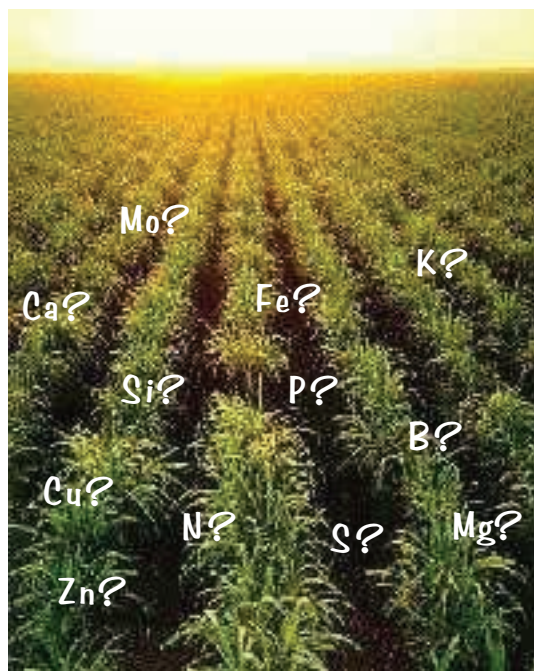


2. NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR: indagações e reflexões

Raffaella Rossetto¹
Fábio Luis Ferreira Dias²

A adubação é um dos fatores que determinam a produtividade. Muitas vezes, quando se pensa em adubação, a maior preocupação ocorre em relação às dosagens e aos custos dos fertilizantes. Entretanto, as práticas agrícolas estão todas interligadas. Uma adubação perfeita pode ir por água abaixo se o agricultor não observar a presença de pragas ou a concorrência de mato, ou a compactação do solo ou a época de plantio, enfim, todas as variáveis. Também o modo de aplicação do fertilizante, a regulação dos implementos e a época de aplicação podem ser determinantes do sucesso das adubações no aumento da produtividade, ou seja, aumentos significativos de produtividade são obtidos com a melhoria de todas as práticas agrícolas, conjuntamente.



necessário repor no local. Existem experimentos que indicam as quantidades de nutrientes extraídas e exportadas pelos colmos da cana-de-açúcar para cada tonelada de matéria vegetal produzida. Por isso, saber quanto foi a produtividade da cana naquele local no ano anterior também fornece importantes indicadores para o manejo da adubação.

A expectativa de produtividade é um conceito que se aplica a diversas culturas e que auxilia na recomendação da adubação pela seguinte razão: culturas mais produtivas requerem maior quantidade de nutrientes. Mas a produtividade esperada pode não ser a produtividade desejada. A produtividade esperada é função do potencial do solo, da genética da planta, das condições de manejo, de clima, do fornecimento suficiente de água, do controle de pragas,

Para calcular quanto aplicar de determinado fertilizante é necessário saber quanto a cultura necessita de cada elemento, quanto o solo fornece e quais são os nutrientes que deverão ser supridos. Algumas ferramentas nos auxiliam a determinar quais os elementos que estão em falta. A principal é a análise do solo, que dá uma boa idéia da disponibilidade dos nutrientes e do fornecimento de nutrientes de que se pode dispor. Desse modo, inicia-se com a coleta de amostras de terra que representarão toda a área que se pretende adubar. Portanto, é indispensável que a amostragem seja feita com muito critério. A melhor análise, feita no melhor laboratório, não corrigirá uma amostragem mal feita. Junto com a análise de solo é importante conhecer o histórico da área – o manejo realizado anteriormente e respectivo desempenho da(s) cultura(s), dentre outros – pois traz indicativos que auxiliam na prática da adubação. Assim, sintomas de deficiência ou de toxidez devem ser observados durante todo o ciclo da cana. É possível que não se tenha tempo para corrigir deficiências no mesmo ciclo da cultura, mas as observações devem constar do programa de adubação do ano subsequente. Além da diagnose visual, a diagnose foliar também pode ajudar na identificação do nutriente ou do elemento em falta e/ou excesso. A diagnose foliar é feita através da análise química de amostras representativas do talhão – primeira folha na qual se vê a bainha e a aurícula.

Os conceitos de extração e exportação de nutrientes pela cultura também são úteis para indicar quanto de nutrientes será

etc.; assim, ela deve estar entre a média de produtividade obtida naquela área e a máxima produtividade obtida no mesmo local. Por isso é importante conhecer o histórico da área/região.

A POTAFOS publicou dois encartes contendo recomendações e muitas informações vindas da pesquisa que foram adotadas para o manejo da cana-de-açúcar e que são indicadas para o manejo sustentável, o primeiro escrito por Orlando Filho et al. (1994) e o segundo, por Vitti e Mazza (2002). Por isso, o presente artigo irá tratar de alguns pontos polêmicos, aqueles que precisam de maiores investigações, na tentativa de instigar técnicos e curiosos envolvidos com o manejo da cana, a fim de contribuir para o debate e a busca de soluções.

1. O CULTIVO CONTÍNUO DA CANA PODE DIMINUIR A FERTILIDADE DOS SOLOS?

Há controvérsias. É muito comum encontrar na literatura citações afirmando que a agricultura tradicional degrada a fertilidade dos solos nas regiões tropicais. No Brasil, a cana vem sendo cultivada nos mesmos locais por muitos anos sem queda na produtividade. É verdade que o preparo do solo induz a maior atividade microbiana e conseqüente queda no teor de matéria orgânica, porém este fato ocorre na agricultura em geral. No caso da cana, aportes de matéria orgânica, como palhada, e resíduos, como vinhaça, torta, entre outros, têm acrescentado matéria orgânica aos

¹ Pesquisadora Científica do Centro de Cana do Instituto Agrônomo (IAC/Apta/SAA), Pólo Regional Centro-Sul, Piracicaba, SP; e-mail: raffaella@aptaregional.sp.gov.br

² Pesquisador Científico do Centro de Cana do Instituto Agrônomo (IAC/Apta/SAA), Ribeirão Preto, SP.

solos, possivelmente minimizando esse problema. Os fertilizantes também induzem a maior produção de massa vegetal como um todo, e não apenas de colmos industrializáveis, o que gera mais raízes e colmos subterrâneos, além de mais folhas e mais palha. A manutenção da fertilidade dos solos inclui, sempre que necessária, a aplicação de corretivos da acidez, que elevam a saturação por bases. No caso da cana, é importante considerar a profundidade dos solos até 50 cm para a melhoria da fertilidade, uma vez que o sistema radicular da cana explora grandes volumes de solo.

Correa et al. (2001), comparando a fertilidade de um solo de mata adjacente ao solo cultivado há mais de 30 anos com cana-de-açúcar, observou que o manejo da correção e adubação do solo cultivado com cana-de-açúcar proporcionou aumentos de pH, fósforo, cálcio e magnésio e na saturação por bases (V%), enquanto houve redução nos teores de matéria orgânica, CTC, Al trocável e saturação por alumínio (m%). A adubação e a correção do solo ao longo dos 30 anos de cultivo da cana não degradou o solo, ao contrário, melhorou sua fertilidade.

O assunto monocultivo de cana e degradação do solo vem sendo estudado em vários países. Nas Ilhas Maurícius, Ng Cheong et al. (2005) verificaram as mudanças nos atributos químicos e físicos do solo ocasionadas pela cana-de-açúcar em locais cultivados há mais de 50 anos, mais de 25 anos, menos de 10 anos e menos de 2 anos. Observaram que as principais mudanças ocorreram nos primeiros 15 cm do solo. Algumas propriedades como infiltração da água, macroporosidade e pH foram melhoradas, outras como matéria orgânica e nitrogênio total tiveram seu conteúdo diminuído.

Nas Ilhas Fiji, Morrison et al. (2005) também verificaram as alterações ocorridas em um Oxissol após 25 anos de cultivo com cana, onde as propriedades dos solos vêm sendo monitoradas anualmente desde o primeiro cultivo. As principais modificações são conseqüências do decréscimo da matéria orgânica e da CTC e também do aumento da compactação. Os autores consideram que esses fatores são responsáveis pelo declínio da produtividade ao longo dos anos e recomendam que grande atenção seja dada à reposição de bases para a manutenção da fertilidade dos solos. Trazendo para as nossas condições, monitorar a acidez e a saturação por bases no solo, não apenas na camada superficial, parece ser uma boa orientação.

Na África do Sul e na Austrália também tem sido observado um declínio na produtividade da cana ao longo dos anos. Na análise dos pesquisadores da África do Sul, o monocultivo da cana tem sido responsável por patamares menores de produtividade nas últimas décadas (MEYER e VAN ANTWERPEN, 2001). Os pesquisadores australianos também culpam o monocultivo e, para o estudo desse problema, existe o intuito de desenvolver um sistema de produção de cana rentável que vise a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental. Um dos pontos principais para quebrar o monocultivo seria o plantio de leguminosas.

Ainda no caso da Austrália, outros fatores foram identificados, tais como: grandes plantios de uma mesma variedade suscetível à presença de um patógeno da raiz, *Pachymetra chaunorhiza*, que obrigou os pesquisadores a identificar variedades de cana resistentes a essa praga; perda das propriedades físicas dos solos, fazendo com que eles utilizem o cultivo mínimo visando reduzir as operações e o tráfego de máquinas no canavial com a finalidade de prevenir a compactação. Deste modo, os resultados, embora considerados pelos autores como animadores, não são conclusivos quanto ao manejo ideal para impedir o declínio da produtividade (GARSIDE et al., 2001).

Para o caso da África do Sul, Meyer e Van Antwerpen (2001) concluem que uma maneira prática para manter e aumentar a matéria orgânica (fertilidade do solo) durante o cultivo da cana é colhê-la sem queima prévia e manter a palhada sobre o solo. Fato que já havíamos constatado.

2. A CANA-DE-AÇÚCAR É TOLERANTE À ACIDEZ DO SOLO?

Embora a cana-de-açúcar seja uma cultura muito tolerante à acidez, deve-se dar a devida atenção à correção do pH do solo. Além dos efeitos na neutralização do alumínio e manganês e na diminuição da fixação de fósforo do solo, a calagem fornece cálcio, elemento bastante exigido pela cana, e magnésio, dependendo do calcário utilizado. A correção do pH é a lição número 1 para a manutenção da fertilidade e, portanto, da sustentabilidade do solo.

Tem-se que considerar também que a calagem é uma prática bastante econômica, com boa relação custo/benefício, e que, no caso da cana, a melhor oportunidade para a calagem ocorre apenas a cada 5 ou 6 anos, uma vez que, durante o plantio, tem-se a única oportunidade de incorporar bem o calcário.

Existem vários métodos para a recomendação da calagem. O Instituto Agronômico de Campinas (IAC) recomenda que se eleve a saturação por bases a 60%, desde que não ultrapasse a dose de 5 t ha⁻¹ (RAIJ et al., 1996).

Quando o solo apresenta alto teor de alumínio em profundidade e/ou baixo teor de cálcio, indica-se o uso de gesso. A Tabela 1 apresenta a recomendação de gessagem para a cana-de-açúcar, que considera o teor de argila do solo (RAIJ et al., 1996).

Tabela 1. Recomendação de gessagem para cana-de-açúcar.

Amostra de solo (20-40 cm)	Quantidade de gesso a aplicar
Ca < 4 mmol _c dm ⁻³ e/ou Al > 40%	Gesso (kg ha ⁻¹) = argila (g kg ⁻¹) x 6

3. A CANA-PLANTA RESPONDE À ADUBAÇÃO NITROGENADA?

Esta é sempre uma questão polêmica.

Apesar da revisão de Azeredo et al. (1986) ter indicado que, de 135 experimentos analisados, houve resposta ao N em apenas 19% deles, sabe-se que a extração do elemento pela cultura é muito grande, cerca de 100 a 130 kg ha⁻¹ de N, e as doses aplicadas como fertilizante são de apenas 30 a 60 kg ha⁻¹ de N. Além disto, a eficiência de utilização do N do fertilizante é baixa.

De onde vem então todo esse nitrogênio?

A cana-planta utiliza outras fontes de N além do fertilizante. A taxa de mineralização do N da matéria orgânica do solo, após o preparo, é alta, e certamente contribui com grande parte do fornecimento desse nutriente, pois a movimentação do solo ocorre em épocas quentes e chuvosas, que favorecem a mineralização. Estimativas feitas por Morelli et al. (1987) revelam alto estoque de N contido nos restos culturais que a cana deixa no solo (raízes, rizomas); existe ainda o N contido na muda da cana a ser plantada, que pode fornecer por volta de 12 kg ha⁻¹ de N (CARNEIRO et al., 1995); possivelmente pode-se contar, ainda, com certa contribuição da fixação biológica de N. Outra fonte que pode concorrer para o total de N da cana-planta, cuja contribuição está sendo ainda pesquisada, é a absorção de amônia da atmosfera pelas folhas (HOLTAN-HARTWING e BOCKMAN, 1994).

Estima-se que possa haver resposta à adubação nitrogenada em 30% dos plantios de cana. Mas quais seriam esses locais?

Geralmente são solos distróficos, de textura arenosa ou média, com baixa quantidade de matéria orgânica, mas alguns relatos mostram respostas também em solos eutróficos e argilosos. Quando a instalação da cultura da cana-de-açúcar é iniciada em solo anteriormente utilizado por pastagem, há maior tendência de resposta à adubação.

Embora a tabela de adubação do IAC (RAIJ et al., 1996) recomende 30 kg ha⁻¹ de N no plantio mais 30 a 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura após 30 a 60 dias (Tabela 2), verifica-se que, na prática, são comuns as dosagens entre 30 e 60 kg ha⁻¹ de N no sulco, de uma única vez. Resultados experimentais de Penatti et al. (1997) mostraram maior necessidade de N tanto pela cana-planta como pela cana-soca. Através de correlações entre variedades, produtividade de cana (t ha⁻¹) e margem de contribuição agroindustrial (R\$ ha⁻¹) obtiveram a dose de 50 kg ha⁻¹ de N, localizada no sulco de plantio, como técnica e economicamente adequada para cana-planta. É possível também que haja maior possibilidade de resposta da cana-planta ao N quando esta for plantada em sistema de cana de ano, conforme os resultados de Penatti et al. (1997).

Tabela 2. Recomendação de adubação nitrogenada para a cana-planta e cana-soca.

Cana-planta	
30kg ha ⁻¹ + 30 a 60 kg ha ⁻¹ em cobertura	
Cana-soca	
Produtividade	N
(t ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
< 60	60
60-80	80
80-100	100
> 100	120

Sintomas de deficiência de nitrogênio são mais frequentemente observados nas soqueiras, como ilustra a Figura 1.



Figura 1. À direita, deficiência de nitrogênio em soqueiras de cana-de-açúcar.

4. EXISTE FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE N NA CANA?

A descoberta de microrganismos fixadores de N em cana-de-açúcar foi um mérito dos pesquisadores brasileiros liderados

pela vitoriosa Dra. Johanna Döbereiner, há mais de 40 anos. Porém, até hoje, o mecanismo que envolve essa fixação, a sua eficiência, não foi ainda desvendado. Sabe-se que existem várias espécies de microrganismos fixadores de N que vivem em associação com a cana-de-açúcar. Sabe-se também que existem diferenças entre as variedades de cana e a resposta a essas associações. Os pesquisadores brasileiros foram também vitoriosos em isolar e classificar as bactérias fixadoras encontradas na cana-de-açúcar, como *Acetobacter diazotrophicus*, hoje reclassificada como *Gluconacetobacter diazotrophicus*, que se encontra em qualquer órgão da planta, restos de colheita e no solo (BODDEY et al., 1995). O *Gluconacetobacter diazotrophicus* também produz hormônios de crescimento, como o ácido indol acético (AIA), e possui atividade antagônica a alguns patógenos do solo, segundo vários autores citados por Perin et al. (2004). Estas e outras bactérias fixadoras também têm sido encontradas em canaviais na Austrália e na América Central, mostrando sua grande afinidade pela cultura da cana. Alguns trabalhos da equipe da Dra. Johanna estimaram que a cana poderia conter mais que 50% do N acumulado proveniente da fixação biológica. Apesar das estimativas, não existem evidências concretas de que a associação entre as bactérias fixadoras de N e a cana determine maior produtividade. Ou mesmo que inoculações com as bactérias possam aumentar a eficiência do processo.

Na Índia, foi relatada a eficiência de inoculação de *Azospirillum* e *Azotobacter* em cana-de-açúcar, porém apenas o aumento de produtividade foi analisado, não havendo resultados da eficiência da fixação, nem do aumento de N na planta, nem do aumento do número de microrganismos, ficando os resultados apenas como indicativos da diferença entre a testemunha não inoculada e do tratamento inoculado (cerca de 20%) de que pode ter ocorrido fixação biológica do N (SHANKARIAH e HUNSIGI, 2001).

Técnicas consideradas apropriadas para medir a fixação biológica de N, que utilizam medidas isotópicas do nitrogênio, chamadas por delta N-15, foram estudadas para avaliar a fixação em variedades de cana em diversas regiões brasileiras por Polidoro et al. (2001). As quantidades de N fixadas variaram entre 0 e 60%, com média de 32%. As variedades RB72 454 e SP80-1842 apresentaram alto potencial de fixação de N, sendo que o manejo da fertilidade do solo e a conseqüente nutrição das plantas influenciaram na magnitude da contribuição. Interessante salientar também, que nesse trabalho os autores encontraram fixação de N não apenas na cana-planta como também nas soqueiras. Um problema relacionado a esses estudos tem sido a escolha da planta não fixadora a ser considerada como testemunha. A alta variabilidade na estimativa das quantidades fixadas deve-se a falta de uma testemunha que sirva como padrão de delta N-15 da planta não fixadora. Nos estudos são utilizadas diversas espécies de ocorrência natural, como padrão, a exemplo de *Bidens pilosa*, *Emilia sonchifolia* ou *Sida rhombifolia*, entre outras. Ocorre que elas apresentam variações no valor de delta N-15 com conseqüentes distorções nas estimativas do N fixado na cana. São problemas de metodologia de pesquisa que necessitam maiores estudos.

Utilizando a mesma técnica em 8 locais da Austrália, Biggs et al. (2000) verificaram que em 7 locais a FBN não contribuiu para a nutrição nitrogenada da cana-planta. Em apenas um local a técnica teria indicado que havia ocorrido fixação de N, porém os autores temem que alguma situação específica desse solo possa ter favorecido a resposta nesse local, e preferem acreditar que os resultados obtidos nos 7 outros locais, que não indicam a fixação biológica de N, devem ser os verdadeiros. Ou seja, a pesquisa precisa ainda avançar nesse assunto.

5. A PALHADA DEIXADA SOBRE O SOLO FORNECE NUTRIENTES?

A palhada pode ter inúmeras funções entre proteger o solo e melhorar suas propriedades físicas e químicas. Como fornecedora de nutrientes, deve sofrer a ação dos microrganismos durante a mineralização. A taxa de mineralização depende de uma série de fatores, como a relação C/N da palhada, que é bem alta, entre 50 e 60, seu teor de lignina e de polifenóis, o tipo de solo, seu pH, o teor de matéria orgânica já existente e os fatores climáticos, como temperatura e umidade. No nordeste brasileiro, 81% da palha foi degradada em 5 anos (URQUIAGA et al., 1991). Estudos utilizando N-15 mostraram que a cana, após 18 meses, recuperou apenas 10% do N contido na palhada num experimento feito nas Ilhas Maurício. No Brasil, Gava et al. (2003) obtiveram apenas 4% do N mineralizado do resíduo cultural e aproveitado pela soqueira da cana ao longo de um ano. Portanto, embora a palhada represente adições entre 40 e 80 kg ha⁻¹ de N, dependendo da variedade e das quantidades de palha acrescentadas (BAUER FILHO, 2000), pode-se contar com pouco desse N para a nutrição das soqueiras.

O mesmo não ocorre com o K. Por ser muito móvel e não estar ligado a compostos estruturais da planta, o K passa rapidamente da palhada para o solo e poderia rapidamente ser fornecido para a soqueira de cana. Como as quantidades de K na palhada são altas, Demattê (2004) calcula que pode-se deduzir o K do fertilizante na base de 40 kg de K₂O para cada 10 toneladas de palha presente. Alguns experimentos estão sendo realizados pela equipe do IAC para verificar esse pressuposto.

6. APLICAÇÕES AÉREAS DE NUTRIENTES EM CANA SÃO INDICADAS?

O parcelamento das doses de N e de K é indicado principalmente para culturas cultivadas em regiões e épocas sujeitas a fortes chuvas, como é o caso de diversas regiões cultivadas com cana no Brasil. Entretanto, o parcelamento não é prática comumente observada, pois representa operação adicional, o que dificulta o gerenciamento em grandes áreas, e tem seu custo. Além disso, existem experimentos que não apresentaram efeito com o parcelamento, tanto da dose de nitrogênio como da dose de potássio. Mas existem controvérsias. O fato é que, além da dificuldade gerencial de uma nova operação, um cultivo pode prejudicar a formação de raízes, afetando a produtividade. Após 100 dias do corte é quase impossível entrar no canavial com implementos tradicionais e, assim, as aplicações aéreas podem ser indicadas. Utilizam-se doses entre 15 e 25 kg ha⁻¹ de N fornecidos como uréia, porém é necessário observar as condições de umidade relativa do ar atmosférico para não causar injúrias às plantas. Para o parcelamento do K pode-se utilizar o KCl em doses entre 20 e 30 kg ha⁻¹ de K₂O (MALAVOLTA, 2004).

7. PODE-SE EVITAR PERDAS DE N POR VOLATILIZAÇÃO NA CANA CRUA?

A presença da palhada de cana gera dificuldades para a incorporação da uréia na adubação das soqueiras de cana. Alguns implementos conseguem cortar a palhada e incorporar o fertilizante nas soqueiras, mas para tal é preciso que o preparo do solo no plantio seja bem feito, sem a presença de torrões e de irregularidades.

As perdas de N que ocorrem quando se utiliza a uréia sem incorporação ao solo são muito variáveis e podem atingir até 60% do N aplicado. A incorporação reduz as perdas a níveis próximos de zero. Outra alternativa seria o uso de fontes nitrogenadas contendo

do nitrato ou sulfato de amônio, mas o problema então recai na economicidade.

Sabe-se que uma chuva ou a irrigação após a adubação ajudaria a incorporar a uréia. A literatura cita que 10 a 15 mm de chuva seriam suficientes. Mas os dados de Freney et al. (1991), e também os observados nos estudos em andamento do IAC, concluíram que a palha protege a uréia do contato com a água, que percola por caminhos preferenciais. Nossos estudos mostram que 13,8 mm de chuva logo após a adubação diminuíram as perdas por volatilização da amônia, porém não a impediram. A palha também apresenta a enzima urease, que inicia a reação de perda da uréia por volatilização, facilitando sua hidrólise.

Um caminho para o uso da uréia nas condições de presença de palhada seria o uso de inibidores da urease, como o NBPT [N-(n-Butil) Tiofosfórico Triamida]. Essa possibilidade vem sendo estudada no IAC (CANTARELLA et al., 2005), e os dados que resumem os resultados obtidos em 12 experimentos de campo com culturas como milho, cana-de-açúcar e pastagens indicam que a utilização do inibidor reduziu em 50%, em média, as perdas por volatilização do N da uréia.

8. POR QUE A SOJA E OUTRAS LEGUMINOSAS SÃO IMPORTANTES NA REFORMA DO CANAVIAL?

Além de todos os benefícios da adubação verde, a soja representa renda extra ao agricultor. Por ser cultura eficiente na fixação biológica de N, fornece todo o nitrogênio necessário para a cana-planta. Essa observação foi demonstrada nos trabalhos do IAC liderados por Mascarenhas et al. (1994), que também observaram acréscimos de 22% e 20% na produtividade da cana após o cultivo de crotalaria e mucuna, respectivamente.

A Figura 2 apresenta um experimento realizado no IAC, em Piracicaba-SP, para o estudo de opções de culturas para áreas de reforma de canaviais.



Figura 2. Área experimental com culturas para áreas de reforma de canavial.

Na Austrália, Garside e Berthelsen (2004) também verificaram que os restos culturais da soja são facilmente mineralizáveis. No tratamento sem a soja e sem adubação nitrogenada para a cana-planta a produtividade da cana ficou reduzida em 42%. Ainda verificaram que a soja não precisa ser incorporada ao solo para causar benefício. Pode ser deixada apenas na superfície, sendo então a cana plantada em cultivo mínimo. Isso ocasiona um benefício ainda maior porque a mineralização dos restos culturais da soja

ocorre mais lentamente, proporcionando maior eficiência de utilização desse nutriente pela cana (NOBLE e GARSIDE, 2000).

9. A ADUBAÇÃO FOSFATADA DEVE SER APLICADA APENAS NO PLANTIO?

A maior parte dos experimentos demonstra que há maior resposta ao fósforo quando este é aplicado em dose completa no plantio, no fundo do sulco, não havendo necessidade de adubação fosfatada posteriormente nas soqueiras. Entretanto, é possível que haja resposta da adubação em soqueiras em alguns solos com teor muito baixo de fósforo. A Tabela 3 e a Tabela 5 apresentam a recomendação de adubação fosfatada para cana-planta e cana-soca segundo IAC (RAIJ et al., 1996).

Tabela 3. Recomendação de adubação fosfatada para o plantio da cana-de-açúcar (RAIJ et al., 1996).

Produtividade esperada (t ha ⁻¹)	P (resina- mg dm ⁻³)			
	0-6	7-15	16-40	> 40
	----- P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) -----			
< 100	180	100	60	40
100-150	180	120	80	60
> 150	-	140	100	80

Demattê (2004) faz um cálculo sobre o balanço de fósforo no solo, ao longo de 5 cortes (produção de 400 t de cana), após a utilização de dose comumente recomendada de P (150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no plantio), com extração de 0,43 kg t⁻¹ de massa verde e considerando a fixação pelo solo de 30%. É provável que em várias condições ocorra um déficit de fósforo que deveria ser repostado nas soqueiras. Este autor faz ainda um alerta para que a acidez das soqueiras seja monitorada e que a V% seja sempre maior que 40%, caso contrário não haverá resposta ao P adicional.

A Figura 3 apresenta os sintomas típicos da deficiência de fósforo – baixo crescimento e bordas das folhas mais velhas com coloração roxa – em soqueiras de cana-de-açúcar.



Figura 3. Sintomas de deficiência de fósforo em cana-de-açúcar.

10. FOSFATOS DE ROCHA DEVEM SER APLICADOS EM ÁREA TOTAL OU NO SULCO?

Para a fosfatagem, que é a aplicação de fontes de P em área total na época de preparo do solo, antes do plantio da cana-planta, indicada para solos com teor muito baixo de fósforo (menor que

10 mg cm⁻³) e preferencialmente com baixo teor de argila, dá-se preferência para a aplicação em área total. A fosfatagem pode ser feita utilizando-se fosfatos naturais, que devem ser incorporados ao solo em geral em doses de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, mas também pode ser realizada com fosfatos solúveis, na dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, ou também utilizando-se torta de filtro na quantidade de 80 a 100 t ha⁻¹. Os principais fertilizantes utilizados para a fosfatagem são: hiperfosfatos (Gafsa, Daoui, Arad), fosfatos naturais de rocha, termofosfatos, multifosfato magnésiano, superfosfato simples e superfosfato triplo.

Como a aplicação de fosfato no sulco de plantio é a única oportunidade de colocar o fósforo próximo às raízes, uma estratégia seria a de aplicar a dose de P₂O₅ recomendada na forma de mistura de fosfato solúvel e fosfato natural. Isto porque o fosfato natural, de solubilidade mais lenta, teria maior efeito residual e poderia fornecer P para as soqueiras. Pensando assim, Cantarella et al. (2002) estudaram diferentes proporções de fosfato solúvel e fosfato natural reativo de Daoui e observaram que não houve resposta às misturas de diferentes proporções dos fertilizantes, mas a resposta da cana-planta foi linear em função das doses, independente se o P foi fornecido como fosfato reativo ou fosfato solúvel. Apesar dos resultados desses experimentos, essa ainda é uma estratégia a ser melhor abordada.

Comparando-se a aplicação em área total e no sulco de fosfato natural reativo de Djebel-Onk e de superfosfato triplo, na dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em solo arenoso, foi observada maior produtividade quando se utilizou superfosfato triplo em área total. Para o fosfato natural a resposta foi similar, tanto aplicado no sulco como em área total, porém inferior ao superfosfato triplo. Já para o solo argiloso, o melhor tratamento foi a aplicação de superfosfato triplo no sulco (ROSSETTO et al., 2002).

11. A CANA-PLANTA E AS SOQUEIRAS RESPONDEM IGUALMENTE AO POTÁSSIO?

Tudo indica que sim. E quanto maior for a extração, maior será a utilização do K aplicado como fertilizante.

O experimento de Rossetto et al. (2004) mostrou resposta linear da cana-de-açúcar ao potássio em 7 das 10 avaliações envolvendo diferentes solos e variedades de cana. A análise de solo permite certa previsibilidade da resposta da cana ao potássio, mas complexas interações desse nutriente no solo e na planta demonstram que nem tudo é tão simples. Existem diferenças varietais na resposta da cana ao potássio (WOOD e SCHROEDER, 2004), embora no Brasil ainda não se conseguiu definir quais variedades são mais responsivas. A Figura 4 apresenta um sintoma típico de deficiência de K em soqueiras no final do ciclo da cana-de-açúcar.



Figura 4. Deficiência de K no final do ciclo da cana (formação em leque).

Procurando verificar se a análise de solo tem alta correlação com a resposta à adubação potássica, Reis Júnior (2001) analisou os resultados de 106 experimentos e verificou que a relação K (Ca + Mg)^{-0,5} pode ser utilizada como critério para orientar a adubação potássica. Quanto maior a relação, menor a probabilidade de resposta. O autor indica os índices 0,254 como baixo, de 0,254 a 0,335 como médio e maior que 0,335 como alto.

As Tabelas 4 e 5 apresentam a recomendação de adubação potássica para a cana-planta e soca segundo IAC (RAIJ et al., 1996).

Tabela 4. Recomendação de adubação potássica para o plantio de cana-de-açúcar (RAIJ et al., 1996).

Produtividade esperada (t ha ⁻¹)	K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)			
	0-0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	3,1-6,0
----- K ₂ O (kg ha ⁻¹) -----				
< 100	100	80	40	40
100-150	150	120	80	60
> 150	200	160	120	80

Tabela 5. Recomendação de adubação N, P e K para soqueiras de cana-de-açúcar (RAIJ et al., 1996).

Produtividade esperada (t ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	P (resina - mg dm ⁻³)		K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)		
		0-15	> 15	0-1,5	1,6-3,0	> 3,0
--- P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) --- --- K ₂ O (kg ha ⁻¹) ---						
< 60	60	30	0	90	60	30
60-80	80	30	0	110	80	50
80-100	100	30	0	130	100	70
> 100	120	30	0	150	120	90

12. A CANA NECESSITA DE MICRONUTRIENTES?

Micronutrientes são elementos essenciais e, portanto, necessários para a manutenção da produtividade. Ocorre que o sistema radicular da cana explora grandes volumes de solo, com alta capacidade de extração. Além disto, retira os nutrientes de camadas mais profundas e os traz à superfície através de folhas secas, rizomas. Ocorre, ainda, a reciclagem de micronutrientes promovida pela vinhaça e torta de filtro. A dificuldade de identificação de sintomas de deficiência de micronutrientes na região Centro-Sul do Brasil, e também a baixa resposta à aplicação (geralmente aumentos de 5 a 8 t ha⁻¹ na produtividade, em média), concorrem para o baixo uso desses nutrientes. É um assunto que precisa ser melhor avaliado pelos técnicos. Na região nordeste a carência em micronutrientes é mais comum.

A Tabela 6 apresenta a recomendação de adubação com micronutrientes para a cana-de-açúcar, segundo IAC (RAIJ et al., 1996).

Tabela 6. Recomendação de adubação com micronutrientes para o plantio da cana-de-açúcar.

Zinco no solo (mg dm ⁻³)	Zn (kg ha ⁻¹)	Cobre no solo (mg dm ⁻³)	Cu (kg ha ⁻¹)
0 - 0,5	5	0 - 0,2	4
> 0,5	0	> 0,2	0

13. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora as plantas necessitem de macro e micronutrientes para seu crescimento e produção, geralmente há preocupação apenas com os três macronutrientes principais (nitrogênio, fósforo e potássio). Assim, maior atenção deve ser dada aos demais nutrientes,

principalmente se a cana estiver sendo cultivada há muitos anos no mesmo local, ou em situações de estresse.

A manutenção da fertilidade do solo e, portanto, sua sustentabilidade não depende apenas da adubação. Outras práticas são igualmente importantes, como correção do solo em profundidade, uso de práticas de conservação do solo, controle de pragas e de plantas daninhas, plantio de adubos verdes ou leguminosas na época de reforma e mecanização, minimizando a compactação.

14. REFERÊNCIAS

- BAUER FILHO, O. A. P. **Avaliação do material vegetal residual da colheita mecanizada da cana crua, em diferentes sistemas de preparo de solo.** Jaboticabal, 2000. 50 p. (Trabalho de graduação apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal).
- BIGGS, I. M.; WILSON, J. R.; KEATING, B. A.; CRITCHLEY, C. Does biological N₂-fixation contribute to nitrogen requirements in Australian sugarcane? *Austr. Sugarcane Techn. Proc.*, v. 22, p. 133-138, 2000.
- BODDEY, R.; URQUIAGA, S.; DÖBEREINER, J. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane. *Sugar JOURNAL*, New Orleans, v. 58, n. 1, p. 34-37, 1995.
- CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; LANDELL, M. G. A.; BIDÓIA, M. A. P.; VASCONCELOS, A. C. M. Misturas em diferentes proporções de fosfato natural reativo e fosfato solúvel em água para a cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NAC. DA STAB, 8., Recife, 2002. p. 218-224.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; GALLO, P. B.; BOLONHEZI, D.; ROSSETTO, R.; MARTINS, J. L. M.; PAULINO, V. J.; ALCANTARA, P. B. Ammonia losses of NBPT-treated urea under Brazilian soil conditions. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED EFFICIENCY FERTILIZERS. Frankfurt, 28-30/06/2005. CD-ROM.
- CARNEIRO, A. E. V.; TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L. Utilização da reserva orgânica e do nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana-planta. *Scientia Agricola*, v. 53, n. 2, p. 199-209, 1995.
- CORREA, M. C. M.; CONSOLINI, F.; CENTURION, J. F. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). *Maringá*, v. 23, n. 5, p. 1159-1163, 2001.
- DEMATTÊ, J. L. I. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. *Visão agrícola*, v. 1, p. 48-59, 2004.
- FRENEY, J. R.; DENMEAD, O. T.; SAFIGNA, P. G.; WOOD, A. W.; CHAPMAN, L. S.; HURNEY, A. P. Ammonia loss from sugarcane fields as affected by fertilizer placement, irrigation and canopy development. In: AUSTR. SUGARCANE TECHN. PROC., 13., 1991. p. 38-43.
- GARSDIE, A. L.; BERTHELSEN, J. E. Management of legume biomass to maximize benefits to the following sugarcane crop. In: AUSTR. SUGARCANE TECHN. PROC., 26., 2004. C-ROM.
- GARSDIE, A. L.; BELL, M. J.; MAGAREY, R. C. Monoculture yield decline-fact not fiction. In: INTERN. SOC. OF SUGARCANE TECHNOL., 24., 2001, Brisbane. *Proceedings...* SSET, 2001. p. 16-21.
- GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Recuperação do nitrogênio N-15 da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 621-630, 2003.
- HOLTAN-HARTWING, L.; BOCKMAN, O. C. Ammonia exchange between crops and air. *Nor. Journal Agricultural Science*, v. 14, p. 1-41, 1994.
- MALAVOLTA, E. Potássio – absorção, transporte e redistribuição na planta. *Informações Agronômicas*, n.108, 2004. 16 p. (POTAFOS. Encarte Técnico).
- MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; COSTA, A. A.; ROSA, F. V.; COSTA, V. F. da. **Efeito residual de leguminosas sobre rendimento físico e econômico da cana planta.** Campinas: IAC, 1994. 15 p. (IAC. Boletim Técnico, 32).
- MEYER, J. H.; VAN ANTWERPEN, R. Soil degradation as a factor in yield decline in the South African sugar industry. In: INTERN. SOC. OF SUGAR CANE TECHNOL., 24., Brisbane. *Proceedings...* SSET, 2001. p. 8-15.
- MORELLI, J. L.; NELLI, E. J.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. *Revista Stab - Açúcar, Alcool e Subprodutos*, Piracicaba, v. 6, p. 24-31, 1987.
- MORRISON, R. J.; GAWANDER, J. S.; RAM, A. N. Changes in the properties of a Fijian oxisol over 25 years of sugarcane cultivation. In: INTERN. SOC. OF SUGARCANE TECHNOL., 25., *Proceedings...* Guatemala, 2005. p. 139-146.
- NG CHEONG L. R.; NG KEE KWONG, K. F.; AH KOON, P. D.; DU PREEZ, C. C. Soil quality changes caused by sugarcane cultivation in a sub-humid inceptisol of Mauritius. In: INTERN. SOC. OF SUGARCANE TECHNOL., 25., *Proceedings...* Guatemala, 2005. p. 50-53.
- NOBLE, A. D.; GARSDIE, A. L. Influence of soybean management on nitrogen mineralisation and leaching and soil pH in a wet tropical environment. In: AUSTR. SUGARCANE TECHN. PROC., 22., 2000. p. 139-146.
- ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TAKESHI, H. **Seja o doutor do seu canavial.** Piracicaba: POTAFOS, 1994. 17 p. (Arquivo do Agrônomo, 6)
- PENATTI, C. P.; DONZELLI, J. L.; FORTI, J. A. Doses de nitrogênio em cana planta. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba, 1997. p. 340-349.
- PERIN, L.; BALDANI, J. I.; REIS, V. M. Diversidade de *Gluconacetobacter diazotrophicus* isolada de plantas de cana-de-açúcar cultivadas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 8, 2004.
- POLIDORO, J. C.; RESENDE, A. S. de; QUESADA, D. M.; XAVIER, R. P.; COELHO, C. H. M.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Levantamento da contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil.** Embrapa, 2001. 9 p. (Documentos 144, Agroecologia)
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2a. ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1996. p. 237-239. (Boletim Técnico, 100)
- REIS JÚNIOR, R. A. Probabilidade de resposta da cana-de-açúcar à adubação potássica em razão da relação K(Ca + Mg)^{0,5} do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 9, p. 1175-1183, 2001.
- ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. *Bragantia*, Campinas, v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004.
- ROSSETTO, R.; FARHAT, M.; FURLAN, R.; GILL, M. A.; SILVA, S. F. Eficiência agrônoma do fosfato natural na cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., Recife, 2002. p. 276-282.
- SHANKARIAH, C.; HUNSIGI, G. Field response of sugarcane to associative N₂ fixers and P solubilisers. In: INTERN. SOC. OF SUGARCANE TECHNOL., 24., *Proceedings...* p. 40-46, 2001.
- URQUIAGA, S.; BODDEY, R.; OLIVEIRA, O. C. de; LIMA, E.; GUIMARÃES, D. H. V. **A importância de não queimar a palha na cultura da cana-de-açúcar.** Embrapa, CNPDS, 1991. 6 p. (Comunicado técnico n. 5)
- VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. *Informações Agronômicas*, n. 97, 2002. 16 p. (POTAFOS. Encarte Técnico).
- WOOD, A. W.; SCHROEDER, B. L. Potassium: a critical role in sugarcane production particularly in drought conditions. In: AUSTR. SUGARCANE TECHN. PROC., 26., 2004. CD-ROM.