem.

Também foram identificados efeitos residuais associados à liberação gradual de nutrientes por minerais de menor solubilidade. Esse comportamento depende principalmente da natureza e da estrutura dos minerais portadores de nutrientes, da granulometria do material, das condições físico-químicas do solo e do tempo de interação. O quartzo, embora possa ocorrer em concentrações elevadas em alguns materiais, apresenta baixa reatividade e não constitui a principal fase responsável pela disponibilização de nutrientes. Para a agricultura familiar, um efeito residual prolongado pode ser vantajoso ao reduzir a frequência de aplicações; contudo, essa possibilidade precisa ser avaliada em experimentos de longa duração e em condições de campo.

Entre os resultados de maior interesse, Soares et al. (2021) observaram que o tratamento constituído por termopotássio, termofosfato e cama de frango apresentou desempenho semelhante ao da fertilização convencional no cultivo de capim-marandu e leguminosas forrageiras, além de maior efeito residual e redução da lixiviação de potássio. Curtis et al. (2023), por sua vez, avaliaram combinações de pó de basalto e cama de frango no cultivo de milho, registrando aumento do pH do solo, da produção de biomassa e do teor de clorofila. Entretanto, como os tratamentos combinaram uma fonte mineral e um resíduo orgânico rico em nutrientes, os efeitos observados não podem ser atribuídos exclusivamente ao pó de basalto.

A composição química do basalto estudado por Curtis et al. (2023) incluiu teores de 8,92% de CaO , 5,63% de MgO , 1,30% de K_2O e aproximadamente 0,20% de componente fosfatado, além de

50,22% de SiO₂. A cama de frango apresentou teor de P₂O₅ de 29,07 g kg⁻¹. O período experimental de 90 dias pode ter sido insuficiente para avaliar plenamente a liberação de nutrientes pelos minerais de dissolução lenta, reforçando a necessidade de estudos de maior duração. Dessa forma, os resultados devem ser interpretados como evidências do potencial de uso combinado entre agrominerais e fontes orgânicas, e não como demonstração definitiva da capacidade do basalto de substituir fertilizantes fosfatados em solos deficientes em fósforo.

Com base no conjunto de estudos avaliados, os geoinsumos apresentam potencial para complementar o manejo da fertilidade do solo e contribuir para a substituição parcial de determinadas fontes convencionais de nutrientes. Essa possibilidade pode ser particularmente relevante para agricultores familiares localizados próximos às fontes minerais e aos locais de processamento. Contudo, a efetiva contribuição desses materiais para a redução da dependência brasileira de fertilizantes importados exige estudos de campo de longa duração, avaliações econômicas, controle de qualidade, atendimento à regulamentação e definição de recomendações específicas para cada tipo de solo, cultura e agromineral.

3.5 Principais lacunas observadas na pesquisa.

Este núcleo de 35 artigos revisados apontou algumas lacunas em relação à temática dos agrominerais no contexto brasileiro.

- Poucos experimentos agronômicos de longa duração, com períodos de observações insuficientes para avaliar os efeitos residuais dos agrominerais e sua contribuição na fertilidade do solo;
- Poucos estudos abordam as desvantagens e limitações agronômicas, econômicas e operacionais associadas ao uso de remineralizadores de solo;
- Falta de visão integrada em relação à geodiversidade nacional, comprometendo a construção de uma síntese dos remineralizadores para orientar políticas de uso, considerando os tipos de solos e o grau de intemperismo, clima, variabilidade geoquímica regional e seus efeitos agrícolas;
- O conjunto de artigos não registrou estudos sobre as novas tecnologias de cominuição, tendo em vista que insumos fino/ultrafinos obtidos através de processos de micronização aceleram a liberação de nutrientes objetivando o aumento da eficiência dos remineralizadores no solo;
- Poucos estudos abordando a temática dos diferentes tipos de agrominerais, fora do escopo dos remineralizadores e ensaios agronômicos com rochas moídas associadas à matéria orgânica. O conjunto de artigos revela uma baixa diversidade de investigações sobre outros materiais, como os fertilizantes químicos NPKs, apesar de seus resultados já estarem consolidados. Nesse

sentido, verifica-se ainda que em poucas oportunidades os autores contemplaram esse ramo dos adubos minerais, especialmente no contexto do aumento da produção em território nacional;

- Outra lacuna observada, está relacionada a produção de estudos sobre agrominerais regionais, especialmente diante da nova fronteira agrícola brasileira, uma vez que os custos de extração, processamento, transporte e distribuição acarretam em restrições ao uso desses insumos. Grandes áreas produtivas, como a região do Matopiba, ampliam a demanda por condicionadores de solo e estimulantes vegetais. Nesse contexto, observa-se que as pesquisas científicas ainda não têm avançado de forma eficiente em regiões de expansão agrícola, sobretudo no Norte e Nordeste do Brasil.

Diante das lacunas verificadas nesta revisão, um problema de pesquisa relevante seria: de que maneira a expansão da nova fronteira agrícola do Brasil, especialmente na região nordeste, pode ser impulsionada utilizando agrominerais através dos recursos minerais regionais? Essa questão permite investigar tanto a disponibilidade geológica e a eficiência dos geoinsumos no solo, como também a sua contribuição na redução da dependência externa de fertilizantes, fortalecendo uma estratégia de desenvolvimento em diferentes estados e regiões do país.

4 CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma revisão integrada da literatura acerca dos agrominerais no contexto brasileiro, com um filtro temporal que abrange os anos de 2005 a 2025. Verificando os principais tópicos acerca desta temática, conclui-se que estes materiais fazem parte de uma classe de recursos estratégicos no contexto da agricultura nacional, visto pela alta demanda e dependência externa dos fertilizantes convencionais, dado que esses insumos garantem à agroindústria a eficiência e a melhora na produtividade das lavouras. Nessa linha, as 35 pesquisas selecionadas para este estudo indicaram que rochas e minerais como basalto, biotita xisto, serpentinito, fonolito, sienito, brechas basálticas, resíduos de marmoraria, outras litologias silicáticas e carbonáticas apresentam potencial agrônomo relevante, possuindo composição química para a disponibilização gradual de macro e micronutrientes essenciais no manejo agrícola nacional.

No que se refere a temática dos remineralizadores, os artigos confirmam a eficiência desses agrominerais como substitutos parciais dos fertilizantes solúveis NPKs, especialmente quando são aplicados em conjunto com algum tipo de material de origem orgânica ou microrganismos, como rochas potássicas e fosfáticas associadas vermicompostos de minhocas, e termopotássio combinado com termofosfato acompanhados de cama de frango. São tipos de geoinsumos com desempenho ligados diretamente ao grau de intemperismo de seus constituintes e à dissolução natural de seus componentes no solo.

Outro dado relevante diz respeito às recorrentes pesquisas em rochas como basalto, classificado como um remineralizador cálcico ou magnesianos ou cálcio-magnesianos, e o biotita xisto, variando a sua classificação em cálcico ou magnesianos ou cálcio-magnesianos e potássio-cálcico ou potássio-magnesianos ou potássio-cálcio-magnesianos, com 7 e 4 artigos, respectivamente, indicando que estes recursos geológicos apresentam informações mais robustas acerca de suas propriedades litológicas na comunidade científica, enquanto outras fontes minerais continuam pouco caracterizadas pelos pesquisadores, apontando para a necessidade de investigações em outras frentes geológicas com o objetivo de encontrar alternativas benéficas à indústria agrícola.

Quanto aos resultados dos ensaios agrônômicos, os autores expuseram efeitos como o aumento do pH do solo, obtidos através da aplicação de basalto, calcário com folhelho, serpentinito e apatita natural com rocha potássica; elevação dos níveis de nutrientes, como o potássio, resultado da aplicação de sienito, o fósforo, derivado da meteorização da olivina melilitito, o magnésio, proveniente de resíduos de marmoraria e o cálcio a partir de basaltos, termofosfato e termopotássios.

Com relação a análise bibliométrica, o processamento dos dados indica um crescimento na produção científica nos últimos 5 anos, com 29 publicações, dado que indica o aumento do interesse acadêmico pelo ramo dos agrominerais, principalmente no campo dos remineralizadores e pós de rochas em busca de recursos viáveis para a substituição dos fertilizantes importados de alto valor agregado.

Em relação ao mercado de fertilizantes observa-se crescimento da demanda por fertilizantes no Brasil, com entregas de 40,948 milhões de toneladas entre janeiro e outubro de 2025, registrando um aumento de 8,4% em relação a 2024 e mantendo a elevada dependência de importações, principalmente os fertilizantes fosfatados (8,8 milhões de toneladas) e potássicos (13,7 milhões de toneladas), obtidos principalmente de países como Marrocos, Rússia e Alemanha.

Apesar do aumento na produção de levantamentos científicos nos últimos anos, ainda persiste a falta de integração entre os trabalhos acadêmicos, pesquisas fragmentadas, foco em poucos tipos de rochas e minerais, baixa variedade de agrominerais estudados, com ênfase maior nos remineralizadores e menor atenção em relação aos fertilizantes NPKs, somado a abrangência geográfica dos estudos, os quais foram realizados em regiões do Brasil com a agricultura já consolidada, desconsiderando a nova fronteira agrícola, com menor número de pesquisas relacionadas ao norte e nordeste do país.

REFERÊNCIAS

ABRACAL – Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola. Calcário Agrícola – Brasil – 2024: Produção, Entregas e Consumo Aparente. Brasília: ABRACAL, 2025. Disponível em: <https://abracal.com.br/site/estatisticas/>. Acesso em: 11 nov. 2025.

ALMEIDA, Jaime Antonio de; CUNHA, Gabriel Octávio de Mello; HEBERLE, Daniel Alexandre; MAFRA, Álvaro Luiz. Potential of olivine melilitite as a soil remineralizer according to particle size and rates. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 57, e01445, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.01445>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pab>.

ANDREOLA, Faustino; FERNANDES, Silvana Aparecida Pavan. A Microbiota do Solo na Agricultura Orgânica e no Manejo das Culturas. In: SILVEIRA, Adriana Parada Dias da; FREITAS, Sueli dos Santos (ed.). *Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental*. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. cap. 2, p. 21-38. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br>. Acesso em: 20 jul. 2026

ARAUJO, Leonardo de Matos; BRAGA, Flávia Cristina Silveira B.; MARTINS, Éder de Souza. Zoneamento Agrogeológico do Chapadão Urucuia e seu Entorno. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 18, n. 07, p. 5454-5473, 2025.

ASSIS, Talles Edmundo de; BONO, José Antonio Maior. Remineralizador de solo na cultura da soja em diferentes sistemas de plantio e modos de aplicação. *Ensaio e Ciências, Campo Grande*, v. 27, n. 2, p. 243-252, 2023. DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2023v27n2p243-252>.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS – ANDA. Recursos: Pesquisa Setorial. São Paulo: ANDA, 2026. Disponível em: <https://anda.org.br/recursos/#pesquisa-setorial>. Acesso em: 13 jan. 2026.

AVILA, Luiz Fernando Meneghetti de. Fertilizantes NPK: aplicação, produção e relevância econômica. 2022. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.

BAMBERG, A. L. et al. Selected rock powders as sources of nutrients for soil fertilization and maize-wheat grain production in southern Brazil. *The Journal of Agricultural Science*, v. 161, p. 654–668, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S002185962300062X>.

BAPTISTA, J. de C.; GRAY, N. D.; TARUMOTO, M. B.; SINGLETON, I.; MCCANN, C. M.; MANNING, D. A. C. Bacterial communities in soils as indicators of the potential of syenite as an agromineral. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 57, e01414, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.01414>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pab>. Acesso em: 10 jul. 2026.

BENEVIDES FILHO, Paulo Roberto Rodrigues et al. Potential Soil Remineralizers from Silicate Rock Powders (SRP) as Alternative Sources of Nutrients for Agricultural Production (Amazon Region). *Minerals*, v. 13, n. 10, p. 1255, 25 set. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/min13101255>. Acesso em: 10 jul. 2026.

BENEVIDES FILHO, Paulo Roberto Rodrigues et al. Potential soil remineralizers from silicate rock powders (SRP) as alternative sources of nutrients for agricultural production (Amazon Region). *Minerals, Basel*, v. 13, n. 10, p. 1255, 2023. DOI: [10.3390/min13101255](https://doi.org/10.3390/min13101255).

BICCA, Juliana Maciel et al. Clay stabilization and recovery of soil functions of a degraded solodic planosol through incorporation of agrominerals: A case study in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 122, p. 104177, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104177>.

BLASKOWSKI, Alessandra Elisa; RIOS, Débora Correia; CONCEIÇÃO, Herbert; MARIANI, Bruna Bueno. Potencial Agromineral das Rochas de Descarte da Mina de Cromita Ipueira, Bahia. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 42, n. 1, p. 355-373, 2018. Disponível em: http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_355_373. Acesso em: 10 jul. 2026.

BRAGA, Flávia Cristina Silveira et al. Feasibility evaluation of the use of mud residue from marble shop as soil remineralizer. *Geologia USP. Série Científica*, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 37-47, dez. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v23-209715>. Acesso em: 10 jul. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Gabinete da Ministra. Instrução Normativa nº 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. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 153, n. 49, p. 10-11, 14 mar. 2016.

BRASIL. Lei n. 6.138, de 26 de dezembro de 1974. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1970-1979/L6138impressao.htm. Acesso em: 09 out. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 11 dez. 2013. Disponível em: Planalto – Lei nº 12.890/2013. Acesso em: 8 jul. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. SIPEAGRO – Fertilizantes. Disponível em: <https://mapa-indicadores.agricultura.gov.br/publico/extensions/Fertilizantes/Fertilizantes.html>. Acesso em: 04 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 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. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 10–11, 14 mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Secretaria de Desenvolvimento Industrial, Inovação, Comércio e Serviços. Plano nacional de fertilizantes 2050: uma estratégia para os fertilizantes no Brasil. Brasília: SDIC/MGI, 2023. 197 p. ISBN 978-65-981379-4-6.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. Produção nacional de fertilizantes: estudo estratégico. Brasília: SAE-PR, 2020. 23 p.

BRITO, Rychaellen Silva de; BATISTA, Josimar Ferreira; MOREIRA, José Genivaldo do Vale; MORAES, Keilyson Naazio Oliveira; SILVA, Samara Oliveira da. Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação complementar. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, Rio Branco: UFAC, v. 6, n. 1, p. 528–540, 2019.

CAMARGO, C. K. et al. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2985-2994, 2012. DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2985.

CARDOSO, Victor M.; PFEIFER, Alberto; KENNEDY, Hugo J.; CHIODI, Luiz A.; JANK, Marcos Sawaya; GOMES, Guilherme C. Geopolítica global dos fertilizantes: impactos sobre o agronegócio brasileiro. São Paulo: Insper Agro Global, 2025. (Comércio Internacional, Working Paper n. 7/2025). Disponível em: <https://agro.insper.edu.br/>. Acesso em: 13 jan. 2026.

CARTER, Barry. Organic restoration minerals upgrade soil. In: GOREAU, Thomas J.; LARSON, Ronal W.; CAMPE, Joanna (ed.). *Geotherapy: innovative methods of soil fertility restoration, carbon sequestration, and reversing CO₂ increase*. Boca Raton: CRC Press, 2013. cap. 30, p. 503–520. DOI: 10.1201/b13788-30.

CASTRO, C.; LIMA, L. A.; MELAMED, R.; MARTINS, É. de S. Rochas brasileiras como fonte alternativa de potássio para a cultura do girassol. *Espaço & Geografia*, Brasília, v. 9, n. 2, p. 179–193, 2006.

CAVALCANTI, Francisco José de Albuquerque (coord.). *Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação*. 3. ed. rev. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), 2008. 212 p. ISBN 978-85-60827-01-5.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – CETEM. Insumos minerais para agricultura: inventário e cartografia (mapa). Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 1 mapa (esc. aprox. 1:5.000.000). Disponível em: https://www.cetem.gov.br/antigo/agrominerais/insumos_inv_cart.pdf. Acesso em: 16 jan. 2026.

CHIGLINO, L.; BALLESTERO, J.; CELIO, A.; PERDOMO, V.; BORCA, A. Basalts of the Arapey Group and their potential use as a source of agrominerals (stonemeal). *Agrociencia Uruguay*, v. 26, n. NE1, e505, 2022. DOI: <https://doi.org/10.31285/AGRO.26.505>.

CITADINE, Idemir; SILVEIRA, Carlos Augusto Posser; PENSO, Gener Augusto; PERTILLE, Rafael Henrique; CASSOL, Luís César. Shale-based matrix as an alternative fertilizer supplement for 'Iratí' plum. *Cleaner Materials*, v. 4, p. 100076, 2022. DOI: 10.1016/j.clema.2022.100076.

CORRÊA, R. S.; OLIVEIRA, C. G. Classificação dos remineralizadores. *Geologia USP. Série Científica*, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 23–37, 2024.

CURTIS, Janete Chaves Dellabeta; LUCHESE, Augusto Vaggetti; MISSIO, Robson Fernando. Application of soil remineralizer to poultry litter as an efficient and sustainable alternative for fertilizing maize crop. *Journal of Plant Nutrition*, v. 46, n. 3, p. 423-438, 2023. DOI: 10.1080/01904167.2022.2071728. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2071728>.

DANTAS, Caio Felipe Cavalcante; FERREIRA, Cibelle Christine Brito; CARVALHO, Rosilene da Costa Porto de; SANTOS, Flavia Naiane de Macedo; CARVALHO, Thanna Aryella Martins de. Benefícios do calcário agrícola na correção de acidez do solo. *Anais do II Congresso Norte-Nordeste de Ciências Agrárias* (on-line), Triunfo: Editora Omnis Scientia, v. 1, 2022. p. 38.

DE CARVALHO RIBEIRO, M. et al. Residual Effect of Silicate Agromineral Application on Soil Acidity, Mineral Availability, and Soybean Anatomy. *Agronomy*, v. 15, n. 1, art. 5, p. 1-24, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy15010005>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Elevadas doses de calcário no solo aumentam produtividade da soja no Matopiba. Teresina: Embrapa, 19 nov. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/95311323/elevadas-doses-de-calcario-no-solo-aumentam-produtividade-da-soja-no-matopiba>. Acesso em: 23 out. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Pesquisa brasileira avança no uso de remineralizadores no solo. Brasília, DF: Embrapa, 11 dez. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/85673644/pesquisa-brasileira-avanca-no-uso-de-remineralizadores-no-solo>. Acesso em: 12 out. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sobre o tema: agricultura familiar. Brasília, DF: Embrapa, [s.d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-agricultura-familiar>. Acesso em: 6 jul. 2026.

FAOSTAT. Estatísticas Agrícolas e Alimentares. 2023. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/major_commodities_exports. Acesso em: 09 out. 2025.

FARIAS, Pedro Igor Veillard; FREIRE, Estevão; CUNHA, Armando Lucas Cherem da; ANTUNES, Adelaide Maria de Souza. The strategic diagnosis of the potassium fertilizer industry in Brazil. *Journal of the Geological Survey of Brazil*, v. 4, n. 2, p. 107-121, Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.29396/jgsb.2021.v4.2.2>.

FOLETTTO, João Pedro; NOBRE, Augusto. Assessments on the Potential Use of Rhyolite Filler as a Soil Remineralizer in Agroecological Practices in the Fourth Colony of Italian Immigration, Rio Grande do Sul, Brazil. *Sustainability*, v. 17, n. 19, p. 8955, 9 out. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su17198955>. Acesso em: 10 jul. 2026.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6.ed. São Paulo, Editora Atlas. 2008.

GIRARDI, Eduardo Paulo. Agronegócio sucroenergético e desenvolvimento no Brasil. *Confins - Revue Franco-Brésilienne de Géographie / Revista Franco-Brasileira de Geografia*, Paris, v. 40, n. 40, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/184702>. Acesso em: 24 maio 2026.

GLOBALFERT. Outlook GlobalFert: 6º reporte anual do mercado de fertilizantes – 2025. [S.l.]: GlobalFert, 2025

GONÇALVES, José Sidnei; FERREIRA, Célia R. R. P. T.; SOUZA, Sueli Alves Moreira. Produção nacional de fertilizantes, processo de desconcentração regional e maior dependência externa. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 38, n. 8, p. 79–91, ago. 2008

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 105 p. ISSN 0103-6157

KRAHL, L. L.; VALADARES, L. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; MARCHI, G.; MARTINS, É. de S. Dissolution of silicate minerals and nutrient availability for corn grown successively. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 57, e01467, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.01467>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pab>. Acesso em: 10 jul. 2026.

KRAHL, Luise Lottici 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, e72376, 2022. Disponível em: <https://www.agro.ufg.br/pat>. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632022v5272376>.

KULAIF, Yara; FERNANDES, Francisco Rego Chaves. Panorama dos agrominerais no Brasil: atualidade e perspectivas. In: FERNANDES, Francisco Rego Chaves; LUZ, Adão Benvindo da; CASTILHOS, Zuleica Carmen (ed.). *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 1-44

MACHADO, Célia Cristina Clemente et al. Zoneamento Agrogeológico como Ferramenta para o Manejo Regional da Fertilidade de Solos Agrícolas Tropicais: Potencial das Rochas Ricas em Biotita na Paraíba-Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 6, p. 3105-3118, 2020. Disponível em: [suspicious link removed]. Acesso em: 10 jul. 2026.

MAGALHÃES, L. A. et al. Mapas prospectivos de ocorrência potencial de agrominerais silicáticos no Brasil. Campinas: Embrapa Territorial, 2024. (Comunicado Técnico, n. 46).

MARCHI, G.; GUELFI-SILVA, D.R.; MALAQUIAS, J.V.; GUILHERME, L.R.G.; SPEHAR, C.R.; MARTINS, E. de S. Solubility and availability of micronutrients extracted from silicate agrominerals. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.55, e00807, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.00807>[cite: 1].

MARTINAZZO, Rosane; SILVEIRA, Carlos Augusto Posser; BAMBERG, Adilson Luís; PILLON, Clenio Nailto. Pó de rocha, agrominerais e remineralizadores. In: *Alternativas para Diversificação da Agricultura Familiar de Base Ecológica*. Porto Alegre: Embrapa Clima Temperado, 2022. (Documentos, 527).

MARTINS, Éder de Souza; LOPES, Assis Roberto C.; NASCIMENTO, Marcelo Pereira; SANTOS, Wilton do; RESENDE, Ailton V.; KER, João Carlos. Efeito da aplicação dos remineralizadores no solo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 14, n. 4, p. 1902–1915, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p1902-1915>

MARTINS, Éder de Souza; THEODORO, Suzi Huff; BERNARDEZ, Frederico Fernandes Gonçalves; LUCHESE, Augusto Vagheti; BERGMANN, Magda; SIQUEIRA, Diego Silva; TEIXEIRA, Antônio; AZEVEDO, Antônio; CURTIS, Janete Chaves Dellabeta. Produção brasileira de remineralizadores e fertilizantes naturais: 2019 a 2023. *Revista Novo Solo*, Ano 3, Edição 6, p. 15–29, out. 2024. Associação Brasileira dos Produtores de Remineralizadores e Fertilizantes Naturais – ABREFEN.

MORETTI, Luiz Gustavo et al. Dunite solubilization kinetics in silicon-magnesium fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, v. 44, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1899214>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2021.1899214>. Acesso em: 10 jul. 2026.

NIVA, C. C. et al. Ecotoxicological assessment of silicate rock fertilizers using soil invertebrates. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 56, e01454, 2021. Temática Issue - Regional Agrominerals. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01454>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pab>. Acesso em: 10 jul. 2026.

OLIVEIRA, W. da S.; STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V. N. da; ARNAUD, T. S.; IZQUIERDO, C. G.; HERNÁNDEZ, T. Microbial fertilizer from PK rocks on lettuce nutrients and soil attributes in consecutive crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 56, e01371, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01371>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pab>. Acesso em: 10 jul. 2026.

PAULA, Caio de Almeida; CARVALHO, Caio Almeida; BRAGA, Marco Antônio; DAL' BÓ, Patrick Führ; LOUBACK, Viktor Souto et al. Aprimoramentos na caracterização de depósitos de fosfato utilizando perfilagem de poços no complexo alcalino-carbonatítico de Tapira, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 43, n. 2, 2025. DOI: <https://doi.org/10.22564/brjg.v43i2.2337>. Disponível em: <https://www.scopus.com/pages/publications/105021348807?origin=resultslist>. Acesso em: 27 mai. 2026.

RAYMUNDO, Valério et al. Resíduos de serragem de mármore como corretivo da acidez de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 47-53, 2013.

REIS, Betania Roqueto et al. Changes in soil bacterial community structure in a short-term trial with different silicate rock powders. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 11, n. 1, p. 61, abr. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00586-w>. Acesso em: 10 jul. 2026.

REIS, Renata Andrade et al. Machine learning allied to green tech analysis: Pioneering approaches for remineralizers and silicate fertilizers chemical composition assessment. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 49, e011825, 2025. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202549011825>. Acesso em: 10 jul. 2026.

RIBEIRO, M. de Carvalho; GANGA, A.; CATTANIO, I. S.; MARTINS, A. R.; ALVES, R. S.; LESSA, L. G. F.; PEREIRA, H. S.; GALINDO, F. S.; FILHO, M. C. M. T.; ABREU-JUNIOR, C. H.; et al. Residual effect of basalt rock dust application on soil acidity, mineral availability, silicon uptake, and rice leaf anatomy. *Journal of Cleaner Production*, v. 520, p. 146063, 2025. DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.146063.

RODRIGUES, José Avelino Santos; ALVARENGA, Ramon Costa; GONTIJO NETO, Mário Martins. A cultura do sorgo em sistemas integrados lavoura-pecuária ou lavoura-pecuária-floresta. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 14 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 172).

RODRIGUES, L. N. F. Resposta ao uso de agromineral silicático em sistema de semeadura direta, como remineralizador e corretivo do solo. 2023. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2023.

RODRIGUES, Letícia Nayara Fuzaro et al. Use of Soil Remineralizer to Replace Conventional Fertilizers: Effects on Soil Fertility, Enzymatic Parameters, and Soybean and Sorghum Productivity. *Agriculture*, v. 14, n. 12, p. 2153, 27 nov. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture14122153>.

SANTOS, Roseclenia Alves; REIS, Betania Roqueto; AZEVEDO, Antonio Carlos; SERMARINI, Renata Alcarde. Potential Errors in Cation Exchange Capacity Measurement in Soils Amended with Rock Dust: Two Case Studies. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 55, [s. l.], 17 out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2268650>. Acesso em: 10 jul. 2026.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). Panorama do potencial de minerais críticos e estratégicos do Brasil: edição 2025. Brasília: Serviço Geológico do Brasil, 2025.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Rochas. SGB – Serviço Geológico do Brasil. Publicado em 2015. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/rochas>. Acesso em: 17 nov. 2025.

SILVA, Priscila Brelaz da et al. Soil carbon and nitrogen in silicate agromineral-managed pasture: a seven-year study in the Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 60, e04133, p. 1-12, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2025.v60.04133>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pab>. Acesso em: 10 jul. 2026.

SILVA, Vinicius Ferreira da; ORIOLI, Thiago; DEMACQ, Lara Chrisiniano; COSTA, Chrystopher Fladson de Melo. Adubação NPK. 2023. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio) – ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior, Centro Paula Souza, Franca, 2023.

SOARES, J. P. G. et al. Pasture organic management using thermopotassium and thermophosphate in the Cerrado region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 56, e01469, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01469>.

STEPHENSON, Michael H. et al. Future cooperation in geoscience research between China and Africa: challenges and opportunities. *Earth Science Frontiers (Fronteiras em Ciências da Terra)*, v. 32, n. 1, p. 459-465, 2025. DOI: 10.13745/j.esf.sf.2024.12.37. Disponível em: <https://oversea.cnki.net/kcms2/article/abstract>. Acesso em: 10 jul. 2026.

STRAATEN, Peter. Rochas e minerais como fertilizantes alternativos na agricultura: uma experiência internacional. In: FERNANDES, Francisco Rego Chaves; LUZ, Adão Benvindo da; CASTILHOS, Zuleica Carmem (org.). *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT), 2007. cap. 13.

TELE, Lucas Santos Batista; CAMPOS, José Eloi Guimarães; RAMOS, Túlio Gabriel. Light on the origin of the verdete siltstone, Bambuí group, central Minas Gerais state, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 119, p. 103938, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103938>.

THEODORO, Suzi Huff. *Cartilha da rochagem*. 2. ed. rev. Brasília: Gráfica e Editora Ideal, 2020. 32 p. ISBN 978-85-89196-25-3.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. *World Population Prospects 2024: Summary of Results*. New York: United Nations, 2024. Disponível em: <http://www.unpopulation.org>. Acesso em: 10 jul. 2026.

VIANA, João H. M. et al. Evaluation of the agricultural potential of the serpentinite rock as a soil remineralizer. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 93, n. 3, e20201614, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120201614>.

ZHANG, Guanru et al. Revisão e perspectivas para a pesquisa agromineral na agricultura e mitigação climática. *Soil Research*, v. 56, n. 2, p. 113-122, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR17157>. Acesso em: 10 jul. 2026.