

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura e Pecuária

ISSN 3085-9514

**Eventos Técnicos
& Científicos**

5

Julho, 2025

Resumos expandidos
20ª Jornada Acadêmica
da Embrapa Soja

30 de junho e 1º de julho de 2025
Londrina, PR

Embrapa Soja
Londrina, PR
2025

Embrapa Soja

Rod. Carlos João Strass, s/n
Acesso Orlando Amaral, Caixa postal
4006, CEP 86085-981, Distrito de
Warta, Londrina, PR
(43) 3371 6000
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações**Presidente**

Roberta Aparecida Carnevalli

Secretária-executiva

*Regina Maria Villas Bôas
de Campos Leite*

Membros

*Clara Beatriz Hoffmann-Campo,
Claudine Dinali Santos Seixas, Claudio
Guilherme Portela de Carvalho,
Fernando Augusto Henning, Leandro
Eugênio Cardamone Diniz, Liliane
Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina
Neves de Oliveira e Norman Neumaier*

Organização da publicação

*Regina Maria Villas Bôas
de Campos Leite
Liliane Márcia Mertz-Henning
Kelly Catharin*

Normalização

Valéria de Fátima Cardoso

Capa

Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol

Diagramação

*Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol e
Marisa Yuri Horikawa*

Publicação digital: PDF**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Soja

Jornada Acadêmica da Embrapa Soja (20. : 2025: Londrina, PR).

Resumos expandidos [da] XX Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, Londrina, PR,
30 de junho e 1 de julho de 2025 – Londrina : Embrapa Soja, 2025.

PDF (153 p.) - (Eventos técnicos & científicos / Embrapa Soja, ISSN 3085-9514; 5)

1. Soja. 2. Pesquisa agrícola. I. Título. II. Série.

CDD (21. ed.) 630.2515

Cinética de neutralização da acidez em solos com capacidade de troca de cátions distintas

Matheus Correa Bodnariuc⁽¹⁾, Maria Julia Couto⁽²⁾, Maria Teresa Magnani Coppo⁽³⁾, Ruan Francisco Firmano⁽⁴⁾, Fernanda Ramos de Andrade⁽⁵⁾, Joviano Jackson Kleinert⁽⁵⁾, Mariana Gomes Germano⁽⁶⁾, Cesar de Castro⁽⁷⁾, Adilson de Oliveira Junior⁽⁷⁾, Fábio Alvares de Oliveira⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Estudante de graduação em Química, Universidade Estadual de Londrina, bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. ⁽²⁾ Licenciada em Química, bolsista FAPED/Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽³⁾ Estudante de graduação em Agronomia, Universidade Norte do Paraná, bolsista Funarbe/Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽⁴⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor, bolsista DTI-C CNPq/Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽⁵⁾ Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal, Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽⁶⁾ Graduada em Química, doutora, analista da Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽⁷⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Introdução

Os solos tropicais são naturalmente ácidos devido ao processo natural de intemperização. Contudo, a atividade agrícola intensifica o processo de acificação pela lixiviação de bases trocáveis, remoção de nutrientes pelas colheitas e pela maior atividade microbológica associada à decomposição da matéria orgânica. A acidez do solo é o indicador da atividade de íons hidrogênio (H^+) na solução do solo, condição que determina o equilíbrio, na fração coloidal do solo, da maior ou menor disponibilidade de nutrientes às plantas, além da atividade biológica do solo e da eficiência do uso de fertilizantes (Bönecke et al., 2021).

A correção da acidez do solo em áreas agrícolas é realizada por meio do uso de corretivos, destacando-se o calcário. O cálculo da necessidade de calagem determina as quantidades exigidas para a elevação o pH a valores ideais, com elevação da disponibilidade de cálcio e magnésio e neutralização do alumínio tóxico (Raij, 1991). As propriedades do solo consideradas para a decisão de utilização e recomendação de corretivos de acidez são a acidez ativa (pH) e a acidez potencial ($H+Al$) do solo, determinadas por diferentes métodos, incluindo: (i) titulação direta, (ii) incubação do solo com corretivo de acidez e (iii) o uso de uma solução tampão para estimar a capacidade do solo de resistir à mudança de pH (McLean, 1973).

No Brasil, a metodologia de recomendação de calagem mais empregada é a elevação da saturação por bases (V%), atributo da fertilidade

que indica a quantidade de bases trocáveis disponíveis às plantas e que apresenta relação direta com o pH (Catani; Gallo, 1955). Esta relação é dependente da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, que também indica o poder tampão do solo. Contudo, nas análises de rotina, a CTC é calculada de forma indireta, utilizando a soma de bases (SB) e a acidez potencial (H+Al), determinadas separadamente com o emprego de soluções extratoras, acarretando em desvios do balanço estequiométrico da reação de neutralização da acidez do solo, com reflexo na efetividade da calagem.

Os corretivos de acidez apresentam solubilidade reduzida e, portanto, tem sua efetividade dependente do tempo de reação. O objetivo deste trabalho foi avaliar a cinética de reação do carbonato de cálcio, avaliar a necessidade de calagem pelo método da incubação, analisar os atributos indicadores da correção da acidez do solo e a efetividade do método de recomendação de calagem em solos com diferentes CTCs.

Material e Métodos

Foram coletadas amostras de solo da camada superficial (0-10 cm) de um Argissolo Vermelho Amarelo (Solo PVA) com 100 g dm^{-3} de argila (textura arenosa), e de um Latossolo Vermelho Distroférrico (Solo LVdf), com 780 g dm^{-3} (textura muito argilosa). As amostras foram secas e peneiradas para homogeneização e, em seguida, foram acondicionadas em potes plásticos com capacidade para 1,0 kg e distribuídas ao acaso em casa de vegetação. Foi realizada uma amostragem inicial para caracterização química do solo (tempo zero).

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com cinco repetições, para avaliação de tratamentos em esquema fatorial 2×5 , variando-se o tipo de solo (LVdf e PVA) e as doses de carbonato de cálcio (CaCO_3) para neutralização da acidez (0 – 0,5 – 1 – 2 – 4 – 8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Posteriormente, à aplicação dos tratamentos, o solo foi mantido com umidade próximo a 70% da capacidade de campo. Amostras de solo de cada unidade experimental foram coletadas aos 30, 60 e 90 dias após o início dos tratamentos, para a realização da análise química do solo, conforme a metodologia Embrapa (Teixeira et al., 2017) e metodologia oficial de análise de solo do Estado do Paraná. Neste estudo foram avaliados o pH em extrato

de CaCl_2 0,01M, acidez potencial correlacionada com os valores determinados de pH_{SMP} para o Estado do Paraná e os teores trocáveis de cálcio, magnésio e potássio, utilizados para o cálculo da Soma de Bases (SB), Saturação por Bases (V%) e estimativa da CTC total ($\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$).

Resultados e Discussão

Na Tabela 1, são apresentados os parâmetros químicos dos solos utilizados no presente estudo (tempo zero).

Tabela 1. Caracterização química dos solos utilizados no experimento.

Solo	pH (0,01M CaCl_2)	Al	H + Al (SMP)	Ca	Mg	K	SB	CTC	V	m	P
		$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$						%			
Solo PVA	4,8	0,0	2,7	0,5	0,3	0,1	0,8	3,6	23	2,2	29
Solo LVdf	4,9	0,1	5,1	2,5	1,0	0,8	4,3	9,5	46	1,8	21

Na condição inicial, o PVA apresentou acidez potencial de $2,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e CTC total de $3,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, enquanto o LV_{df} apresentou H+Al de $5,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e CTC total de $9,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, indicando um poder tampão mais elevado. Os valores estimados da necessidade de calagem para elevação da V a 70% (Raij, 1991) para o PVA foi $1,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e para o LRdf de $2,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

A reação completa do corretivo de acidez foi verificada aos 30 dias após os tratamentos nos dois solos, mantendo os valores máximos de pH até os 90 dias após a aplicação (Figura 1). No entanto, a intensidade de resposta do corretivo nos solos PVA e LRdf apresentou diferenças significativas. O LRdf de textura muito argilosa e maior CTC apresentou maior poder tampão do pH, com valores crescentes de pH em resposta às doses aplicadas, atingindo valor máximo de pH igual a 6,6 na maior dose aplicada. E, o PVA de textura arenosa e menor CTC atingiu valores crescente até a doses $2,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, resultando em valores equivalentes e superiores a 7,0 nas doses de 2,0 a $8,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, mas com redução a partir de 60 dias após a aplicação.

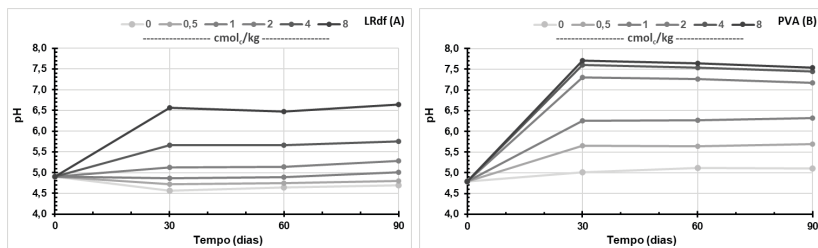


Figura 1. Cinética de neutralização da acidez para o solo LVdf e solo PVA em função do tempo de reação, para cada dose aplicada de CaCO_3 .

Aos 90 dias, as curvas de neutralização da acidez para cada solo em função das doses do corretivo aplicado apresentaram comportamento distintos entre si, porém, com resultados correlacionados com o poder tampão de cada solo (Figura 2). Os solos apresentaram enormes diferenças de neutralização em resposta às doses aplicadas. É possível observar que o solo LVdf, com maior CTC, apresentou uma resposta linear de aumento de pH até a aplicação de $8,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, sem uma tendência de estabilização, mesmo com quantidades aplicadas superiores à acidez potencial. A dose equivalente a $7,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ resultou em valores de pH de 6,5, quantidade muito superior à NC calculada de $2,3 \text{ cmol}_c / \text{kg}$.

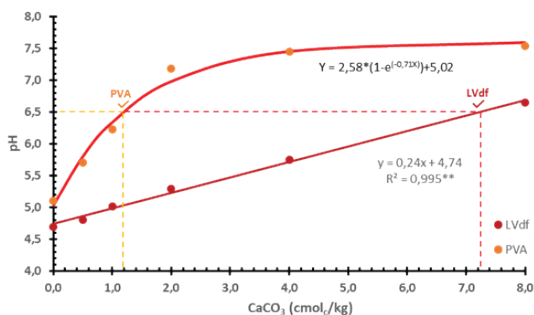


Figura 2. Curva de neutralização da acidez para o solo LVdf e solo PVA, aos 90 dias, em resposta a aplicação de CaCO_3 .

O PVA, com menor CTC, atingiu valores ideais de pH, em torno de 6,5, com a dose de CaCO_3 equivalente a $1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, valor inferior à NC calculada de $1,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Houve estabilização do pH na faixa alcalina a partir de $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, resultando em um pH de 7,5, o que indica que as doses superiores ao valor inicial de H+Al foram excessivas.

Estequiometricamente, a reação do corretivo de acidez padrão (CaCO_3) solubiliza $1,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Ca^{2+} para cada $1,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de H+Al neutralizado pelo H_2CO_3 resultante da dissociação do carbonato. Contudo, não foram verificadas relações equivalentes entre aumento de Ca^{2+} e redução proporcional do H+Al nos dois solos (Figura 3).

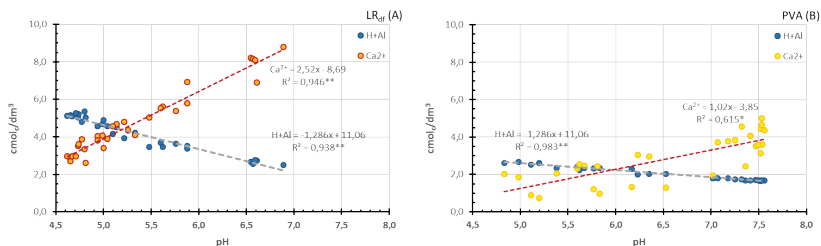


Figura 3. Acidez potencial e disponibilidade de cálcio em função do pH do Solo LVdf (A) E Solo PVA (B).

O solo LVdf (Figura 3A) apresentou respostas lineares em relação ao pH para a neutralização da acidez potencial e a substituição pelo Ca^{2+} , cátion acompanhante no corretivo aplicado no complexo de troca do solo. No entanto, a maior recuperação de Ca^{2+} trocável pelo método analítico foi de $5,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na maior dose enquanto que a acidez potencial foi reduzida de $5,1$ para $2,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. A relação $\text{Ca}^{2+}/\text{H+Al}$ foi modificada na razão de $2,1$, indicando ausência de proporcionalidade estequiométrica e maior desvio para a H+Al em relação ao valor teórico. Os valores observados de acidez potencial devem estar subestimados para essa classe de solos de alta CTC, uma vez que a NC calculada para atingir $V = 70\%$ (próximo ao pH $6,5$) foi de apenas $2,7 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, valor muito abaixo de $7,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ observado para atingir este valor de pH. Assim, a determinação de H+Al por um método indireto de correlação com o pH SMP para os solos do Paraná deve ser reavaliada ou ajustada para solos com características distintas.

No solo PVA (Figura 3B), H+Al também apresentou redução linear de $2,6$ a $0,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em resposta à aplicação de CaCO_3 e elevação do pH. O cálcio, por sua vez, apresentou um menor coeficiente de correlação linear, com variação nos valores observados de $1,5$ a $4,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ nas maiores doses do corretivo. Os desvios estão associados à maior variabilidade na recuperação de cálcio na faixa de pH alcalino ($\text{pH} > 7,0$), pelo extrator $\text{KCl } 1,0 \text{ M}$. O incremento de Ca^{2+} na maior dose

de corretivo foi 3 vezes mais elevado que a redução do H+Al, confirmando a ausência de proporcionalidade estequiométrica, e resultando em superestimativa da CTC calculada ($CTC_{pH7,0} \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1} = SB + H+Al$). O valor estimado para a NC para atingir $V = 70\%$ (próximo ao pH 6,5) foi de $1,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, superior em $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ao valor observado para atingir este valor de pH com a incubação do CaCO_3 .

Conclusão

O carbonato de cálcio reagiu completamente após 30 dias de aplicação em condições ideais de aplicação e controle da umidade do solo. O LRdf, de maior CTC, apresentou resposta linear à aplicação do corretivo de acidez até valores acima da acidez potencial determinada. O PVA, de menor CTC, apresentou resposta decrescente à aplicação do corretivo de acidez e estabilização do pH na faixa ligeiramente alcalina nas doses superiores à sua acidez potencial. A acidez potencial do solo, determinada por correlação com o pH SMP no Estado do Paraná, apresenta desvios de resultados em solos com CTC distintas. A aplicação excessiva de corretivos de acidez em solos de baixa CTC eleva o pH para valores alcalinos e resulta em superestimativa dos teores de cálcio trocáveis e da $CTC_{pH7,0}$ calculada.

Referências

BÖNECKE, E.; MEYER, S.; VOGEL, S.; SCHRÖTER, I.; GEBBERS, R.; KLING, C.; KRAMER, E.; LÜCK, K.; NAGEL, A.; PHILIPP, G.; GERLACH, F.; PALME, S.; SCHEIBE, D.; ZIEGER, K.; RÜHLMANN, J. Guidelines for precise lime management based on high-resolution soil pH, texture and SOM maps generated from proximal soil sensing data. **Precision Agriculture**, v. 22, p. 493-523, 2021. DOI: 10.1007/s11119-020-09766-8.

CATANI, R. A.; GALLO, J. R. Avaliação da exigência em calcário dos solos do estado de São Paulo, mediante correlação entre o PH e a porcentagem de saturação em bases. **Revista de Agricultura**, v. 30, p. 49-60, 1955.

MCLEAN, E. O. Testing soils for pH and lime requirement. In: WALSH, L. M.; BEATON, J. D. (ed.) **Soil testing and plant analysis**. Madison: SSSA, 1973. p. 78-83.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres; Piracicaba: Potafos, 1991. 343 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.