

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**LARISSA CARMELINA ALVES PINTO**

**Avaliação de métodos de determinação da Acidez Potencial em latossolos do triângulo mineiro**

**UBERLÂNDIA**

**2024**



**Larissa Carmelina Alves Pinto**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ POTENCIAL EM  
LATOSSOLOS DO TRIÂNGULO MINEIRO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
para obtenção do título de bacharel em  
Agronomia pela Universidade Federal de  
Uberlândia.

Orientador: Prof. Wedisson Oliveira Santos

**UBERLÂNDIA**

**2024**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente meus pais, Neura e Cleuber, e meu irmão Lucas que sem medir esforços sempre incentivaram minha formação acadêmica e cujo apoio foi fundamental para a conclusão de todos os meus projetos acadêmicos e pessoais.

Aos meus amigos: Rafael Goes, Lucas Correia, Luísa Alves, Marcela Valente, Giovanna Mayer, Giovana Ventavolli, Amanda Silva, Marielle Dutra, Vitória Emanuelle, Gabrielle Molina e ao meu namorado André Oliveira pelo apoio nas atividades desenvolvidas ao longo do projeto.

Agradeço ao professor orientador Wedisson Santos, pelo incentivo à ciência e pela sua dedicação excepcional em todos os aspectos necessários para a conclusão do projeto.

À professora Araína Hullman, pela excelente orientação durante a realização do projeto.

Aos técnicos do Laboratório de Análises de Solo e Tecido Vegetal da UFU: Jéssica Mieko, Rafael Finzi e Igor Forigo por todo suporte necessário para a concretização deste trabalho.

Muito Obrigada!

## RESUMO

A Acidez Potencial ( $H^+Al$ ), que representa o poder tampão de acidez do solo, é caracterizada pela acidez trocável composta principalmente pelo  $Al^{3+}$  adsorvido no complexo sortivo e extraído por troca iônica com  $K^+$ , e sobretudo pela acidez não trocável caracterizada por H ligado covalentemente a grupamentos funcionais dos coloides do solo, determinada em valor específico de pH. A estimativa acurada da Acidez Potencial é essencial para se obter teores exatos de CTC pH 7,0 e por conseguinte, da saturação por bases totais (V) ou individuais, afetando em doses de corretivos a partir de métodos baseados em V. O teor de  $H^+Al$  pode ser determinado por meio de incubação do solo com  $CaCO_3$ , utilizando-se o extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L e índices SMP. O método da incubação não é adequado para rotina laboratorial devido ao elevado tempo para montagem e avaliação do ensaio; porém, como determina com elevada exatidão por meio de reação direta de neutralização ácido-base o  $H^+Al$  em determinado pH, é considerado como método de referência. Já para os métodos de rotina, a literatura científica demonstra haver inexatidão em ambos. Para o método do Acetato, o pH de equilíbrio solo/extrator em geral é inferior à 6,0, portanto levando a subdosagem da acidez do solo concebida a pH 7,0. Enquanto o SMP é um método indireto a partir de calibração regional prévia, mas devido aos laboratórios de análise de solos expandirem suas atividades para além dos limites territoriais, os teores estimados de acidez são muito variáveis. O objetivo desse trabalho foi avaliar a exatidão dos métodos SMP e Acetato de Cálcio em LATOSSOLOS do Triângulo Mineiro. Foram coletadas amostras representativas de cada solo, sendo no método do tampão SMP também avaliada a exatidão em solução modificada, sem o Dicromato de Potássio (componente do tampão de elevada toxicidade). No método do Acetato de Cálcio foram avaliadas variações na concentração do extrator (0,5; 1,0 e 1,5 mol/L) e no pH (7,0; 7,5; 8,0 e 8,5). Para a determinação do teor de  $H^+Al$  de referência, foram adotados 40 tratamentos (8 doses de  $CaCO_3$  e 5 solos). Já para as análises dos métodos baseados no tampão SMP padrão, tampão SMP sem  $K_2Cr_2O_7$  e Acetato de Cálcio padrão (0,5 mol/L pH 7) foram adotados 5 tratamentos (5 solos); por fim, para a análise de variações de concentração e pH no método do Acetato de Cálcio foram adotados 36 tratamentos (3 solos, 3 concentrações do tampão e 4 valores de pH). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com três repetições. Médias foram comparadas por meio do teste Skott-Knott para atributos qualitativos e análise de regressão com desdobramentos para atributos quantitativos; ademais, foram utilizados os programas SISVAR e GraphPad Prism para a análise dos valores de  $H^+Al$

estimados e dos valores de pH de equilíbrio obtidos com as variações de pH e concentração na solução de Acetato de Cálcio. Foi possível observar uma grande variação na precisão das equações SMP na estimativa da Acidez Potencial dos solos. Em geral, a ausência do Dicromato de Potássio no uso do tampão SMP resultou em valores de H+Al mais precisos. Embora algumas equações tenham apresentado maior exatidão, a incerteza observada em determinados solos impede que sejam consideradas universais. Além disso, o equilíbrio da solução de Acetato de Cálcio, após 16 h de repouso, estabeleceu-se em pH variando entre 6,5 e 6,8. A variação de concentração da solução de Acetato de Cálcio influenciou de forma mais perceptível a capacidade de extração de H+Al, quando comparada com a variação de pH da solução. A solução de Acetato de Cálcio ajustada em concentração de 1,5 mol/L e pH 8,5 5 extrai teores de H+Al próximos da Acidez Potencial real (Incubação com CaCO<sub>3</sub>). Ademais, é evidente a tendência de aumento do H+Al extraído com o incremento na concentração e no pH inicial do tampão.

## **ABSTRACT**

The Potential Acidity (H+Al), which represents the soil's buffering capacity for acidity, is characterized by the exchangeable acidity, mainly composed of Al<sup>3+</sup> adsorbed in the sorptive complex and extracted by ion exchange with K<sup>+</sup>, and especially by the non-exchangeable acidity, characterized by H covalently bonded to functional groups of soil colloids, determined at a specific pH value. Accurate estimation of Potential Acidity is essential for obtaining exact levels of CEC at pH 7.0 and, consequently, the total (V) or individual base saturation, affecting the doses of soil amendments based on V. The H+Al content can be determined by incubating the soil with CaCO<sub>3</sub>, using a 0.5 mol/L Calcium Acetate extractor and SMP indices. The incubation method is not suitable for routine laboratory use due to the long time required for setup and evaluation; however, as it determines H+Al with high accuracy through a direct acid-base neutralization reaction at a given pH, it is considered a reference method. As for routine methods, scientific literature shows inaccuracy in both. For the Acetate method, the equilibrium pH of the soil/extractor is generally below 6.0, leading to an underestimation of soil acidity at pH 7.0. Meanwhile, the SMP is an indirect method based on previous regional calibration, but as soil analysis laboratories expand their activities beyond territorial limits, the estimated acidity levels vary greatly. The objective of this study was to evaluate the accuracy of the SMP and Calcium Acetate methods in OXISOLS from the Triângulo Mineiro region. Representative samples of each soil were collected, and for the

SMP buffer method, accuracy was also evaluated using a modified solution without potassium dichromate (a highly toxic buffer component). In the Calcium Acetate method, variations in the extractor concentration (0.5, 1.0, and 1.5 mol/L) and pH (7.0, 7.5, 8.0, and 8.5) were evaluated. To determine the reference H+Al content, 40 treatments were used (8 doses of CaCO<sub>3</sub> and 5 soils). For the analysis of methods based on the standard SMP buffer, SMP buffer without K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, and standard Calcium Acetate (0.5 mol/L pH 7), 5 treatments were used (5 soils); finally, for the analysis of concentration and pH variations in the Calcium Acetate method, 36 treatments were used (3 soils, 3 buffer concentrations, and 4 pH values). The experimental design used was randomized blocks with three replications. Means were compared using the Scott-Knott test for qualitative attributes and regression analysis with breakdowns for quantitative attributes; additionally, the SISVAR and GraphPad Prism programs were used to analyze the estimated H+Al values and the equilibrium pH values obtained with pH and concentration variations in the Calcium Acetate solution. It was possible to observe a significant variation in the accuracy of the SMP equations in estimating the Potential Acidity of soils. In general, the absence of potassium dichromate in the SMP buffer resulted in more accurate H+Al values. Although some equations showed greater accuracy, the uncertainty observed in certain soils prevents them from being considered universal. Additionally, the equilibrium of the Calcium Acetate solution, after 16 h of rest, was established at a pH ranging from 6.5 to 6.8. The concentration variation of the Calcium Acetate solution more noticeably influenced the ability to extract H+Al compared to the pH variation of the solution. The Calcium Acetate solution adjusted to a concentration of 1.5 mol/L and pH 8.5 obtained H+Al levels closest to the real Potential Acidity, determined by incubation with CaCO<sub>3</sub>. Furthermore, there is a clear trend of increased H+Al extraction with the increase in buffer concentration and initial pH.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. Introdução-----  | 8  |
| 2. Metodologia-----   | 11 |
| 3. Incubação com CaCO <sub>3</sub> -----                    | 12 |
| 4. H <sup>+</sup> Al por meio do tampão SMP-----            | 13 |
| 5. H <sup>+</sup> Al em Acetato de Cálcio-----              | 15 |
| 6. Variações de pH e concentração em Acetato de Cálcio----- | 15 |
| 7. Resultados e Discussão-----                              | 16 |
| 8. Conclusão-----   | 27 |
| 9. Referências Bibliográficas-----                          | 28 |

## 1. INTRODUÇÃO

A acidez do solo pode ser quantificada na forma de acidez ativa, trocável e potencial. A acidez ativa corresponde ao hidrogênio ( $H^+$ ) presente na solução do solo, quantificado por potenciometria. A acidez trocável corresponde principalmente aos cátions de  $Al^{3+}$ , mas também por demais cátions de hidrólise ácida, tais como  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  e  $H^+$  cuja quantificação ocorre por troca iônica de um sal neutro de ácido forte não tamponado, em geral o KCl (KAMINSKI et al., 2002). Além dessas, a acidez pode estar presente também na forma não trocável, que corresponde ao  $H^+$  ionizável de ligações covalentes com a superfície coloidal (grupamentos da fração mineral e orgânica), sendo o  $H^+$  liberado conforme a variação de pH do meio. É importante salientar que a acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) juntamente com a acidez não trocável ( $H^+$ ) caracterizam a Acidez Potencial ( $H+Al$ ), que por sua vez define o poder tampão de acidez do solo (SILVA, 2005).

A Acidez Potencial é parâmetro imprescindível na mensuração da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, a qual pode ser determinada indiretamente por meio da soma de bases ( $SB = Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ) acrescida de  $H+Al$ , dessa forma,  $CTC = SB + (H + Al)$ , por diferentes métodos (SAMBATTI et al., 2003).

A quantificação da CTC define diretrizes centrais no manejo de nutrição de plantas, uma vez que afeta o cálculo da necessidade de calagem pelo método de saturação de bases  $NC\left(\frac{t}{ha}\right) = \frac{CTC(V2-V1)}{100}$ , metodologia mais popular na dosagem de corretivos devido à simplicidade. Além disso, a determinação da Acidez Potencial com exatidão satisfatória é primordial para a correta determinação da necessidade de calagem, o que por sua vez, evita sub ou supercalagem. De fato, se o teor de  $H+Al$  é superestimado, resultará em uma superestimativa da CTC, o que por consequência, gera valores subestimados de  $V$ , e consequentemente de  $NC$ .

A Acidez Potencial de referência, conceitualmente representa a quantidade de bases necessária para neutralizar a acidez do solo (KAMINSKI et al., 2002), é importante destacar que a “ $H+Al$  de referência” pode ser obtida por reação ácido-base direta (Eq 1) com a acidez do solo para determinado valor de pH, com o uso de  $CaCO_3$  P.A, e por esse motivo é considerada referência para calibração de demais métodos para estimar  $H+Al$ , tais como equações SMP e o uso do Acetato de Cálcio 0,5 mol/L pH 7.





Um aspecto importante a ser destacado é que não se emprega a incubação com  $\text{CaCO}_3$  como método de rotina para quantificar  $\text{H}^+\text{Al}$  devido as dificuldades analíticas, especialmente o extenso tempo necessário para a reação ocorrer e elevado volume de amostra. Nesse sentido, métodos laboratoriais para determinação de  $\text{H}^+\text{Al}$  foram sendo desenvolvidos com o propósito de serem práticos e ágeis. O método mais difundido no Brasil e adotado como oficial pelo PROFERT (Programa de Proficiência analítica de Laboratórios de Análise de Solo do Núcleo regional Leste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo), que utiliza o Acetato de Cálcio 0,5 mol/L pH 7,0 como extrator (EMBRAPA, 2017), se caracteriza por ser composto uma solução tamponada de ácido fraco, portanto receptora de prótons, no qual a Acidez Potencial é quantificada por meio de titulação colorimétrica (indicador fenolftaleína) ácido-base do  $\text{H}^+$  (produto principalmente da ionização de grupamentos funcionais de carga variável ou da hidrólise de íons metálicos, cujo principal representante é o  $\text{Al}^{3+}$ ) com solução  $\text{NaOH}$  0,025 mol/L.

A segunda metodologia de rotina utilizada no Brasil para estimar o teor de  $\text{H}^+\text{Al}$ , trata-se da solução tampão SMP (Descrita por Shoemaker, McClean & Pratt em 1961), composta por diferentes tampões, a citar: p-nitrofenol, trietanolamina, cromato de Potássio e Acetato de Cálcio, que foi inicialmente desenvolvida com o objetivo de estimar a necessidade de calagem na região sul do Brasil (RS e SC), porém devido a praticidade (ALMEIDA JÚNIOR, 2015), o método foi adaptado para também estimar teores de  $\text{H}^+\text{Al}$  (Comissão de Fertilidade do Solo de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, 1989). A adoção dessa metodologia tem por premissa a calibração regional de equações de regressão, que relacionam o  $\text{H}^+\text{Al}$  estimado com o pH de equilíbrio da suspensão solo/tampão. Para além da região sul, há certa diversidade de equações SMP para outras regiões, como Semiárido nordestino (Silva, 2000); Minas Gerais (Corrêa, 1985); Noroeste do Paraná (Sambatti, 2003) e Pernambuco (Nascimento, 2000).

Alguns inconvenientes referentes a adoção desses métodos têm sido relatados por diversos autores (Kaminski et al., 2002; Toledo et al., 2012; Silva et al., 2008). Para o método do Acetato de Cálcio, há dificuldade da observação do ponto de viragem, necessidade de preparo diário da solução e a má qualidade dos reagentes disponíveis no mercado (GAMA et al., 2002), além disso, é notória a baixa eficiência da solução em manter o tamponamento da solução em pH próximo de 7, ou seja, o equilíbrio na realidade se estabelece em pH inferior a 7 (Silva, 2005) o que resulta em subestimativa dos teores.

Já a solução tampão SMP tem sido vantajosa pela maior praticidade quando comparado ao uso da solução de Acetato de Cálcio, com menor exigência de tempo operacional; entretanto, o Dicromato de Potássio, um dos componentes do tampão, é um agente tóxico tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente (Toleto et al., 2012), sendo capaz de causar neoplasias, além de gerar impactos significativos para o meio ambiente, sendo considerado muito tóxico para organismos aquáticos e capaz de causar efeitos nefastos a longo prazo (Sigma-Aldrich, 2011). Adicionalmente, o método apresenta inexatidões associadas à variações regionais de solo ante àqueles utilizados para calibrar o método, podendo delimitar regiões específicas (ex; Vale do Jequitinhonha), estados (ex: São Paulo) e até mesmo biomas (ex: cerrado); todavia, vale destacar que os laboratórios de análise de solo estendem suas atividades para além dos limites regionais pré-estabelecidos, e ainda mais impactante que as características regionais, estão as características físico-químicas de cada solo em particular (SILVA, 2005). Outra questão, é o fato de as equações serem estabelecidas considerando como referência os valores de H+Al obtidos por meio do uso do Acetato de Cálcio, que como dito anteriormente frequentemente é apresentado como subestimador dos valores de H+Al.

O Triângulo Mineiro é uma região que possui predomínio de LATOSSOLOS (EMBRAPA, 1980). De fato, apenas o LATOSSOLO Vermelho ocupa aproximadamente 18% da superfície do estado de Minas Gerais, com maior concentração na região do Triângulo Mineiro (EMBRAPA, 2004).

Face ao exposto, foi o objetivo dessa pesquisa avaliar a exatidão dos métodos de determinação de Acidez Potencial: Acetato de Cálcio 0,5 mol/L pH 7 (com variação de pH e concentração) e tampão SMP (de rotina em contraste com o efeito da ausência do Dicromato de Potássio) em LATOSSOLOS do Triângulo Mineiro.

## 2. METODOLOGIA

### Coleta de Solo

Foram coletadas amostras superficiais (0,0-0,2 m) representativas de cinco LATOSSOLOS na região do Triângulo Mineiro (Tabelas 1 e 2.), que foram secas ao ar, destorroadas peneiradas em malha de 2 mm para obtenção da TFSA , montagem do experimento de incubação e análises químicas (Tabela 3).

**Tabela 1** Localização dos pontos de coleta de amostras superficiais (0,0-0,2 m) de LATOSSOLOS na região do Triângulo Mineiro.

| Solo | Coordenadas Geográficas     | Nome/Localização         | Classificação (SBCS)                         |
|------|-----------------------------|--------------------------|--|
| 1    | 18°53'03" S<br>48° 06'38" W | Campus Glória            | LATOSSOLO Vermelho                           |
| 2    | 18°55'38" S<br>48° 11'18" W | BR-365                   | LATOSSOLO Amarelo                            |
| 3    | 18°56'43" S<br>48° 12'56" W | Sentido Uberaba          | LATOSSOLO Vermelho Acriférico<br>Grupo Bauru |
| 4    | 19°01'36" S<br>48° 12'14" W | Fazenda de milho/Uberaba | LATOSSOLO Vermelho Grupo Bauru               |
| 5    | 18° 51'42" S<br>47°54'12" W | Sentido Monte Carmelo    | LATOSSOLO Amarelo                            |

1.LATOSSOLO Vermelho; 2. LATOSSOLO Amarelo; 3. LATOSSOLO Vermelho Acriférico Grupo Bauru; 4. LATOSSOLO Vermelho Grupo Bauru; 5. LATOSSOLO Amarelo.

**Tabela 2** Características químicas de amostras de LATOSSOLOS coletadas na camada 0,0-0,2 m na região do Triângulo Mineiro.

| Solo | pH Água | P                          | K  | Ca  | Mg  | Al  | H+Al | SB  | t   | T   | V           | m                    | MO  |
|------|---------|----------------------------|--|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-------------|----------------------|-----|
|      |         | ---mg dm <sup>-3</sup> --- | ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |     |     |     |      |     |     |     | -----%----- | dag kg <sup>-1</sup> |     |
| 1    | 5,1     | 1,4                        | 12,8   | 2,1 | 0,3 | 0,4 | 3,7  | 2,5 | 2,9 | 6,3 | 40,4        | 13,5                 | 3,1 |
| 2    | 5,1     | 1,4                        | 9,0  | 0,1 | 0,0 | 0,6 | 4,3  | 0,2 | 0,8 | 4,5 | 4,7         | 73,7                 | 2,3 |
| 3    | 5,9     | 7,0                        | 28,0   | 2,7 | 0,3 | 0   | 1,6  | 3,1 | 3,1 | 4,8 | 65,4        | 0,0                  | 2,1 |
| 4    | 5,6     | 1,0                        | 5,2  | 2,1 | 0,3 | 0   | 1,7  | 2,5 | 2,5 | 4,0 | 58,6        | 0,0                  | 1,5 |
| 5    | 5,0     | 2,7                        | 32,4   | 0,5 | 0,1 | 0,5 | 3,5  | 0,7 | 1,2 | 4,3 | 18,0        | 40,0                 | 2,3 |

1. LATOSSOLO Vermelho; 2. LATOSSOLO Amarelo; 3. LATOSSOLO Vermelho Acriférrico Grupo Bauru; 4. LATOSSOLO Vermelho Grupo Bauru; 5. LATOSSOLO Amarelo. 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 (Ca, Mg, K e Na).

### **Acidez Potencial “de Referência”**

Para obtenção dos teores de Acidez Potencial de referência, realizou-se ensaio de incubação dos solos com doses de CaCO<sub>3</sub> P.A em esquema fatorial 5 x 8, sendo cinco LATOSSOLOS e oito doses do corretivo. As doses de CaCO<sub>3</sub> (Tabela 3) foram definidas como 0, 25, 50, 75, 100, 150, 200 e 250 % da Acidez Potencial determinada nas amostras pelo método do Acetato de Cálcio 0,5 mol/L pH 7. Os tratamentos foram distribuídos ou analisados em delineamento experimental de Blocos Casualizados, com três repetições.

A unidade experimental foi composta por amostra de 50 g de solo incubadas com doses correspondentes de CaCO<sub>3</sub> em frascos de polietileno, ademais, foram adotadas amostras exclusivas para monitoramento do pH. Após adição de água destilada, as amostras foram mantidas com cerca de 80 % da capacidade de retenção de água dos solos, até a estabilização da acidez ativa (pH). Semanalmente, os frascos foram abertos para permitir a liberação do CO<sub>2</sub>, produto da reação de neutralização. A incubação foi encerrada quando não foi mais possível observar variações significativas nos valores da acidez liberados.

Para a obtenção dos valores de Acidez Potencial de referência, foram adotadas equações de regressão (Tabela 5), que relacionam a variação de valores de pH com a variação de valores de H+Al neutralizada. O teor de H+Al foi estimado para pH = 7,0.

**Tabela 3** Dose de CaCO<sub>3</sub> utilizada na incubação com 50 g de solo, para obtenção da Acidez Potencial de referência.

| Dose | Solo           |        |        |        |        |
|------|----------------|--------|--------|--------|--------|
|      | Solo 1         | Solo 2 | Solo 3 | Solo 4 | Solo 5 |
| %    | -----g /g----- |        |        |        |        |
| 0    | 0,0000         | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 25   | 0,0007         | 0,0008 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0007 |
| 50   | 0,0014         | 0,0016 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0014 |
| 75   | 0,0021         | 0,0024 | 0,0009 | 0,0009 | 0,0021 |
| 100  | 0,0028         | 0,0032 | 0,0012 | 0,0012 | 0,0028 |
| 150  | 0,0035         | 0,0040 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0035 |
| 200  | 0,0042         | 0,0048 | 0,0018 | 0,0018 | 0,0042 |
| 250  | 0,0051         | 0,0056 | 0,0021 | 0,0021 | 0,0051 |

1. LATOSSOLO Vermelho; 2. LATOSSOLO Amarelo; 3. LATOSSOLO Vermelho Acriférico Grupo Bauru; 4. LATOSSOLO Vermelho Grupo Bauru; 5. LATOSSOLO Amarelo. Unidade experimental composta por 50 g de solo em frasco de polietileno de 0,15 dm<sup>3</sup>.

### **Estimativa de H+Al por meio do tampão SMP**

Obteve-se a partir do pH de equilíbrio solo/solução SMP (índice SMP) para os cinco LATOSSOLOS, em triplicata, conforme Pratt et al. (1961). Para estimar o teor de H+Al dos solos, utilizaram-se as equações descritas na Tabela 4.

**Tabela 4** Equações de regressão utilizadas para se estimar o H+Al por meio do pH da solução SMP (índice SMP), regiões de abrangência, respectivos autores e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>).

| n  | Equação   | R <sup>2</sup> | Estado/Região       | Fonte  |
|----|---|----------------|---------------------|--|
| 1  | $\text{Ln}(\text{H}+\text{Al}) = 7,76 - 1,053 \text{ pH}_{\text{SMP}}$  | 0,96           | SP                  | Quaggio et al. (1985)                                |
| 2  | $\text{Ln}(\text{H}+\text{Al}) = 8,06 - 1,111 \text{ pH}_{\text{SMP}}$  | 0,99           | MG                  | Corrêa et al. (1985)                                 |
| 3  | $\text{Ln}(\text{H}+\text{Al}) = 7,719 - 1,068 \text{ pH}_{\text{SMP}}$   | 0,96           | Cerrado             | Souza et al. (1989)                                  |
| 4  | $\text{Ln}(\text{H}+\text{Al}) = 6,0687 - 0,744 \text{ pH}_{\text{SMP}}$  | 0,95           | PR                  | Pavan et al. (1996)                                  |
| 5  | $\text{Ln}(\text{H}+\text{Al}) = 8,086 - 1,062 \text{ pH}_{\text{SMP}}$   | 0,96           | MS                  | Maeda et al. (1997)                                  |
| 6  | $\text{Ln}(\text{H}+\text{Al}) = 10,05 - 1,020 \text{ pH}_{\text{SMP}}$<br>$\text{H}+\text{Al} = 786,3 - 201,73 \text{ pH}_{\text{SMP}} + 13,294$ | 0,90           | RJ                  | Pereira et al (1998)                                 |
| 7  | $\text{pH}_{\text{SMP}}^2$  | 0,90           | PA/Nordeste         | Gama et al. (1998)<br>Ecosteguy & Bissani,<br>(1999) |
| 8  | $\text{Log}(\text{H}+\text{Al}) = 3,914 - 0,391 \text{ pH}_{\text{SMP}}$<br>$\text{H}+\text{Al} = 1.625,3 - 451,61 \text{ pH}_{\text{SMP}} +$     | 0,90           | RS e SC<br>Nordeste |  |
| 9  | $31,521 \text{ pH}_{\text{SMP}}^2$<br>$\text{H}+\text{Al} = 38,448 - 8,4855 \text{ pH}_{\text{SMP}} + 0,4837$                                     | 0,87           | semiárido           | Silva et al. (2000)                                  |
| 10 | $\text{pH}_{\text{SMP}}^2$  | 0,9            | PE                  | Nascimento (2000)                                    |
| 11 | $\text{H}+\text{Al} = 0,00359 + 1.556,5806 e^{-\text{pH}_{\text{SMP}}}$   | 0,96           | MG/Norte            | Silva et al. (2002)                                  |
| 12 | $\text{H}+\text{Al} = 20,195 - 2,6484 \text{ pH}_{\text{SMP}}$  | 0,91           | PR/Noroeste         | Sambatti et al. (2003)                               |
| 13 | $\text{Log}(\text{H}+\text{Al}) = 3,020 - 0,371 \text{ pH}_{\text{SMP}}$  | 1/             | Brasil/Sul          | Kaminski et al. (2002)                               |
| 14 | $\text{H}+\text{Al} = 30,646 - 3,848 \text{ pH}_{\text{SMP}}$ (em água)   | 0,89           | AM                  | Moreira et al. (2004)                                |
| 15 | $\text{H}+\text{Al} = 30,155 - 3,834 \text{ pH}_{\text{SMP}}$ (em CaCl <sub>2</sub> )   | 0,91           | AM                  | Moreira et al. (2004)                                |
| 16 | $\text{In}(\text{H}+\text{Al}) = 8,0629 - 1,110$  | *              | MG                  | (PROFERT, 2005)                                      |

#### **Estimativa de H+Al por meio do tampão SMP sem K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>**

O Dicromato de Potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) é um componente nocivo à saúde humana e ao meio ambiente, por esse motivo, foi realizada a análise da estimativa de Acidez Potencial dos solos com SMP sem a adição desse composto. O delineamento adotado foi o mesmo utilizado para o SMP padrão, portanto foram utilizadas 15 amostras com 5 solos e 3 repetições, sendo a única particularidade a não utilização do Dicromato no preparo da solução.

### **H+Al em Acetato de Cálcio 0,5 mol/L pH 7**

Para a obtenção da Acidez Potencial pelo método do Acetato de Cálcio, foi utilizada a metodologia descrita por Defelipo e Ribeiro (1997). Foram consideradas 15 amostras (5 solos e 3 repetições); dessa forma, 5 cm<sup>3</sup> de cada amostra foi agitada (10 min e 180 rpm) com 75 ml de solução; 25 ml do sobrenadante foram pipetados e incorporados a 2 gotas do indicador fenolftaleína.

As amostras foram tituladas com solução de NaOH 0,025 mol/L, juntamente com as unidades experimentais em branco. Para a obtenção dos valores de Acidez Potencial em cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>, foi necessário dispor dos valores em ml de solução de NaOH demandada até o ponto de viragem (coloração rósea).

### **Variações de pH e concentração em Acetato de Cálcio**

Com o objetivo de avaliar o efeito do pH do extrator e da concentração de Acetato de Cálcio nos teores de H+Al dos solos, os tratamentos foram arranajados no esquema fatorial 3 x 3 x 4, sendo: três solos, três concentrações de Acetato de Cálcio (0,5; 1,0 e 1,5 mol/L) e quatro valores de pH da solução tampão (7,0; 7,5; 8,0 e 8,5), a metodologia de extração e dosagem seguiu o método descrito por Defelipo e Ribeiro (1997). Dois solos foram desconsiderados para esse experimento, mantendo-se aqueles mais contrastantes em termos de teores de H+Al e saturação por bases. Os tratamentos foram distribuídos e analisados considerando-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições.

### **Tendência Relativa**

A tendência relativa é um parâmetro utilizado para avaliar como uma variável de interesse se comporta em relação a outra variável, de referência, em termos percentuais. No caso do presente estudo, essa ferramenta foi empregada para avaliar a correlação entre os valores de H+Al de referência obtidos para cada solo e os valores estimados por meio das diferentes metodologias, dessa maneira, é possível interpretar se os métodos se aproximaram ou distanciaram de valores reais de acidez do solo além de auxiliar na interpretação a respeito da exatidão referente a cada metodologia. Tendências de até 5% foram consideradas de melhor ajuste, até 40% de ajuste intermediário e > 40% de ajuste inadequado; a tendência relativa pode ser calculada por meio da equação a seguir:

$$Tendência\ relativa = \frac{Valor\ observado - Valor\ de\ referência}{Valor\ de\ referência} \times 100 \quad (Eq\ 2)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### **Incubação com CaCO<sub>3</sub>: Acidez Potencial de referência**

Os LATOSSOLOS apresentaram ampla variação nos teores de H+Al, entre 2,8 e 10,6 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup> (Tabela 5). Essa variabilidade é essencial para que o estudo da exatidão dos métodos de rotina seja viável, tendo em vista a maior universalidade do método, mesmo que diante de solos pertencentes a uma mesma classe pedogenética. De fato, entre os solos houve grande variação de cores, o que infere sobre a qualidade da fração argila oxídica.

**Tabela 5** Equações de regressão que relacionam pH (y) com doses de CaCO<sub>3</sub> expressas em equivalente neutralizante de H<sup>+</sup> em cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup> (x) ajustadas com dados obtidos após incubação do solo, quando o pH estabilizou com respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>).

| Solo | Equação de ajuste                        | R <sup>2</sup> | H+Al  |
|------|--|----------------|-------|
| 1    | $\hat{y} = 4,783 + 0,2378x - 0,0033x^2$  | 0,996          | 10,60 |
| 2    | $\hat{y} = 4,254 + 0,3706x - 0,0096x^2$  | 0,999          | 9,79  |
| 3    | $\hat{y} = 5,8356 + 0,5331x - 0,039x^2$  | 0,993          | 2,88  |
| 4    | $\hat{y} = 5,0794 + 0,6885x - 0,0407x^2$ | 0,993          | 3,51  |
| 5    | $\hat{y} = 4,207 + 0,5732x - 0,0268x^2$  | 0,992          | 7,92  |

1. LATOSSOLO Vermelho; 2. LATOSSOLO Amarelo; 3. LATOSSOLO Vermelho Acriférrico Grupo Bauru; 4. LATOSSOLO Vermelho Grupo Bauru; 5. LATOSSOLO Amarelo.

#### **Acidez Potencial estimada pelo tampão SMP, na presença ou ausência de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.**

Observou-se que os valores estimados de H+Al apresentaram ampla variação entre solos e entre as equações utilizadas. Ao analisar o efeito das equações de forma isolada, considerando as variações entre solos, a maior diferença obtida foi entre os solos “1” e “3” na equação SMP 16, de 168 %. Menor amplitude foi encontrada na equação SMP 8 entre os solos 3 e 4, com 21 %. Em contrapartida, a análise do efeito de solo, considerando as variações entre as equações, a maior variação foi encontrada para o solo 1 foi de 98 %, enquanto a menor diferença foi de 74 % para o solo 5. Dessa maneira, é possível notar expressivas diferenças de valores estimados de H+Al, tanto quando adotadas a mesma equação, como quando o mesmo solo foi analisado, entretanto, para o fator “solo” houve maior variabilidade que o fator “equação” (Tabela 6).



**Tabela 6** Teor de H+Al (n=3) estimado por equações SMP, com presença de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

| Equação       | Solo  |      |       |       |       |
|---------------|---|------|-------|-------|-------|
|               | 1   | 2    | 3     | 4     | 5     |
|               | -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |      |       |       |       |
| <b>SPM 1</b>  | 9,3   | 7,5  | 3,7   | 4,7   | 6,2   |
| <b>SMP 2</b>  | 9,3   | 7,4  | 3,5   | 4,5   | 6,0   |
| <b>SMP 3</b>  | 8,3   | 6,7  | 3,3   | 4,1   | 5,5   |
| <b>SMP 4</b>  | 8,6   | 7,5  | 4,5   | 5,4   | 6,5   |
| <b>SMP 5</b>  | 12,3  | 9,9  | 4,9   | 6,2   | 8,2   |
| <b>SMP 6</b>  | 10,9  | 8,9  | 4,5   | 5,7   | 7,4   |
| <b>SMP 7</b>  | 9,3   | 8,1  | 4,9   | 5,9   | 7,1   |
| <b>SMP 8</b>  | 7,2   | 6,0  | 3,3   | 4,0   | 5,1   |
| <b>SMP 9</b>  | 12,2  | 10,0 | 4,2   | 5,9   | 8,1   |
| <b>SMP 10</b> | 7,2   | 6,5  | 4,6   | 5,2   | 6,0   |
| <b>SMP 11</b> | 8,2   | 6,7  | 3,4   | 4,3   | 5,5   |
| <b>SMP 12</b> | 6,2   | 5,5  | 3,9   | 4,5   | 5,2   |
| <b>SMP 13</b> | 11,8  | 9,9  | 5,6   | 6,8   | 8,5   |
| <b>SMP 14</b> | 10,3  | 9,6  | 7,1   | 7,9   | 8,9   |
| <b>SMP 15</b> | 9,9   | 9,2  | 6,7   | 7,5   | 8,5   |
| <b>SMP 16</b> | 9,4   | 7,5  | 3,5   | 4,6   | 6,1   |
| <b>CV (%)</b> | 4,82  | 6,06 | 14,01 | 11,92 | 11,09 |

1. LATOSSOLO Vermelho; 2. LATOSSOLO Amarelo; 3. LATOSSOLO Vermelho Acriférico Grupo Bauru; 4. LATOSSOLO Vermelho Grupo Bauru; 5. LATOSSOLO Amarelo.

Os teores de H+Al estimados por tampão SMP sem K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> também apresentam vasta variabilidade (Tabela 7), tanto dentro do fator “solos”, quanto dentro do fator “equações”, de forma que ao avaliar o efeito das equações de forma isolada, considerando as variações entre solos, a maior variação foi para a equação 9 (279 %) e a menor foi para a equação 14 (62 %).

Ao considerar o efeito dos solos de forma isolada, analisando as variações entre equações, a maior variação foi de 130 % para o solo 3 e a menor foi de 67 % para o solo 5. Outra questão, é que os valores estimados por meio do tampão SMP sem o uso do Dicromato de Potássio diferiram significativamente dos valores estimados por meio da solução tampão padrão, ademais, o uso do tampão sem o Dicromato gerou maior variabilidade entre os dados, em relação ao SMP de rotina, tanto dentro do fator solo quanto dentro do fator equação.

**Tabela 7** Teor de H+Al (n=3) estimado por equações SMP sem K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>

| <b>Solo</b>     |          |          |          |          |          |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Equações</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| <b>SPMSK 1</b>  | 8,5      | 9,8      | 3,2      | 3,8      | 8,3      |
| <b>SMPSK 2</b>  | 8,4      | 9,8      | 3,0      | 3,6      | 8,2      |
| <b>SMPSK 3</b>  | 7,5      | 8,7      | 2,8      | 3,4      | 7,4      |
| <b>SMPSK 4</b>  | 8,1      | 9,0      | 4,1      | 4,6      | 8,0      |
| <b>SMPSK 5</b>  | 11,2     | 12,9     | 4,2      | 5,0      | 10,9     |
| <b>SMPSK 6</b>  | 10,0     | 11,5     | 3,9      | 4,6      | 9,8      |
| <b>SMPSK 7</b>  | 8,8      | 9,6      | 4,4      | 5,0      | 8,7      |
| <b>SMPSK 8</b>  | 6,7      | 7,6      | 2,9      | 3,4      | 6,6      |
| <b>SMPSK 9</b>  | 11,3     | 12,8     | 3,3      | 4,4      | 11,0     |
| <b>SMPSK 10</b> | 6,9      | 7,4      | 4,3      | 4,7      | 6,8      |
| <b>SMPSK 11</b> | 7,5      | 8,5      | 2,9      | 3,5      | 7,3      |
| <b>SMPSK 12</b> | 6,0      | 6,4      | 3,6      | 4,0      | 6,0      |
| <b>SMPSK 13</b> | 10,9     | 12,3     | 5,0      | 5,7      | 10,8     |
| <b>SMPSK 14</b> | 10,1     | 10,6     | 6,5      | 7,2      | 10,0     |
| <b>SMPSK 15</b> | 9,7      | 10,2     | 6,1      | 6,8      | 9,6      |
| <b>SMPSK 16</b> | 8,5      | 9,8      | 3,0      | 3,7      | 8,3      |
| <b>CV (%)</b>   | 15,44    | 0,124    | 14,65    | 15,04    | 4,97     |

1. LATOSSOLO Vermelho; 2. LATOSSOLO Amarelo; 3. LATOSSOLO Vermelho Acriférrico Grupo Bauru; 4. LATOSSOLO Vermelho Grupo Bauru; 5. LATOSSOLO Amarelo.

### **Tendência relativa: SMP com e sem K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>**

Para melhor visualização da variação dos teores estimados de H+Al pelo método do tampão SMP (com e sem K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) em relação ao método de referência foi realizada a análise de tendência relativa (Tabela 8); que demonstra em termos percentuais essa diversidade de resultados. Em relação ao conjunto de dados, somente 37 % apresentaram ajustes de até 5 %, alguns teores de H+Al como foi o caso do solo 3 na equação 7 apresentaram grande variação (72 % e 73 %, por exemplo).

**Tabela 8** Tendência relativa para os valores de H+Al obtidos por equações SMP (Com e sem K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) em relação ao método de referência (Incubação com CaCO<sub>3</sub>)

| Método  | Solos       |             |             |             |            |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
|         | 1           | 2           | 3           | 4           | 5          |
|         | -----%----- |             |             |             |            |
| SMPSK1  | -19,6       | <b>-0,0</b> | 12,5        | 9,5         | <b>5,1</b> |
| SMPSK2  | -20,3       | <b>-0,2</b> | <b>5,7</b>  | <b>3,8</b>  | <b>4,0</b> |
| SMPSK3  | -28,7       | -11,2       | <b>-1,6</b> | <b>-4,0</b> | -6,8       |
| SMPSK4  | -23,0       | -8,0        | 42,7        | 32,5        | <b>1,4</b> |
| SMPSK5  | 6,2         | 32,1        | 47,3        | 43,6        | 38,8       |
| SMPSK6  | <b>-5,3</b> | 17,2        | 36,4        | 32,2        | 23,9       |
| SMPSK7  | -16,7       | <b>-1,3</b> | 54,7        | 44,5        | 10,0       |
| SMPSK8  | -36,5       | -22,6       | <b>2,1</b>  | <b>-2,9</b> | -16,6      |
| SMPSK9  | 6,4         | 31,6        | 17,8        | 25,3        | 39,7       |
| SMPSK10 | -34,5       | -24,5       | 48,6        | 34,0        | -13,2      |
| SMPSK11 | -29,1       | -12,5       | <b>4,1</b>  | <b>0,5</b>  | -7,2       |
| SMPSK12 | -42,9       | -34,4       | 24,9        | 15,6        | -24,1      |
| SMPSK13 | <b>3,5</b>  | 25,5        | 73,7        | 64,0        | 36,1       |
| SMPSK14 | <b>-4,7</b> | 8,5         | 126,8       | 105,0       | 26,7       |
| SMPSK15 | -8,6        | <b>4,2</b>  | 112,8       | 93,5        | 21,4       |
| SMPSK16 | -19,6       | <b>0,5</b>  | 6,7         | <b>4,8</b>  | <b>4,9</b> |
| SMP1    | -11,7       | -22,6       | 29,9        | 35,7        | -21,1      |
| SMP2    | -11,9       | -23,8       | 23,0        | 30,2        | -23,2      |
| SMP3    | -21,6       | -31,6       | 17,3        | 19,2        | -30,4      |
| SMP4    | -18,0       | -23,3       | 58,5        | 54,1        | -17,2      |
| SMP5    | 16,7        | <b>2,05</b> | 70,4        | 78,3        | <b>3,8</b> |
| SMP6    | <b>3,6</b>  | -8,5        | 57,0        | 62,7        | -6,2       |
| SMP7    | -12,0       | -16,3       | 72,8        | 69,1        | -9,1       |
| SMP8    | -31,3       | -37,8       | 15,6        | 16,5        | -34,8      |
| SMP9    | 15,7        | <b>2,8</b>  | 46,9        | 68,1        | <b>3,3</b> |
| SMP10   | -32,0       | -32,7       | 61,2        | 49,6        | -24,1      |
| SMP11   | -22,6       | -31,4       | 19,4        | 23,1        | -29,4      |
| SMP12   | -40,9       | -43,1       | 38,7        | 30,9        | -33,3      |
| SMP13   | 11,5        | <b>1,9</b>  | 95,6        | 95,1        | 7,8        |
| SMP14   | <b>-1,9</b> | <b>-1,0</b> | 146,8       | 127,4       | 13,4       |

|              |             |             |       |       |       |
|--------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| <b>SMP15</b> | <b>-5,8</b> | <b>-5,3</b> | 132,7 | 115,7 | 8,2   |
| <b>SMP16</b> | -11,3       | -23,2       | 24,1  | 31,3  | -22,6 |

Tendência relativa= (H+Al observado- H+Al referência) / (H+Al referência) \*100. SMP= Equação SMP correspondente. SMPSK= Equação SMP correspondente sem K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Equações SMP descritas na Tabela 4.

É importante ressaltar que as equações SMP foram previamente calibradas sob condições regionais muito diversas, fato esse que explica em parte a grande variabilidade de ajustes em relação ao teor real de H+Al. Outro ponto importante, é que os laboratórios de análise em sua rotina analisam solos com grande variabilidade de características físicas e químicas que influenciam, ainda mais, do que o fator regional (SILVA, 2005). Por exemplo, as equações 2 e 16, ambas para estimar teores de H+Al em Minas Gerais, em teoria deveriam se ajustar de maneira adequada aos solos do experimento, visto que todos os LATOSSOLOS utilizados foram coletados em Minas, entretanto isso não ocorreu devido às particularidades físico-químicas de cada solo.

Alguns exemplos dessas características físico químicas que podem influenciar na determinação de H+Al são: o teor de matéria orgânica do solo, a quantidade de argila (com o respectivo tamponamento) e a presença de óxidos de ferro e alumínio, que por sua vez, geram grande quantidade de acidez trocável.

### **Tendência relativa: Acetato de Cálcio**

É importante destacar que para efeito de melhor exatidão na interpretação dos dados, percentuais de tendência relativa de até 5 % foram considerados de ajuste satisfatório. Em relação ao Acetato de Cálcio, é possível notar a subestimativa dos teores de H+Al (3 de 5 solos), como denunciam diversos autores. Para o solo 2, esse fato foi muito perceptível devido teores de H+Al com tendências inaceitáveis (Tabela 9). Os solos 3 e 4, apresentaram ajustes mais adequados (Tabela 9) com tendências relativas de 21 e 25 % respectivamente.

**Tabela 9** Tendência relativa para os valores de H+Al obtidos por Acetato de Cálcio 0,5 mol/L pH 7 em relação ao método de referência (Incubação com CaCO<sub>3</sub>)

| <b>Solo</b>   | <b>1</b>    | <b>2</b>     | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|---------------|-------------|--------------|----------|----------|----------|
| <b>Método</b> | -----%      |              |          |          |          |
| <b>A_Ca</b>   | <b>-2,3</b> | <b>-56,3</b> | 21,2     | 25,0     | -7,9     |

Tendência relativa= (H+Al obtido- referência) / (H+Al referência) \*100. A\_Ca= Acetato de Cálcio 0,5 mol/pH 7

### Índice de correlação de Pearson: SMP e Acetato de Cálcio

Foi adotado como instrumento de análise dos dados o índice de correlação de Pearson, cujo valor pode variar de 1 a -1 e é capaz de quantificar a relação linear entre duas variáveis. O valor zero do índice indica que houve ausência de relação entre as variáveis analisadas, enquanto 1 indica que são diretamente proporcionais e -1 que são inversamente proporcionais; dessa maneira, quanto maior o valor em módulo se aproxima de 1, então mais intensa é a correlação entre as variáveis, e o contrário é verdadeiro. A hipótese nula do índice quando rejeitada significa que as variáveis se correlacionam significativamente a determinado valor de probabilidade.

A análise de correlação (Tabela 10) foi adotada para avaliar a intensidade de correlação entre teores de H+Al estimados ou determinados pelos diferentes métodos e aquele de referência (ensaio de incubação).

**Tabela 10** Correlação de Pearson entre teores de H+Al obtidos pelo método de referência com Acetato de Cálcio ou equações SMP.

| <b>Método</b> | <b>r</b> | <b>Método</b> | <b>r</b> |
|---------------|----------|---------------|----------|
| SMPSK 1       | 0,962*   | SMP 1         | 0,958*   |
| SMPSK 2       | 0,962*   | SMP 2         | 0,956*   |
| SMPSK 3       | 0,962*   | SMP 3         | 0,957*   |
| SMPSK 4       | 0,963*   | SMP 4         | 0,965*   |
| SMPSK 5       | 0,962*   | SMP 5         | 0,957*   |
| SMPSK 6       | 0,962*   | SMP 6         | 0,959*   |
| SMPSK 7       | 0,964*   | SMP 7         | 0,970*   |
| SMPSK 8       | 0,963*   | SMP 8         | 0,962*   |
| SMPSK 9       | 0,963*   | SMP 9         | 0,968*   |
| SMPSK 10      | 0,964*   | SMP 10        | 0,972*   |
| SMPSK 11      | 0,962*   | SMP 11        | 0,959*   |
| SMPSK 12      | 0,963*   | SMP 12        | 0,960*   |
| SMPSK 13      | 0,963*   | SMP 13        | 0,963*   |
| SMPSK 14      | 0,963*   | SMP 14        | 0,974*   |
| SMPSK 15      | 0,963*   | SMP 15        | 0,974*   |
| SMPSK 16      | 0,962*   | SMP 16        | 0,956*   |
| Ac_Ca         | 0,689    | Ac_Ca         | 0,689    |

\* significância de 5%

Os coeficientes presentes na Tabela 10 demonstram que existe correlação entre H+Al real e estimados por tampão SMP a 5 % de significância; os valores são próximos de 1, o que indica uma relação diretamente proporcional. Um ponto interessante a ser notado, é que o coeficiente de correlação de Pearson foi ainda mais elevado (de forma sutil) para a solução SMP sem o Dicromato de Potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), quando comparado com o índice referente a solução tampão de rotina.

### **Variação na concentração e pH da solução de Acetato de Cálcio: Teor de H+Al**

Para a análise estatística dos dados de variação de pH e concentração da solução de Acetato de Cálcio, o delineamento adotado foi em blocos casualizados. Foi utilizado o programa de análise estatística SISVAR, o nível de significância adotado foi de 5 %, para o fator solo (qualitativo), foi realizado o teste de média Scott-Knott (Tabela 11) para averiguar as diferenças estatísticas relativas ao teor de H+Al, assim, os solos 1, 3 e 5 foram considerados estatisticamente diferentes em relação aos valores médios de “H+Al real”. A análise de variância dos dados (Tabela 12) revela efeito significativo (0,1 %) de solo, concentração de Acetato de Cálcio e pH nos teores de H+Al dos solos. Dentre as interações de fatores, não foi possível observar interação significativa a 5 %. Ademais, o gráfico 1 demonstra a correlação linear entre concentração da solução de H+Al e teores médios de H+Al, indicando que quanto mais concentrada a solução, melhor a capacidade de extração de Acidez Potencial.

**Tabela 11** Diferença entre os solos quanto ao teor de Acidez Potencial.

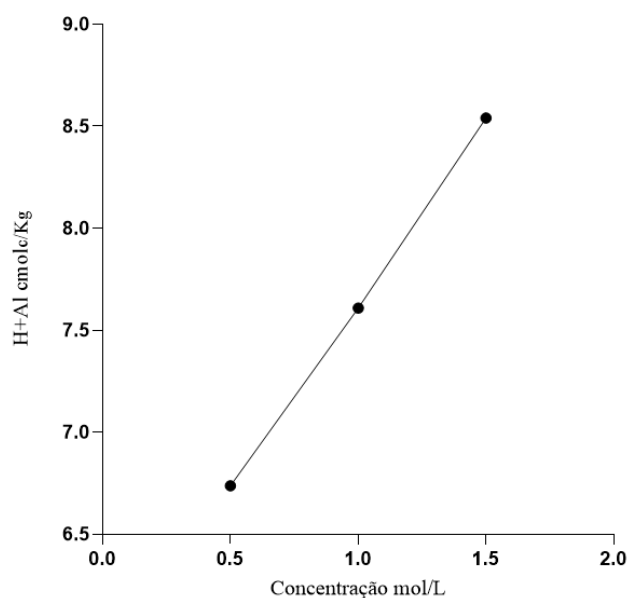
| Solo | Teor de H+Al | Resultados |
|------|--------------|------------|
| 3    | 4,17         | a          |
| 5    | 8,35         | b          |
| 1    | 10,35        | c          |

1. LATOSSOLO Vermelho; 3. LATOSSOLO Vermelho Acriférrico Grupo Bauru; 5. LATOSSOLO Amarelo. Letras iguais não diferenciam as médias pelo teste de Skott-Knott a 5 % de probabilidade.

**Tabela 12** Análise de variância para o efeito de solo, concentração de Acetato de Cálcio e pH nos teores de H+Al de LATOSSOLOS do Triângulo Mineiro

| FV              | GL    | SQ                     | QM      | Fc      | Pr>Fc  |
|-----------------|-------|------------------------|---------|---------|--------|
| REP             | 2     | 31,883                 | 15,941  | 8,447   | 0,005  |
| SOLO            | 2     | 714,767                | 357,383 | 189,366 | 0,000  |
| CONC            | 2     | 58,543                 | 29,271  | 15,510  | 0,000  |
| pH              | 3     | 36,437                 | 12,145  | 6,436   | 0,006  |
| SOLO*CONC*pH    | 12    | 13,038                 | 1,086   | 0,576   | 0,8544 |
| SOLO*CONC       | 4     | 10,224                 | 2,556   | 1,354   | 0,2587 |
| SOLO*pH         | 6     | 3,219                  | 0,553   | 0,293   | 0,9383 |
| CONC*pH         | 6     | 24,332                 | 4,055   | 2,149   | 0,0584 |
| Erro            | 70    | 132,108                | 1,887   |         |        |
| Total corrigido | 107   | 1024,108               |         |         |        |
| CV (%)          | 18,01 |                        |         |         |        |
| Média geral     | 7,62  | Número de observações: |         | 108     |        |

**Gráfico 1** Correlação linear entre concentração da solução de Acetato de Cálcio e teores médios de H+Al.



### **Variação na concentração e pH da solução de Acetato de Cálcio: pH de equilíbrio**

De forma análoga a análise dos teores médios de H+Al, para a análise estatística dos dados de variação de pH e concentração da solução de Acetato de Cálcio com variável resposta pH de equilíbrio, o delineamento adotado foi em blocos casualizados. Inicialmente foi realizado um teste de Skott-Knott para verificar as variações de solos na variável resposta pH de equilíbrio, após 16 h (Tabela 14). Foi utilizado o programa de análise estatística SISVAR, o nível de significância adotado foi de 5 %.

A análise de variância dos dados revela efeito significativo (0,1 %) de solo, concentração de Acetato de Cálcio e pH nos teores de H+Al dos solos. Entre as interações (Tabela 15), apenas ‘concentração vs pH’ apresentou significância (10 %); posteriormente, foi possível realizar regressões lineares provenientes desse desdobramento (Gráfico 2) e observar, de maneira clara a influência do pH inicial e concentração da solução de Acetato na variável resposta pH de equilíbrio, demonstrando que são fatores diretamente proporcionais.

**Tabela 14** Efeito de solo no pH de equilíbrio da suspensão solo/tampão Acetato de Cálcio.

| <b>Solo</b> | <b>pH de equilíbrio</b> |
|-------------|-------------------------|
| 1           | 6,65 a                  |
| 5           | 6,69 b                  |
| 3           | 6,91 c                  |

1. LATOSSOLO Vermelho; 3. LATOSSOLO Vermelho Acriférico Grupo Bauru; 5. LATOSSOLO Amarelo. Letras iguais não diferenciam as médias pelo teste de Skott-Knott a 5 % de probabilidade.



**Tabela 15** Análise de variância para variável resposta “pH de equilíbrio”.

| FV              | GL   | SQ                     | QM    | Fc     | Pr>Fc        |
|-----------------|------|------------------------|-------|--------|--------------|
| REP             | 2    | 0,759                  | 0,379 | 15,360 | 0,000        |
| SOLO            | 2    | 1,465                  | 0,732 | 29,626 | 0,000        |
| CONC            | 2    | 0,619                  | 0,309 | 12,527 | 0,000        |
| SOLO + CONC     | 4    | 0,104                  | 0,261 | 1,059  | 0,383        |
| pH              | 3    | 0,801                  | 0,267 | 10,806 | 0,000        |
| pH*CONC         | 6    | 0,271                  | 0,452 | 1,830  | <b>0,105</b> |
| pH*SOLO         | 6    | 0,101                  | 0,016 | 0,685  | 0,662        |
| pH*SOLO*CONC    | 12   | 0,326                  | 0,027 | 1,100  | 0,373        |
| Erro            | 70   | 1,731                  | 0,024 |        |              |
| Total corrigido | 107  | 6,184                  |       |        |              |
| CV (%)          | 2,33 |                        |       |        |              |
| Média geral     | 6,75 | Número de observações: |       | 108    |              |

É necessário ressaltar que, mesmo para as amostras correspondentes ao pH inicial mais elevado, de 8,5, o pH de equilíbrio após as 16 h de repouso atingiu 7 em poucas amostras, sendo que o equilíbrio em geral se estabeleceu em torno de 6,5; ademais, foi realizada a análise de deslocamento do pH de ajuste da solução de Acetato de Cálcio (Tabela 16), sendo que as soluções que foram ajustadas em pH mais alto tiveram maior deslocamento, enquanto aquelas que foram ajustadas em pH mais baixo, tiveram menor deslocamento da solução.

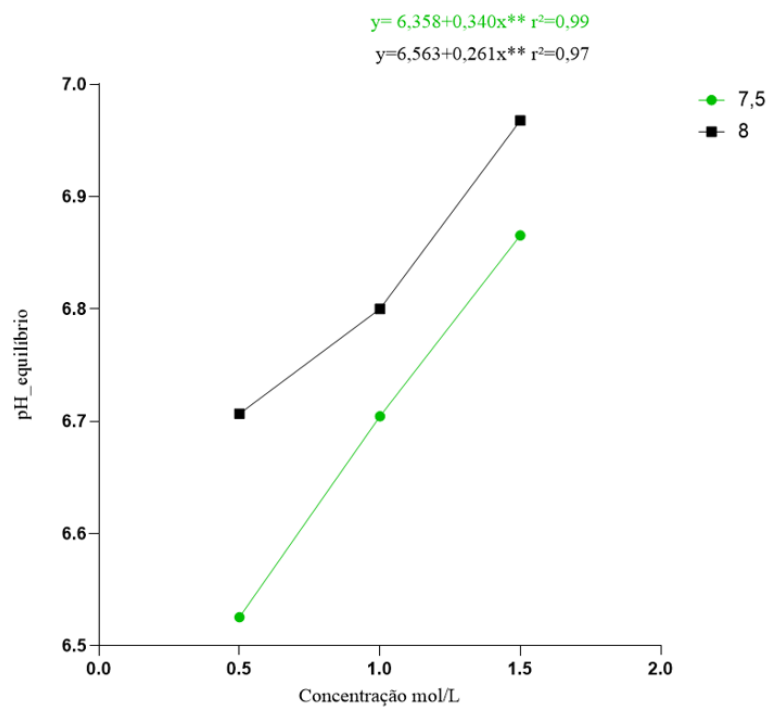
De acordo com Silva (2005) a Acidez Potencial determinada por Acetato de Cálcio a 0,5 mol/L em pH 7 corresponde à acidez em pH 5,7 por meio da incubação com CaCO<sub>3</sub>, dados esses, que corroboram para a confirmação de que o pH de equilíbrio do Acetato de Cálcio não se estabelece em pH 7, fato que aumenta as incertezas para a adoção do método.

**Tabela 16** Deslocamento do pH de ajuste do Acetato de Cálcio em relação ao pH de equilíbrio.

| pH de ajuste | Solo 1 | Solo 3 | Solo 5 |
|--------------|--------|--------|--------|
| 7            | 94,1*  | 96,4   | 94,3   |
| 7,5          | 87,4   | 91,9   | 88,7   |
| 8            | 84,2   | 87,5   | 84,2   |
| 8,5          | 79,4   | 82,8   | 79,6   |

\*Média do pH de equilíbrio em relação ao pH de ajuste= valor médio do pH de equilíbrio/pH de ajuste\*100.

**Gráfico 2** Correlação linear entre concentração da solução de Acetato de Cálcio e pH de equilíbrio para respectivos pH de ajuste (7,5 e 8).



## CONCLUSÕES

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

A ausência do Dicromato de Potássio no tampão SMP, em geral, aumenta a exatidão do método;

Ainda que algumas equações tenham sido mais exatas, a inexatidão constatada para alguns solos não permite que sejam adotadas como universais;

O equilíbrio da solução de Acetato de Cálcio após as 16 h de repouso se estabelece em pH variando entre 6,5 e 6,8.

A variação de concentração da solução de Acetato de Cálcio influenciou de forma mais perceptível a capacidade de extração de H+Al, quando comparada com a variação de pH da solução.

A solução de Acetato de Cálcio ajustada em concentração 1,5 mol/L e pH 8,5 extrai teores de H+Al próximos da Acidez Potencial real (Incubação com CaCO<sub>3</sub>).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA JÚNIOR, A.B. Acidez Potencial Estimada pelo Método do pH SMP em Solos do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Recife, v. 3, n. 39, p. 767-773, fev. 2015. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/Wr36RJJNqWdHg4tdD7Lb4c/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 set. 2023.

AMARAL, F. C. S . **Mapeamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais**. 2004. 108 p. (EMBRAPA). Relatório técnico.

CQFS-RS/SC (RS/SC). **Manual de Calagem e Adubação**: para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. CQFS, 2016. 376 p. Disponível em:<https://usp.br/sddarquivos/aulasmetodologia/abnt6023.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2024.

GAMA, M. A. P.; PROCHNOW, L. I.; GAMA, J. R. N. F.. Estimativa da Acidez Potencial pelo método SMP em solos ocorrentes no nordeste Paraense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 1093-1097, dez. 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832002000400027>.

GOMES, I. A. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro** . EMBRAPA, 1982. 549 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/327207>. Acesso em: 18 mar. 2024.

KAMINSKI, João. ESTIMATIVA DA ACIDEZ POTENCIAL EM SOLOS E SUA IMPLICAÇÃO NO CÁLCULO DA NECESSIDADE DE CALCÁRIO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1107-1113, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/qC98hQCX7tHttvdnKqRdFZc/?lang=pt#>. Acesso em: 18 set. 2023.

MOREIRA, Adônis. Acidez Potencial pelo método do pH SMP no Estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 89-92, jan. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/VKb65NWdLcwTGSMDdtnhypz/#>. Acesso em: 20 ago. 2023.

NASCIMENTO, C. W. A. Acidez Potencial estimada pelo pH SMP em solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 679-682, set. 2000. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832000000300021>.

**ROFERT MG.** Manual do laboratorista. Viçosa: PROFERT MG, 2005. 33 p. Relatório técnico.?

ROSSA, U.B. **ESTIMATIVA DE CALAGEM PELO MÉTODO SMP PARA ALGUNS SOLOS DO PARANÁ.** 2006. 150 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SAMBATTI, J. A.; SOUZA JUNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S.; TORMENA, C. A.. Estimativa da Acidez Potencial pelo método do pH SMP em solos da formação Caiuá: noroeste do estado do paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 257-264, abr. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832003000200006>.

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 Of America Journal**, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 274-277, jul. 1961. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1961.03615995002500040014x>.

**SIGMA-ALDRICH.** . Ficha de informação de segurança de produtos químicos: dicromato de potássio. Disponível em: <https://sites.ffclrp.usp.br/cipa/fispq/dicromato%20de%20potassio.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2024.

SILVA, E.B; SILVA, A.C; GRAZZIOTTI, P.H; FARNEZI, M.M; FERREIRA, C.A; COSTA, H.A; HORAK, I. Comparação de métodos para estimar a Acidez Potencial mediante determinação do pH SMP em Organossolos da Serra do Espinhaço Meridional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 32, n. 5, p. 2007-2013, out. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000500022>.

SILVA, E.B. Acidez Potencial estimada pelo método do pH SMP em solos da região do Vale do Jequitinhonha no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Diamantina, v. 30, n. 4, p. 752-757, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/HP7RVkLYCKfWLW7r7GySjMK/?lang=pt#>. Acesso em: 28 set. 2023.

SILVA, M.A et al. **Correção da acidez do solo.** Brasília: Embrapa, 2021 Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-irrigado-na-regiao-tropical/correcao-do-solo-e-adubacao/correcao-da-acidez-do-solo>. Acesso em: 30 jan. 2023.

SILVA, M.Z. **A Acidez Potencial do solo não é determinada a pH 7**. 2005. 47 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

Disponível em:

<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/10955/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 30 set. 2023.

TEIXEIRA, P.C. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 577 p.

TOLEDO, Jaderson dos Santos. Tampão Santa Maria (TSM) como Alternativa ao Tampão SMP para Medição da Acidez Potencial de Solos Ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 427-435, fev. 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/QmvMx39fxL99vYgcLLdwh7d/#>. Acesso em: 10 ago. 2023.