



**INSTITUTO
FEDERAL**

Piauí

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS URUÇUÍ
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

JAIRO DA SILVA COSTA FILHO

**MÉTODOS DE RECOMENDAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALAGEM:
revisão comparativa dos métodos e dos parâmetros empregados**

URUÇUÍ-PI

2025

JAIRO DA SILVA COSTA FILHO

**MÉTODOS DE RECOMENDAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALAGEM:
revisão comparativa dos métodos e dos parâmetros empregados**

Trabalho de conclusão de curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, campus Uruçuí.

Orientador: Prof°. Dr°. Vinícius Ribamar Alencar Macedo

**URUÇUÍ-PI
2025**

MÉTODOS DE RECOMENDAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALAGEM: revisão comparativa dos métodos e dos parâmetros empregados

Jairo da Silva Costa Filho¹
Drº. Vinícius Ribamar Alencar Macedo²

RESUMO

A acidez do solo é um dos principais fatores limitantes da produtividade agrícola, especialmente em regiões tropicais e subtropicais, onde o intenso intemperismo e a elevada pluviosidade favorecem a perda de bases e o aumento da acidez potencial. Nesse contexto, a calagem constitui a principal prática para correção da acidez do solo, sendo fundamental para a melhoria da disponibilidade de nutrientes e para o desenvolvimento das culturas. Diante da diversidade de métodos existentes, este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica comparativa dos métodos de recomendação da necessidade de calagem e dos parâmetros empregados em seus cálculos, evidenciando suas bases conceituais, vantagens e limitações. A metodologia adotada consistiu em revisão de literatura, com seleção de artigos científicos, livros e boletins técnicos de reconhecida relevância e frequentemente citados na literatura especializada, tanto clássicos quanto atuais sobre o tema. Destacam-se, entre as principais referências analisadas, os trabalhos de Raij et al., Quaggio, Sanchez, Campanharo et al., Sousa et al., Primavesi et al. e Silva, que abordam métodos como a elevação da saturação por bases, a neutralização do alumínio e o uso de soluções tampão. Os resultados da revisão indicam que a escolha do método de recomendação influencia significativamente as doses de corretivos aplicadas, devendo considerar as características químicas do solo, o sistema de manejo e os objetivos de produção. Assim, o estudo reforça a relevância da correta seleção do método de calagem como ferramenta essencial para o uso eficiente e sustentável do solo agrícola.

Palavras-Chave: Calcário; Saturação por bases; Acidez; Correção

ABSTRACT

Soil acidity is one of the main limiting factors for agricultural productivity, especially in tropical and subtropical regions, where intense weathering and high rainfall promote base leaching and increase potential acidity. In this context, liming represents the main practice for soil acidity correction, being essential to improve nutrient availability and crop development. Given the diversity of existing methods to estimate lime requirement, this study aimed to carry out a comparative bibliographic review of lime requirement recommendation methods and the parameters used in their calculations, highlighting their conceptual bases, advantages, and limitations. The methodology consisted of a literature review, with the selection of scientific articles, books, and technical bulletins of recognized relevance and frequently cited in specialized literature, including both classical and recent studies on the subject. Among the main references analyzed are the works of Raij et al., Quaggio, Sanchez, Campanharo et al., Sousa et al., Primavesi et al., and Silva, which address methods such as base saturation increase, aluminum neutralization, and the use of buffer solutions. The results of the review indicate that the choice of recommendation method significantly influences the lime rates applied and should consider soil chemical characteristics, management system, and production goals. Thus, this study reinforces the importance of correctly selecting the liming method as an essential tool for the efficient and sustainable use of agricultural soils.

Keywords: Limestone; Base saturation; Acidity; Correction.

Data de aprovação: 11/12/2025

1 INTRODUÇÃO

A acidez do solo é um dos principais limitadores de produtividade agrícola, sendo essa condição comum em duas faixas do planeta, uma é no hemisfério norte, que cobre regiões frias/temperadas úmidas, incluindo partes da América do Norte, Sul da Ásia e Rússia e outra no Hemisfério Sul, em regiões tropicais e úmidas onde possui altos índices de precipitação, incluindo o Sul da África, Austrália, partes da Nova Zelândia

e Sul da América, onde se encontra o Brasil (Sanchez, Rubio, Martinez, 2021). Isso se deve a interação entre o material de origem dos solos com as suas características climáticas, como altas temperaturas e umidade, que favorece a decomposição e mineralização da matéria orgânica. Esse processo, somado ao alto grau de intemperismo dos solos, resulta na perda das bases na composição da CTC, e dá espaço a uma elevada saturação por alumínio, a íons de H^+ e reduzindo a fertilidade natural do solo e tornando-o ácido (Silva, 2021).

A acidez do solo está relacionada com a quantidade de íons de hidrogênio (H^+) no ambiente edáfico, sendo medida pelo potencial hidrogeniônico (pH), que é numerado em uma escala de 0 a 14. Quando o número é abaixo de 7 o solo é considerado ácido, quando for 7 ele é considerado neutro, e acima de 7 é alcalino. Solos muito ácidos tornam alguns nutrientes indisponíveis, como o cálcio, fósforo, magnésio, potássio e molibdênio, e solos com o pH muito elevado podem tornar indisponíveis alguns micronutrientes. Assim a faixa ideal do pH está situada entre 5,5 e 6,5, pois torna a disponibilidade dos nutrientes vantajosa para a maioria das culturas (Veloso, 2020).

A calagem é o processo de aplicação de calcário, composto por carbonatos de cálcio e magnésio, que eleva o pH e contribui para a melhoria da fertilidade e qualidade do solo. O calcário é o corretivo mais utilizado na agricultura (FIDELIS, 2017), isso se deve ao seu grande leque de disponibilidade e ao seu custo relativamente baixo. Um dos fatores que afeta a eficiência da calagem é a escolha do calcário, que pode ser classificado em três tipos de acordo com os níveis de MgO (%) e de CaO (%). O calcário que possui entre 1 e 5% de MgO e entre 45 a 55 % de CaO é classificado como calcítico. Se tiver entre 5 e 12 % de MgO e de 40 a 42% de CaO é classificado como magnesiano, e por último, calcário que possuir entre 13 e 21% de MgO e de 25 a 35% de CaO é classificado como dolomítico (EMBRAPA, 2025).

Outras características do calcário de grande importância incluem a granulometria, a qual influencia diretamente a sua reatividade (RE) e o poder relativo de neutralização total (PRNT). A granulometria afeta a velocidade de reação do corretivo no solo, uma vez que partículas de menor tamanho apresentam maior área de contato, resultando em reação mais rápida. O poder relativo de neutralização total (PRNT) expressa o percentual do calcário que reage no solo em um período de 3 meses e é determinado pela combinação entre o poder de neutralização (PN),

relacionado à composição química do corretivo, e a reatividade (RE), associada à sua granulometria, conforme mostra a Equação:

$$\text{PRNT (\%)} = (\text{PN} \times \text{RE}) / 100 \quad (1)$$

Em que PN corresponde à capacidade química do corretivo em neutralizar a acidez, expressa em porcentagem, e RE representa a fração do material efetivamente reativa no solo, determinada pela distribuição granulométrica das partículas (PRIMAVESI et al., 2004; EMBRAPA, 2021). Em relação ao PRNT, valores mais baixos indicam menor eficiência neutralizante imediata, porém maior efeito residual do calcário, o que implica na recomendação de doses mais elevadas (Primavesi et al., 2004).

Outro fator determinante na quantidade de calcário recomendada é o método a ser utilizado, pois a depender das características do solo, os resultados podem variar entre os métodos. Isso é reflexo dos parâmetros que são levados em consideração para realização dos cálculos de cada método, uma vez que os métodos mais adequados ao tipo e ao grau de acidez de determinado solo tendem a apresentar maior eficiência, a qual pode variar em função das características químicas e mineralógicas do solo. Os principais métodos usados são a curva de incubação, neutralização do alumínio, elevação do teor de cálcio e magnésio trocável, elevação da saturação por bases e o método SMP (ARAUJO, 2021).

Este trabalho tem como objetivo analisar comparativamente os principais métodos de recomendação de necessidade de calagem do Brasil, destacando as diferenças nos parâmetros usados e sua influência na eficiência da recomendação. Para isso, serão descritos conceitos básicos relacionados a acidez do solo e processo da calagem, além da devida caracterização e limitações dos métodos de recomendação e dos parâmetros usados para realização de cada cálculo.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia do presente trabalho consistiu em uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e comparativo. A busca por referências foi realizada em bases de dados científicas nacionais e internacionais, incluindo Google Acadêmico, SciELO, Periódicos CAPES e o portal da Embrapa. Foram utilizadas como palavras-chave:

“calagem”, “necessidade de calagem”, “métodos de recomendação de calagem”, “acidez do solo”, “saturação por bases” e “alumínio trocável”, em português e inglês.

A partir da aplicação dessas palavras-chave, foram identificados aproximadamente 40 trabalhos com títulos relacionados ao tema. Após a leitura dos resumos, foram excluídos os estudos que não apresentavam relação direta com os objetivos desta revisão, sendo selecionados 11 estudos que abordavam métodos de recomendação da necessidade de calagem para leitura completa, 23 de trabalhos utilizados para a leitura de capítulos específicos voltados à conceituação e ao embasamento teórico. Também foram utilizados livros clássicos e amplamente reconhecidos na área de fertilidade do solo, que são o Relações solo-planta: bases para a nutrição e produção vegetal (Sanchez et al., 2021), Cerrado: correção do solo e adubação (Sousa et al., 2004) e Fertilidade do solo (Sousa et al., 2007).

Os critérios de qualidade e confiabilidade adotados incluíram a publicação em periódicos científicos, livros técnicos reconhecidos, boletins oficiais de instituições de pesquisa e a recorrência de citação na literatura especializada. A relevância dos estudos foi definida com base na contribuição teórica e prática para a compreensão dos fundamentos dos métodos de recomendação de calagem, dos parâmetros utilizados nos cálculos e das limitações de cada método, tratando-se tanto de trabalhos clássicos quanto estudos mais recentes. As informações selecionadas foram organizadas de forma temática, contemplando os conceitos básicos de acidez do solo, a eficiência da calagem, a descrição dos diferentes métodos de recomendação da necessidade de calagem, a comparação entre esses métodos e os parâmetros considerados em seus cálculos.

3 ACIDEZ DO SOLO

A acidez do solo está diretamente relacionada à concentração de íons hidrogênio (H^+) no ambiente edáfico. Quanto maior a concentração desses íons na solução do solo, mais ácido será o ambiente, enquanto concentrações menores resultam em condições próximas à neutralidade ou alcalinidade. A acidez é expressa pelo potencial hidrogeniônico (pH), que varia em uma escala de 0 a 14, sendo considerados ácidos os solos com pH inferior a 7, neutros aqueles com pH igual a 7 e alcalinos os solos com pH superior a esse valor. O pH do solo exerce influência direta sobre a produtividade das culturas, uma vez que controla a disponibilidade de

nutrientes, a atividade microbiana e a toxicidade de determinados elementos, como o alumínio (RAIJ, 1981; SOUSA et al., 2007).

Em solos com pH baixo, a disponibilidade de nutrientes essenciais como cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo (P) é reduzida, enquanto ocorre o aumento da solubilidade de alumínio (Al^{3+}) e manganês (Mn^{2+}), elementos que podem causar efeitos tóxicos às plantas e comprometer o crescimento radicular, a absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, a produtividade das culturas (KAMPRATH, 1967; MALAVOLTA, 2006). Por outro lado, em solos com pH elevado ou próximo à neutralidade, micronutrientes como ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) tornam-se menos disponíveis devido à precipitação ou adsorção em formas pouco solúveis. Dessa forma, a faixa de pH considerada mais favorável para a maioria das culturas agrícolas situa-se entre 5,5 e 6,5, por proporcionar maior equilíbrio na disponibilidade de nutrientes e menor risco de toxicidade (VELOSO, 2020).

A acidificação do solo pode ocorrer por diferentes processos naturais e antrópicos, tais como a lixiviação de bases provocada pela precipitação pluvial, o uso contínuo de fertilizantes nitrogenados acidificantes, a decomposição da matéria orgânica e a natureza do material de origem do solo. Esses fatores contribuem para a tendência natural de acidificação ao longo do tempo, especialmente em solos altamente intemperizados das regiões tropicais (SANCHEZ et al., 2021). A acidez do solo pode ser classificada em acidez ativa e acidez potencial. A acidez ativa corresponde à concentração de íons H^+ presentes na solução do solo, sendo diretamente mensurada pelo pH. Já a acidez potencial representa uma reserva de acidez associada aos colóides do solo, podendo ser subdividida em acidez potencial trocável, relacionada principalmente ao alumínio adsorvido às superfícies coloidais, e acidez potencial não trocável, constituída pelo hidrogênio ligado de forma mais estável a esses colóides. A compreensão dessas formas de acidez é fundamental para o manejo da fertilidade do solo e para a definição adequada das práticas de correção da acidez, como a calagem (SOUSA et al., 2007; RAIJ, 1981).

4 CALAGEM

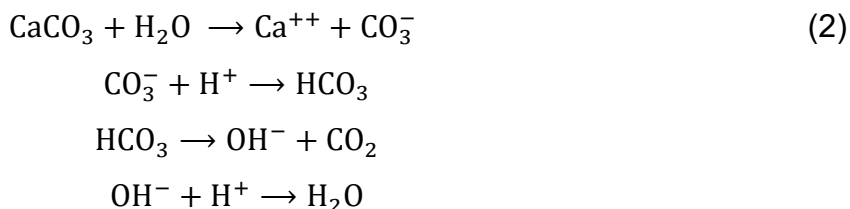
A calagem é uma prática amplamente utilizada na agricultura para corrigir a acidez do solo, promovendo melhorias químicas significativas, como o fornecimento de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), aumentando a disponibilidade de nutrientes

essenciais e reduzindo a toxicidade do alumínio, que, em pH inferior a 5,5, apresenta alta solubilidade, causando danos ao desenvolvimento das raízes devido à interferência no processo de divisão celular das plantas (KOCHIAN, 1995). Essa prática também contribui para a melhoria dos atributos físicos do solo, substituindo íons como alumínio (Al) e hidrogênio (H) adsorvidos nos coloides por Ca e Mg, que promovem a formação de agregados relativamente estáveis. Esse processo reduz a densidade do solo e melhora a macroporosidade, favorecendo a infiltração de água e a aeração (JUNIOR et al., 2020). Além disso, a calagem impacta positivamente na abundância e na composição de comunidades biológicas no solo, incluindo bactérias e minhocas, influenciando na manutenção da saúde do ecossistema (HOLLAND et al., 2017).

Os corretivos elevam o pH pois são materiais que tem a capacidade de neutralizar os íons H^+ e aumentar a concentração de OH^- no solo. Além disso, esses materiais tem a capacidade de agir na acidez potencial, neutralizando o alumínio e o hidrogênio adsorvidos nos coloides do solo. Existem diversos tipos de corretivos, como a cal virgem, cal hidratada e a escórias de siderurgias, porém, o mais importante na agricultura é o calcário, que é um produto de baixa solubilidade e mobilidade, obtido da moagem de rochas calcárias, que adquirem essas propriedades por se desenvolverem em ambientes básicos por milhões de anos, seus constituintes neutralizantes são o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e o carbonato de magnésio ($MgCO_3$). O calcário pode ser classificado como calcítico, com menos de 5% de $MgCO_3$; magnesiano, com 5% a 12% de $MgCO_3$; e dolomítico, com mais de 12% de $MgCO_3$ (PRIMAVESI et al., 2004).

A qualidade do calcário é avaliada através da análise das suas propriedades físicas e químicas, até mesmo para definição de seu valor de mercado. A medição do poder corretivo é feita pela determinação do seu poder relativo de neutralização total (PRNT), que corresponde ao percentual do calcário que reagirá em um período de 3 meses, parâmetro esse que combina os aspectos químicos do poder de neutralização (PN) e físicos da eficiência relativa (ER). O PN é a determinação da capacidade de correção através dos teores de óxidos de cálcio (CaO) e de óxidos de magnésio (MgO), onde baseia-se que 0,50g de $CaCO_3$ é capaz de neutralizar 0,01g de H^+ , adicionando 0,20g de cálcio ao sistema, o ER está relacionado com o tamanho das partículas, se tornando um fator importante pois quanto menor forem as partículas do corretivo, maior será sua solubilidade (FERREIRA, 2016).

A reação do calcário é um processo que ocorre lentamente no solo, ocorrendo de maneira efetiva apenas 3 meses após a aplicação, e ocorrendo apenas com a presença de água, essa reação ocorre como está demonstrada na equação química abaixo:



a reação inicia quando o CaCO_3 presente no calcário entra em contato com a água, liberando o cálcio (Ca), e carbonato (CO_3) que se liga com um íon de Hidrogênio da solução do solo, formando bicarbonato (HCO_3), ao se dissociar, dá origem a hidroxila (OH) e a dióxido de carbono (CO_2), e por fim, o OH^- se combina com outro H^+ e forma água. Entendendo as características do calcário, sua importância e como ele age, é fundamental aplicá-lo de forma correta e em quantidade ideais, tendo isso em vista, o método de recomendação usado deve recomendar a quantidade que corresponda a necessidade real da cultura em questão (ANDRADE et al., 2024).

5 MÉTODOS DE RECOMENDAÇÃO DE NECESSIDADE DE CALAGEM

Para a recomendação de necessidade de calagem, é necessário realizar uma análise criteriosa de vários parâmetros do solo, como potencial hidrogeniônico (pH), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e teores de Ca e Mg. Tendo isso em vista, ao longo dos anos foram desenvolvidos vários métodos de recomendação de necessidade de calagem (N.C.), os quais podem recomendar quantidades diferentes de corretivos para um mesmo solo, uma vez que possuem vantagens e limitações. Os métodos de recomendação de N.C. podem ser resumidos nos seguintes: a curva de incubação com CaCO_3 ; o método baseado na elevação da saturação por bases; o cálculo que considera a neutralização da acidez trocável e a elevação dos teores de Ca e Mg; e o método que utiliza o decréscimo do pH em solução SMP (SOUSA et al., 2007).

5.1 Método da curva de incubação

O método da curva de incubação foi um dos primeiros procedimentos desenvolvidos para a determinação da necessidade de calagem, sendo amplamente utilizado em pesquisas de fertilidade do solo como método de referência. Ele foi originalmente proposto e utilizado em estudos conduzidos nos Estados Unidos e posteriormente adaptado às condições brasileiras, especialmente para solos altamente intemperizados, como os Latossolos e Argissolos, comuns em regiões tropicais e subtropicais (ALVAREZ V., 1999).

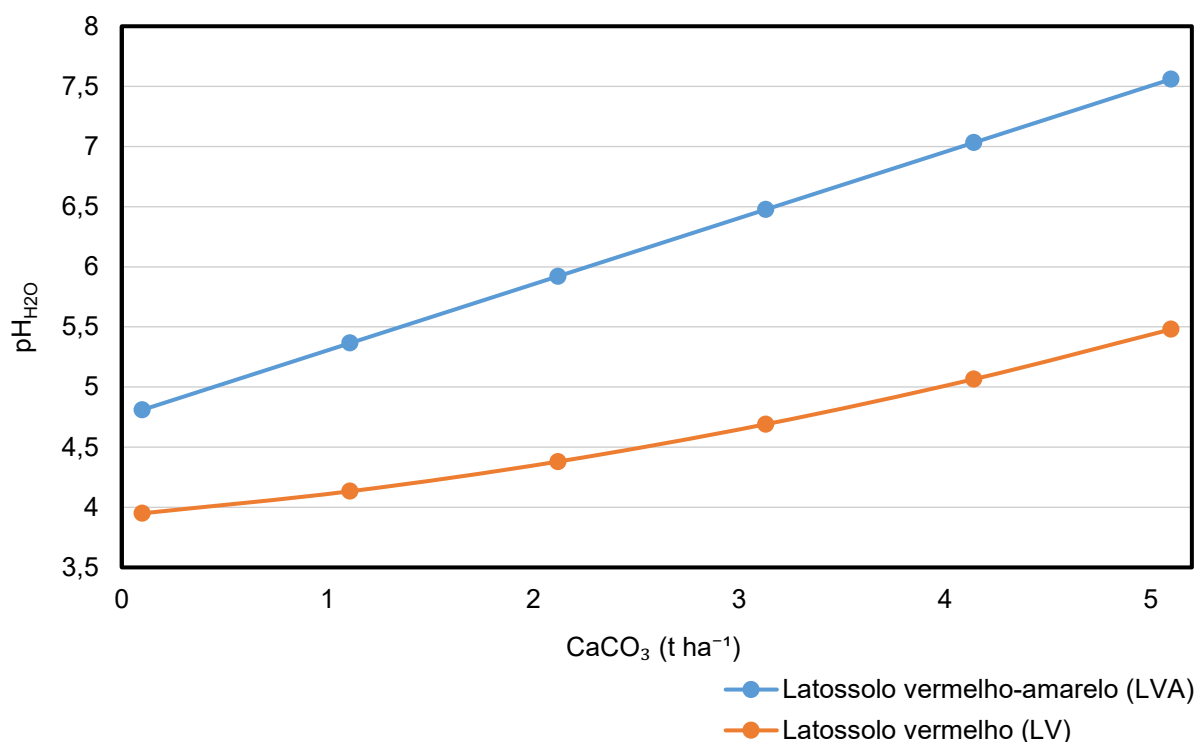
Esse método consiste na aplicação de uma crescente quantidade de calcário ou CaCO_3 em várias amostras de um determinado solo, condicionadas em sacos plásticos de parede grossa com umidade correspondente a 80% da capacidade de campo, em seguida, são fechados e colocados para incubar por um período de 45 a 90 dias, sendo recomendado revolver o solo das amostras uma vez por semana para homogeneização. Após a estabilização do pH, as amostras devem ser secas ao ar, para que o pH de cada uma seja medido (SOUSA et al., 2007). A partir desses dados, é possível construir a curva de incubação, que permite determinar com exatidão a quantidade de calcário que deve ser aplicada para alcançar cada valor de pH, como pode ser observado nos exemplos abaixo (Tabela 1, Gráfico 1).

Tabela 1 Medidas de acidez do solo, determinadas após a incubação com diferentes doses de carbonato de cálcio em uma amostra de um latossolo Vermelho argiloso

Dose de CaCO_3 (t ha ⁻¹)	pH H ₂ O	Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	H + Al (cmolc dm ⁻³)	m (%)	V (%)
0	5,36	1,02	0,30	7,73	73,9	4,50
1	5,42	0,52	1,17	7,28	29,7	14,50
2	5,58	0,12	1,87	6,41	5,90	23,10
4	5,94	0,00	3,40	5,22	0,00	39,90
6	6,25	0,00	4,72	3,78	0,00	55,80
8	6,56	0,00	6,17	3,03	0,00	67,30

Nota: m = saturação por alumínio; V = saturação por bases.

Fonte: Adaptado de Miranda, L.N. (1980)

Gráfico 1. Curva de incubação de dois latossolos

Fonte: Adaptado de Alvarez V., V.H. (1999)

Na Tabela 1, que são apresentados os resultados da análise de diversas amostras de solo incubadas com diferentes doses de CaCO_3 , observa-se, para cada dose aplicada, tem respectivos valores de pH alcançados, teores de alumínio (Al), quantidade de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) fornecido, bem como a saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V). No Gráfico 1, podemos observar uma curva de incubação construída a partir da análise de dois latossolos, que mostra a relação entre as doses de calcário e o aumento do pH. Segundo Sousa et al. (2007), esse método apresenta ainda algumas inconveniências, podendo haver a mineralização da matéria orgânica durante a incubação, possibilitando a superestima da necessidade de calagem, que por sua vez pode afetar a medição do pH em H_2O , problema esse que pode ser contornado caso o pH seja medido em solução de CaCl_2 . Além disso, ele não é prático para uso rotineiro, pois exige muito tempo para ser realizado, o que o torna inviável para ser utilizado na agricultura comercial, sendo usado mais para pesquisas científicas e para calibração de outros métodos.

5.2 Método do pH SMP

O método de recomendação de necessidade de calagem do pH SMP se baseia no decréscimo de pH de amostras de solo em uma solução-tampão. Teve início com BROWN (1943) que usava acetato de amônio como solução a pH 7,0. WOODRUFF (1948) propôs a utilização de uma solução com acetato de cálcio e óxido de magnésio a pH 7,0. Entretanto, SHOEMAKER et al. (1961) observaram que o critério proposto por Woodruff recomendava pouco calcário para os solos de Ohio (USA), eles supuseram que se devia a pouca inclinação da curva de incubação, então sugeriram uma solução com maior poder tampão e ajustada a pH 7,5. No Brasil o método foi introduzido por FREITAS et al. (1968) e MURDOCK et al. (1969) nos estados do Rio Grande do Sul e São Paulo, que verificaram que havia uma tendência em superestimar o dobro da necessidade real. Em virtude disso, foi proposto uma adaptação por KUSSOW, conforme descreve MIELNICZUK et al. (1969), que tornou o método SMP amplamente usado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Para realizar a recomendação de necessidade de calagem pelo método SMP, primeiramente é necessário realizar a calibração para cada tipo de solo e região através do método da curva de incubação, onde além da medição do pH em H₂O ou em outras soluções usadas, é feito a medição do pH em uma solução-tampão (pH_{SMP}). Após obter a curva de incubação, é feito uma relação entre cada nível de pH, a dose a ser aplicado e o valor de pH_{SMP}, permitindo que essas informações sejam tabeladas, como podemos observar abaixo (Tabela 2):

Tabela 2. Necessidade de calagem de solos de acordo com pH_{SMP} (relação 10:10:5, solo, água, solução-tampão)

pH _{SMP}	NC para pH ₂ O (t ha ⁻¹ CaCO ₃)		
	5,5	6,0	6,5
4,5	12,5	17,3	24,0
5,0	6,6	9,9	13,3
5,5	3,7	6,1	8,6
6,0	1,6	3,2	4,9
6,5	0,4	1,1	2,1

Fonte: Adaptado de Tedesco et al. (1995)

Pode ser observado os valores de necessidade de calagem (NC) para elevar o pH em H₂O para 5,5, 6,6 e 6,5. Em futuras recomendações para esse solo, apenas medindo o pH_{SMP}, pode-se estimar a necessidade de calagem. Por levar em consideração o poder tampão de cada solo, este método apresenta boa fundamentação teórica (Sousa et al. 2004).

5.3 Método da elevação da saturação por bases (V%)

A capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo é definida como a capacidade das partículas do solo de adsorver e reter cátions devido às suas cargas negativas. Ela pode ser mensurada pela soma dos cátions presentes que ocupam essas cargas, se somado o cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), potássio (K⁺), Hidrogênio (H⁺), e em solos salinos, o sódio (Na⁺) é determinada a CTC efetiva (t), se considerar o alumínio (Al³⁺) é determinada a CTC a pH 7 (T). Para o cálculo de recomendação de necessidade de calagem nesse método, se considera a saturação por bases (V%), que pode ser definida como o percentual da CTC a pH 7 que está sendo ocupado pela soma das bases (SB), valor esse que quanto maior for, menor será a saturação por alumínio (m%) e o teor de H⁺. O método como se conhece hoje foi proposto por RAJI (1981), que pode ser observado na fórmula abaixo:

$$N. C. (t/ha) = \frac{V_2 - V_1}{100} * T * f \quad (3)$$

Em que: V₂ = Saturação por bases esperada
 V₁ = Saturação por bases atual
 T = CTC a pH 7 = H + Al + SB (cmol_c/dm³)
 SB = Soma de bases = Ca + Mg + K + Na (cmol_c/dm³)
 f = Fator de correção = 100/PRNT do calcário

Caso V₁ seja igual ou maior que V₂, usa-se a formula:

$$N. C. (t/ha) = (T/2 - SB) * f \quad (4)$$

O método de elevação da V% apresenta uma fundamentação sólida ao levar em consideração a saturação por bases, parâmetro que varia principalmente de

acordo com as características de cada cultura, porém é ajustado pelas condições de cada região e solo. De acordo com Sousa et al. (2004; 2007), a saturação por bases ideal para culturas anuais de maior exigência nutricional, como milho e soja, em regiões Centro-Sul é de 70%, enquanto para o Nordeste é recomendada uma saturação inferior a esse valor, com V% entre 50% e 60%. Essa recomendação é justificada pela possibilidade de empobrecimento de micronutrientes devido ao excesso de calcário.

No entanto, Quaggio et al. (2022) ressalta que nem todos os solos do Cerrado apresentam deficiência de micronutrientes, destacando a importância de evitar generalizações. Além disso, o excesso de calcário não deve ser confundido com deficiência de micronutrientes, uma vez que estes podem ser suplementados de forma adequada. Esse ponto fica evidente ao observarmos o campeão do prêmio de máxima produtividade da região Nordeste na safra 2021/2022, promovido pelo Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB), que atingiu uma produtividade de 114,32 sc/há de soja com saturação por bases acima de 70% nas camadas de 0-20cm do solo (CESB, 2022).

5.4 Método da neutralização da acidez trocável e elevação de Ca e Mg

Além do efeito tóxico que o alumínio (Al^{3+}) exerce no desenvolvimento das plantas, ele desempenha um papel significativo na acidez do solo, sendo expresso na acidez trocável. Embora não esteja diretamente representado na acidez efetiva, o alumínio é altamente reativo, quando entra em contato com a água, ocorre sua hidrólise e libera íons de H^+ , intensificando a acidez do solo (OLIVEIRA, 2018). De acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS), a maior parte dos solos brasileiros são profundos, altamente intemperizados, ácidos, de baixa fertilidade natural e com alta saturação por alumínio (SANTOS et al., 2018). Fazendo com que a acidez trocável (Al^{3+}) seja um parâmetro interessante para recomendação de necessidade de calagem, tendo isso em vista, KAMPRATH (1967) sugeriu a seguinte fórmula:

$$\text{N. C.} = 2 \times \text{Al}^{3+} \quad (5)$$

Porém, é sabido que em solos que são altamente intemperizados existe uma limitação produtiva por parte da deficiência de Ca e Mg. Por isso surgiram variações do método que levam em consideração não somente a acidez trocável, mas também o fornecimento de Ca e Mg, uma dessas variações é proposto por Sousa et al. (2004) direcionada para a região do cerrado:

- a) Para solos com $CTC_{ph7} > 4,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$, teor de argila $> 15\%$ e teor de Ca + Mg $< 2,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$, usa-se a equação:

$$N.C = (2 * Al) + [2 - (Ca + Mg)] * f \quad (6)$$

- b) Para solos com $CTC_{ph7} > 4,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$, teor de argila $> 15\%$ e teor de Ca + Mg $> 2,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$, usa-se a equação:

c)

$$N.C. = (2 * Al) * f \quad (7)$$

- d) Quando teor de argila $< 15\%$, usa-se a equação que der o resultado maior entre as duas a seguir:

$$N.C. = (2 * Al) * f \quad (8)$$

ou

$$N.C. = [2 - (Ca + Mg)] * f \quad (9)$$

Em que f é o fator de correção mencionado no método anterior.

Todavia, o método de Al, Ca e Mg trocáveis apresentado anteriormente é considerado semiempírico, pois apesar de levar em consideração alguns aspectos do solo como teor de Ca, Mg e Al, ele ignora outros, como o poder tampão do solo, e não leva em consideração as exigências das diferentes culturas. Além disso, em algumas situações ele pode recomendar quantidades de calcário insuficiente para controlar a toxidez causada pelo Mn (Sousa, 2007). Tendo isso em vista, o método adotado na 5ª Aproximação de Recomendação para Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais leva esses fatores em consideração:

$$N. C. = Y \left[Al^{3+} - \left(m_t * \frac{t}{100} \right) \right] + [X - (Ca + Mg)] * f \quad (10)$$

Em que: Y = Valor tabelado ou calculado relacionado ao poder tampão do solo
 m_t = Tolerância máxima da cultura ao alumínio
 t = CTC efetiva = $Ca + Mg + K + Na + H$ (cmol_c/dm³)
 X = Valor variável de requerimento de Ca e de Mg pelas culturas (cmol_c/dm³)
 f = Fator de correção mencionado anteriormente

O poder tampão de um solo está relacionado com a capacidade que ele tem de resistir a mudança de pH, fator esse que está diretamente relacionado com a capacidade de troca de cátions (CTC). Solos com uma maior CTC possuem um maior poder tampão, o que significa que demora mais para se acidificar, contudo, exigindo uma maior quantidade de corretivo para elevar seu pH. Tanto o valor de Y (Tabela 3), quanto a saturação por alumínio máxima tolerada pelas culturas (m_t) e o valor de Ca e Mg requerido pelas diferentes culturas (Tabela 4), são apresentados a seguir:

Tabela 3. Valor variável de acordo com a capacidade tampão do solo (Y) determinado em função do teor de argila do solo

Solo	Argila (%)	Y
Arenoso	0-15	0,0-1,0
Textura média	15-35	1,0-2,0
Argiloso	35-60	2,0-3,0
Muito argiloso	60-100	3,0-4,0

Fonte: Adaptado de Alvarez V., V.H. (1999)

Podemos observar como fração coloidal afeta o poder tampão, à medida que o teor de argila aumenta, maior é o valor de Y. Em outras palavras, os solos argilosos necessitam de mais calcário em comparação aos solos arenosos, devido à maior área de superfície específica e à capacidade superior de retenção de íons.

Tabela 4. Valores máximos de saturação por Al^{3+} tolerados pelas culturas (m_t), valores variáveis de acordo com a necessidade de Ca e Mg de algumas culturas (X)

Culturas	M_t (%)	X ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)
Arroz sequeiro	25	2,0
Arroz irrigado	25	2,0
Milho e sorgo	15	2,0
Trigo (sequeiro ou irrigado)	15	2,0
Leguminosas		
Feijão, soja e adubos verdes	20	2,0
outras leguminosas	20	2,0
Oleaginosas		
Amendoim	5	3,0
Mamona	10	2,5

Fonte: Adaptado de Alvarez V., V.H. (1999)

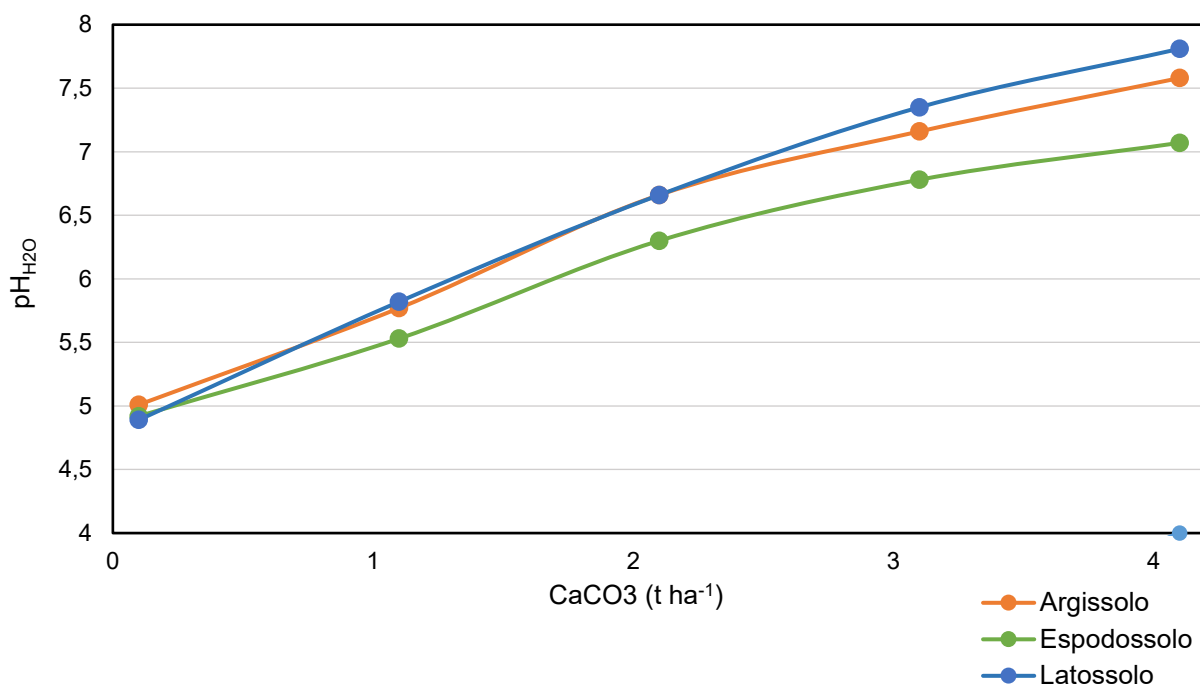
A tolerância a saturação por alumínio (m_t) é uma característica que varia para cada cultura, gramíneas como arroz são mais tolerantes em comparação a outras como milho e a leguminosas como a soja e o feijão. Em geral, plantas que passaram por melhoramento genético intenso para produzirem mais, se tornam mais exigentes em relação ao ambiente que estão instaladas. O valor de X é determinado com intuito de fornecer Ca e Mg para as diferentes exigências, é possível observar como culturas como amendoim e mamona são mais exigentes em comparação as outras.

6 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE RECOMENDAÇÃO DE N.C.

No trabalho desenvolvido por Campanharo et al. (2007) foi analisado a eficiência dos principais métodos de recomendação de calagem utilizados no Brasil, sendo eles: o método da solução tampão (SMP), método da elevação da saturação por bases, método da elevação dos teores de cálcio e magnésio e o método da neutralização do Al^{3+} . O experimento foi conduzido em três solos, classificados como argissolo de textura média/argilosa, espodossolo e latossolo de textura média, os quais receberam doses de calagem equivalente a 0, 1, 2, 3 e 4 t ha^{-1} de CaCO_3 . Durante o estudo, foram analisados regularmente o pH, teor de Al^{3+} e $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ das

amostras. Com o resultado obtido, foram feitos modelos de regressão para estimar o pH, teor de Al^{3+} e $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ em função das doses de CaCO_3 recomendadas por cada método de recomendação de calagem, o modelo para estimar o pH, que é o de maior interesse para esse trabalho, pode ser observado abaixo (Gráfico 2):

Gráfico 1. Modelo de regressão para estimar o $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ em função das doses de CaCO_3



Fonte: Adaptado de Campanharo et al. (2007)

Como pode ser observado, houve acréscimo significativo do pH em função do aumento da dose de CaCO_3 . No latossolo o pH atingiu o maior valor, e no espodossolo o menor, essa diferença pode ser atribuída ao maior teor de argila no espodossolo, conferindo-lhe um maior poder tampão, evidenciando a necessidade de uma maior dose de CaCO_3 para elevar o pH e para neutralizar o alumínio quando comparado aos outros solos, em relação a elevação do teor de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, no espodossolo foi maior, provavelmente devido a maior CTC proporcionada pela sua matéria orgânica. Tendo isso em vista, os métodos de recomendação de calagem que teriam apresentados maiores resultados para o pH são o da elevação da saturação por bases e o da elevação de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$.

O método da elevação da saturação por bases para o argissolo, espodossolo e latossolo recomendou 2,64; 4,04 e 2,70 t ha^{-1} de CaCO_3 respectivamente, já o que visa suprir $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ recomendou 3,50; 2,50 e 3,80 t ha^{-1} de CaCO_3 respectivamente. Contudo, esse valor foi estimado, para maior precisão, as amostras incubadas para a

construção dos modelos de regressão poderiam ser ajustadas com base nos teores de CaCO_3 fornecidos pelos métodos de recomendação de calagem avaliados, com algumas doses acima e abaixo desses valores, permitindo uma análise mais confiável da efetividade dos métodos.

Junior et al. (2019) em um experimento analisou 287 perfis de solos coletados em um levantamento exploratório realizado e publicado pela EMBRAPA (1979) a direita do rio São Francisco (BH). O estudo teve como objetivo investigar a relação entre algumas características de solos ácidos e o pH (Tabela 5), além de avaliar a eficiência de diferentes métodos de recomendação de calagem. Adicionalmente a isso, foram incluídas 10 amostras de solos representativos do estado da Bahia. Os métodos comparados foram o da elevação da saturação por bases a 70%, método SMP e o da curva de incubação (Tabela 6), buscando identificar as doses recomendadas por cada um deles e sua influência sobre a correção da acidez do solo.

Tabela 5. Coeficientes de correlação¹ entre as doses estimadas pelos diferentes métodos e características relacionadas à acidez dos solos

Características do solo	Métodos de determinação de necessidade de calagem		
	Elevação de V%	SMP	Curva de neutralização
pH em água	-0,69	-0,23	-0,62
pH em CaCl_2	-0,74	0,37	-0,75
Saturação por bases	-0,74	-0,11	-0,51
H + Al	0,85	0,92	0,87
Al^{3+}	0,53	0,57	0,73
Matéria orgânica	-0,18	0,07	-0,30
CTC	0,26	0,79	0,48

Fonte: Adaptado de Junior et al. (2019)

Tabela 6. Valores médios, máximos, mínimos e coeficiente de variação (CV%) das doses recomendadas por diferentes métodos de determinação de necessidade de calagem para as principais classes de solo do Estado da Bahia

Métodos de determinação de necessidade de calagem t/ha			
	Elevação da V%	SMP	Curva de neutralização
Média	3,17	1,03	3,50
Máximo	4,96	2,00	5,50
Mínimo	1,20	0,00	1,00
CV%	36,7	54,6	43,5

Fonte: Adaptado de Junior et al. (2019)

Relacionou-se os valores de pH com o teor de alumínio, CTC, saturação por bases (V) e teores de matéria orgânica. Os maiores valores de correlações observados são para a saturação por bases (Tabela 5), que mostra que os solos com um elevado pH também possuem uma elevada saturação por bases, numa relação, geralmente de caráter linear. Essa relação pode também ser observada nos métodos de recomendação de necessidade de calagem, onde apesar da dose usada na curva de incubação para elevar o $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ a 6,5 ter sido a maior, a recomendada pelo da elevação da saturação por bases se assemelhou bastante, já o método SMP, recomendou uma dose significativamente menor, sendo em média, menos de um terço das doses recomendadas pelos outros métodos (Tabela 6).

Outro trabalho que compara métodos de recomendação de calagem é o realizado por Sousa et al. (1997), que apesar de antigo e conter alguns parâmetros que foram alterados com o avanço das pesquisas (como a V% que é elevada apenas a 50%, e o teor de argila de 20% como critério para usar as diferentes fórmulas no método de elevação do teor de Ca e Mg) é citado e referenciado por diversos estudos sobre o assunto, como os realizados por Sousa et al. (2004; 2007), Campanharo et al. (2007), Quaggio e Raij (2022) e Araujo (2021). Foi observado que o método da elevação da saturação por bases levaria o solo a condições de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ e V% ideais para a maioria das culturas, o que corrobora com os resultados de Junior et al. (2019) e Campanharo et al. (2007), contudo, com o método SMP tendo uma recomendação semelhante e o da elevação do teor de Ca e Mg significativamente menor. A diferença da eficiência do método SMP entre os trabalhos pode ser explicada devido as particularidades de cada solo.

Os métodos de recomendação de necessidade de calagem discutidos ao longo desta seção apresentam respostas distintas em função das características dos solos e dos critérios adotados em cada estudo. Nesse contexto, a Tabela 7 apresenta uma comparação entre os métodos avaliados, e o pH.

Tabela 7. Comparação entre métodos de recomendação de necessidade de calagem em diferentes estudos e tipos de solo

Estudo	Solo/Local	Método	Doses recomendadas (t/ha)	pH inicial	pH final
Sousa et al. (1997)	Solos do Cerrado	Elevação da V%	3,3 (média)	-	6,2
Sousa et al. (1997)	Solos do Cerrado	Elevação de Ca^{2+} + Mg^{2+}	2,6 (média)	-	6,0
Sousa et al. (1997)	Solos do Cerrado	SMP	3,1 (média)	-	6,1
Campanharo et al. (2007)	Argissolo	Elevação da V%	2,64	5,1	7,0
Campanharo et al. (2007)	Argissolo	Elevação de Ca^{2+} + Mg^{2+}	3,5	5,1	7,4
Campanharo et al. (2007)	Argissolo	Neutralização do Al^{3+}	2,1	5,1	6,7
Campanharo et al. (2007)	Espodossolo	Elevação da V%	4,04	4,8	7,1
Campanharo et al. (2007)	Espodossolo	Elevação de Ca^{2+} + Mg^{2+}	2,5	4,8	6,6
Campanharo et al. (2007)	Espodossolo	Neutralização do Al^{3+}	2,4	4,8	6,5
Campanharo et al. (2007)	Latossolo	Elevação da V%	2,7	5,2	7,1
Campanharo et al. (2007)	Latossolo	Elevação de Ca^{2+} + Mg^{2+}	3,8	5,2	7,6
Campanharo et al. (2007)	Latossolo	Neutralização do Al^{3+}	1,8	5,2	6,4
Junior et al. (2019)	Solos da Bahia	Elevação da V%	3,17(média)	4,9	5,3
Junior et al. (2019)	Solos da Bahia	SMP	1,03(média)	4,9	5,1
Junior et al. (2019)	Solos da Bahia	Curva de incubação	3,5(média)	4,9	6,1
Silva et al. (2023)	Arenoso (sudoeste do Maranhão)	SMP	-	5,0	Não calibrado

Notas: pH medido em H_2O

Fonte: Adaptado a partir de Campanharo et al. (2007), Junior et al. (2019), Sousa et al. (1997) e Silva et al. (2023).

Ainda que o método da elevação da saturação por bases tenha apresentado resultados mais consistentes ao considerar o conjunto de todos os estudos, seguido do método da elevação de Ca^{2+} e Mg^{2+} , os outros métodos também apresentaram bons resultados em relação ao aumento do pH, tendo eficiências variadas a depender das propriedades de cada solo, em que podem tornar um método menos apropriados para determinadas condições, como também concluiu Araujo (2021) em uma revisão bibliográfica sobre o assunto. Podemos observar isso com clareza no trabalho realizado por Silva et al. (2023), em que não foi possível realizar a calibração do método SMP para região do sudoeste do Maranhão, isso pois o solo usado era arenoso, e consequentemente possuía um baixo poder tampão. Isso evidencia a carência de pesquisas e da sistematização de informações que relacionam os métodos com os tipos de solos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de todos os métodos apresentarem bons resultados em relação ao aumento do pH, o método de recomendação de necessidade de calagem que apresentou maior eficiência e resultados mais consistentes ao comparar o conjunto dos vários estudos analisados, foi o da elevação da saturação por bases, pois esse parâmetro é o que mais se correlaciona com a variação do pH, tendo uma relação geralmente de caráter linear, seguido do método da elevação de Ca^{2+} e Mg^{2+} .

A qualidade das recomendações de cada método pode variar a depender das características de cada solo, o que evidencia a necessidade da realização de mais estudos e da sistematização de informações que correlacionem os métodos com as características dos solos.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: UFV, 1999. p. 43–60.
- ANDRADE, C. A.; FREIRE, F. J.; SILVA, F. C.; et al. **Correção da acidez de solos cultivados com cana-de-açúcar**. Brasília, DF: Embrapa, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1167009/correcao-da-acidez-de-solos-cultivados-com-cana-de-acucar>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- ARAUJO, F. A. N. **Métodos de avaliação de necessidade de calagem e sua eficiência na correção dos solos do Cerrado**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.
- BROWN, I. C. **A rapid method of determining exchangeable hydrogen and total exchangeable bases of soils**. *Soil Science*, v. 55, p. 225–233, 1943.
- CAMPANHARO, M.; FREIRE, F. J.; COSTA, J. V. T. **Avaliação de métodos de necessidade de calagem no Brasil**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 137–146, 2007.
- COMITÊ ESTRATÉGICO SOJA BRASIL (CESB)**.
Case campeão Nordeste – safra 2021/2022. 2024.
Disponível em: <https://www.cesbrasil.org.br/case-campeao-nordeste-safra-21-22/>.
Acesso em: 19 dez. 2024.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Correção do solo com calcário: classificação dos calcários agrícolas**. Brasília, DF: Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355126/49258452/embrapa.br-Correção+do+Solo+-+Portal+Embrapa.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2026.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Levantamento exploratório: reconhecimento dos solos da margem direita do Rio São Francisco, Estado da Bahia**. Boletim Técnico n. 52, v. 2. Brasília, DF: Embrapa, 1979. 1296 p.
- FERREIRA, C. F. **Fertilidade do solo: correção e adubação**. Curitiba: SENAR, 2016.
- FIDELIS, R. S. **Melhoria da produtividade em uma mineração de calcário**. 2017. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.
- FREITAS, L. M. M. M.; PRATT, P. F.; VETTORI, L. **Testes rápidos para estimar as necessidades em calcário de alguns solos de São Paulo**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, v. 4, p. 159–164, 1969.

HOLLAND, J. E.; BENNETT, A. E.; NEWTON, A. C.; et al. **Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: a review**. *Science of the Total Environment*, v. 610–611, p. 316–332, 2017.

JUNIOR, E. C.; GONÇALVES, A. C.; SEIDEL, E. P.; et al. **Effects of liming on soil physical attributes: a review**. *Journal of Agricultural Science*, v. 12, n. 8, p. 1–12, 2020.

JÚNIOR, J. O. S.; SODRÉ, G. A. **Avaliação de métodos para estimativas da necessidade de calagem em solos do estado da Bahia, Brasil**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 43, e0180171, 2019.

KAMPRATH, E. J. **Soil acidity and response to liming**. Raleigh: North Carolina State University Agricultural Experiment Station, 1967.

KOCHIAN, L. V. **Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants**. *Annual Review of Plant Biology*, v. 46, n. 1, p. 237–260, 1995. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/43253572>. Acesso em: 17 dez. 2024.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A. E.; BOHNEN, H. **Recomendação de adubos e calcário para os solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1969.

MIRANDA, L. N.; MIELNICZUK, J.; LOBATO, E. **Calagem e adubação corretiva**. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 5., 1980, Brasília. *Anais...* Brasília: Editerra, 1980.

MURDOCK, J.; PAVAGEAU, M.; FILHO, O. R.; FRATINI, C.; KALCKMANN, R. E. **Determinação quantitativa de calagem**. Porto Alegre: UFRGS, 1969.

OLIVEIRA, A. S. **A matéria orgânica na redução do efeito tóxico do alumínio**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O. **Características de corretivos agrícolas**. São Paulo: Nobel, 2004.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. **Manejo da acidez do solo**. In: RAIJ, B. van et al. *Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: IAC, 2022. p. 61–83.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1981.

SANCHEZ, F. G.; RUBIO, F.; MARTINEZ, V.; et al. **Estresses abióticos: acidez, salinidade e deficiência hídrica**. In: *Relações solo-planta: bases para a nutrição e produção vegetal*. Viçosa: UFV, 2021. p. 260–323.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SHOEMAKER, K. D.; McCLEAN, E.; PRATT, P. F. **Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminium**. *Soil Science*, v. 93, p. 51–60, 1962.

SILVA, T. L. L.; SILVA, J. N.; PARENTE, O. M.; et al. **Calibração do método SMP para os solos intemperizados da região sudoeste do Maranhão**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 47, e0220123, 2023.

SILVA, M. A. S.; SANTOS, A. B.; MACHADO, P. L. O. A.; et al. **Correção da acidez do solo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica>. Acesso em: 1 abr. 2025.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Correção da acidez do solo**. In: *Cerrado: correção do solo e adubação*. Brasília, DF: Embrapa, 2004. v. 2.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. **Acidez do solo e sua correção**. In: *Fertilidade do solo*. Viçosa: UFV, 2007. p. 206–268.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; LOBATO, E. **Avaliação dos métodos de determinação da necessidade de calcário em solos de Cerrado**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, p. 431–439, 1997.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. V. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

VELOSO, C. A. C. et al. **Correção da acidez do solo**. In: *Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 121–131.

WOODRUFF, C. M. **Testing soils for lime requirement by means of a buffered solution and glass electrode**. *Soil Science*, v. 66, p. 83–90, 1948.