

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRARIAS

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ POTENCIAL DE SOLOS  
DO TRIÂNGULO MINEIRO

JESSICA VIEIRA GONÇALVES

Uberlândia – MG  
2023

JESSICA VIEIRA GONÇALVES

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ  
POTENCIAL DE SOLOS DO TRIÂNGULO MINEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia, Campus Uberlândia, da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito necessário para obtenção do título de Engenheiro agrônomo.

Orientador: Prof. Wedisson Oliveira Santos

Uberlândia – MG

2023

JESSICA VIEIRA GONÇALVES

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ POTENCIAL DESOLOS  
DO TRIÂNGULO MINEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de  
Agronomia, Campus Uberlândia,  
da Universidade Federal de  
Uberlândia, como requisito  
necessário para obtenção do título  
de Engenheiro agrônomo.

Orientador: Prof. Wedisson Oliveira  
Santos

JESSICA VIEIRA GONÇALVES

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Wedisson Oliveira Santos –  
Orientador

---

Prof. Dra. Araújo Hulmann Batista –  
Membro da Banca

---

Dr. Igor Forigo Beloti – Membro da Banca

Uberlândia – MG

2023

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me abençoado durante toda essa jornada, e em especial quero dedicar essa conquista a minha amada mãe, que hoje mora ao lado de Deus. E ao meu pai que sempre sonharam com essa realização em minha vida.

A toda minha família, em especial a meu marido, minha filha e meu irmão que sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram em todas as minhas decisões. Sem eles certamente não teria conseguido chegar até aqui. Essa conquista é nossa!

A minha amiga Larissa que realizou o experimento comigo, pela ajuda, pelo compartilhamento de conhecimento e experiência, e pelos momentos de descontração.

E a meu orientador, Wedisson, que compartilhou o conhecimento necessário para a concretização do projeto.

Por fim, agradeço a todos que tiveram participação direta ou indireta na realização deste trabalho.

Muito obrigado!

## RESUMO

O teor de acidez potencial (H+Al), que reflete o tamponamento de acidez do solo, é utilizado para se estimar a CTC (T), repercutindo na necessidade de calagem pelo método da saturação por bases ou de demais condicionadores de solo que visem incrementar teores de Ca, Mg ou K no complexo sortivo do solo para valores desejáveis. Portanto, a obtenção da acidez potencial é essencial que seja de elevada exatidão. A grande diversidade de métodos para se determinar a acidez potencial dos solos e problemas de exatidão analítica reportados na literatura motivaram a realização dessa pesquisa, que objetivou avaliar a exatidão do método baseado no acetato de cálcio e equações SMP, em relação ao método de referência (CaCO<sub>3</sub>), na obtenção da acidez potencial de solos com propriedades contrastantes. Portanto, em solos representativos do triângulo mineiro pertencentes a diferentes classes pedogenéticas (Latosolos, Argissolos, Cambissolos e Neossolos) determinaram-se os teores de H+Al em ensaio de incubação com CaCO<sub>3</sub> (H+Al *real*), pelo método do acetato de cálcio 0,5 mol/L pH7,0 (H+Al) e, a partir do índice SMP para 21 equações (H+Al\_SMP). As tendências relativas (T%) revelaram, em geral, baixa exatidão (T > 10%) para os métodos de rotina (Acetato e SPM), com grande variação dentro e entre classes de solo. O método do acetato subestimou (T ≤ -10%) e superestimou ((T ≥ +10%)) a acidez para 33 e 22 % dos solos, portanto foi considerado exato para 44% dos solos (3,4,5 e 8), dos quais 75% são Latossolos, e 25% Neossolo quartzarênico. A variabilidade das tendências não possibilitou a proposição de um fator de correção para o método do acetato. As equações SMP geraram teores de H+Al muito variáveis, com predomínio de subestimativa do teor, para 74% das estimativas. Superestimativas do H+Al pelo método SMP foram observadas para 12,6 % dos casos, com destaques para as equações de Silva et al. (2008), Moreira et al. (2004), Ferreira et al. (2004) e Lana et al. (2013). Maiores exatidões (-10% ≥ T ≤ +10%) pelo método SMP foram observada para as equações de Kaminski et al. (2002), Ferreira et al. (2004), Moreira et al. (2004), %) Nascimento et al. (2000) e Gama et al. (1998), para 55, 44, 33, 33 e 33% dos solos, respectivamente. A expressiva variação de tendência para o mesmo solo, e entre solos não possibilitou se eleger uma equação universal, mesmo para uma classe especificade solo ou ajustar fatores de correção. A baixa exatidão do método baseado em

acetato de cálcio e a partir de equações SPM sugere a necessidade de desenvolvimento de métodos mais exatos para se determinar a acidez potencial dos solos. Entretanto, o complexo relacionamento entre os mecanismos de tamponamento da acidez dos solos e dos tampões dos métodos é desafiador, e sinaliza para a necessidade de determinação direta da acidez potencial ou CTC dos solos em análises de rotina visando exatidão analítica mais aceitáveis.

**Termos para indexação:** Acidez potencial, Acetato de cálcio, Capacidade de troca catiônica, Método SMP.

## ABSTRACT

The potential acidity content (H+Al), which reflects the soil's acidity buffering capacity, is used to estimate the Cation Exchange Capacity (CEC), influencing the need for liming through the base saturation method or other soil conditioners that aim to increase desirable levels of Ca, Mg, or K in the soil's exchangeable complex. Therefore, obtaining accurate potential acidity measurements is essential. The wide variety of methods for determining potential soil acidity and reported analytical accuracy issues in the literature motivated this research, which aimed to evaluate the accuracy of the calcium acetate and SMP equations-based method in relation to the reference method (CaCO<sub>3</sub>) for determining potential soil acidity in soils with contrasting properties. Thus, in representative soils from the Triângulo Mineiro region belonging to different pedogenetic classes (Oxisols, Ultisols, Inceptisols, and Entisols), the H+Al content was determined using the CaCO<sub>3</sub> incubation test (actual H+Al), the 0.5 mol/L pH 7.0 calcium acetate method (H+Al), and 21 SMP equations (H+Al\_SMP). The relative tendencies (T%) generally showed low accuracy (T > 10%) for routine methods (Acetate and SMP), with considerable variation within and between soil classes. The acetate method underestimated acidity for 55% of the soils and did not show a direct relationship between its efficiency and the soil's H+Al content, nor did it allow for the proposal of a correction factor. The SMP equations produced highly variable H+Al values, predominantly underestimating the content, with significant variation in trend even for the same soil, making it impossible to choose a universal equation, even for a specific class. The low accuracy of the calcium acetate method and SMP indices suggests the need for the development of more accurate methods to determine soil potential acidity. However, the complex relationship between soil acidity buffering mechanisms and the buffers used in the methods presents a challenge, pointing towards the direct determination of soil potential acidity or soil CEC in routine analyses.

**Indexing terms:** Potential acidity, Calcium acetate, Cation exchange capacity, SMP method.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Determinação da acidez potencial real .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Estimativa do H+Al pelo método SMP.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>H+Al em Acetato de Cálcio .....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>22</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros, em sua maioria, são naturalmente ácidos, com elevada disponibilidade de  $\text{Al}^{3+}$  e baixa fertilidade, portanto necessitando de recorrentes correções para viabilizar produtividades compensatórias das culturas (MASCARENHAS et al., 2007). Existem diversos métodos de estimativa da necessidade de calagem, destacando-se o método da saturação de bases; portanto equívocos na estimativa da acidez potencial implicam em inexatidões no valor de CTC, que incide diretamente na estimativa da necessidade de calagem.

A acidez potencial é representada pelos íons  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  que estão presentes nos solos. Já a acidez ativa é representada pela atividade de  $\text{H}^+$  na solução do solo, a acidez trocável corresponde a cátions de hidrólise ácida adsorvidos fisicamente na CTC do solo, como  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , sendo o  $\text{Al}^{3+}$ , mais relevante para condições tropicais. Já a acidez não trocável, em geral maior componente da acidez do solo, corresponde ao  $\text{H}^+$  dissociável (ionizável) de ligações covalentes em grupamentos funcionais presentes na superfície de coloides minerais (silanois, ferrois, aluminois etc.) e orgânicos do solo (carboxílicos, fenólicos, quinônicos, alcoólicos etc.) que são liberados na solução conforme há variação de pH do meio. Dessa forma, a acidez potencial representa o poder tampão da acidez de um solo, e está conceitualmente relacionada a determinação da necessidade de calagem pelo método da saturação de bases, adicionalmente, é relevante para o conhecimento da fertilidade potencial do solo e índices de saturação de bases (SILVA, 2005).

A necessidade de calagem pode ser determinada através do método de incubação do solo com doses de  $\text{CaCO}_3$ , sendo este considerado método de referência. Portanto, a acidez potencial é determinada operacionalmente pelo equivalente de dose de  $\text{CaCO}_3$  que eleva o pH do solo a pH 7,0. Entretanto, a morosidade desse método não possibilita seu uso de análise de rotina. Para tanto, existem diversos métodos propostos para se estimar a acidez potencial do solo, destacando-se o acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 7,0 como extrator (VETTORI, 1969) e solução tamponada SMP (SHOEMAKER et al., 1961), cuja diferença procedimental, para a estimativa a que se destina, é que pelo tampão acetato, as formas de acidez deslocadas pelo Ca (troável) ou pela mudança de pH (não

trocável) são quantificadas por titulometria colorimétrica ácido-base, enquanto que para o tampão SMP, após equilíbrio da suspensão solo/tampão toma-se o valor do pH do meio, que é utilizado como índice na determinação do H+Al do solo por meio de equações. Devido a isso, o SMP necessita de calibração prévia para a sua adoção. A solução SMP contém tampão de componentes químicos em diferentes faixas de pH, sendo eficaz para extrair acidez em diferentes pKs, o que revela alta correlação com o H + Al do solo (KAMINSKI et al., 2002), porém a diversidade de equações sugere necessidade de ajustes locais.

A estimativa de necessidade de calagem pelo método da saturação por bases tem como limitação, a dificuldade de estimar a acidez potencial do solo (H + Al), utilizada na determinação da CTC a pH 7,0, especialmente em solos de maior capacidade tampão, sendo um método mais eficaz em solos menos tamponados (KAMINSKI et al., 2002; LEBLANC et al., 2016).

Como observado no trabalho de Pedrebon et al. (2018) para solos do oeste de Santa Catarina, onde, o H+Al foi subestimado de 6 e 40% pelos métodos SMP e acetato de cálcio, respectivamente, sendo mais problemático nos solos mais tamponados, e a NC foi subestimada em 20 e 30% pelo Índice SMP e V%, respectivamente. O índice SMP estimou melhor a NC que o método V%, principalmente em solos de maior tamponamento. O uso da solução tampão SMP se dá por conta de sua praticidade na execução e curto tempo procedimental. Há, porém, a necessidade de estabelecer curvas de calibrações próprias para as diferentes regiões do Brasil, dada a diversidade de perfis com propriedades específicas (KAMINSKI et al., 2002; PEREIRA et al., 2020.).

Assim, objetivou-se com este trabalho fazer um diagnóstico da exatidão dos métodos de rotina (baseado em acetato de cálcio e equações SMP) na estimativa do teor de H+Al de solos do Triângulo Mineiro.

## 2 METODOLOGIA

Foram coletadas amostras de nove solos representativas na região do Triângulo Mineiro – MG (Tabela 1), de diferentes classes pedogênicas (Tabela 2).

As amostras de solo com ampla variação em suas características físicas e químicas (Tabela 3) foram coletadas das camadas de 0,0-0,2 m, secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira  $\leq 2$  mm para caracterização química e ensaio de incubação.

Objetivando-se determinar a acidez potencial real dos solos por meio de método de referência, 100 g de cada solos foram incubados de forma com sete doses de  $\text{CaCO}_3$  P.A. que corresponderam a 0, 50, 75, 100, 125, 150 e 200% do teor de H+Al dos solos estimados pela equação  $\text{Ln (H+Al)} = 8,0629 - 1,110$  (PROFERT, 2005), portanto perfazendo um esquema fatorial 9 x 7, em blocos casualizados, com quatro repetições. As 252 amostras de solo que foram mantidas com umidade próxima a capacidade de campo (cerca de 80%), periodicamente foram monitoradas quanto a variação de umidade e submetidas a homogeneização visando a eliminação do excesso de  $\text{CO}_2$ .

A acidez ativa dos solos foi medida quinzenalmente, por meio de potenciometria, sendo o experimento finalizado quando tais valores se estabilizaram.

**Tabela 1.** Localização dos pontos de coleta dos solos descritos na Tabela 2

Solo	Coordenadas Geográficas
1	18°53'30"S 48°02'10"W
2	18°53'03"S 48°06'38"W
3	18°55'38"S 48°11'18"W
4	18°56'43"S 48°12'56"W
5	19°01'36" S 48°12'14"W
6	19°07'52"S 48°10'29"W
7	19°21'36" S 48°04'56"W
8	18°57'54" S 48°12'35"W
9	18°54'30"S 48°02'30"W

1. Cambissolo Háplico Eutroférico; 2. Latossolo Vermelho Eutroférico; 3. Latossolo Amarelo Ácrico; 4. Latossolo Vermelho Distrófico típico; 5. Latossolo Vermelho (grupo Bauru); 6. Argissolo Vermelho-Amarelo (grupo Bauru); 7. Argissolo Vermelho-Amarelo-Eutrófico; 8. Neossolo Quartzarênico; 9. Cambissolo Chernozêmico.

**Tabela 2.** Localização e tipos de solos coletados na camada 0,0-0,2 m na região do Triângulo Mineiro

Número	Nome/Localização	Classificação (SBCS)
1	Fazenda Cristal/ Uberlândia	Cambissolo Háplico Eutroférico
2	Fazenda do Glória/ Uberlândia	Latossolo Vermelho Ácriciférico
3	BR- 365- Uberlândia	Latossolo Amarelo Ácrico
4	Sentido Uberaba/ Uberaba	Latossolo Vermelho Distrófico típico
5	Fazenda de milho/ Uberaba	Latossolo Vermelho (grupo Bauru)
6	Fábrica de calcário/Uberaba	Argissolo Vermelho-amarelo (grupo Bauru)
7	Sentido Uberaba/ Uberaba	Argissolo Vermelho-amarelo-eutrófico
8	Fazenda do Glória/ Uberlândia	Neossolo Quartzarênico
9	Usina de Miranda/ Uberlândia	Cambissolo Chernozêmico

1. Cambissolo Háplico Eutroférico; 2. Latossolo Vermelho Eutroférico; 3. Latossolo Amarelo Ácrico; 4. Latossolo Vermelho Distrófico típico; 5. Latossolo Vermelho (grupo Bauru); 6. Argissolo Vermelho-Amarelo (grupo Bauru); 7. Argissolo Vermelho-Amarelo-Eutrófico; 8. Neossolo Quartzarênico; 9. Cambissolo Chernozêmico.

**Tabela 3.** Características químicas e físicas de amostras de solos coletados na camada 0,0-0,2 m na região do Triângulo Mineiro

Solo	pH	P	K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	MO
Água		--mg dm <sup>-3</sup> --		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							----%----		dag kg <sup>-1</sup>
1	5,5	1,30	12,8	0,23	0,05	0,0	2,94	0,31	0,31	3,25	9,56	0,0	2,4
2	5,1	1,46	12,8	2,19	0,34	0,4	3,79	2,57	2,97	6,36	40,42	13,5	3,1
3	5,1	1,42	9,0	0,16	0,03	0,6	4,30	0,21	0,81	4,51	4,74	73,7	2,3
4	5,9	7,07	28,0	2,72	0,38	0,0	1,67	3,16	3,16	4,83	65,46	0,0	2,1
5	5,6	1,09	5,2	2,17	0,34	0,0	1,78	2,52	2,52	4,3	58,66	0,0	1,5
6	5,8	2,36	18,1	3,07	0,36	0,0	3,27	3,47	3,47	6,74	51,52	0,0	3,7
7	4,9	1,19	8,3	0,21	0,04	0,8	2,06	0,27	1,07	2,33	11,64	74,7	1,3
8	4,8	0,57	6,0	0,16	0,04	0,5	1,74	0,21	0,76	1,95	10,84	72,2	1,3
9	6,5	4,25	118,3	5,05	0,72	0,0	2,88	6,07	6,07	8,95	67,81	0,0	3,1

pH em água, relação 1/2,5;

P, K- Extrator Mehlich-1

Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> (Extrator KCl 1,0 mol/L)H+Al (acidez potencial)

t= capacidade de troca catiônica efetiva (t=SB+Al<sup>3+</sup>)

m= saturação de Al<sup>3+</sup> na CTC efetiva (m= 100 Al/t)

V= saturação por bases na CTC potencial (V= 100 SB/T)

MO (Matéria Orgânica) - Método Colorimétrico

S= fosfato monocálcico

T= capacidade de troca catiônica a pH 7,0

SB= soma de bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na)

## 2.1 Determinação da acidez potencial real

Para se determinar a acidez potencial real (H+Al *real*) a partir do experimento de incubação dos solos com doses de CaCO<sub>3</sub> PA, considerou-se a estequiometria da reação de neutralização da acidez, conforme equação 1. Portanto, 100 g de CaCO<sub>3</sub> neutraliza 200 cmol<sub>c</sub> de H<sup>+</sup>. Neste caso, assume-se essa acidez (H<sup>+</sup>) como produto da hidrólise de elementos que compõem a acidez trocável e da ionização de grupamentos funcionais minerais e orgânicos.



A relação entre dose de CaCO<sub>3</sub> como equivalente H+Al e pH atingido permitiu ajustar modelos de regressão e se estimar a acidez a pH 7.0.

## 2.2 Estimativa do H+Al pelo método SMP

Utilizando-se as equações SMP descritas na Tabela 4 e índice SMP determinado conforme SHOEMAKER et al. (1961) estimaram-se os valores de H+Al para os diferentes solos, em triplicata. Para tanto, transferiram-se 10 cm<sup>3</sup> de solo para frascos de polipropileno onde adicionaram-se 5 ml da solução tampão junto com 25 ml da solução 0,01 mol CaCl<sub>2</sub>. As suspensões foram agitadas a 220 rpm por 15 min em mesa agitadora horizontal, deixadas de repouso por 60 min, sendo em seguida medida a acidez ativa por meio de potenciometria.

**Tabela 4.** Equações de regressão utilizadas para se estimar o H+Al por meio do pH da solução SMP (índice SMP)

Código	Autores	Equações
SMP 1	Quaggio et al. (1985)	$\ln (H + Al) = 7,76 - 1,053 \text{ pH SMP}$
SMP 2	Correa et al. (1985)	$\ln (H + Al) = 8,06 - 1,111 \text{ pH SMP}$
SMP 3	Sousa et al. (1989)	$\ln (H + Al) = 7,719 - 1,068 \text{ pH SMP}$
SMP 4	Pavan et al. (1996)	$\ln (H + Al) = 6,0687 - 0,744 \text{ pH SMP}$
SMP 5	Maeda et al. (1997)	$\ln (H + Al) = 8,086 - 1,062 \text{ pH SMP}$
SMP 6	Pereira et al. (1998)	$\ln (H+Al) = 10,05 - 1,020 \text{ pH SMP}$
SMP 7	Gama et al. (1998)	$H+Al = 786,3 - 201,73 \text{ pH SMP} + 13,294 \text{ Ph SMP}^2$
SMP 8	Ecoteguy & Bissani (1999)	$\log (H+Al) = 3,914 - 0,391 \text{ pH SMP}$
SMP 9	Silva et al. (2000)	$H+Al = 31,521 (\text{pH SMP})^2 - 451,61 (\text{pH SMP}) + 1625,3$
SMP 10	Nascimento et al. (2000)	$H+Al = 0,4837 (\text{pH SMP})^2 - 8,4855 (\text{pH SMP}) + 38,448$
SMP 11	Silva et al. (2002)	$H+Al = 0,00359 + 1.556,5806 e^{-\text{pH SMP}}$
SMP 12	Sambatti (2003)	$H+Al = 20,195 - 2,6484 \text{ pH SMP}$
SMP 13	Kaminski et al. (2002)	$\log (H + Al) = 3,020 - 0,371 \text{ pH SMP}$
SMP 14	Moreira et al. (2004)	$H + Al = 30,646 - 3,848 \text{ pH SMP (em água)}$
SMP 15	Moreira et al. (2004)	$H + Al = 30,155 - 3,834 \text{ pH SMP (Em CaCl}_2\text{)}$
SMP 16	Ferreira et al. (2004)	$H + Al = 35,57 - 4,81 \text{ pH SMP}$
SMP 17	Silva et al. (2008)	$\ln (H + Al) = 8,08 - 0,95391 \text{ pH SMP}$
SMP 18	Lana et al. (2013)	$H+Al = 0,0744 (\text{pH SMP})^2 - 1,924 (\text{pH SMP}) + 15,132$
SMP 19	Almeida (2015)	$y = 57,108 - 13,338 (\text{pH SMP}) + 0,7637 (\text{pH SMP})^2$
SMP 20	Ribeiro et al. (2018)	$H+Al = 53,105 - 26,54 \ln (\text{pH SMP})$
SMP 21	PROFERT (2005)	$\ln (H+Al) = 8,0629 - 1,110 \text{ pH SMP}$

### 2.3 H+Al em Acetato de Cálcio

A acidez potencial com acetato de cálcio foi determinada de acordo com a metodologia oficial descrita pelo manual do laboratorista, disponibilizado pelo programa interlaboratorial de controle de qualidade de análise de solo do estado de Minas Gerais (PROFERT). Amostras de 5 cm<sup>3</sup> dos nove solos em triplicatas, reagiram com 50mL de solução de acetato de cálcio 0,5 mol/L tamponada a pH 7, por 10 min de agitação (180 rpm) e posterior repouso de 16 h. Em seguida tomaram-se , 25 ml do sobrenadante, adicionando-se três gotas de fenolftaleína e por fim foi realizada a titulação com NaOH 0,025 mol/l, o mesmo procedimento foi realizado para amostra branco.

$$0,025 \text{ mol} \text{ --- } 1000 \text{ ml}$$

$$X \text{ mols H} \text{ --- } 5,38 \text{ ml}$$

$$x = 0,0001345 \text{ mols H}$$

Em que 5,38 é um dos volumes da base NaOH consumida na titulação; Posteriormente, os valores obtidos foram divididos pelo volume do solo (dm<sup>3</sup>), possibilitando a obtenção dos valores de H+Al (cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>) dos solos.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos apresentaram variados teores de H+Al pelo método de referência (Tabela 4), com média de 5,8  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  e diferença entre o maior e menor valor 5,3  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . Em três solos (1, 2 e 9), o pH máximo não atingiu 7,0 sendo assim não possibilitou uma segura estimativa do teor de H+Al.

**Tabela 5.** Maiores valores de pH atingidos e teor de H+Al *real* e equações de regressão que relacionam pH (y) com doses de  $\text{CaCO}_3$  expressas em equivalente neutralizante de  $\text{H}^+$  em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  (x) ajustadas com dados obtidos após incubação do solo, quando o pH estabilizou com respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Solo	Equação de ajuste	$R^2$	pHmaior	H+Al
1	$Y = 0,3209x + 4,7134$	0,9757	6,58	7,30
2	$Y = 0,2319x + 4,7686$	0,8918	6,65	8,70
3	$Y = 0,2016x + 5,1223$	0,9792	7,33	7,90
4	$Y = -0,0012x^2 + 0,413x + 5,8848$	0,9145	7,41	3,40
5	$Y = -0,0584x^2 + 0,8514x + 4,9184$	0,9797	7,19	4,00
6	$Y = 0,0045x^2 + 0,2079x + 5,7471$	0,9931	7,38	4,80
7	$Y = -0,0013x^2 + 0,5579x + 5,4993$	0,9821	7,95	3,80
8	$Y = -0,1407x^2 + 1,4361x + 3,9951$	0,9902	7,46	4,04
9	$Y = 6,6207x - 40,064$	0,9915	6,94	8,00

H+Al real: valor de acidez quantificado pelo método de referência (incubação de solo com  $\text{CaCO}_3$ ).

1. Cambissolo Háplico Eutroférico; 2. Latossolo Vermelho Eutroférico; 3. Latossolo Amarelo Ácrico; 4. Latossolo Vermelho Distrófico típico; 5. Latossolo Vermelho (grupo Bauru); 6. Argissolo Vermelho-Amarelo (grupo Bauru); 7. Argissolo Vermelho-Amarelo-Eutrófico; 8. Neossolo Quartzarênico; 9. Cambissolo Chernozêmico.

Os teores de H+Al determinados pelo método do acetato de cálcio são apresentados na Tabela 5. Como esperado, observou-se considerável variação nos valores de H+Al entre os solos. No solo 1, Cambissolo, apresentou maiores valores de H+Al, enquanto o solo 4, Latossolo vermelho, destacou-se pelo menor tamponamento.

**Tabela 6.** Valores de H+Al em cada solo (n=3) quantificados pelo método do Acetato de Cálcio

Solo	Média de H+Al (cmolcdm-3)
1	8,345
2	7,430
3	7,480
4	3,245
5	4,065
6	5,380
7	3,420
8	3,970
9	6,215

1. Cambissolo Háptico Eutroférico; 2. Latossolo Vermelho Eutroférico; 3. Latossolo Amarelo Ácrico; 4. Latossolo Vermelho Distrófico típico; 5. Latossolo Vermelho (grupo Bauru); 6. Argissolo Vermelho-Amarelo (grupo Bauru); 7. Argissolo Vermelho-Amarelo-Eutrófico; 8. Neossolo Quartzarênico; 9. Cambissolo Chernozêmico.

A tabela 6 apresenta os teores de  $H+Al_{SMP}$  estimados pelas equações da Tabela 4. Observa-se que para o mesmo solo houve grande variação nos valores estimados de H+Al. As diferenças entre os maiores e menores valores foram de 3, 6, 5, 4, 5, 3, 4, 4 e 2 vezes, evidenciando a discrepância entre as equações na estimativa da acidez potencial dos solos.

**Tabela 7.** Valores de Acidez potencial obtidos a partir das equações SMP (Tabela 4.)

Solo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>								
SMP1	5,3	4,3	5,1	2,2	2,1	3,3	2,3	2,3	3,1
SMP2	5,1	4,1	4,9	2,1	1,9	3,1	2,2	2,1	3,1
SMP3	4,6	3,8	2,7	2,0	1,8	2,9	2,0	2,0	2,7
SMP4	5,8	5,1	5,7	3,2	3,0	4,2	3,3	3,2	4,0
SMP5	6,9	5,7	6,7	2,9	2,7	4,3	3,1	3,0	4,1
SMP6	6,3	1,8	6,1	2,7	2,5	4,0	2,8	2,8	3,8
SMP7	6,4	5,5	6,3	3,4	3,2	4,5	3,5	3,5	4,3
SMP8	4,5	3,7	4,2	1,3	2,0	3,0	2,2	2,1	2,8
SMP9	6,7	5,3	6,5	1,8	1,5	3,5	1,9	1,9	3,1
SMP10	5,6	5,2	5,5	3,5	3,8	4,3	3,6	3,6	4,2
SMP11	4,7	3,9	4,7	1,6	1,9	3,0	1,6	1,6	2,9
SMP12	4,9	4,4	4,8	2,7	2,5	3,7	2,8	2,8	3,5
SMP13	7,4	6,4	7,3	3,7	3,5	5,1	3,9	3,8	4,8
SMP14	8,4	7,6	8,3	5,3	4,9	6,6	5,4	5,4	6,4
SMP15	8,0	7,2	7,9	4,9	7,5	6,2	5,0	5,0	6,0
SMP16	7,7	6,8	7,6	3,8	3,4	5,6	4,0	3,9	5,3
SMP17	12,8	10,8	12,5	5,9	5,5	8,4	6,1	6,1	8,0
SMP18	6,5	6,3	6,5	5,7	5,6	6,0	5,7	5,7	5,1
SMP19	4,9	4,7	5,4	2,4	2,1	3,6	2,5	2,4	6,4
SMP20	6,5	5,7	6,4	3,1	2,7	4,5	3,2	3,1	4,3
SMP21	4,2	4,2	5,0	2,1	1,9	3,1	2,2	2,1	2,9

1. Cambissolo Háplico Eutroférico; 2. Latossolo Vermelho Eutroférico; 3. Latossolo Amarelo Ácrico; 4. Latossolo Vermelho Distrófico típico; 5. Latossolo Vermelho (grupo Bauru); 6. Argissolo Vermelho-Amarelo (grupo Bauru); 7. Argissolo Vermelho-Amarelo-Eutrófico; 8. Neossolo Quartzarênico; 9. Cambissolo Chernozêmico.

A exatidão dos teores de H+Al obtidos pelos diferentes métodos em relação ao método de referência está expressa como tendência relativa na Tabela 8. Essas tendências revelaram, em geral, baixa exatidão ( $T > \pm 10\%$ ) para ambos os métodos de rotina, com expressiva variação dentro e entre solos.

O método do acetato subestimou ( $T \leq -10\%$ ) ou superestimou ( $T \geq +10\%$ ) a acidez para 33 e 22 % dos solos, sendo exato para apenas 44% destes (3, 4, 5 e 8), dos quais 75% são Latossolos, e 25% Neossolo quartzarênico. A grande variabilidade das tendências para o método não possibilitou a proposição de um fator de correção, para quaisquer dos solos ou para os indivíduos de uma mesma classe.

As equações SMP geraram teores de H+Al muito variáveis, com grande predomínio de subestimativa do teor. De fato, para 74% dos casos as equações subestimaram os teores de H+Al dos solos. Superestimativas do H+Al pelo método SMP foram observadas para 12,6 % dos casos, com destaques para as equações de Silva et al. (2008), Moreira et al. (2004), Ferreira et al. (2004) e Lana et al. (2013). Maiores exatidões ( $-10\% \geq T \leq +10\%$ ) pelo método SMP foram observadas para as equações de Kaminski et al. (2002), Ferreira et al. (2004), Moreira et al. (2004), Nascimento et al. (2000) e Gama et al. (1998), alcançando 55, 44, 33, 33 e 33% dos solos, respectivamente.

**Tabela 8.** Tendência relativa (%) para os valores de H+Al obtidos pelo método do Acetato de Cálcio e equações SMP em relação ao método de referência (H+Al *real*)

Solo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acetato	13,70	-14,9	-6,3	-5,8	0,0	10,4	-30,61	2,63	-22,5
SMP1	-27,25	-50,48	-35,99	-35,79	-49,25	-32,18	-53,06	-39,47	-61,45
SMP2	-30,64	-52,75	-38,31	-40,84	-53,38	-36,26	-55,10	-44,74	-62,03
SMP3	-36,66	-56,57	-66,75	-44,16	-55,78	-40,74	-59,18	-47,37	-66,36
SMP4	-20,73	-42,24	-28,93	-9,15	-26,00	-14,20	-32,65	-15,79	-50,35
SMP5	-5,52	-35,01	-15,89	-16,21	-33,57	-11,15	-36,73	-21,05	-49,61
SMP6	-14,21	-79,69	-23,99	-21,75	-37,29	-17,69	-42,86	-26,32	-53,12
SMP7	-12,47	-36,65	-21,46	-2,78	-20,70	-6,71	-28,57	-7,89	-46,29
SMP8	-38,63	-58,12	-46,98	-62,25	-50,51	-38,44	-55,10	-44,74	-64,70
SMP9	-8,59	-39,38	-18,44	-49,13	-63,04	-28,44	-61,22	-50,00	-60,88
SMP10	-23,61	-41,15	-31,69	0,54	-4,73	-10,70	-26,53	-5,26	-47,78
SMP11	-35,90	-55,53	-41,56	-55,39	-51,80	-37,30	-67,35	-57,89	-64,26
SMP12	-33,17	-50,48	-40,02	-22,24	-38,33	-24,34	-42,86	-26,32	-56,19
SMP13	0,96	-27,45	-8,78	6,68	-14,16	4,79	-20,41	0,00	-39,77
SMP14	14,61	-12,67	3,46	50,23	21,88	36,77	10,20	42,11	-20,13
SMP15	9,15	-17,32	-1,67	38,83	86,50	28,46	2,04	31,58	-25,13
SMP16	5,06	-22,10	-4,91	9,57	-15,43	14,63	-18,37	2,63	-34,22
SMP17	74,68	23,27	56,39	69,55	36,05	73,31	24,49	60,53	-0,91
SMP18	-11,32	-28,17	-19,21	62,21	37,78	24,01	16,33	50,00	-36,94
SMP19	-33,17	-46,68	-32,78	-32,81	-48,68	-25,95	-48,98	-36,84	-20,32
SMP20	-11,32	-35,14	-20,04	-12,78	-33,00	-6,65	-34,69	-18,42	-46,52
SMP21	-42,72	-52,38	-37,82	-40,30	-73,01	-35,74	-55,10	-44,74	-63,58

Tendência =  $(\text{H+Al obtido} - \text{H+Al real}) / \text{H+Al real} \times 100$ .

1. Cambissolo Háplico Eutroférico; 2. Latossolo Vermelho Eutroférico; 3. Latossolo Amarelo Ácrico; 4. Latossolo Vermelho Distrófico típico; 5. Latossolo Vermelho (grupo Bauru); 6. Argissolo Vermelho-Amarelo (grupo Bauru); 7. Argissolo Vermelho-Amarelo-Eutrófico; 8. Neossolo Quartzarênico; 9. Cambissolo Chernozêmico.

#### **4 CONCLUSÃO**

O método do acetato de cálcio apresenta baixa exatidão na determinação da acidez potencial dos solos, tanto subestimando, como superestimando os valores.

Há grande diferença de exatidão entre equações SMP na estimativa da acidez potencial dos solos, em sua maioria com tendências inaceitáveis.

Mesmo que as equações SMP 13 e 16 tenham sido mais exatas, a inexatidão constatada para alguns solos não permite que seja adotada como universais.

## 5 REFERÊNCIAS

DEFELLIPO, B.V.; RIBEIRO, A. C. Análise química do solo. Boletim de extensão, Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 17 p., 1981.

ERNANI, P.R. & ALMEIDA. J. A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado de Santa Catarina. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 12:143- 150, 1986.

KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; MARTINS, J. R.; SANTOS, E. J. S.; TISSOT, C. A. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26: 1107-1113, 2002.

KOSTENKO, I.V. Composition of exchangeable bases and acidity in soils of the Crimean Mountains. Eurasian Soil Science, n.48, p. 812–822, 2015.

LEBLANC, M. A.; PARENT, E.; PARENT, L.E. Lime requirement using Mehlich- III extraction and infrared-inferred cation exchange capacity. Soil Science Society of America Journal, v. 80, p. 490-501, 2016.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; GALLO, P.B.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; AMBROSANO G.M.B.; CARMELLO, Q.A.C. Efeito da calagem sobre a produtividade de grãos, óleo e proteína em cultivares precoces de soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1475- 1485, 2007.

PEREIRA, M.G., ARAÚJO, A.L.S., DORTZBACH, D., TAVARES, O. C.H.; SILVA NETO, E. C. Estimativa da acidez potencial através do método do pH SMP em solos de altitude de Santa Catarina. Agropecuária Catarinense, v.33, n.1, p.50-55, 2020.

PREDEBON, R.; GATIBONI, L.C.; MUMBACH, G.L.; SCHMITT, DE.; DALL'ORSOLETTA, D. J.; BRUNETTO, G. Requirement in soils of west region of Santa Catarina, Ciência Rural, Santa Maria, v.48:04, e20160935, 2018.

PROFERT, MG. Programa Interlaboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solo,

Manual do Laboratorista, 1ª edição, 33 p., 2005.

RAIJ, B. van & KUPPER, A. Capacidade de troca de cátions em solos. Estudos comparativos para alguns métodos. *Bragantia*, Campinas, 25:327-336, 1966.

SHOEMAKER, H. E.; MCLEAN, E. O.; PRATT, P. F. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. *Soil Science Society Proceedings*, v. 25, n. 4, p. 274- 277, 1961.

SILVA, M. Z. A acidez potencial do solo não é determinada a pH 7,0. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa (Dissertação de mestrado), 34 p, 2005.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E. & CASTRO, L.H.R. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos cerrados. . *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 13:193- 198,1989.

VETTORI, L. Métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 24p. (Boletim técnico, 7), 1969.