

ESTRATÉGIAS DE CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO PARA O CULTIVO DE MAMONA NO NOROESTE DO PARANÁ

Pedro Henrique da Silva^{1*}, Antonio Nolla¹, Thiago Henrique de Souza¹, Adriely Vechiato Bordin¹

¹Universidade Estadual de Maringá - UEM, Campus de Umuarama, Departamento de Ciências Agronômicas. Estrada da Paca s/n, Bairro São Cristóvão, Umuarama - PR, CEP: 87507-190. E-mail: pedrohsagro@gmail.com, anolla@uem.br, enriquethiago18@gmail.com, adrielyvechiato@hotmail.com

*autor correspondente: pedrohsagro@gmail.com

RESUMO: A mamona apresenta relevância no agronegócio brasileiro, destacando-se pela produção de óleo com ampla versatilidade industrial. Contudo, o potencial produtivo da cultura é frequentemente limitado pela acidez do solo. O objetivo deste estudo foi reunir e analisar pesquisas científicas a fim de identificar uma alternativa para a correção da acidez do solo no cultivo de mamona no noroeste do Paraná. A acidez do solo promove a substituição de cátions básicos da CTC por H^+ e Al^{3+} . Como consequência, há redução da saturação por bases, aumento do Al^{3+} e menor disponibilidade de nutrientes. A correção da acidez visa neutralizar H^+ e Al^{3+} , elevar o pH e melhorar a fertilidade do solo. O calcário é o corretivo mais utilizado, atuando na neutralização da acidez e no fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Contudo, sua baixa solubilidade limita a ação às camadas superficiais. Alternativamente, silicatos de cálcio e magnésio apresentam maior solubilidade e capacidade de atuação em profundidade. Esses compostos elevam o pH e reduzem o Al^{3+} por meio da liberação de hidroxilas. Além disso, fornecem silício, elemento benéfico em condições de estresses. Assim, os silicatos podem apresentar maior eficiência agronômica em subsuperfície, favorecendo o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes.

PALAVRAS-CHAVE: *Ricinus communis*, alumínio, pH, silicato.

STRATEGIES FOR CORRECTING SOIL ACIDITY IN CASTOR BEAN CULTIVATION IN NORTHWESTERN PARANÁ

ABSTRACT: Castor bean plays a significant role in Brazilian agribusiness, particularly due to its oil production with broad industrial applicability. However, the crop's yield potential is often constrained by soil acidity. This study aimed to compile and analyze scientific research to identify an alternative for correcting soil acidity in castor bean cultivation in Northwestern Paraná. Soil acidity promotes the replacement of basic cations in the cation exchange capacity (CEC) by H^+ and Al^{3+} ions. Consequently, base saturation decreases, Al^{3+} concentration increases and nutrient availability is reduced. Soil acidity correction aims to neutralize H^+ and Al^{3+} , increase soil pH and improve soil fertility. Agricultural lime is the most commonly used amendment, acting to neutralize acidity while supplying Ca^{2+} and Mg^{2+} . However, its low solubility limits its effectiveness to surface soil layers. Alternatively, calcium and magnesium silicates exhibit greater solubility and enhanced capacity to act at deeper soil layers. These

compounds increase soil pH and reduce Al^{3+} through hydroxyl ion release. Additionally, they supply silicon, a beneficial element under stress conditions. Therefore, silicates may exhibit greater agronomic efficiency in subsurface layers, promoting root growth and enhancing water and nutrient uptake.

KEY WORDS: *Ricinus communis*, aluminum, pH, silicate.

INTRODUÇÃO

A mamona, pertencente à família Euphorbiaceae, é amplamente valorizada pelas propriedades de suas sementes, que contêm cerca de 90% de ácido graxo ricinoleico. Esse componente confere ao óleo de mamona características únicas e alto valor energético, permitindo sua aplicação em tintas, vernizes, plásticos, lubrificantes, biodiesel e resinas termoplásticas (Azevedo et al., 1997; Amorim e Araújo, 2001). Na safra 2025/2026, a produção brasileira de mamona totalizou 145,5 mil toneladas, concentrada exclusivamente na Região Nordeste, sendo o estado da Bahia o único produtor (CONAB, 2025).

Para que a cultura da mamona atinja seu potencial produtivo, é fundamental adotar práticas adequadas de manejo, como a correção do solo. A acidez do solo pode ter origem natural ou antrópica. Naturalmente, solos desenvolvidos a partir de materiais de origem ácidos, como as rochas de formação arenito, tendem a apresentar baixos valores de pH e elevada concentração de alumínio trocável (Al^{3+}). Além disso, processos como a lixiviação de nutrientes, a decomposição da matéria orgânica e a intensa atividade biológica em condições de alta pluviosidade contribuem para o aumento da acidez ao longo do tempo. Por outro lado, a ação antrópica também exerce influência significativa, especialmente pelo uso intensivo de fertilizantes nitrogenados acidificantes (como ureia e sulfato de amônio), entre outras práticas inadequadas de manejo (Motta e Melo, 2019). A acidificação do solo ocorre quando há remoção dos nutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+) da capacidade de troca catiônica (CTC), sendo estes substituídos por íons de Al^{3+} e H^+ (Raij, 2011).

Essas condições resultam em solos com baixa saturação por bases, alta saturação por alumínio e baixos teores de nutrientes disponíveis. Nesses casos, torna-se necessário a correção da acidez, prática que visa neutralizar os íons H^+ e Al^{3+} da CTC, elevar o pH para faixas adequadas e melhorar a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Pauletti e Motta, 2019).

A correção da acidez do solo é tradicionalmente realizada com o uso de calcário agrícola ($CaCO_3$ ou $MgCO_3$), que liberam hidroxilas para a neutralização dos íons H^+ e Al^{3+} , formando

água e hidróxido de alumínio [Al(OH)₃], o que eleva o pH e reduz o teor de alumínio trocável (Al³⁺), além de fornecer cálcio e magnésio à CTC. A baixa solubilidade do calcário em água (0,014 g L⁻¹) restringe sua dissolução e, conseqüentemente, sua mobilidade no perfil do solo. Essa limitação implica em uma reação lenta no processo de neutralização da acidez, restringindo os efeitos corretivos às camadas superficiais. Como resultado, as camadas subsuperficiais permanecem com concentrações elevadas de H⁺ e Al³⁺ trocável, o que constitui um fator limitante ao crescimento radicular das plantas (Raij, 2011). Entretanto, outras fontes também podem ser utilizadas, como os silicatos de cálcio e magnésio (CaSiO₃ e MgSiO₃).

Segundo Alcarde (2005), os silicatos de cálcio, ao serem aplicados ao solo, dissociam-se lentamente, liberando Ca²⁺, Mg²⁺ e ânions silicatados (SiO₃²⁻), os quais sofrem hidrólise sucessiva, formando HSiO₃⁻, H₂SiO₃ e, por fim, H₄SiO₄ (ácido monossilícico), forma absorvível de silício pelas plantas. Durante esse processo de hidrólise, ocorre a liberação de íons hidroxila (OH⁻), que reagem com os íons H⁺ da solução do solo, promovendo elevação do pH. Esse aumento do pH favorece a precipitação do alumínio trocável (Al³⁺) na forma insolúvel de hidróxido de alumínio [Al(OH)₃].

O silício, por sua vez, atua como elemento benéfico às plantas, sobretudo sob condições de estresse biótico (ataque de pragas e doenças) e abiótico (déficit hídrico), conforme descrito por Linné (2022). A velocidade de reação dos silicatos no solo depende da acidez do meio e da granulometria do material aplicado. De acordo com Alcarde e Rodella (2003), o silicato de cálcio apresenta solubilidade 6,78 vezes superior à do carbonato de cálcio (CaCO₃ = 0,014 g dm⁻³; CaSiO₄ = 0,095 g dm⁻³), característica que confere maior eficiência na correção da acidez em profundidade quando comparado ao calcário.

Alcarde (2005) destaca que 100 kg de CaSiO₃ apresentam ação corretiva equivalente a 86 kg de CaCO₃, enquanto 100 kg de MgSiO₃ equivalem a 100 kg de CaCO₃, e 119 kg de MgCO₃ correspondem a 100 kg de CaCO₃, evidenciando diferenças na eficiência química dos corretivos em função de sua composição. Embora os silicatos de Ca apresentem menor poder relativo de neutralização total (PRNT) em relação aos carbonatos, sua maior solubilidade permite que o corretivo permaneça em solução, promovendo a translocação de Ca²⁺ e Mg²⁺ para camadas subsuperficiais. Assim, apesar do menor PRNT, os silicatos tendem a apresentar maior eficiência agrônômica em profundidade, reduzindo a atividade do Al³⁺ em camadas subsuperficiais e ampliando o volume de solo quimicamente favorável ao crescimento

radicular, o que se reflete em maior exploração do perfil do solo, melhor absorção de água e nutrientes e maior desenvolvimento das plantas.

O objetivo deste estudo foi analisar pesquisas científicas para identificar uma alternativa para a correção da acidez do solo no cultivo de mamona para a região noroeste do estado do Paraná.

REVISÃO

CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA E ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA MAMONA

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma espécie pertencente à família Euphorbiaceae, que reúne diversas plantas produtoras de látex e óleos vegetais. Botanicamente, é classificada no Reino Plantae, Divisão Magnoliophyta, Classe Magnoliopsida, Ordem Malpighiales, Família Euphorbiaceae e Gênero *Ricinus*. A espécie *Ricinus communis* é a única do gênero e é amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, destacando-se por sua rusticidade e pela capacidade de se desenvolver em solos de baixa fertilidade. Tolerância a condições de acidez, com pH em CaCl₂ entre 4,5 e 5,0, e saturação por bases inferior a 40%, e precipitações anuais inferiores a 600 mm (Beltrão et al., 2012). No entanto, embora seja adaptada a ambientes menos férteis, a cultura responde significativamente à adubação e à correção da acidez do solo, sendo recomendada a elevação da saturação por bases para 70%, visando alcançar maiores produtividades (> 2.000 kg ha⁻¹) (Quaggio e Zambrosi, 2022).

A mamoneira possui ciclo perene, mas é comumente cultivada como anual, visando maior controle fitossanitário e uniformidade de colheita. O cultivo da mamoneira em dois ciclos, via poda, é uma alternativa técnica para reduzir custos operacionais e manter a qualidade do material genético. Lacerda (2010) demonstrou que a poda a 30 cm do solo possibilita produtividades (frutos) de até 4.994,26 kg ha⁻¹ no rebrote (78,8% do ciclo inicial) em solos com 25 g kg⁻¹ de matéria orgânica (MO), enquanto solos com baixa MO (5 g kg⁻¹) produzem cerca de 3.449,92 kg ha⁻¹, evidenciando que a eficiência do sistema perene depende do manejo nutricional. Sob o aspecto morfofisiológicas, Formiga et al. (2014) reforça essa viabilidade ao constatar que, aos 180 dias, não existem diferenças significativas entre o primeiro e o segundo

ciclo quanto à altura de plantas, diâmetro do caule, área foliar da parte aérea. No manejo da poda, a intervenção deve ocorrer preferencialmente entre 30 e 60 dias após a colheita para garantir a sobrevivência das plantas (54%) e a emissão natural de três ramos principais, o que dispensa a necessidade de desbrota manual. Adicionalmente, o espaçamento de 1,0 m entre plantas otimiza o vigor vegetativo, alcançando um incremento de 40% no número de frutos por racemo em relação ao plantio adensado (0,5 m), além de facilitar a colheita pelo controle da altura do dossel (Gondim et al., 2010).

A planta da mamoneira apresenta grande variabilidade morfológica, sendo porte arbustivo, com folhas grandes, alternas e palmadamente lobadas, podendo apresentar de 5 a 11 lobos com margens serrilhadas. A coloração varia entre o verde e o arroxeadado, a depender da variedade e das condições ambientais. Trata-se de uma espécie monoica, onde as inflorescências são do tipo racemo, com flores diclinas, as masculinas dispostas na base e as femininas no ápice. O fruto é uma cápsula tricoca, deiscente ou indeiscente, contendo sementes oleaginosas ricas em ácido ricinoleico (Severino et al., 2013).

A polinização é realizada pelo vento e por insetos, mesmo sendo uma planta monoica. Segundo Rizzardo et al. (2012) e Fernandes (2013), a presença da polinização entomófila influencia de forma positiva na produção de sementes, sendo principalmente a abelha (*Apis mellifera*). Portanto, necessita da ajuda dos insetos, em casos que as condições edafoclimáticas não cooperam com a fisiologia das flores, modificando morfológicamente, podem-se obterem mais plantas com abundância de flores com o mesmo órgão reprodutor, seja ele, feminino ou masculino, além da característica da disposição das flores na inflorescência (Savy, 2005).

A importância agrônômica da mamoneira está na elevada concentração de óleo nas sementes, que pode variar entre 40 e 50%. Esse óleo destaca-se entre os óleos vegetais por apresentar composição química com predominância de aproximadamente 90% de ácido ricinoleico em seus triglicerídeos (Beltrão et al., 2012). A presença de um grupo hidroxila (-OH) na cadeia carbônica desse ácido graxo confere ao óleo de mamona propriedades físico-químicas e reacionais superiores às dos demais óleos vegetais, como elevada viscosidade, maior polaridade, solubilidade em álcoois e capacidade de formar pontes de hidrogênio intra e intermoleculares (Medeiros, 2022). Tais atributos resultam em elevada versatilidade industrial, possibilitando sua ampla utilização nas indústrias química, farmacêutica e cosmética, na produção de biodiesel, resinas poliméricas, lubrificantes, adesivos e plastificantes. Ademais,

diferente da maioria dos óleos vegetais, o óleo de mamona apresenta poucos substitutos técnicos viáveis em diversas dessas aplicações, o que, aliado ao seu elevado rendimento nas sementes e ao aproveitamento de coprodutos, consolida a ricinocultura como uma cadeia produtiva de elevado potencial tecnológico e econômico (Beltrão et al., 2012 e Medeiros, 2022).

Além de sua importância industrial, o cultivo da mamona apresenta forte relevância social, especialmente em áreas do semiárido brasileiro, como o Nordeste, onde predominam solos distróficos ($V\% < 50$) e baixa precipitação anual (< 500 mm), geralmente mal distribuída ao longo do ciclo das culturas. Nessas condições, a rusticidade da mamoneira, aliada à sua tolerância ao estresse hídrico, configura essa cultura como uma alternativa viável para a diversificação da produção, contribuindo para a geração de renda e a inclusão socioeconômica de pequenos produtores rurais (Severino et al., 2006). A tolerância ao estresse hídrico da mamoneira está relacionada às suas adaptações morfofisiológicas, como o desenvolvimento de sistema radicular profundo (até 3 metros de profundidade), que permite a exploração de maior volume de solo e acesso a água e nutrientes em camadas mais profundas. Sob condições limitantes de manejo, não se espera alcançar o potencial produtivo máximo da cultura, que pode ultrapassar 3.000 kg ha^{-1} em ambientes favoráveis. Em sistemas de sequeiro no semiárido, as produtividades geralmente variam entre 500 e 1.200 kg ha^{-1} , dependendo do manejo adotado, da cultivar utilizada e da regularidade das chuvas durante o ciclo da cultura (Azevedo e Beltrão, 2007).

Para elevar a produtividade da mamona a níveis superiores a 3.000 kg ha^{-1} , são necessárias intervenções integradas de manejo. A adubação adequada é fundamental nesse processo, pois influencia diretamente o crescimento vegetativo e a formação dos componentes de rendimento. A disponibilidade hídrica constitui outro fator determinante para a obtenção de altas produtividades. Além disso, a escolha de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas e o ajuste da densidade de plantio são práticas essenciais para maximizar a eficiência no uso de recursos e o potencial produtivo da cultura. O potencial produtivo da mamoneira em sistema com alta tecnologia (irrigação, manejo nutricional, genética) pode ultrapassar os 3.000 kg ha^{-1} (Severino et al., 2013). Na safra 2025/2026, a produção brasileira de mamona alcançou 145,5 mil toneladas e uma produtividade média de 1.935 kg ha^{-1} , sendo o nordeste responsável por 100% desse volume, com o estado da Bahia sendo o único produtor (CONAB, 2025).

Para produzir 1.200 kg ha^{-1} de grãos, estima-se que a mamoneira exporta 35 kg ha^{-1} de N, 12 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 9 kg ha^{-1} de K_2O (Severino et al., 2021). Estudo conduzido por Severino et al. (2006) em solo de baixa fertilidade demonstrou que parcelas sem adubação produziram apenas $163,7 \text{ kg ha}^{-1}$, enquanto com adubação orgânica a produtividade alcançou $596,9 \text{ kg ha}^{-1}$, com adubação mineral chegou a $988,1 \text{ kg ha}^{-1}$, e com adubação orgânico-mineral atingiu $1.172,5 \text{ kg ha}^{-1}$, representando incremento de 616% em relação ao tratamento testemunha. Esses resultados evidenciam que a rusticidade da mamoneira não dispensa a adubação, mas confere à cultura maior capacidade de produzir sob condições limitantes que jamais permitirão expressar seu potencial produtivo.

O trabalho de Biscaro et al. (2012) focou na resposta à irrigação suplementar em Dourados-MS. Sem a utilização de irrigação (tratamento de sequeiro), a produtividade média foi de aproximadamente $846,5 \text{ kg ha}^{-1}$. Com a aplicação da lâmina máxima de 150% da evapotranspiração localizada (ET_{Loc}), a produtividade subiu para $1.513,9 \text{ kg ha}^{-1}$ na cultivar IAC 80 e $1.452,4 \text{ kg ha}^{-1}$ na IAC 2028. Já o estudo de Soratto et al. (2011), realizado em Botucatu-SP, explorou o adensamento populacional com a cultivar de porte baixo FCA-PB, alcançando patamares superiores. No ano agrícola de 2007/2008, a produtividade atingiu 5.171 kg ha^{-1} com uma população de 70.000 plantas por hectare. No segundo ano (2008/2009), a produtividade máxima foi de 3.414 kg ha^{-1} na população de 55.000 plantas por hectare. Quanto ao arranjo espacial, o espaçamento reduzido de 0,45 m proporcionou médias de 4.786 kg ha^{-1} e 3.249 kg ha^{-1} nos respectivos anos, enquanto o espaçamento de 0,90 m reduziu a produção para 2.596 kg ha^{-1} na safra 2008/2009.

CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO NOROESTE DO PARANÁ

A região Noroeste do Paraná apresenta clima classificado como Cfa segundo a classificação de Köppen-Geiger, caracterizado como subtropical úmido mesotérmico. Esse tipo climático é marcado por verões quentes, invernos amenos e chuvas bem distribuídas ao longo do ano, sem uma estação seca definida. Entretanto, Roseghini et al. (2001) e Pinto et al. (2023), analisaram os dados de precipitação e constataram que a região noroeste é suscetível a ocorrer estiagens no inverno, em especial no mês de agosto. A temperatura média anual na região varia

entre 21 °C e 23 °C, enquanto a pluviosidade anual oscila entre 1.400 mm e 1.800 mm, com maior concentração nos meses de verão.

No noroeste do Paraná, os solos formados a partir do Arenito Caiuá ocupam aproximadamente 3,1 milhões de hectares, o que representa cerca de 15% do território estadual. Nessa área, predominam duas classes principais de solos: os Latossolos e os Argissolos. De acordo com Panini et al. (2024), em um estudo conduzido em topossequência no município de Cidade Gaúcha-PR, observou-se o predomínio do Latossolo Vermelho Distrófico, que correspondeu a 79,96% da área avaliada (47,60 ha), seguido pelo Argissolo Vermelho Distrófico, com 18,26%. A classificação dos solos é realizada com base na análise integrada de atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos. Além disso, são considerados fatores ambientais como o clima, a vegetação, o relevo, o material de origem e o regime hídrico (Santos et al., 2018).

O clima em regiões tropicais, classificado como Grupo A de Köppen, é caracterizado por temperaturas médias mensais superiores a 18 °C e pluviosidade anual superando 1.500 mm (Nitsche et al., 2019). Essas condições intensificam a hidrólise mineral e a lixiviação de bases, resultando em decomposição mineral acelerada. O conteúdo de carbono nesses solos raramente excede 5%, com mediana em torno de 1%, e sua manutenção depende de um balanço dinâmico entre o aporte de fitomassa e a taxa de mineralização secundária (K_2), que em ambientes tropicais varia de 1% a 2% ao ano. Para compensar a perda anual de cerca de 900 kg ha⁻¹ de matéria orgânica (em solo com 20 g kg⁻¹ de MOS), é necessária a adição de aproximadamente 7,5 t ha⁻¹ de resíduos de colheita secos (palhadas), considerando um coeficiente isohúmico (K_1) de 0,15 e 80% de matéria seca. Esse aporte estimula a atividade biológica ao fornecer carbono orgânico e nutrientes, que servem como fonte de energia para a microbiota. Tais processos favorecem a diferenciação e evolução do horizonte A superficial através da humificação (Cunha et al., 2008).

O material de origem condiciona a composição mineralógica primária do solo e, conseqüentemente, a natureza da fração argila, exercendo influência direta sobre o tipo e a magnitude das cargas elétricas desenvolvidas no sistema. Solos derivados de rochas ígneas, ricas em minerais ferromagnesianos e feldspatos cálcicos, tendem a apresentar maior aporte inicial de bases e maior formação de argilominerais com potencial de geração de cargas negativas, seja por substituição isomórfica ou por dissociação de grupos hidroxílicos nas

superfícies minerais. Em contraste, solos formados a partir de materiais quartzosos ou altamente silicificados apresentam mineralogia dominada por quartzo e baixa reatividade superficial, resultando em reduzida CTC e baixo potencial de retenção de nutrientes (Resende et al., 2014).

A coloração do solo reflete a mineralogia dos óxidos de ferro formados durante o intemperismo, sendo controlada tanto pelo material de origem quanto pelas condições pedoambientais. A predominância de hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) está associada a ambientes bem drenados, com maior intensidade de intemperismo e temperaturas mais elevadas, conferindo coloração vermelha aos solos. Já a goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$) forma-se preferencialmente em condições de maior umidade, menor temperatura relativa ou drenagem imperfeita, resultando em tonalidades amareladas. Já as condições hídricas, relacionadas à drenagem, determinam a oxidação ou redução de elementos químicos no perfil, em condições de saturação hídrica, o potencial redox é reduzido, promovendo a conversão do ferro férrico (Fe^{3+}) em ferro ferroso (Fe^{2+}), o que culmina na gleização do perfil (Pereira et al., 2019 e Resende et al., 2014).

Os solos derivados do Arenito Caiuá apresentam textura variando de arenosa a média, com teores de argila geralmente inferiores a 15% (Larach et al., 1970). Essa condição impõe limitações à retenção de água e nutrientes, além de restringir a capacidade de troca de cátions (CTC). A fração argila desses solos é composta por minerais de baixa atividade química, como caulinita, gibbsita, hematita e goethita, o que contribui para uma baixa CTC, frequentemente inferior a $5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Em contraste, solos argilosos com maior proporção de argilominerais de alta atividade (como a vermiculita) podem apresentar valores de CTC superiores a $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Novais e Mello, 2007).

A presença de óxidos de ferro nesses solos, com teores variando de 80 a 180 g kg^{-1} de Fe_2O_3 (Santos et al., 2025), está associada à elevada fixação específica de fósforo. As formas solúveis de fósforo aplicadas via fertilizantes, principalmente fosfato monocálcico [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$] presente no superfosfato simples e triplo, e fosfatos monoamônico ($\text{NH}_4 \text{H}_2\text{PO}_4$) e diamônico [$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$] presentes no MAP e DAP, respectivamente (Alcarde e Prochnow, 2004), reagem com os óxidos formando compostos de baixa solubilidade e reduzida disponibilidade às plantas. Além disso, devido à baixa concentração de minerais secundários (argila) resulta em estrutura física com pouca agregação e coesão entre partículas. Essa característica compromete a estabilidade estrutural, tornando o solo altamente suscetível a processos erosivos. A vulnerabilidade é agravada em condições que combinam chuvas de

elevada intensidade, cujo impacto direto desagrega a superfície, com cobertura vegetal inferior a 30%, que é insuficiente para amortecer o impacto das gotas de chuva e reduzir a velocidade do escoamento superficial (Spera et al., 1999; Dechen et al., 2015).

O relevo típico das áreas ocupadas pelo Arenito Caiuá varia entre plano e suavemente ondulado favorecendo o escoamento superficial em condições de alta pluviosidade. Quanto à classificação textural, predominam as classes areia e areia franca ($< 150 \text{ g kg}^{-1}$ de argila), caracterizadas por elevada acidez potencial e baixa capacidade tampão. Essa condição apresenta reduzida resistência a variações de pH quando os solos são submetidos à calagem ou a adubação. A fragilidade química desses ambientes decorre da baixa densidade de cargas no complexo de troca, uma vez que a fração mineral é composta majoritariamente por quartzo, mineral quimicamente inerte e desprovido de cargas elétricas, e a fração argila é dominada por minerais de baixa atividade, como a caulinita (Gasparetto, 2015; Silva, 2024), reflexo da textura predominantemente arenosa e dos reduzidos teores de matéria orgânica, geralmente inferiores a 10 g kg^{-1} (Spera et al., 1999).

Nesse ambiente, a predominância de íons hidrogênio H^+ e Al^{3+} no complexo de troca é resultado do intenso processo de intemperismo e lixiviação. A elevada pluviosidade promove a remoção de cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), que são substituídos por prótons H^+ provenientes da dissociação de fertilizantes e de ácidos orgânicos. Sob condições de pH em H_2O inferior a 5,5, ocorre a solubilização de alumínio da fração argila, liberando Al^{3+} para a solução do solo, íon que passa a ocupar os sítios de troca devido à sua alta afinidade eletrostática com os colóides (Ronquim, 2010). Em consequência, esses solos ácidos tendem a apresentar pH em H_2O inferior a 5,5, saturação por bases abaixo de 50%, saturação por alumínio superior a 20% e teores de alumínio trocável acima de $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Pauletti e Motta, 2019).

Compreender a evolução do uso e ocupação do solo ao longo do tempo é fundamental para interpretar os processos de intemperismo e os impactos antrópicos que moldaram a paisagem atual da região. Como consequência do uso inadequado do solo no noroeste do Paraná, verificou-se a degradação de sua qualidade física, especialmente em ambientes com teor de argila inferior a 150 g kg^{-1} . Nesses solos, a predominância da areia resulta em baixa estabilidade estrutural, reduzida agregação, limitada capacidade de retenção de água e nutrientes e elevada suscetibilidade aos processos erosivos (Curcio, 2017).

Esse processo favorece o aumento das perdas superficiais de solo e a redução dos teores de matéria orgânica, podendo ocorrer decréscimos entre 40% e 50% do carbono orgânico na camada de 0-100 cm após a conversão de áreas de vegetação nativa para sistemas agrícolas convencionais (Leite, 2004). Paralelamente, a estrutura física do solo é comprometida pela desagregação, pela mineralização acelerada da matéria orgânica e pela remoção da camada superficial, processos associados ao preparo convencional com arações e gradagens frequentes, que promovem a desagregação excessiva e podem induzir a formação de camadas compactadas subsuperficiais (“pé de arado”), elevando a densidade do solo e restringindo o crescimento radicular (Leite, 2004; França e Souza, 2010; Vogel e Fey, 2016).

Essa condição textural e química limita a capacidade de retenção de água e nutrientes, uma vez que a argila e a matéria orgânica são os principais componentes responsáveis pela formação e estabilização dos agregados do solo. A reduzida proporção desses constituintes compromete a ação cimentante necessária à agregação, resultando em menor coesão entre as partículas minerais. As partículas argilosas e a matéria orgânica atuam como agentes ligantes, promovendo a união entre partículas primárias e a formação de agregados estáveis, os quais conferem estrutura ao solo (Souza, 2004).

Os agregados correspondem a unidades estruturais formadas pela associação entre partículas minerais (areia, silte e argila) e compostos orgânicos. A organização das partículas minerais e da matéria orgânica em agregados promove a formação de macro e microporos no solo. Os macroporos estão associados principalmente à circulação de ar e à drenagem da água excedente, assegurando adequada aeração do sistema radicular. Já os microporos, localizados no interior dos agregados, são responsáveis pelo armazenamento de água e nutrientes por forças capilares. Solos arenosos apresentam predomínio de macroporos (diâmetro > 0,08 mm), pelos quais a água percola rapidamente, resultando em reduzida capacidade de armazenamento hídrico e nutricional (Brady e Weil, 2016).

A expansão agrícola, muitas vezes sem práticas conservacionistas, tem intensificado os processos que comprometem a funcionalidade do solo e ameaçam a sustentabilidade do uso da terra, que, sob uma perspectiva agrônômica, consiste na capacidade de manter a produtividade e os serviços ambientais ao longo do tempo, sem comprometer sua qualidade ou viabilidade para gerações futuras (Souza, 2004).

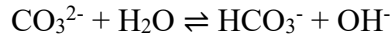
RESÍDUOS SIDERÚRGICOS COMO CORRETIVO DE ACIDEZ

A CTC é um parâmetro químico que expressa a quantidade de cargas negativas disponíveis nos colóides do solo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), responsáveis por reter os cátions (H^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+). Em solos arenosos altamente intemperizados, como os Argissolos, a CTC potencial geralmente é inferior a $5 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$, enquanto em solos argilosos com maior teor de matéria orgânica pode superar $15 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Gasparetto, 1999). Essa limitação afeta a retenção de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+) e favorece a saturação por H^+ e Al^{3+} , o que contribui para a acidez comum nesses ambientes. Nos solos derivados do Arenito Caiuá, o principal fator limitante não é a saturação por alumínio trocável, mas sim a baixa disponibilidade de nutrientes essenciais, uma vez que esses solos apresentam naturalmente baixos teores de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), caracterizando-os como distróficos ($\text{V}\% < 50\%$). Embora alguns desses solos possam apresentar saturação por alumínio superior a 30%, o principal desafio agrônômico está na construção da fertilidade por meio da calagem e adubação (Raij, 2011).

A acidez do solo é um fator limitante à produtividade agrícola em solos tropicais altamente intemperizados e se manifesta sob quatro formas: acidez ativa, trocável, não trocável e potencial. A acidez ativa refere-se à concentração de íons H^+ livres na solução do solo e é expressa diretamente pelo pH; a acidez trocável corresponde ao H^+ e Al^{3+} adsorvidos nos colóides do solo, já a acidez não trocável é a forma de acidez (H^0) fortemente adsorvida (ligação covalente) a argila, não removida por extratores salinos comuns, como $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$. Ela representa a maior parte (até 80%) da acidez total e é liberada gradualmente conforme o pH do solo aumenta, geralmente entre 5,5 a 6,0. Essa liberação ocorre porque grupos funcionais ($-\text{OH}$, $-\text{COOH}$) perdem prótons, elevando a CTC efetiva do solo. Por isso, a acidez não trocável é fundamental no cálculo da necessidade de calagem, mesmo sem estar diretamente disponível na solução do solo, por fim, a acidez potencial é a soma da acidez ativa, trocável e não trocável, sendo utilizada no cálculo da necessidade de corretivos (Sousa et al., 2007; Raij, 2011).

A aplicação de carbonatos de cálcio (CaCO_3) e magnésio (MgCO_3) ao solo promove a correção da acidez por meio de reações químicas que envolvem a liberação de íons (OH^-) e a neutralização de H^+ e precipitação de Al^{3+} . Ao serem incorporados ao solo, esses carbonatos se dissociam gradualmente, liberando os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , além do ânion carbonato (CO_3^{2-}).

O carbonato (CO_3^{2-}) reage com a solução do solo (H^+), promovendo uma hidrólise que resulta na formação de íons bicarbonato (HCO_3^-) e hidroxila (OH^-), conforme a equação:



As hidroxilas (OH^-) formadas são as principais responsáveis pela neutralização da acidez do solo, pois reagem diretamente com os íons H^+ presentes na solução, formando moléculas de água: $\text{OH}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}$. Além disso, a presença de OH^- em maior concentração favorece a precipitação do alumínio trocável (Al^{3+}), na forma de hidróxido de alumínio, um composto insolúvel e não fitotóxico: $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3$. Simultaneamente, os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} liberados através da dissolução do carbonato ocupam os sítios de troca do complexo coloidal do solo, substituindo os íons H^+ e Al^{3+} anteriormente adsorvidos. Esse processo contribui para a redução da acidez ativa (H^+) e trocável e para o aumento da saturação por bases, principalmente pelos cátions Ca^{+2} e Mg^{+2} (Raij, 2011; Malavolta, 2006).

No entanto, segundo Alcarde e Rodella (2003) a solubilidade do CaCO_3 em água é de apenas $0,014 \text{ g L}^{-1}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, o que limita sua mobilidade e ação corretiva em profundidade, especialmente em solos com baixa umidade. Adicionalmente, a reação dos carbonatos no solo resulta na emissão de dióxido de carbono (CO_2). De acordo com o IPCC (2006), a calagem com calcário dolomítico emite aproximadamente 0,13 tonelada de C- CO_2 por tonelada de calcário aplicado, representando 13% do conteúdo equivalente de carbonato. Essa emissão ocorre durante a hidrólise do carbonato, quando o CO_2 é liberado para a atmosfera.

Nesse cenário, destacam-se os silicatos de cálcio e magnésio (CaSiO_3 e MgSiO_3), como alternativa ao calcário. Os silicatos apresentam solubilidade superior com valor de $0,095 \text{ g L}^{-1}$, o que representa solubilidade de 6,78 vezes maior que a do carbonato de cálcio (Alcarde e Rodella, 2003). Na pesquisa realizada por Ramos et al. (2006), foi possível afirmar o benefício do uso do silicato. Com o auxílio de lisímetros, observou-se que, até a camada de 0-15 cm, o silicato apresentou melhor desempenho na correção da acidez do solo quando comparado ao calcário, que apresentou efeito corretivo limitado à camada de 0-5 cm.

O silicato de cálcio (CaSiO_3), ao ser aplicado ao solo, dissocia-se liberando cátions (Ca^{2+}) e ânions silicato (SiO_3^{2-}). O silicato passa por sucessivas reações de hidrólise, nas quais o SiO_3^{2-} reage com solução do solo (H^+), formando espécies intermediárias como HSiO_3^- e H_2SiO_3 , até originar o ácido monossilícico (H_4SiO_4), a forma absorvível de silício pelas plantas. Em cada etapa dessa hidrólise, ocorre a liberação de hidroxila (OH^-), os quais neutralizam os

íons H^+ da solução do solo, promovendo a elevação do pH. Esse aumento do pH favorece, ainda, a precipitação do alumínio trocável (Al^{3+}), por meio da reação com as hidroxilas, formando hidróxido de alumínio insolúvel ($Al(OH)_3$), reduzindo a toxicidade e contribuindo para a melhoria das condições químicas do solo, tais como: maior disponibilidade de fósforo devido à menor fixação por Al^{3+} e Fe^{3+} na faixa de pH 5,5-6,5 (Sousa et al., 2007); elevação da CTC a pH 7,0 pela desprotonação de grupos funcionais da matéria orgânica e dos argilominerais ($-COOH \rightarrow -COO^- + H^+$), liberando sítios de carga negativa para maior adsorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} provenientes do corretivo, substituindo H^+ e Al^{3+} e elevando a saturação por bases; além do estímulo à atividade microbiana em ambiente menos ácido e da maior eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas, associada ao desenvolvimento mais vigoroso do sistema radicular (Nolla, 2004; Sousa et al., 2007).

Além de efetuar a correção da acidez e adubar com Ca^{+2} e Mg^{+2} , os silicatos fornecem silício, elemento considerado benéfico para as plantas por aumentar a resistência a estresses abióticos (seca, salinidade, toxicidade por metais pesados) e reduzir a incidência de pragas e doenças por meio do fortalecimento da parede celular e formação de camada silicificada nas folhas, que atua como barreira física contra patógenos e insetos (Nwugo e Huerta, 2008). O silício também reduz a transpiração através da formação de uma dupla de sílica cuticular e melhora a taxa fotossintética pela manutenção da estrutura foliar ereta, otimizando a interceptação luminosa (Reis et al., 2007; Korndörfer e Lepsch, 2001).

Castro et al. (2016) e Castro e Crusciol (2015) em plantio direto sobre Latossolo Vermelho, mostraram que o silicato de cálcio e magnésio aplicados em superfície corrigiu a acidez do solo em profundidade de até 0,60 m e elevou bases trocáveis até 0,40 m, no período de 18 meses. Esses efeitos ocorreram em camadas mais profundas do que os observados com o uso de calcário, além de promoverem incremento no teor de silício foliar e na produtividade das culturas de soja e milho.

Em solos com pH $CaCl_2$ inferior a 5,2, o alumínio trocável (Al^{3+}) torna-se mais solúvel, elevando sua toxidez e comprometendo o desenvolvimento do sistema radicular. A mamoneira, embora apresente maior tolerância à acidez, também é beneficiada pela correção do solo. A espécie consegue se desenvolver mesmo em solos mais ácidos, porém, nessas condições, não expressa seu potencial produtivo. Em solos não corrigidos, os rendimentos costumam ficar abaixo de 1.200 kg ha^{-1} , enquanto, em ambientes com acidez neutralizada e condições

adequadas de fertilidade, a produtividade pode superar 3.000 kg ha⁻¹. Para isso, são indicados valores de pH CaCl₂= 5,0 a 6,5; saturação por bases= 70% e teor de Mg²⁺ ≥ 0,8 cmol_c dm⁻³ (Beltrão et al., 2012; Quaggio e Zambrosi, 2022).

DISCUSSÃO

No noroeste do Paraná, onde predominam solos arenosos derivados do arenito, observa-se um conjunto de limitações químicas que restringem o desenvolvimento adequado da mamoneira. Esses solos, em geral, apresentam baixa capacidade de troca catiônica, reduzido teor de matéria orgânica, elevada acidez e presença significativa de alumínio trocável (Al³⁺), fatores que comprometem diretamente o crescimento radicular e a absorção de nutrientes essenciais pelas plantas (Pauletti e Motta, 2019). Nesse cenário, a cultura da mamona, conhecida cientificamente como *Ricinus communis*, enfrenta condições adversas que exigem estratégias de manejo específicas e bem fundamentadas para alcançar níveis satisfatórios de produtividade.

A correção da acidez do solo torna-se, portanto, uma prática indispensável nesse sistema de produção. A aplicação de corretivos atua não apenas na neutralização dos íons H⁺ e Al³⁺, responsáveis pela toxicidade no ambiente radicular, mas também promove melhorias nas condições químicas do solo ao elevar o pH e aumentar a disponibilidade de nutrientes como Ca²⁺ e Mg²⁺ (Severino et al., 2013). Além disso, a redução da atividade do alumínio tóxico favorece o aprofundamento do sistema radicular, ampliando a capacidade da planta em explorar água e nutrientes em camadas mais profundas, o que é particularmente relevante em solos de textura arenosa e baixa retenção hídrica.

Nesse contexto, o uso de fontes alternativas de corretivos, como o silicato de cálcio, tem ganhado destaque. Esse material, além de desempenhar função corretiva semelhante à do calcário, fornece silício (Si), elemento que, embora não essencial, tem sido associado a diversos benefícios fisiológicos nas plantas. O silício pode contribuir para o aumento da resistência a estresses bióticos, como pragas e doenças, e abióticos, como déficit hídrico e toxidez por metais, além de melhorar a eficiência no uso da água e a arquitetura das plantas (Reis et al., 2007). Dessa forma, sua utilização pode representar uma estratégia adicional para incrementar a estabilidade produtiva da mamoneira em ambientes restritivos.

A recomendação de elevar a saturação por bases (V%) para valores próximos a 70% tem sido adotada como referência para culturas oleaginosas, incluindo a mamona, especialmente em regiões onde ainda não existem parâmetros específicos bem estabelecidos. Esse nível de saturação proporciona condições químicas mais favoráveis ao desenvolvimento vegetal, promovendo a neutralização de íons tóxicos e aumentando a disponibilidade de nutrientes essenciais, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e, no caso do uso de silicatos, o próprio Si (Quaggio e Zambrosi, 2022). Além disso, níveis adequados de saturação por bases estão associados à maior eficiência dos fertilizantes aplicados, reduzindo perdas e melhorando o aproveitamento dos insumos pela cultura.

Resultados experimentais reforçam o potencial do uso de silicatos como corretivos. Martins et al. (2009) avaliaram a aplicação de escória de siderurgia, fonte de silicato de cálcio, em combinação com diferentes tipos de adubação na cultura da mamona. Os autores observaram que a utilização desse material promoveu alterações positivas nos teores de nutrientes nas folhas, com incrementos significativos no acúmulo de N, K, Ca e Fe em comparação à ausência de corretivo. Esse efeito pode ser explicado pela elevação do pH do solo e pelo fornecimento adicional de cálcio, que contribuem para melhorar o ambiente radicular e favorecer processos fisiológicos ligados ao crescimento e à nutrição das plantas. Além disso, a melhoria no estado nutricional refletiu diretamente no desenvolvimento vegetativo, evidenciando o papel do corretivo como componente essencial no manejo da fertilidade do solo.

Outro aspecto relevante a ser considerado é o efeito residual desses materiais no solo. Diferentemente de algumas fontes tradicionais, os silicatos podem apresentar maior persistência, prolongando seus efeitos ao longo de ciclos agrícolas subsequentes. Isso pode resultar em benefícios econômicos e operacionais, ao reduzir a necessidade de reaplicações frequentes. Entretanto, a magnitude desse efeito residual pode variar conforme as características do solo, as condições climáticas e o manejo adotado, o que reforça a necessidade de estudos mais detalhados em nível regional.

Apesar dos avanços no entendimento dos benefícios da correção da acidez, ainda há lacunas importantes no que se refere à recomendação específica para a cultura da mamona no estado do Paraná. Na ausência de diretrizes consolidadas, produtores frequentemente recorrem a recomendações desenvolvidas para outras culturas ou adaptam parâmetros de diferentes regiões, o que pode não refletir adequadamente as condições edafoclimáticas locais. A proposta

de Quaggio e Zambrosi (2022), que sugere a elevação da saturação por bases para 70%, tem sido amplamente utilizada como referência prática, embora não tenha sido originalmente calibrada para a mamoneira nas condições do noroeste paranaense.

Adicionalmente, o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (Pauletti e Motta, 2019) não contempla recomendações específicas para essa cultura, o que dificulta a tomada de decisão por parte de técnicos e produtores. Essa lacuna evidencia a necessidade de geração de informações regionais que considerem as particularidades dos solos arenosos do arenito Caiuá, bem como as exigências nutricionais da mamoneira em diferentes estádios de desenvolvimento.

Diante desse cenário, torna-se evidente a importância da realização de estudos voltados à calibração de doses de corretivos para a cultura da mamona em condições locais. Pesquisas que avaliem o desempenho do silicato de cálcio e magnésio, em comparação com fontes tradicionais, são fundamentais para definir estratégias mais eficientes de manejo da acidez do solo. Além disso, é necessário investigar aspectos como a profundidade de incorporação dos corretivos, sua mobilidade no perfil do solo e os efeitos em diferentes sistemas de manejo, incluindo plantio direto e convencional.

Outro ponto que merece atenção é a interação entre a correção da acidez e a adubação mineral. A eficiência dos fertilizantes está diretamente relacionada às condições químicas do solo, sendo que a inadequada correção pode limitar a disponibilidade de nutrientes e comprometer a resposta da cultura. Assim, estratégias integradas que considerem tanto a correção da acidez quanto o fornecimento equilibrado de nutrientes tendem a proporcionar melhores resultados agronômicos.

Por fim, a adoção de práticas de manejo mais ajustadas às condições regionais pode contribuir não apenas para o aumento da produtividade da mamona, mas também para a sustentabilidade do sistema produtivo. A otimização do uso de corretivos e fertilizantes, aliada à melhoria das propriedades químicas do solo, pode reduzir custos, minimizar impactos ambientais e aumentar a eficiência do uso dos recursos disponíveis. Nesse sentido, o avanço do conhecimento científico e sua aplicação prática são essenciais para consolidar a cultura da mamona como uma alternativa viável e competitiva no noroeste do Paraná.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No noroeste do Paraná, onde predominam solos arenosos derivados do arenito, observa-se um conjunto de limitações químicas que restringem o desenvolvimento adequado da mamoneira. Esses solos, em geral, apresentam baixa capacidade de troca catiônica, reduzido teor de matéria orgânica, elevada acidez e presença significativa de alumínio trocável (Al^{3+}), fatores que comprometem diretamente o crescimento radicular e a absorção de nutrientes essenciais pelas plantas (Pauletti e Motta, 2019). Nesse cenário, a cultura da mamona, conhecida cientificamente como *Ricinus communis*, enfrenta condições adversas que exigem estratégias de manejo específicas e bem fundamentadas para alcançar níveis satisfatórios de produtividade.

A correção da acidez do solo torna-se, portanto, uma prática indispensável nesse sistema de produção. A aplicação de corretivos atua não apenas na neutralização dos íons H^+ e Al^{3+} , responsáveis pela toxicidade no ambiente radicular, mas também promove melhorias nas condições químicas do solo ao elevar o pH e aumentar a disponibilidade de nutrientes como Ca^{2+} e Mg^{2+} (Severino et al., 2013). Além disso, a redução da atividade do alumínio tóxico favorece o aprofundamento do sistema radicular, ampliando a capacidade da planta em explorar água e nutrientes em camadas mais profundas, o que é particularmente relevante em solos de textura arenosa e baixa retenção hídrica.

Nesse contexto, o uso de fontes alternativas de corretivos, como o silicato de cálcio, tem ganhado destaque. Esse material, além de desempenhar função corretiva semelhante à do calcário, fornece silício (Si), elemento que, embora não essencial, tem sido associado a diversos benefícios fisiológicos nas plantas. O silício pode contribuir para o aumento da resistência a estresses bióticos, como pragas e doenças, e abióticos, como déficit hídrico e toxidez por metais, além de melhorar a eficiência no uso da água e a arquitetura das plantas (Reis et al., 2007). Dessa forma, sua utilização pode representar uma estratégia adicional para incrementar a estabilidade produtiva da mamoneira em ambientes restritivos.

A recomendação de elevar a saturação por bases (V%) para valores próximos a 70% tem sido adotada como referência para culturas oleaginosas, incluindo a mamona, especialmente em regiões onde ainda não existem parâmetros específicos bem estabelecidos. Esse nível de saturação proporciona condições químicas mais favoráveis ao desenvolvimento

vegetal, promovendo a neutralização de íons tóxicos e aumentando a disponibilidade de nutrientes essenciais, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e, no caso do uso de silicatos, o próprio Si (Quaggio e Zambrosi, 2022). Além disso, níveis adequados de saturação por bases estão associados à maior eficiência dos fertilizantes aplicados, reduzindo perdas e melhorando o aproveitamento dos insumos pela cultura.

Resultados experimentais reforçam o potencial do uso de silicatos como corretivos. Martins et al. (2009) avaliaram a aplicação de escória de siderurgia, fonte de silicato de cálcio, em combinação com diferentes tipos de adubação na cultura da mamona. Os autores observaram que a utilização desse material promoveu alterações positivas nos teores de nutrientes nas folhas, com incrementos significativos no acúmulo de N, K, Ca e Fe em comparação à ausência de corretivo. Esse efeito pode ser explicado pela elevação do pH do solo e pelo fornecimento adicional de cálcio, que contribuem para melhorar o ambiente radicular e favorecer processos fisiológicos ligados ao crescimento e à nutrição das plantas. Além disso, a melhoria no estado nutricional refletiu diretamente no desenvolvimento vegetativo, evidenciando o papel do corretivo como componente essencial no manejo da fertilidade do solo.

Outro aspecto relevante a ser considerado é o efeito residual desses materiais no solo. Diferentemente de algumas fontes tradicionais, os silicatos podem apresentar maior persistência, prolongando seus efeitos ao longo de ciclos agrícolas subsequentes. Isso pode resultar em benefícios econômicos e operacionais, ao reduzir a necessidade de reaplicações frequentes. Entretanto, a magnitude desse efeito residual pode variar conforme as características do solo, as condições climáticas e o manejo adotado, o que reforça a necessidade de estudos mais detalhados em nível regional.

Apesar dos avanços no entendimento dos benefícios da correção da acidez, ainda há lacunas importantes no que se refere à recomendação específica para a cultura da mamona no estado do Paraná. Na ausência de diretrizes consolidadas, produtores frequentemente recorrem a recomendações desenvolvidas para outras culturas ou adaptam parâmetros de diferentes regiões, o que pode não refletir adequadamente as condições edafoclimáticas locais. A proposta de Quaggio e Zambrosi (2022), que sugere a elevação da saturação por bases para 70%, tem sido amplamente utilizada como referência prática, embora não tenha sido originalmente calibrada para a mamoneira nas condições do noroeste paranaense.

Adicionalmente, o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (Pauletti e Motta, 2019) não contempla recomendações específicas para essa cultura, o que dificulta a tomada de decisão por parte de técnicos e produtores. Essa lacuna evidencia a necessidade de geração de informações regionais que considerem as particularidades dos solos arenosos do arenito Caiuá, bem como as exigências nutricionais da mamoneira em diferentes estádios de desenvolvimento.

Diante desse cenário, torna-se evidente a importância da realização de estudos voltados à calibração de doses de corretivos para a cultura da mamona em condições locais. Pesquisas que avaliem o desempenho do silicato de cálcio e magnésio, em comparação com fontes tradicionais, são fundamentais para definir estratégias mais eficientes de manejo da acidez do solo. Além disso, é necessário investigar aspectos como a profundidade de incorporação dos corretivos, sua mobilidade no perfil do solo e os efeitos em diferentes sistemas de manejo, incluindo plantio direto e convencional.

Outro ponto que merece atenção é a interação entre a correção da acidez e a adubação mineral. A eficiência dos fertilizantes está diretamente relacionada às condições químicas do solo, sendo que a inadequada correção pode limitar a disponibilidade de nutrientes e comprometer a resposta da cultura. Assim, estratégias integradas que considerem tanto a correção da acidez quanto o fornecimento equilibrado de nutrientes tendem a proporcionar melhores resultados agronômicos.

Por fim, a adoção de práticas de manejo mais ajustadas às condições regionais pode contribuir não apenas para o aumento da produtividade da mamona, mas também para a sustentabilidade do sistema produtivo. A otimização do uso de corretivos e fertilizantes, aliada à melhoria das propriedades químicas do solo, pode reduzir custos, minimizar impactos ambientais e aumentar a eficiência do uso dos recursos disponíveis. Nesse sentido, o avanço do conhecimento científico e sua aplicação prática são essenciais para consolidar a cultura da mamona como uma alternativa viável e competitiva.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas.** São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos, 2005. 24p. (Boletim Técnico, 6).

ALCARDE, J.C.; PROCHNOW, L.I. Metodologias de extração química para avaliação da eficiência de fertilizantes fosfatados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p.589-602.

ALCARDE, J.C.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVARES V., V.H. (Ed.). **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.291-334.

AMORIM, M.S.; ARAÚJO, A.E.; Clima e solo. In: AZEVEDO, D.M.P.; LIMA, E.F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.63-76.

AZEVEDO, D.M.P.; BELTRÃO, N.E.M.; BATISTA, F.A.S.; LIMA, E.F. **Arranjo de fileiras no consórcio de mamona-milho**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 1997. 21p. (Boletim de Pesquisa, 34).

AZEVEDO, D.M.P.; BELTRÃO, N.E.M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 504p.

BELTRÃO, N.E.M.; LUCENA, A.M.A.; BRITO, G.G.; OLIVEIRA, M.I.P.; ALBUQUERQUE, F.A. Ecofisiologia da mamoneira (*Ricinus communis* L.). In: BELTRÃO, N.E.M.; OLIVEIRA, M.I.P. (Ed.). **Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal**. Brasília: Embrapa, 2012. p.213-238.

BISCARO, G.A.; VAZ, M.A.B.; GIACON, G.M.; GOMES, E.P.; SILVA, S.B.; MOTOMIYA, A.V.A. Produtividade de duas cultivares de mamona submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.9, p.925-930, 2012.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Harlow: Pearson Education, 2016. 1104p.

CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C. Effects of surface application of dolomitic limestone and calcium-magnesium silicate on soybean and maize in rotation with green manure in a tropical region. **Bragantia**, Campinas, v.74, n.3, p.311-321, 2015.

CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C; COSTA, C.H.M.; FERRARI NETO, J.; MANCUSO, M.A.C. Surface application of limestone and calcium-magnesium silicate in a tropical no-tillage system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Santiago, v.16, n.2, p.362-379, 2016.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. **CONAB**, Brasília, v.13, n.2, p.11, 2025.

CUNHA, T.J.F.; CANELLAS, L.P.; RIBEIRO, L.P. Fracionamento da matéria orgânica humificada de solos brasileiros. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Vitória: Metrópole, 2008. p.54-80.

CURCIO, G.R. Solos desenvolvidos sobre o arenito caiuá: potencialidades e riscos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS ARENOSOS, 2, 2017, Maringá. **Anais**. Maringá: RPCS, 3p.

DECHEN, S.C.F.; TELLES, T.S.; GUIMARÃES, M.F.; MARIA, I.C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, Campinas, v.74, n.2, p.224-233, 2015.

FERNANDES, I.M.S. **Avaliação toxicológica do pólen de mamona (*Ricinus communis*) para abelhas *Apis mellifera***. 2013. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013.

FORMIGA, L.A.; GUERRA, H.O.C.; LACERDA, R.D.; SILVA, J.E.B.; ARAUJO, M.S. Efeito da água disponível do solo no desenvolvimento de dois cultivares de mamona, nos primeiro e segundo ciclos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.6, p.1128-1138, 2014.

FRANÇA, P.; SOUZA, M.L. Utilização de geoindicador para avaliação das mudanças no uso e ocupação do solo no período de 1970 e 2009 na bacia do córrego Pinhalzinho II - região Noroeste do Paraná-Brasil. **Boletim de Geografia**, Maringá, v.28, n.2, p.83-99, 2010.

GASPARETTO, N.V.L. **As formações superficiais do noroeste do Paraná e sua relação com o arenito caiuá**. 1999. 181p. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

GONDIM, T.M.S.; DUARTE, N.S.L.; BELTRAO, N.E.M.; VASCONCELOS, R.A.; PEREIRA, J.R.; QUEIROGA, V.P. Crescimento após poda de plantas de mamoneira 'BRS Energia' cultivada em diferentes espaçamentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1, 2010, João Pessoa. **Anais**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 6p.

KORNDÖRFER, G.H.; LEPSCH, I. Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (Eds.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p.133-147.

LACERDA, R.D. **Resposta da mamona a disponibilidade de água e matéria orgânica no solo, em dois ciclos com manejo de poda**. 2010. 140p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

LARACH, J.O.I.; CARVALHO, A.P.; CARDOSO, A.; HOCHMULLER, D.P.; MARTINS, J.S.; RAUEN, M.J.; LEMOS, R.C.; RAUEN, V. **Levantamento de reconhecimento dos solos**

do Noroeste do Estado do Paraná. Rio de Janeiro: Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1970. 102p. (Boletim técnico, 14).

LEITE, L.F.C. **Matéria orgânica do solo.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 31p. (Documentos, 97).

LINNÉ, J.A.; CARDOSO, E.A.S.; FIGUEIREDO, V.M.A.; SILVERIO, J.M.; OLIVEIRA, T.C.C.; LIMA, V.T.; JESUS, M.V.; SCALON, S.P.Q. O sílicio no manejo de estresses bióticos e abióticos. In: SANTOS, C.C. (Ed.). **Agrobiodiversidade de manejo e produção sustentável.** Nova Xavantina: Pantanal Editora, 2022. p.132-14.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARTINS, D.L.; NOGUEIRA, N.O.; TOMAZ, M.A.; AMARAL, J.F.T.; LAVIOLA, B.G. Efeito do corretivo escória de siderurgia e diferentes adubações no teor nutricional de folhas de mamona e pinhão-manso. **Revista Verde**, Mossoró, v.4, n.4, p.135-145, 2009.

MEDEIROS, E.P. **Mamona: Óleo e coprodutos.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2022. 1p. Disponível em: '<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/cultivos/mamona/pos-producao/oleo-e-coprodutos.MTEC379pdf>'. Acesso em: 09 jan. 2026.

MOTTA, A.C.V.; MELO, V.F. Química dos solos ácidos. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. p.1009-1076.

NITSCHKE, P.R.; CARAMORI, P.H.; RICCE, W.S.; PINTO, L.F.D. **Atlas climático do Estado do Paraná.** Londrina: IDR-Paraná - Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, 2019. 210p.

NOLLA, A. Correção da acidez do solo com silicatos. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 3, 2004, Uberlândia. **Palestras.** Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 6p.

NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.134-198.

NWUGO, C.C.; HUERTA, A.J. Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.311, p.73-86, 2008.

PANINI, R.L.; ARAUJO, M.A.; GONÇALVES, J.V.; USHIWATA, S.Y.; BATISTA, M.A.; INOUE, T.T. Classificação de solos e caracterização de atributos físicos de solos de uma topossequência do Arenito Caiuá. **Revista Observatorio De La Economia Latinoamericana**, Curitiba, v.22, n.3, p.1-27, 2024.

PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V. **Manual de calagem e adubação para o estado do Paraná**. 2 Ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-NEPAR-SBCS, 2019. 289p.

PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; PINHEIRO, C.R.; PINTO, L.A.S.R.; SILVA, E.C.; FONTANA, A. Formação e caracterização de solos. In: TULLIO, L. (Ed.). **Formação, classificação e cartográfica dos solos**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. p.1-20.

PINTO, L.F.D.; SILVA, M.A.A.; NITSCHKE, P.R.; FARIAS, J.R.B.; SIBALDELLI, R.N.R.; ZUCARELI, C. Ocorrência de estiagem no Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.44, n.4, p.1463-1488, 2023.

QUAGGIO, J.A.; ZAMBROSI, F.C.B. Mamona (*Ricinus communis*). In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS, D.; BOARETTO, R.M.; RAIJ, B.V. (Ed.). **Boletim 100: Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto agrônomo de Campinas (IAC), 2022. p. 397-400.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI - International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

REIS, T.H.P.; GUIMARÃES, P.T.G.; FIGUEIREDO, F.C.; POZZA, A.A.A.; NOGUEIRA, F.D.; RODRIGUES, C.R. **O silício na nutrição e defesa de plantas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 120p.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORREA, G.F.; KER, J.C. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. Lavras: UFLA, 2014. 378p.

RIZZARDO, R.A.G.; MILFONT, M.O.; SILVA, E.M.S.; FREITAS, B.M. Polinização por *Apis mellifera* melhora a produtividade agrônômica da mamona anemófila (*Ricinus communis*). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.84, n.4, p.1137-1145, 2012.

ROSEGHINI, W.F.F.; NERY, J.T.; MARTINS, M.L.O.F. Caracterização da precipitação na região Noroeste do Estado do Paraná. **Boletim de Geografia**, Maringá, v.19, n.1, p.99-114, 2001.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 Ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO, J.C.; LIMA, H.N.; MARQUES, F.A.;

OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6 Ed. Brasília: Embrapa, 2025. 393p.

SAVY, A. **Mamona: Tecnologia Agrícola**. Campinas: EMOPI, 2005. 105p.

SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GONDIM, T.M.S.; CARDOSO, G.D.; VIRIATO, J.R.; BELTRAO, N.E.M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.879-882, 2006.

SEVERINO, L.S.; MILANI, M.; BELTRÃO, N.E.M.; **Mamona: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa, 2013. 583p.

SEVERINO, L.S.; SCHLICK, G.D.S.; PAULA, M.P.; SANTOS, T.I.; SOUZA, E.C.S. **Marcha de absorção de macronutrientes na mamoneira híbrida de porte baixo em Mato Grosso** (Comunicado técnico, 379). Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2021. 12p. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1135522/1/CO_MTEC379pdf. Acesso em: 09 jan. 2026.

SILVA, L.J.R.; SANDIM, A.S.; SILVA, A.P.R.; DEUS, A.C.F.; ANTONANGELO, J.A.; BÜLL, T. Evaluating the agronomic efficiency of alternative phosphorus sources applied in Brazilian tropical soils. **Scientific Reports**, Londres, v.14, p.8526, 2024.

SORATTO, R.P.; SOUZA-SCHLICK, G.D.; GIACOMO, B.M.; ZANOTTO, M.D.; FERNANDES, A.M. Espaçamento e população de plantas de mamoneira de porte baixo para colheita mecanizada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.46, n.3, p.245-253, 2011.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p.157-200.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 2007. p.205-274.

SPERA, S.T.; REATTO, A.; MARTINS, É.S.; CORREIA, J.R.; CUNHA, T.J.F. **Solos arenos-quartzosos no cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 48p.

VOGEL, G.F.; FEY, R. Resistência mecânica a penetração em diferentes sistemas de uso do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v.3, n.1, p.21-26, 2016.