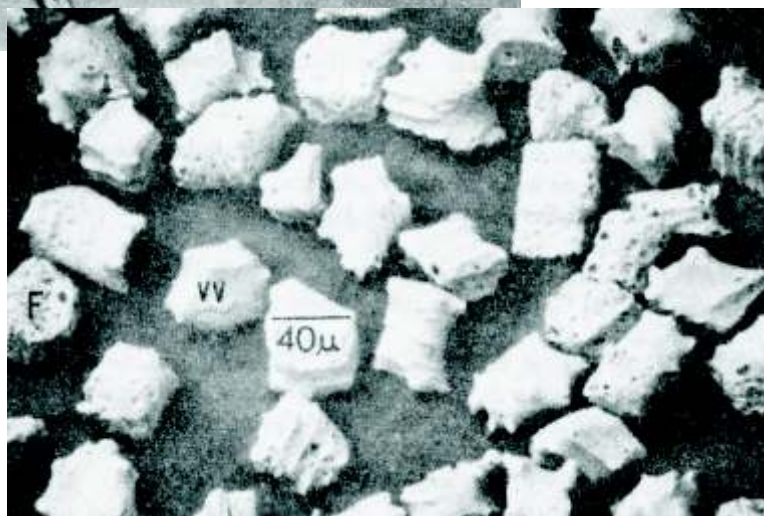
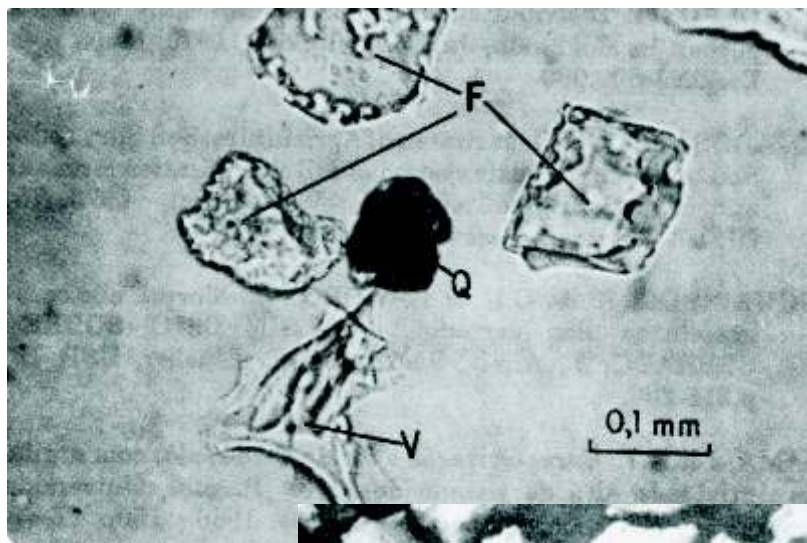


Manejo de Solos Ácidos do Estado do Acre



República Federativa do Brasil

Fernando Henrique Cardoso
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Marcus Vinícius Pratini de Moraes
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa

Conselho de Administração

Márcio Fortes de Almeida
Presidente

Alberto Duque Portugal
Vice-Presidente

Dietrich Gerhard Quast
José Honório Accarini
Sérgio Fausto
Urbano Campos Ribeiral
Membros

Diretoria-Executiva da Embrapa

Alberto Duque Portugal
Diretor-Presidente

Bonifácio Hideyuki Nakasu
Dante Daniel Giacomelli Scolari
José Roberto Rodrigues Peres
Diretores-Executivos

Embrapa Acre

Ivadir Soares Campos
Chefe-Geral

Milcíades Heitor de Abreu Pardo
Chefe-Adjunto de Administração

João Batista Martiniano Pereira
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Evandro Orfanó Figueiredo
Chefe-Adjunto de Comunicação, Negócios e Apoio



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 0104-9046

Julho, 2002

Documentos 79

Manejo de Solos Ácidos do Estado do Acre

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Rio Branco, AC
2002

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Acre

Rodovia BR-364, km 14, sentido Rio Branco/Porto Velho

Caixa Postal, 321

Rio Branco, AC, CEP 69908-970

Fone: (68) 212-3200

Fax: (68) 212-3284

<http://www.cpafac.embrapa.br>

sac@cpafac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Murilo Fazolin*

Secretária-Executiva: *Suely Moreira de Melo*

Membros: *Ana da Silva Ledo, Celso Luís Bergo, Claudenor Pinho de Sá, Cleísa Brasil da Cunha Cartaxo, Edson Patto Pacheco, Elias Melo de Miranda, Evaldo Muñoz Braz, Flávio Araújo Pimentel, Hélia Alves de Mendonça, João Alencar de Sousa, José Tadeu de Souza Marinho, Judson Ferreira Valentim, Lúcia Helena de Oliveira Wadt, Luís Cláudio de Oliveira, Marcílio José Thomazini*

Revisores deste trabalho: *João Batista Martiniano Pereira (ad hoc), Evaldo Muñoz Braz*

Supervisão editorial: *Claudia Carvalho Sena / Suely Moreira de Melo*

Revisão de texto: *Claudia Carvalho Sena / Suely Moreira de Melo*

Normalização bibliográfica: *Alexandre César Silva Marinho*

Tratamento de ilustrações: *Fernando Farias Sevá*

Editoração eletrônica: *Fernando Farias Sevá*

1ª edição

1ª impressão (2002): 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

Embrapa Acre.

Wadt, Paulo Guilherme Salvador.

Manejo de solos ácidos do Estado do Acre / Paulo Guilherme Salvador
Wadt. – Rio Branco : Embrapa Acre, 2002.

28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 79).

1. Solo Ácido – Manejo – Acre. I. Título. II. Série.

CDD 631.42

Autor

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Eng. agrôn., D.Sc., Embrapa Acre, Caixa Postal 321, 69908-970, Rio Branco, AC, paulo@cpafac.embrapa.br

Apresentação

Este documento representa a consolidação de estudos sobre os solos do Acre, realizados por pesquisadores de diversas instituições, com destaque para a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade Federal de Viçosa e diversas Unidades da Embrapa.

Os solos do Acre apresentam características químicas particulares, como elevada acidez, altos teores de cálcio e de alumínio trocável, que os diferenciam dos solos dos demais estados amazônicos. Contudo, os altos teores de alumínio não apresentam os efeitos fitotóxicos esperados, mesmo para as plantas sensíveis a este elemento.

Este documento aponta para o método da saturação de bases como o mais indicado na recomendação de calagem para as principais culturas agrícolas do Estado. Tomando-se como base o grau de tolerância de cada espécie vegetal à acidez do solo e o tipo de argilas predominantes, foram elaboradas tabelas que orientarão os técnicos locais nas recomendações.

Desta forma, a Embrapa Acre almeja proporcionar ao setor produtivo agrícola do Estado do Acre subsídios técnicos que assegurem a aplicação da calagem de uma maneira mais eficiente.

João Batista Martiniano Pereira
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Sumário

Introdução	9
Os Solos do Acre	10
O Ambiente Solos no Estado do Acre	11
O Alumínio como Componente da Acidez nos Solos do Acre	12
CrITÉrios para a Estimativa da Necessidade de Calagem para o Estado do Acre	15
Cálculo da Necessidade de Calagem para as Principais Culturas do Estado do Acre	20
Referências Bibliográficas	24

Manejo de Solos Ácidos do Estado do Acre

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Introdução

A agricultura e a pecuária no Estado do Acre expandiram-se nas últimas décadas à custa do desmatamento e da substituição da vegetação nativa por pastagens e culturas comerciais. Este processo de desmatamento, de forma geral, tende a deixar no solo quantidades suficientes de nutrientes, capazes de suportar o crescimento das culturas por alguns anos.

No entanto, não havendo a reposição dos nutrientes exportados e perdidos no processo de exploração, a produtividade do sistema diminuirá a ponto de tornar-se inviável, fazendo com que a área seja abandonada para pousio, por períodos de 5 a 10 anos. Levantamentos recentes realizados sob a cobertura vegetal no Estado indicam que a área de pousio provavelmente ocupa a maior extensão de áreas antrópicas.

Assim, a continuidade da exploração agrícola nas áreas já desmatadas, evitando-se novas derrubadas na cobertura florestal nativa, implica na necessidade de repor os nutrientes perdidos pelo sistema, com o intuito de manter a fertilidade dos solos explorados em patamares suficientes para sustentar a exploração agrícola ou pecuária em níveis economicamente viáveis.

Basicamente, três medidas são necessárias para o manejo adequado da fertilidade dos solos: medidas conservacionistas, medidas corretivas e medidas de manutenção.

As primeiras referem-se ao conjunto de técnicas e ações que devem ser conduzidas com o intuito de minimizar as perdas de nutrientes nas áreas exploradas e constituem-se nas medidas mais importantes, sem as quais qualquer sistema de exploração agrícola tornar-se-á inviável em poucos anos. Dentre estas técnicas e ações destacam-se o plantio em nível, o terraceamento e as técnicas de plantio direto, entre outras.

As medidas de manutenção dizem respeito principalmente à reposição dos nutrientes exportados pelas culturas, no que se refere sobretudo à reposição daqueles perdidos por processos de erosão, volatilização ou lixiviação e,

também, ao fornecimento dos nutrientes em quantidades necessárias para o crescimento das plantas cultivadas. Assim, a manutenção da fertilidade do solo faz-se normalmente por meio dos seguintes processos de adubação: mineral (fertilizantes minerais), orgânica (fertilizantes orgânicos) ou verde (cultivo de plantas com características especiais, como as leguminosas, que são capazes de adicionar nitrogênio no sistema por meio de processo de fixação simbiótica).

As medidas corretivas referem-se ao condicionamento do solo para que suas características químicas sejam corrigidas a fim de produzir as condições necessárias ao crescimento vegetal e otimizar os processos físico-químico e biológico que atuam no solo.

São conhecidas diversas técnicas de correção do solo, algumas voltadas para a correção de solos ácidos, outras para a correção de solos alcalinos e salinos e outras específicas para determinados sistemas agrícolas, como é o caso do cultivo do arroz inundado.

No Estado do Acre, o problema mais relevante diz respeito à correção de solos ácidos, já que o clima não propicia condições para a formação de solos alcalinos ou de solos salinos e todos os sistemas de produção predominantes são os de sequeiro.

Neste sentido, o objetivo deste manual técnico é apresentar as principais características químicas dos solos ácidos do Estado do Acre e recomendar técnicas para a correção destas limitações.

Os Solos do Acre

Para compreender a acidez dos solos do Acre, deve-se considerar que estes apresentam uma série de propriedades diferenciais em relação aos demais solos brasileiros, sendo necessário tratá-los à parte.

Os solos brasileiros são reconhecidos pelo predomínio de argilas de baixa atividade (solos de baixa CTC) e de carga variável (solos com argilas de ~~potencial eletroquímico constante~~ e ~~pequeno conteúdo de óxidos~~¹ de ferro (hematitas e goetitas), de alumínio (gibbsitas) e de minerais do tipo 1:1 (caulinitas).

Por sua vez, uma grande extensão do território acreano está constituída por solos onde predominam as argilas de alta atividade e de carga permanente,

¹ O termo óxido neste trabalho é usado indistintamente para denominar os óxidos e hidróxidos de ferro ou de alumínio.

baixo a médio conteúdo de óxidos de ferro, ausência de gibbsita ou outros óxidos cristalinos de alumínio. Apresentam, ainda, esmectitas (montmorilonitas e vermiculitas interestratificadas) e quantidade variável de minerais amorfos de alumínio. Isto significa que sob o ponto de vista mineralógico, estes solos aproximam-se das propriedades identificadas nos solos das regiões temperadas. Mesmo na região mais a leste do Estado, onde existem solos mais desenvolvidos (Latosolos), encontram-se vestígios de algumas destas características. Por exemplo, os Latossolos presentes nesta região do Estado do Acre não possuem gibbsita em sua fração argila e apresentam vestígios de minerais 2:1 e, possivelmente, de sílica coloidal² na fração argila.

Estas diferenças mineralógicas impõem a estes solos uma série de características químicas e físicas que afetam suas propriedades e reações, razão pela qual é necessário compreender melhor a dinâmica química destes solos para adotar técnicas adequadas de correção da acidez.

O Ambiente Solos no Estado do Acre

O Estado do Acre insere-se em três unidades morfoestruturais: Depressão Amazônica, Planalto Rebaixado e Planície Amazônica. Na Planície Amazônica, predominam os solos característicos das várzeas dos rios que cortam o Estado, cujas principais ocorrências são os Gleissolos e Neossolos Flúvicos.

No Planalto Rebaixado, que compreende a região de Cruzeiro do Sul e a região leste e sudeste do Estado, predominam os Argissolos, os Plintossolos e alguns Latossolos.

Finalmente, na Depressão Amazônica, que compreende a maior parte do Estado, principalmente em sua região central, particularmente identificada pela Depressão Rio Acre/Javari, encontram-se os solos inicialmente classificados como Cambissolos e Argissolos.

Para fins práticos, pode-se dizer que a leste do Vale do Rio Acre e na região de Cruzeiro do Sul (bacia do Rio Purus), encontra-se o Planalto Rebaixado e, nos vales dos rios, a Planície Amazônica. Em todo restante do Estado situa-se a Depressão Amazônica.

² Por definição, os Latossolos são corpos naturais de solos onde houve um intenso processo de dessilicação (perda de sílica coloidal ou quartzo na fração argila) e, portanto, a presença de sílica coloidal na fração argila constitui uma anormalidade deste grupo de solos.

Os solos destas três regiões geomorfológicas do Estado apresentam características mineralógicas que os diferenciam das classes de solos que ocorrem em outras regiões do País. Porém, é na Depressão Amazônica que estas características diferenciais tornam-se mais evidentes, a ponto de levantamentos recentes indicarem a ocorrência de solos com alta atividade de argila, grande parte de caráter álico, devendo ocorrer Vertissolos, Luvisolos, Alissolos, Plintossolos Álicos e Cambissolos Álicos e, possivelmente, Chernossolos. Estes solos são de alta fertilidade natural (elevada CTC, teores médio a alto de cálcio e magnésio trocáveis), porém com baixo a alto teores de alumínio trocável e ainda com sérios impedimentos físicos ao uso agrícola, principalmente devido à elevada capacidade de expansão e contração das esmectitas.

O Alumínio como Componente da Acidez nos Solos do Acre

Uma das conseqüências práticas destas diferenças mineralógicas nos solos do Estado do Acre resulta na ocorrência de solos com elevada acidez (baixos valores de pH), aliados a elevados teores de cálcio e de alumínio trocável³. Entretanto, uma conseqüência importante é que os teores de alumínio trocável não possuem os efeitos fitotóxicos que seriam esperados com base nos valores que estes apresentam no solo, mesmo para variedades de plantas sensíveis ao alumínio. Para solos de Sena Madureira, com teor de alumínio superior a $10 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$, não se verifica nenhum efeito benéfico de neutralização deste elemento.

A baixa fitotoxicidade do alumínio trocável pode ser conseqüência do abaixamento da atividade de Al na solução, por causa dos altos teores de cálcio e de magnésio trocáveis, comuns mesmo nos solos do sudeste acreano onde a CTC do solo é menor em comparação com os solos da região central e oeste do Estado. Este efeito poderia ser explicado por processos semelhantes ao que ocorre com a aplicação do gesso agrícola no solo, onde a toxidez é controlada sem haver necessariamente a neutralização do alumínio trocável.

Contudo, o mecanismo que melhor poderia explicar esta baixa fitotoxicidade está relacionado à força de retenção do alumínio interestratificado e do alumínio amorfo junto às superfícies de troca catiônica: como a força de atração exercida pela superfície sobre os íons de alumínio na solução seria

³ O termo alumínio trocável será utilizado para identificar os teores de alumínio extraível destes solos com solução salina concentrada (KCl 1 mol L⁻¹).

superior à força de atração exercida sobre outros tipos de cátions, como o cálcio e o magnésio, os íons de menor valência (cálcio e magnésio) ficariam muito mais livres na solução do solo que os íons de alumínio. Preconiza-se, desta forma, que a distribuição dos íons de alumínio ao longo da dupla camada difusa não seria uniforme nos solos acreanos, diferente do que ocorre nos solos de baixa CTC ou com predomínio de caulinitas e óxidos de ferro e de alumínio. Assim, podem-se esperar dois comportamentos bastante distintos para o alumínio “trocável”, dependendo dele estar absorvido em uma superfície de elevada eletronegatividade (caso dos solos do Estado do Acre) ou de baixa eletronegatividade (maioria dos solos brasileiros) (Fig. 1).

Nos solos com predomínio de argilas de baixa atividade, embora haja atração pelo alumínio solúvel, este se distribui em proporções constantes entre a superfície adsorvente e a solução do solo, de forma que qualquer mudança em um destes compartimentos rapidamente é compensada com o restabelecimento do equilíbrio. Assim, o alumínio retirado do sistema pela absorção radicular é rapidamente repostado pelo alumínio trocável, situação esta em que o alumínio apresenta alta atividade. Em outras palavras, significa dizer que a força de adsorção exercida pela superfície adsorvente não é suficiente para reter o alumínio junto a sua superfície, de forma que estes íons ficariam movimentando-se próximos à superfície pela ação combinada da energia térmica e eletrostática, sendo distribuídos na camada difusa de acordo com a Lei de Boltzmann.

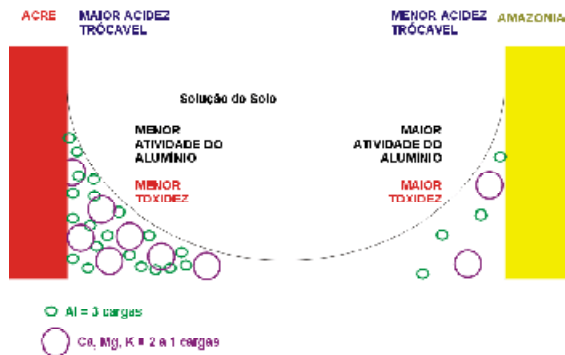


Fig. 1. Modelo da dupla camada difusa de Stern para explicar as diferenças de fitotoxidez do alumínio entre solos ácidos do Acre e demais regiões da Amazônia.

Por sua vez, no caso dos solos do Estado do Acre, como a superfície adsorvente possui elevada eletronegatividade atrai com maior força os íons adsorvidos. Nesta situação, cátions de menor raio iônico hidratado e maior

valência são adsorvidos, preferencialmente, próximos à superfície (Fig. 1). Os cátions assim adsorvidos estão em um equilíbrio muito lento com o restante dos cátions trocáveis e apresentam uma menor atividade na solução do solo. Outros cátions de maior raio iônico hidratado e menor valência são expulsos para a solução do solo, onde apresentam maior atividade. Estes mecanismos, na prática, diminuem a quantidade de alumínio que pode atingir o sistema radicular das plantas e, portanto, seu efeito fitotóxico.

Esta distorção no teor de alumínio trocável, como um índice da acidez do solo, é agravada porque o KCl, utilizado como extrator, provoca a dissolução do alumínio amorfo e do alumínio interestratificado, que são formas não trocáveis e, portanto, apresentam um equilíbrio muito tênue com a solução do solo.

Por estes motivos, o teor de alumínio trocável nos solos do Estado do Acre não representa uma característica relacionada à fertilidade. A consequência prática imediata é que a estimativa da necessidade de calagem pelo método do alumínio trocável não representará a quantidade adequada de calcário indicada para corrigir a acidez do solo e melhorar a produtividade vegetal.

A acidez ativa (pH) pode não ser tão prejudicial. Os baixos valores de pH encontrados nestes solos são resultantes da hidrólise do alumínio, que controla o pH do solo. Entretanto, como estes solos apresentam concomitantemente elevados teores de cálcio trocável, mesmo a baixos valores de pH não há prejuízos para o desenvolvimento radicular, em razão da elevada atividade de cálcio em solução do solo que pode compensar a acidez. Indiretamente, a elevada acidez resulta em menor custo metabólico das plantas para promover a solubilização dos nutrientes.

A correção da acidez deste solo a valores próximos à neutralidade pode conduzir a um sério problema nutricional. A presença de quartzo na fração argila destes solos, inclusive de Latossolos do Estado do Acre, pode promover a fixação do magnésio presente em solução, causando a deficiência deste nutriente.

Em resumo, o alumínio trocável não deve ser utilizado como um índice de acidez nos solos acreanos e, provavelmente, se outras condições não forem limitantes, é possível que a correção do solo não seja necessária. Em outras regiões do planeta este fenômeno também é observado: em alguns solos típicos da América Central (Andepts e Hydric dystandepts – solos com características ândicas e solos ândicos, distróficos e mal drenados), mesmo em situações de pH do solo abaixo de 5,5 não se recomenda a adição de bases para elevá-lo. Nestes solos, a baixa razão entre a quantidade de

alumínio trocável/quantidade de cálcio trocável é suficiente para manter um ambiente químico favorável na solução do solo que não restringe o crescimento radicular e, quando efetuada a calagem, nenhum benefício é observado na produtividade vegetal.

Crítérios para a Estimativa da Necessidade de Calagem para o Estado do Acre

No Brasil existem três princípios gerais normalmente adotados para a estimativa da necessidade de calagem dos solos: o princípio da neutralização do alumínio trocável + fornecimento de cálcio e magnésio, o princípio da elevação da saturação de bases e o princípio da elevação do pH do solo.

O princípio da elevação do pH do solo é utilizado nos Estados do Sul do País (Rio Grande do Sul e Santa Catarina), sendo conhecido como o método do pH SMP. Este método é recomendado para solos com requerimento de calagem acima de 4 Mg ha^{-1} ($1 \text{ Mg ha}^{-1} = 1 \text{ t ha}^{-1}$), pH menor que 5,8, teor de matéria orgânica menor que 10 dag kg^{-1} e que contenham apreciáveis quantidades de alumínio trocável. Por este método, usa-se uma solução tampão para avaliar a depressão que sofre o pH da solução tamponada quando em contato com o solo. Esta depressão, dada pelo índice SMP, corresponde a uma certa quantidade de calcário que neutraliza as principais fontes de acidez do solo. O índice SMP foi calibrado com as necessidades de calcário para elevar o pH do solo a 5,5; 6,0 ou 6,5. No Rio Grande do Sul e Santa Catarina este método não é recomendado para o caso de solos arenosos, nos quais pode-se estabelecer uma recomendação com bases nos teores de alumínio trocável e de matéria orgânica do solo.

O mesmo princípio da elevação do pH do solo é utilizado em São Paulo e outras unidades da federação, porém, baseado no critério da elevação da saturação de bases. Neste caso, a solução tampão SMP é utilizada para estimar potenciometricamente a acidez potencial do solo ($\text{H} + \text{Al}$). A acidez potencial pode também ser determinada por titulometria após extração com solução de acetato de cálcio 1 mol L^{-1} a pH 7, sendo este valor utilizado no cálculo da saturação de bases, principalmente na região dos Cerrados. A necessidade de calagem é então estimada com base na necessidade de corretivo para elevar a saturação de bases do solo a valores previamente definidos, em estudos de correlação entre valores de pH e saturação de bases. Assim, determina-se o valor em que se deve elevar ou manter a

saturação de bases do solo para obter determinados valores de pH, normalmente, entre 6,0 e 6,5.

Finalmente, o princípio da neutralização do alumínio trocável + fornecimento de cálcio e magnésio é o método adotado oficialmente pela Embrapa e sugerido por diversas comissões estaduais de fertilidade do solo, embora, de forma geral, este princípio contemple inúmeras variações metodológicas para o cálculo da estimativa da necessidade de calagem. Este método é reconhecido por estimar quantidades de corretivo inferiores àquelas determinadas pelo método da saturação de bases.

No geral, todas as recomendações de calagem fundamentam-se no princípio de elevar o pH do solo a 5,5 ou valores superiores. A elevação do pH do solo a valores acima de 5,5 significa, em termos práticos, a neutralização do alumínio trocável. Em outras palavras, o que se pretende fundamentalmente é neutralizar o alumínio trocável, eliminando da solução do solo este íon.

Estes princípios utilizados para a estimativa da necessidade de calagem apresentam limitação de uso no Acre em razão das diferenças mineralógicas já apresentadas.

O método baseado no princípio da neutralização do alumínio trocável + fornecimento de cálcio e magnésio tem como principal limitação o fato de que o extrator utilizado ($\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$), embora seja amplamente indicado para solos com predomínio de óxidos e minerais de argila do tipo 1:1, quando usado em solos com alta presença de minerais amorfos de alumínio, com presença de alumínio interestratificado em minerais de argila do tipo 2:1 ou na presença de solos como minerais de argila do tipo 2:2, como é a situação de grande parte dos solos do Acre, dificilmente proporcionará resultados confiáveis, uma vez que uma fração significativa do alumínio extraído pelo $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ não estará em equilíbrio com a solução do solo e, portanto, conduzirá a avaliações imprecisas da necessidade de calagem.

De forma semelhante, o método baseado no princípio da elevação da saturação de bases também pode não ser adequado, já que parte da acidez extraída com acetado de cálcio a pH 7,0 é resultante da presença de formas não trocáveis de alumínio. Nesse caso, tem-se uma superestimativa da necessidade de calagem por subestimar a saturação de bases efetiva, principalmente considerando que o índice da saturação de bases na solução do solo irá variar em função da distância da superfície adsorvente, ao longo da dupla camada difusa (Fig. 1).

O uso de solução tampão SMP para avaliar a acidez destes solos ainda não foi testado, porém, provavelmente também poderá conduzir à superestimativa da necessidade de calagem, visto que a acidez não está estritamente ligada à presença de níveis de alumínio fitotóxico na solução do solo e, portanto, sua correção pouco poderá contribuir para o melhor desenvolvimento das plantas.

À luz dos conhecimentos atuais, não existe um método confiável para a estimativa da necessidade de calagem nos solos acreanos. Contudo, com base no modelo da dupla camada difusa de Stern, o método da saturação de bases poderia ser o mais indicado desde que os limites mínimos de saturação de bases fossem revistos para valores menores que os adotados em outras regiões do País. A vantagem deste método é que ele pode ser trabalhado não com ênfase na elevação do valor do pH do solo, como originalmente feito em sua concepção, mas no equilíbrio da relação $Al/(Ca+Mg)$, procurando-se elevar a saturação de bases a valores que possibilitem uma saturação de alumínio de no máximo 20% para espécies vegetais com baixa tolerância à acidez do solo.

Para os solos do Estado do Acre, a relação entre pH e saturação de bases é fraca ou inexistente (Fig. 2). No entanto, em valores de saturação de bases maiores que 50% existem poucas possibilidades da saturação de alumínio ser superior a 20%. Isto sugere que se for tomado o valor de saturação de bases (V%) como referência, tem-se uma variável de fácil obtenção para o cálculo da necessidade de calagem, sem grandes alterações na rotina laboratorial.

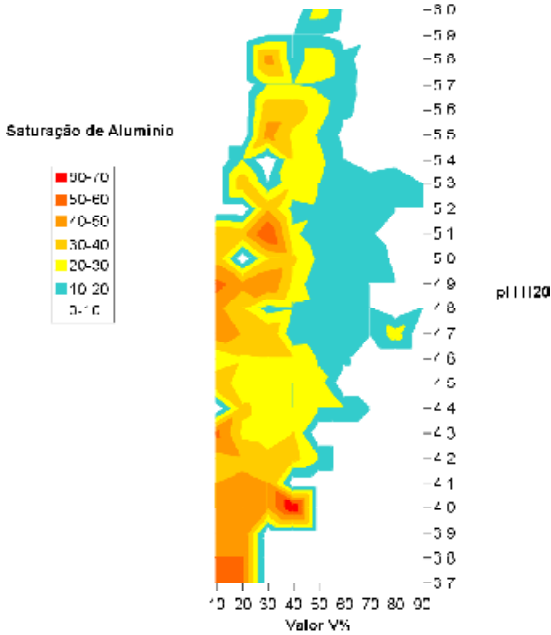


Fig. 2. Relacionamento entre a saturação de alumínio em função dos valores de pH em água (pH H₂O) e saturação de bases (valor V%), em 965 amostras da camada superficial de solos do Estado do Acre.

Em razão destas considerações, a necessidade de calagem para as principais culturas agrícolas no Estado pode ser estabelecida em função do grau de tolerância de cada espécie vegetal à acidez do solo e do tipo de argilas predominantes, que podem ser estimadas pelo valor da CTC do solo. Preconiza-se que quanto maior for a CTC, maior será a proporção do alumínio retido na camada de Stern e menor a atividade deste íon na solução do solo para um mesmo valor de saturação de bases. Baseando-se nestas premissas pode-se então recomendar a calagem com base no valor desejado para a saturação de bases (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de saturação de bases adequados para diferentes culturas, nas condições edáficas do Acre.

Cultura	Latossolos ou solos com textura areia na camada superficial amostrada	Demais solos com CTC < 10 cmol_(cat) kg⁻¹ solo na camada amostrada	Demais solos com CTC > 10 cmol_(cat) kg⁻¹ solo na camada amostrada
Abacate	50	40	30
Abacaxi	50	40	35
Açaí	60	50	40
Acerola	70	60	50
Algodão*	60	50	45
Amendoim	60	50	40
Arroz de sequeiro	50	40	40
Arroz irrigado	50	40	30
Banana*	70	60	50
Batata doce*	60	50	40
Batata*	50	40	40
Cacau	50	40	30
Café	60	50	40
Caná-de-açúcar	60	50	40
Cará e inhame*	60	50	40
Citros	70	60	50
Coco	50	40	30
Crotalárea	70	60	50
Cupuaçu	50	40	30
Feijão	60	50	40
Girassol	70	60	50
Goiaba	70	60	50
Gramíneas	40	35	25
Guaraná	50	40	30
Leguminosas em geral	50	40	30
Mamão	80	70	50
Mandioca	40	30	20
Manga	60	50	40
Maracujá	70	60	50
Milho	50	45	40
Pimenta-do-reino	70	60	50
Pimenta longa	50	40	30
Pupunha	50	40	30
Seringueira*	45	35	25
Soja	50	45	40

* Culturas exigentes em magnésio. Se a relação Ca/Mg no solo for maior que três, usar calcário dolomítico.

Cálculo da Necessidade de Calagem para as Principais Culturas do Estado do Acre

Com base nas considerações feitas, a necessidade de calagem para o Estado do Acre pode ser determinada a partir do método da saturação de bases.

Por este método, a quantidade de calcário a ser aplicada é determinada pela seguinte expressão:

$$NC = CTC \times (Vd - Va)/100$$

Onde:

NC = necessidade de calagem para a cultura, em $Mg \text{ ha}^{-1}$, para uma incorporação a 20 cm e calcário de PRNT igual a 100%.

CTC = capacidade de troca catiônica do solo, calculada pela soma aritmética dos teores de K, Ca, Mg e Al+H do solo, todos em $cmol_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$ solo⁴.

Vd = saturação de bases desejada no solo, de acordo com a cultura agrícola e o tipo de solo (Tabela 1).

Va = saturação de bases atual no solo, calculada pela expressão: $Va = SB \times 100/CTC$.

SB = soma de bases atual do solo, calculada pela soma aritmética dos teores de K, Ca, Mg do solo, todos em $cmol_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$ solo.

A quantidade de calcário a ser aplicada ao solo dependerá ainda da profundidade de incorporação e do PRNT do calcário.

$$NC \text{ real} = NC \times 100/PRNT$$

$$NC \text{ real} = NC \times PROF \times 5/PRNT$$

Se a profundidade de incorporação for de 20 cm, deve-se usar a primeira expressão para calcular a necessidade de calagem real; se a profundidade de incorporação for diferente de 20 cm, usa-se a segunda expressão.

⁴ Se os valores de K forem expressos em mg/kg de solo, dividir o teor de K por 390 antes de efetuar a operação. Se K for expresso em $cmol_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$ solo nenhuma transformação é necessária.

Onde:

NC real = necessidade de calagem.

NC = necessidade de calagem para a cultura, em t/ha, para uma incorporação a 20 cm e calcário de PRNT igual a 100%.

PRNT = poder de reação e de neutralização do calcário comercial a ser usado na calagem.

PROF = profundidade efetiva de incorporação do calcário.

O calcário deve ser aplicado a lanço, de maneira mais uniforme possível, e incorporado ao solo, com ajuda de grade aradora, preferencialmente no início da estação seca do ano. Se forem recomendadas doses superiores a cinco toneladas, pode-se dividir a aplicação em duas doses, incorporando-se a primeira dose com arado e a segunda com grade aradora ou grade mais leve.

Alguns solos do Estado do Acre apresentam valores adequados de magnésio trocável, podendo, assim, ser utilizado calcário calcítico, cujo preço é mais baixo que os calcários dolomíticos ou magnesianos. Entretanto, é conveniente observar sempre o teor de magnésio trocável, que não deve ficar abaixo de $0,5 \text{ cmol}_{(c+)} / \text{dm}^3$ para os solos de menor CTC, e a relação Ca/Mg que não deve ser maior que cinco nos solos de maior CTC, casos em que se recomenda a aplicação de calcário dolomítico ou magnesiano.

Finalmente, deve-se ressaltar que, em função das características mineralógicas dos solos do Estado do Acre, o método da saturação de bases normalmente resulta em menores quantidades de calcário a ser aplicadas que se fosse adotado o método convencional (alumínio trocável + fornecimento de cálcio e magnésio), o que resulta em menor risco ambiental pela diminuição da emissão de gás carbônico na atmosfera e minimiza a deficiência nutricional decorrente da fixação de magnésio pela sílica coloidal presente nestes solos.

Tomem-se por exemplo as análises de 11 solos representativos do Estado do Acre (Tabela 2). A primeira observação é que se trata de solos com baixos valores de pH (a maioria, com valores de pH abaixo de 5,5), teores de alumínio trocável variando de $0,1$ a $10 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$ e todos com CTC acima de $5 \text{ cmol}_{(c+)} \text{ kg}^{-1}$.

Calculando-se a necessidade de calagem para neutralizar o alumínio trocável (NC_{Al}), por meio da expressão $NC_{Al} = 3 \times Al$ (onde 3 é o fator usado para solos argilosos e Al o teor de alumínio na amostra analisada, em $cmol_{(c+)} kg^{-1}$), observa-se que a necessidade de calagem para estes solos pode chegar a $30 Mg ha^{-1}$ de calcário 100% PRNT (Tabela 3). A necessidade de calagem para suprir o fornecimento de cálcio e magnésio para as plantas (NC_{Ca+Mg}) pode ser determinada pela expressão $(NC_{Ca+Mg}) = 2 - (Ca + Mg)$, se $(Ca + Mg) > 0$ (onde Ca e Mg são os teores de cálcio e magnésio trocáveis na amostra analisada, em $cmol_{(c+)} kg^{-1}$). Realizando-se estes cálculos, obtém-se a necessidade de até $1,8 Mg ha^{-1}$ de calcário 100% PRNT, para suprir o fornecimento de cálcio e magnésio para as plantas. Contudo, se for utilizado o método da saturação de bases para elevá-la a 50%, as quantidades necessárias serão todas inferiores àquelas determinadas pela expressão NC_{Al} , em que o método da saturação de bases indicaria de 0% a 37% da quantidade recomendada pelo método da neutralização do alumínio trocável (Tabela 3).

Ainda, se adotado o critério recomendado pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, em sua 5ª aproximação, na qual a necessidade de calagem é determinada pelo somatório das expressões $(NC_{Al} + NC_{Ca+Mg})$, a utilização do método da saturação de bases implicaria numa redução para 0% a 28% da dose originalmente recomendada (Tabela 3).

Estas distorções ocorrem porque o método convencional não considera o tamanho da capacidade de troca catiônica do solo (CTC), mas somente os teores totais de alumínio, cálcio e magnésio trocável. Está claro, portanto, que para solos de alta CTC, o método convencional não é indicado. Esta conclusão pode ser alcançada independentemente da compreensão da dinâmica eletroquímica do alumínio nestes solos, pois, mesmo que a distribuição do alumínio fosse igual em toda a dupla camada difusa, os elevados teores de cátions alcalinos e alcalinos terrosos contribuiriam para o abaixamento de sua atividade e, portanto, de sua toxidez.

Tabela 2. Fertilidade de alguns solos representativos do Estado do Acre.

Solo	Linha	Materia orgânica	pH	pH em água						pH
				V	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC	
1	100	1,2	4,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2	100	0,8	4,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
3	100	0,8	4,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
4	100	0,8	4,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
5	100	0,8	4,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
6	100	0,8	4,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
7	100	0,8	4,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
8	100	0,8	4,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
9	100	0,8	4,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
10	100	0,8	4,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
11	100	0,8	4,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Onde: pH = pH em água; K, potássio extraído por Mehlich-1; Ca, Mg e Al extraídos por KCl 1 mol L⁻¹; H + Al, acidez potencial extraída por solução tamponada de cálcio; CTC, soma de K, Ca, Mg e H + Al; V%, soma de K + Ca + Mg pela CTC do solo.

Tabela 3. Quantidades de calcário determinadas pelos critérios da neutralização do alumínio trocável NC_{Al} , pelo critério do fornecimento de cálcio e magnésio NC_{Ca+Mg} e pelo critério da saturação de bases NC_{SB} em $Mg\ ha^{-1}$ de calcário 100% PRNT e proporção de calcário recomendada pelo critério da saturação de bases em função do critério do alumínio trocável (RNC-1) e em função da soma dos valores do critério do alumínio trocável e do fornecimento de cálcio + magnésio (RNC-2).

Solo	NC_{Al}	NC_{Ca+Mg}	NC_{SB}	RNC-1	RNC-2
	Mg ha ⁻¹ calcário 100% PRNT				
1	3,6	0,0	1,0	21%	15%
2	3,3	0,0	1,9	37%	27%
3	9,0	0,1	2,9	24%	21%
4	9,6	0,5	2,5	21%	18%
5	6,9	1,8	2,4	25%	21%
6	30,0	0,0	0,0	0%	0%
7	0,3	0,0	0,0	0%	0%
8	24,9	1,8	5,2	17%	16%
9	5,7	1,6	2,5	31%	25%
10	6,3	1,8	3,3	34%	28%
11	1,5	0,0	0,5	25%	13%

Referências Bibliográficas

- ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico**: recursos naturais e meio ambiente - documento final. Rio Branco: SECTMA, 2000. v. 1, p. 37-42.
- ADAMS, F.; LUND, Z. F. Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils. **Soil Science**, Baltimore, n. 103, p. 193-198, 1966.
- ALVA, A. K.; BLAMEY, F. P. C.; EDWARDS, D. G.; ASHER, C. J. An evaluation of aluminium indices to predict aluminium toxicity to plants grown in nutrient solutions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 17, n. 2, p. 1271-1280, 1986.
- ALVA, A. K.; EDWARDS, D. G.; ASHER, C. J.; BLAMEY, F. P. C. Relationships between root length of soybean and calculated activities of aluminium monomers in nutrient solution. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 50, p. 959-962, 1986.

AMARAL, E. F. do; SOUZA, A. N. de. **Avaliação da fertilidade do solo no sudoeste acreano: o caso do PED/MMA no município de Senador Guiomard.** Rio Branco: Embrapa Acre, 1997. 32 p. (Embrapa Acre. Documentos, 26).

AMEDEE, G.; PEECH, M. The significance of KCl-extractable Al(III) as an index to lime requirement of soils of the humid tropics. **Soil Science**, Baltimore, v. 121, n. 4, p. 227-233, 1976.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAM-BRASIL, folha sc. 19 Rio Branco:** geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. 458 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 12).

CARVALHO, E. C. **Acidez e calagem.** Cuiabá: EMATER-MT, 1989. 57 p.

CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A.; MYASAWA, M. Redução da acidez subsuperficial em coluna de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, p. 469-476, 1988.

COCHRANE, T. T.; SALINAS, J. G.; SÁNCHEZ, P. A. An equation for liming acid mineral soils to compensate crop aluminum tolerance. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 57, p. 133-140, 1980.

DEMATTE, J. L. I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos: Região Amazônica.** Campinas: Fundação Cargill, 1988. 215 p.

GAMA, J. F. N. F. **Caracterização e formação de solos com argila de atividade alta no estado do Acre.** Itaguai: UFRRJ, 1986. 150 f. (Tese de Mestrado).

GAMA, J. F. N. F.; KIEHL, J. C. Influência do alumínio de um podzólico vermelho-amarelo do Acre sobre o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 475-482, 1999.

GAMA, J. R. N. F.; KUSUBA, T.; AMANO, Y. Influência de material vulcânico em alguns solos do Estado do Acre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 103-106, 1992.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G.; SCOLARI, D. D. G. **Critérios para recomendação de calagem e adubação.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1987, 55 p.

KAMPRATH, E. J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soil. **Soil Society of American Proceedings**, Madison, v. 34, p. 252, 1970.

LOPES, A. S. A calagem em solos sob cerrado. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O. C.; SILVA, N. M. da (Coord.). **Acidez e calagem no Brasil**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p. 49-62.

MANUAL de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 369 p.

McKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite and oxalate- extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 46, p. 13-22, 1966.

MINAS GERAIS. Comissão de fertilidade do solo. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1999. 359 p.

MÖLLER, M. R. F.; KITAGAMA, Y. **Mineralogia de argilas em cambissolos do sudoeste da amazônia brasileira**. Belém: Embrapa CPATU, 1982. 19 p. (Embrapa CPATU. Boletim de Pesquisa, 34).

MÖLLER, M. R. F.; KITAGAMA, Y.; COSTA, M. P. Distribuição aproximada de minerais argilosos na folha SC-19 Rio Branco. In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DE QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 3., 1982. Manaus, AM. **Anais....** Manaus: [s.ed.], 1982. p. 291-306.

NOBLE, A. D.; FEY, M. V.; SUMNER, M. E. Calcium-aluminum balance and the growth of soybean roots in nutrient solutions. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 52, n. 6, p. 1651-1656, 1988.

NOBLE, A. D.; SUMNER, M. E.; ALVA, A. K. The pH dependency of aluminium phytotoxicity alleviation by calcium sulphate. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 52, p. 1398-1402, 1988.

PARKER, D. R.; KINRAIDE, J. B.; ZELAZNY, L. W. Aluminium speciation and phytotoxicity in dilute hidroxy-aluminum solutions. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 52, n. 2, p. 438-445, 1988.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, E. T. Toxicity of aluminium to coffee seedlings grown in nutrientt solutions. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 46, p. 993-997, 1982.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, E. T.; PRATT, P. F. Toxicity of aluminium to coffee in Ultisols and Oxisols ammended with CaCO_3 , MgCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 46, p. 1201-1207, 1982.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a brasilian oxisol. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 48, p. 33-38, 1984.

PAVAN, M. A.; OLIVEIRA, E. L. de. **Manejo da acidez do solo**. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 1997. 87 p.

PLUCKNETT, D. L.; SHERMAN, G. D. Extractable aluminum in some Hawaiian soils. **Soil Society of American Proceedings**, Madison, v. 27, p. 39. 1963.

PERSON, R. W. **Soil acidity and liming in the humid tropics**. New York: Cornell University. 1975. 66 p.

PREZOTTI, L. C. **Recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo** (3ª aproximação). Vitória: EMCAPA, 1992. 73 p.

RAIJ, B.; 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. 170 p.

REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochemophysica**, Natal, v. 4, p. 1-5, 1972.

RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a brasilian savannah oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 40-42, 1980.

RIBEIRO, M.; KER, J. C.; AMARAL, E. F. do; SILVA, J. R. T.; DUARTE, M. A. Características químicas e mineralógicas de alguns solos do estado do Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 20 a 26 jul. 1997, Rio de Janeiro. **Resumos....** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

RIXON, A. J.; SHERMAN, G. D. Effects of heavy lime applications to volcanic ash soils in the humid tropics. **Soil Science**, Baltimore, v. 94, p. 19, 1962.

SAIGUSSA, M.; TOMA, M. Mechanism of reduction of exchangeable aluminium by gypsum application in acid andosols. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokio, v. 43, p. 343-349, 1997.

SILVA, J. de R. T. da. **Solos do Acre: caracterização física, química e mineralógica e adsorção de fosfato**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 117 p. (Dissertação de doutorado).

SIQUEIRA, O. J. F.; SCHERER, E. E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELLA, J. F.; TEDESCO, M. J.; MILAN, P. A.; ERNANI, P. R.

Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo: Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1987. 100 p.

SOON, Y. K. Fractionation of extractable aluminium in acid soils: a review and a proposed procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Baltimore, v. 24, p. 1683-1708, 1993.

SOUSA, D. M. G. de; CARVALHO, L. J. C. B.; MIRANDA, L. N. de. Correção da acidez do solo. In: GOEDERT, W. L. (Ed.). **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo.** São Paulo: Nobel; Brasília: Embrapa Cerrados, 1985. p. 99-127.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; LOBATO, E.; KLIEMAN, H. J. Avaliação de métodos para determinação da necessidade de calcário em solos de Cerrado de Goiás e do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, p. 144-148, 1980.

SUMNER, M. E.; FARINA, P. M. W.; HURST, V. J. Magnesium fixation – a possible cause of negative yield responses to lime applications. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Baltimore, v. 9, p. 995-1007, 1978.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil Fertility and Fertilizers.** New York: Macmillan Publishing Company, 1985. p. 485-525.

UEHARA, G.; GILLMAN, G. P. **The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays.** Colorado: Westview Press, 1981. 170 p.

YUAN, T. L.; BRELAND, H. L. Evaluation of atomic absorption methods for determination of Aluminium, Iron, and Silicon in clay and soil extracts. **Soil Science Society of American Proceeding**, Madison, v. 33, p. 868-872, 1969

WADT, P. G. S.; WADT, L. H. O. Movimentação de cátions em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubadas com duas fontes de cálcio. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1157-1165, 1999. Suplemento.

VITTI, G. C. Acidez do solo, calagem e gessagem. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, 18 a 22 maio 1987, Ilha Solteira. **Anais....** Piracicaba: Fundação Cargill, 1987. p. 303-348.



Acre

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**