

# Capítulo 1

## Dinâmica da fertilidade em solos frágeis

Flávia Cristina dos Santos; Álvaro Vilela de Resende;  
Manoel Ricardo de Albuquerque Filho; Ana Luiza Dias Coelho Borin;  
Alexandre Martins Abdão dos Passos

---

### Introdução

A recente incorporação ao processo produtivo de solos frágeis, como os de textura leve, com proporções expressivas de areia na sua composição granulométrica, e que são o tema deste capítulo, impôs a toda comunidade científica a necessidade de desenvolvimento de pesquisas que pudessem contemplar a dinâmica da fertilidade do solo, uma vez que, nesses solos, os aspectos relacionados à acidez, pobreza em nutrientes e matéria orgânica e baixa retenção de água, são mais críticos para o manejo agrícola sustentável. Mais especificamente, esses solos apresentam baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e, conseqüentemente, menor retenção de elementos como o nitrogênio (N) e potássio (K) adicionados na adubação. Por outro lado, apresentam também baixo poder tampão em relação ao fósforo (P), devido à menor adsorção, e ao pH, o que, em princípio, implicaria na necessidade de menores quantidades de adubo fosfatado e de calcário para manter condições ideais ao desenvolvimento das culturas.

Essas características demandam, portanto, um manejo específico da fertilidade, de forma a permitir o uso sustentável desses solos para a prática

agrícola, conciliando maior rentabilidade ao agricultor e menor risco de impactos ambientais negativos.

## Reação do solo e resposta à calagem

Sabe-se que a acidificação do solo é um processo natural e sua intensidade depende de fatores intrínsecos do solo e das perturbações a que o sistema é submetido (KAMINSKI; RHEINHEIMER, 2000). Os solos de textura leve apresentam maior permeabilidade e menor retenção de água e cátions, sendo assim mais lixiviáveis e, portanto, mais pobres em nutrientes e, conseqüentemente, ácidos. Aliado ao seu pequeno poder tampão, tanto devido ao baixo teor de matéria orgânica, quanto ao baixo teor de argila, espera-se que com pequenas quantidades de calcário haja uma expressiva elevação do pH do solo, atingindo os níveis adequados para o cultivo, que se situam entre 5,5 e 6,5 (pH em água).

Em experimento de Gatiboni et al. (2003), em solo arenoso, a aplicação superficial de calcário ( $3,6 \text{ t ha}^{-1}$ ) elevou o pH- $\text{H}_2\text{O}$  a, no máximo, 5,8 na camada de 2-3 cm, e na camada de 0-1 cm o pH foi de 5,7, ou seja, dentro da faixa adequada.

Em 2013, no Município de Chapada Gaúcha, MG, foi realizado um experimento com calagem em solo de textura arenosa ( $130 \text{ g kg}^{-1}$  de argila), com doses de calcário variando de 0 a  $10 \text{ t ha}^{-1}$  aplicadas superficialmente e incorporadas a 20 cm de profundidade, com plantio de soja no primeiro ano de cultivo em sistema convencional. Os resultados do primeiro ano mostraram que a calagem aumentou o valor de pH- $\text{H}_2\text{O}$  inicial do solo de 4,5 para o valor de 5,3 com aplicação de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário, e para 6,3 com a aplicação de  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário (em fase de elaboração).

Estes resultados confirmam que, considerando apenas a reação do solo, pequenas doses de calcário aplicadas em solos de textura leve já são suficientes para a elevação do pH em patamares adequados ao cultivo, e também demonstram que doses mais altas não acarretam elevação acima da faixa de alcalinidade, possivelmente porque, devido ao pequeno poder tampão destes solos, uma parte da dose aplicada fique sem reagir. Conforme Martins (2008), em solos com textura arenosa, o calcário que permanece sem dissolução no

solo, próximo à raiz, neutraliza o hidrogênio ( $H^+$ ) e libera cálcio e magnésio para complementar a nutrição da planta, mantendo o solo com pH adequado para o crescimento das raízes.

## Dinâmica da matéria orgânica

A matéria orgânica do solo (MOS) é um dos atributos de maior importância por ser um dos principais indicadores de sua qualidade. Em se tratando de solos de textura leve, pode-se afirmar que esta importância é ainda maior, pois a capacidade de troca de cátions (CTC) desses solos frágeis é quase que totalmente proveniente do seu teor de MOS. Para exemplificar, em trabalho de Pavan et al. (1985), com caracterização química e mineralógica de sete solos ácidos do Paraná, mostrou que em solos com texturas arenosa e média 80 % da CTC do solo eram provenientes da MOS e Silva et al. (1994) mostraram que cerca de 78 % da CTC de solos de textura média e arenosa do Oeste da Bahia também provinham da MOS.

Desta forma, conhecer a dinâmica da MOS assume relevância, pois uma das principais preocupações que se deve ter ao manejar ou cultivar o solo é a manutenção ou mesmo o aumento da MOS, visando a sustentabilidade agrícola. Todavia há que se considerar que a dinâmica de MOS sofre influência de uma série de fatores, bióticos e abióticos, destacando-se a matriz mineral do solo, que tem grande interferência sobre a quantidade e a qualidade da fração orgânica. Estudos mostram que os teores de MOS são geralmente proporcionais aos teores de argila em diversos ambientes, com destaque para os solos das regiões tropicais (TELLES et al., 2003; TOGNON et al., 1998). Neste sentido, a textura do solo está diretamente relacionada à dinâmica da MOS, uma vez que a adsorção de componentes orgânicos às superfícies minerais os protege da decomposição microbiana (LADD et al., 1993).

Sendo essas reações de superfície, a área superficial disponível para interação é um fator importante e, considerando-se as frações granulométricas do solo (areia, silte e argila), a fração argila possui área superficial 50 a 100 vezes maior do que a soma equivalente em massa de areia e silte (STOTZKY, 1986), ou seja, é muito mais reativa. Por isso, os argilominerais e os óxidos são os principais minerais responsáveis pela interação com a MOS e, dentre

os argilominerais, os que apresentam expansividade são os mais efetivos na proteção (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Para melhor explicitar esta dinâmica, estudo de Feller (1999), com análise do fracionamento por tamanho de partículas minerais para a identificação de compartimentos funcionais em solos tropicais com argila de atividade baixa, considerando a divisão das partículas do solo em três diferentes frações (areia, silte e argila), mostrou que a fração grossa, a areia ( $< 2$  e  $> 0,05$ mm) apresentou uma importante função biológica na mineralização de C de curto prazo em solos arenosos, mas não em solos argilosos. Já o complexo silte-MOS ( $< 0,05$  e  $> 0,002$  mm) foi importante no processo de sorção, particularmente para solos arenosos, embora não o seja para argilosos, e o compartimento argila-MOS ( $< 0,002$  mm) foi importante para todas as funções estudadas em solos argilosos e, para a CTC, em solos arenosos.

A partir desta interação da MOS com a matriz coloidal pode-se interpretar os acúmulos ou perdas desse componente em solos com uma matriz arenosa ou argilosa. Num solo arenoso, o arranjo das partículas primárias resulta numa distribuição de poros de maior tamanho, o que facilita o acesso microbiano à MOS. Os agentes ligantes orgânicos são oxidados mais facilmente e a estabilidade dos agregados é extremamente dependente da contínua adição de resíduos vegetais e da atividade da fauna. O revolvimento do solo resulta em rápido declínio da MOS e da estabilidade de agregados. Nestes solos, atingir altos níveis de MOS é mais difícil, devido à maior acessibilidade dos decompositores aos componentes orgânicos. Entretanto, os aumentos no teor de MOS podem ser proporcionalmente maiores se comparados aos solos de textura mais fina. Em solos argilosos, especialmente aqueles ricos em óxidos de Fe e Al, a MOS pode ser mantida em altos níveis, principalmente por sua ligação com a fração mineral, a qual oferece a mencionada proteção à MOS contra a decomposição microbiana. O grande número de microporos, cujo diâmetro torna boa parte da MOS inacessível aos decompositores, contribuiu para sua maior estabilidade nesses solos, e assim, o revolvimento do solo resulta em menores perdas da MOS (BAYER, 1996; SILVA et al., 1994). Desta forma, as consequências do manejo do solo dependerão também desta relação MOS-colóides minerais.

Comparando dois solos do Rio Grande do Sul, um Latossolo Vermelho com  $680 \text{ g kg}^{-1}$  de argila e um Argissolo Vermelho com  $220 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, Bayer

(1996) mostrou que o revolvimento contínuo do solo teve efeitos diferentes sobre a taxa de decomposição da MOS. Enquanto no solo argiloso as taxas de decomposição sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) foram 1,4 % e 1,2 % ao ano, respectivamente, no solo franco, a diferença foi mais acentuada (5,4 % no PC e 2,9 % no PD ao ano). Um estudo de Silva et al. (1994) no Oeste da Bahia, que abrangeu uma área de cerca de 47.000 ha e grupos de solos arenosos, textura média e argilosos, nos quais se avaliou as perdas de MOS ao longo de cinco anos de monocultivo de soja, verificou-se perda do seu estoque inicial na camada de 0-15 cm, de 80, 76 e 41 % nos solos arenosos, de textura média e argilosos, respectivamente. As taxas anuais de perdas de MOS de 0,32; 0,30 e 0,24 % para os arenosos, os de textura média e os argilosos, respectivamente, não diferiram estatisticamente entre si, mas como o teor inicial no solo arenoso é menor, há maior impacto da redução da MOS para a sustentabilidade agrícola nesse ambiente. Como nestes solos a maior contribuição da CTC vem da parte orgânica, sua redução com o tempo de cultivo seguiu a mesma tendência da perda de MOS, com diminuição da CTC em 61, 53 e 29 % nos solos de textura arenosa, média e argilosa, respectivamente, ao longo dos cinco anos de cultivo.

O aporte de resíduos orgânicos e esterco auxilia na manutenção ou incremento da MOS nos sistemas agrícolas (GALVÃO et al., 2008; MITCHELL; SILVA et al., 2007; TU, 2006). Oliveira et al. (2011) amostraram áreas de produção de batata em solos arenosos que receberam esterco durante 15 a 40 anos, totalizando de 4 a 28 t ha<sup>-1</sup>, e também áreas sob pastagem que não haviam recebido adubação durante 10 anos. Foi verificado que o carbono total (C<sub>tot</sub>) e o nitrogênio total (N<sub>tot</sub>) do solo na camada de 0 a 20 cm tiveram acréscimo de mais de 100 % em algumas áreas que vinham recebendo esterco, comparadas às áreas de pastagem sem uso de esterco.

Em pesquisa de Bayer et al. (2000) em dois solos de textura contrastante (Argissolo Vermelho com 220 g kg<sup>-1</sup> de argila e Latossolo Vermelho com 620 g kg<sup>-1</sup> de argila), submetidos aos sistemas de preparo convencional e plantio direto (PD), observaram-se taxas de perda da MOS bem maiores no Argissolo (4,9 e 2,5 %) do que no Latossolo (1,4 e 1,2 %), sendo o efeito do preparo do solo sobre a perda de MOS mais intenso no primeiro caso. Consequentemente, a taxa de acúmulo líquido de carbono sob PD foi bem maior no Argissolo (0,71 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) do que no Latossolo (0,37 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).

Assim, como as taxas de perda de matéria orgânica são maiores em solos mais arenosos, sistemas conservacionistas (como o PD) promovem maior acúmulo líquido de carbono nesses solos do que nos solos mais argilosos, ou seja, o benefício do PD é mais evidente e mais impactante nos solos de textura leve.

## Dinâmica do nitrogênio

O nitrogênio (N) possui um ciclo complexo envolvendo o sistema solo-planta-atmosfera, e se apresenta em seis estados de valência ou níveis de oxidação (TRIVELIN; FRANCO, 2011). No entanto, as principais formas de N encontradas no solo e absorvidas pelas plantas são o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), sendo a primeira a mais frequente. As particularidades de cada uma dessas formas é que, sendo um cátion, o amônio fica ligado eletrostaticamente a superfícies negativamente carregadas dos minerais de argila e grupos funcionais da matéria orgânica do solo, o que limita sua perda por lixiviação. O mesmo não ocorre com o nitrato, que é altamente móvel no solo, e por isso mais sujeito a perdas por lixiviação (CANTARELLA, 2007).

No solo ocorrem várias reações envolvendo o N e umas delas, o processo de nitrificação, converte o N de uma forma pouco móvel a uma forma altamente móvel no solo, e isto interfere na eficiência do uso do N e na qualidade ambiental. Assim, manter o N na forma de  $\text{NH}_4^+$  estende seu tempo de permanência na zona radicular, favorecendo sua absorção pelas plantas (SUBBARAO et al., 2006). A nitrificação ocorre rapidamente na maioria dos solos agrícolas com pH adequado, sendo a maior parte do  $\text{NH}_4^+$  aplicado nitrificado dentro de quatro semanas. A nitrificação também aumenta o potencial de perda de N por emissões de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxido nítrico (NO) e gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ). Em condições de menor umidade a nitrificação é a maior fonte de  $\text{N}_2\text{O}$  do solo (MOSIER, 1998).

Logo, a textura do solo também afeta diretamente a dinâmica de N, tendo em vista: seus diferentes estados de oxidação, que dependem das condições aeróbicas ou anaeróbicas do solo e do pH, suas diferentes associações com os coloides do solo e sua relação com os compostos orgânicos. Assim, em solos de textura leve, que apresentam menor CTC, maior aeração e são mais drenáveis, espera-se um predomínio do  $\text{N-NO}_3^-$  e uma maior possibilidade de lixiviação

do N. Além disso, como a MOS está menos protegida nos solos de textura leve, espera-se maior mineralização da mesma e liberação de N nestes solos, conforme mostrado em Hassink et al. (1993).

Para exemplificar o efeito da textura nas reações de N no solo, em trabalho de Paulo (2012), em casa de vegetação e com solos de texturas 5, 30 e 45 dag kg<sup>-1</sup> de argila, cultivo do algodão e fontes de N, com ou sem inibidor da nitrificação, foi verificado que com a aplicação de ureia (300 kg ha<sup>-1</sup> de N) e utilização de inibidor da nitrificação (DMPP), no solo arenoso, o N permaneceu na forma amoniacal até os 40 dias de incubação. Enquanto sem o inibidor a porcentagem de N amoniacal não superou a de N nítrico em nenhum momento da incubação, evidenciando a rápida nitrificação do N proveniente da ureia. Logo, ficou evidente que o uso de inibidor da nitrificação teve mais efeito no solo arenoso, seguido do de textura média e argiloso, e com a fonte ureia.

Além dessa influência, a textura do solo está intimamente relacionada com a lixiviação de N no solo. Estudo de Andrade et al. (2009) em área irrigada do Ceará com a cultura do coco em solo de textura leve (19 dag kg<sup>-1</sup> de argila) e aplicações anuais de N de 510 kg ha<sup>-1</sup> (envolvendo N mineral, esterco bovino e de galinha) mostrou movimentação de nitrato até cerca de 7 m de profundidade e presença do mesmo íon na água subterrânea em valores superiores aos permitidos para consumo humano.

Entretanto, estudo de lixiviação com aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N no algodão cultivado em casa de vegetação e em solos com diferentes texturas, mostrou que a quantidade de N lixiviada (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) não diferiu entre os solos. Entretanto, proporcionalmente, foi verificado que no solo arenoso houve uma maior lixiviação de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para as camadas mais profundas (35-55 cm de solo) em relação aos solos de textura média e argilosos. A razão para isso está na menor CTC do solo arenoso que favoreceu a descida do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para as camadas mais profundas do solo. Em todos os solos, houve maior concentração do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nas camadas mais profundas, o que era esperado pelo predomínio de cargas negativas nas camadas mais superficiais do solo.

Corroborando estes dados, experimento de Oliveira et al. (2002) conduzido com cana-de-açúcar em solo arenoso (10 dag kg<sup>-1</sup> de argila), sob precipitação de

janeiro a março de 542 mm e de setembro a dezembro de 615 mm e aplicações de doses de N de 0 a 90 kg ha<sup>-1</sup>, mostrou que não houve perdas significativas de N no solo por lixiviação. As perdas de N foram de 6 % para a adição mineral e como resíduos vegetais. Trabalhos de Fernandes e Libard (2009), Ghiberto et al. (2009), Oliveira et al. (2002), com as culturas do milho em rotação com braquiária e com a cultura da cana-de-açúcar, em solos arenosos e de textura média, com doses de N de até 180 kg ha<sup>-1</sup>, mostraram baixa lixiviação de N, em torno de 15 %.

A principal informação a ser resgatada destes resultados é que em solos de textura leve o manejo de N merece maior atenção para se evitar as perdas do nutriente, bem como prejuízos ao meio ambiente, como eutrofização dos aquíferos. Entretanto, para avaliar a dinâmica de N nestes solos é preciso considerar outros fatores, além da textura, uma vez que as perdas por lixiviação estão relacionadas, também, ao fornecimento de N ao sistema, à fertilização excessiva, à interação entre as transformações sofridas pelo N, ao balanço hídrico, às propriedades químicas do solo e às características da cultura, como a marcha de absorção do N. Logo, grandes quantidades de N podem ser aplicadas no solo sem que ocorra lixiviação, basta que não haja quantidade suficiente de água para causar drenagem (STEEGE et al., 2001). Assim, a lixiviação de N parece ser um problema sério em anos mais chuvosos, para solos arenosos e em culturas nas quais se aplica nitrogênio em excesso.

## Dinâmica do fósforo

O fósforo (P), um dos nutrientes mais limitantes à produção agrícola, é também um dos que tem sua disponibilidade, ou dinâmica no solo, mais relacionada com a textura, bastando ressaltar inclusive que, para a interpretação de sua disponibilidade no solo para as plantas, faz-se necessário considerar esta propriedade física ou mesmo o P remanescente.

Dada a associação do P com os coloides do solo, em que prevalecem ligações covalentes, ou seja, de maior força, o P é um nutriente que é adsorvido ao solo e esta adsorção é tanto maior quanto maior o teor de argila do solo (NOVAIS et al., 2007).



Corrêa et al. (2011) avaliando a adsorção de P em dez solos de Pernambuco, desde textura arenosa ( $6,5 \text{ dag kg}^{-1}$  de argila) até argilosa ( $48 \text{ dag kg}^{-1}$  de argila) verificaram que, de maneira geral, em termos de capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP), os solos mais argilosos apresentaram os maiores valores (média de  $784 \text{ mg kg}^{-1}$ ) em relação aos de texturas leves (média de CMAP igual a  $121 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Verificaram ainda uma correlação significativa entre a CMAP e a argila do solo (0,92). Outros autores também obtiveram resultados semelhantes: Falcão e Silva (2004), Ranno et al. (2007) e indicaram que a correlação positiva e significativa entre o teor de argila e a CMAP demonstra a dependência do processo de adsorção de P e da dinâmica deste elemento com a presença de coloides no solo, ou seja, a magnitude da sorção depende da quantidade de constituintes com capacidade de sorver moléculas de fosfato. Desse modo, a concentração de argila e os atributos a ela associados se correlacionam com a CMAP, ressaltando que a consideração do tipo de argila é muito importante, pois há grande variação na CMAP entre as diferentes argilas do solo.

Diante desta relação, em solos de textura arenosa a dose de P a ser aplicada pode ser menor, como mostram resultados de diversos experimentos relacionando a dose aplicada e o aumento do P disponível no solo. Como exemplo, experimento de campo com feijão em solo arenoso ( $10 \text{ dag kg}^{-1}$  de argila) de Silva et al. (2001) mostrou inclinação da reta para aumento de P de  $0,15 \text{ mg dm}^{-3}$  para cada kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicado (extrator Mehlich 1), sendo a dose de máxima eficiência física (MEF) de  $104 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e a de máxima eficiência econômica (DMEE) de  $98 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Outro experimento de campo com feijão vagem em solo arenoso ( $7 \text{ dag kg}^{-1}$  de argila) resultou em mesmo valor de inclinação da reta que o trabalho anterior, com dose MEF de  $252 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e dose de MEE de  $231 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (OLIVEIRA et al., 2005). Já o experimento de Fidalski (1999) com mandioca em solo arenoso do Noroeste do Paraná ( $13 \text{ dag kg}^{-1}$  de argila) mostrou aumento de P de  $0,09 \text{ mg dm}^{-3}$  no solo para cada kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicado (extrator Mehlich 1).

Além disso, o P se movimenta no solo por difusão e a curtas distâncias, em média de  $0,5 \text{ mm}$  (BARBER, 1977). Uma série de fatores interfere nesta movimentação, com destaque para a textura, quantidade de água no solo, dose e forma de P aplicado (BAR-YOSEF; SHEIKHOLSLAMI, 1976; LOGAN; MCLEAN, 1973; SHARMA et al., 1985). Alguns autores destacaram que em

solos de textura leve o movimento do P é muito influenciado pelo fluxo de água (LOGAN; MCLEAN, 1973; SHARMA et al., 1985).

Avaliações de laboratório em um solo argiloso (40 dag kg<sup>-1</sup> de argila) e quatro de textura leve (entre 7 e 19 dag kg<sup>-1</sup> de argila) mostraram que o P se movimentou até a camada de 4-6 cm e 6-8 cm de profundidade no solo mais argiloso que recebeu 150 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente, e nos arenosos atingiu até 14-16 cm de profundidade, nas duas doses (FARIA; PEREIRA, 1993). Bar-Yosef e Sheikholslami (1976) verificaram que o P aplicado num solo argiloso se movimentou no sentido horizontal até um raio de 4 e 6 cm, após uma e três irrigações, respectivamente, e no sentido vertical até 5 e 9 cm de profundidade; enquanto no solo arenoso, a migração do P atingiu uma distância duas vezes maior no sentido horizontal e três vezes maior no sentido vertical.

Outro estudo de Bernardi et al. (2007) em cultivo de melão por dois anos consecutivos em Neossolo Quartzarênico com 76 g kg<sup>-1</sup> de argila e aplicação de 14 feirrigações durante o ciclo fenológico de 65 dias, mostraram que houve diferenças significativas entre os teores de P na superfície e na sub-superfície, indicando um aumento do teor do nutriente ao longo do perfil. Foram observados inclusive valores elevados nas camadas inferiores, mesmo com a aplicação do adubo fosfatado no sulco de plantio. Outro efeito a se destacar foram os aumentos dos teores deste macronutriente, do primeiro para o segundo ano de cultivo. Esta migração do P, para camadas mais profundas nos solos arenosos, quando aplicados em doses elevadas também foi observado por Faria e Pereira (1993). Mikkelsen (1989) já havia observado movimentação do P em sistemas com irrigação por gotejamento. A explicação para isto está no fato de que, sob irrigação, em solos de textura mais leve, o P permanece predominantemente em solução e se moverá com a água de irrigação, sendo assim transportado ao longo do bulbo molhado (MIKKELSEN, 1989).

Portanto, se para nutrientes como o N e K há necessidade de maior atenção no manejo em solos de textura leve em condições tropicais, principalmente pela maior possibilidade de perdas por lixiviação, para o P o fato se reverte, sendo que nestes solos a menor adsorção e maior movimentação do nutriente no solo favorecem o fornecimento do mesmo às plantas, resultando em menores doses a serem aplicadas e economia para o produtor.

## Dinâmica do potássio

O potássio (K) é um cátion monovalente, sendo retido na matriz coloidal dos solos por ligações eletrostáticas fracas, podendo ocorrer, principalmente em solos de textura leve e com baixa CTC, perda por lixiviação para camadas mais profundas do solo. Assim como o P, o K é transportado por difusão até a zona de absorção, no entanto, o teor de potássio na solução do solo atinge concentrações mais elevadas, conferindo-lhe, assim, maior mobilidade em relação ao fósforo (COSTA et al., 2009).

O coeficiente de difusão de K varia com o conteúdo volumétrico de água e, quanto mais seco estiver o solo mais tortuoso será o caminho da difusão; assim, sempre que o solo seca, diminui a difusão do K (OLIVEIRA et al., 2002). Em água pura o fator de impedância é igual a 1. Mehta et al. (1995) consideram a impedância unitária no caso de solos arenosos com elevada umidade, em que a influência das partículas de argila é muito pequena. Assim, a mobilidade do K em solo arenoso é bem maior que no argiloso.

Experimento de Costa et al. (2009), em casa de vegetação, com três solos, arenoso, argiloso e muito argiloso, oito condições de umidade e dois níveis de compactação para avaliar o fluxo difusivo (FD) de K mostrou que o FD foi menor no solo arenoso em comparação ao argiloso e muito argiloso, o que pode ser explicado pela menor dose de K aplicada no primeiro. Entretanto, embora o solo arenoso tenha apresentado menores valores de fluxo difusivo que os outros dois solos, o acréscimo entre o maior e menor nível de umidade foi maior naquele solo, ou seja, o FD de K seria mais afetado em solo mais arenosos quando secos do que nos argilosos. Além disso, verificou-se que o conteúdo de água teve maior influência no FD do que a compactação.

Devido a maior movimentação do K em solos de textura leve e à sua menor retenção, a preocupação mais comum em relação ao K nestes solos envolve a lixiviação. Entretanto, em experimento conduzido com cana-de-açúcar em solo arenoso (10 dag kg<sup>-1</sup> de argila), com precipitação de janeiro a março de 542 mm e de setembro a dezembro de 615 mm, e aplicação de dose de 72 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, não mostrou perdas significativas de K no solo por lixiviação. As perdas de K foram de 8 e 4 % para a adição mineral e como resíduos vegetais, respectivamente (OLIVEIRA et al., 2002).

Em um estudo de longo prazo realizado na região Oeste da Bahia em solo de textura leve, entre 2006 – 2013, em sistema de produção de soja/milho em rotação (dados não publicados), no qual se avaliou o modo de aplicação de K (dose única de K aplicada, a lanço, sem incorporação, no plantio ou antecipada a este, ou aplicação de parte da dose no sulco de plantio e parte em cobertura), verificou-se que a forma de aplicação do cloreto de potássio (KCl) nas lavouras de grãos cultivadas nos solos da região Oeste da Bahia poderia ser alterada para a aplicação de toda a dose antecipada ao plantio em superfície e à lanço. Desta forma, nenhum K precisa ser aplicado no sulco de semeadura, o que otimiza a operação de plantio e maximiza a eficiência agrônômica do fertilizante potássico. Nesse manejo, a eficiência agrônômica e econômica do cloreto de potássio foi aumentada de forma significativa, principalmente para a cultura do milho. Ainda, este trabalho mostrou que a lixiviação de potássio nesse solo foi praticamente nula, pois os teores de potássio disponíveis no solo na camada de 40-60 cm foram praticamente iguais aos do tratamento controle, sem aplicação de potássio. No entanto, conforme Werle et al. (2008), é preciso precaução com a aplicação antecipada do adubo potássico em pré-semeadura em épocas com elevados índices pluviométricos ou na ausência de cultivo, pois poderia levar a perdas de K, porque o nutriente estaria disponível muito cedo e não haveria sincronismo entre a disponibilidade de K e a exigência nutricional da cultura anual.

Outros estudos, entretanto, indicam que há maior risco de perdas por lixiviação de K e contaminação de águas subterrâneas, o que foi observado em trabalhos em colunas com Latossolos de textura média (DONAGEMMA et al., 2008; WERLE et al., 2008) e em campo, com Neossolo Regolítico (GALVÃO et al., 2008). Além disso, em áreas de solos arenosos de Luís Eduardo Magalhães, BA, com uso intenso de fertilizantes potássicos, é comum encontrar teores de K disponível acima de  $50 \text{ mg dm}^{-3}$  em profundidades superiores a 1,8 m e com pouca chance de recuperação pelas culturas nos sistemas de produção predominantes na região.

No entanto, assim como para o N, a lixiviação de K em solos de textura leve dependerá de uma série de fatores, com destaque para o regime de chuva, a dose aplicada, a cultura, ou sistema de cultivo estabelecido, além da textura do solo.

De qualquer forma, esse nutriente deve ser manejado com cautela, buscando minimizar tais problemas, o que pode ser obtido com boas práticas conservacionistas, como cobertura do solo e rotação de culturas.

## Respostas à adubação NPK em solo de textura leve

Foi instalado um experimento em área comercial da Fazenda Xanxerê, em Correntina, BA, nas safras 2010/2011, com cultura do milho, e 2011/2012 e 2012/2013 com cultivo do algodão, em sistema PD, sob sequeiro. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distroférico típico, com as seguintes características químicas e físicas antes da instalação do experimento: pH H<sub>2</sub>O = 6,63, Al = 0,01; Ca = 1,47; Mg = 0,42; T = 3,54 (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); P = 20,23; K = 51,74 (mg dm<sup>-3</sup>); V = 65,36 %; teor de argila e matéria orgânica = 22,0 e 0,9 (dag kg<sup>-1</sup>), respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições. Os tratamentos consistiram de um fatorial 4x3, envolvendo quatro níveis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O aplicadas antecipadamente ao plantio (0; 0,5; 1 e 1,5 vezes a dose aplicada pelo produtor) nas parcelas e três combinações de doses de N aplicadas em cobertura (0; 0,5 e 1 vez a dose aplicada pelo produtor) nas subparcelas. Para o milho, o nível 1 de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O foi igual a 140-75-145 e para o algodão, 200-100-180 kg ha<sup>-1</sup>. Cabe ressaltar que os tratamentos foram aplicados anualmente.

As cultivares utilizadas foram milho Pioneer 30F53 na safra 2010/2011, algodão Bayer Fibermax 993 na safra 2011/2012 e Bayer Fibermax 910 na safra 2012/2013. O plantio do milho foi realizado em outubro de 2010 e a colheita, em março de 2011; o algodão foi plantado em novembro de 2011 e 2012 e colhido em junho de 2012 e 2013, respectivamente. As fontes dos insumos utilizados foram: sulfato de amônio, fosfato monoamônico (MAP) e cloreto de potássio (KCl). As doses de N foram aplicadas em cobertura, a lanço, aos 25 dias após a semeadura do milho e aos 10 e 50 dias após a semeadura do algodão. As parcelas foram constituídas de 11 linhas de 40 m de comprimento e espaçadas em 0,76 m; as subparcelas foram constituídas por 11 linhas de 10 m de comprimento. A parcela útil foi composta pelas quatro linhas centrais de 4 m de comprimento.

As variáveis avaliadas foram: produtividade e produtividade acumulada das três safras e análise química do solo, com amostras de solo coletadas após a colheita do milho da safra 2010/2011 e do algodão da safra 2011/2012 na profundidade de 0-20 cm, para avaliar os nutrientes disponíveis no solo para a safra subsequente. Nestas avaliações foram coletadas três amostras de solo na linha de plantio e seis na entrelinha para formar uma amostra composta de cada parcela útil do experimento.

Os dados de produtividade de cada safra, bem como o valor acumulado de produtividade das três safras, e os teores disponíveis de P e K no solo foram submetidos à análise de variância ( $p < 0,05$ ) e testes de média (Scott-Knott,  $p < 0,05$ ), para avaliar os efeitos da adubação NPK, utilizando o programa estatístico SISVAR.

Inicialmente, cabe ressaltar que, como a área era de produção comercial e tinha histórico de uso de vários anos, o solo estava com a fertilidade corrigida antes da instalação do experimento e os teores de P e K se encontravam em níveis adequados (SOUSA; LOBATO, 2004). Os dados de produtividade (Tabelas 1 a 4) mostram que as respostas aos fertilizantes variaram de acordo com a cultura e safra. Na primeira safra, a produtividade de milho foi maior com as doses de  $P_2O_5$ - $K_2O$  antecipadas ao plantio de 75-145 e de N em cobertura de  $140 \text{ kg ha}^{-1}$ , que correspondem às doses aplicadas pelo produtor na fazenda. A produtividade média geral alcançada do milho ( $9.055 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foi superior à média da região ( $8.700 \text{ kg ha}^{-1}$ ), como se pode ver na Tabela 1 (ANUÁRIO..., 2014).

**Tabela 1.** Dados de produtividade do experimento de adubação semeadura x cobertura 1ª safra – Milho.

Adubação N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O na semeadura (kg ha <sup>-1</sup> )	Adubação N em cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )			Média
	00	70	140	
00-00-00	8.092 cB	8.748 bA	9.552 aB	8.797 B
00-38-73	8.158 cB	8.918 bA	9.638 aB	8.905 B
00-75-145	8.410 cA	8.856 bA	10.346 aA	9.204 A
00-90-174	8.556 cA	8.874 bA	10.514 aA	9.315 A
Média	8.304 c	8.849 b	10.013 a	9.055
CV1 (%) = 1,52	CV2 (%) = 1,43			

Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha ou maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Na segunda safra, o algodão respondeu somente ao N aplicado em cobertura (Tabela 2), e na terceira safra a produtividade do algodão nas maiores doses aplicadas de P e K foi superior às demais (Tabela 3). É importante relatar que na segunda e terceira safras houve problema de infestação de plantas daninhas na área, o que pode ter prejudicado a produtividade da cultura, conforme se vê pela baixa média geral (3.035 e 3.766 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço, tabelas 2 e 3) e abaixo da média de produtividade da região (4.050 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço) (ANUÁRIO..., 2014).

**Tabela 2.** Dados de produtividade do experimento de adubação semeadura x cobertura 2ª safra – Algodão.

Adubação N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O na semeadura (kg ha <sup>-1</sup> )	Adubação N em cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )			Média
	00	95	190	
00-00-00	2.988	3.211	3.617	3.272
00-50-90	2.251	3.045	4.411	3.236
00-100-180	1.877	3.133	3.218	2.743
00-150-270	2.238	3.339	3.088	2.888
Média	2.339 b	3.182 a	3.584 a	3.035
CV1 (%) = 21,12	CV2 (%) = 19,05			

Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

**Tabela 3.** Dados de produtividade do experimento de adubação sementeira x cobertura 3ª safra – Algodão.

Adubação N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O na sementeira (kg ha <sup>-1</sup> )	Adubação N em cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )			Média
	00	100	200	
00-00-00	3.399	3.465	3.268	3.377 B
00-50-90	3.355	3.706	3.684	3.582 B
00-100-180	3.509	3.662	4.167	3.779 B
00-150-270	4.211	4.561	4.211	4.327 A
Média	3.618	3.849	3.832	3.766
CV1 (%) = 6,30	CV2 (%) = 14,78			

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Na avaliação das três safras acumuladas (Tabela 4) observa-se apenas resposta das culturas ao N em cobertura, com o somatório de 530 kg ha<sup>-1</sup> de N resultando em maior produtividade acumulada. Esse resultado está coerente com o fato de que sendo um solo de textura leve e com baixo teor de matéria orgânica (0,9 dag kg<sup>-1</sup>) espera-se uma alta resposta ao N aplicado, devido ao baixo fornecimento do mesmo pela MOS, bem como pelo baixo efeito residual, dada a baixa CTC (3,54 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), entre outros. A falta de resposta ao P e K possivelmente se deve ao fato dos teores no solo se encontrarem nos níveis adequados. Neste sentido, pode-se propor uma redução nas doses aplicadas nestes solos, sob estas condições, o que irá impactar positivamente na renda do produtor e no meio ambiente (RESENDE et al., 2012).

**Tabela 4.** Dados de produtividade do experimento de adubação sementeira x cobertura Sistema – Milho/Algodão/Algodão.

Adubação N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O na sementeira (kg ha <sup>-1</sup> )	Adubação N em cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )			Média
	00	265	530	
00-00-00	14.479	15.423	16.437	15.446
00-138-253	13.764	15.669	17.733	15.722
00-275-505	13.796	15.651	17.731	15.726
00-390-714	15.004	16.774	17.812	16.530
Média	14.261 c	15.879 b	17.428 a	15.856
CV1 (%) = 5,45	CV2 (%) = 5,04			

Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.



Os valores médios de P disponível na camada de 0-20 cm de solo, após a colheita da primeira safra (Tabela 5) mostram que não houve efeito dos tratamentos. Entretanto, a falta de efeito pode ter sido consequência dos altos valores de coeficiente de variação apresentados no experimento. De qualquer forma, a média geral de 17,79 mg dm<sup>-3</sup> de P após a colheita da primeira safra (Tabela 5) mostra que o P se manteve praticamente o mesmo de antes da instalação do experimento (20,23 mg dm<sup>-3</sup>).

**Tabela 5.** Teores disponíveis de P após a 1ª safra (milho) no experimento de semeadura x cobertura.

Adubação N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O na semeadura (kg ha <sup>-1</sup> )	Adubação N em cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )			
	00	70	140	Média
00-00-00	17.91	21.68	24.25	21.28
00-38-73	16.08	11.92	8.95	12.32
00-75-145	21.76	23.40	25.45	23.54
00-90-174	19.52	11.42	11.11	14.02
Média	18.82	17.10	17.44	17.79
CV1 (%) = 112,52	CV2 (%) = 94,76			

Os teores de P disponível no solo após a colheita da segunda safra, em que havia sido cultivado o algodão, só apresentaram diferença estatística para a interação PK semeadura x N cobertura, sendo que o desdobramento desta análise mostrou que o teor de P disponível foi maior na dose de 190 kg ha<sup>-1</sup> de N e com adubação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O na base de 100-180 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 6). A média geral do P disponível ao final da segunda safra avaliada superou o teor de P inicial no solo, antes da instalação do experimento (Tabela 6).

**Tabela 6.** Teores disponíveis de P após a 2ª safra (algodão) no experimento de semeadura x cobertura.

Adubação N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O na semeadura (kg ha <sup>-1</sup> )	Adubação N em cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )			
	00	95	190	Média
00-00-00	26,44	31,62	23,57	27,21
00-50-90	16,56	22,15	18,67	19,12
00-100-180	29,32 b	18,58 b	41,04 a	29,65
00-150-270	20,63	29,43	17,71	22,59
Média	23,24	25,44	25,25	24,64
CV1 (%) = 30,12	CV2 (%) = 32,58			

Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

O potássio disponível no solo após a colheita da primeira safra (Tabela 7) não sofreu efeito da adubação e seu teor médio geral ( $47,28 \text{ mg dm}^{-3}$ ) ficou um pouco abaixo do inicial ( $51,74 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Já após a colheita da segunda safra (Tabela 8) os teores de K disponível no solo foram reduzidos com a adubação nitrogenada. Este resultado pode ser explicado pela competição existente entre os nutrientes N e K (RAIJ, 2011). O teor médio geral de  $63,51 \text{ mg dm}^{-3}$  (Tabela 8) superou o inicial, mostrando que a fertilidade do solo foi mantida, ou mesmo melhorada ao longo dos cultivos.

**Tabela 7.** Teores disponíveis de K após a 1ª safra (milho) no experimento de semeadura x cobertura.

Adubação N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O na semeadura (kg ha <sup>-1</sup> )	Adubação N em cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )			
	00	70	140	Média
00-00-00	47,33	59,00	49,67	52,00
00-38-73	48,67	49,33	48,67	48,89
00-75-145	35,00	37,33	54,00	42,11
00-90-174	52,67	49,67	36,00	46,11
Média	45,92	48,83	47,08	47,28
CV1 (%) = 39,42	CV2 (%) = 322,70			

**Tabela 8.** Teores disponíveis de K após a 2ª safra (algodão) no experimento de semeadura x cobertura.

Adubação N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O na semeadura (kg ha <sup>-1</sup> )	Adubação N em cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )			
	00	95	190	Média
00-00-00	69,02	58,09	48,76	58,63
00-50-90	78,57	57,05	51,41	62,34
00-100-180	71,66	50,76	70,56	64,33
00-150-270	92,46	62,20	51,53	68,73
Média	77,93 a	57,03 b	55,57 b	63,51
CV1 (%) = 22,21	CV2 (%) = 24,08			

Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

De maneira geral, este experimento mostrou, como esperado, que em solos de textura leve, com baixa CTC e baixo teor de matéria orgânica, o N é um dos nutrientes mais críticos e mais relacionado ao aumento de produtividade das culturas. Os nutrientes P e K, por apresentarem maior efeito residual em

comparação ao N, principalmente o P, foram se acumulando no solo, o que permite a redução das doses aplicadas ao longo dos cultivos.

## Considerações finais

Em solos de textura leve, diversos fatores extrínsecos às suas propriedades, como manejo, intensificação de cultivos com diferentes sistemas radiculares, doses de corretivos e fertilizantes, exercem grande influência na dinâmica de nutrientes. Sendo assim, o planejamento da produção nestes solos frágeis deve priorizar sistemas conservacionistas, com rotação de culturas, estratégias de fertilização que proporcionem maior exploração do perfil de solo pelas raízes das plantas, com menor movimentação mecânica do solo, aporte de resíduos que favoreçam o acúmulo de MOS, entre outros. Ou seja, em solos de textura leve, o manejo, mais que suas fragilidades ou limitações, será determinante para o sucesso e custo da exploração agrícola.

## Referências

- ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; CRISÓSTOMO, L. A.; RODRIGUES, J. O.; LOPES, F. B. Nitrogen and chloride impacto on water table under irrigated condition. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 39, p. 88-95, 2009.
- ANUÁRIO DA REGIÃO OESTE DA BAHIA. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2014. 112 p.
- BARBER, S. A. Application of phosphate fertilizers: methods, rates and time of application in relation to the phosphorus status of soils. **Phosphorus in Agriculture**, v. 13, p. 109-115, 1977.
- BAR-YOSEF, B.; SHEIKHOLSLAMI, M. R. Distribution of water and ions in soils irrigated and fertilized from a trickle source. **Soil Science Society of America Journal**, v. 40, p. 575-582, 1976.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. atual. Porto Alegre: Metrópole, RS, 2008. p. 7-18.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; LOVATO, T. Potencial de sistemas de manejo para incrementar matéria orgânica na região Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 1., 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2000.

BERNARDI, A. C. C.; TAVARES, S. R. L.; CRISÓSTOMO, L. A. Alteração da fertilidade de um Neossolo Quartzarênico em função da lixiviação de nutrientes. **Irriga**, Botucatu, v. 12, p. 429-438, 2007.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; ROCHA, A. T. Adsorção de fósforo em dez solos do Estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, p. 153-159, 2011.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; BASTOS, A. L.; ALBUQUERQUE, A. W. Fluzo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 56-62, 2009.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ, V. H.; FERREIRA, P. A.; CANTARUTTI, R. B.; SILVA, A. T.; FIGUEIREDO, G. C. Distribuição do amônio, nitrato, potássio e fósforo em colunas de Latossolos fertirrigadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2493-2504, 2008.

FALCÃO, N. P. S.; SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 34, p. 337-342, 2004.

FARIA, C. M. B.; PEREIRA, J. R. Movimento do fósforo no solo e seu modo de aplicação no tomateiro rasteiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, p. 1363-1370, 1993.

FELLER, C. Organo-mineral interactions in tropical soils. In search of “functional” organic matter pools: the particle-size fractionation approach. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3., 1999, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria, RS: UFSM, 1999. p. 104-124.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Drenagem interna e lixiviação de nitrato em um Latossolo sob sucessão milho-braquiária-milho, com diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 1163-1173, 2009.

- FIDALSKI, J. Respostas da mandioca à adubação NPK e calagem em solos arenosos do Noroeste do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, p. 1353-1359, 1999.
- GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H.; OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, p. 99-105, 2008.
- GATIBONI, L. C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; CASSOL, J. P. F.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 33, p. 283-290, 2003.
- GHIBERTO, P. J.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; TRIVELIN, P. C. O. Leaching of nutrients from a sugarcane growing on an Ultisol in Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 1443-1448, 2009.
- HASSINK, J.; BOUWMAN, L. A.; ZWART, K. B.; BLOEM, J.; BRUSSAARD, L. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. **Geoderma**, v. 57, p. 105-128, 1993.
- KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S. A acidez do solo e a nutrição mineral de plantas. In: KAMINSKI, J. (Ed.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS/NRS, 2000. p. 21-39.
- LADD, J. N.; FOSTER, R. C.; SKJEMSTAD, J. O. Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. **Geoderma**, v. 56, p. 401-434, 1993.
- LOGAN, T. J.; McLEAN, E. O. Effects of phosphorus application rate, soil properties, and leaching mode on <sup>32</sup>P movement in soils columns. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 37, p. 371-374, 1973.
- MARTINS, O. C. Construção da fertilidade do solo em solos arenosos. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 122, p. 21-23, 2008.
- MEHTA, B. K.; SHIOZAWA, S.; NAKANO, M. Measurement of molecular diffusion of salt in unsaturated soils. **Soil Science**, v. 159, p. 115-121, 1995.
- MIKKELSEN, R. L. Phosphorus fertilization through drip irrigation. **Journal of Production Agriculture**, v. 2, p. 279-286, 1989.

- MITCHELL, C. C.; TU, S. Nutrient accumulation and movement from poultry litter. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, p. 146-2153, 2006.
- MOSIER, A. Soil processes and global change. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, p. 221-229, 1998.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.
- OLIVEIRA, A. P.; CARDOSO, M. O.; BARBOSA, L. J. N.; SILVA, J. E. L.; MORAIS, M. S. Resposta do feijão-vagem a P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em solo arenoso com baixo teor de fósforo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, p. 128-132, 2005.
- OLIVEIRA, F. F.; SALCEDO, I. H.; GALVÃO, S. R. S. Adubação orgânica e inorgânica de batatinha em solos arenosos: Produtividade, nutrientes na planta e lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 1228-1234, 2011.
- OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; MORTATTI, J. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p. 861-868. 2002.
- PAULO, E. N. **Avaliação do inibidor de nitrificação fosfato de 3,4-dimetilpirazol (DMPP) em três solos com gradiente textural, absorção e uso de nitrogênio em plantas de algodão**. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the State of Parana, Brazil. **Turrialba**, San José, v. 35, p. 131-139, 1985.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.
- RANNO, S. K.; SILVA, L. S.; GATIBONI, L. C.; RHODEN, A. C. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 21-28, 2007.
- RESENDE, A. V.; COELHO, A. M.; SANTOS, F. C.; LACERDA, J. J. J. **Fertilidade do solo e manejo da adubação NPK para alta produtividade de milho no Brasil Central**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 181).

- SHARMA, P. K.; SINHA, A. K.; CHAUDHARY, T. N. Movement of surface and deep-placed phosphorus in a Sandy loam soil in relation to initial soil wetness, amount of water applied, and evaporation potentials. **Soil Science**, v. 140, p. 256-263, 1985.
- SILVA, E. B.; RESENDE, J. C. F.; CINTRA, W. B. R. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 31, n. 6, p. 973-977, 2001.
- SILVA, J. E.; LEMANSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do Oeste Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 18, p. 541-547, 1994.
- SILVA, T. O.; MENEZES, R. S. C.; TIESSEN, H.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVEIRA, L. M. Adubação orgânica da batata com esterco e/ou *Crotalaria juncea*. I – Produtividade vegetal e estoque de nutrientes no solo em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 39-49, 2007.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, L. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.
- STEEGE, M. W.; STULEN, I.; MARY, B. Nitrogen in the environment. In: LEA, P. J.; MOROT-GAUDRY, J. F. (Ed.) **Plant nitrogen**. New York: Springer, 2001. p. 379-397.
- STOTZKY, G. Influence of soil mineral colloids on metabolic process, growth, adhesion, and ecology of microbes and viruses. In: HUANG, P. M.; SCHNITZER, M. (Ed.) **Interactions of soils minerals with natural organics and microbes**. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 305-428. (Special publication, 17).
- SUBBARAO, G. V.; ITO, O.; SAHRAWAT, K. L.; BERRY, W. L.; NAKAHARA, K.; ISHIKAWA, T.; WATANABE, T.; SUENAGA, K.; RONDON, M.; RAO, I. M. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems. Challenges and opportunities. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 25, p. 1-33, 2006.
- TELLES, E. C. C.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A.; TRUMBORE, S. E.; COSTA, E. S.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA JR., R. C. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia, **Global Biogeochemistry Cycles**, v. 17, p. 1-12, 2003.
- TOGNON, A. A.; DEMATTÊ, J. L. I.; DEMATTÊ, J. A. M. Teor e distribuição da matéria orgânica em Latossolos das regiões da floresta amazônica e dos cerrados do Brasil central. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, p. 343-354, 1998.

TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J. Adubação nitrogenada e a sustentabilidade de agrossistemas. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.).

**Tópicos em ciência do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v. 7, p. 193-219.

WERLE, R.; GARCIA, A. R.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2297-2305, 2008.





# **SOLOS FRÁGEIS**



## **CARACTERIZAÇÃO, MANEJO E SUSTENTABILIDADE**

**Selma Simões de Castro**

**Luís Carlos Hernani**

**Editores Técnicos**

**Embrapa**

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Solos  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# SOLOS FRÁGEIS: CARACTERIZAÇÃO, MANEJO E SUSTENTABILIDADE

*Selma Simões de Castro  
Luís Carlos Hernani  
Editores Técnicos*

*Embrapa  
Brasília, DF  
2015*