

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

CESAR KENT HOSHIBA KAWAVATA

**ESTUDOS DE CALIBRAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ POTENCIAL
E NECESSIDADE DE CALAGEM PELO MÉTODO pH SMP DE SOLOS DA
REGIÃO ORIENTAL DO PARAGUAI**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR

2018

CESAR KENT HOSHIBA KAWAVATA

**ESTUDOS DE CALIBRAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ POTENCIAL
E NECESSIDADE DE CALAGEM PELO MÉTODO pH SMP DE SOLOS DA
REGIÃO ORIENTAL DO PARAGUAI**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Dr. Maria do Carmo Lana

Linha de pesquisa: Produção vegetal

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR

2018

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Kawavata, Cesar Kent

Estudo de calibração para determinação da acidez potencial e necessidade de calagem pelo método pH SMP de solos da região oriental do Paraguai / Cesar Kent Kawavata; orientador(a), Maria do Carmo Lana, 2018.
45 f.

Dissertação (mestrado profissional), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.

1. H+Al. 2. Solução tampão. 3. Acidez do solo. 4. Necessidade de calcário. I. Lana, Maria do Carmo. II. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000
Marechal Cândido Rondon - PR.



CESAR KENT HOSHIBA KAWAVATA

Estudos de calibração para determinação da acidez potencial e necessidade de calagem pelo método pH SMP de solos da região oriental do Paraguai

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:


Orientador(a) - Maria do Carmo Lana

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)


André Vinicius Zabini

Agronomico Sociedad Anonima


Joaceni Fernando Frandoloso

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Marechal Cândido Rondon, 27 de fevereiro de 2018

À minha esposa, Rosana, pelo amor,
pelo optimismo e pelo apoio de sempre.
À minha família, pela compreensão e
pelo apoio nos momentos mais
importantes.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Campus de Marechal Cândido Rondon, e a todos seus professores, pela oportunidade de estudar, mesmo eu sendo estrangeiro.

À professora Dr^a Maria do Carmo Lana, pela orientação, preocupação, paciência e confiança no meu trabalho.

A minha família, esposa e filhos, pela confiança e por entenderem minha ausência, muitas vezes necessária.

Ao Dr. Andre Zabini, pela oportunidade de realizar esta especialização.

Às pessoas que sempre me ajudaram no andamento do meu trabalho, Dra. Aki Kubota, Alcides Portillo, Alodia Gonzalez, Angel Gonzalez, Arturo Horn, Audrei Barancelli, Claudia Fernandez, Cristhian Espínola, Diego Zanot, Eduardo Gris, Florentino Ayala, Gabriela Romero, Gelson Peters, Gilmar Fin, Gustavo Gimenez, Dr. Hector Causarano, Iris Miño, Javier Ortigoza, Jessica Coppo, Jose Dure, Jose Soria, Marcelo Ferrareis, Martin Cubilla, Pastor Kawamura e Ysrael Machado.

À Timac Agro Paraguay, pela oportunidade de realizar este estudo e por permitir que as análises fossem feitas em seu laboratório do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento R&D Sudamerica.

Aos professores Diego Fatecha e Edmar Vasconcelos, ao técnico Dr. Jucenei Frandoloso e ao Dr. Mario Miyazawa, pelo assessoramento.

A todos que, de alguma forma, me apoiaram durante o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

HOSHIBA, Cesar Kent. M.Sc. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2018. **Estudos de calibração para determinação da acidez potencial e necessidade de calagem pelo método pH SMP de solos da região oriental do Paraguai.** Orientadora: Dra. Maria do Carmo Lana.

A acidez potencial é importante para calcular a necessidade de calagem pelo método da saturação por bases. No entanto, a metodologia de acetato de cálcio a pH 7,0, utilizada na sua determinação, requer muito tempo, o que dificulta a rotina de análises. Trabalhos feitos por Shoemaker, MacLean e Prats demonstraram que o pH medido pela solução-tampão criada por eles, e que leva as siglas dos seus sobrenomes (pH SMP), tem boa correlação com a acidez potencial determinada por acetato de cálcio. No Paraguai, alguns laboratórios determinam a acidez potencial utilizando a metodologia de acetato de cálcio a pH 7,0, enquanto outros a estimam a partir do pH SMP, embora utilizem equações feitas no Brasil. Pela grande variabilidade de solos existente, é necessário realizar estudos regionalizados para uma adequada estimativa. Este estudo teve como objetivo obter uma curva de calibração para determinar a acidez potencial pelo método pH SMP de solos da região oriental do Paraguai, em duas profundidades de amostragem; e avaliar o método da incubação com doses crescentes de CaCO_3 em cinco solos de granulometrias diferentes e compará-lo com outros métodos de necessidade de calagem (NC). Foram amostrados solos com diferentes características químicas e físicas, em duas profundidades (0-10 e 0-20 cm), totalizando 202 amostras. As análises foram realizadas no laboratório do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento R&D Sudamerica, município de Minga Guazú, departamento de Alto Paraná, Paraguai. Constatou-se estreita correlação entre a acidez potencial medida com o acetato de cálcio a pH 7,0 e a acidez potencial estimada com o pH SMP, utilizando a equação $\text{H+Al (cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = 91,549 - 23,077\text{pH SMP} + 1,457\text{pH SMP}^2$ ($R^2 = 0,9581$). O cálculo da necessidade de calagem pelo método de Minas Gerais resultou em valores bem próximos dos obtidos com o método do índice SMP pela incubação com CaCO_3 para atingir pH H_2O 5,5, enquanto os outros métodos subestimam ou superestimam a NC, podendo resultar em quantidades acima ou abaixo da ideal.

Palavras-chave: H + Al. Solução-tampão. Acidez do solo. Necessidade de calcário.

ABSTRACT

HOSHIBA, Cesar Kent. M.Sc. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, in February 2018. **Calibration studies for determination of potential acidity and liming requirement by the SMP pH method in soils of the Eastern Region of Paraguay.** Advisor: Dr. Maria do Carmo Lana

Potential acidity is important to determine the liming requirement using the base saturation method. However, determination with calcium acetate at pH 7.0 is time consuming and hinders routine analyses. Shoemaker, MacLean, and Prats showed that the pH measured with the pH SMP buffer, which is an abbreviation of their surnames, has a good correlation with the potential acidity determined by calcium acetate. In Paraguay, a number of laboratories estimate potential acidity using calcium acetate at pH 7.0 method while others use the pH SMP buffer, even though with equations developed in Brazil. Because of the great variability of existing soils, regional studies are required for a suitable estimation. The objectives of this study were to create a calibration curve using the pH SMP buffer to determine the potential acidity of soils of the eastern region of Paraguay, at two sampling depths; to evaluate the method of incubation with increasing CaCO₃ rates in five soils with different granulometry; and to compare it with other methods of liming requirement (LR). Soils with different chemical and physical characteristics were sampled at two depths (0-10 and 0-20 cm), totaling 202 samples. The analyses were carried out in the laboratory of the Sudamerica Research and Development Center, municipality of Minga Guazú, department of Alto Paraná, Paraguay. A strong correlation was found between the potential acidity measured with calcium acetate at pH 7.0 and the potential acidity estimated with pH SMP buffer, using the equation $H+Al \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = 91.549 - 23.077\text{pH SMP} + 1.457 \text{pH SMP}^2$ ($R^2 = 0.9581$). The calculation of liming requirement using the Minas Gerais method resulted in values very close to those obtained with the SMP index by incubation with CaCO₃ to reach pH (H₂O) 5.5, whereas the other methods underestimate or overestimate LR, which may result in values above or below the ideal.

Key words: H + Al. Buffer solution. Soil acidity. Liming requirement.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO GERAL..... | 1 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 2 |
| 2.1 | Caracterizações da região oriental do Paraguai..... | 2 |
| 2.2 | Análises de solo..... | 3 |
| 2.3 | Avaliações da acidez potencial..... | 3 |
| 2.4 | A matéria orgânica do solo e o pH | 4 |
| 2.5 | Acidez e cálculo da necessidade de calagem..... | 5 |
| 3 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 6 |
| 4 | CAPÍTULO 1- AVALIAÇÃO DA ACIDEZ POTENCIAL PELO MÉTODO DO pH SMP EM SOLOS DA REGIÃO ORIENTAL DO PARAGUAI..... | 9 |
| | RESUMO..... | 9 |
| | ABSTRACT..... | 9 |
| 5 | INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 5.1 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 11 |
| 5.1.1 | Localização do experimento..... | 11 |
| 5.1.2 | Amostragem de solos..... | 11 |
| 5.1.3 | Atributos físicos e químicos dos solos amostrados..... | 11 |
| 5.2 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 18 |
| 5.3 | CONCLUSÕES..... | 26 |
| 5.4 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 27 |
| 6 | CAPÍTULO 2- NECESSIDADE DE CALAGEM EM SOLOS DA REGIÃO ORIENTAL DE PARAGUAI COM DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO | 30 |
| | RESUMO..... | 30 |
| | ABSTRACT..... | 30 |
| 7 | INTRODUÇÃO..... | 31 |
| 7.1 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 32 |
| 7.1.1 | Localização do experimento | 32 |
| 7.1.2 | Amostra de solos..... | 32 |
| 7.1.3 | Atributos físicos e químicos dos solos amostrados..... | 33 |
| 7.1.4 | Incubação..... | 34 |
| 7.1.5 | Necessidade de calagem (NC)..... | 34 |

| | | |
|-----------|----------------------------------|-----------|
| 7.1.6 | Delineamento Experimental..... | 36 |
| 7.2 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 36 |
| 7.3 | CONCLUSÕES..... | 40 |
| 7.4 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 40 |
| 8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 43 |
| 9 | APÊNDICE..... | 44 |
| 10 | ANEXO | 45 |

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Paraguai é constituído por duas regiões, a oriental e a ocidental ou Chaco. Na região oriental, dentre os vários setores de produção, destaca-se a agropecuária, que representa o sustento da sua economia, mediante a agricultura de grãos e a criação de gado.

A agricultura é baseada principalmente na cultura da soja, cultivada em sua maioria no sistema de plantio direto, em mais de 3,5 milhões de hectares. Ela contribui com uma alta porcentagem de produção em nível nacional, bem como internacional, o que coloca o país como o sexto maior produtor mundial de grãos. Em menor proporção, também são cultivados milho, trigo e outras culturas, mas com o emprego de tecnologias avançadas e utilização de insumos (CAPECO, 2015). Atualmente, tem ocorrido uma grande expansão em termos de área produzida, abrangendo inclusive solos degradados, com menor conteúdo de argila e matéria orgânica.

O Paraguai apresenta uma história agrícola recente, com carência de conhecimentos científicos referentes ao manejo da fertilidade do solo. Primeiramente, Fatecha (1998) criou a recomendação de fertilizantes para algumas culturas, com calibrações de N, P e K feitas no sistema convencional, e, posteriormente, Cubilla et al. (2012) realizaram um trabalho sobre a recomendação de fertilização para as principais culturas de grãos no sistema de plantio direto (SPD), mas ainda com escassa informação gerada, baseada somente nos macronutrientes primários (N-P-K), não possuindo nenhum estudo sobre os macronutrientes secundários (Ca-Mg-S) e os micronutrientes.

Os solos paraguaios apresentam baixa disponibilidade de nutrientes e alta acidez. No sistema de plantio direto, que prioriza a mínima mobilização do solo, os corretivos como o calcário são aplicados em superfície, o que dificulta a correção da acidez do solo em camadas inferiores a 0,10 m.

Este estudo teve como objetivo obter uma curva de calibração para determinar a acidez potencial pelo método pH SMP de solos da região oriental do Paraguai, em duas profundidades de amostragem; e avaliar o método da incubação com doses crescentes de CaCO_3 de cinco tipos de solos de granulometrias diferentes e compará-lo com outros métodos de necessidade de calagem.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterizações da região oriental do Paraguai

O Paraguai é dividido em duas regiões, a oriental e a ocidental (ou Chaco paraguaio). Na região oriental, com uma superfície de 159,827 km², quase um terço da superfície total do país (406.752 km²), é onde ocorre a maior atividade agropecuária. Essa região é dividida em 14 departamentos (estados) e é habitada por 98% da sua população total, da qual 36% dedica-se à atividade agrícola (FAO, 2000).

Pela qualidade de seus solos e pela drenagem, essa região é caracterizada por duas áreas distintas: pela encosta do rio Paraguai, que apresenta dificuldades de drenagem e solo pobre, dedicado principalmente ao gado, e também solos mais férteis e boa drenagem, dedicados à produção agropecuária; e pela encosta do rio Paraná, que possui relevo ondulado e solos basálticos e é a área agrícola mais importante do país, embora recentemente muito exposta à degradação de seu ecossistema. Apesar de não ser uma área muito extensa, tem grande variação de classe textural, com solos de textura arenosa (maior que 90% de areia) até solos muito argilosos (maior que 60% de argila), distribuídos pelo norte, centro e sul da região (LÓPEZ et al., 1995). A região oriental possui grande variabilidade de fertilidade do solo, dentre elas o pH H₂O, que varia de 3,5 a 8,5, embora 85% dos solos apresentem reação ácida (pH <7,0). As médias de necessidade de calagem consideradas em nível estadual variam de 1,45 a 2,57 t ha⁻¹. Dos 14 estados existentes na região oriental, aqueles com maior exigência são Caaguazú, Itapúa, Alto Paraná, Cordillera, Caazapá, Guairá e Canindeyú (FATECHA, 2004). Fatecha e Lopez (1998) também relataram que o processo de acidificação do solo no Paraguai é apresentado em áreas onde a precipitação média anual é maior do que a média da evapotranspiração anual, o que causa a lixiviação de bases do solo. Além disso, o uso de fertilizantes sem a observação dos critérios técnicos para recomendações e o escasso uso de calcário contribuem para acentuar esse processo.

A maioria dos solos agrícolas argilosos pertence às classes taxonômicas Ultisol, Alfisol e Oxisol, derivadas de rochas basálticas localizadas nos estados de Itapúa, Alto Paraná e em algumas partes de Canindeyú e Amambay. Os solos arenosos com culturas de grãos, principalmente Ultisol e Alfisol, estão localizados em San Pedro, Caaguazú e em algumas partes de Canindeyú, Misiones e Caazapá (CENTRAL NACIONAL DE COOPERATIVAS, 2015). Lopez et al. (1995) identificaram e classificaram os solos da região oriental em

7 ordens, 13 subordens, 28 grandes grupos e 58 subgrupos. Em linha geral, a região oriental é composta por Ultisol, com 34,8 % da superfície total; Alfisol, 30,2 %; Entisol, 16,3 %; Oxisol, 5,2 %; Inceptisol, 4,9 %; Vertisol, 1,3 %; Mollisol, 0,9 %; e outros, 6,4 %. As áreas agrícolas da região oriental do Paraguai estão localizadas em dois tipos de solos: solos arenosos e solos argilosos vindo do basalto. Os solos arenosos da região leste estão localizados principalmente nas zonas central e norte (ao longo do rio Paraguai). Os solos argilosos são principalmente Alfisol, Ultisol e Oxisol e estão localizados em uma faixa próximo à margem do rio Paraná (BRAGA, 2011).

2.2 Análises de solo

No Paraguai são utilizados dados de ensaios de calibrações feitas no Brasil (nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina). Essas calibrações são utilizadas porque o estado do Paraná (Brasil) apresenta características edafoclimáticas semelhantes às do estado do Alto Paraná (Paraguai). No entanto, há grande variação de tipos de solos, pois partindo para as zonas norte e nordeste do Paraguai são encontrados solos derivados de arenitos, diferentes dos solos do estado do Paraná (Brasil). Além disso, suas características edafoclimáticas são muito diferentes das encontradas nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

Na amostragem do solo para análise química são utilizados vários critérios para determinar a profundidade, sendo as mais comuns 0-10 e 0-20 cm. De acordo com Cubilla (2012), em solos onde se tem o sistema de plantio direto (SPD) consolidado (mais de cinco anos contínuos) a amostragem é realizada na camada de maior concentração de nutrientes (0-10 cm), e a 0-20 cm de profundidade, se o solo é revolvido ou o SPD está em fase de implantação.

2.3 Avaliações da acidez potencial

O método do acetato de cálcio é utilizado para medir a acidez potencial do solo, no entanto ele é considerado trabalhoso, pois o reagente sofre alterações rapidamente e precisa ser preparado todos os dias. Além disso, o acetato de cálcio disponível no mercado é de baixa qualidade, o que resulta em problemas operacionais, como a dificuldade de perceber o ponto de viragem na titulação quando são utilizados solos ricos em matéria orgânica, o levado custo de análise, além de ele requerer muito tempo no processo de análise (QUAGGIO et al., 1985;

RAIJ et al., 1987; PAVAN et al., 1996; ESCOSTEGY & BISSANI, 1999; SILVA et al., 2000; PEREIRA et al., 2006). Dada a necessidade de obter valores de acidez potencial de forma mais prática, rápida e econômica, Quaggio et al. (1985) propuseram estimá-los a partir de pH SMP.

O tampão SMP (proposto em 1961 pelos pesquisadores Shoemaker, MacLean e Pratt, portanto a sigla se refere aos seus respectivos sobrenomes), se comparado ao acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, pH 7,0, que é o método empregado na maioria dos laboratórios brasileiros para determinação da acidez potencial (SILVA et al., 2000), apresenta duas grandes vantagens: é de fácil execução em laboratório e está bem fundamentado teoricamente (RAIJ et al., 1979). Da mesma forma, segundo Sambatti et al. (2003), o método do pH SMP apresenta as vantagens de ser eficiente, ter baixo custo e ser rápido e muito simples operacionalmente. No Paraguai, alguns laboratórios usam o método de acetato de cálcio para determinação da acidez potencial, enquanto outros utilizam o pH SMP, embora para a estimativa de $\text{H}^+ + \text{Al}$ sejam utilizadas equações realizadas no Brasil, principalmente do Paraná (PAVAN et al., 1996) e do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (ECOSTEGUI & BISSANI, 1999), dependendo do lugar onde os laboratoristas fizeram suas respectivas especializações. Segundo Junior et al. (2015), a estimativa da acidez potencial pelo uso do pH SMP deve ser ajustada por região, buscando equações adequadas em razão das variações entre os tipos de solos.

2.4 A matéria orgânica do solo e o pH

A matéria orgânica influencia a dinâmica da fertilidade do solo, exercendo múltiplos efeitos sobre suas propriedades físicas, químicas e biológicas (MELLO & ARZOLLA, 1988). Ela é importante para a prevenção do processo de acidificação do solo e para sua correção (CENTRAL NACIONAL DE COOPERATIVAS, 2015), e também, pela capacidade de troca de cátions, promove a neutralização e remoção do alumínio. Poucos trabalhos são desenvolvidos para estimar a acidez potencial dos solos com elevado teor de matéria orgânica, apesar do potencial uso agrícola desses solos. De acordo com estudos realizados por Silva et al. (2008), a matéria orgânica foi o atributo químico que mais influenciou a acidez potencial dos solos avaliados. Segundo Navarro (2014), dos 219 distritos que compõem a região oriental do Paraguai, 46% têm baixo teor de matéria orgânica, 48% teor médio e 6% alto teor de matéria orgânica.

2.5 Acidez e cálculo da necessidade de calagem

A acidez do solo é um dos principais limitantes na agricultura tropical e subtropical. Ela pode ser classificada em duas categorias: a acidez ativa, causada pelos íons hidrogênio; e a acidez potencial, causada pela $Al + H$ (JORGE, 1969). São vários os métodos utilizados para determinar a necessidade de calagem: o da acidez trocável, em que o conteúdo de alumínio trocável é eliminado com base no nível tóxico; o do cálcio + magnésio trocável, utilizado quando o solo é ácido, mas possui acidez trocável e porcentagem de saturação de alumínio não tóxico, existindo também o método que considera eliminar o Al trocável e adicionar Ca + Mg (CQFSMG, 1999); o da saturação de bases, que é um dos métodos mais utilizados no Paraguai (FATECHA, 2004); o de incubação, que consiste em colocar quantidades de calcário no solo para neutralizar a acidez potencial, sendo o método menos utilizado, pelo tempo prolongado necessário para a incubação do calcário com o solo, que requer de 21 a 40 ou mais dias, e por não facilitar as análises de rotina; e o método do pH SMP.

Os valores médios de necessidade de calagem na região oriental variaram de 1,45 a 2,57 t ha⁻¹, sendo Caaguazú, Itapúa, Alto Paraná, Cordillera, Caazapá, Guairá e Canindeyú os departamentos com maior necessidade (FATECHA, 2004). Bataglia (2011) ressaltou que as médias da necessidade de calagem variaram de 0,79 a 2,01 t ha⁻¹, sendo Caazapá, Amambay, Paraguari, Misiones, Guairá e Cordillera os departamentos com maior necessidade de calagem; essa necessidade foi menor que a verificada por Fatecha (2004), assim como alguns departamentos foram incluídos e outros deixaram de fazer parte da listagem.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATAGLIA, V.D. **Clasificación de los niveles de acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay.** 2011. Tesis (Graduación en agronomía) – Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, 2011.

BRAGA, R.M. **Clasificación de niveles de potasio de los suelos de la región oriental del Paraguay.** 2011. 77 f, Te Tesis (Graduación en Agronomía)- Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, 2011.

Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação / Antônio Carlos Riveiro, Paulo Tacito Gontijo Guimaraes, Victor Hugo Alvarez v., editores. – Viçosa, MG, 1999. 359p.

CAPECO – **Cámara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas.** 2015. 17Disponível em: <www.capeco.org.py>. Acesso em 3 de junho de 2015.

CENTRAL NACIONAL DE COOPERATIVAS. **Practicas recomendadas para el buen manejo de suelos en la producción de granos.** Santa Rita: UNICOOP, 2015. 76 p.

CUBILLA, M.M. **Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girasol bajo el sistema de siembra directa en el Paraguay /** M. M. Cubilla A. /et al/. Asunción: CAPECO, 2012. 88 p.

ESCOSTEGUY, P.A. & BISSANI, C.A. Estimativa de H + Al pelo pH SMP em solos do estado do Rio Grande de Sul e de Santa Catarina. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:175-179, 1999.

FATECHA, A; LOPEZ, J. 1998. Uso de la cal agrícola en el Paraguay. Caacupé, Paraguay **Ministerio de Agricultura y Ganadería e Itaipú Binacional.** 27 p. (Boletín de Divulgación N° 38)

FATECHA, D. A. **Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay.** 2004. 109 f. Tesis (Graduación en Agronomía)- Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, 2004.

JORGE, J. Solo: Manejo y Adubação. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo. São Paulo, BR. 225p. JORGE, J. 1969. Solo: **Manejo y Adubação.** Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, BR. 225p.

JUNIOR, A.B.A.; NASCIMENTO C.W.A.; BARROS, F.M.R. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos do estado da Paraíba. **R. Bras. Ci. Solo**, 39:767-773, 2015.

LÓPEZ, G.; GONZÁLEZ, E.; DE LLAMAS G.; MOLINAS M.; FRANCO, S.; GRACÍA S.; RÍOS A.; 1995. República del Paraguay: **Mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental**. 1ª ed. Asunción: William & Heintz Map Corporation. Esc. 1.500.000. Color.

MELLO, F. DE & ARZOLLA, S. **Fertilidade de solos**. Libraria Piracicaba, São Paulo, 3ª ed. 1988.

NAVARRO, E.F.F. **Clasificación del nivel de materia orgánica de los suelos de la región oriental del Paraguay**. 2014. 75 f. Tesis (Graduación en Agronomía) - Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, 2014.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y AGRICULTURA – FAO. **Paraguay, Geografía y población**. Disponível em: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/Paraguay/indexesp.stm. Acesso em: 09 out. 2014.

PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L. & MIYAZAWA, M. Determinação indireta da acidez extraível do solo (H + Al) por potenciometria com a solução-tampão SMP. **Arq. Biol. Technol.**, 39:307-312, 1996.

PEREIRA, M.G.; BELING, A.G.; VALLADARES, G.S.; DOS ANJOS, L.H.C. & ESPÍNDULA JR., A. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos com elevado teor de matéria orgânica. **Bragantia**, 65:487-493, 2006.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B.V. & MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP - buffer solution to determine lime requirement of soils. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 16:245-260, 1985.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H. & ZULLO, M.A.T. O método tampão SMP para determinação da necessidade de calagem de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, 38:5-69, 1979.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.

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 em formação Caiuá – Noroeste do Estado do Paraná. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:257- 264, 2003.

SILVA, E.B.; SILVA, A.C.; GRAZZIOTTI, P.H.; FARNEZI, M.M.M.; FERREIRA, C.A.; COSTA, H.A.O; HORAK, I. Comparação de métodos para estimar a acidez potencial mediante determinação do pH SMP em organossolos da Serra do Espinhaço Meridional. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:2007-2013, 2008.

SILVA, C.A.; AVELLAR, M.L. & BERNANDI, A.C.C. Estimativa da acidez potencial pelo pH SMP em solos do semiárido do nordeste brasileiro. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:689-692, 2000.

4 CAPÍTULO 1- AVALIAÇÃO DA ACIDEZ POTENCIAL PELO MÉTODO DO pH SMP EM SOLOS DA REGIÃO ORIENTAL DO PARAGUAI

RESUMO

A avaliação da acidez potencial é influenciada pelas características do solo de cada região, portanto é necessário utilizar ensaios de calibração feita em cada uma delas. O presente estudo teve como objetivo estimar a acidez potencial pelo método do pH SMP em solos da região oriental do Paraguai, considerando a profundidade de amostragem entre 0-10 e 0-20 cm. As 202 amostras de solo (101 pontos de amostragem) foram analisadas no laboratório do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento R&D Sudamerica, para cada profundidade, representando a área agricultável da região oriental do Paraguai. Os valores de pH em água variaram de 4,41 a 7,49, os de carbono orgânico de 1,2 a 58,4 g dm⁻³ e os de argila de 7 a 752 g kg⁻¹. A acidez potencial foi determinada pelo método do pH SMP, utilizando a solução-tampão a pH 7,5, e pelo método de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0, e, posteriormente, pelas análises de regressão linear simples, para estabelecer uma equação para estimar a acidez potencial pelo método pH SMP. Os resultados demonstraram que existe estreita correlação entre elas e que a equação $H + Al \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = 91,549 - 23,077\text{pH SMP} + 1,457\text{pH SMP}^2$ ($R^2 = 0,9581^{**}$) pode ser utilizada para estimar a $H + Al \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3})$ pelo uso do pH SMP. O uso das amostragens de 0-10 e 0-20 cm de profundidade é justificado se forem considerados os teores de matéria orgânica (carbono orgânico) do solo. No entanto, não há diferença significativa ao considerar os teores de alumínio trocável, argila, pH SMP e $H + Al$ do solo, o que demonstra que a acidez potencial do solo pode ser avaliada em qualquer profundidade.

Palavras-chave: pH do solo. Solução-tampão. Acidez do solo. Amostragem.

ABSTRACT

Evaluation of the potential acidity is influenced by the soil characteristics of each region, therefore calibration tests are required for each of them. The present study aimed to estimate the potential acidity by the pH SMP method in soils of the eastern region of Paraguay, at sampling depths 0-10 cm and 0-20 cm. A total of 202 soil samples (101 sampling points; 02 depths) were analyzed in the laboratory of the Sudamerica Research and Development Center, representative of the agricultural area of Eastern Paraguay. The pH values in water varied from 4.41 to 7.49, organic carbon from 1.2 to 58.4 g dm⁻³, and clay from 7 to 752 g kg⁻¹. The potential acidity was determined by the pH SMP method, using the buffer solution at pH 7.5 and by calcium acetate method 0.5 mol l⁻¹ at pH 7.0. The linear regression analysis was used to establish an equation for potential acidity estimation using the pH SMP method. The results showed that there is a strong correlation between them and that the equation $H+Al \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = 91.549 - 23.077\text{pH SMP} + 1.457\text{pH SMP}^2$ ($R^2 = 0.9581^{**}$) can be used to estimate $H+Al \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3})$ by the pH SMP method. Sampling at 0-10 and 0-20 cm depths is justified when considering the soil organic matter (organic carbon). However, no significant difference was found when levels of exchangeable aluminum, clay, pH SMP, and $H+Al$ of the soil were

taken into account, which shows that the potential acidity of the soil can be evaluated at any depth.

Key words: Soil pH. Buffer solution. Soil acidity. Sampling.

5 INTRODUÇÃO

Naturalmente, os solos podem ser ácidos de acordo com seu material de origem, ou pela remoção de suas bases substituídas pelos íons H^+ e Al^{3+} no complexo de troca, especialmente em regiões tropicais úmidas. A substituição é dada principalmente pela percolação da água, resultando na lixiviação das bases trocáveis, condição que é encontrada na região oriental do Paraguai, onde a precipitação é maior que a evapotranspiração por períodos longos (GOTO, 2003). A acidificação também pode ser causada pelo uso de certos sais como fertilizantes ou de caráter ácido, bem como pelos cultivos pela absorção dos cátions básicos (LOPES, 1990; RAIJ, 1991). A acidez do solo pode afetar as culturas de várias formas, por exemplo, pela diminuição da disponibilidade dos nutrientes do solo e pela toxicidade de certos metais, por sua elevada concentração (alumínio, manganês e outros). Nolla & Anghinoni (2004) ressaltaram que a acidez do solo pode ser controlada ao aplicar substâncias que liberam hidroxilas (OH^-), sendo o calcário o material mais utilizado. No Paraguai o calcário é geralmente utilizado para correção do solo, e pelo baixo nível de magnésio a demanda pelo calcário dolomítico é grande.

A necessidade de calagem é determinada mediante a incubação com doses crescentes de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) para elevar a um determinado pH do solo, o que, no entanto, dificulta sua aplicação em nível de laboratório de rotina, pelo tempo e pela onerosidade no processo. Segundo Vettori (1969), o valor de $H + Al$ determinado pelo método de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,0 é confiável apenas para solos que possuem valores menores que $10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Para estimação da acidez potencial ($H + Al$), em substituição ao método de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,0, o método do pH SMP tem sido amplamente utilizado, por ter boa correlação com a acidez potencial medida e pela sua praticidade analítica. Em alguns laboratórios do Paraguai a acidez potencial é medida pelo método de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,0, enquanto em outros ela é estimada utilizando-se curvas de calibrações feitas no Brasil, principalmente do Paraná ($\ln(H + Al) = 6,0687 - 0,744 \text{ pH SMP}$), por Pavan (1996), e do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina ($\ln(H + Al) = 6,68 - 0,9004 \text{ pH SMP}$), por Escosteguy et al. (1999), influenciados por profissionais

ou por professores, pois a maioria dos pesquisadores paraguaios fez especializações nesses dois estados.

5.1 MATERIAL E MÉTODOS

5.1.1 Localização do Experimento

O experimento foi conduzido no laboratório do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento R&D Sudamerica, Ruta 7, km 20 Monday, Minga Guazú, Alto Paraná, Paraguai.

5.1.2 Amostragem de solos

No decorrer de 2015 e 2016, foram amostrados solos de 101 locais diferentes de áreas de cultivo da região oriental do Paraguai (Apêndice 01), sendo considerados somente os locais onde a calagem não tinha sido praticada recentemente. Para cada local, foi coletada uma amostra de solo da camada de 0-10 cm e outra amostra da camada de 0-20 cm de profundidade, obtidas a partir de amostras simples, sem considerar o sistema de plantio (sistema de plantio direto, SPD, ou sistema de plantio convencional, SPC). Uma pá de corte foi utilizada, para ter uma quantidade final de 5 kg de TFSA (terra fina seca ao ar).

5.1.3 Atributos físicos e químicos dos solos amostrados

As amostras secas em estufa a 50°C foram moídas em moinho de martelo e peneiradas em malha de 2 mm de abertura. Nas amostras foram analisados o pH (água, CaCl₂ e SMP), a H + Al, o Ca²⁺, o Mg²⁺ e o Al³⁺ trocável, o K disponível e a MO, conforme Lana et al. (2016). O pH em água foi medido por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo: água (1:2,5), que foi agitada por 15 minutos a 250 rpm e deixada em repouso por 30 minutos, sendo a leitura feita em potenciômetro previamente calibrado em solução-padrão pH 4,0 e 7,0. O pH em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ foi medido utilizando 10 cm³ de TFSA e 25 ml de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, sendo a amostra agitada por 15 minutos a 250 rpm, deixada em repouso por 30 minutos e a leitura feita em potenciômetro previamente calibrado com as soluções-padrão. O pH SMP foi medido por meio de eletrodo combinado, utilizando a suspensão em que foi determinado o pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, adicionando 5,0 ml de solução-tampão SMP, sendo a amostra agitada por 20 minutos a 250 rpm, deixada em repouso por uma noite, agitada por mais 10 minutos e ficando em repouso por 30 minutos, sendo a leitura feita em potenciômetro previamente calibrado com as soluções-tampão a pH 7,0 e 4,0. A H+Al foi estimada pelo pH SMP, utilizando a equação de Pavan (1996). O cálcio e o magnésio

trocáveis foram medidos por absorvância em espectrofotômetro de absorção atômica devidamente calibrado, extraídos com 50 ml de solução de KCl 1 mol L⁻¹, utilizando 5 cm³ de TFSA, sendo a amostra agitada por 15 minutos, deixada em repouso por uma noite e diluída em cloreto de lantânio para prevenir interferências ocasionadas pela presença de fosfatos, evitando, assim, a formação de compostos estáveis com Ca e Mg. Do mesmo extrato para determinação do Ca e Mg pelo método KCl 1 mol L⁻¹ foi determinado o alumínio trocável, mediante a titulação com NaOH 0,015 mol L⁻¹. O potássio disponível foi extraído pela solução Mehlich-1, utilizando 5 cm³ de TFSA e 50 ml da solução Mehlich-1, sendo a amostra agitada por 5 minutos e decantada durante uma noite, e a leitura foi feita por espectrofotômetro de absorção atômica previamente calibrado. A matéria orgânica foi determinada pela oxidação da matéria orgânica mediante a titulação de 1 cm³ de TFSA com 10 ml da solução de K₂Cr₂O₇ 1 mol L⁻¹ e 10 ml de H₂SO₄ concentrado, esfriada por 30 minutos e titulada com FeSO₂ 1 mol L⁻¹. A acidez potencial foi determinada com acetato de cálcio a pH 7,0. A determinação da granulometria foi feita com o método de densímetro, conforme Camargo et al. (1986). Foram pesados 20 g de TFSA, agitados por uma noite com 100 ml com a solução dispersante de hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio, mediante agitador rotatório a 30 rpm, sendo a leitura da argila feita seis horas após a diluição e agitada em 500 ml de água destilada. Os atributos químicos e o teor de argila das amostras utilizadas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos das amostras de solo utilizadas no experimento

| Local | Prof. cm | H+Al | Ca | Mg | K | Al | MO | pH | | | Argila |
|-------|-------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|------------------|-----|--------|
| | | Acet. Calc. | | | | | | CaCl ₂ | H ₂ O | SMP | |
| | | cmol _c dm ⁻³ | | | | | % | | | | % |
| 1 | 0-10 | 0,7 | 1,9 | 0,6 | 0,1 | 0,0 | 1,1 | 5,9 | 6,5 | 7,1 | 3,2 |
| | 0-20 | 2,5 | 1,8 | 0,4 | 0,1 | 0,0 | 2,1 | 5,1 | 6,1 | 6,8 | 3,2 |
| 2 | 0-10 | 2,5 | 2,8 | 0,6 | 0,1 | 0,0 | 2,0 | 5,2 | 5,8 | 6,8 | 10,7 |
| | 0-20 | 2,6 | 2,5 | 0,5 | 0,1 | 0,0 | 1,8 | 5,1 | 5,7 | 6,7 | 10,7 |
| 3 | 0-10 | 2,4 | 2,1 | 0,7 | 0,1 | 0,0 | 1,7 | 5,2 | 5,9 | 6,8 | 5,7 |
| | 0-20 | 1,4 | 1,9 | 0,6 | 0,1 | 0,0 | 1,3 | 5,2 | 6,0 | 7,0 | 3,2 |
| 4 | 0-10 | 1,4 | 2,8 | 0,8 | 0,1 | 0,0 | 1,9 | 5,8 | 6,4 | 7,1 | 3,2 |
| | 0-20 | 2,5 | 1,9 | 0,5 | 0,1 | 0,0 | 1,4 | 4,6 | 5,5 | 6,8 | 3,2 |
| 5 | 0-10 | 0,9 | 3,7 | 1,5 | 0,2 | 0,0 | 3,0 | 6,3 | 6,7 | 7,2 | 0,7 |
| | 0-20 | 1,4 | 2,6 | 0,8 | 0,1 | 0,0 | 2,1 | 5,8 | 6,3 | 7,0 | 0,7 |
| 6 | 0-10 | 2,0 | 2,1 | 0,7 | 0,3 | 0,0 | 2,0 | 5,3 | 6,1 | 7,0 | 3,2 |
| | 0-20 | 2,0 | 1,6 | 0,6 | 0,2 | 0,0 | 1,5 | 5,0 | 5,9 | 6,9 | 3,2 |
| 7 | 0-10 | 3,3 | 1,4 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 1,7 | 4,3 | 5,0 | 6,5 | 5,7 |
| | 0-20 | 3,3 | 1,5 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 1,5 | 4,4 | 5,2 | 6,5 | 3,2 |
| 8 | 0-10 | 5,8 | 5,2 | 1,7 | 0,2 | 0,1 | 4,0 | 4,8 | 5,4 | 6,0 | 33,2 |
| | 0-20 | 6,4 | 5,0 | 1,4 | 0,2 | 0,2 | 3,6 | 4,7 | 5,4 | 5,9 | 35,7 |
| 9 | 0-10 | 4,8 | 6,1 | 2,3 | 0,2 | 0,0 | 3,6 | 5,3 | 6,1 | 6,3 | 50,7 |
| | 0-20 | 4,3 | 6,0 | 2,2 | 0,1 | 0,1 | 3,5 | 5,0 | 5,7 | 6,3 | 50,7 |
| 10 | 0-10 | 4,7 | 6,3 | 1,7 | 0,3 | 0,1 | 4,3 | 5,1 | 5,6 | 6,3 | 40,7 |
| | 0-20 | 7,8 | 2,4 | 0,8 | 0,1 | 1,6 | 3,2 | 4,3 | 4,8 | 5,5 | 45,7 |
| 11 | 0-10 | 2,1 | 3,3 | 0,8 | 0,4 | 0,0 | 2,1 | 5,5 | 6,3 | 7,0 | 5,7 |
| | 0-20 | 0,7 | 3,8 | 0,9 | 0,2 | 0,0 | 2,1 | 6,3 | 7,2 | 7,3 | 3,2 |
| 12 | 0-10 | 1,8 | 2,3 | 0,6 | 0,3 | 0,0 | 1,6 | 5,2 | 5,9 | 6,9 | 0,7 |
| | 0-20 | 2,4 | 1,5 | 0,5 | 0,1 | 0,0 | 1,7 | 4,9 | 5,7 | 6,8 | 0,7 |
| 13 | 0-10 | 2,9 | 4,5 | 1,4 | 1,2 | 0,0 | 3,8 | 5,3 | 6,0 | 6,5 | 3,2 |
| | 0-20 | 2,4 | 3,5 | 1,1 | 0,2 | 0,0 | 2,5 | 5,1 | 5,7 | 6,8 | 0,7 |
| 14 | 0-10 | 2,0 | 2,8 | 0,7 | 0,1 | 0,0 | 2,4 | 5,1 | 6,1 | 6,7 | 5,7 |
| | 0-20 | 1,9 | 2,0 | 0,7 | 0,3 | 0,0 | 1,5 | 5,1 | 5,8 | 6,9 | 0,7 |
| 15 | 0-10 | 3,1 | 2,5 | 0,7 | 0,2 | 0,0 | 2,4 | 4,8 | 5,5 | 6,5 | 8,2 |
| | 0-20 | 3,1 | 2,3 | 0,6 | 0,2 | 0,1 | 2,1 | 4,6 | 5,4 | 6,4 | 5,7 |
| 16 | 0-10 | 2,9 | 2,7 | 0,7 | 0,2 | 0,0 | 2,3 | 5,1 | 5,8 | 6,7 | 5,7 |
| | 0-20 | 1,9 | 2,0 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | 1,6 | 5,0 | 5,9 | 6,9 | 3,2 |
| 17 | 0-10 | 1,2 | 4,4 | 1,8 | 0,5 | 0,0 | 3,0 | 5,9 | 6,5 | 7,1 | 0,7 |
| | 0-20 | 0,9 | 3,7 | 1,5 | 0,6 | 0,0 | 2,6 | 5,9 | 6,6 | 7,1 | 0,7 |
| 18 | 0-10 | 3,1 | 2,1 | 0,4 | 0,2 | 0,0 | 1,9 | 4,6 | 5,5 | 6,5 | 3,2 |
| | 0-20 | 3,3 | 2,2 | 0,4 | 0,1 | 0,0 | 2,2 | 4,5 | 5,2 | 6,7 | 3,2 |

continua

Continuação...

| Local | Prof. cm | H+Al Acet. Calc. | Ca | Mg | K | Al | MO | pH | | | Argila |
|-------|-------------|------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------|------------------|-----|--------|
| | | | | | | | | CaCl ₂ | H ₂ O | SMP | |
| | | | cmol _c dm ⁻³ | | | % | | | % | | |
| 19 | 0-10 | 1,6 | 1,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 1,1 | 4,6 | 5,3 | 6,9 | 0,7 |
| | 0-20 | 1,4 | 1,2 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 1,1 | 4,7 | 5,4 | 6,9 | 0,7 |
| 20 | 0-10 | 2,4 | 1,6 | 1,0 | 0,2 | 0,0 | 1,4 | 5,1 | 6,0 | 6,7 | 9,3 |
| | 0-20 | 2,4 | 1,5 | 1,0 | 0,1 | 0,0 | 1,3 | 4,9 | 5,8 | 6,6 | 9,3 |
| 21 | 0-10 | 8,1 | 1,5 | 0,5 | 0,1 | 1,7 | 3,4 | 4,0 | 5,0 | 5,7 | 29,3 |
| | 0-20 | 7,4 | 1,1 | 0,3 | 0,1 | 2,0 | 2,2 | 4,0 | 5,1 | 5,6 | 29,3 |
| 22 | 0-10 | 5,3 | 2,3 | 0,5 | 0,1 | 0,4 | 2,4 | 4,3 | 5,4 | 6,4 | 16,8 |
| | 0-20 | 4,4 | 2,2 | 0,4 | 0,1 | 0,5 | 1,9 | 4,3 | 5,3 | 6,2 | 19,3 |
| 23 | 0-10 | 4,5 | 1,0 | 0,4 | 0,1 | 0,5 | 1,7 | 4,3 | 5,5 | 6,2 | 11,8 |
| | 0-20 | 4,3 | 0,8 | 0,4 | 0,1 | 0,7 | 1,5 | 4,2 | 5,3 | 6,2 | 11,8 |
| 24 | 0-10 | 3,7 | 2,2 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 2,1 | 4,4 | 5,5 | 6,4 | 9,3 |
| | 0-20 | 2,2 | 2,3 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 1,5 | 4,8 | 6,0 | 6,7 | 9,3 |
| 25 | 0-10 | 4,2 | 3,1 | 0,6 | 0,3 | 0,2 | 2,4 | 4,6 | 6,0 | 6,3 | 21,8 |
| | 0-20 | 3,6 | 2,7 | 0,5 | 0,3 | 0,1 | 1,9 | 4,6 | 6,1 | 6,3 | 19,3 |
| 26 | 0-10 | 5,3 | 0,8 | 0,2 | 0,1 | 0,9 | 1,9 | 3,9 | 5,3 | 6,0 | 14,3 |
| | 0-20 | 5,1 | 0,6 | 0,2 | 0,1 | 1,1 | 1,3 | 3,9 | 5,2 | 6,0 | 11,8 |
| 27 | 0-10 | 6,6 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 1,7 | 2,0 | 3,9 | 4,9 | 5,8 | 16,8 |
| | 0-20 | 5,8 | 0,3 | 0,1 | 0,0 | 1,9 | 1,7 | 3,9 | 4,9 | 5,8 | 19,3 |
| 28 | 0-10 | 4,8 | 2,5 | 0,7 | 0,1 | 0,3 | 3,0 | 4,5 | 5,8 | 6,1 | 24,3 |
| | 0-20 | 3,9 | 2,8 | 0,9 | 0,0 | 0,1 | 2,4 | 4,8 | 6,0 | 6,3 | 21,8 |
| 29 | 0-10 | 4,3 | 2,4 | 0,9 | 0,1 | 0,1 | 2,3 | 4,7 | 5,9 | 6,4 | 9,3 |
| | 0-20 | 3,2 | 2,1 | 0,8 | 0,1 | 0,1 | 2,2 | 4,8 | 5,8 | 6,6 | 6,8 |
| 30 | 0-10 | 5,4 | 2,5 | 1,1 | 0,1 | 1,1 | 0,8 | 4,3 | 5,4 | 5,9 | 51,8 |
| | 0-20 | 3,7 | 7,1 | 2,9 | 0,8 | 0,0 | 3,4 | 5,7 | 6,3 | 6,4 | 51,8 |
| 31 | 0-10 | 4,4 | 3,5 | 1,2 | 0,3 | 0,4 | 1,1 | 4,4 | 5,4 | 6,2 | 56,8 |
| | 0-20 | 4,3 | 4,1 | 1,3 | 0,2 | 0,0 | 3,1 | 4,8 | 5,9 | 6,4 | 24,3 |
| 32 | 0-10 | 6,1 | 3,4 | 1,4 | 0,2 | 0,6 | 1,7 | 4,4 | 5,3 | 5,9 | 59,3 |
| | 0-20 | 4,7 | 4,2 | 1,3 | 0,3 | 0,1 | 1,9 | 4,5 | 5,6 | 6,2 | 59,3 |
| 33 | 0-10 | 8,2 | 3,1 | 0,8 | 0,5 | 1,0 | 3,2 | 4,2 | 5,3 | 5,7 | 59,3 |
| | 0-20 | 8,0 | 2,3 | 0,6 | 0,3 | 1,6 | 2,1 | 4,1 | 5,0 | 5,5 | 61,8 |
| 34 | 0-10 | 3,3 | 3,5 | 1,0 | 0,1 | 0,0 | 2,6 | 5,1 | 5,9 | 6,5 | 15,8 |
| | 0-20 | 3,4 | 2,9 | 0,7 | 0,1 | 0,1 | 2,1 | 4,7 | 5,5 | 6,4 | 13,3 |
| 35 | 0-10 | 4,4 | 3,2 | 1,1 | 0,1 | 0,0 | 2,4 | 4,8 | 5,5 | 6,3 | 15,8 |
| | 0-20 | 6,2 | 1,9 | 0,6 | 0,0 | 0,9 | 2,2 | 4,1 | 4,8 | 5,9 | 18,3 |
| 36 | 0-10 | 7,1 | 0,6 | 0,2 | 0,1 | 1,8 | 2,2 | 3,9 | 4,6 | 5,6 | 10,8 |
| | 0-20 | 7,0 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | 1,8 | 2,3 | 3,9 | 4,5 | 5,7 | 15,8 |

continua

Continuação...

| Local | Prof. cm | H+Al Acet. Calc. | Ca | Mg | K | Al | MO | pH | | | Argila |
|-------|-------------|------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|------|-------------------|------------------|-----|--------|
| | | | | | | | | CaCl ₂ | H ₂ O | SMP | |
| | | | cmol _c dm ⁻³ | | | | % | | | | % |
| 37 | 0-10 | 6,8 | 2,6 | 0,5 | 0,1 | 0,9 | 3,4 | 4,3 | 5,0 | 5,8 | 13,3 |
| | 0-20 | 6,9 | 2,3 | 0,5 | 0,1 | 1,1 | 3,2 | 4,3 | 5,1 | 5,8 | 15,8 |
| 38 | 0-10 | 2,9 | 8,1 | 3,2 | 1,2 | 0,1 | 4,5 | 5,8 | 6,6 | 6,7 | 48,3 |
| | 0-20 | 4,3 | 5,4 | 2,1 | 0,9 | 0,0 | 3,5 | 5,3 | 6,0 | 6,3 | 63,3 |
| 39 | 0-10 | 7,3 | 4,1 | 2,6 | 0,2 | 0,2 | 4,4 | 4,7 | 5,5 | 5,7 | 48,3 |
| | 0-20 | 8,3 | 1,7 | 1,2 | 0,2 | 1,2 | 3,2 | 4,2 | 5,0 | 5,6 | 45,8 |
| 40 | 0-10 | 13,3 | 0,7 | 0,3 | 0,4 | 4,5 | 3,3 | 3,9 | 4,5 | 4,9 | 75,2 |
| | 0-20 | 13,4 | 0,4 | 0,1 | 0,2 | 4,7 | 2,8 | 3,8 | 4,4 | 4,8 | 75,2 |
| 41 | 0-10 | 7,2 | 5,5 | 1,6 | 0,1 | 0,4 | 4,0 | 4,5 | 5,3 | 5,7 | 67,7 |
| | 0-20 | 7,6 | 4,1 | 1,2 | 0,1 | 0,8 | 3,5 | 4,5 | 5,3 | 5,6 | 70,2 |
| 42 | 0-10 | 3,6 | 6,8 | 1,6 | 0,7 | 0,1 | 3,2 | 5,6 | 6,2 | 6,5 | 62,7 |
| | 0-20 | 4,2 | 6,8 | 1,5 | 0,6 | 0,0 | 3,4 | 5,2 | 6,0 | 6,3 | 65,2 |
| 43 | 0-10 | 5,2 | 7,2 | 1,7 | 0,3 | 0,0 | 4,8 | 5,0 | 5,6 | 6,1 | 57,7 |
| | 0-20 | 7,9 | 5,9 | 1,6 | 0,2 | 0,2 | 3,7 | 4,7 | 5,4 | 5,7 | 70,2 |
| 44 | 0-10 | 5,7 | 6,4 | 2,3 | 0,5 | 0,1 | 3,7 | 5,2 | 5,7 | 6,0 | 70,2 |
| | 0-20 | 6,9 | 5,0 | 1,7 | 0,3 | 0,3 | 3,6 | 4,7 | 5,4 | 5,8 | 70,2 |
| 45 | 0-10 | 3,9 | 7,0 | 2,3 | 0,4 | 0,1 | 3,6 | 5,5 | 6,0 | 6,4 | 57,7 |
| | 0-20 | 4,9 | 5,6 | 1,8 | 0,4 | 0,0 | 3,4 | 5,0 | 5,6 | 6,2 | 67,7 |
| 46 | 0-10 | 9,2 | 5,5 | 0,9 | 0,1 | 0,4 | 5,0 | 4,4 | 5,1 | 5,6 | 57,7 |
| | 0-20 | 10,7 | 4,1 | 0,6 | 0,1 | 1,1 | 4,4 | 4,3 | 5,1 | 5,3 | 62,7 |
| 47 | 0-10 | 9,1 | 4,3 | 0,9 | 0,2 | 0,7 | 3,7 | 4,4 | 5,2 | 5,5 | 65,2 |
| | 0-20 | 10,0 | 2,6 | 0,6 | 0,1 | 1,5 | 3,9 | 4,2 | 4,9 | 5,3 | 65,2 |
| 48 | 0-10 | 8,0 | 5,1 | 1,3 | 0,2 | 0,3 | 4,1 | 4,6 | 5,3 | 5,8 | 70,2 |
| | 0-20 | 8,2 | 4,8 | 1,2 | 0,1 | 0,8 | 3,4 | 4,4 | 5,1 | 5,5 | 62,7 |
| 49 | 0-10 | 8,5 | 4,6 | 1,3 | 0,2 | 0,7 | 3,4 | 4,5 | 5,1 | 5,6 | 72,7 |
| | 0-20 | 8,5 | 3,4 | 1,0 | 0,1 | 1,3 | 2,8 | 4,2 | 4,9 | 5,5 | 67,7 |
| 50 | 0-10 | 14,6 | 4,1 | 0,4 | 0,0 | 1,0 | 10,1 | 4,5 | 5,0 | 5,2 | 20,2 |
| | 0-20 | 13,9 | 4,0 | 0,3 | 0,0 | 0,9 | 9,4 | 4,5 | 5,1 | 5,3 | 20,2 |
| 51 | 0-10 | 3,1 | 8,2 | 2,1 | 1,0 | 0,1 | 4,4 | 5,8 | 6,2 | 6,5 | 57,7 |
| | 0-20 | 3,4 | 6,8 | 1,8 | 0,7 | 0,0 | 2,9 | 5,5 | 6,1 | 6,4 | 55,2 |
| 52 | 0-10 | 4,6 | 7,0 | 2,2 | 0,6 | 0,0 | 4,4 | 5,3 | 6,0 | 6,3 | 62,7 |
| | 0-20 | 4,8 | 5,5 | 1,6 | 0,4 | 0,1 | 3,0 | 4,9 | 5,6 | 6,2 | 60,2 |
| 53 | 0-10 | 3,5 | 7,5 | 2,6 | 0,8 | 0,0 | 3,6 | 5,7 | 6,3 | 6,5 | 62,7 |
| | 0-20 | 3,6 | 6,9 | 2,2 | 0,7 | 0,1 | 2,5 | 5,4 | 6,2 | 6,4 | 65,2 |
| 54 | 0-10 | 3,6 | 9,1 | 2,5 | 0,8 | 0,0 | 3,6 | 5,8 | 6,4 | 6,4 | 45,2 |
| | 0-20 | 3,0 | 8,2 | 1,7 | 0,5 | 0,0 | 2,5 | 5,5 | 6,3 | 6,5 | 55,2 |

continua

Continuação...

| Local | Prof. cm | H+Al Acet. Calc. | Ca | Mg | K | Al | MO | pH | | | Argila |
|-------|-------------|------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------|------------------|-----|--------|
| | | | | | | | | CaCl ₂ | H ₂ O | SMP | |
| | | | cmol _c dm ⁻³ | | | % | | | % | | |
| 55 | 0-10 | 6,8 | 5,2 | 1,7 | 0,9 | 0,3 | 3,0 | 4,7 | 5,4 | 5,8 | 70,2 |
| | 0-20 | 7,0 | 3,3 | 1,1 | 0,6 | 0,9 | 2,4 | 4,4 | 4,9 | 5,7 | 75,2 |
| 56 | 0-10 | 7,1 | 5,4 | 2,0 | 0,4 | 0,2 | 4,0 | 4,8 | 5,4 | 5,8 | 65,2 |
| | 0-20 | 8,0 | 3,5 | 1,2 | 0,2 | 0,9 | 2,9 | 4,4 | 5,1 | 5,5 | 70,2 |
| 57 | 0-10 | 5,6 | 6,0 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 3,8 | 5,1 | 5,7 | 6,1 | 67,7 |
| | 0-20 | 6,3 | 3,8 | 1,6 | 0,1 | 0,4 | 2,4 | 4,6 | 5,2 | 5,8 | 65,2 |
| 58 | 0-10 | 4,9 | 5,1 | 2,2 | 0,5 | 0,0 | 3,6 | 5,3 | 5,8 | 6,1 | 65,2 |
| | 0-20 | 6,8 | 3,4 | 1,5 | 0,4 | 0,7 | 3,0 | 4,4 | 5,3 | 5,7 | 70,2 |
| 59 | 0-10 | 6,0 | 4,8 | 1,6 | 0,1 | 0,1 | 3,7 | 4,9 | 5,6 | 5,9 | 55,2 |
| | 0-20 | 5,9 | 4,5 | 1,1 | 0,1 | 0,3 | 3,0 | 4,6 | 5,2 | 5,9 | 52,7 |
| 60 | 0-10 | 7,5 | 2,4 | 0,9 | 0,3 | 0,9 | 3,2 | 4,4 | 5,0 | 5,7 | 60,2 |
| | 0-20 | 7,7 | 1,6 | 0,7 | 0,2 | 1,5 | 3,0 | 4,2 | 4,8 | 5,6 | 60,2 |
| 61 | 0-10 | 7,5 | 4,5 | 1,4 | 0,5 | 0,3 | 3,8 | 4,5 | 5,3 | 5,7 | 62,9 |
| | 0-20 | 6,5 | 4,9 | 1,5 | 0,4 | 0,2 | 3,9 | 4,6 | 5,2 | 5,8 | 67,9 |
| 62 | 0-10 | 5,9 | 3,7 | 1,4 | 0,1 | 0,5 | 3,4 | 4,5 | 5,4 | 6,0 | 52,9 |
| | 0-20 | 6,0 | 3,1 | 1,5 | 0,1 | 0,6 | 2,7 | 4,4 | 5,4 | 5,9 | 52,9 |
| 63 | 0-10 | 4,9 | 7,5 | 1,8 | 0,7 | 0,2 | 4,0 | 5,2 | 6,0 | 6,2 | 57,9 |
| | 0-20 | 5,0 | 7,4 | 1,4 | 0,6 | 0,1 | 3,4 | 4,7 | 5,6 | 6,0 | 60,4 |
| 64 | 0-10 | 8,0 | 2,8 | 1,0 | 0,2 | 1,1 | 3,1 | 4,2 | 5,0 | 5,5 | 67,9 |
| | 0-20 | 7,9 | 2,5 | 0,8 | 0,1 | 1,4 | 2,9 | 4,0 | 4,9 | 5,6 | 70,4 |
| 65 | 0-10 | 8,7 | 2,6 | 0,7 | 0,1 | 2,4 | 2,8 | 3,9 | 4,8 | 5,4 | 55,4 |
| | 0-20 | 9,9 | 2,7 | 0,7 | 0,2 | 2,0 | 2,4 | 3,9 | 4,7 | 5,3 | 47,9 |
| 66 | 0-10 | 4,3 | 6,5 | 1,6 | 0,6 | 0,2 | 3,0 | 4,9 | 5,9 | 6,2 | 40,4 |
| | 0-20 | 4,7 | 6,8 | 1,4 | 0,5 | 0,2 | 3,0 | 4,7 | 5,7 | 6,1 | 45,4 |
| 67 | 0-10 | 3,9 | 9,6 | 2,4 | 0,7 | 0,2 | 3,1 | 5,5 | 6,4 | 6,4 | 50,4 |
| | 0-20 | 3,9 | 9,5 | 2,1 | 0,3 | 0,2 | 4,1 | 5,4 | 6,4 | 6,4 | 55,4 |
| 68 | 0-10 | 6,1 | 8,5 | 1,7 | 0,7 | 0,0 | 3,5 | 4,5 | 5,5 | 6,0 | 55,2 |
| | 0-20 | 4,5 | 9,1 | 1,6 | 0,6 | 0,0 | 3,6 | 4,6 | 5,6 | 6,2 | 57,7 |
| 69 | 0-10 | 9,7 | 2,8 | 0,9 | 0,4 | 1,6 | 3,2 | 3,5 | 4,5 | 5,4 | 55,2 |
| | 0-20 | 10,0 | 2,5 | 0,9 | 0,3 | 1,9 | 3,0 | 4,2 | 4,6 | 5,3 | 60,2 |
| 70 | 0-10 | 7,2 | 6,6 | 1,9 | 0,8 | 0,0 | 3,8 | 4,9 | 5,9 | 6,0 | 47,9 |
| | 0-20 | 6,6 | 6,2 | 1,5 | 0,6 | 0,1 | 3,4 | 4,8 | 5,8 | 5,9 | 50,4 |
| 71 | 0-10 | 4,1 | 7,2 | 2,6 | 0,5 | 0,0 | 2,7 | 5,1 | 5,9 | 6,3 | 57,9 |
| | 0-20 | 3,4 | 6,4 | 2,3 | 0,4 | 0,0 | 2,7 | 5,3 | 6,2 | 6,4 | 40,4 |
| 72 | 0-10 | 2,2 | 3,7 | 1,5 | 0,3 | 0,0 | 2,1 | 5,5 | 6,1 | 6,8 | 3,4 |
| | 0-20 | 2,4 | 3,3 | 1,2 | 0,2 | 0,0 | 1,7 | 5,2 | 5,8 | 6,7 | 3,4 |

continua

Continuação...

| Local | Prof. cm | H+Al Acet. Calc. | Ca | Mg | K | Al | MO | pH | | | Argila % |
|-------|-------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|------------------|-----|-------------|
| | | | | | | | | CaCl ₂ | H ₂ O | SMP | |
| 73 | 0-10 | 4,0 | 5,8 | 1,9 | 0,3 | 0,0 | 3,6 | 5,3 | 6,0 | 6,4 | 28,4 |
| | 0-20 | 5,2 | 2,6 | 0,9 | 0,1 | 0,7 | 2,0 | 4,4 | 5,1 | 6,0 | 20,9 |
| 74 | 0-10 | 9,0 | 3,9 | 1,2 | 0,4 | 1,3 | 3,3 | 4,3 | 4,9 | 5,5 | 48,4 |
| | 0-20 | 7,2 | 4,1 | 1,1 | 0,3 | 1,0 | 2,6 | 4,3 | 5,0 | 5,6 | 53,4 |
| 75 | 0-10 | 2,3 | 2,5 | 0,9 | 0,1 | 0,1 | 1,7 | 5,1 | 5,8 | 6,8 | 3,4 |
| | 0-20 | 2,4 | 2,6 | 0,9 | 0,1 | 0,0 | 1,9 | 5,3 | 5,9 | 6,7 | 5,9 |
| 76 | 0-10 | 3,8 | 2,9 | 1,2 | 0,1 | 0,1 | 2,1 | 5,1 | 5,7 | 6,4 | 10,9 |
| | 0-20 | 3,6 | 2,9 | 1,1 | 0,1 | 0,3 | 1,9 | 4,6 | 5,3 | 6,3 | 10,9 |
| 77 | 0-10 | 6,4 | 4,3 | 1,4 | 0,3 | 0,8 | 3,0 | 4,6 | 5,3 | 5,7 | 35,9 |
| | 0-20 | 5,4 | 4,3 | 1,3 | 0,2 | 0,6 | 2,6 | 4,8 | 5,4 | 6,0 | 35,9 |
| 78 | 0-10 | 2,2 | 2,8 | 0,8 | 0,2 | 0,1 | 1,7 | 5,0 | 5,8 | 6,7 | 3,4 |
| | 0-20 | 1,8 | 2,1 | 0,7 | 0,3 | 0,2 | 1,2 | 4,9 | 5,7 | 6,9 | 3,4 |
| 79 | 0-10 | 3,4 | 4,2 | 1,2 | 0,8 | 0,1 | 3,0 | 5,0 | 5,7 | 6,5 | 3,4 |
| | 0-20 | 2,6 | 4,0 | 1,1 | 0,2 | 0,1 | 2,3 | 4,9 | 5,7 | 6,6 | 3,4 |
| 80 | 0-10 | 4,0 | 1,8 | 0,9 | 0,2 | 0,6 | 1,9 | 4,4 | 5,2 | 6,3 | 10,9 |
| | 0-20 | 3,9 | 1,9 | 0,9 | 0,2 | 0,6 | 1,3 | 4,4 | 5,1 | 6,3 | 13,4 |
| 81 | 0-10 | 3,0 | 4,2 | 1,6 | 0,1 | 0,1 | 2,2 | 5,4 | 6,1 | 6,6 | 13,4 |
| | 0-20 | 3,5 | 3,6 | 1,3 | 0,1 | 0,1 | 2,3 | 5,0 | 5,7 | 6,4 | 10,9 |
| 82 | 0-10 | 6,7 | 3,1 | 1,2 | 0,3 | 1,0 | 2,8 | 4,3 | 5,0 | 5,7 | 38,4 |
| | 0-20 | 5,2 | 2,6 | 1,0 | 0,2 | 0,8 | 1,7 | 4,4 | 5,1 | 5,9 | 33,4 |
| 83 | 0-10 | 5,3 | 4,8 | 1,5 | 0,4 | 0,2 | 3,0 | 4,7 | 5,5 | 6,1 | 30,9 |
| | 0-20 | 5,0 | 4,7 | 1,4 | 0,4 | 0,1 | 2,7 | 4,7 | 5,6 | 6,1 | 30,9 |
| 84 | 0-10 | 1,5 | 6,4 | 1,4 | 0,4 | 0,0 | 2,9 | 6,2 | 6,9 | 6,9 | 18,4 |
| | 0-20 | 1,6 | 6,8 | 1,6 | 0,4 | 0,0 | 2,8 | 6,1 | 6,9 | 6,8 | 18,4 |
| 85 | 0-10 | 7,6 | 2,6 | 1,1 | 0,3 | 1,3 | 2,8 | 4,1 | 4,8 | 5,6 | 30,9 |
| | 0-20 | 7,2 | 2,7 | 1,2 | 0,3 | 1,3 | 2,4 | 4,2 | 4,9 | 5,7 | 28,4 |
| 86 | 0-10 | 3,6 | 1,3 | 0,4 | 0,1 | 0,5 | 1,2 | 4,2 | 5,1 | 6,5 | 3,4 |
| | 0-20 | 3,1 | 1,4 | 0,4 | 0,1 | 0,5 | 1,1 | 4,2 | 5,2 | 6,5 | 3,4 |
| 87 | 0-10 | 0,7 | 2,6 | 1,0 | 0,1 | 0,0 | 1,5 | 6,1 | 6,6 | 7,2 | 3,4 |
| | 0-20 | 0,7 | 2,8 | 1,1 | 0,1 | 0,0 | 0,7 | 5,7 | 6,5 | 7,1 | 3,4 |
| 88 | 0-10 | 4,0 | 2,2 | 1,1 | 0,2 | 0,5 | 1,7 | 4,1 | 4,8 | 6,8 | 3,4 |
| | 0-20 | 4,4 | 1,6 | 0,5 | 0,1 | 1,0 | 1,0 | 3,8 | 4,5 | 6,2 | 3,4 |
| 89 | 0-10 | 0,3 | 1,0 | 0,3 | 0,1 | 0,0 | 0,2 | 6,2 | 6,9 | 7,0 | 3,4 |
| | 0-20 | 0,3 | 1,1 | 0,5 | 0,1 | 0,0 | 0,3 | 6,0 | 6,7 | 7,0 | 3,4 |
| 90 | 0-10 | 1,8 | 1,2 | 0,5 | 0,4 | 0,0 | 1,1 | 5,2 | 6,2 | 7,0 | 3,4 |
| | 0-20 | 2,0 | 1,7 | 0,7 | 0,3 | 0,0 | 0,9 | 4,8 | 5,9 | 6,9 | 3,4 |

continua

Continuação...

| Local | Prof. cm | H+Al Acet. Calc. | Ca | Mg | K | Al | MO | pH | | | Argila % |
|-------|-------------|------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------|------------------|-----|-------------|
| | | | | | | | | CaCl ₂ | H ₂ O | SMP | |
| | | | cmol _c dm ⁻³ | | | | % | | | | |
| 91 | 0-10 | 1,7 | 2,4 | 0,9 | 0,2 | 0,0 | 1,4 | 5,3 | 6,1 | 6,9 | 3,4 |
| | 0-20 | 2,6 | 1,9 | 0,7 | 0,1 | 0,1 | 1,1 | 4,6 | 5,5 | 6,6 | 3,4 |
| 92 | 0-10 | 0,3 | 4,3 | 1,2 | 0,1 | 0,0 | 1,5 | 6,8 | 7,5 | 7,2 | 3,4 |
| | 0-20 | 1,1 | 3,0 | 1,0 | 0,1 | 0,0 | 1,1 | 6,2 | 6,7 | 7,1 | 3,4 |
| 93 | 0-10 | 0,7 | 2,2 | 0,7 | 0,1 | 0,0 | 0,7 | 6,1 | 6,7 | 7,1 | 3,4 |
| | 0-20 | 1,7 | 1,2 | 0,6 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 4,6 | 5,4 | 6,8 | 3,4 |
| 94 | 0-10 | 1,7 | 0,8 | 0,4 | 0,1 | 0,0 | 1,3 | 5,0 | 5,8 | 6,8 | 2,4 |
| | 0-20 | 1,7 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 0,0 | 1,3 | 4,9 | 5,8 | 6,6 | 2,4 |
| 95 | 0-10 | 4,7 | 3,7 | 2,0 | 0,4 | 0,0 | 3,1 | 5,0 | 5,7 | 6,1 | 64,9 |
| | 0-20 | 5,5 | 2,7 | 1,5 | 0,3 | 0,2 | 3,2 | 4,9 | 5,6 | 6,0 | 64,9 |
| 96 | 0-10 | 2,3 | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 0,1 | 2,5 | 5,1 | 6,2 | 6,7 | 1,8 |
| | 0-20 | 2,7 | 0,7 | 0,9 | 0,2 | 0,2 | 1,9 | 4,7 | 5,8 | 6,5 | 1,8 |
| 97 | 0-10 | 4,9 | 5,9 | 1,2 | 0,1 | 0,2 | 3,0 | 4,6 | 5,4 | 6,0 | 49,7 |
| | 0-20 | 5,4 | 3,4 | 1,0 | 0,1 | 1,2 | 3,0 | 4,2 | 5,0 | 5,8 | 49,7 |
| 98 | 0-10 | 6,9 | 2,8 | 0,5 | 0,2 | 0,5 | 2,3 | 4,3 | 5,1 | 5,6 | 12,2 |
| | 0-20 | 6,9 | 1,8 | 0,4 | 0,1 | 1,2 | 1,8 | 3,9 | 4,7 | 5,5 | 14,7 |
| 99 | 0-10 | 3,0 | 1,2 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 1,3 | 4,4 | 5,2 | 6,4 | 15,8 |
| | 0-20 | 3,0 | 1,7 | 0,7 | 0,3 | 0,1 | 1,5 | 4,8 | 5,4 | 6,4 | 10,8 |
| 100 | 0-10 | 1,7 | 2,1 | 0,6 | 0,4 | 0,0 | 1,4 | 5,2 | 6,0 | 6,7 | 3,3 |
| | 0-20 | 2,3 | 2,4 | 0,7 | 0,3 | 0,0 | 1,5 | 5,1 | 5,9 | 6,6 | 5,8 |
| 101 | 0-10 | 1,5 | 2,6 | 0,5 | 0,4 | 0,1 | 1,5 | 5,5 | 6,3 | 6,9 | 0,8 |
| | 0-20 | 1,3 | 2,2 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 1,0 | 5,2 | 6,0 | 7,0 | 0,8 |
| | Média 0-10 | 4,6 | 3,8 | 1,2 | 0,3 | 0,4 | 2,8 | 4,9 | 5,7 | 6,3 | 30,5 |
| | Média 0-20 | 4,7 | 3,3 | 1,0 | 0,2 | 0,5 | 2,4 | 4,7 | 5,5 | 6,2 | 30,6 |

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostragem diferenciada por profundidade estudada (0-10 e 0-20 cm) não influenciou significativamente a acidez potencial, o que demonstra que para os solos estudados da região oriental do Paraguai podem ser obtidas amostras indiferentemente da sua profundidade, como também para o teor de argila, o pH SMP e o alumínio trocável, o que pode ser observado na Figura 1(a), (b), (c) e (d). Os coeficientes de correlação dessas variáveis apresentaram valores superiores a 0,87, o que indica que existe alta correlação positiva entre as profundidades de amostragem. Os coeficientes de determinação que relacionam ambas as profundidades de amostragem (0-10 e 0-20 cm) são elevados para os valores de H + Al, argila e pH SMP ($R^2 = 0,8942$, $R^2 = 0,9608$ e $R^2 = 0,8654$, respectivamente). Do ponto de vista do acúmulo de matéria orgânica sobre o solo na camada

superficial, indiferentemente do sistema de plantio, e de acordo com Acqua (2013), os teores de matéria orgânica podem ser superestimados se a amostragem de solo for realizada a apenas 10 cm de profundidade, fato que pode ser constatado na Figura 1(e), na qual a amostragem diferenciada por profundidade influencia significativamente o teor de matéria orgânica do solo.

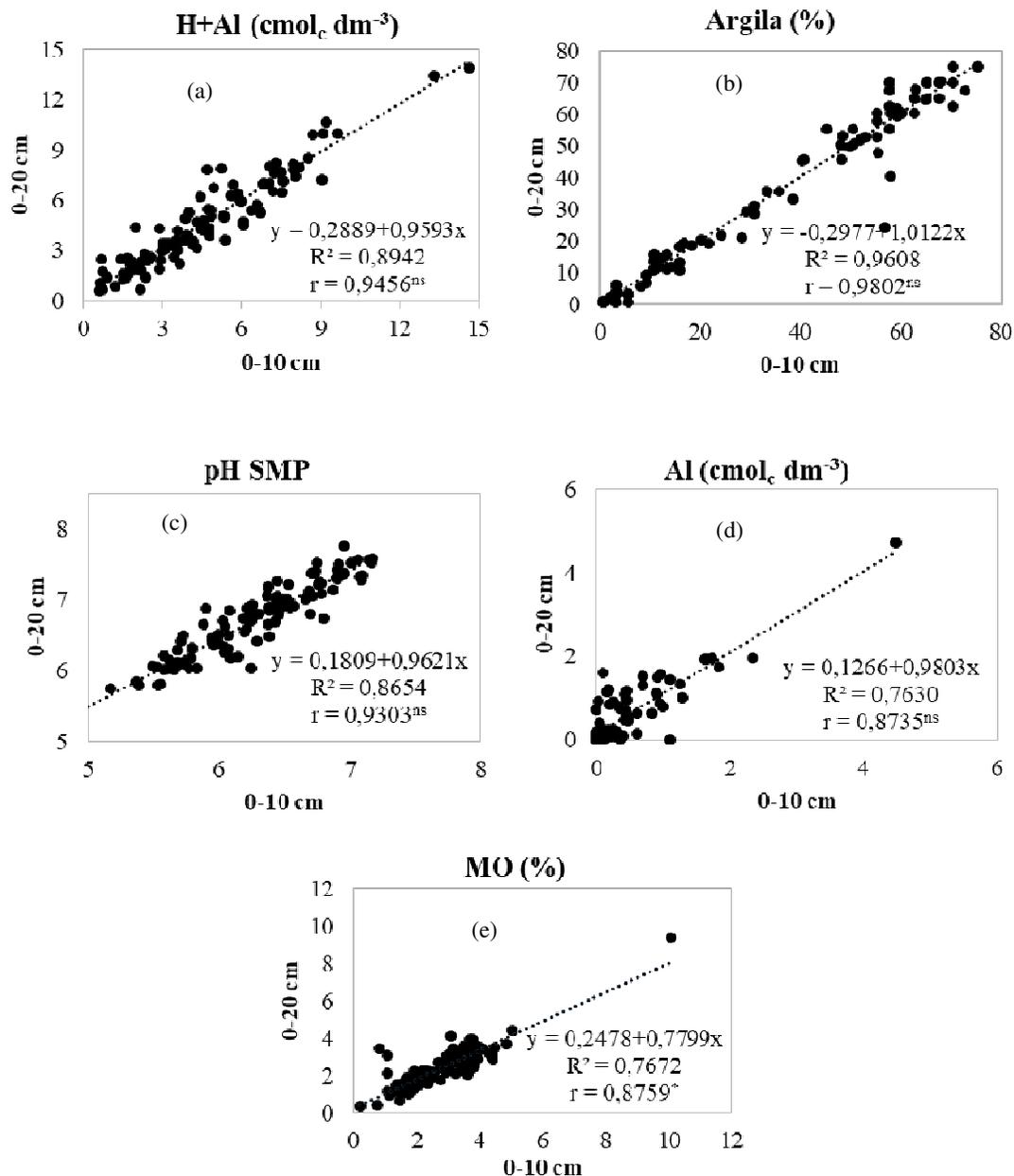


Figura 1. Correlação entre as profundidades de amostragem realizadas a 0-10 e 0-20 cm de profundidade para as variáveis acidez potencial (a), argila (b), pH SMP (c), alumínio trocável (d) e matéria orgânica (e).

Os valores da acidez potencial determinada por acetato de cálcio variaram de 0,57 a 14,62 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de solo (Tabela 1). Em pH SMP inferiores a 5,75, os valores de H + Al são menos precisos e ficam mais dispersos (Figura 2), e nos intervalos desses valores de pH SMP 5,75 a 6,75, apresentam maior precisão, com uma concentração maior de dados. Esses resultados são similares aos obtidos por Araujo et al. (2014), que relataram que dentro do intervalo de pH SMP entre 6,0 e 7,0 há uma concentração maior de dados em torno da curva gerada, implicando maior precisão dos dados; quanto maior for a concentração de H + Al na amostra, maior é a dificuldade do tamponamento da amostra, causando dispersão dos dados.

Nas Figuras 3 (0-10 cm) e 4 (0-20 cm), constata-se a boa relação entre o valor de H + Al medido e o estimado pelo pH SMP (significativo a 1%, pelo teste de t). A melhor equação de regressão ajustada foi a polinomial, com coeficiente de determinação de 0,9587 e 0,9616; seguida pela logarítmica, com $R^2 = 0,9466$ e $0,9468$; pela linear, com $R^2 = 0,934$ e $0,9334$; pela exponencial, com $R^2 = 0,8976$ e $0,912$; e por último pela potencial, com $R^2 = 0,8778$ e $0,8948$, nas profundidades 0-10 e 0-20 cm, respectivamente. Porém, como foi constatado na Figura 1(a), a amostragem diferenciada por profundidade estudada não influenciou significativamente a acidez potencial, portanto a H+Al pode ser estimada pelo pH SMP em qualquer profundidade de amostragem, utilizando a equação $H+Al = 91,549 - 23,077 \text{ pH SMP} + 1,457 \text{ pH SMP}^2$, ($R^2 = 0,9581$), que foi ajustada com base nas 202 amostras, considerando aquelas amostradas de 0-10 e 0-20 cm de profundidades (Figura 5).

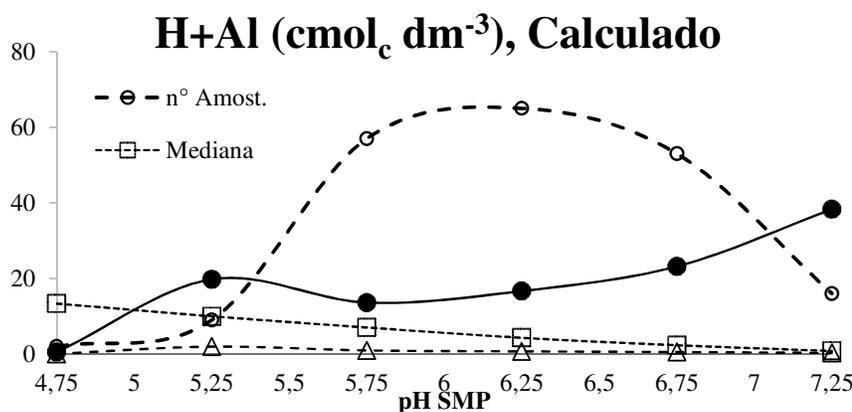


Figura 2. Estatística descritiva da acidez potencial extraída com solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,0, a diferente pH SMP das amostras da região oriental do Paraguai.

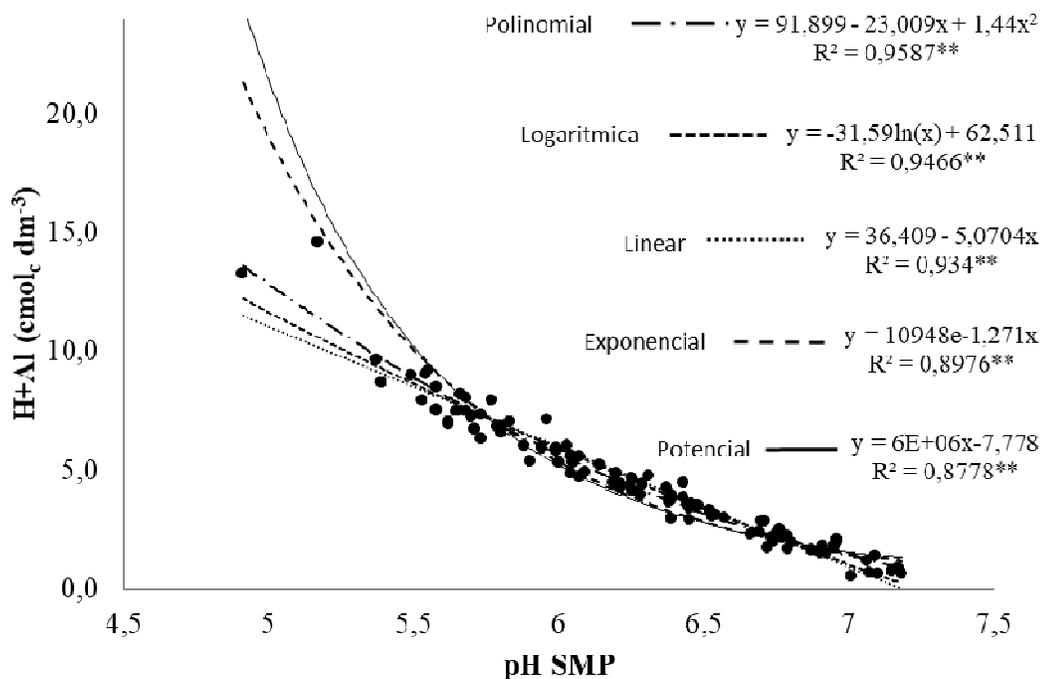


Figura 3. Relação entre o valor de H+Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e o pH SMP dos solos da região oriental do Paraguai, na profundidade de 0-10 cm.

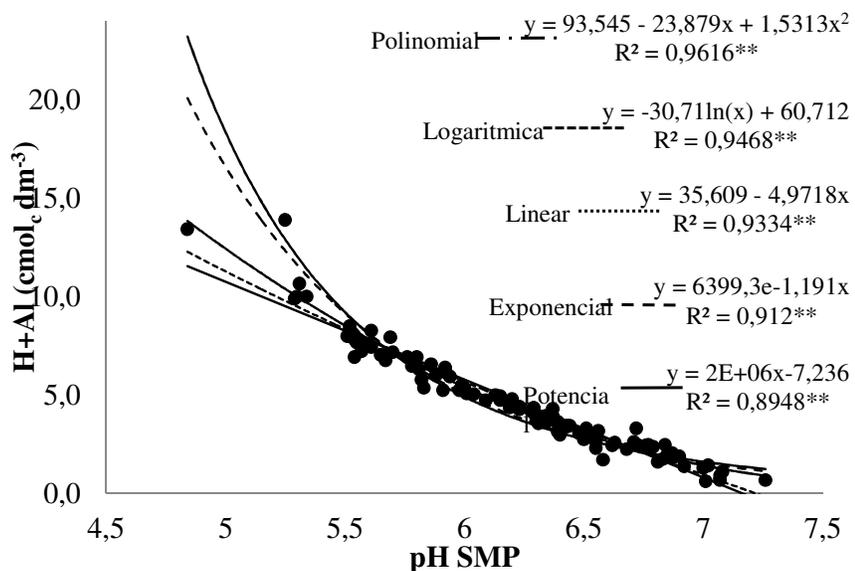


Figura 4. Relação entre o valor de H+Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e o pH SMP dos solos da região oriental do Paraguai, na profundidade de 0-20 cm.

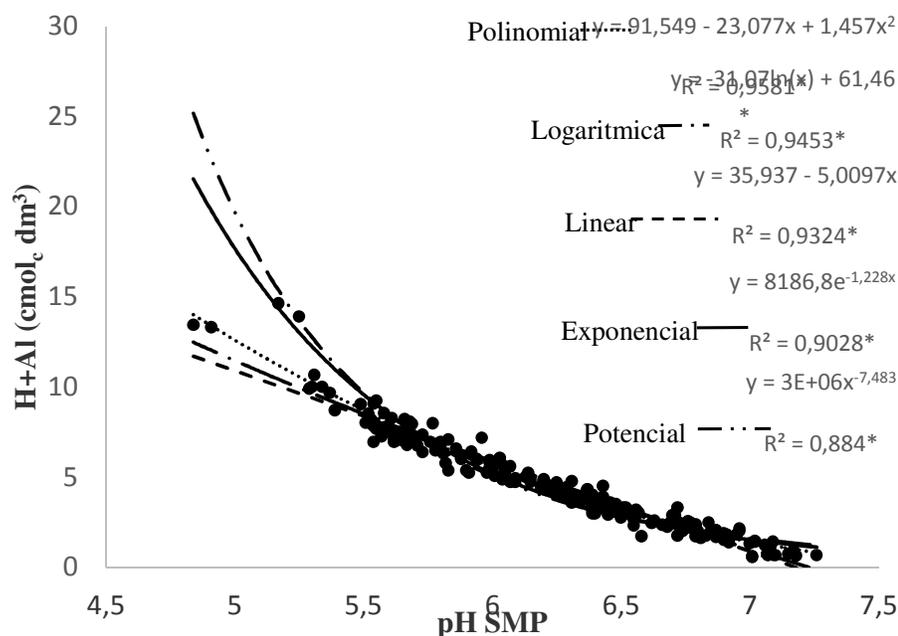


Figura 5. Relação entre o valor de H+Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e o pH SMP dos solos da região oriental do Paraguai, considerando as profundidades 0-10 e 0-20 cm.

Como constatado na Figura 1(e), existe diferença significativa nos valores de matéria orgânica do solo do presente estudo, de acordo com a profundidade de amostragem. Do mesmo modo, a SBCS/CQFS (2004) explica que nos cálculos podem ser incluídos os teores de matéria orgânica e de alumínio trocável do solo, pois nos solos pouco tamponados o índice SMP pode subestimar a necessidade de calcário. Aplicando a regressão linear múltipla com os dados do pH SMP e as médias da MO e Al^{3+} das 202 amostras, obteve-se a equação $\text{H} + \text{Al}$ ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) = $25,6667109 - 3,6383576 \text{ pH SMP} + 0,53451408 \text{ MO} (\%) + 0,75536882 \text{ Al}^{3+}$ ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$). Estimando $\text{H} + \text{Al}$ por meio da equação $y = 91,549 - 23,077 \text{ pH SMP} + 1,457 \text{ pH SMP}^2$, $R^2 = 0,9581^{**}$ e pela equação $y = 25,6667109 - 3,6383576 \text{ pH SMP} + 0,53451408 \text{ MO} (\%) + 0,75536882 \text{ Al}^{3+}$ ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), $R^2 = 0,9719^{**}$, verifica-se que a segunda equação apresenta melhor coeficiente de correlação ($r = 0,9858$) que a primeira ($r = 0,9788$) (Figura 6), porém no presente estudo foram obtidas poucas amostras com elevado teor de matéria orgânica: média de 2,8 % para amostras de 0-10 cm e média de 2,4 % para amostras de 0-20 cm de profundidade (Tabela 1).

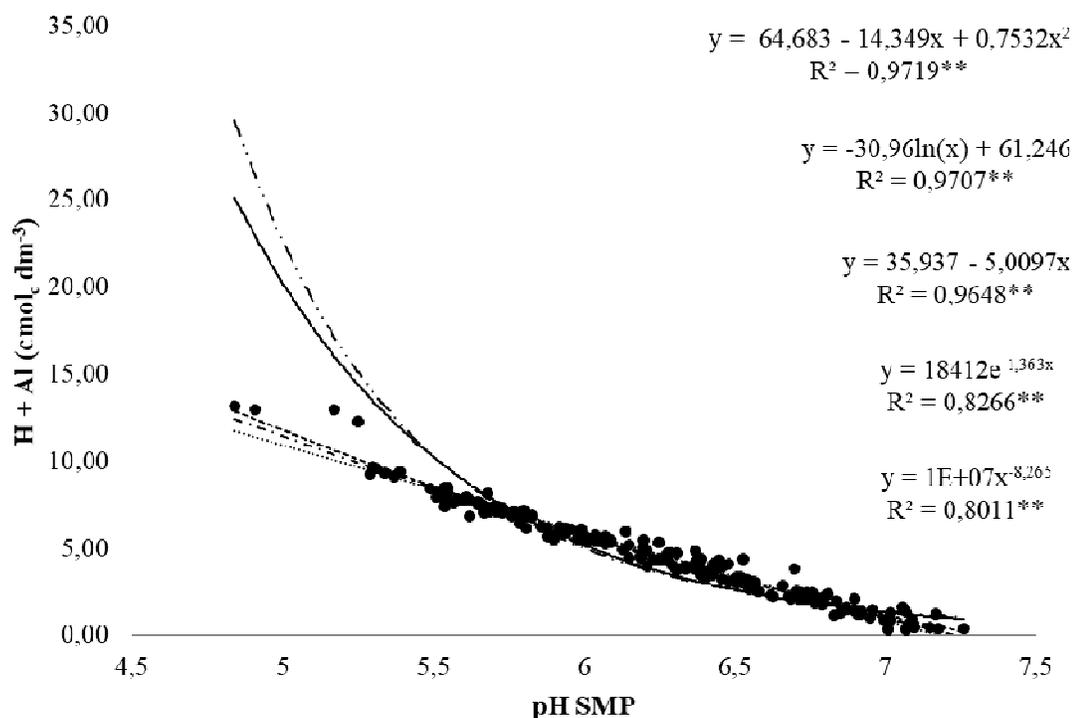


Figura 6. Relação entre o valor de $H+Al$ ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) estimado pela equação $H+Al$ ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) = $25,6667109 - 3,6383576 \text{ pH SMP} + 0,53451408 \text{ MO} + 0,75536882 \text{ Al}^{3+}$ e o pH SMP dos solos da região oriental do Paraguai, considerando MO (%) e Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$).

Utilizando a equação polinomial da Figura 5, foi estimada a acidez potencial a partir do pH SMP de 4,75 a 7,3 (Tabela 2), que pode ser utilizada para a região oriental do Paraguai. Na Figura 2, como pode ser observado entre os pH SMP 5,75 e 6,25, o coeficiente de variação é menor que 20%, sendo consideradas grandes quantidades de amostras (57 e 65 amostras, respectivamente) nesses valores de pH SMP .

Tabela 2. Estimativa da acidez potencial a partir do pH SMP dos solos da região oriental do Paraguai, utilizando a equação polinomial da Figura 4

| pH SMP | H+Al cmol _c dm ⁻³ | pH SMP | H+Al cmol _c dm ⁻³ |
|--------|--|--------|--|
| 4,75 | 14,81 | 6,05 | 5,26 |
| 4,80 | 14,35 | 6,10 | 4,99 |
| 4,85 | 13,90 | 6,15 | 4,73 |
| 4,90 | 13,45 | 6,20 | 4,48 |
| 4,95 | 13,02 | 6,25 | 4,23 |
| 5,00 | 12,59 | 6,30 | 3,99 |
| 5,05 | 12,17 | 6,35 | 3,76 |
| 5,10 | 11,75 | 6,40 | 3,53 |
| 5,15 | 11,35 | 6,45 | 3,32 |
| 5,20 | 10,95 | 6,50 | 3,11 |
| 5,25 | 10,55 | 6,55 | 2,90 |
| 5,30 | 10,17 | 6,60 | 2,71 |
| 5,35 | 9,79 | 6,65 | 2,52 |
| 5,40 | 9,42 | 6,70 | 2,34 |
| 5,45 | 9,06 | 6,75 | 2,16 |
| 5,50 | 8,70 | 6,80 | 2,00 |
| 5,55 | 8,35 | 6,85 | 1,84 |
| 5,60 | 8,01 | 6,90 | 1,69 |
| 5,65 | 7,68 | 6,95 | 1,54 |
| 5,70 | 7,35 | 7,00 | 1,40 |
| 5,75 | 7,03 | 7,05 | 1,27 |
| 5,80 | 6,72 | 7,10 | 1,15 |
| 5,85 | 6,41 | 7,15 | 1,03 |
| 5,90 | 6,11 | 7,20 | 0,93 |
| 5,95 | 5,82 | 7,25 | 0,82 |
| 6,00 | 5,54 | 7,30 | 0,73 |

Na Tabela 3 estão os valores de H + Al do solo estimados a partir de diferentes valores de pH SMP (4,5 a 7,0), de acordo com as equações ajustadas em 19 diferentes regiões e estados do Brasil e na região oriental do Paraguai. Dos valores médios das 20 regiões e estados, obteve-se a equação $H + Al = 113,703 - 31,236 \text{ pH SMP} + 2,1928 \text{ pH SMP}^2$ ($R^2 = 0,9952$), equação que permite estimar a acidez potencial de forma mais global nas diversas regiões e estados do Brasil e na região oriental do Paraguai (Figura 7). Os valores de acidez potencial tiveram maior precisão na faixa de pH SMP >5,0, e <6,5, apresentando menor coeficiente de variação no pH SMP 6,0. Silva et al. (2000) obtiveram resultados similares, demonstrando valores de H + Al bastante imprecisos nos extremos da curva, pois os desvios-padrão acarretaram coeficientes de variação maiores que 20%, sendo maiores onde os valores de pH SMP situaram-se em torno de 7,0.

Tabela 3. Estimativa da acidez potencial ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) a partir do pH SMP, de acordo com as equações para cada regiões e estados

| Região ou estado | Referência | Equações | pH SMP | | | | | |
|---------------------------------|----------------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | 7,0 |
| SÃO PAULO | Quaggio et al. (1985) | $\text{Ln}(\text{H} + \text{Al}) = 7,76 - 1,053 \text{ pH SMP}$ | 20,5 | 12,1 | 7,2 | 4,2 | 2,5 | 1,5 |
| MINAS GERAIS | Correa et al. (1985) | $\text{Ln}(\text{H} + \text{Al}) = 8,06 - 1,111 \text{ pH SMP}$ | 21,3 | 12,2 | 7,0 | 4,0 | 2,3 | 1,3 |
| CERRADOS | Sousa et al. (1989) | $\text{Ln}(\text{H} + \text{Al}) = 7,719 - 1,068 \text{ pH SMP}$ | 18,4 | 10,8 | 6,3 | 3,7 | 2,2 | 1,3 |
| PARANÁ | Pavan et al. (1996) | $\text{Ln}(\text{H} + \text{Al}) = 6,068 - 0,744 \text{ pH SMP}$ | 15,2 | 10,5 | 7,2 | 5,0 | 3,4 | 2,4 |
| MATO GROSSO DO SUL | Maeda et al. (1997) | $\text{Ln}(\text{H} + \text{Al}) = 8,086 - 1,062 \text{ pH SMP}$ | 27,3 | 16,1 | 9,4 | 5,6 | 3,3 | 1,9 |
| RIO DE JANEIRO | Pereira et al. (1998) | $\text{Ln}(\text{H} + \text{Al}) = 10,05 - 1,02 \text{ pH SMP}$ | 23,6 | 14,2 | 8,5 | 5,1 | 3,1 | 1,8 |
| RIO GR. DO SUL E STA. CATARINA | Ecostegui & Bissani (1999) | $\text{Ln}(\text{H} + \text{Al}) = 6,68 - 0,9004 \text{ pH SMP}$ | 13,8 | 8,8 | 5,6 | 3,6 | 2,3 | 1,5 |
| PERNAMBUCO | Nascimento (2000) | $\text{H} + \text{Al} = 38,448 - 8,4855 \text{ pH SMP} + 0,4837 (\text{pH SMP})^2$ | 10,1 | 8,1 | 6,4 | 4,9 | 3,7 | 2,8 |
| NORDESTE | Silva et al. (2000) | $\text{H} + \text{Al} = 162,53 - 45,161 \text{ pH SMP} + 3,1521 (\text{pH SMP})^2$ | 23,1 | 15,5 | 9,5 | 5,0 | 2,2 | 0,9 |
| NORTE DE MINAS GERAIS | Silva et al. (2002) | $\text{H} + \text{Al} = 0,00359 + 1556,5806 \text{ e-pH SMP}$ | 17,3 | 10,5 | 6,4 | 3,9 | 2,3 | 1,4 |
| NORESTE PARAENSE | Gama et al. (2002) | $\text{H} + \text{Al} = 78,63 - 20,173 \text{ pH SMP} + 1,3294 (\text{pH SMP})^2$ | 14,8 | 11,0 | 7,9 | 5,5 | 3,7 | 2,6 |
| NOROESTE PARANAENSE | Sambatti et al. (2003) | $\text{H} + \text{Al} = 20,1925 - 2,6484 \text{ pH SMP}$ | 8,3 | 7,0 | 5,6 | 4,3 | 3,0 | 1,7 |
| AMAZONAS | Moreira et al. (2004) | $\text{H} + \text{Al} = 30,155 - 3,834 \text{ pH SMP}$ | 12,9 | 11,0 | 9,1 | 7,2 | 5,2 | 3,3 |
| VALE DO JEQUITINHONHA | Silva et al. (2006) | $\text{Ln}(\text{H} + \text{Al}) = 8,26 - 1,124312 \text{ pH SMP}$ | 24,5 | 14,0 | 8,0 | 4,5 | 2,6 | 1,5 |
| BREJO PARAIBANO | Chavez et al. (2007) | $\text{H} + \text{Al} = 164,31 - 47,26 \text{ pH SMP} + 3,4717 (\text{pH SMP})^2$ | 21,9 | 14,8 | 9,4 | 5,7 | 3,8 | 3,6 |
| PARANÁ | Steiner et al. (2009) | $\text{Ln}(\text{H} + \text{Al}) = 8,4125 - 1,143551 \text{ pH SMP}$ | 26,2 | 14,8 | 8,4 | 4,7 | 2,7 | 1,5 |
| RONDONIA | Moline et al. (2011) | $\text{H} + \text{Al} = 31,22 - 8,2 \text{ pH SMP} + 0,59 (\text{pH SMP})^2$ | 6,3 | 5,0 | 4,0 | 3,3 | 2,8 | 2,7 |
| AMAPÁ | Araujo et al. (2014) | $\text{H} + \text{Al} = 62,08 - 14,394 \text{ pH SMP} + 0,8263 (\text{pH SMP})^2$ | 14,0 | 10,8 | 7,9 | 5,5 | 3,4 | 1,8 |
| PARAIBA | Junior et al. (2015) | $\text{H} + \text{Al} = 57,108 - 13,338 \text{ pH SMP} + 0,7637 (\text{pH SMP})^2$ | 12,6 | 9,5 | 6,9 | 4,6 | 2,7 | 1,2 |
| REGIÃO ORIENTAL DO PARAGUAI | Este estudo | $\text{H} + \text{Al} = 91,549 - 23,077 \text{ pH SMP} + 1,457 (\text{pH SMP})^2$ | 17,2 | 12,6 | 8,7 | 5,5 | 3,1 | 1,4 |
| Média | | | 17,3 | 11,0 | 7,6 | 4,8 | 2,9 | 1,6 |
| Desvio-padrão | | | 5,9 | 2,9 | 1,4 | 0,9 | 0,7 | 0,7 |
| Coefficiente de variação | | | 33,9 | 26,0 | 19,1 | 18,4 | 24,9 | 46,1 |

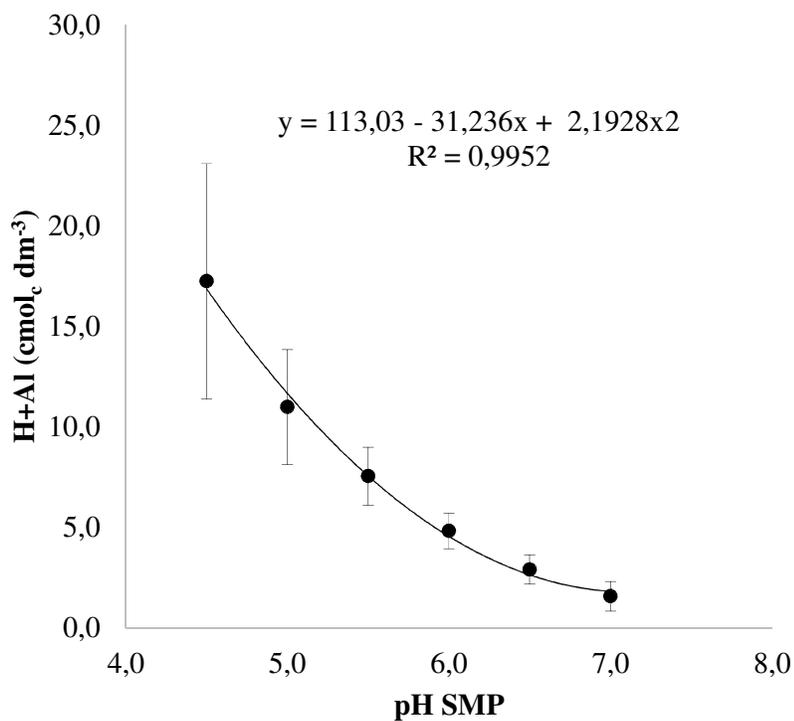


Figura 7. Relação dos teores médios de H+Al e o pH SMP, considerando os dados de 19 regiões e estados brasileiros e os da região oriental do Paraguai.

5.3 CONCLUSÕES

Para solos da região oriental do Paraguai, a acidez potencial pode ser estimada utilizando a equação $H + Al = 91,549 - 23,077 \text{ pH SMP} + 1,457 \text{ pH SMP}^2$ ($R^2 = 0,9581$), independentemente da profundidade de amostragem (0-10 ou 0-20 cm).

Em caso de solos com elevado teor de matéria orgânica, deve-se utilizar a equação $H + Al \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = 25,6667109 - 3,6383576 \text{ pH SMP} + 0,53451408 \text{ MO} + 0,75536882 \text{ Al}^{+3}$ considerando MO (%) e Al^{+3} (cmol_c dm⁻³).

5.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACQUA, N. H. D.; SILVA, G. P.; BENITES, V. M.; ASSIS, R. L. de & SIMON, G. A. Métodos de amostragem de solos em áreas sob plantio direto no Sudoeste Goiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 117–122, 2013.

ARAUJO, D.M.F.; CASTRO, G.S.A.; DAMASCENO, L.F.; MONTGNER A.E.A.D.; GUEDES, M.C.; MELEM JR, N.J. Acidez potencial de solos do Estado do Amapá estimada pelo método potenciométrico SMP. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.3, n.3, p. 57-65, 2014.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. Campinas, **Instituto Agrônomo**, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106).

CHAVEZ, L.G., CHAVES, I.B., VASCONCELOS, C.F. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos da Microrregião Homogênea Brejo Paraibano. **R Bras Eng Agríc Amb**. 2007;11:398-403.

CORRÊA, J.B.; COSTA, P.C.; LOPES, A.S. & CARVALHO, J.G. Avaliação de H + Al pelo método SMP. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS**, 12., Caxambu, 1985. Anais. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Café, 1985. p.111-112.

ESCOSTEGUY, P.A.; BISSANI, C.A. Estimativa de H + Al pelo pH SMP em solos do estado do Rio Grande de Sul e de Santa Catarina. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:175-179, 1999.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, 26:1107-1113, 2002.

GOTO, Y.J.; PANIÁGUA, J.R. Efecto de la dosis, forma de aplicación y la granulometría de la cal agrícola en los parámetros químicos de un ultisol arcilloso, cultivado con soja bajo el sistema de siembra directa. **Investigación agraria**. v.5, n.1, 38:29-32, 2003

JUNIOR, A.B.A.; NASCIMENTO C.W.A.; BARROS, F.M.R. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos do estado da Paraíba. **R. Bras. Ci. Solo**, 39:767-773, 2015.

LANA, M.C.; FRADOLOSO, J.F.; FEY, R.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. 2016. Análise química de solo e de tecido vegetal: Metodologias analíticas. **UNIOESTE**. 2ª.Ed. Marechal Cândido Rondon. 153 p.

LOPES, A.S. Acidez do solo e calagem. 3ª ed. Ver. / A S. Lopes, M. de C. Silva e L.R.G. Guilherme – São Paulo, ANDA 1990. 22 p. (**Boletim Técnico**, 1).

MAEDA, S.; KURIHARA, C.H.; HERNANI, L.C.; FABRICIO, A.C.; SILVA, W.M. Estimativa da acidez potencial, pelo método do pH SMP, em solos do Mato Grosso do Sul. Dourados, **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 1997. 25p. (Boletim de Pesquisa, 3).

MOLINE, E.F.V.; BARBOZA, E.; FERREIRA FILHO, G.S.; FIORELLI-PEREIRA, E.C.; SCHLINDWEIN, J.A. Estimativa do valor de H+Al por correlação com o pH SMP em solos de Rondônia. **Enc. Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.7, n.12, 6p. 2011.

MOREIRA, A.; ALMEIDA, M.P.; COSTA, D.G.; SANTOS, L.S. Acidez potencial pelo método do pH SMP no Estado do Amazonas. **Pesq. Agropec. Bras.**, 39:89-92, 2004.

NASCIMENTO, C.W.A. Acidez potencial estimada pelo pH SMP em solos do Estado de Pernambuco. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:679-682, 2000.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. **Ciências Exatas e Naturais**. v.6, n.1, 136p. 2004.

PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L.; MIYAZAWA, M. Determinação indireta da acidez extraível do solo (H + Al) por potenciometria com a solução tampão SMP. **Arq. Biol. Technol.**, 39:307-312, 1996.

PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S.; SOUZA, J.M.P.F.; PÉREZ, D.V.; DOS ANJOS, L.H.C. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos do Estado do Rio de Janeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:159-162, 1998.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP-buffer solution to determine lime requirement of soils. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 16:245-260, 1985.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba**, Ceres/ Potafos, 1991. 343p.

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 em formação cauiá Noroeste do Estado do Paraná. **R. Bras. Ci. Solo**, 27: 257-264, 2003.

SILVA, C.A.; AVELLAR, M.L. & BERNANDI, A.C.C. Estimativa da acidez potencial pelo pH SMP em solos do semi-árido do nordeste brasileiro. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:689-692, 2000.

SILVA, E.B.; DIAS, M.S.C.; GONZAGA, E.I.C.; SANTOS, N.M. Estimativa da acidez potencial pelo pH SMP em solos da região norte do Estado de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, 26:561-565, 2002.

SILVA, E.B.; COSTA, H.A.O. & FARNEZI, M.M.M. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos da região do Vale do Jequitinhonha no estado de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, 30:751-757, 2006.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed. – Porto Alegre, 400 p., 2004.

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

STEINER, F.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; ZOZ, T. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos do Estado do Paraná. **Cultivando o saber**, Cascavel, v.2, n.4, p.33-41, 2009.

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

6 CAPÍTULO 2 – DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALAGEM EM SOLOS DA REGIÃO ORIENTAL DO PARAGUAI

RESUMO

A região oriental do Paraguai, onde predominam solos ácidos, associados a altos teores de alumínio trocável, a produtividade das culturas é comprometida consideravelmente. Para recuperação desses solos é preciso fazer a correção da calagem. Vários métodos são utilizados para determinar a necessidade de calagem, sendo a incubação com CaCO_3 o método de referência. Porém, pelo prolongado tempo requerido, seu uso torna-se limitado para análises de rotina, sendo necessário optar por métodos mais rápidos. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da incubação com doses crescentes de CaCO_3 em solos da região oriental do Paraguai e compará-lo com metodologias menos onerosas e que requeram menos tempo, como o da saturação por bases, Al e Ca+Mg, critério do pH de referência. Este estudo foi realizado em casa de vegetação e no laboratório de Centro de Pesquisa e Desenvolvimento do R&D Sudamerica, Minga Guazú, Paraguai. Os solos correspondem a um Alfisol e a seis Ultisols, amostrados a 0-20 cm de profundidade. As amostras foram secas, moídas e tamisadas pela peneira de 2 mm de abertura, e em seguida submetidas às análises química e granulométrica. As amostras foram incubadas em casa de vegetação com doses crescentes de carbonato de cálcio puro (CaCO_3), para neutralizar o equivalente a 0, 30, 60, 90, 120 e 150 % da acidez potencial (H + Al), mantendo umedecidas a 70 % da sua capacidade de campo, com três repetições. Durante o período de incubação, aos 15 dias, as amostras de solo foram coletadas para medir o pH H_2O , para fazer a curva de incubação. Após o período de incubação de 21 dias, elas foram analisadas quimicamente, para calcular a necessidade de calagem (NC). A tabela da NC para atingir pH H_2O 5,5, 6,0 e 6,5 indica maior NC quanto maior a capacidade de tamponamento do solo. O cálculo da necessidade de calagem pelo método do índice SMP para atingir pH H_2O 5,5 a partir da incubação do solo com CaCO_3 resultou em valores próximos aos obtidos com o método de Minas Gerais, enquanto os outros métodos subestimam ou superestimam a NC, podendo resultar em quantidades acima ou abaixo da ideal.

Palavras-chave: Curva de neutralização. Incubação. Acidez do solo.

ABSTRACT

Soils in the eastern region of Paraguay are predominantly acid and associated with high exchangeable aluminum contents, which considerably compromises crop yields. In order to recover these soils, it is needed to correct soil acidity. Several methods are used to determine the liming requirement of a soil and the incubation with CaCO_3 is considered the reference method. However, for being time consuming, its use for routine analyses is limited, thus there is a need for faster methods. The objective of this study was to evaluate the effect of incubation with increasing CaCO_3 rates in soils of the eastern region of Paraguay and to compare it with less costly and less time-consuming methodologies such as base saturation,

Al and Ca+Mg, pH of reference criterion. The study was carried out in a greenhouse at the Sudamerica Research and Development Center, Minga Guazú, Paraguay. The soils consisted of an Alfisol and six Ultisols sampled at 0-20 cm depth. The samples were dried, ground, and sieved through a 2 mm mesh, and then analyzed for chemical and granulometric characteristics. The samples were incubated in greenhouse with increasing doses of pure calcium carbonate (CaCO_3) to neutralize the equivalent of 0, 30, 60, 90, 120, and 150% of the potential acidity (H+Al), keeping them moistened to 70 % of the field capacity, with three replicates. After 15 days of incubation, the samples were collected and the pH (H_2O) was measured in order to built the incubation curve. After 21 days of incubation, the samples were chemically analyzed to calculate the liming requirement (LR). The LR table to achieve pH (H_2O) 5.5, 6.0, and 6.5 indicates that the higher the buffering capacity of the soil the higher the LR. The liming requirement calculated by the pH SMP method to reach pH (H_2O) 5.5, using soil incubation with CaCO_3 , was close to the values obtained with the Minas Gerais method, while the other methods underestimate or overestimate LR, which can result in amounts above or below the ideal.

Keywords: Titration curve, Incubation, Acidity.

7 INTRODUÇÃO

A região oriental do Paraguai ocupa 39 % (158.133 km²) da superfície total do país. Segundo a FAO (2000), 98 % da população mora nessa região, da qual 36 % se dedica à agricultura. A maioria dos solos agricultáveis dessa região é ácida. A acidificação experimentada normalmente pelos solos tropicais é principalmente devido à perda de bases trocáveis (VITTI & PROCHNOW, 1996). Fatecha (2004) ressaltou que a aplicação de calcário tem sido pouco praticada no país, ocasionando predomínio dos solos ácidos nessa região, o que influencia a produção agrícola. Segundo Gama (1998), a recomendação correta de calcário é imprescindível para adequada correção da acidez do solo e para aumentar a disponibilidade dos nutrientes necessários para as plantas.

A amostragem do solo para análise química é realizada em duas profundidades, sendo as mais utilizadas as de 0-10 e 0-20 cm. De acordo com Cubilla (2012), em solos onde se tem o sistema de plantio direto (SPD) consolidado (mais de quatro anos) a amostragem é realizada na camada de maior concentração de nutrientes (0-10 cm), e em 0-20 cm de profundidade se o solo é revolvido ou em SPD em fase de implantação. No entanto, os resultados do capítulo 1 deste estudo demonstram que não é necessária a diferenciação de amostragem por profundidade na determinação da acidez potencial. Malavolta (1984) relatou que a incubação com CaCO_3 é a metodologia de cálculo-padrão para a NC, não sendo utilizada em análises de rotina, por demandar muito tempo, mas é utilizada na calibração de outros métodos. Dentre os

vários métodos para recomendação de calagem, são utilizados no Brasil: a) neutralização do alumínio e/ou elevação dos níveis de cálcio e magnésio: $NC (t ha^{-1}) = [Y \times meq Al/100 cm^3 + (X - meq Ca + Mg/100 cm^3)]$ de Minas Gerais (LOPES, 1989); b) saturação por bases, $NC (t ha^{-1}) = T(Ve - Va)/100$, baseada na saturação de bases desejada ou esperada (Ve); e c) também existem algumas variações locais, como a recomendada pelo Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), onde para a recomendação de calagem é utilizado o critério do pH de referência; o pH de referência a ser atingido é o valor do pH do solo mais adequado (5,5, 6,0 e 6,5) ao desenvolvimento das culturas.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da incubação com doses crescentes de $CaCO_3$ em solos da região oriental do Paraguai e compará-lo com outros métodos de necessidade de calagem

7.1 MATERIAL E MÉTODOS

7.1.1 Localização do Experimento

O experimento foi realizado no laboratório e em casa de vegetação do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento R&D Sudamerica, km 20 Monday, Minga Guazú, Paraguai.

7.1.2 Amostra de solos

Foram utilizadas amostras de solo de sete pontos diferentes da região oriental do Paraguai, amostradas a 0-20 cm de profundidade: um Alfisol e seis Ultisols, por serem solos que predominam nas áreas agricultáveis. Os solos foram secos em estufa de ar forçado a 50°C, moído com um moinho de martelos e passado em uma peneira de 2 mm, obtendo-se a amostra de solo denominada terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras foram incubadas por 21 dias, e para calcular a capacidade máxima de retenção de água, determinada de acordo com Luchese (2002), foram utilizados 35 g de TFSA em copos de café de 50 ml, com furos na parte inferior, com filtro de papel para evitar perda de solo, submergidos em bandeja com lâmina de 5 mm de água por 24 horas, para umedecimento por capilaridade. Após retirado o excesso de água sob papel absorvente por 12 horas, as amostras foram pesadas e a capacidade de retenção de água do solo foi obtida pela diferença entre a massa de terra seca e a massa da terra molhada.

7.1.3 Atributos físicos e químicos dos solos amostrados

As amostras secas em estufa a 50°C foram passadas em moinho de martelo e peneiradas em malha de 2 mm de abertura. Nas amostras foram analisados o pH (água, CaCl₂ e SMP), a H + Al, o Ca²⁺, o Mg²⁺ e o Al³⁺ trocável, o K disponível e a MO, conforme Lana et al. (2016). O pH em água foi medido por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo: água (1:2,5), que foi agitada por 15 minutos a 250 rpm e deixada em repouso por 30 minutos, sendo a leitura feita no potenciômetro previamente calibrado em solução-padrão pH 4,0 e 7,0. Para medir o pH em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, foram utilizados 10 cm³ de TFSA e 25 ml de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, sendo, então, a amostra agitada por 15 minutos a 250 rpm e deixada em repouso por 30 minutos, e a leitura feita no potenciômetro previamente calibrado com as soluções-padrão. O pH SMP foi medido por meio de eletrodo combinado, utilizando a suspensão em que foi determinado o pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, adicionados 5,0 ml de solução-tampão SMP, sendo a amostra agitada por 20 minutos a 250 rpm e deixada em repouso por uma noite, agitada novamente por mais 10 minutos e deixada em repouso por 30 minutos, e a leitura feita em seguida no potenciômetro previamente calibrado com as soluções-tampão a pH 7,0 e 4,0. A H + Al foi estimada pelo pH SMP, utilizando a equação de Pavan (1996). O cálcio e o magnésio trocável foram medidos por absorvância em espectrofotômetro de absorção atômica devidamente calibrado, extraídos com 50 ml de solução de KCl 1 mol L⁻¹, utilizando 5 cm³ de TFSA, sendo a amostra agitada por 15 minutos, deixada em repouso por uma noite e diluída em cloreto de lantânio. Do mesmo extrato para determinação do Ca e Mg pelo método KCl 1 mol L⁻¹ foi determinado o alumínio trocável, mediante a titulação com NaOH 0,015 mol L⁻¹. O potássio disponível foi extraído pela solução Mehlich-1, utilizando 5 cm³ de TFSA e 50 ml da solução Mehlich-1, sendo a amostra agitada por 5 minutos e decantada durante uma noite, sendo a leitura feita por espectrofotômetro de absorção atômica previamente calibrado. A matéria orgânica foi determinada pela oxidação da matéria orgânica mediante a titulação de 1 cm³ de TFSA com 10 ml da solução de K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ e 10 ml de H₂SO₄ concentrado, sendo a amostra esfriada por 30 minutos e titulada com FeSO₂ 1 mol L⁻¹. A determinação da argila foi realizada com o método de densímetro, conforme Camargo et al. (1986): foram pesados 20 g de TFSA, sendo a amostra agitada por uma noite com 100 ml da solução dispersante de hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio, em agitador rotatório a 30 rpm, e a leitura do teor de argila feita seis horas após a diluição, e agitados em 500 ml de água destilada. Na Tabela 1 estão os atributos físicos e químicos das amostras estudadas antes da incubação.

7.1.4 Incubação

Em cada amostra de 250 cm³ de solo, adicionada de uma dose de CaCO₃ puro para neutralizar os equivalentes a 0, 30, 60, 90, 120 e 150 % da H + Al do solo (Tabela 2), foi acrescentada água destilada, para manter 70 % da sua capacidade de campo durante o período de incubação. As amostras foram colocadas em sacos plásticos, que foram fechados com arame. Em cada saco plástico foi colocado um pedaço de canudo, para facilitar as trocas gasosas. Eles ficaram em casa de vegetação durante o período de incubação. Aos 15 dias, as amostras de solo foram retiradas para medir o pH H₂O, para fazer a curva de incubação. Após o período de incubação de 21 dias, os solos foram secos, moídos e analisados. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta pelo Lana et al. (2016) e a análise granulométrica foi feita com base na metodologia proposta por Camargo et al. (1986).

7.1.5 Necessidade de calagem (NC)

A necessidade de calagem foi calculada de acordo com os seguintes métodos: a) neutralização do alumínio e/ou elevação dos níveis de cálcio e magnésio, $NC (t ha^{-1}) = [Y * Al \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3} + (X - (Ca \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3} + Mg \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}))]$ de Minas Gerais (LOPES, 1989), considerando o fator Y, que é variável em função da textura do solo (Y = 1 para solos <15% de argila, 2 para solos entre 15 e 35 % argila e 3 >35 % de argila), e o fator X, que é variável em função de exigência da cultura (X = 2 para a maioria das culturas, 1 para eucalipto e 3 para cafeeiro); b) saturação por bases, $NC (t ha^{-1}) = T(Ve - Va)/100$, baseada na saturação de bases desejada ou esperada (Ve); e c) solução-tampão SMP (Lopez, 1990), baseada nos resultados da incubação do solo com CaCO₃. Também existem algumas variações locais, como as recomendadas pelo Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS/CQFS, 2004), onde o critério do pH de referência é utilizado para a recomendação de calagem; o pH de referência é o valor do pH do solo mais adequado (5,5, 6,0 e 6,5) ao desenvolvimento das culturas.

Tabela 1. Análise química e física de solos com diferente porcentagem de argila antes da incubação

| Am. | Classif. Solo | Ca | Mg | K | Al | H+Al | CTC | SB | V | MO | Argila | P | pH CaCl ₂ | pH SMP | pH H ₂ O |
|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|--------|------|----------------------|--------|---------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1- | A13.3 La/A2n | 1,2 | 0,8 | 0,2 | 0,2 | 3,5 | 5,7 | 2,2 | 38,1 | 0,7 | 1,5 | 22,7 | 4,6 | 6,5 | 5,4 |
| 2- | U10.3 La/A2n | 3,1 | 1,5 | 0,1 | 0,0 | 2,6 | 7,4 | 4,7 | 64,2 | 1,7 | 3,4 | 9,4 | 5,7 | 6,9 | 6,3 |
| 3- | U10.4 Lb/B/C2n | 3,3 | 1,0 | 0,4 | 0,4 | 5,1 | 9,8 | 4,7 | 47,8 | 3,0 | 48,3 | 10,8 | 4,4 | 6,0 | 5,0 |
| 4- | U2.3 Lls/A4n | 2,4 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 3,7 | 6,6 | 3,0 | 44,0 | 2,3 | 12,2 | 22,0 | 4,5 | 6,4 | 5,5 |
| 5- | U10.4 La/A/B2n | 3,2 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 4,9 | 8,8 | 4,0 | 44,8 | 4,4 | 12,2 | 3,0 | 4,4 | 6,0 | 5,0 |
| 6- | U10.3 La/A2n | 1,5 | 0,6 | 0,3 | 0,0 | 2,8 | 5,2 | 2,4 | 46,1 | 1,3 | 15,8 | 23,0 | 5,1 | 6,8 | 6,1 |
| 7- | U10.3 La/B2n | 2,2 | 0,6 | 0,3 | 0,0 | 2,2 | 5,3 | 3,1 | 58,5 | 1,4 | 3,3 | 56,1 | 6,1 | 7,1 | 7,1 |

Tabela 2. Quantidade de CaCO₃ utilizado para sete solos avaliados da região oriental do Paraguai

| Amostra | Clasific. Solo | % equivalente para neutralizar H + Al | | | | | |
|---------|----------------|---------------------------------------|------|------|------|-------|-------|
| | | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 |
| | | t ha ⁻¹ CaCO ₃ | | | | | |
| 1- | A13.3 La/A2n | 0 | 2,19 | 4,37 | 6,56 | 8,75 | 10,94 |
| 2- | U10.3 La/A2n | 0 | 1,62 | 3,24 | 4,86 | 6,48 | 8,10 |
| 3- | U10.4 Lb/B/C2n | 0 | 2,69 | 5,38 | 8,06 | 10,75 | 13,44 |
| 4- | U2.3 Lls/A4n | 0 | 1,50 | 3,01 | 4,51 | 6,01 | 7,52 |
| 5- | U10.4 La/A/B2n | 0 | 1,62 | 3,24 | 4,86 | 6,48 | 8,10 |
| 6- | U10.3 La/A2n | 0 | 1,18 | 2,35 | 3,53 | 4,70 | 5,88 |
| 7- | U10.3 La/B2n | 0 | 0,80 | 1,60 | 2,39 | 3,19 | 3,99 |

De acordo com o estudo de reconhecimento de solos da região oriental do Paraguai feito por Lopez et al. (1995), os solos utilizados correspondem a 1- Alfisol subgrupo Typic Paleudalf, 2-, 3- e 5- Ultisol Typi Rhodudult, 4- Ultisol Typic Paleudult, 6- e 7- Ultisol Typic Epiaquult. A simbologia é representada a seguir.

7.1.6 Delineamento Experimental e análise estatística

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições para os sete solos, com seis níveis de CaCO_3 . Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão, utilizando o programa InfoStat (DI RIENZO, 2017).

7.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva de incubação com carbonato de cálcio representada na Figura 1 corresponde aos valores de $\text{pH H}_2\text{O}$ medidos aos 15 dias durante o processo de incubação. As amostras 5 e 7 apresentam uma curva linear, o que demonstra que para aumentar um ponto de $\text{pH H}_2\text{O}$ é necessário que a quantidade seja constante. Porém, as amostras 1, 2, 3, 4 e 6 apresentam curva polinomial quadrática, o que demonstra que quanto mais elevado o nível de $\text{pH H}_2\text{O}$, menor quantidade de calcário será necessária para elevar um ponto de $\text{pH H}_2\text{O}$, significando menor capacidade-tampão (Figura 2).

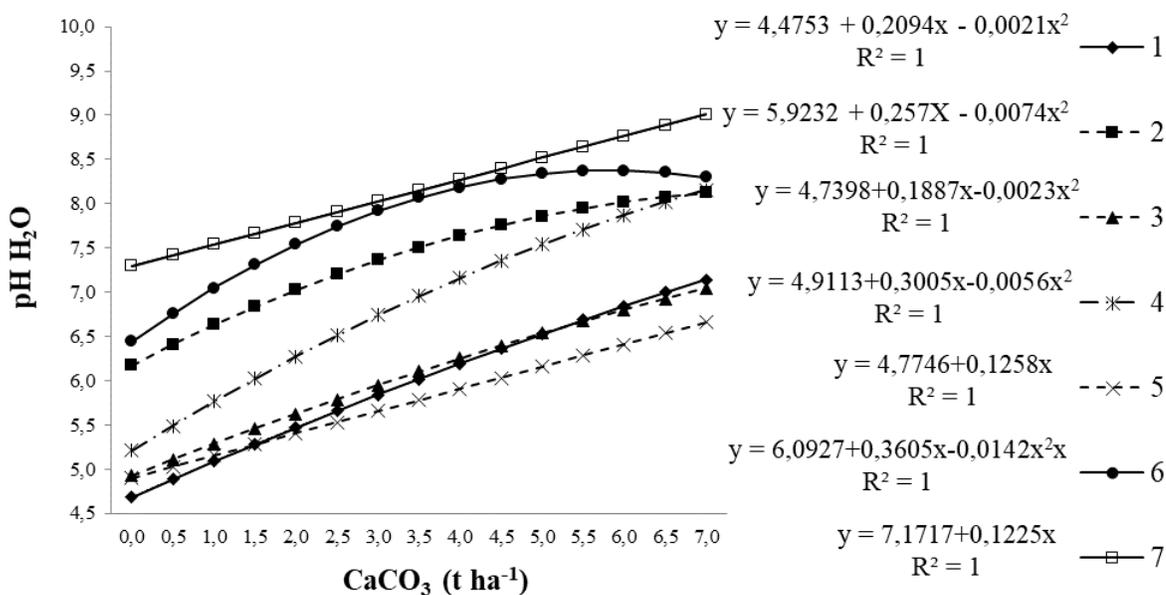


Figura 1. Valores de $\text{pH H}_2\text{O}$ medidos aos 15 dias durante o processo de incubação com doses crescentes de CaCO_3 , para os sete solos avaliados.

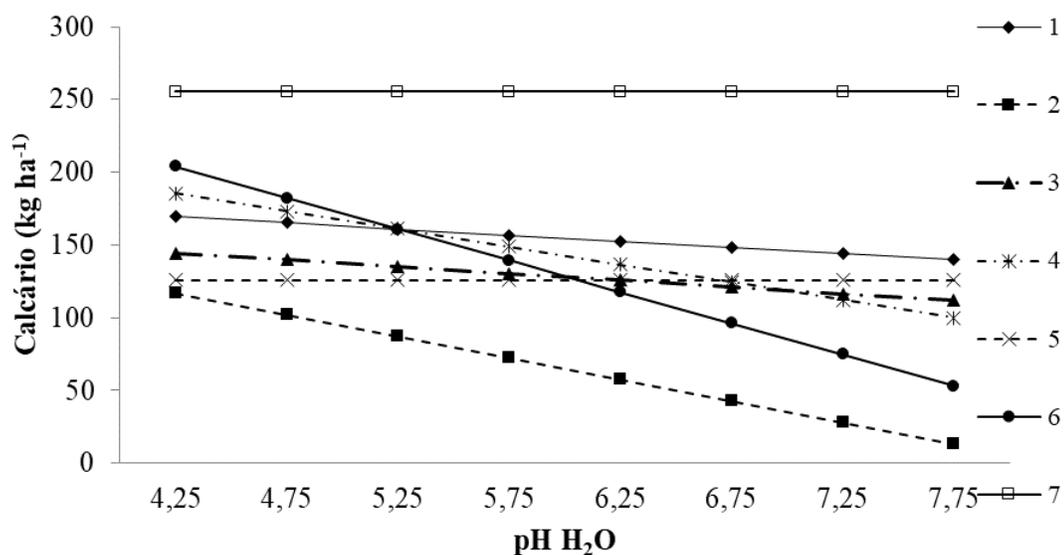


Figura 2. Quantidade de calcário necessário para aumentar meia unidade de pH H₂O, medido aos 15 dias durante o processo de incubação com doses crescentes de CaCO₃.

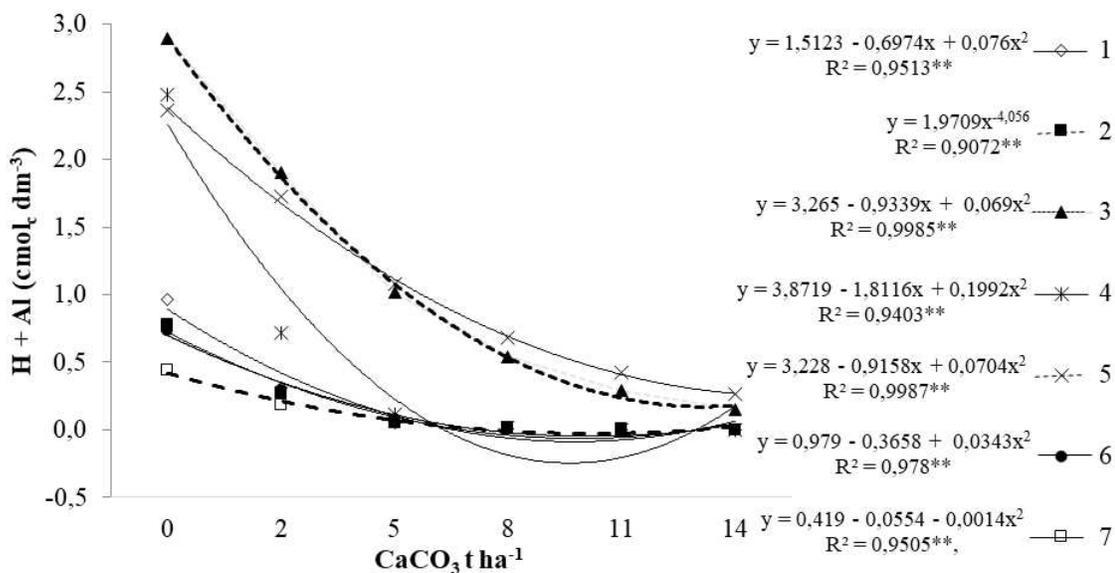


Figura 3. Neutralização de H + Al com doses de CaCO₃ aplicadas após 21 dias de incubação, para os sete solos avaliados.

Na Tabela 3 tem-se a necessidade de calagem para atingir o pH H₂O do solo a 5,5, 6,0 e 6,5, estimado pelo índice SMP. Esses dados foram obtidos com a incubação com doses crescentes de CaCO₃ equivalentes para neutralizar 0, 30, 60, 90, 120 e 150 % da acidez

potencial dos seis solos estudados (a amostra 7 foi excluída por atingir pH H₂O superior a 6,5, mesmo com 0% de neutralização da acidez potencial).

Primeiramente, com os dados de pH H₂O, pH SMP, obtidos com a incubação de doses crescentes de CaCO₃, foi determinada a NC para atingir pH H₂O 5,5, 6,0 e 6,5 para cada solo. Posteriormente, foram agrupados aos dados da NC para atingir pH H₂O 5,5 das seis amostras de solo e foi aplicada regressão linear múltipla para obter os dados da Tabela 3; o mesmo foi aplicado para os dados da NC para atingir pH H₂O 6,0 e 6,5.

Tabela 3. Necessidade de calcário para atingir o pH do solo a 5,5, 6,0 e 6,5, estimado pelo índice SMP

| Índice pH SMP | pH H ₂ O desejado | | |
|---|------------------------------|------|-------|
| | 5,5 | 6,0 | 6,5 |
| t ha ⁻¹ CO ₃ ⁽¹⁾ | | | |
| 4,5 | 3,48 | 7,84 | 12,28 |
| 4,6 | 3,29 | 7,64 | 12,05 |
| 4,7 | 3,09 | 7,45 | 11,82 |
| 4,8 | 2,90 | 7,25 | 11,59 |
| 4,9 | 2,70 | 7,06 | 11,35 |
| 5,0 | 2,51 | 6,86 | 11,12 |
| 5,1 | 2,31 | 6,67 | 10,89 |
| 5,2 | 2,11 | 6,47 | 10,66 |
| 5,3 | 1,92 | 6,27 | 10,43 |
| 5,4 | 1,72 | 6,08 | 10,19 |
| 5,5 | 1,53 | 5,88 | 9,96 |
| 5,6 | 1,33 | 5,69 | 9,73 |
| 5,7 | 1,14 | 5,49 | 9,50 |
| 5,8 | 0,94 | 5,30 | 9,27 |
| 5,9 | 0,75 | 5,10 | 9,03 |
| 6,0 | 0,55 | 4,91 | 8,80 |
| 6,1 | 0,36 | 4,71 | 8,57 |
| 6,2 | 0,16 | 4,52 | 8,34 |
| 6,3 | - | 4,32 | 8,11 |
| 6,4 | - | 4,12 | 7,87 |
| 6,5 | - | 3,93 | 7,64 |
| 6,6 | - | 3,73 | 7,41 |
| 6,7 | - | 3,54 | 7,18 |
| 6,8 | - | 3,34 | 6,95 |
| 6,9 | - | 3,15 | 6,72 |
| 7,0 | - | 2,95 | 6,48 |

⁽¹⁾ Calcário com PRNT 100%.

A porcentagem de neutralização da acidez potencial mediante incubação com doses crescentes de CaCO_3 , representada na Figura 3, demonstra que o tempo de incubação de 21 dias não foi suficiente para neutralizar completamente a acidez da amostra 5, por ter elevado poder-tampão. A amostra 1 foi neutralizada com quantidades de CaCO_3 equivalentes para neutralizar 60 % da acidez potencial.

Os dados da NC obtidos com os diferentes métodos estão representados na Tabela 4, e a diferença desses dados, tomando como referência o índice SMP, está representada na Tabela 5. Constata-se que a NC do método da neutralização de alumínio trocável e $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (MG) é próximo ao do índice SMP para atingir pH H_2O 5,5, porém há superestimação com o método V% e pH de referência. Para atingir pH H_2O 6,0 e 6,5, observa-se subestimação da NC com os três métodos avaliados. Para o método da saturação por bases, considerando V% = 65, 80 e 85, que correspondem a valores de pH em água de 5,5, 6,0 e 6,5, respectivamente, para solos dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (SBCS, 2004), o mais próximo corresponderia ao V% de 80 a 85. Os resultados da NC utilizando o pH de referência não têm muita coerência com as características químicas dos solos em estudo.

Tabela 4. Valores de necessidade de calagem (NC) nos sete solos da região oriental do Paraguai, de acordo com os diferentes métodos

| Amost. | Método MG ¹ | Método Saturação por Base (V%) ² | | | Método pH de Referência ³ | | | Método Índice de SMP ⁴ | | |
|--------|------------------------|---|------|------|--------------------------------------|------|------|-----------------------------------|------|------|
| | | 65 | 80 | 85 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | 5,5 | 6,0 | 6,5 |
| 1 | 0,21 | 1,53 | 2,38 | 2,66 | 0,06 | 0,51 | 1,22 | 0,00 | 3,93 | 7,64 |
| 2 | 0,00 | 0,06 | 1,17 | 1,54 | 0,19 | 0,89 | 1,96 | 0,00 | 3,15 | 6,72 |
| 3 | 0,00 | 1,68 | 3,14 | 3,63 | 1,60 | 3,20 | 4,90 | 0,55 | 4,91 | 8,80 |
| 4 | 0,00 | 1,40 | 2,39 | 2,73 | 0,60 | 1,40 | 2,60 | 0,00 | 4,12 | 7,87 |
| 5 | 0,00 | 1,78 | 3,10 | 3,54 | 1,60 | 3,20 | 4,90 | 0,55 | 4,91 | 8,80 |
| 6 | 0,04 | 1,04 | 1,80 | 2,06 | 0,00 | 0,03 | 0,80 | 0,00 | 3,34 | 6,95 |
| 7 | 0,00 | 0,34 | 1,15 | 1,42 | 0,08 | 0,69 | 1,64 | 0,00 | 2,76 | 6,25 |

¹ $Y * \text{Al}^{3+} + (X - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}))$, Y = 1 quando o teor de argila é <15%; 2 quando o teor de argila é 15-35%; e 3 quando o teor de argila é >35%. X = 2 para cultivo em geral.

² $(\text{Ve} - \text{Va}) \cdot \text{CTC} / 100$. Ve = saturação por bases esperada; Va = saturação por bases atual do solo; e CTC = total.

³ pH 5,5: $\text{NC} = -0,653 + 0,480\text{MO} (\%) + 1,937\text{Al} (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3})$; pH 6,0: $\text{NC} = -0,516 + 0,805\text{MO} (\%) + 2,435\text{Al} (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3})$;

e pH 6,5: $\text{NC} = -0,122 + 1,193\text{MO} (\%) + 2,713\text{Al} (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3})$.

⁴ Dados obtidos da Tabela 3.

Tabela 5. Diferença da necessidade de calagem tomando como referência o índice SMP para atingir pH em água de 5,5, 6,0 e 6,5, para os sete solos avaliados, em comparação com os demais métodos

| Amostra | Diferença Índice SMP 5,5 | | | Diferença Índice SMP 6,0 | | | Diferença Índice SMP 6,5 | | |
|---------|-----------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|
| | MG ¹ | V% ² | pH ref. ³ | MG ¹ | V% ² | pH ref. ⁴ | MG ¹ | V% ² | pH ref. ⁵ |
| 1 | -0,21 | -1,53 | -0,06 | 3,72 | 1,55 | 3,42 | 7,43 | 4,98 | 6,42 |
| 2 | 0,00 | -0,06 | -0,19 | 3,15 | 1,98 | 2,26 | 6,72 | 5,18 | 4,76 |
| 3 | 0,55 | -1,13 | -1,03 | 4,91 | 1,77 | 2,02 | 8,80 | 5,17 | 4,26 |
| 4 | 0,00 | -1,40 | -1,10 | 4,12 | 1,73 | 1,97 | 7,87 | 5,14 | 4,35 |
| 5 | 0,55 | -1,23 | -1,97 | 4,91 | 1,81 | 0,54 | 8,80 | 5,26 | 2,17 |
| 6 | -0,04 | -1,04 | -0,07 | 3,30 | 1,54 | 2,68 | 6,91 | 4,89 | 5,36 |
| 7 | 0,00 | -0,34 | -0,08 | 2,76 | 1,61 | 2,07 | 6,25 | 4,83 | 4,61 |
| Média | 0,12 | -0,96 | -0,64 | 3,84 | 1,71 | 2,14 | 7,54 | 5,06 | 4,56 |

¹ $Y * Al^{3+} + (X - (Ca^{2+} + Mg^{2+}))$, Y = 1 quando o teor de argila é <15%, 2 quando o teor argila é 15-35% e 3 quando o teor de argila é >35%. X = 2 para cultivo em geral.

² $(Ve - Va) \cdot CTC / 100$. Ve = saturação por bases esperada; Va = saturação por bases atual do solo; e CTC = total.

³ pH 5,5: $NC = -0,653 + 0,480MO (\%) + 1,937Al (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3})$.

⁴ pH 6,0: $NC = -0,516 + 0,805MO (\%) + 2,435Al (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3})$.

⁵ pH 6,5: $NC = -0,122 + 1,193MO (\%) + 2,713Al (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3})$.

7.3 CONCLUSÕES

- A incubação das amostras de solo com doses crescentes de carbonato de cálcio com 21 dias não foi suficiente para neutralizar totalmente a acidez potencial do solo com elevado poder-tampão.
- O método de Minas Gerais é o mais adequado para determinar a NC para atingir pH H₂O 5,5 e o de saturação por bases, para atingir pH H₂O 6,0.
- A necessidade de calagem para atingir pH H₂O = 6,0 pelo método do SMP, obtido a partir da incubação dos solos com CaCO₃, indica valores máximos para atingir 80% de saturação por bases.

7.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, L.F.R.; DUARTE, R.W.; MACHADO, F.; BEZERRA, N.; NASCIMENTO, I.; DA SILVA, W. Incubação de argissolo vermelho amarelo distrófico com aplicação de doses crescentes de CaCO₃ para neutralização da acidez trocável. **Revista Agroecossistemas**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 66-73, out. 2014

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solo do Instituto Agrônomo de Campinas.** Campinas, Instituto Agrônomo, 1986. 94 p. (Boletín técnico, 106).

CUBILLA, M.M. **Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girasol bajo el sistema de siembra directa en el Paraguay / M. M. Cubilla A. /et al/.** Asunción: CAPECO, 2012. 88 p.

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO; C.W. InfoStat versión 2017. **Grupo InfoStat**, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

FATECHA, D.A. **Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de Cal Agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay.** 2004. 88 p. Tesis como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. DSOT, FCA, UNA. San Lorenzo. Paraguay, 2004.

FRADE JUNIOR, E.F.; BRITO, E.S.; ORTEGA, G.P.; MATTAR, E.P.L. Neutralização química de acidez em solos sedimentares da Amazônia Ocidental, Acre. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 1566-1572, 2013.

GAMA, M.A.P.; PROCHNOW, L.I. & GAMA, J.R.N.F. Avaliação da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos do Nordeste Paraense. In: RESUMOS DA FERTBIO, Caxambu, 1998. Anais. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1998. p.544

LANA, M.C.; FRADOLOSO, J.F.; FEY, R.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. 2016. **Análise química de solo e de tecido vegetal: Metodologias analíticas.** UNIOESTE. 2ª.Ed. Marechal Cândido Rondon. 153 p.

LOPES, A.S.; GUIMARÃES, P.G. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 4ª aproximação, Lavras, **CFSEMG** – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1989. 176p.

LOPEZ, O.; GONZALEZ, E.; DE LIAMAS, P.; MOLINAS, A.; FRANCO, E.; GARCIA, S; RIOS, E. 1995. Estudio de Reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay. Proyecto de Racionalización del uso de la tierra. **MAG/SSERNMA/Banco Mundial.** Asunción, Paraguay.

LOPEZ, A.S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L.R.G. Acidez do solo e calagem. 3ª ed. Ver. / AS. São Paulo, **ANDA** 1990. 22 p. (Boletim Técnico, 1).

LUCHESE, E.B.; FAVERO, L.O.B.; LENZI, E. 2002. **Fundamentos da Química do Solo: teoria e prática**. Freitas Bastos Editora. 2a.Ed. Rio de Janeiro. 2002. 182 p.

MALAVOLTA, E.A. prática da calagem. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRICOLAS, Piracicaba, 1984. Anais. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 313-357.

Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina/**Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10 ed. Porto Alegre, 2004.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura – **FAO**. Paraguay, Geografía y población. Disponível em:

http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/Paraguay/indexesp.stm. Acesso em: 31 jun. 2017.

PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L.; MIYAZAWA, M. Determinação indireta da acidez extraível do solo (H + Al) por potenciometria com a solução tampão SMP. **Arq. Biol. Technol.**, 39:307-312, 1996.

RODRIGUES, L.F.; DUARTE, R.W.; NUNES, F.M.; Incubação de argissolo-vermelho amarelo distrófico com aplicação de doses crescentes de CaCO₃ para neutralização da acidez trocável. **Agro ecossistemas**, v.6,n. 1, p. 66-73, 2014.

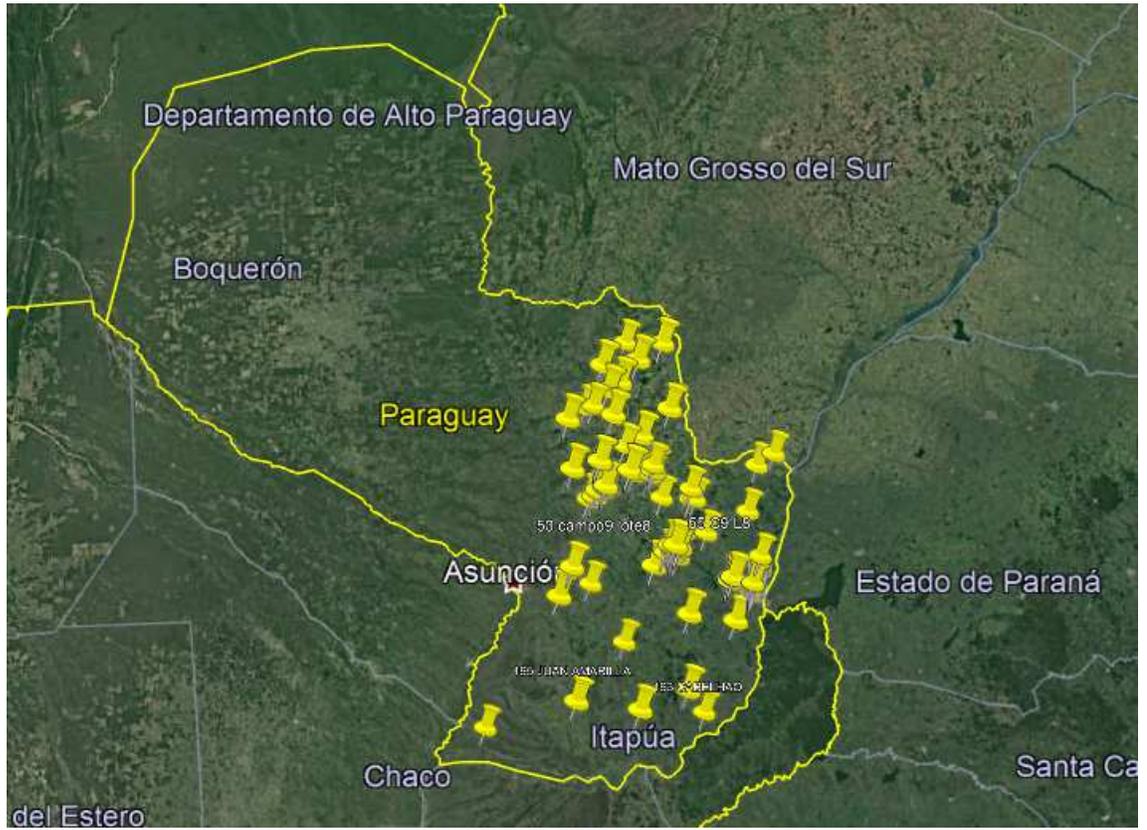
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e de calagem para os estados de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / **SBCS**. - 10 ed. – Porto Alegre, 2004.

VITTI, G.; & PROCHNOW, L.I. Curso de nutrição mineral de plantas. Brasília: **ABEAS**, 1996. 58p. (ABEAS. Curso de Especialização por Tutoria à Distância. Módulo 3: Corretivos - calcário e gesso: características, métodos de recomendação e uso; Módulo 4: Adubos: obtenção, características e uso.)

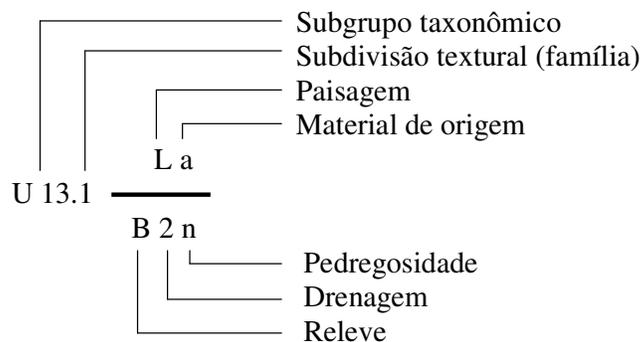
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se:

- Ampliar o estudo, considerando maior quantidade de pontos de amostragem de solos com alto conteúdo de matéria orgânica para ter maior representatividade na equação ($H + Al$ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = $25,6667109 - 3,6383576 \text{ pH SMP} + 0,53451408 \text{ MO} + 0,75536882 \text{ Al}^{+3}$), para estimação da acidez potencial a partir do pH SMP, considerando também as variáveis matéria orgânica e alumínio trocável do solo.
- Ampliar o estudo, considerando maior quantidade de pontos de amostragem de solos para realizar a incubação dos solos com CaCO_3 , para melhorar a tabela da necessidade de calagem a partir do índice SMP.

9 APÉNDICE 01. Pontos de amostragem de solos

10 ANEXO 01. Legenda da classificação taxonômica.



| Subdivisão textural | Paisagem | Origem | Declividade | Drenagem | Pedregosidade |
|----------------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------------|---------------|
| 1: areia | S: serrania | a: arenito | A: 0-3% | 1: excessiva | n: nula |
| 2: franco grossa | L: lomada | b: basalto | B: 3-8% | 2: bom | m: moderada |
| 3: franco fina | V: vale | c: calcário | C: 8-15% | 3: moderado | f: forte |
| 4: argila fina | Ll: llanura | d: granito | D: >15% | 4: pobre | |
| 5: argila muito fina | | e: intrusão alcalina | | 5: muito pobre | |
| | | f: sedimento aluvial | | 6: inundação | |