JOURNAL OF EDUCATION, SCIENCE AND HEALTH – JESH
Revista de Educação, Ciência e Saúde
DOI: https://www.doi.org/10.52832/jesh.v5i3.721
Home page: https://bio10publicacao.com.br/jesh
e-ISSN: 2763-6119

LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS TRADICIONAIS DE RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM EM SOLOS SEMIÁRIDOS DE PERNAMBUCO

LIMITATIONS OF TRADITIONAL LIMING RECOMMENDATION METHODS FOR SOILS IN THE SEMIARID REGION OF PERNAMBUCO

LIMITACIONES DE LOS MÉTODOS TRADICIONALES DE RECOMENDACIÓN DE ENCALADO EN SUELOS DEL SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO

Rafaela Felix da França[1*]; Diogo Paes da Costa[2]; Kaio Anderson Bezerra do Carmo[3]; Alexandre Tavares da Rocha[4]; Vanilson Pedro da Silva[5]; Matheus Filipe Alves da Silva[6]; Maria Liliane Braga da Silva[7]; Nilbe Carla Mapeli[8]; Cassiano Cremon[9]; José Romualdo de Sousa Lima[10]

[1]Dra. Agronomia Ciência do Solo (UFRRJ). Pesquisadora na UFAPE, Garanhuns, Pernambuco, Brasil; [2]Dr. em Ciências Solos e Nutrição de Plantas (ESALQ). Pesquisador na UFAPE, Garanhuns, Pernambuco, Brasil; [3,6,7]Mestrando em Produção Agrícola na UFAPE, Garanhuns, Pernambuco, Brasil; [4]Dr. em Ciência do Solo (UFRPE). Professor Titular na UFAPE, Garanhuns, Pernambuco, Brasil; [5]Ms. em Produção Agrícola (UFRPE). Técnico em Agropecuária na UFAPE, Garanhuns, Pernambuco, Brasil; [8]Dra. Fitotecnia- Produção Vegetal (UFV). Professora Adjunto na UNEMAT, Cáceres, Mato Grosso, Brasil; [9]Dr. em Ciência do Solo (UFGD). Professor Adjunto na UNEMAT, Cáceres, Mato Grosso, Brasil; [10]Dr. em Tecnologias Energéticas Nucleares (UFPE). Professor titular na UFAPE, Garanhuns, Pernambuco, Brasil
*Autor correspondente: rafaelaf-f@hotmail.com

Recebido: 10/07/2026 | **Aprovado**: 25/08/2026 | **Publicado**: 09/09/2026

Resumo: A acidez do solo é um dos principais fatores químicos limitantes da produção agrícola em regiões tropicais. No Brasil, os métodos de recomendação de calagem foram desenvolvidos sob condições de solos com maior capacidade tampão e regimes climáticos mais úmidos, o que restringe sua aplicação em ambientes semiáridos. No semiárido nordestino, forte heterogeneidade pedológica pode ser observada, com muitos solos apresentam baixa capacidade de troca catiônica (CTC), reduzido teor de matéria orgânica e baixa capacidade tampão, enquanto outros mantêm pH próximo da neutralidade em razão da limitada lixiviação de bases. Essa variabilidade torna inadequada a aplicação direta e indiscriminada dos métodos convencionais, exigindo abordagens mais ajustadas às condições locais. Este trabalho teve como objetivo discutir as limitações dos métodos tradicionais de calagem no semiárido pernambucano e analisar o potencial de abordagens recentes baseadas na CTC e na composição química dos corretivos. Trata-se de uma revisão bibliográfica de caráter analítico. Os resultados indicam que os métodos tradicionais podem subestimar ou superestimar as doses de corretivos e não consideram a variabilidade química dos materiais utilizados. As abordagens mais recentes representam avanço conceitual, porém ainda carecem de calibração para solos arenosos de baixa CTC, podendo resultar em aplicações excessivas. Este estudo concluiu que em grande parte dos sistemas agrícolas de sequeiro do semiárido, a limitação hídrica tende a exercer maior impacto produtivo do que a acidez do solo, reforçando a necessidade de estudos regionais para recomendações mais precisas.

Palavras-chave: Fertilidade química. Solos tropicais. Capacidade de retenção de nutrientes. Manejo de corretivos. Agricultura em ambientes secos.

Abstract: Soil acidity is one of the main chemical constraints on agricultural production in tropical regions. In Brazil, liming recommendation methods were developed under conditions of higher soil buffering capacity and more humid climates, which limits their applicability in semi-arid environments. In the semi-arid northeastern region, soils exhibit low cation exchange capacity (CEC), reduced organic matter content, and pH values often close to neutrality. These characteristics make the direct application of conventional methods inadequate, requiring approaches better adapted to local conditions. This study aimed to discuss the limitations of traditional liming methods in the semi-arid region of Pernambuco and to analyze the potential of recent approaches based on soil CEC and the chemical composition of liming materials. This is an analytical literature review. The results indicate that traditional methods may underestimate or overestimate lime requirements and do not consider the chemical variability of applied materials. Recent approaches represent a conceptual advance but still lack calibration for sandy soils with low CEC, potentially leading to excessive

applications. It is concluded that, in semi-arid agricultural systems, water limitation has a greater productive impact than soil acidity, highlighting the need for region-specific studies for more accurate recommendations.

Keywords: Chemical fertility. Tropical soils. Nutrient retention capacity. Soil amendment management. Dryland agriculture.

Resumen: La acidez del suelo es uno de los principales factores químicos limitantes de la producción agrícola en regiones tropicales. En Brasil, los métodos de recomendación de encalado fueron desarrollados bajo condiciones de suelos con mayor capacidad tampón y climas más húmedos, lo que limita su aplicación en ambientes semiáridos. En la región semiárida del noreste brasileño, los suelos presentan baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), bajo contenido de materia orgánica y valores de pH frecuentemente cercanos a la neutralidad. Estas características hacen inadecuada la aplicación directa de los métodos convencionales, requiriendo enfoques mejor adaptados a las condiciones locales. Este estudio tuvo como objetivo discutir las limitaciones de los métodos tradicionales de encalado en el semiárido de Pernambuco y analizar el potencial de enfoques recientes basados en la CIC y en la composición química de los materiales encalantes. Se trata de una revisión bibliográfica de carácter analítico. Los resultados indican que los métodos tradicionales pueden subestimar o sobreestimar las dosis de encalado y no consideran la variabilidad química de los materiales aplicados. Los enfoques recientes representan un avance conceptual, pero aún carecen de calibración para suelos arenosos de baja CIC, lo que puede conducir a aplicaciones excesivas. Se concluye que, en sistemas agrícolas del semiárido, la limitación hídrica tiene mayor impacto productivo que la acidez del suelo, lo que evidencia la necesidad de estudios regionales para recomendaciones más precisas.

Palabras clave: Fertilidad química. Suelos tropicales. Capacidad de retención de nutrientes. Manejo de enmiendas del suelo. Agricultura en zonas secas.

1 INTRODUÇÃO

A calagem é reconhecida como uma das práticas de manejo de maior impacto na agricultura tropical. Ao neutralizar o alumínio trocável (Al^{3+}), elevar o pH e aumentar a disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo, essa prática favorece o crescimento radicular e contribui para a maior resiliência das culturas em condições de déficit hídrico (Fageria & Baligar, 2008; Moraes *et al.*, 2023). Em grande parte dos solos agrícolas brasileiros, caracterizados por pH naturalmente inferior a 5,5 e elevados teores de Al^{3+}, a calagem constitui condição essencial para a manutenção da produtividade (Lopes & Guilherme, 2016; Moreira *et al.,* 2026).

Os métodos de recomendação de calagem consolidados no Brasil foram desenvolvidos com base em experimentos conduzidos principalmente em Latossolos do Cerrado e da região Sudeste. Os critérios mais usados são a saturação por bases (V%), sistematizada na relação pH-bases por Catani & Gallo (1955), a neutralização do Al^{3+} associada ao fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+}, proposta por Alvarez & Ribeiro (1999), e os critérios de pH de referência descritos por Raij *et al.* (1996). Apesar da ampla adoção, diversos estudos evidenciam limitações desses métodos, como sub ou superestimativa de doses, desconsideração da composição química dos corretivos e ausência de ajustes para correção em subsuperfície, especialmente em solos de baixa capacidade tampão (Guarçoni & Sobreira, 2017; Teixeira *et al.,* 2020).

O semiárido nordestino apresenta um contexto edafoclimático substancialmente distinto daquele em que esses métodos foram originalmente calibrados. A precipitação média oscila entre 300 e 800 mm anuais e a evapotranspiração potencial frequentemente ultrapassa os 2.000 mm (Melo & Voltolini, 2019). Em parte expressiva desses ambientes, o regime hídrico limita os processos de lixiviação de bases ao longo do perfil do solo, favorecendo a ocorrência de pH próximo à neutralidade ou levemente alcalino (Slessarev *et al.,* 2016). Nesse

contexto, a acidez do solo nem sempre representa o principal fator limitante da produção agrícola. Culturas como feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), amplamente cultivadas em sistemas de sequeiro no sertão pernambucano, têm sua produtividade frequentemente condicionada pela irregularidade pluviométrica, o que pode sobrepor o efeito de limitações químicas do solo em anos de baixa disponibilidade hídrica (Melo & Voltolini, 2019; Rane *et al.*, 2022). Compreender essas especificidades é fundamental para garantir recomendações de calagem tecnicamente adequadas e economicamente viáveis.

Recentemente, Moreira *et al.* (2026) propuseram um método alternativo baseado na saturação de cálcio na CTC a pH 7,0, incorporando o teor de CaO dos corretivos e contemplando a correção do perfil até 0,40 m de profundidade. Diante disso, este trabalho tem como objetivo analisar criticamente as limitações dos métodos tradicionais frente às particularidades dos solos e sistemas de cultivo do semiárido pernambucano, bem como discutir em que medida essa nova abordagem pode ser aplicada ou adaptada à realidade regional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo consiste em uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e analítico, com abordagem descritivo-interpretativa voltada à síntese crítica da literatura sobre calagem em solos do semiárido nordestino. O foco da análise recai sobre o estado de Pernambuco, considerando suas principais classes de solos, atributos químicos e físicos, culturas agrícolas de relevância regional e os métodos de recomendação de calagem adotados no Brasil.

A busca bibliográfica foi realizada nas bases PubMed, Scopus, Web of Science e Google Scholar, além do repositório Infoteca-e da Embrapa. Foram utilizados descritores em português e inglês relacionados ao tema, incluindo *"soil liming", "base saturation", "calcium saturation", "semiarid soils", "liming recommendation methods", "soil acidity northeastern Brazil", "calagem semiárido", "saturação por bases"* e *"solos Pernambuco"*.

O levantamento inicial resultou em 312 referências que, após a triagem, foram excluídos trabalhos sem revisão por pares, estudos fora do recorte temático ou geográfico, duplicatas entre bases e publicações anteriores a 2009 sem caráter clássico ou fundamental para a área. Ao final do processo, 122 artigos foram analisados dos quais 38 foram selecionados para composição da síntese final, com base na aderência ao tema e consistência metodológica. Foram priorizados estudos publicados entre 2009 e 2026, indexados em bases internacionais ou classificados entre Qualis A1 e B2, sem exclusão de obras clássicas fundamentais à fundamentação teórica.

A análise crítica do método proposto por Moreira *et al.* (2026) foi realizada a partir da leitura integral do artigo original. Complementarmente, dados de produtividade agrícola foram obtidos em bases oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Métodos tradicionais de recomendação de calagem: fundamentos e inconsistências

No Brasil, três métodos principais são empregados na recomendação de calagem: saturação por bases (V%), neutralização do Al^{3+} associada ao fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+}, e critérios baseados em pH de referência. O método V%, amplamente utilizado em São Paulo e na região Centro-Oeste, estima a dose de calcário necessária para elevar a saturação por bases do complexo sortivo a um valor alvo, geralmente em torno de 70%, considerando a CTC potencial e o poder relativo de neutralização total (PRNT) do corretivo (Catani & Gallo, 1955; Raij *et al.,* 1996; Cantarella *et al.,* 2022).

Guarçoni & Sobreira (2017), ao avaliarem três formulações clássicas e três algoritmos de cálculo em 600 amostras de solos cultivados com café em Minas Gerais, observaram variações expressivas entre as doses estimadas, concluindo que nenhum dos métodos garante, de forma consistente, simultaneamente a correção da acidez e o adequado suprimento de Ca e Mg. De forma semelhante, Teixeira *et al.* (2020) demonstraram que os métodos tradicionais tendem a subestimar as doses necessárias para atingir valores-alvo de pH, sobretudo em solos com baixo H+Al e reduzido teor de matéria orgânica, condições frequentes em solos arenosos do semiárido nordestino.

Uma limitação estrutural comum a esses métodos é a adoção do PRNT como principal parâmetro de correção, sem consideração da composição química do calcário. Assim, corretivos com idêntico poder neutralizante, porém diferentes teores de CaO e MgO, resultam em recomendações equivalentes, embora produzam respostas distintas no complexo de troca (Moreira *et al.,* 2026). Em solos de alta CTC e elevada capacidade tampão, essa simplificação tende a ter menor impacto agronômico (Fageria & Baligar, 2008), contudo, em solos arenosos, pequenas variações de dose podem resultar em alterações significativas de pH, com risco de supercalagem (Fageria & Stone, 2004; Teixeira *et al.,* 2020).

O método de neutralização do Al^{3+} associado ao fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+}, conforme sistematizado por Alvarez & Ribeiro (1999), apresenta limitação semelhante ao desconsiderar variações de textura e capacidade tampão. Em Neossolos Regolíticos do semiárido, com CTC inferior a 4 cmolc dm^{-3} (Santos et al., 2012), a resposta à calagem difere substancialmente daquela observada em Latossolos argilosos do Cerrado, condição não capturada pelo modelo (Fageria & Baligar, 2008; Teixeira et al., 2020).

No contexto do Cerrado, a eficiência da calagem em culturas anuais é amplamente documentada. Fageria (2001), em experimento de quatro anos em Latossolo Vermelho distrófico, observou incrementos significativos de produtividade em feijão, milho e soja com doses crescentes de calcário, sendo o nível econômico correspondente a 90% da produtividade máxima obtido com 5, 8 e 9 t ha^{-1}, respectivamente. Para o feijão, a calagem promoveu incremento de 21% em relação à testemunha. Esses resultados, entretanto, foram obtidos em ambientes com acidez pronunciada e maior capacidade tampão em comparação aos solos arenosos do semiárido.

3.2 Características dos solos semiáridos de Pernambuco e suas implicações para a calagem

Os solos do semiárido nordestino refletem a interação entre diversidade litológica e condições climáticas regionais (Silva *et al.,* 2022). No sertão pernambucano, predominam Neossolos Regolíticos, Planossolos, Luvissolos e Vertissolos, cujas características químicas e físicas variam conforme o material de origem (Cunha *et al.,* 2010; Silva *et al.,* 2022). Em áreas derivadas de rochas cristalinas, como granitos, gnaisses e quartzitos, predominam solos mais arenosos, com baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e pH variando de levemente ácido a neutro. Em contrapartida, materiais de origem básica, como mármores e anortositos, dão origem a solos com maiores teores de Ca e Mg e pH mais elevado (Silva *et al.,* 2022).

Nos Neossolos Regolíticos, a CTC frequentemente não ultrapassa 5 cmolc dm^{-3}, a fração argila é inferior a 100 g kg^{-1} e o teor de matéria orgânica é reduzido, resultando em baixa capacidade tampão (Santos et al., 2012). Essa condição torna o sistema altamente sensível a pequenas variações na aplicação de corretivos, podendo gerar oscilações expressivas de pH. Métodos calibrados para solos argilosos do Cerrado tendem a superestimar as doses nesses ambientes, aumentando o risco de supercalagem e redução da disponibilidade de micronutrientes como Zn, Mn, Fe e B (Fageria & Stone, 2004).

A dinâmica química desses solos é fortemente influenciada pelo balanço hídrico. Em condições nas quais a evapotranspiração potencial supera de forma consistente a precipitação anual, a lixiviação de bases é limitada e o pH tende a ser controlado pelo equilíbrio com carbonatos, permanecendo próximo ou acima da neutralidade (Slessarev *et al.,* 2016). Corrêa *et al.* (2009) observaram esse comportamento em áreas irrigadas do sertão pernambucano, com pH variando entre 6,0 e 7,5 e ausência de Al^{3+} como fator limitante.

Em solos com pH neutro a levemente alcalino, a elevação adicional promovida pela calagem pode ser desnecessária, sendo mais adequado o fornecimento específico de Ca ou Mg por fontes que não alterem significativamente a reação do solo, como gesso agrícola para Ca e sulfato de magnésio para Mg (Fageria & Baligar, 2008). A elevação excessiva do pH compromete a disponibilidade de micronutrientes e pode reduzir o potencial produtivo de culturas adaptadas à região (Fageria & Stone, 2004).

Souza *et al.* (2024), ao estimarem níveis críticos de nutrientes pelo método da linha de fronteira em solos de argila de alta atividade no semiárido brasileiro, identificaram pH 6,3 como limiar associado a 95% do rendimento relativo em culturas de sequeiro. Esse resultado é particularmente relevante, uma vez que muitos solos do semiárido pernambucano já atingem esse patamar naturalmente, mesmo sem aplicação de calcário. Nesse contexto, a calagem indiscriminada pode representar não apenas ineficiência agronômica, mas também risco econômico e ambiental desnecessário.

3.3 As culturas do semiárido e sua relação com a acidez do solo

As culturas predominantes nos sistemas de sequeiro do sertão pernambucano, feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), apresentam diferentes níveis de tolerância à acidez do solo e respostas variáveis à calagem, o que é determinante para a avaliação da adequação das recomendações de manejo na região.

O feijão-caupi é a leguminosa mais cultivada no semiárido nordestino, com área superior a 1,2 milhão de hectares (Embrapa, 2010). Em Pernambuco, segundo maior produtor da região, a produtividade média no ciclo 2022/23 foi de aproximadamente 423 kg ha^{-1}, valor inferior à média nacional de 702 kg ha^{-1} registrada no mesmo período (CONAB, 2022; IBGE, 2022).

Essa discrepância evidencia que a limitação produtiva predominante está associada ao regime hídrico irregular, mais do que às condições de acidez do solo. Embora o feijão-caupi apresente relativa tolerância à acidez, respostas positivas à calagem podem ocorrer em solos efetivamente ácidos, sobretudo quando a prática eleva a saturação por bases e o suprimento de Ca e Mg (Fernandes *et al.*, 2013; Rodrigues *et al.*, 2021). Em solos com pH próximo à neutralidade no semiárido, fontes de Ca com baixo efeito sobre o pH, como o gesso agrícola, e a suplementação específica de Mg, quando necessária, podem ser mais adequadas do que o calcário, evitando elevação desnecessária do pH.

O milho, embora mais sensível à acidez do solo, também apresenta sua produtividade fortemente condicionada pela disponibilidade hídrica em sistemas de sequeiro. No semiárido brasileiro, a produtividade média frequentemente permanece abaixo de 1.000 kg ha^{-1}, com elevada variabilidade interanual associada ao regime de chuvas (Lopes *et al.*, 2019).

Em estudo conduzido em Serra Talhada (PE), observou-se elevado custo de produção em sistemas tecnificados, com retorno econômico negativo em função da restrição hídrica no ciclo agrícola avaliado (Andrade *et al.,* 2024). Em contraste, respostas expressivas à calagem em milho, como as observadas por Fageria (2001) em Latossolo do Cerrado, com doses superiores a 6 t ha^{-1}, não são diretamente extrapoláveis ao semiárido, onde a baixa capacidade tampão dos solos arenosos pode resultar em elevação excessiva do pH (Moreira *et al.,* 2026). Nesse contexto, sistemas com rotação milho–feijão-caupi e uso de adubação verde têm mostrado maior contribuição para a sustentabilidade do sistema do que a calagem isolada (Embrapa, 2019).

O sorgo granífero (Sorghum bicolor), tem se destacado como alternativa nos sistemas de sequeiro do nordeste em função de sua rusticidade e maior tolerância ao déficit hídrico. A produção nacional atingiu 4,3 milhões de toneladas na safra 2023/24, com produtividade média de 3.507 kg ha^{-1} (IBGE, 2024). No semiárido, entretanto, os rendimentos são significativamente inferiores, refletindo a forte dependência do regime pluviométrico (Melo & Voltolini, 2019; Rane *et al.*, 2022). A cultura apresenta tolerância moderada à acidez, com resposta mais consistente à calagem em solos com pH abaixo de 5,5 (Butchee *et al.,* 2012). Em condições em que o pH já se encontra entre 6,0 e 7,0, como em áreas irrigadas do sertão pernambucano, a aplicação de calcário tende a ser agronomicamente dispensável (Corrêa *et al.*, 2009; Souza *et al.,* 2024).

Nas três culturas analisadas, a restrição hídrica tende a superar a acidez como fator limitante da produtividade em sistemas de sequeiro (Melo & Voltolini, 2019; Rane *et al.*, 2022). Isso não invalida a calagem como prática de manejo, mas indica que seu retorno econômico depende fortemente da distribuição das chuvas e que, em anos de estiagem severa, seu efeito tende a ser limitado pela disponibilidade hídrica (Rane *et al.,* 2022).

3.4 O método proposto por Moreira et al. (2026): avanços e limitações para o semiárido

A proposta de Moreira *et al.* (2026) surge como resposta a limitações já documentadas nos métodos convencionais de recomendação de calagem. O método da saturação por bases (V%), ao buscar elevar a participação da soma de bases na CTC a pH 7,0 até um valor-alvo, nem sempre assegura, em condições de campo, que os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} atinjam níveis agronomicamente adequados. A partir de sete experimentos conduzidos em quatro safras, em solos de Minas Gerais com CTC entre 3,6 e 9,5 $cmol_c\ dm^{-3}$, os autores observaram que a saturação de 60% de Ca na CTC a pH 7,0 apresentou melhor correlação com 95% do rendimento relativo das culturas avaliadas. A metodologia incorpora ainda o teor de CaO do calcário e permite a estimativa de doses distintas para as camadas de 0–0,20 m e 0,20–0,40 m.

O principal avanço conceitual do modelo reside na incorporação da composição química do corretivo. Calcários com o mesmo PRNT, mas com teores distintos de CaO (por exemplo, 44% e 32%), produzem efeitos diferenciados sobre o complexo de troca, diferença não contemplada pelo método da soma de bases e capturada pela nova abordagem. Adicionalmente, a recomendação para a camada subsuperficial é agronomicamente relevante, uma vez que Moraes *et al.* (2023) observaram aumento do crescimento radicular e da produtividade de culturas com incorporação do corretivo até 0,40 m em solos tropicais altamente intemperizados.

Apesar desses avanços, a aplicabilidade do método ao semiárido é limitada. Os experimentos foram conduzidos sob condições de solos argilosos e maior disponibilidade hídrica (Moreira *et al.,* 2026), contrastando com os Neossolos Regolíticos do sertão pernambucano, onde a disponibilidade de água é substancialmente menor e a CTC frequentemente é inferior a 4 $cmolc\ dm^{-3}$ (Melo & Voltolini, 2019; Santos *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2022). Nessas condições, os valores críticos de saturação de Ca (60% na camada 0–0,20 m e 39% na camada 0–0,40 m) carecem de calibração regional. A aplicação direta pode resultar em doses excessivas, com potencial elevação do pH acima de 7,0.

O próprio estudo reconhece que, em ambientes com elevados teores naturais de Ca^{2+} e pH próximo ou acima da neutralidade, condição frequente em partes do semiárido, a aplicação da equação pode resultar em necessidade nula ou negativa de calagem, evidenciando sua restrição de uso fora do contexto experimental original. Soma-se a isso a exigência de incorporação mecânica até 0,40 m, dependente de subsoladores e implementos de maior porte, geralmente indisponíveis para a agricultura familiar regional (Anjos & Melo, 2019; Melo & Voltolini, 2019). Em ausência de incorporação, a mobilidade do calcário no perfil é limitada mesmo em condições úmidas (Li *et al.,* 2019), tornando-se ainda mais restrita em ambientes de baixa precipitação como o semiárido.

3.5 Perspectivas e caminhos para o avanço das recomendações regionais

Em áreas do semiárido onde predominam solos derivados de granitos, gnaisses e quartzitos, em geral mais arenosos, com baixa capacidade de troca catiônica e reação ácida mais frequente, a calagem se mantém tecnicamente necessária em muitos casos. Nesse cenário, a proposta de Moreira *et al.* (2026), ao incorporar a saturação de cálcio e a composição química do corretivo, apresenta coerência com as demandas práticas de manejo desses solos, especialmente quando se considera a variabilidade dos materiais disponíveis. O nível crítico de 55

mmolc dm^{-3} de Ca, descrito por Souza et al. (2024) para solos de argila de alta atividade no semiárido, constitui referência útil, mas deve ser interpretado com cautela quando extrapolado para Neossolos arenosos e de baixa CTC.

Ainda assim, a limitação central para a aplicação consistente de qualquer método, seja tradicional ou o mais recente, continua sendo a escassez de dados experimentais gerados nas condições reais do sertão. São poucos os estudos que integram de forma simultânea doses de calcário, dinâmica de Ca e Mg, comportamento do pH e resposta produtiva das culturas mais representativas nas diferentes classes de solo da região. Dentro desse contexto, abordagens como a metodologia da linha de fronteira (Souza *et al.,* 2024) e a avaliação comparativa de algoritmos de recomendação (Guarçoni & Sobreira, 2017; Teixeira *et al.,* 2020) oferecem caminhos mais consistentes para avanços na calibração regional dos métodos de recomendação.

O uso de mapeamento geoestatístico da variabilidade espacial de pH e CTC, associado a ferramentas de agricultura de precisão, pode subsidiar recomendações diferenciadas em nível de zona de manejo (Hurtado *et al.*, 2009; Oldoni & Bassoi, 2016; Oliveira *et al.*, 2022). Em ambientes semiáridos, onde a variabilidade pedológica pode ocorrer em escalas espaciais reduzidas, essa abordagem tende a aumentar a eficiência no uso de insumos e a diminuir o risco de recomendações uniformes inadequadas dentro do mesmo talhão.

Sob a perspectiva econômica, métodos que implicam maior demanda de corretivos precisam demonstrar viabilidade financeira antes de sua adoção em larga escala. O custo do calcário e do transporte, especialmente em municípios distantes de polos de produção mineral, representa um fator restritivo relevante em sistemas de sequeiro com produtividade limitada pelo regime pluviométrico.

Até que haja maior consolidação de dados regionais, a recomendação mais prudente envolve a adoção de doses conservadoras, com avaliação individualizada das propriedades do solo e preferência por fontes de Ca e, quando necessário, Mg que não promovam elevação excessiva do pH em solos já próximos da neutralidade (Fageria & Baligar, 2008; Corrêa *et al.*, 2009).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos tradicionais de recomendação de calagem foram desenvolvidos com base em solos argilosos e ambientes de maior disponibilidade hídrica, o que limita sua adequação aos solos arenosos do semiárido nordestino, com risco de supercalagem e desequilíbrios na disponibilidade de nutrientes.

O método proposto por Moreira *et al.* (2026) representa avanço conceitual ao incorporar a composição química do calcário e considerar a correção em profundidade. No entanto, sua aplicação no semiárido ainda é limitada pela ausência de calibração regional e por restrições operacionais associadas ao manejo do corretivo em sistemas de baixa tecnificação.

Em grande parte dos sistemas de sequeiro com feijão-caupi, milho e sorgo, a limitação hídrica exerce maior influência sobre a produtividade do que a acidez do solo, o que reduz significativamente o retorno agronômico da calagem quando não sustentada por dados locais consistentes.

Diante disso, a adoção de qualquer método de recomendação no semiárido, seja ele tradicional ou o recentemente proposto, deve ser condicionada à validação regional. Sem essa etapa, há risco de decisões de manejo baseadas em extrapolações de ambientes pedoclimáticos distintos, com implicações agronômicas e econômicas potencialmente negativas para os sistemas de produção da região.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico (CNPq) - Brasil e a Fundação de Amparo á Ciência e a Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) - APQ-0355-5.01/25. Agradecemos também a Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE) e a Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT).

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesse. Todos os autores estão cientes da submissão do artigo.

Contribuições dos autores

Rafaela Felix da França: concepção, levantamento bibliográfico, análise crítica e redação; **Diogo Paes da Costa**: análise técnica, redação e revisão; **Kaio Anderson Bezerra do Carmo**: análise técnica, interpretação dos resultados e revisão crítica. **Alexandre Tavares da Rocha**: desenvolvimento metodológico, coleta de informações e revisão textual. **Vanilson Pedro da Silva**: discussão dos resultados e revisão científica. **Matheus Filipe Alves da Silva**: apoio na fundamentação teórica, normalização e formatação do artigo. **Maria Liliane Braga da Silva**: revisão bibliográfica, análise crítica e adequação metodológica. **José Romualdo de Sousa Lima**: redação, revisão ortográfica e contribuições na discussão científica. **Nilbe Carla Mapeli:** supervisão técnica, validação das informações e revisão final. **Cassiano Cremon**: supervisão técnica, validação das informações e revisão final.

REFERÊNCIAS

Alvarez, V. H., & Ribeiro, A. C. (1999). Calagem. In A. C. Ribeiro, P. T. G. Guimarães, & V. H. Alvarez (Eds.), *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação* (pp. 43-60). CFSEMG.

Andrade, M. F., da Silva Siqueira, T., de França, J. G. E., Silva, K. S., do Nascimento, A. D. L., da Silva, M. A. D., & Simplício, J. B. (2024). Custo de produção e viabilidade econômica do cultivo de milho de alta tecnologia no semiárido pernambucano. Revista de Gestão e Secretariado, 15(4), e3655. https://doi.org/10.7769/gesec.v15i4.3655

Anjos, J. B., & Melo, R. F. (2019). Máquinas, implementos e equipamentos utilizados na agricultura familiar. In R. F. Melo & T. V. Voltolini (Eds.), *Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido* (pp. 173-186). Embrapa.

Butchee, K., Arnall, D. B., Sutradhar, A., Godsey, C., Zhang, H., & Penn, C. (2012). Determining critical soil pH for grain sorghum production. *International Journal of Agronomy*, 2012, 130254. https://doi.org/10.1155/2012/130254

Cantarella, H., Quaggio, J. A., Mattos Jr., D., Boaretto, R. M., & van Raij, B. (2022). *Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo* (3. ed.). Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

Catani, R. A., & Gallo, J. R. (1955). Avaliação da exigência de calcário dos solos do Estado de São Paulo mediante a correlação entre o pH e a saturação de bases. *Revista da Agricultura*, 30, 49-60.

Companhia Nacional de Abastecimento. (2022). Pernambuco – safra de feijão deverá crescer 13% em produção e produtividade. *Boletim da Safra de Grãos*. https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4777

Corrêa, R. M., Freire, M. B. G. S., Ferreira, R. L. C., Freire, F. J., Pessoa, L. G. M., Miranda, M. A., & Melo, D. V. M. (2009). Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(2), 305-314. https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000200008

Cunha, T. J. F., Petrere, V. G., Silva, D. J., Mendes, A. M. S., Melo, R. F., Oliveira Neto, M. B., Silva, M. S. L., & Alvarez, I. A. (2010). Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In I. B. Sá & P. C. G. Silva (Eds.), *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação* (pp. 49-87). Embrapa Semiárido.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2010). *Feijão-caupi: estatísticas da produção*. https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2019). *Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido*. Embrapa Semiárido. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1114220

Fageria, N. K. (2001). Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(11), 1419-1424. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001001100013

Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2008). Ameliorating soil acidity of tropical oxisols by liming for sustainable crop production. *Advances in Agronomy*, 99, 345-399. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00407-0

Fageria, N. K., & Stone, L. F. (2004). Produtividade de feijão no sistema plantio direto com aplicação de calcário e zinco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(1), 73-78. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000100011

Fernandes, A. R., Fonseca, M. R., & Braz, A. M. S. (2013). Produtividade de feijão caupi em função da calagem e fósforo. *Revista Caatinga*, v. 26, n. 4, p. 54-62.

Guarçoni, A., & Sobreira, F. M. (2017). Classical methods and calculation algorithms for determining lime requirements. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 41, e0160069. https://doi.org/10.1590/18069657RBCS20160069

Hurtado, S. M. C., Silva, C. A., Resende, Á. V., Von Pinho, R. G., Inácio, E. S. B., & Higashikawa, F. S. (2009). Spatial variability of soil acidity attributes and the spatialization of liming requirement for corn. *Ciência e Agrotecnologia*, 33(5), 1351-1359. https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000500022

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Levantamento sistemático da produção agrícola: feijão-caupi*. IBGE.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2024). *Levantamento sistemático da produção agrícola: sorgo*. IBGE.

Li, Y., Cui, S., Chang, S. X., & Zhang, Q. (2019). Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, 19(3), 1393-1406. https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2

Lopes, A. S., & Guilherme, L. R. G. (2016). A career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil. *Advances in Agronomy*, 137, 1-72. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.004

Lopes, J. R. F., Dantas, M. P., & Ferreira, F. E. P. (2019). Variabilidade da precipitação pluvial e produtividade do milho no semiárido brasileiro através da análise multivariada. Nativa, 7(1), 77-83. https://doi.org/10.31413/nativa.v7i1.6243

Melo, R. F., & Voltolini, T. V. (Eds.). (2019). *Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido*. Embrapa. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1114220

Moraes, F. A., Moreira, S. G., Peixoto, D. S., Silva, J. C. R., Macedo, J. R., Silva, M. M., Silva, B. M., Sanchez, P. A., & Nunes, M. R. (2023). Lime incorporation up to 40 cm deep increases root growth and crop yield in highly weathered tropical soils. *European Journal of Agronomy*, 144, 126763. https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126763

Moreira, S. G., Gaudencio, J. R. F., Moraes, F. A., Morais, E. G., Peixoto, D. S., Resende, H. C., Silva, J. C. R., & Campos, O. L. V. (2026). A practical method for estimating liming requirements based on soil chemical attributes and limestone composition. *Soil & Tillage Research*, 255, 106816. https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106816

Oldoni, H., & Bassoi, L. H. (2016). Delineation of irrigation management zones in a Quartzipsamment of the Brazilian semiarid region. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 51(9), 1283-1294. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900028

Oliveira, A. L. G., Lima, J. P., Brasco, T. L., & Amaral, L. R. (2022). The importance of modeling the effects of trend and anisotropy on soil fertility maps. *Computers and Electronics in Agriculture*, 196, 106877. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106877

Raij, B. V., Cantarella, H., Quaggio, J. A., & Furlani, A. M. C. (1996). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo* (2. ed.). IAC. (Boletim Técnico, 100).

Rane, J., Singh, A. K., Tiwari, M., Prasad, P. V. V., & Jagadish, S. V. K. (2022). Effective use of water in crop plants in dryland agriculture: Implications of reactive oxygen species and antioxidative system. *Frontiers in Plant Science*, 12, 778270. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.778270

Rodrigues, J. E. L. F., Araujo, S. M. B., Teixeira, R. N. G., Oliveira, R. P., Rodrigues, M. C. S. F., & Lima, M. W. (2021). Efeito da calagem na saturação de bases, nos atributos da fertilidade do solo e na produtividade de feijão-caupi [Vigna unguiculata (L.) Walp] no estado do Pará. Revista Vale do Rio Verde, 20(2). http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1173104

Santos, J. C. B., Souza Júnior, V. S., Corrêa, M. M., Ribeiro, M. R., Almeida, M. C., & Borges, L. E. P. (2012). Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(3), 683-695. https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300001

Silva, R. J. A. B., Silva, Y. J. A. B., van Straaten, P., Nascimento, C. W. A., Biondi, C. M., Silva, Y. J. A. B., & Araújo Filho, J. C. (2022). Influence of parent material on soil chemical characteristics in a semi-arid tropical region of Northeast Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(5), 331. https://doi.org/10.1007/s10661-022-09914-9

Slessarev, E. W., Lin, Y., Bingham, N. L., Johnson, J. E., Dai, Y., Schimel, J. P., & Chadwick, O. A. (2016). Water balance creates a threshold in soil pH at the global scale. *Nature*, 540, 567-569. https://doi.org/10.1038/nature20139

Souza, H. A., Lima Neto, A. J., Pompeu, R. C. F. F., Guedes, F. L., Tonucci, R. G., Cavalcante, A. N. R., Natale, W., Valladares, G. S., Escobar, M. E. O., Rodrigues, H. C. A., Andrade, H. A. F., Oliveira, J. O. L., & Sagrilo, E. (2024). Critical levels and fertility classes of soils with high-activity clay in the Brazilian semi-arid region. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 48, e0230154. https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230154

Teixeira, W. G., Alvarez, V. H., & Neves, J. C. L. (2020). New methods for estimating lime requirement to attain desirable pH values in Brazilian soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 44, e0200008. https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200008