

Dinâmica de nutrientes do solo em sistema de plantio direto

Katiaíres Evangelista Delpin Malvezi¹, Luiz Antônio Zanão Júnior^{1,2}, Leila Müller¹, Fábio Rogério Trizotti Rosa¹, Jean Carlo Santos de Oliveira¹, Guilherme Francisco Tullio¹

¹Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR – Programa de Pós Graduação em Agricultura Conservacionista – Nível Mestrado, Rod. Celso Garcia Cid, km 375 CEP 86047-902 - Três Marcos - Londrina-PR.

²Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, BR 163, km 188, 85825-000, Santa Tereza do Oeste - PR

kmalvezi@gmail.com, lzanao@iapar.br, leilamuller@gmail.com, fabiotrizotti@gmail.com, jeancarolo_agro@hotmail.com, chicotullio@hotmail.com

Resumo: A demanda cada vez maior de alimentos frente à necessidade de sistemas produtivos sustentáveis remete soluções que favorecem o equilíbrio ambiental e econômico da atividade agrícola. O plantio direto é uma prática que atende a essas exigências e conhecer o comportamento dos nutrientes do solo neste sistema, consiste em avanços promissores. O revolvimento mínimo do solo e a boa cobertura vegetal propiciam melhores condições de umidade do solo beneficiando incremento e disponibilidade de nutrientes às plantas, principalmente nas camadas superiores, mesmo em condições de elevada acidez. A disponibilidade de potássio, nitrogênio e fósforo são beneficiadas assim como a calagem que supre a deficiência de cálcio e magnésio no solo. Além disso, a produção de fitomassa pelas plantas de cobertura que liberam nutrientes pela decomposição da palhada, aliado aos efeitos nas propriedades do solo, favorecem menores perdas por lixiviação, economia na adubação e aumento na produtividade.

Palavras-chave: macronutrientes, semeadura, comportamento

Nutrient dynamics soil in no-tillage system

Abstract: The increasing demand for food front to the necessity of sustainable production systems refers solutions that promote environmental and economic balance of agricultural activity. The no-tillage is a practice that meets these requirements and knows the behavior of soil nutrients in this system consists of promising advances. The minimum soil tickler and good vegetation cover provides better conditions of soil moisture benefiting increase nutrient availability to plants, mainly in the upper layers, even in conditions of high acidity. The availability of potassium, nitrogen and phosphorus are benefited as liming supplying the deficiency of calcium and magnesium in the soil. Furthermore, the production of biomass by cover plants that release nutrients by straw decomposition, combined with the effects on soil properties, favoring smaller leaching losses, economy in fertilizer and increased productivity.

Key words: macronutrients, sowing, behavior

Introdução

A preocupação mundial com o impacto ambiental tem sido cada vez mais expressiva e a busca por alternativas viáveis para minimizar esse efeito sem alterar os padrões atuais de vida das pessoas é um desafio.

A agricultura moderna exige manejos mais eficientes para o sistema de produção. Nela, os esforços se concentraram em almejar a recuperação do equilíbrio natural do solo, que passa necessariamente, pelo uso de sistemas de produção sustentáveis, do ponto de vista ambiental e econômico (Leal et al., 2013).

O sistema de plantio direto (SPD) trouxe diversos benefícios para agricultura, auxiliando na conservação dos recursos naturais com reflexo na redução da perda de solo e água. Sua introdução permitiu a criação de alguns pilares para a sustentação de um sistema de qualidade, como o revolvimento mínimo do solo, a conservação de cobertura vegetal ou palhada na superfície do solo e a diversificação de espécies vegetais cultivadas em rotações (Casão Junior, et al., 2012). Os efeitos refletem em alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo de forma desejáveis a um bom sistema produtivo, influenciando consideravelmente o comportamento dos nutrientes do solo (Castoldi et al., 2012).

Neste contexto, visando demonstrar a dinâmica de alguns nutrientes no solo em sistema de plantio direto, serão explorados parâmetros de avaliações de trabalhos que remetem esse comportamento em função da ausência de revolvimento do solo, à diversificação da qualidade e quantidade de matéria seca (MS) proporcionada pela rotação de culturas, bem como à adição e à manutenção da palhada no sistema.

Acidez do solo e calagem

A acidez do solo condiciona seu estado geral e de condição a ser explorado, considerada o principal limitante na produção agrícola do mundo (Coleman e Thomas, 1967). A deficiência de Ca e Mg nos solos tropicais e subtropicais auxiliam essa limitação, principalmente pelo impedimento do crescimento das raízes.

A calagem é a principal fonte neutralizadora dos efeitos negativos de solos ácidos, o que a torna uma prática necessária e recomendável para garantir a boa produtividade das culturas. Apesar disso, algumas posições persistem quanto ao seu modo de aplicação e eficiência nos diferentes sistemas de manejo (Cassol, 1995; Ciotta et al., 2002).

Gonçalves et al., (2011) mencionaram a utilização do calcário em plantio direto como um problema em função de determinadas condições edafoclimáticas, porém Caires e Fonseca, (2000) citam que a maior retenção de água no SPD é devido à cobertura vegetal, que reduz perdas pelo processo de evaporação, e que proporciona, mesmo em condições elevadas de acidez, adequada absorção de nutrientes pelas plantas. Segundo Miyazawa et al., (1993) esta cobertura a longo prazo, pode aumentar o pH e reduzir o teor de Al^{3+} no solo.

De acordo com Veronose et al., (2012) quando associados a plantas de cobertura, a adição de calcário, além de promover melhorias dos parâmetros de acidez do solo, aumentam a produtividade da soja. A explicação se deve ao fato de que as plantas de cobertura contribuem para potencializar efeitos nas propriedades do solo pela produção de fitomassa e posterior liberação de nutrientes pela decomposição da palhada. Os resíduos vegetais junto ao calcário aceleram os transportes de Ca^{2+} e Mg^{2+} , acompanhadas com o aumento de K^+ . (Caires, 2013).

A ação do calcário aplicado em superfície e em profundidade é proporcional à dose e ao tempo de aplicação. Em sistemas onde não ocorre o revolvimento do solo (SPD), a aplicação de calcário é feita em cobertura e sem incorporação, onde não apresenta efeito rápido em camadas mais profundas (e.g. solos com cargas variáveis) (Ernani et al., 2004), conforme verificado por Freiria et al., (2008).

Estudos comparativos entre aplicação de calcário demonstraram que quando incorporado, o efeito do calcário pode ser até três vezes maior que o aplicado em superfície, com alcance do sistema radicular de 40 cm de profundidade, incrementando a produtividade de grãos de soja em até 31% (Bertoluzzi et al., 2014). Apesar disso Caires et al., (2008a) verificaram que, mesmo o calcário aplicado na superfície em sistema de plantio direto, ocorre melhorias na acidez não só nas camadas superficiais do solo, como também nas do subsolo e essa tendência é que ao longo do tempo, essa melhoria ocorra no gradiente de acidez da superfície, em direção ao subsolo (Caires, 2013).

Na aplicação em superfície, o efeito em profundidade do calcário está relacionado a diversos mecanismos, dentre eles o deslocamento vertical de partículas finas decorrente de condições favoráveis de estruturação e agregação do solo gerada pelos resíduos vegetais e a ação de ácidos orgânicos hidrossolúveis (Caires et al., 2011),

atuando isoladamente ou em conjunto. Tais autores citam ainda que seriam necessárias menores quantidades de calcário para o SPD que o convencional, salientando que as altas produtividades das culturas em solos ácidos manejados em SPD, tem sido obtidas em estudos a campo, sem limitação hídrica.

Referências sobre as plantas que compõe a cobertura do solo demonstraram que elas respondem de forma específica conforme demonstrado pelo estudo de Caires et al., (2008b). Os autores verificaram que resíduos de aveia preta não favoreceu a mobilidade do calcário para amenizar a acidez do subsolo. Já estudos de Franchini et al., (2001) com calcário aplicado em superfície, demonstraram aumento do pH e o teor de Ca, diminuindo o teor de Al apenas nas camadas mais superficiais do solo (0-5 cm), e com a presença de resíduos de aveia preta e nabo forrageiro ocorreu o aumento do pH, teor de Ca e diminuição no teor de Al nas camadas mais profundas (0-20 cm). Na presença de plantas de cobertura e ausência de revolvimento do solo, a taxa de decomposição dos ligantes orgânicos pelos microrganismos reduz, e na presença de água eles são solubilizados para então serem lixiviados tendo efeito no perfil do solo.

Miyazawa et al., (1993) cita que os compostos orgânicos solúveis presentes nas plantas de cobertura têm efeito sobre a química do solo a curto prazo. Já Franchini et al., (2004) revela que contrários são os efeitos de longo prazo advindos da dinâmica da matéria orgânica do solo.

Em culturas como o feijão, Pértile, (2011), verificou melhorias químicas da calagem no perfil do solo, que proporcionaram maior crescimento das raízes. Silva e Lemos, (2008) constataram que apesar dos teores de Ca, K e Mg solúveis na parte aérea das plantas do feijoeiro não terem sido alterados com a aplicação superficial de doses de calcário dolomítico, de acordo com Silva et al., (2011) a produtividade e o tempo de cozimento apresentaram diferença entre cultivares, em função do incremento das doses.

Autores como Amaral et al., (2004) trabalhando com amostras indeformadas de solo manejadas cinco anos sob plantio direto, verificaram que resíduos vegetais deixados no solo, na ausência ou na presença de calcário não tiveram efeito na correção da acidez do solo em profundidade. Também Caires et al., (2006), trabalhando com calagem superficial em áreas com cinco anos sob SPD, com e sem cobertura do solo de aveia preta, observaram que o resíduo vegetal mantido na superfície do solo (4 t ha^{-1} de

massa seca de aveia por ano durante 2 anos) não ocasionou benefícios à ação da calagem superficial na correção da acidez de camadas do subsolo.

Solos com camada superficial ácida podem comprometer a penetração das raízes, sua nutrição e conseqüentemente causar estresse hídrico (Caires et al., 2011). De maneira geral o excesso de Al pode afetar o processo de alongação radicular, além de comprometer a absorção de nutrientes pelas mesmas. Como consequência elas tornam-se menos desenvolvidas resultando na redução expressiva da absorção de água e nutrientes nas camadas subsuperficiais do solo, causando reflexos negativos na produtividade principalmente quando em períodos de estiagem (Ferreira et al., 2006).

A utilização de gesso na agricultura também proporciona melhoria do ambiente radicular. Sua ação principalmente pelo excesso de água, se deslocando a camadas mais profundas do perfil do solo, ocasiona maior disponibilidade de Ca^{2+} e redução na toxicidade do alumínio, acarretando no bom desenvolvimento das raízes permitindo maior absorção de nutrientes (Caires et al., 2011).

Segundo Caires et al., (2001) e Tissi et al., (2004) no SPD concentrações de Al trocável consideradas tóxicas, não tem causado restrições ao crescimento de raízes de soja e milho, desde que em boas condições hídricas. Da mesma forma Salet et al., (1999) e Caires et al., (2011) citam que em SPD a toxicidade de Al para as plantas torna-se menos expressiva que as cultivadas em sistema convencional. Caires et al., (2011) descreve que os fatores responsáveis são as concentrações suficientes de cátions trocáveis através da decomposição dos materiais orgânicos que formam substâncias com maior peso molecular, aumentando a CTC a pH 7,0 o que acarreta em concentrações adequadas de cátions trocáveis (Ca^{2+} e Mg^{2+}), suficientes para atender as necessidades das culturas mesmo em condições ácidas e a maior umidade disponível no solo.

As propriedades físicas do solo, também demonstram efeitos positivos com a aplicação de calcário em sistema de plantio direto. De acordo com Blanco-Canqui et al., (2010) nesse tipo de sistema, o acúmulo de resíduos orgânicos, geralmente aumenta a estabilidade de agregados. Castro et al., (2011) constatou que a macroporosidade do solo aumentou até 0,10 m, após aplicação do corretivo. Segundo Corrêa et al., (2009) esse efeito indireto da produção de fitomassa aérea e radicular das culturas é que auxiliam a formação dos agregados que quanto maiores e menos densos, aumentam a

infiltração de água no solo e conseqüentemente o transporte de calcário para as camadas do subsolo. Trabalhos de Bortoluzzi et al., (2008, 2010) também relatam benefícios físicos em solos que receberam corretivos da acidez.

Leal et al., (2013) concluíram que na implantação do sistema de plantio direto, tanto em superfície, quanto incorporado, o calcário não interferiu na alteração da produtividade de grãos, teor foliar de nutrientes e características agronômicas em solo com pH médio e saturação de bases adequada. Soratto e Crusciol, (2008) seguindo essa mesma linha de pesquisa adicionaram na implantação do SPD além do calcário, gesso agrícola como uma alternativa para diminuição da atividade do Al^{3+} e aumento da saturação por bases (V). O trabalho mostrou que o incremento do gesso possibilitou o aumento dos teores de Ca trocável e $S-SO_4^{2-}$ e diminuição dos teores de Al no solo, além de contribuir com que as camadas do subsolo também sejam beneficiadas pela calagem superficial.

Muitos são os efeitos da acidez do solo na produtividade das culturas. Pesquisas complementares são importantes para a consolidação do conceito da aplicação de calcário em sistema em plantio direto, porém avanços estão sendo encontrados em diferentes níveis de avaliação e culturas.

Potássio

O potássio (K) do solo provém naturalmente do intemperismo de minerais primários e é absorvido na forma iônica (K^+) por difusão (Raij, 1981), sendo o segundo mais absorvido pela maioria das espécies de plantas (Ernani et al., 2007). Tem entre as suas funções, a regulação do potencial osmótico das células vegetais e a ativação de enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (Taiz e Zeiger, 2004).

Embora seja um dos nutrientes mais abundantes nos solos, apenas 2% encontra-se prontamente disponível pelas as plantas, estando na solução do solo ou ligado às cargas negativas (Sparks, 2000). Este último representa a reserva imediata de K para as plantas (Ernani et al., 2007), e quando o nutriente é subtraído da solução, seja por absorção ou lixiviação, uma fração de K trocável é liberada para restauração do equilíbrio (Nachtigall e Vahl, 1991). A relação entre K trocável e K solução é determinada, principalmente, pela capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, cuja

dimensão é influenciada pelo teor de matéria orgânica, quantidade e qualidade dos minerais de argila e pH (Sanzonowicz e Mielniczuk, 1985).

O sistema de plantio direto (SPD) influencia consideravelmente a dinâmica do K no solo. Apesar da alta solubilidade dos sais de K e baixa força de adsorção do íon K^+ aos colóides do solo (Raij, 1981), o sistema proporciona que ocorra maior disponibilidade de K nos primeiros 5 a 10 cm do solo, permitindo que possam ser adicionadas menores doses de adubação de manutenção a solos bem supridos desse nutriente, sem afetar o rendimento das culturas (Lopes et al., 2004), evitando possíveis perdas por lixiviação, relacionadas ao efeito residual, como constatado por Werle et al., (2008). Isso se confirma com os resultados obtidos por Sguario-Jr et al., (2006) e Bernardi et al., (2009), de que a produtividade das culturas do feijão e da soja em SPD não foi influenciada pela adubação potássica, nas diferentes doses e formas de aplicação.

O K se encontra no tecido vegetal como íon livre ou ligado a substâncias presentes na parede celular (Taiz e Zeiger, 2004) e, por não ficar incorporado às cadeias carbônicas da matéria orgânica, volta rapidamente ao solo em forma prontamente disponível para as culturas, após a colheita ou senescência das plantas (Raij et al., 1997). Portanto, a palhada representa um reservatório significativo deste nutriente no curto prazo (Rosolem et al., 2007).

Neste contexto, Chagas et al., (2007) mensuraram a velocidade de decomposição e de liberação de nutrientes *in situ* de resíduos da cultura do feijoeiro e verificaram que a liberação de K foi mais rápida, quando comparada com nitrogênio e fósforo, em virtude da maior mobilidade deste nutriente nos tecidos vegetais e de sua maior lixiviação.

Torres e Pereira, (2008), avaliando diferentes tipos de coberturas vegetais, em área de cerrado, verificaram que o maior acúmulo de K ocorreu em gramíneas (milheto, braquiária brizanta, sorgo forrageiro), e a maior liberação de K ocorreu no milheto, aveia, braquiária e crotalária nos primeiros 42 dias após o manejo, nos dois períodos avaliados (ago/2000 e abr/2001). A braquiária apresentou o menor tempo e a maior taxa de liberação de K, mostrando-se uma potencial alternativa como planta de cobertura.

O uso de plantas de cobertura com alta capacidade de absorver K e de produzir MS, como fonte expressiva deste nutriente para as culturas sucessoras, pode constituir-

se de estratégia eficaz no SPD (Castoldi et al., 2012). Desde que conduzida adequadamente, esta prática pode também reduzir suas perdas por lixiviação, uma vez que ele permanece a maior parte do tempo no tecido vegetal vivo, ficando protegido de tal perda (Rosolem et al., 2010). Isso pôde ser observado na palha de milho, que aumentou a quantidade de K levada pela chuva até à superfície do solo em vasos, e diminuiu a lixiviação do nutriente na coluna de solo, provavelmente devido à liberação de ácidos orgânicos, que podem ter funcionado como ligantes (Rosolem et al., 2006).

Também nesse sentido, a aplicação antecipada da adubação potássica na cultura antecessora à soja (aveia-preta e milho) não afetou sua produtividade, minimizou a exportação de K via colheita de grãos da oleaginosa, e ainda incrementou a produção de MS pelas gramíneas em SPD (Foloni e Rosolem, 2008). Trata-se de uma estratégia de manejo promissora, por possibilitar o adequado aproveitamento do nutriente pela cultura principal, além de outros benefícios para o sistema como um todo. Costa et al., (2009) chamam a atenção para a possibilidade desta forma de manejo também para a cultura do milho, visando suprir sua elevada demanda inicial pelo nutriente, já que as raízes dessa gramínea se concentraram na camada superficial do solo, com maior crescimento em SPD.

Quanto à interação do K com outros nutrientes, Raij, (1981) afirma que sua disponibilidade é reduzida por teores muito altos de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg), assim como teores muito altos de K podem interferir na disponibilidade de Mg.

Portanto, a adoção do SPD deve estar associada ao planejamento detalhado da implantação e manutenção da cultura, que leve em conta fatores como o histórico da área e o conhecimento detalhado da dinâmica dos nutrientes na situação em questão, além da análise da fertilidade do solo atualizada, visando à exploração sustentável dos recursos naturais.

Nitrogênio

O nitrogênio é um importante nutriente, pois participa da composição dos aminoácidos, proteínas e clorofilas das plantas (Malavolta, 2006). Contribui com seu crescimento e desenvolvimento, o que reflete em aumento da produção de MS para cobertura do solo no sistema de plantio direto (SPD) e produtividade das culturas em geral (Costa et al., 2012).

Por ser facilmente perdido por volatilização, lixiviação e desnitrificação, a otimização do uso desse nutriente no solo pode aumentar a sustentabilidade do SPD, a fertilização do solo, evitar prejuízos ambientais e reduzir o custo ao produtor (Stone e Heinemann, 2012; Scivittaro et al., 2010; Okumura e Mariano, 2012).

Além dos benefícios físicos da palhada proveniente do plantio direto, Albuquerque et al., (2013) observaram que a manutenção desses restos culturais sobre o solo pode atuar como fonte de nitrogênio para as culturas posteriores. Apesar disso não é consenso das recomendações de fertilização levar isso em consideração.

O manejo da adubação nitrogenada que considera os restos culturais como parte do N fornecido às plantas requer conhecimento e planejamento agrícola, contudo há entraves por falta de pesquisas correlatas. Na construção desse conhecimento, devem-se considerar os estádios fenológicos da cultura, marcha de absorção de N pela planta, condições edafoclimáticas, e o genótipo da cultura, objetivando reduzir as perdas e aumento da eficiência de utilização do nitrogênio (Okumura et al., 2011).

Para obter a máxima eficiência do nitrogênio, o planejamento da adubação também deve considerar o comportamento desse nutriente no solo. A mineralização e disponibilização de nitrogênio pelas plantas de cobertura se deve às condições adequadas de pH, umidade, temperatura, capacidade de retenção de água, condições aeróbicas, e a atividade biológica do solo (Moreira e Siqueira, 2002).

A necessidade de nitrogênio pelas plantas varia conforme as características de cada espécie. Alternativas de adubação via plantas de cobertura, proporcionam melhores resultados em SPD, com reflexo positivo na produtividade (Oliveira et al., 2013), evitando adubação onerosa e eficiência limitada (Cantarella, 2007).

Para anteceder a cultura principal, é imprescindível que a relação C/N proveniente da MS da adubação verde, proporcione equilíbrio entre mineralização e imobilização, principalmente nos estádios de maior demanda da cultura sucessora (Viola et al., 2013). Em função disso algumas culturas são mais estudadas que outras como milheto, crotalaria, mucuna, braquiaria e nabo forrageiro já consolidados na literatura (Costa et al., 2012; Leal et al., 2013; Viola et al., 2013; Albuquerque et al., 2013) com relação a processos e tempo de decomposição da palha e mineralização do N no solo. Contudo, os resultados ainda são controversos e não é consenso de quanto nitrogênio essas culturas disponibilizam para a cultura principal, pois existem diversos

fatores a serem considerados como o tempo do SPD, clima e características do solo que influenciam diretamente nessa liberação.

Na avaliação do desempenho agrônomico do milho cultivado após feijão comum, *Brachiaria brizantha* e milheto, verificaram-se diferentes taxas de decomposição. O feijão comum se decompôs de forma mais rápida, devido sua menor relação C/N, contribuindo com 3.000 g m⁻² de MS para o milho, além de disponibilizar nitrogênio na época de maior necessidade da cultura. Isso resultou em maior produtividade de grãos do milho em relação às outras plantas de cobertura (Oliveira et al., 2013).

Outros estudos com produção de fitomassa, taxa de decomposição e quantidade de nutrientes disponibilizados pela palhada de sete plantas de cobertura de solo e vegetação espontânea em parcela de pousio, demonstraram diferentes resultados de produção de MS. Porém, a liberação do nitrogênio em tempo mais eficaz para utilização da cultura principal ocorreu com o pousio, guandu e a braquiaria respectivamente (Torres et al., 2008).

Viola et al., (2013) também avaliaram a produção e a decomposição de MS bem como o acúmulo e liberação de nutrientes de plantas de cobertura (nabo forrageiro, ervilhaca comum, ervilha forrageira, tremoço e feijoeiro) de solo. Também foram quantificados seus efeitos sobre o desempenho do trigo, cultivado em sucessão, sob doses de N (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹). A baixa relação C/N do nabo forrageiro, ervilhaca comum, ervilha forrageira e tremoço, proporcionaram maior mineralização do nitrogênio, que foi disponibilizado para o trigo.

Dessa forma, inúmeras plantas apresentam potencial de utilização para adubação nitrogenada via decomposição da palhada. No entanto, existem alguns desafios, como tornar essa liberação mais constante ao longo dos anos e menos influenciada pelas variáveis edafoclimáticas, para que possa ser contabilizada na recomendação de adubação nitrogenada com mais precisão e eficiência.

Em relação ao sistema de manejo a adubação nitrogenada sofre interferência tanto no tipo quanto na implementação. No sistema de plantio direto a implantação deve ser dada com a adubação mais intensa devido ao aumento do processo de imobilização do N pela biomassa microbiana do solo, ocasionada pelo aumento de sua atividade e pelos baixos teores de matéria orgânica comumente encontrados no solo (Vargas et al.,

2005; Anghinoni, 2007; Binotti, 2009). Após o seu equilíbrio a competição dos microrganismos do solo por nitrogênio reduz, tornando-o prontamente disponível para as plantas.

Embora existam muitos trabalhos relacionados à adubação nitrogenada via adubação mineral e adubação verde, o foco está na quantidade e na disponibilidade de nitrogênio para as culturas (Andrioli e Prado, 2012; Silva et al., 2013; Pelegrin et al., 2009). Entretanto, sabe-se que tanto a quantidade de MS, quantidade e disponibilidade de nitrogênio são dependentes de fatores climáticos e do tipo de solo (Souza e Soratto, 2012).

Neste contexto, observa-se que estudos complementares de liberação do N principalmente em SPD, precisam ser explorados já que seu comportamento é diferente ao do convencional, a partir do qual foram realizadas as propostas atuais de recomendação (Santi et al., 2013).

Outra ressalva é que os trabalhos com N em plantio direto estão concentrados em poucas regiões do Brasil e limitados em geral ao Latossolo Vermelho distrófico e distroférico e mesmo assim com respostas discrepantes em relação à quantidade de nitrogênio disponível (Oliveira et al., 2013; Okumura et al., 2011; Santi et al., 2013; Viola et al., 2013; Andrioli e Prado, 2012; Costa et al., 2012; Garcia et al., 2012; Souza e Soratto, 2012; Souza et al., 2009; Pelegrin et al., 2009; Zañão Junior et al., 2009; Teixeira Filho et al., 2008; Torres et al., 2008; Souza et al., 2003).

Fósforo

O fósforo (P) é um nutriente essencial ao metabolismo das plantas, participando na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese, o que constitui um elemento importante desde seus estádios iniciais de desenvolvimento. Caracteriza-se pela baixa mobilidade no solo (Novais et al., 2007), porém é possível alterações no seu comportamento de acordo com o manejo adotado.

Sistemas que utilizam o preparo convencional do solo demonstram menor sustentabilidade para o meio agrícola ao trazer redução na disponibilidade de diversos nutrientes e algumas limitações físicas e biológicas ao solo.

A decomposição dos restos culturais mantidos no solo pelo sistema de plantio direto influencia o acúmulo de nutrientes nas camadas mais próximas a superfície do

solo e evidências desse comportamento são demonstradas por Bertol et al., (2000). Tais autores, ao compararem manejo com arado movido à tração animal ao sistema de semeadura direta, verificaram teor de fósforo extraível, 50 % menor na profundidade de 0-5 cm no sistema convencional.

Zanão Júnior et al., (2010) ao analisarem o efeito do sistema de plantio direto em Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso e de textura média, observaram que o sistema favorece maior acúmulo de nutrientes nas camadas de 0-10 cm de profundidade, quando comparado à profundidade de 10-20 cm, reflexo do revolvimento mínimo do solo e fertilizações localizadas, feitas na superfície do solo.

O SPD proporciona aos solos, em função do tempo de cultivo, maiores concentrações de P na forma lábil, e ao decorrer dos anos menor participação da forma não-lábil em uma mesma classe de solo (Tokura, 2002). Esse mesmo autor verificou que em diferentes tipos de solo, o sistema favorece maior disponibilidade de P em relação a solos nunca antes cultivados.

Guareschi et al., (2012) ao avaliarem SPD com diferentes tempos de implantação, cerrado nativo e área com pastagem plantada, verificaram que o SPD com maior tempo de implantação demonstrou melhores resultados em relação ao fósforo remanescente. Pereira et al., (2010) avaliaram o fósforo remanescente em áreas de Latossolo Vermelho distrófico típico no cerrado sob SPD com diferentes coberturas do solo, comparado a áreas cultivadas sob preparo convencional e pousio. Constataram que o SPD reduziu a adsorção de fósforo no solo em função do aumento nos teores de matéria orgânica. Isso se deve ao fato de que as substâncias húmicas formam complexos que bloqueiam os sítios de adsorção de fósforo na superfície de óxidos de alumínio e ferro (Tirloni et al., 2009).

Leite et al., (2010) mostrou aumento do P extraível do solo sob SPD, em comparação com uma área de floresta nativa, cerrado e plantio convencional. Também demonstrado pelo maior acúmulo do elemento em menores profundidades do solo, em função de sua baixa mobilidade e da localização da aplicação dos adubos fosfatados.

Considerando a rotação de culturas como um princípio do plantio direto, é importante respeitar critérios para a adoção de fertilizantes em função às necessidades nutricionais das culturas. Em trabalho realizado com Latossolo em sistema de plantio direto no Centro-Sul do Paraná, foi verificado que a aveia branca, cevada e trigo são

mais sensíveis a deficiência de fósforo e potássio, tendo por nível crítico para o fósforo $8,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (Vieira et al., 2013).

É importante mencionar que a presença de P mais próxima à superfície do solo em SPD, também é considerada um reflexo da menor taxa de erosão que o sistema proporciona. As perdas de fósforo por erosão podem ser tidas como prejudiciais ao meio ambiente, pela contaminação das águas através do processo de eutrofização das mesmas (Bertoni e Lombardi Neto, 2012).

Bertol et al., (2010) estudaram as perdas de P por erosão hídrica, ocasionada por simulação de chuva em um Latossolo muito argiloso, em função da aplicação de fontes de fertilizante mineral e dejetos líquidos de suínos. Foi constatado que o escoamento do P foi maior em precipitação intensa, com maiores perdas quando foi aplicado dejetos líquidos de suínos.

Apesar de evidências que comprovem o aumento do teor de fósforo provocado pelo maior acúmulo de matéria orgânica e aumento da disponibilidade do nutriente às plantas em solos sob SPD, estudos adicionais precisam ser realizados para averiguar a dinâmica deste nutriente bem como necessidade de fertilização fosfatada e disponibilidade do fósforo no solo sob esse manejo conservacionista.

Considerações finais

O comportamento dos nutrientes nos solos em SPD direto demonstra que suas características favorecem a dinâmica desses nutrientes, principalmente nas camadas superficiais.

A maior retenção de água proporcionada pelo sistema devido à cobertura vegetal proporciona, mesmo em condições elevadas de acidez, adequada absorção de nutrientes pelas plantas.

Quando associados às plantas de cobertura, além de contribuir para potencializar o incremento nutricional e os efeitos nas propriedades do solo, a adição de calcário é beneficiada, podendo ser vistos economia na adubação e aumento na produtividade.

Referências

ALBUQUERQUE, A.W.; SANTOS, J.R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L.S.; Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.7, p.721–726, 2013.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.115-123, 2004.

ANDRIOLI, I.; PRADO, R.M. Plantas de cobertura em pré-safra e adubação nitrogenada na fertilidade do solo em diferentes camadas, cultivado com milho em sistema de plantio direto e convencional. *Semina: Ciências Agrárias*, v.33, n.3, p. 963-978, 2012.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES, V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.), **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.873-928, 2007.

BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA JR., J.P.; LEANDRO, W.M.; MESQUITA, T.G. da S.; FREITAS, P.L. de; CARVALHO, M. da C.S. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n.2, p.158-167. 2009.

BERTOL, I.; CIPRIANDI, O.; CAMPOS, L.N.G. de; BATISTELA, O. Propriedades físicas e químicas e produtividade de milho afetadas pelo manejo do solo com tração animal, numa terra bruna estruturada. **Ciência Rural**, v.30, n.6, p.971-976, 2000.

BERTOL, J.O.; RIZZI, N.E.; FAVARETTO, N.; LANA, M.C. do. Phosphorus loss by surface runoff in no-till system under mineral and organic fertilization. **Scientia Agricola**, v.67, n.1, p.71-77, 2010.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8ª ed. São Paulo: Editora Ícone, 2012. 355 p.

BINOTTI, F.F.S. **Manejo do nitrogênio no feijoeiro de inverno em sucessão a milho e Brachiaria em sistema de plantio direto**. 2009. 178p. Tese (Doutorado em Agronomia / Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2009.

BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L.R.; STAHLMAN, P.W. Soil response to long-term cropping systems on an Argiustoll in the central Great Plains. **Soil Science Society of America Journal**, v.74, p.602-611, 2010.

BORTOLUZZI, E.C.; GARBOZZA, L.; GUARESCHI, C.; RHEINHEIMER, D. dos S. Efeito da calagem na relação entre solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2621-2628, 2008.

BORTOLUZZI, E.C.; POLETO, C.; BAGINSKI, Á.J.; SILVA, V.R. da. Aggregation of subtropical soil under liming: a study using laser diffraction. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.725-734, 2010.

BORTOLUZZI, E.C.; PARIZE, G.L.; KORCHAGIN, J.; SILVA, V.R. da.; RHEINHEIMER D.S. dos.; KAMINSKI, J. Soybean root growth and crop yield in response to liming at the beginning of a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.1, p.262-271, 2014.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. da. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, v.59, p.213-220, 2000

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. da; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.1029-1040, 2001.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.87-98, 2006.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J.C.L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v.28, p.57-64, 2008 a.

CAIRES, E.F.; PEREIRA FILHO, P.R.S.; ZARDO FILHO, R.; FELDHAUS, I.C. Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. **Soil Use and Management**, v.24, p.302-309, 2008 b.

CAIRES, E.F.; JORIS, H.A.W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use Manage**, v.27, p.45-53, 2011.

CAIRES, E.F. Correção da acidez do solo em sistema de plantio direto. Informações Agrônomicas, Piracicaba, IPNI, n.141, p.1-13, 2013.

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

CASÃO JUNIOR, F.; ARAUJO, A.G.; LLANILLO, F.F. **Plantio direto no sul do Brasil - Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina: IAPAR, 2012. 77 p.

CASSOL, L.C. **Características físicas e químicas do solo e rendimento de culturas após a replicação de calcário, com e sem incorporação, em sistemas de preparo**. 1995. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

CASTOLDI, G.; FREIBERGER, M.B.; CASTOLDI, G.; COSTA, C.H.M. Manejo da adubação em sistema plantio direto. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.6, n.1, p.62-74, 2012.

CASTRO, G.S.A.; CALONEGO, J.C.; CRUSCIOL, C.A.C. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.12, p. 1690-1698, 2011.

CHAGAS, E.; ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G.; GUERRA, J.G.M. Decomposição e liberação de nitrogênio, fósforo e potássio de resíduos da cultura do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.723-729, 2007.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.1055-1064, 2002.

COLEMAN, N.T.; THOMAS, G.W. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R.W.; ADAMS, F. (Ed.) **Soil acidity and liming**. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p.1-41.

CORRÊA, J.C.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MORAES, M.H. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.263-272, 2009.

COSTA, S.E.V.G. de A.; SOUZA, E.D. de; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C.; ANDRIGUETTI, M.H. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.1291-1301, 2009.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R.A.; PARIZ, C.M.; BUZETTI, S.; LOPES, K.S.M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.8, p.1038-1047, 2012.

ERNANI, P.R.; RIBEIRO, M.F.S.; BAYER, C. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.35, p.889-901, 2004.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.551-594.

FERREIRA, R.P.; MOREIRA, A.; RASSINI, J.B. **Toxidez de alumínio em culturas anuais**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudoeste, 2006. 35p. (Embrapa Pecuária Sudoeste. Documentos, 63).

FOLONI, J.S.S.; ROSOLEM, C.A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1549-1561, 2008.

FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Influência de resíduos vegetais na toxidez de Al e na mobilidade de íons no solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26, 2004, Lages. **Anais. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, FertBio**, 6p. (CD-ROM)

FRANCHINI, J.C.; MEDA, A.R.; CASSIOLATO, M.E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**, v.58, p.357-360, 2001

FREIRIA, A.C.; MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da; YAGI, R. Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.30, n.2, p.285-291, 2008.

GARCIA, C.M.P.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M.A.A.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; LIMA, A.E.S.; BUZZETTI, S. Análise econômica da produtividade de grãos de milho consorciado com forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* em sistema plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, v.59, n.2, p.157-163, 2012.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.3, p.909-920, 2012.

GONÇALVES, J.R.P.; MOREIRA, A.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; VILLAS BOAS, R.L. Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.33, n.2, p.369-375, 2011.

LEAL, A.J.F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L.R.; MARCANDALLI, L.H. Adubação nitrogenada para milho com o uso de plantas de cobertura e modos de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.491-501, 2013.

LEITE, L.F.C.; GALVÃO, S.R.S.; HOLANDA NETO, M.R.; ARAÚJO, F.S.; IWATA, B.F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1273-1280, 2010.

LOPES, A.S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A. **Sistema Plantio Direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA, 2004. 110p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 631p. 2006.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.17, p.411-416, 1993.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 626p.

NACHTIGALL, G.R.; VAHL, I.C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da Região Sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, p.37-42, 1991.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.

OKUMURA, R.S.; MARIANO, D.C.; ZACCHEO, P.V.C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.4, n.2, p.226–244, 2011.

OKUMURA, R.S.; MARIANO, D.C. Aspectos agronômicos da ureia tratada com inibidor de urease. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, v.8, n.2, p.403-414, 2012.

OLIVEIRA, P.O.; NASCENTE, A.S.; KLUTHCOUSKI, J.; PORTES, T.A. Crescimento e produtividade de milho em função da cultura antecessora. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.43, n.3, p.239-246, 2013.

PELEGRIN, R.; MERCANTE, F.M.; OTSUBO, I.M.N.; OTSUBO, A.A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.219-226, 2009

PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BEUTLER, S.J.; TORRES, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.5, p.508-514, 2010.

PÉRTILE, P. **Resíduo alcalino da indústria de celulose em solos ácidos e área degradada**. 2011. 106p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2011.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1981. 142p.

RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim técnico, 100)

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S.; GARCIA, R.A. Potássio lixiviado da palha de aveia-preta e milheto após a dessecação química. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1169-1175, 2007.

ROSOLEM, C.A.; GARCIA, R.A.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.813-819, 2006.

ROSOLEM, C.A.; SGARIBOLDIA, T.; GARCIA, R.A.; CALONEGO, J.C. Potassium Leaching as Affected by Soil Texture and Residual Fertilization in Tropical Soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.41, p.1934-1943, 2010.

SALET, R.L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R.A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. **Revista Científica Unicruz**, v.1, p.9-13, 1999.

SANTI, A.L.; BASSO, C.J.; LAMEGO, F.P.; FLORA, L.P.D.; AMADO, T.J.C.; CHERUBIN, M.R. Épocas e parcelamentos da adubação nitrogenada aplicada em cobertura na cultura do feijoeiro, grupo comercial preto e carioca, em semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.5, p.816-822, 2013.

SANZONOWICZ, C.; MIELNICZUK, J. Distribuição de potássio no perfil de um solo influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.9, p.45-50. 1985.

SCIVITTARO, W.B.; GONÇALVES, D.R.N.; VALE, M.L.C.; RICORDI, V.G.; Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com inibidor de urease NBPT. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.6, p.1283-1289, 2010.

SGUARIO-JR, J.C.; DAROS, E.; PAULETTI, V.; RONZELLI-JR, P.; SOARES-KOEHLER, H.; OLIVEIRA, R.A.de. Doses e formas de aplicação de potássio na cultura do feijoeiro em sistema de plantio direto na palha. **Scientia Agraria**, v.7, n.1-2, p.9-14, 2006.

SILVA, T.R.B. da; LEMOS, L.B. Efeito da calagem superficial em plantio direto na concentração de cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.1199-1207, 2008.

SILVA, T.R.B. da; LEMOS, L.B e CRUSCIOL, C.A.C. Produtividade e características tecnológicas de cultivares de feijão em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Bragantia**, v.70, n.1, p.196-205, 2011.

SILVA, F.C.; SILVA, M.M.; LIBADI, P.L. Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agronômicas. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.6, suplemento 1, p.3513-3528, 2013.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.675-688, 2008.

SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; SOBRINHO, T.A.; FEDATTO, E.; ZANON, G.D.; HASEGAWA, E.K.B. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na

produtividade de milho em plantio direto irrigado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p.55-62, 2003.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.1829-1836, 2009.

SOUZA, E.F.C.; SORATTO, R.P. Adubação nitrogenada no feijoeiro após milho safrinha consorciado com *Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis*. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, suplemento 1, p.2669-2680, 2012.

SPARKS, D.L. Bioavailability of soil potassium. In: SUMNER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000, Section D. p.48.

STONE, L.F.; HEINEMANN, A.B.; Simulação do manejo do nitrogênio em arroz de terras altas com o modelo ORYZA/APSIM 2000. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.6, p.611-617, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed., Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S; ALVAREZ, R.C.F.; FREITAS, J.G.; ARF, O.; SÁ, M.E. Desempenho agrônômico de cultivares de trigo em resposta a população de plantas e a adubação nitrogenada. **Científica**, Jaboticabal, v.36, n.2, p.97-106, 2008.

TISSI, J.A.; CAIRES, E.F.; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semeadura direta de milho. **Bragantia**, v.63, p.405-413, 2004.

TIRLONI, C.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; TIRLONI, D.; COIMBRA, D.S. Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.4, p.977-984, 2009.

TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C.H.; ALOVISI, A.A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.10, p.1467-1476, 2002.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1609-1618, 2008.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.421-428, 2008.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S.; Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v.35, n.1, p.76-83, 2005.

VERONESE, M.; FRANCISCO, E.A.B.; ZANCANARO, L.; ROSOLEM, C.A. Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.8, p.1158-1165, 2012.

VIEIRA, R.C.B.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ANGHINONI, I.; ERNANI, P.R.; MORAES, R.P. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em latossolos sob plantio direto no centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.188-198, 2013.

VIOLA, R.; BENIN, G.; CASSOL, L.C.; PINNOW, C.; FLORES, M.F.; BORNHOFEN, E. Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.72, n.1, p.90-100, 2013.

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

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; COELHO, P.H.M.; FONTES, R.L.F.; ÁVILA, V.T.; KAWAMURA, I.K. Severidade da mancha-marrom em trigo cultivado com diferentes formas de nitrogênio e doses de manganês. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p. 1199-1206, 2009.

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C.; PEREIRA, J.M.A. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em latossolos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.389-400, 2010.

Recebido para publicação em: 03/05/2015

Aceito para publicação em: 18/09/2015