

Resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada: fontes nitrogenadas, formas de aplicação, épocas de aplicação e efeito varietal



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

Documentos 298

**Resposta da cana-de-açúcar
à adubação nitrogenada:
fontes nitrogenadas, formas
de aplicação, épocas de
aplicação e efeito varietal**

*Nivaldo Schultz
Veronica Massena Reis
Segundo Urquiaga*

Embrapa Agrobiologia
Seropédica, RJ
2015

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agrobiologia

BR 465, km 7, CEP 23.891-000, Seropédica, RJ

Caixa Postal 74505

Fone: (21) 3441-1500

Fax: (21) 2682-1230

Home page: www.embrapa.br/agrobiologia

Comitê de Publicações

Presidente: Bruno José Rodrigues Alves

Secretária-Executivo: Carmelita do Espírito Santo

Membros: Ednaldo da Silva Araújo, Janaina Ribeiro Costa Rouws,

Luc Felicianus Marie Rouws, Luis Cláudio Marques de Oliveira,

Luiz Fernando Duarte de Moraes, Marcia Reed Rodrigues Coelho,

Maria Elizabeth Fernandes Correia, Nátia Élen Auras

Supervisora editorial: Maria Elizabeth Fernandes Correia

Normalização bibliográfica: Carmelita do Espírito Santo

Tratamento de ilustrações: Maria Christine Saraiva Barbosa

Editoração eletrônica: Maria Christine Saraiva Barbosa

Foto da capa: Veronica Massena Reis

1ª edição

1ª impressão (2015): 50 exemplares

Todos os direitos reservados.

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

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Agrobiologia**

S387 r SCHULTZ, Nivaldo.

Resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada: fontes nitrogenadas, formas de aplicação, épocas de aplicação e efeito varietal. / Nivaldo Schultz, Veronica Massena Reis e Segundo Urquiaga. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2015. 52 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos 298).

ISSN: 1517-8498

1. Cana-de-açúcar. 2. Fertilização. 3. Nutrição.
4. Inoculação. I. Reis, Veronica Massena. II. Urquiaga, Segundo. III. Título. IV. Embrapa Agrobiologia. V. Série.
633.61. CDD 23.ed.

Autores

Nivaldo Schultz

Professor adjunto I da UFRRJ – Ciência do Solo, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. BR 465, km 7, CEP 23.890-000, Seropédica, RJ, Brasil. E-mail: nsufrj@yahoo.com.br.

Veronica Massena Reis

Pesquisadora da Embrapa Agrobiologia. BR 465, km 7, CEP 23.891-000, Seropédica, RJ, Brasil. E-mail: veronica.massena@embrapa.br.

Segundo Urquiaga

Pesquisador da Embrapa Agrobiologia. –BR 465, km 7, CEP 23.891-000, Seropédica, RJ, Brasil. CEP 23891-000. E-mail: segundo.urquiaga@embrapa.br.

Apresentação

Os recentes avanços científicos e tecnológicos no campo têm permitido que múltiplos atores sociais se beneficiem. Novas ferramentas de diagnóstico, novos produtos e insumos agropecuários são resultado dos esforços de pesquisa realizados no dia-a-dia dos laboratórios e áreas experimentais e têm surgido em ritmo cada vez mais acelerado.

A Embrapa Agrobiologia apresenta no seu histórico de pesquisa uma longa tradição em descobrir e aperfeiçoar processos biológicos que tragam ganhos reais para os sistemas produtivos e para o meio-ambiente. A compreensão desses processos depende da inter-relação com várias áreas do conhecimento.

A combinação de conhecimentos obtidos em temas relacionados com ciclagem de nutrientes, adubação, manejo agrícola e microbiologia do solo é o tema abordado nessa publicação intitulada “Resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada: fontes nitrogenadas, formas de aplicação, épocas de aplicação e efeito varietal”.

Boa leitura!

Gustavo Ribeiro Xavier
Chefe Geral da Embrapa Agrobiologia

Sumário

Introdução	9
Importância da nutrição nitrogenada na cana-de-açúcar ..	11
Origem dos fertilizantes nitrogenados	13
Fontes nitrogenadas minerais	14
Fontes nitrogenadas orgânicas	17
Inoculação com bactérias diazotróficas	22
Adubação e ambiente de produção	24
Adubação nitrogenada em cana-planta	24
Adubação nitrogenada nas soqueiras de cana-de-açúcar	28
Formas de aplicação	30
Época e localização de aplicação dos fertilizantes nitrogenados	33
Efeito varietal	34
Considerações finais	35
Referências bibliográficas	37

Resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada: fontes nitrogenadas, formas de aplicação, épocas de aplicação e efeito varietal

Nivaldo Schultz
Veronica Massena Reis
Segundo Urquiaga

Introdução

A cana-de-açúcar é uma *Poaceae* exótica, semi-perene e que foi trazida ao Brasil na época das capitânicas hereditárias por Martim Affonso de Souza que em 1532 desembarcou no Nordeste trazendo a primeira muda de cana, iniciando seu cultivo nas capitânicas de Pernambuco e Bahia. Seu cultivo prosperou e posteriormente foi levado para outras regiões agrícolas, sendo atualmente responsável por esta nação se converter no maior produtor mundial de cana, com uma área atual de 9,9 milhões de hectares e produção estimada em 743 milhões de toneladas em 2014 (IBGE SIDRA, 2014). O Brasil é também o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar sendo que a produção de açúcar e etanol está estimada para 38,25 milhões de toneladas de açúcar e 27,62 bilhões de litros de etanol para a safra 2014/2015 (CONAB, 2014).

Entre as culturas comerciais, a cana-de-açúcar é atualmente uma das mais citadas no que se refere à eficiência produtiva, conservação do solo e sustentabilidade agrícola, tendo como seu principal aliado o grande balanço energético positivo, que atualmente é de 9 para 1, podendo chegar a 12 com o aprimoramento dos processos indústrias, redução de perdas da cana no transporte e aumento da eficiência da adubação nitrogenada (MACEDO; KOLLER, 1997; URQUIAGA et al.,

2005, 2012; BODDEY et al., 2008). Entretanto, a situação atual do mercado agrícola de cana não acompanha esta valorização. A realidade do setor hoje é traçada por dois cenários. O primeiro, baseado no apelo mundial por energia limpa com a utilização de combustíveis que reduzam a emissão de gases de efeito estufa, e nesse contexto o etanol de cana-de-açúcar exerce papel vital, pois é o único disponível em larga escala no mundo desde 2010. O segundo cenário reflete as mudanças da legislação brasileira, que no período de 2001 a 2012 modificou a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE) da gasolina até a sua extinção pelo Decreto no 7764 de 25 de junho de 2012 (BRASIL, 2012). Tal medida retirou o diferencial entre o preço da gasolina e o álcool, desestimulando o consumo do biocombustível. Por outro lado, a cana passou a ser inserida na cogeração de energia elétrica pela queima do bagaço e retirada da palhada do campo, aumentando a sua importância para a produção de bioenergia.

A nutrição da cana-de-açúcar é determinante para que a cultura expresse seu potencial produtivo de forma economicamente viável e ambientalmente sustentável. Entre os nutrientes responsáveis pela nutrição da cana-de-açúcar, o nitrogênio (N) é o elemento absorvido em maior quantidade, basicamente nas formas minerais NO_3^- e NH_4^+ , sendo a maior parte absorvido através do fluxo de massas (99%) e apenas 1% pela interceptação do sistema radicular (MALAVOLTA et al., 1997; PRADO et al., 2002). Embora o N constitua aproximadamente apenas 1% da matéria seca da cana-de-açúcar, suas funções são fundamentais no desenvolvimento da planta, uma vez que é constituinte obrigatório de proteínas e ácidos nucléicos, participando direta ou indiretamente de diversos processos bioquímicos e enzimáticos, e fazendo parte da molécula de clorofila (MALAVOLTA et al., 1997; CARNAÚBA, 1990). O N apresenta uma dinâmica complexa, pelas múltiplas transformações caracterizadas por seus diferentes estados de oxidação e por sua mobilidade no sistema solo-planta (MEIER et al. 2006). Os fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo sofrem uma série de transformações químicas e microbianas, que podem resultar em perdas para os vegetais. Nesse contexto, considerando seus altos custos e a inconsistência de

respostas obtidas na cana-de-açúcar com a adubação nitrogenada, é fundamental o desenvolvimento de práticas agrícolas e a busca por fontes alternativas que visam ao melhor aproveitamento do N pela cultura da cana-de-açúcar (FRANCO et al., 2008). Outro aspecto importante a ser observado é a dependência do Brasil pela importação do N. Segundo Franco & Neto (2007), o Brasil importa cerca de 70% de sua demanda anual.

Importância da nutrição nitrogenada na cana-de-açúcar

O nitrogênio é extraído em altas quantidades na cana-de-açúcar. Trivelin et al. (2002) verificaram que levando-se em consideração a parte aérea e subterrânea, a cana-de-açúcar pode exigir de 2,1 a 2,4 kg de N por tonelada de colmos produzidos. Estes dados indicam que a cana-de-açúcar pode extrair mais de 200 kg de N para cada 100 Mg ha⁻¹ de colmos produzidos, dos quais 90 a 100 kg são removidos do campo com exportação dos colmos. Apesar da essencialidade do N, a resposta à adubação nitrogenada em cana-planta é menos frequente que a observada nas soqueiras. Cantarella e Raij (1985) observaram que em menos de 40% dos 81 ensaios realizados em São Paulo encontrou-se resposta à adubação nitrogenada em cana-planta. Por outro lado, Orlando-Filho e Rodella (1995) e Korndorfer et al. (1997; 2002) observaram que em solos de textura arenosa a cana-planta pode ser altamente responsiva à adubação nitrogenada.

Por tratar-se de um nutriente de extrema importância o N pode causar problemas tanto em deficiência quanto em excesso, principalmente na qualidade tecnológica do caldo, matéria prima para a produção de açúcar e álcool. Em condições de deficiência de N, a cana-de-açúcar apresenta clorose das folhas mais velhas e diminui a atividade meristemática da parte aérea, resultando em menores perfilhamento, área foliar e longevidade das folhas (MALAVOLTA et al., 1997; SILVEIRA, 1985; ORLANDO FILHO E RODELLA, 1996); conseqüentemente, decresce o teor de umidade da planta, diminui a

qualidade do caldo, aumenta o teor de fibra, diminui a concentração de sacarose nos colmos, aumenta o acúmulo de sacarose nas folhas e eleva a relação folha/colmo. Quanto ao excesso de N nas plantas, os maiores problemas são a redução da qualidade do caldo e o atraso na maturação (CARNAÚBA, 1990). Segundo Malavolta et al. (1994), o N é o nutriente mineral mais extraído do solo pela cultura da cana-de-açúcar, perdendo apenas para o K.

Nos programas de melhoramento de cana-de-açúcar desenvolvidos no Brasil, as aplicações de fertilizantes nitrogenados sempre foram modestas. As quantidades deste nutriente, adicionadas anualmente, raramente foram superiores a 70 kg ha⁻¹ nas socarias e na cana-planta sendo inferior a 30 kg ha⁻¹ (SAMPAIO et al., 1984). Hoje a recomendação está baseada em critérios que avaliam as condições edafoclimáticas, como fatores de solo, condições químicas e físicas das camadas superficiais e subsuperficiais, disponibilidade hídrica e fatores climáticos (maiores detalhes na Tabela 6). Duas classificações são adotadas no estado de São Paulo e são atribuídas letras para classificar os ambientes de produção (PRADO, 2005). Outro fator que influencia a recomendação da cana-planta é o sistema de plantio com e sem rotação, principalmente quando se utiliza leguminosas. Resultados baseados em experimentos com diversas variedades recomendam que se adube sem esquecer da margem de contribuição agroindustrial (R\$ por hectare), isto é, quanto se gasta e por quanto se vende, diferença que inclui os insumos da produção da cana na fase de produção da matéria prima. Estes autores verificaram que a dose de 50 kg ha⁻¹ de N, localizada no sulco de plantio, tem obtido os melhores resultados para a cana-planta.

Na Figura 1 estão os dados de distribuição de N na variedade RB92579 aos 365 dias após o plantio e resposta a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N aplicado de uma única vez no sulco de plantio (OLIVEIRA, 2013). Quanto à distribuição, cerca de 65% estão presentes nos colmos, 20-25% na palha e 10% nas folhas verdes, independente da aplicação do fertilizante.

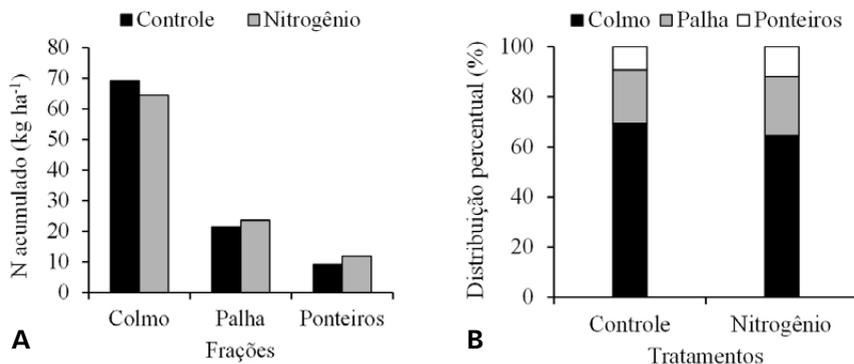


Fig. 1. Acúmulo de N na parte aérea da variedade RB92579 **(A)** e distribuição percentual **(B)** em resposta à aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N aos 365 dias após o plantio. Valores médios de quatro repetições (adaptado de Oliveira, 2013).

Os fatores que podem contribuir para a baixa resposta da cana-planta a adubação nitrogenada são a reforma do canavial, que favorece a mineralização da matéria orgânica, o vigor maior do sistema radicular em cana-planta, a contribuição da fixação biológica de N e o N proveniente do colmo-semente (VITTI et al., 2008; URQUIAGA et al., 2012). São três as principais causas para a baixa eficiência de uso de N na cana-de-açúcar: falta de sincronia entre a demanda de N pela cultura e o seu fornecimento; aplicações uniformes de N sem considerar a variabilidade espacial existente dentro de cada talhão e o potencial de resposta da cultura; e a forma como a recomendação de N é feita, tendo como base uma estimativa de produtividade que, na maioria das vezes, não é atingida (VITTI et al., 2008).

Origem dos fertilizantes nitrogenados

Atualmente praticamente todos os fertilizantes nitrogenados minerais possuem em comum a origem a partir da amônia sintética (NH₃), sendo somente uma pequena porcentagem suprida por nitrato de sódio e/ou potássio natural, cianamida de cálcio e outras fontes menores (VITTI e HEIRINCHS, 2007).

A amônia sintética é produzida a partir da reação de fusão do gás hidrogênio (H_2), originado principalmente de combustíveis fósseis, com o N_2 atmosférico sob elevada pressão e temperatura, conforme demonstrado na reação abaixo:



No mundo, ao longo de muitos anos, as fontes tradicionais de H_2 , elemento envolvido na síntese da amônia, foram derivadas dos combustíveis fósseis (VITTI E HEIRINCHS, 2007). No entanto, com o advento da preocupação com o meio ambiente, o Brasil vem dando exemplo com uso crescente de fontes alternativas para este fim.

As fontes derivadas de petróleo, além de serem potenciais contaminadoras do meio ambiente, são reservas finitas, causando grande preocupação às autoridades do mundo todo (VITTI e HEIRINCHS, 2007).

Fontes nitrogenadas minerais

Os fertilizantes nitrogenados originados da amônia sintética (NH_3) são divididos em grupos denominados de tradicionais, não tradicionais, misturas, fontes de liberação lenta e controlada (VITTI e HEIRINCHS, 2007). As demais fontes são denominadas de produtos nitrogenados independentes da produção de amônio.

Fontes tradicionais

A adubação da cana-de-açúcar basicamente é feita com fertilizantes de fontes nitrogenadas tradicionais (CABEZAS, 1998; VITTI e HEIRINCHS, 2007; CANTARELLA et al., 2008). A ureia, o sulfato e o nitrato de amônio são atualmente os mais utilizados na adubação da cana-de-açúcar, no entanto, em razão do menor custo por unidade de N da ureia, o alto custo do N contido no sulfato de amônio e as restrições

impostas no transporte do nitrato de amônio devido seu alto risco explosivo, a ureia é atualmente a fonte mais utilizada no Brasil e no mundo (COSTA et al. 2003; CANTARELLA et al., 2008), apesar de apresentar as maiores perdas por volatilização de NH_3 quando aplicado em superfície sobre a palhada em sistema de cana colhida sem queima prévia (CABEZAS, 1998; COSTA et al. 2003).

As soluções contendo N são utilizadas para a fabricação de fertilizantes fluidos, com grande potencial de uso na adubação da cana-de-açúcar (VITTI e HEIRINCHS, 2007). Segundo Vitti et al. (2008), a aquamônia, a amônia anidra e outras soluções amoniacais tais como uran e sulfuran são alternativas com preços competitivos, porém requerem equipamentos especiais por necessitarem de incorporação ao solo. Outro aspecto negativo destas fontes nitrogenadas é a pequena oferta no mercado brasileiro. Na Tabela 1 estão apresentadas as fontes tradicionais derivadas de amônia.

Fontes não tradicionais

As fontes denominadas não tradicionais normalmente são pouco utilizadas. O bicarbonato de amônio (NH_4HCO_3) é altamente higroscópico, o que o torna um produto difícil de ser manuseado. Segundo Vitti et al. (2007), o cloreto de amônio tem apresentado resultados semelhantes à ureia aplicado em cobertura. Vitti e Heirinchs (2007) recomendam a mistura de cloreto de amônio à ureia para reduzir

Tabela 1. Fertilizantes nitrogenados tradicionais derivados de amônia (NH_3).

NH ₃	Nitrofosfatos
	Nitrato de amônio (NH_4NO_3)
	Nitrato de sódio (NaNO_3)
	Sulfato de amônio [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$]
	Ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$]
	Aquamônia (NH_4OH)
	Soluções com N (uran e sulfuran)
	Monofosfato de amônia (MAP) ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)
	Difosfato de amônia (DAP) [$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$]

Fonte: Manprim et al. (2007).

as perdas de NH_3 por volatilização. Segundo os autores o cloreto de amônio reduz o pH da solução final em 0,5 e 1,0 unidade. se a mistura for de 25 e 50%, respectivamente. Na Tabela 2 são apresentados os fertilizantes nitrogenados não tradicionais.

Fontes de misturas

Os fertilizantes nitrogenadas denominadas de misturas podem ser adotados como alternativas para a adubação da cana-de-açúcar, no entanto, na prática são pouco utilizados, por vários razões, entre elas o aumento do custo com equipamentos para a mistura e aplicação. A Tabela 3 apresenta as principais misturas de fertilizantes nitrogenados.

Fontes de liberação lenta e controlada

Nos últimos anos alguns centros de pesquisas agrárias vêm investigando a possibilidade de retardar a hidrólise da ureia com o uso de inibidores de urease, haja vista que, a ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado na produção de cana-de-açúcar (Tabela 4). Vários produtos têm sido testados para tal fim, incluindo metais (Ag, Hg, Cu, Zn) ou outros elementos como o boro (B) e compostos inorgânicos, tais como tiosulfato de amônio. Porém, os produtos mais eficientes até o momento são análogos à ureia. Entre estes, o de maior eficiência é o tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBPT) (CANTERELLA et al., 2008). Nos Estados Unidos da América, desde 1996 o produto NBPT é comercializado, apresentando bons resultados (CANTERELLA et al., 2008). Segundo Cantarella et al. (2006), testes realizados em vários países têm demonstrado que estes inibidores de urease podem retardar a hidrólise da ureia por períodos que vão de 3 a 14 dias, dependendo da temperatura do solo e outras condições ambientais, diminuindo desta forma as perdas de N por volatilização de NH_3 . No entanto, Canterella et al. (2008), avaliando a volatilização de amônia a partir de ureia tratada com inibidor de urease aplicada sobre palha de cana-de-açúcar, concluíram que em condições de falta de água por longo período após a aplicação da ureia tratada com o inibidor, ainda vão ocorrer perdas de N, tendo em vista que após o efeito inibitório o N vai ser liberado, ficando exposto na superfície do solo, situação na qual ocorrerá a volatilização.

Tabela 2. Fertilizantes nitrogenados não tradicionais derivados de amônia (NH₃).

NH ₃	Bicarbonato de amônio (NH ₄ HCO ₃) Cloreto de amônio (NH ₄ Cl)
-----------------	---

Fonte: Vitti e Heirinchs (2007).

Tabela 3. Misturas de fertilizantes nitrogenados derivados de amônia (NH₃).

NH ₃	Nitrosulfocálcio Sulfonitrato de amônio e magnésio Uréia recoberta com enxofre elementar Outras misturas
-----------------	---

Fonte: Vitti e Heirinchs (2007).

Tabela 4. Fertilizantes nitrogenados de liberação lenta e controlada derivados de amônia (NH₃).

NH ₃	Produtos de condensação de uréia e aldeídos Revestimento cápsulas Supergrânulos de ureia e outros Fertilizantes colocados em uma matriz Inibidor de urease Redutor de nitrificação
-----------------	---

Fonte: Vitti e Heirinchs (2007).

Fontes nitrogenadas orgânicas

Resíduos da indústria sucroalcooleira

Entre os resíduos da indústria sucroalcooleira, o de maior impacto e uso na fertilização dos canaviais é a vinhaça. A fertirrigação com vinhaça é bastante difundida nas regiões canavieiras, com resultados satisfatórios em relação às alterações químicas no solo, como o aumento de matéria orgânica, pH, teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) trocáveis e conseqüentemente a produtividade da cana-de-açúcar (SCHULTZ et al., 2010). Quando aplicada adequadamente, cerca de 150 m³ ha⁻¹ de vinhaça equivale a uma adubação de 61 kg

ha⁻¹ de N, 343 kg ha⁻¹ de K e 108 kg ha⁻¹ de Ca. Entretanto, apesar das inúmeras pesquisas desenvolvidas sobre o assunto, não existem, até o momento, informações seguras sobre a dose da vinhaça necessária para a substituição parcial ou total da adubação química nos canaviais. Assim, o emprego da vinhaça como fertilizante deve ser realizado com cautela, principalmente levando em consideração sua origem, não sendo recomendada uma dose fixa de aplicação. Resende et al. (2006), estudando o efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubação nitrogenada em características tecnológicas de cana-de-açúcar, verificaram que a aplicação de N afetou negativamente as características tecnológicas da cana-de-açúcar, no entanto, como promoveu ganho de produtividade de colmos, favoreceu a produção de açúcar, o que justifica sua utilização. Oliveira et al. (2009), estudando o uso de vinhaça de alambique e N em cana-de-açúcar irrigada e não irrigada, verificaram que houve aumento na produtividade de colmos com a aplicação de vinhaça de alambique, tanto no ambiente irrigado quanto no não irrigado. Estes autores verificaram ainda que a aplicação de N tem efeito sinérgico ao da aplicação de vinhaça, tanto no ambiente irrigado quanto no não irrigado. Resultados semelhantes foram encontrados por Schultz et al. (2010).

Tomando como base os resultados dos estudos mencionados pode-se inferir que a adubação nitrogenada associada à aplicação de vinhaça pode ser uma alternativa viável para a redução do uso de fertilizantes nitrogenados minerais no cultivo da cana-de-açúcar e o aproveitamento de forma eficiente e criteriosa da vinhaça, que um subproduto com elevado potencial de contaminação dos cursos d'água que se encontram no entorno das usinas de açúcar e álcool.

A torta de filtro é outro subproduto da indústria sucroalcooleira de importância relevante na adubação dos canaviais. Elsayed et al. (2008), avaliando a aplicação da torta de filtro na germinação de mudas da cana-de-açúcar, verificaram que este subproduto da indústria sucroalcooleira pode ser utilizado como fertilizante na produção da cana-de-açúcar, como fonte de matéria orgânica, aumentando desta

forma os teores de carbono orgânico, N total e a disponibilidade de P no solo. Segundo Blackburn (1984); Meyer et al. (1992); Poel et al. (1998) e Barry et al. (2001), a torta de filtro é utilizada como fertilizante para o cultivo da cana-de-açúcar em vários países, principalmente Argentina, Brasil, Índia, Paquistão, Taiwan, África do Sul e Austrália.

Lodo de esgoto

O crescimento populacional e a expansão dos grandes centros urbanos têm sido alvo de grande preocupação para as autoridades do mundo todo devido ao volume de lixo produzido diariamente (FRANCO et al., 2010). Nos últimos anos, a grande quantidade de lodo de esgoto, resultante do tratamento do lixo urbano tem sido alvo de preocupação, e diversas pesquisas científicas visando à busca para seu uso como fonte de fertilizante, principalmente como fonte de N e matéria orgânica na agricultura brasileira (FRANCO et al., 2010). Segundo Melo et al. (2001) o lodo de esgoto é um material pastoso rico em N, e com potencial para ser utilizado na produção de cana-de-açúcar.

O uso do lodo de esgoto na agricultura brasileira foi normatizado pela Resolução no 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006). Vários autores afirmam que uma das grandes dificuldades para que o lodo de esgoto se torne definitivamente um fertilizante agrícola é a falta de conhecimento por parte dos agricultores e até mesmo dos técnicos quanto ao manejo e a quantidade correta a ser utilizada (ABREU JUNIOR et al., 2005, 2008), além da preocupação com a contaminação ambiental com metais pesados e outros compostos orgânicos tóxicos e patogênicos (BERTONCINI et al., 2004; ABREU JUNIOR et al., 2005, 2008; CAMILOTTI et al., 2009). Segunda Corrêa, (2004) e Nascimento et al. (2004), o lodo de esgoto contém elevados teores de matéria orgânica e nutrientes, principalmente N. Franco et al. (2010) mostram que, no Estado de São Paulo, o lodo de esgoto já é utilizado como fertilizante para cana-de-açúcar, porém em escala ainda modesta. Atualmente, a quantidade a ser aplicada é baseada no critério da necessidade de N de acordo com a Resolução nº 375 (CONAMA, 2006). A utilização do lodo de esgoto seguindo os critérios do CONAMA

substitui 100% do N e 25% do P mineral aplicado na cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (FRANCO et al., 2008; CHIBA, 2008, 2009), o que comprova sua eficiência na nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar. Apesar destes resultados, Có Junior et al. (2008) e Franco et al. (2008) alertam para o fato de que ainda são poucos os estudos que avaliam os efeitos residuais da aplicação de lodo de esgoto ao longo prazo. Desta forma, conclui-se que a utilização desta fonte alternativa como fertilizante ainda requer muitos estudos e acompanhamento técnico até que as informações geradas sobre o assunto tenham maior consistência científica e assim, maior confiabilidade.

Ajifer®

O Ajifer é um fertilizante organo-mineral líquido obtido a partir da fabricação do aminoácido essencial lisina e produzido pela Ajinomoto (Tabela 5). No site do produtor (<http://www.diarioweb.com.br/noticias/imp.asp?id=74892>) descreve que seu processamento ocorre através da fermentação de uma solução esterilizada de açúcar (sacarose) na qual são adicionados nutrientes que servem de substrato a microrganismos aeróbicos específicos, provenientes de culturas puras, e que promovem a fermentação. O pH ótimo do substrato é conseguido pela adição de amônia (NH_3) ao meio de forma a tamponar o sistema, visando à eficiência da fermentação e ao fornecimento de N. O caldo resultante após a remoção da lisina passa por evaporadores resultando em um produto contendo N e S (VITTI e HEIRINCHS, 2007). Após a remoção deste aminoácido este caldo é enriquecido com bagaço de soja aumentando assim a concentração de N (4%) além do carbono orgânico. Para este produto o fabricante denomina de Ajifer® L40 e conforme outros aditivos são inseridos na fabricação, novas siglas e enriquecimentos são obtidos conforme a Tabela 5. É recomendado principalmente para a melhoria do sistema radicular de diferentes culturas agrícolas.

Adubos verdes

O uso de leguminosas adubos-verdes na renovação de canaviais tem sido recomendado desde a década de 50 (CARDOSO, 1956). Esta

Tabela 5. Origem e características do Ajifer® em relação a N e S.

Origem	Produto	N	S
		(g kg ⁻¹)	
Valparaíso - SP	Ajifer L40®	40	40 - 70
	Ajifer L1419®	14	20 - 40
Laranjeira Paulista - SP	Ajifer NKS2®	20	20
	Ajifer NKS3®	25	20
	Ajifer NKS5®	40	30
	Ajifer NKS7®	60	50
Limeira - SP	Ajifer 7®	60	-
	Ajifer 8®	75	-

Fonte: Heinrichs e Soares Filho (2006).

prática não implica na alteração da safra, não interfere na brotação e tem custo relativamente baixo. Ao mesmo tempo pode promover aumento de produtividade de colmos e açúcar por pelo menos dois cortes consecutivos, além de proteger o solo contra erosão e evitar a propagação de ervas daninhas (AMBROSANO et al., 2005). Segundo Duarte Junior e Coelho (2008), estudando a cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação, utilizando como adubos verdes a crotalária (*Crotalaria juncea* L.); feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC); mucuna preta (*Mucuna aterrima* Piper & Tracy) e vegetação espontânea incorporada, os adubos verdes promoveram aumento nos teores de N e K nas folhas da cana-de-açúcar e conseqüentemente o aumento de produtividade de colmos. Vários autores têm apresentado resultados satisfatórios com a associação da cultura de cana-de-açúcar e leguminosas adubos-verdes. Ambrosano et al. (2005) observou que a associação de doses de N mineral (70 kg ha⁻¹) com crotalária que produziu 9 Mg ha⁻¹ de matéria seca, contendo 196 kg ha⁻¹, promoveu aumentos significativos no rendimento de colmos da cana-de-açúcar. Umrit et al. (2009), estudando a influencia da adubação verde incorporada ao solo antes do plantio da cana-de-açúcar na África, constatou que de modo geral os adubos verdes forneceram 50% do N extraído pela cana-de-açúcar, em relação ao controle que foi de 140 kg ha⁻¹ de N.

Apesar de muitos estudos com a utilização de adubos verdes indicarem bons resultados, é preciso avaliar com cautela esta tecnologia. Resende et al. (2003), estimaram que a fixação biológica de N de quatro espécies de Poáceas plantadas entre as linhas de cana-de-açúcar variou de 35 a 55 kg ha⁻¹ de N, no entanto, a produção de colmos e o acúmulo de N pela cana-de-açúcar decresceram, além disso, evidenciaram ainda que algumas espécies de Fabáceas, especialmente a crotalária, causaram efeito alelopático na cana-de-açúcar.

Inoculação com bactérias diazotróficas

Nos últimos anos diversos centros de pesquisas, entre eles a Embrapa Agrobiologia, estiveram empenhados na busca pelo entendimento da fixação biológica de N em Poáceas, especialmente em cana-de-açúcar.

Desde a metade do século passado pesquisadores levantaram a hipótese de que microrganismos fixadores de N₂ atmosférico poderiam desenvolver-se na rizosfera ou associados às plantas de cana-de-açúcar e serem responsáveis por significativas contribuições de N para a nutrição das plantas. No fim dos anos 1950, Döbereiner (1959, 1961) encontrou altos números de bactérias fixadoras de N₂ do gênero *Beijerinckia*, no solo de canaviais, especialmente na região da rizosfera. Também foi descoberta uma nova espécie de *Beijerinckia* a qual foi nomeada *Beijerinckia fluminensis*, devido à sua ocorrência no Estado do Rio de Janeiro (DÖBEREINER; RUSCHEL, 1958). Na época, por falta de técnicas apropriadas, não foi possível quantificar adequadamente a contribuição dessas bactérias na nutrição nitrogenada das plantas.

Nos anos 1970, vários experimentos foram conduzidos no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA, Piracicaba, SP) utilizando-se N₂ (gás) marcado com o isótopo ¹⁵N, onde foram detectadas contribuições significativas da fixação de N₂ às plantas de cana-de-açúcar (RUSCHEL et al., 1975; 1978). Entretanto, devido às dificuldades envolvidas em expor, por longo tempo, no campo, plantas de cana-de-açúcar ao gás

marcado com o isótopo, não foi possível concluir se estas contribuições eram de significância agrônômica.

Já no fim da década de 1980, em trabalhos conduzidos na Embrapa Agrobiologia em ótimas condições de irrigação e de fertilização, excetuando-se aí o N, e fazendo uso das técnicas de balanço de N total e diluição isotópica de ^{15}N , foi comprovado que várias variedades de cana-de-açúcar eram capazes de obter grandes contribuições de N através da FBN associada à cultura (URQUIAGA et al., 1992, 2012). Praticamente no mesmo período, com a introdução do meio de cultivo semi-sólido para isolamento de bactérias, houve a possibilidade da descoberta de novos gêneros de bactérias diazotróficas (DÖBEREINER, 1992), não só em cana-de-açúcar, como em várias outras Poaceae. Entre estas bactérias, pode-se destacar para a cana-de-açúcar *Azospirillum amazonense*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, *Gluconacetobacter diazotrophicus* (anteriormente conhecida como *Acetobacter diazotrophicus*), e a nova espécie *Burkholderia tropica*, que foram isoladas dos tecidos das plantas, tanto nas raízes como nos colmos e folhas (BALDANI et al., 1986, 2002; CAVALCANTE; DÖBEREINER, 1988; REIS et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2002; OLIVARES, 1997; PERIN et al., 2004, 2006; REIS et al., 2000; 2006). Os resultados preliminares são muito promissores (OLIVEIRA et al., 2002; 2006), mas ao que parece existe um componente genético na interação planta/bactéria que afeta não apenas a eficiência da inoculação como até mesmo o processo de FBN (NOGUEIRA et al., 2005).

Em estudo de casa de vegetação desenvolvido no Instituto Indiano de pesquisa em cana-de-açúcar, Suman et al. (2005) verificaram que a inoculação de mudas de cana-de-açúcar com diferentes estirpes de *Gluconacetobacter* promoveu aumento significativo na germinação, no número e tamanho de perfilhos das plantas. Estudos com inoculação de bactérias diazotróficas em cana-de-açúcar, em fase de desenvolvimento pela Embrapa Agrobiologia em várias regiões produtoras do Brasil, indicam que esta tecnologia apresenta grande potencial na nutrição nitrogenada da cultura da cana-de-açúcar (SCHULTZ et al., 2012; 2014).

Adubação e ambiente de produção

O conceito de ambiente de produção para a cana-de-açúcar foi descrito por Prado (2005) em função de características físicas, químicas, hídricas, morfológicas e mineralógicas dos solos e seu manejo, levando em consideração práticas agrícolas como calagem, preparo do solo, adição de vinhaça, torta de filtro, plantio direto e manutenção da palha, associadas às condições climáticas da região. Trata-se da soma das interações dos atributos de superfície e subsuperfície considerando também o grau de declividade e as condições do clima local. Esta classificação é adotada para a região Centro-Sul do Brasil e divide as classes em letras de A até E, e a classificação é apresentada na Tabela 6. Nota-se que o autor (PRADO, 2005) apresenta uma estimativa de produção que está baseada nas observações pedológicas de centenas de ensaios estaduais e regionais do programa Cana do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e usinas conveniadas.

Adubação nitrogenada em cana-planta

Após revisão em trabalho realizado por Espironelo et al., (1980), os autores relatam que na maioria dos experimentos conduzidos em diversos países do mundo foram obtidas respostas positivas à adubação nitrogenada em cana-de-açúcar. No entanto, no Brasil, o autor verificou que em apenas 35% dos experimentos avaliados a adubação nitrogenada promoveu aumento na produção de cana-planta.

Em trabalho realizado por Cantarella e Rajj, (1985) foi constatado que em apenas 40% de um total de 81 experimentos realizados no Estado de São Paulo houve resposta à adubação nitrogenada em cana-planta. Orlando Filho et al. (1999) constataram que a adubação nitrogenada no plantio refletiu no maior vigor das soqueiras, aumentando a produtividade nos cortes subsequentes, entre a cana-de-açúcar com adubação e sem adubação nitrogenada. Azeredo et al. (1986) relataram que em apenas 19% dos experimentos com aplicação de N fertilizante

Tabela 6. Ambientes de produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. Descrito conforme Prado (2005).

Ambiente	Produtividade TCH*	Atributos do solo	Símbolos dos Solos baseado na Embrapa (1999) e Prado (2004)
A1	> 100	ADA, e, ef, m, CTC média/alta	PVAe ⁽²⁾ , PVe ⁽²⁾ , LVef, LVe, LVAe, CXe, NVef, NVe, MT*, MX*, GMe, GXe, GMm, GXm
A2	96 a 100	ADM, e, ef, CTC média/alta	PVAe ⁽²⁾ , PVe ⁽²⁾ , PAe ⁽²⁾ , LVef, LVe, LVAe, CXe, NVef, NVe
B1	92 a 96	ADA, m, mf, CTC média/alta ADM, mf, m, ma, CTC média/alta ADB, ef, e, CTC média/alta	PVAm ⁽²⁾ , PVm ⁽²⁾ , PAm ⁽²⁾ , LVmf, LVm, LVAm, LAM, CXm, NVmf, NVm, PVAm*, LVef, LVe, LVAe, LAe, NVef, NVe, PVAe ⁽³⁾ , PVe ⁽³⁾ , PAe ⁽³⁾ , CXe
B2	88 a 92	ADM, m, mf, CTC média/alta ADA, ma, CTC média/alta	PVAm ⁽²⁾ , PVm ⁽²⁾ , PAm ⁽²⁾ , LVmf, LVm, LVAm, LAM, CXm, GMma, GXma
C1	84 a 88	ADM, d, CTC média/alta ADM, ma, CTC média/alta ADB, d, df, CTC média/alta	PVAd ⁽²⁾ , PVD ⁽²⁾ , PAD ⁽²⁾ , LVama*, LAmam*
C2	80 a 84	ADB, e, CTC média/alta ADMB, ef, CTC média/alta	Lvd, LVdf, LVAd, LAd Lve, LVAe, LAe LVef
D1	76 a 80	ADB, ma, CTC média/alta ADB, e, CTC alta, A chernozêmico	LVwvf, LVw, LVAw, LAw PVAa ^{(2)*} , PVA ^{(2)*} , PAA ^{(2)*}
D2	72 a 76	ADB, ma, CTC média/alta ADB, e, CTC alta, A chernozêmico	LVma, LVama, LAm RLe
E1	68 a 72	ADB, a, CTC média/baixa ADMB, ma, CTC média/baixa	PVAa ⁽³⁾ , PVA ⁽³⁾ , PAA ⁽³⁾ PVAm ⁽⁴⁾ , PVma ⁽⁴⁾ , PAm ⁽⁴⁾
E2	< 68	ADMB, wf, w, a, CTC média/baixa ADMB, a, d, CTC média/baixa ADMB, e, m, d, ma, a	LVwvf, LVw, LVAw, LAw, LVa, LVAa, LAa PVAa ⁽⁴⁾ , PVA ⁽⁴⁾ , PVAa ⁽⁴⁾ , PAA ⁽⁴⁾ , PAA ⁽⁴⁾ , ROa, ROd RLe, RLm, Rld, RLma, RLa, PVae ⁽⁴⁾

* Médias de produtividade de cinco cortes sem adição de vinhaça. ADA - água disponível alta, ADM - água disponível média, ADB - água disponível baixa, ADMB - água disponível muito baixa, LV - Latossolo Vermelho, LVA - Latossolo Vermelho-Amarelo, LA - Latossolo Amarelo, PVA - Argissolo Vermelho-Amarelo, PV - Argissolo Vermelho, PA - Argissolo Amarelo, NV - Nitossolo Vermelho, MT - Chernossolo Argilúvico, MX - Chernossolo Háptico, CX - Cambissolo Háptico, RQ - Neossolo Quartzarênico, RL - Neossolo Litólico, GX - Gleissolo Háptico, GM - Gleissolo Melânico, ef - eutroférico, mf - mesoférico, m - mesotrófico, df - distroférico, wf - acriférico, w - árido, ma - mesoálico, a - álico. ⁽¹⁾ horizonte B ocorrendo na profundidade de até 20 cm iniciais desde a superfície; ⁽²⁾ horizonte B ocorrendo na profundidade de 20 a 60 cm desde a superfície; ⁽³⁾ horizonte B ocorrendo na profundidade de 60 a 100 cm desde a superfície; ⁽⁴⁾ horizonte B ocorrendo na profundidade maior de 100 cm desde a superfície. ^(*)

em cana-planta houve resposta significativa à adubação com este nutriente, o que tem sido confirmado em trabalhos recentes, inclusive para cana soca, por vários autores (RESENDE et al., 2006; XAVIER, 2006). Prado e Pancelli (2008), estudando a resposta de soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de N em sistema de colheita sem queima, verificaram que o N aplicado não afetou a produtividade de colmos. Otto et al. (2009), estudando a fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio em dois solos diferentes (Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico e Latossolo Vermelho distrófico), verificaram que a adubação nitrogenada de plantio promoveu aumento no crescimento de raízes e da parte aérea da cana-planta em Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico. No entanto, no Latossolo Vermelho distrófico com grande quantidade de N orgânico incorporado ao solo por meio de resíduos culturais a adubação nitrogenada de plantio não afetou o crescimento de raízes e da parte aérea da cana-planta.

Existem relatos de que em cana de ano, ou seja, ciclo de 12 meses ocorre maior frequência de resposta à adubação nitrogenada do que em cana de ano e meio (ciclo de 18 meses). Orlando Filho e Rodella (1995) e Korndorfer et al. (1997; 2002) observaram que em solos de textura arenosa a cana-planta pode ser altamente responsiva à adubação nitrogenada. Franco et al. (2007) evidenciaram maior acúmulo de macronutrientes com a aplicação de N em vasos, no sistema radicular da cana-de-açúcar (cana-planta de ano). Franco et al. (2010), avaliando a produtividade e os atributos tecnológicos de cana-planta em relação a adubação nitrogenada, verificaram que houve incremento de produtividade, bem como alterações na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada.

Sampaio et al. (1985) e Araújo et al. (2001), estudando a mineralização do C e do N em solo cultivado com cana-de-açúcar, verificaram que o N mineralizado de solos cultivados com cana-de-açúcar foi suficiente para atender à demanda da cana-planta. Outros fatores como o maior vigor do sistema radicular da cana-planta comparado ao da soqueira,

a melhoria da fertilidade do solo associada à calagem, a incorporação de restos culturais do ciclo anterior, a adubação feita na reforma do canavial, a menor demanda inicial por nutrientes da cana-planta, as perdas de N fertilizante por lixiviação e a contribuição de N do colmo-semente podem estar favorecendo as baixas respostas da cana-planta à adubação nitrogenada. Além dos fatores mencionados acima, nas últimas décadas, grande ênfase tem sido dada à fixação biológica de N na cana-de-açúcar (DÖBEREINER 1959, 1961; DÖBEREINER; RUSCHEL, 1958; BODDEY et al., 2001). Urquiaga et al. (1992) obtiveram estimativas de contribuição da FBN na cana-de-açúcar da ordem de $210 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N.

Segundo Vitti et al. (2008), fatores como valores elevados de erros experimentais associados a ensaios de adubação em condições de campo e a avaliação de resultados de ensaios isolados com pequenos incrementos na produtividade em razão da adubação nitrogenada, conduzem muitos técnicos a considerar que a cana-planta pode dispensar a aplicação de fertilizante nitrogenado. Marinho e Barbosa (1996) analisaram 141 ensaios conduzidos na região Nordeste do Brasil, os quais, no conjunto, apresentaram resposta significativa à adubação nitrogenada, embora isso nem sempre fosse verdadeiro para ensaios avaliados isoladamente. Com base em análises conjuntas de avaliações de resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, Cantarella et al. (2007) reuniram resultados de 74 ensaios e concluíram que apesar de serem em muitos casos pequenos, os incrementos de produtividade obtidos em cana-planta em função da adubação nitrogenada são significativos, conforme ilustrado na Figura 2.

Esses resultados indicam que não é recomendável suprimir a adubação nitrogenada na cana-planta, principalmente em solos de textura arenosa, e especialmente em áreas onde a cana é colhida crua, ou seja, sem uso de fogo e em solos onde o manejo é baseado no preparo mínimo. Os autores afirmam ainda que a dose de 75 kg ha^{-1} de N pode ser recomendada como a mais economicamente viável na cana-planta.

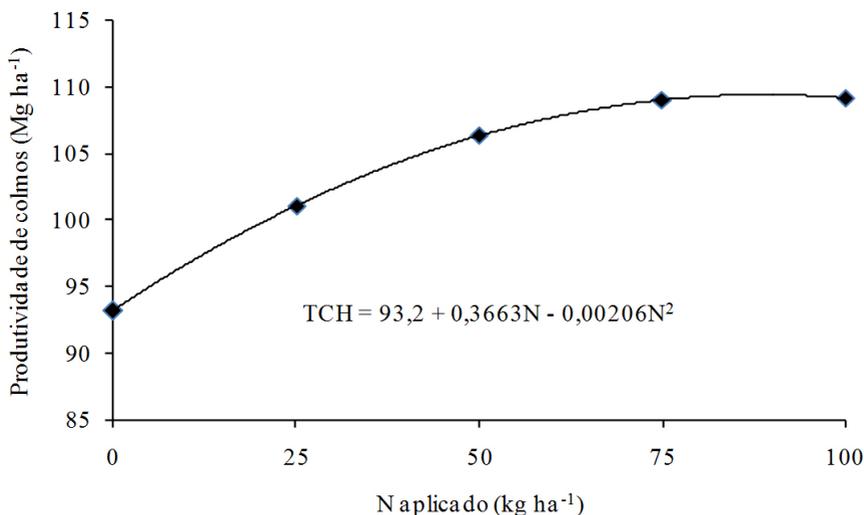


Fig. 2. Resposta de cana-planta à adubação nitrogenada. Curva de resposta média com a análise conjunta dos 74 ensaios. (Dados compilados por CANTARELLA et al., 2007).

Adubação nitrogenada nas soqueiras de cana-de-açúcar

Nas soqueiras a resposta à adubação nitrogenada é maior e com maior freqüência, requerendo inclusive doses mais elevadas em relação à cana-planta. Desde os primeiros trabalhos realizados nos anos 80, observou-se que nas soqueiras a fertilização nitrogenada promovia incrementos expressivos (MARINHO, 1974; AZEREDO et al., 1980, 1986; ALBUQUERQUE ; MARINHO, 1983; ZAMBELLO; AZEREDO, 1983). Segundo Raij et al. (1996), para o estado de São Paulo a recomendação varia de 60 a 120 kg ha⁻¹, dependendo da produtividade esperada. Segundo Espironello et al. (1987) doses superiores a 100 kg ha⁻¹ apresentam incrementos relativamente pequenos, em muitos casos inviáveis economicamente. Vitti (2003), estudando a resposta da cana-de-açúcar a adubação nitrogenada em soqueira colhida mecanicamente sem a queima prévia, obteve resposta linear na produtividade de colmos até a dose de 175 kg ha⁻¹ de N. Moura et al. (2005), estudando o efeito

de doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar (variedade SP79-1011) primeira soca, com e sem irrigação, observaram que houve resposta linear da cana de primeira soca à adubação nitrogenada até a dose de 236 kg ha⁻¹ de N; os autores afirmam ainda que esta dose pode não ter sido suficiente para que a cultura expressasse seu máximo potencial produtivo. Schultz et al. (2010), estudando o efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada com ureia e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada, obtiveram incremento no rendimento de colmos de 32,8 Mg ha⁻¹ e 46,1 Mg ha⁻¹ quando a cana de primeira soca recebeu 80 kg ha⁻¹ de N incorporado ao solo, na cana colhida crua e queimada, respectivamente. Ishikawa et al. (2009), estudando o efeito da aplicação de doses elevadas de N no acúmulo de matéria seca, verificaram que doses equivalentes a 300 e 600 kg ha⁻¹ não promoveram incremento no acúmulo de matéria seca.

Segundo Vitti et al. (2008), é provável que as doses de N atualmente recomendadas estejam subestimando o potencial de resposta econômica ao N em lavouras com materiais genéticos mais produtivos, cultivados em ambientes de alto rendimento e com elevada quantidade de resíduos culturais de alta relação C:N. Segundo Raij et al. (1996), a necessidade de N é maior quanto maior for o potencial de produção de fitomassa.

Segundo Cantarella et al. (2008), em sua revisão sobre a resposta de cana-soca à adubação nitrogenada, a avaliação de resultados de 20 ensaios de forma conjunta mostra que nas socarias de cana-de-açúcar ocorre efeito mais acentuado da adubação nitrogenada, conforme apresentado na Figura 3.

Em relação à adubação nitrogenada em sistema de colheita sem a queima prévia da palhada, os resultados são contraditórios, tendo efeito positivo (COSTA et al., 2003; VITTI et al., 2007) e também ausência de resposta, como o de OITICICA et al. (1999), que avaliaram a aplicação de N (até 60 kg ha⁻¹) com vinhaça em um

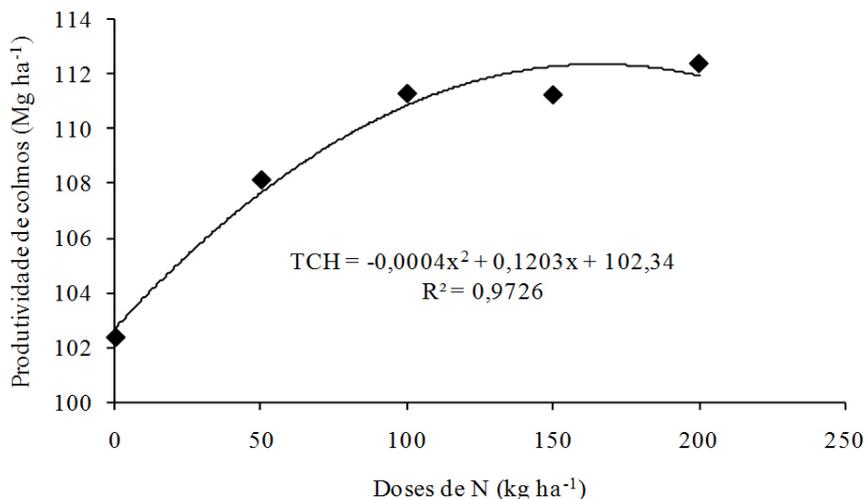


Fig. 3. Produtividade de colmos em função das doses de N. Média de 20 ensaios.
Fonte: Canterella et al. (2008).

Argissolo Vermelho-Amarelo. Prado e Pancelli (2008), estudando a adubação nitrogenada em soqueira de cana-de-açúcar, verificaram que ocorreu acidificação do solo, restrita à camada superficial (0-20 cm) e na faixa de aplicação, sendo verificado que não houve aumento significativo nos teores de macro e micronutrientes nas folhas, exceto o N na segunda soqueira. Verificaram ainda que somente a dose de 200 kg ha⁻¹ de N promoveu incremento no desenvolvimento da cultura, na nutrição da planta e na produtividade de colmos na segunda soqueira, em sistema de colheita sem queima. Este resultado indica baixa eficiência da adubação nitrogenada em sistema de colheita mecanizada e aponta para a necessidade de estudos de maior duração e mais detalhados.

Formas de aplicação

A adubação nitrogenada na cultura de cana tem diferente dose e forma de aplicação dependente da idade da cultura, época de plantio e

corde, ambiente de produção e utilização de irrigação. Como em outras culturas a expectativa de colheita reflete a quantidade do fertilizante a ser aplicado, a dose e a forma.

A aplicação de fertilizantes nitrogenados em soqueiras de cana-de-açúcar ainda é um assunto complexo, haja vista que a colheita bem como a adubação das soqueiras ocorre em grande parte, ao longo do período de estiagem em todas as regiões onde a cultura é cultivada. Vários autores demonstram em seus estudos, que independentemente da forma de aplicação, sempre vão ocorrer perdas de N para o sistema, seja por lixiviação, retenção nas partículas do solo, volatilização, entre outras. Alguns estudos apresentam resultados de eficiência do nitrogênio aplicado, o que pode aumentar as perdas dependendo da escolha do fertilizante e forma de aplicação.

Segundo Cabezas (1998), a aplicação da ureia incorporada ao solo reduz as perdas de N por volatilização a níveis equivalentes ao sulfato e nitrato de amônio, principalmente em sistema de plantio direto. Este mesmo autor afirma ainda que a perda de N da ureia por volatilização de NH_3 quando aplicado em superfície sobre os resíduos da cana-de-açúcar ou diretamente sobre o solo onde os resíduos são queimados, pode ser superior a 70 e 30%, respectivamente. Schultz et al. (2010), estudando o efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada com ureia e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada, sem avaliar as perdas de N do sistema, verificaram que a adubação com 80 kg ha^{-1} de N na forma de ureia, incorporado no solo a 5 cm de profundidade promoveu aumento significativo no rendimento de colmos tanto na cana colhida crua quanto queimada. Freney et al. (1992) e Cantarella et al. (1999) afirmam que é comum a aplicação de ureia incorporada no solo em sistema de cana queimada. Estes autores também afirmam que a incorporação da ureia ao solo reduz as perdas de N por volatilização de NH_3 e a torna tão eficiente quanto outras fontes que apresentam menores perdas, como por exemplo, o nitrato e o sulfato de amônio. No entanto, Cantarella et al. (2008) alertam para o fato de que, com a colheita da cana sem a

queima prévia da palhada, as operações de incorporação de fertilizantes no solo podem ser prejudicadas em função de os equipamentos não conseguirem cortar a camada de palhada deixada sobre o solo no momento da colheita, o que pode resultar em aumento expressivo de perdas de N por volatilização de NH_3 pela intensificação da atividade da urease, conforme já demonstrado por Prammanee et al. (1989), Denmead et al. (1990) e Cantarella et al. (1999). Segundo Costa et al. (2003), as misturas de ureia com sulfato de amônio, ureia e nitrato de amônio (uran) e o resíduo líquido Ajifer® (subproduto da indústria alimentícia) enriquecido com N surgem como possíveis fontes nitrogenadas que podem apresentar menores perdas de volatilização de N-NH_3 , quando aplicadas sobre a palha de cana-de-açúcar colhida sem queima, sendo que a solução de uran e o resíduo líquido Ajifer® apresentaram perdas inferiores à ureia e à misturas de ureia com sulfato de amônio.

Entre as várias formas que atualmente são estudadas visando ao melhor aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados aplicados na cultura da cana-de-açúcar, o uso de inibidores de urease tem se mostrado como uma alternativa promissora. Em estudo desenvolvido por Cantarella et al. (2008) para avaliar a volatilização de amônia a partir de ureia tratada com inibidor de urease aplicada sobre palha de cana-de-açúcar, em que utilizaram como controle o nitrato e o sulfato de amônio, verificou-se que a perda de N-NH_3 da ureia tratada com inibidor de urease foi muito baixa. No entanto, os autores afirmam que a utilização destes produtos ao longo do inverno (junho a setembro) pode apresentar baixa eficiência devido a estiagem prolongada. Sendo assim, os mesmos concluíram que o nitrato e o sulfato de amônio devem ser as fontes preferidas por apresentarem as menores perdas mesmo sob condições de estiagem prolongada. Segundo os autores é importante ressaltar que a utilização de fontes nitrogenadas tratadas com inibidores de urease podem elevar os custos com fertilizantes nitrogenados, apesar de apresentarem efeitos positivos na produtividade e que é necessário avaliar o retorno econômico destes produtos na produção de matéria-prima para o setor sucroenergético.

Época e localização de aplicação dos fertilizantes nitrogenados

A época e a localização de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura da cana-de-açúcar devem ser definidos de formas diferenciadas de acordo com o ciclo da cultura (cana-planta ou soqueiras) e podem ser determinantes na eficiência da adubação (VITTI et al. 2008). A adubação da cana-planta normalmente é realizada em dose única no plantio, onde os fertilizantes são aplicados no fundo do sulco, inclusive o N (RAIJ et al., 1996). Nas soqueiras normalmente é feita a reposição dos nutrientes extraídos com a exportação dos colmos aproximadamente 30 a 40 dias após o corte.

Quanto ao local de aplicação dos fertilizantes nitrogenados em soqueiras, recomenda-se a aplicação em ambos os lados do sulco de plantio, visando assim à maior proximidade dos nutrientes com o sistema radicular. Segundo Dias e Rossetto (2006), é importante que se faça a diagnose nutricional do canavial todos os anos, haja vista que é extremamente difícil a intervenção e correção de deficiência nutricional em cana-de-açúcar no ciclo onde o problema é observado. Porém, a observação e detecção de qualquer problema nutricional em um determinado ciclo deve ser utilizado como ferramenta estratégica para solucionar o problema no ciclo subsequente. No caso da cana colhida sem queima prévia da palhada recomenda-se a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, principalmente ureia, incorporados ao solo em ambos os lados dos sulcos.

Outro aspecto importante para o aumento da eficiência da adubação nitrogenada é o parcelamento das adubações, no entanto, em função das grandes áreas e do custo de produção, a adubação das soqueiras de cana-de-açúcar é efetuada em uma única parcela, aproximadamente 30 a 40 dias após o corte.

Efeito varietal

A interação de variedades com a nutrição nitrogenada ainda é pouco conhecida, sendo comum nas usinas produtoras de cana-de-açúcar a recomendação generalizada de adubação, independente das variedades em questão. Segundo Landell et al. (2006), o manejo varietal está diretamente relacionado ao ambiente de produção, ou seja, ao longo do processo de melhoramento as variedades são testadas em diferentes condições edafoclimáticas, sendo então classificadas como variedades estáveis, responsivas e rústicas, partindo do princípio de que a base nutricional é igual em todos os ambientes e para todos os elementos químicos. Sendo assim, a classificação é feita da seguinte forma:

- **Variedades estáveis:** são aquelas que respondem a uma determinada condição edafoclimática mais favorável de cultivo, mas que também apresentam bom desempenho em condições desfavoráveis de produção;
- **Variedades responsivas:** são aquelas que têm grande resposta a uma determinada condição edafoclimática favorável, mas não se adaptam a ambientes mais restritos; e
- **Variedades rústicas:** são aquelas que se adaptam a ambientes mais restritos, mas não apresentam boas respostas a uma condição favorável de cultivo.

Dias (1997) estudou a interação de seis cultivares de cana-de-açúcar em diferentes ambientes (solo x clima) e constatou que, em solo eutrófico, com variação textural no perfil e com regime hídrico não limitante ao desenvolvimento das plantas, todos as variedades estudadas expressaram plenamente o potencial genético. Entretanto, em solo álico, sem variação textural no perfil e com elevada drenagem, que conduziu a regime hídrico limitante, as variedades estiveram muito aquém de seu potencial genético de produtividade.

Segundo Vitti et al. (2008), os avanços nas pesquisas com melhoramento genético e a criação de materiais mais produtivos, provavelmente estejam conduzindo a uma subestimativa o potencial

de resposta econômica ao N na cana-de-açúcar. Estes fatores estão provavelmente ligados ao crescimento e manutenção do sistema radicular ao longo do ciclo da cultura, que difere entre variedades e, portanto podem interagir com o solo e a biota de forma diferenciada.

Considerações finais

O fato de o Brasil ser o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo faz com que as pesquisas desenvolvidas sobre a cultura sejam amplas, com resultados e opiniões muitas vezes divergentes e de extrema complexidade em função de vários fatores que estão direta ou indiretamente ligados à exploração desta cultura. Entre os principais fatores podem ser destacados, os edafoclimáticos, o potencial genético e adaptabilidade da cultura, interesses econômicos, políticos, entre outros. Outro fator que nos diferencia de outros países é a longevidade do ciclo da cultura. O Brasil cultiva a cana por 5 cortes, chegando a um ciclo de vida de 5-6 anos. Países com a Austrália, os Estados Unidos entre outros utilizando altas doses de fertilizantes nitrogenados e cultivos de cana-planta. Nosso modelo de produção pode evoluir para cultivos de ciclo mais curto, especialmente com a utilização de mudas pré-brotadas ou mesmo “sementes” pois utilizam apenas uma gema. Estas novas tecnologias podem vir a mudar o sistema de produção nos próximos anos pois melhoram o principal fator de gasto do produtor que é a renovação do canavial. Este cenário está sendo visualizado por grandes grupos multinacionais que ingressaram recentemente no Brasil com tecnologias de produção de mudas de uma única gema como, por exemplo, o AgMusa® da Basf e o Plene® da Syngenta.

Mesmo no atual sistema de produção, a adubação nitrogenada da cana-de-açúcar no Brasil é modesta quando comparada a outros países. No entanto, analisando os resultados dos diversos grupos de pesquisa sobre a cultura, fica claro que é possível reduzir ainda mais as doses de N aplicadas atualmente, se forem consideradas as peculiaridades de cada região produtora, as características intrínsecas

de cada variedade cultivada e de condições edafoclimáticas e as fontes alternativas de adubação nitrogenada, inclusive a inoculação com bactérias diazotróficas endofíticas, tecnologia que já vem se mostrando promissora em várias culturas no mundo todo. O Estado de São Paulo, que adota a metodologia de ambientes de produção (Tabela 6), tem por objetivo o aumento da eficiência do uso de insumos.

No que diz respeito às fontes nitrogenadas utilizadas na adubação da cana-de-açúcar no Brasil e no mundo, a ureia representa atualmente 60% desse mercado, resultante principalmente do menor preço por unidade de N em relação às demais fontes. Em seguida estão o sulfato e nitrato de amônio, algumas soluções contendo N e produtos inibidores de urease que visam aumentar a eficiência da adubação nitrogenada na cana-de-açúcar. Porém, inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas no intuito de encontrar novas fontes de fertilizantes nitrogenados que sejam mais eficientes no fornecimento de N para as plantas, aumentando desta forma os rendimentos da cultura, com menor custo e ambientalmente menos impactantes. O que falta neste setor é a junção do conhecimento da fertilidade do solo com os da microbiologia, de forma a atuar no desenvolvimento de produtos encapsulados, que permitam a liberação mais lenta de N e a utilização de bactérias promotoras de crescimento, que influencia diretamente no crescimento radicular, diminuindo as perdas em processos de lixiviação e volatilização, por exemplo.

O tema desta revisão é extremamente abrangente, complexo, provavelmente inesgotável e com resultados jamais unânimes entre a comunidade científica que explora o assunto, no entanto, os tópicos apresentados nesta revisão visaram a atender de forma resumida os pressupostos do tema em questão.

Referências Bibliográficas

ABREU JUNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos: Propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 4, p. 391-459, 2005.

ABREU JUNIOR, C. H.; NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, F. C.; PIRES, A. M. M.; FRANCO, A. Aproveitamento agrícola de resíduos no canavial. In: MARQUES, M.O.; MUTTON, M. A.; NOGUEIRA, T. A. R.; TASSO JÚNIOR, L.C.; BERNARDI, J. H. (Ed.). **Tecnologias na agroindústria canavieira**. Jaboticabal: FCAV, 2008. p.184-210.

ALBUQUERQUE, G. A. C.; MARINHO, M. L. Adubação na região Norte-Nordeste. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1983. p.267-286.

AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C.O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. B.; SCHAMMASS, E. A.; GUIRADO, N.; ROSSI, F.; MENDES, P. C. D.; MURAOKA, T. Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 534-542, 2005.

- ARAÚJO, A. M. S.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Mineralização do C e do N em amostras armazenadas de solo e cultivadas com cana-de-açúcar, ao longo de dez anos, com e sem fertilização nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 43-53, 2001.
- AZEREDO, D. F.; BOLSANELLO, J.; WEBER, H.; VIEIRA, J. R. Nitrogênio em cana-planta, doses e fracionamento. **STAB**, v. 4, p.26-32, 1986
- AZEREDO, D. F.; MANHÃES, M. S.; ROBAINA, A. A. Adubação nitrogenada em cana-soca. **Saccharum STAB**, v. 3, p. 35-38, 1980.
- AZEREDO, D. F.; ROBAINA, A. A.; ZANOTTI, N. E. Adubação mineral em cana-de-açúcar no Estado do Espírito Santo. **Saccharum-STAB**, v. 7, p. 39-43, 1984.
- BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D.; SELDIN, L.; DÖBEREINER, J. Characterization of *Herbaspirillum seropedicae* gen. nov.; sp. nov., a root-associated nitrogen-fixing bacterium. **International Journal of Systematic Bacteriology**, Washington, v. 36, p. 86-93, 1986.
- BALDANI, J. I.; REIS, V. M.; BALDANI, V. L. D.; DOBEREINER, J. A brief story of nitrogen fixation in sugarcane: reasons for success in Brazil. **Functional Plant Biology**, v. 29, n. 4, p. 417-423, 2002.
- BODDEY, R. M.; POLIDORO, J. C.; RESENDE A. S.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Use of the ¹⁵N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N₂ fixation to grasses and cereals. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 28, n. 9, p.889-895, 2001.
- BODDEY, R. M.; SOARES, L. H. B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. **Bio-ethanol production in Brazil**. In: PIMENTEL, D. [Ed.] **Bifuels: solar and wind as renewable energy systems**. New York: Springer, 2008, 504p.

BARRY, G. A., RAYMENT, G. E., JEFFREY, A. J., PRICE, A. M. Changes in cane soil properties from applications of sugar mill by-products. **Proceedings of the Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, v. 23, p. 185-191. 2001.

BERTONCINI, E. I.; MATTIAZZO, M. E.; ROSSETTO, R. Sugarcane yield and heavy metal availability in two biosolid-amended Oxisols. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, p. 1243-1260, 2004.

BLACKBURN, F. Sugarcane. **Tropical Agriculture Series**. London: Longman, 1984.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto n.º 7.764, de 22 de junho de 2012**. Altera o Decreto nº 5.060, de 30 de abril de 2004, que reduz as alíquotas da contribuição de intervenção no somínio Econômico incidente sobre a importação e a comercialização de petróleo e seus derivados, gás natural e seus derivados, e álcool etílico combustível – CIDE. **Diário Oficial da União**, Brasília, 25 jun. 2012.

CABEZAS, A. R. L. Comportamento dos adubos nitrogenados em clima e solo de Cerrado. **Revista Plantio Direto**. Passo Fundo, v. Especial Cerrado, p.52 -60, 1998.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M. O.; SILVA, A. R.; TASSO JUNIOR, L. C. Avaliação dos teores de metais pesados no solo e na planta de cana-de-açúcar sob adubação com lodo de esgoto e vinhaça. **Bioscience Journal**, v. 25, p. 23- 31, 2009.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. Adubação nitrogenada no estado de São Paulo. In: **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p. 47-79.

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M. J.; RESENDE, L. C. L. Perdas de N por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7., Londrina, 1999. **Anais**. Piracicaba: STAB, 1999. p. 82-87.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2006, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. p.355-392.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; RENATO COIMBRA, B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, 2008.

CARDOSO, E. **Contribuição para o estudo da adubação verde dos canaviais**. Piracicaba: ESALQ, 1956. 96 f. Tese. (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Campus Piracicaba.

CARNAÚBA, B. A. A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, v. 8, n.3-4, p.24-39, 1990.

CAVALCANTE, V. A.; DÖBEREINER, J. A new acid-tolerant nitrogen-fixing bacterium associated with sugar cane. **Plant and Soil**, v. 108, p. 23-31, 1988.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. I - disponibilidade de nitrogênio no solo e componentes de produção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 643-652, p. 643-652, 2008.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Rendimento de cana-de-açúcar cultivada em Argissolo, utilizando lodo de esgoto como fonte de fósforo. **Acta Scientia Agronomica**, v. 31, p. 495-501, 2009.

CÓ JÚNIOR, C.; MARQUES, M. O.; TASSO JUNIOR, L. C. Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 196-203, 2008.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília, 2014. v.1, Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 12. Set. 2010

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Brasília, 2006. 32 p.

CORRÊA, R. S. Efficiency of five biosolids to supply nitrogen and phosphorus to ryegrass. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p.1133-1139, 2004.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 631-637, 2003.

DENMEAD, O. T.; FRENEY, J. R.; JACKSON, A.V.; SMITH, J. W. B.; SAFFIGNA, P. G.; WOOD, A. W.; CHAPMAN, L. S. Volatilisation of ammonia from urea and ammonium sulfate applied to sugarcane trash in North Queensland. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, v. 12, p.73-78, 1990.

DIAS, F. L. F. **Relação entre produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar, na região noroeste do Estado de São Paulo**. 1997, Piracicaba – SP, (Dissertação de Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 61p.

DIAS, F. L. F. E ROSSETTO, R. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de SENE; E. JENDIROBA; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: 2006, 415p.

DÖBEREINER, J. History and new perspectives of diazotrophs in association with non-leguminous plants. **Symbiosis**, v. 13, p. 1-13, 1992.

DÖBEREINER, J. Influência da cana-de-açúcar na população de Beijerinckia do solo. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 19, p. 251-258, 1959.

DÖBEREINER, J. Nitrogen-fixing bacteria of the genus Beijerinckia Derox in the rhizosphere of sugar cane. **Plant and Soil**, v. 15, p. 211-216, 1961.

DÖBEREINER, J.; RUSCHEL, A.P. Uma nova especie de Beijerinckia. **Revista de Biologia**, v.1, n.3/4, p.261-272, 1958.

DUARTE JUNIOR, J. B.; COELHO, F. C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n.6, 2008.

ELSAYED, M. T.; BABIKER, M. H.; ABDELMALIK, M. E.; MUKHTAR, O. N.; MONTANG, D. Impact of filter mud applications on the germination of sugarcane and small-seeded plants and on soil and sugarcane nitrogen contents. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 4164-4168, 2008.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412 p.

ESPIRONELO, A.; OLIVEIRA, H; NAGAI, V. Efeitos da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (cana-planta) em anos consecutivos de plantio. II. Resultados de 1976/78 e conclusões finais 1974/78. **Bragantia**, Campinas, v. 39, p. 27-38, 1980.

FRANCO, A.; ABREU JUNIOR, C. H. A.; PERECIN, D.; OLIVEIRA, F. C.; GRANJA, A. C. R.; BRAGA V. S. Sewage sludge as nitrogen and phosphorus source for cane-plant and first ratoon crops. R. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.553-561, 2010.

FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, v. 66, p.699-674, 2007.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2763-2770, 2008.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agrícola**, v. 67, p. 579-590, 2010.

FRANCO, J. A. M.; SARAIVA NETO A. Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimento de matéria-prima. In: YAMADA, T.; STIPP, S. R.; VITI, G. C. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba: **International Plant Nutrition Institute**, 2007, 714 p.

FRENEY, J. R.; DENMEAD, O. T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P. G.; CHAPMAN, L. S.; HAM, G. J.; HURNEY, A. P.; STEWART, R. L. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. **Fertilizer Research**, v. 3, p. 341-349, 1992.

HEINRICH, R.; S OARES FILHO, C. V. Eficiência agrônômica de fertilizante líquido Ajifer proveniente da aplicação de Lisina em pastagem de braquiária MG5. **Relatório Científico**, 2006, 39 p.

IBGE-SIDRA. Sistema IBGE e Recuperação Automática. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: estimativa de safra. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 de agosto de 2014.

ISHIKAWA, S.; ANDO, S.; SAKAIGAICHI, T.; TERAJIMA, Y
MATSUOKA, M. Effects of high nitrogen application on the dry matter yield, nitrogen content and nitrate-N concentration of sugarcane. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 55, p. 485–495, 2009.

KORNDÖRFER, G. H.; COLOMBO, C. A.; CHIMELLO, M. A.; LEONI, P. L. C. Desempenho de variedades de cana-de-açúcar cultivadas com e sem nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8. Recife, 2002. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p.234-238.

KORNDÖRFER, G. H.; VALLE, M. R.; MARTINS, M.; TRIVELLIN, P, C. O. Aproveitamento do nitrogênio da uréia pela cana planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p.23-26, 1997.

LANDELL, M. G. A.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; CRESTE, L. R. P. S. Manejo varietal em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de SENE; E. JENDIROBA; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 2006, 415 p.

LI, R.; MACRAE, I. C. Specific identification and enumeration of *Acetobacter diazotrophicus* in sugarcane. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, p. 413-419, 1992.

LI, R.; MACRAE, I. C. Specific association of diazotrophic *Acetobacters* with sugarcane. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, p. 999-1002, 1991.

MACEDO, I. C.; KOLLER, H. W. **Balanco de energia na produção de cana-de-açúcar e álcool nas usinas cooperadas em 1996**: International Report. Piracicaba: Copersucar, 1997. 23 p.

MALAVOLTA, E. H. P.; HAAG, F. A. F. MELLO, M. O. C.
BRASILSOBRINHO. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas.**
São Paulo: Pioneira, 1974. 727 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas.** Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa as Potassa a do Fosfato, 1997. 319 p.

MARINHO, M. L. **Aspectos agrônômicos e econômicos da adubação da cana-de-açúcar em Alagoas.** Rio Largo: EECA, 1974. 60 p.

MARINHO, M. L.; BARBOSA, G. V. S. Adubação nitrogenada da cana-planta na região Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE SATB, 6. Maceió, 1996. **Anais...** Maceió: STAB, 1996. p. 455-460.

MEIER, E. A; THORBURN, P. J; WEGENER, M. K.; BASFORD, K. E.
The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland. **Nutrition Cycling Agroecosystem**, v. 75, p. 101–114, 2006.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Biossólidos na agricultura.** São Paulo: SABESP, 2001. p. 289-363

MEYER, J. H.; ANTWERPEN-R-VAN, HERNY, P. C., LEIBBRANDT, N.; VAN- ANTWERPEN, R. In: **Proceedings of the Annual Congress the South African Sugar Technologists Association**, v. 66, p. 89-94. 1992.

MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V; NETO, J. D.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciências Agrotécnicas**, v. 29, p. 753-760, 2005.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.385-392, 2004.

NOGUEIRA, E. DE M.; OLIVARES, F. L.; JAPIASSU, J. C.; VILAR, C.; VINAGRE, F.; BALDANI, J. I.; HEMERLY, A. Characterization of glutamine synthetase genes in sugarcane genotypes with different rates of biological nitrogen fixation. **Plant Science**, v.169, p.819-832, 2005.

OITICICA, A. G. R.; MELLO, A. J. P.; MOURA FILHO, G. Resposta da cana-soca a fontes e doses de nitrogênio em área de vinhaça com palhiço da cana crua, variedade RB 83-102. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27. 1999. **Anais...** Brasília: SBCS/ EMBRAPA, 1999. (CD-Rom)

OLIVARES, F. L. **Taxonomia, ecologia e mecanismos envolvidos na infecção e colonização de plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp. Híbrido) por bactérias endofíticas do gênero *Herbaspirillum***. Tese. (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1997.

OLIVEIRA, A. L. M.; URQUIAGA, S.; DOBEREINER, J.; BALDANI, J. I. The effect of inoculating endophytic N₂-fixing bacteria on micropropagated sugarcane plants. **Plant and Soil**, v. p. 242-205-215, 2002.

OLIVEIRA, A. L. M. DE; CANUTO, E. L.; URQUIAGA, S.; REIS, V. M.; BALDANI J. I. Yield of micropropagated sugarcane varieties in different soil types following inoculation with endophytic diazotrophic bacteria. **Plant and Soil**, v. 284, p. 23-32, 2006.

OLIVEIRA, E. L.; ANDRADE, L. A. B.; FARIA, M. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; MORAIS, A. R. Uso de vinhaça de alambique e nitrogênio em cana-de-açúcar irrigada e não irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n.11, p.1398-1403, nov. 2009.

OLIVEIRA, R. P. **Análise de crescimento de cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas e com adubação nitrogenada**. Dissertação. (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2013. 46 p.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. Adubação nitrogenada em cana-planta: perfilhamento e produtividade agrícola. **STAB**, v.13, n. 3, p.16-18, 1995.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. Doses e fracionamento de nitrogênio e potássio em solo arenoso sob primeiro cultivo. In: CONGRESSO DA STAB, 6., 1996. **Anais...** Maceió: STAB, 1996. p.517-520.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A.; BELTRAME, J. A.; LAVORENTI, N. A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. **STAB**, v. 17, n.4, p.39-41, 1999.

OTTO, R.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 398-405, 2009.

PERIN, L.; BALDANI, J. I.; REIS, V. M. Diversidade de *Gluconacetobacter diazotrophicus* isolada de plantas de cana-de-açúcar cultivada no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 763-770, 2004.

PERIN, L.; MARTÍNEZ-AGUILAR, L. M.; CASTRO-GONZÁLEZ, R.; SANTOS, P. E. DE LOS; CABELLOS-AVELAR, T.; GUEDES, H.V.; REIS, V. M.; MELLADO, J. C. Diazotrophic Burkholderia species associated with field-grown maize and sugarcane. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 72, p. 3103-3110, 2006.

POEL, P. W. van DER, SCHIWECK H.; SCHWART T. **Sugarcane Technology, Beet and cane sugar manufacture**. Verlag: Springer, 1998. p. 554–559.

PRADO, H. Ambientes de produção em cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, v. 110, Julho, 2005. Encarte Especial.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo e exportação de macronutrientes da cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 59, p.129-135, 2002.

PRADO, R. de M.; PANCELLI, M. A. Resposta de soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem queima. **Bragantia**, v. 67, p.951-959, 2008.

PRAMMANEE, P.; SAFFIGNA, P. G.; WOOD, A.W.; FRENEY, J. R. Loss of nitrogen from urea and ammonium sulphate applied to sugar cane crop residues. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, v. 11, p.76-84, 1989.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2.ed. Campinas, IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico 100).

REIS, V. M.; BALDANI J. I.; BALDANI V. L. D.; DOBEREINER, J. Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm trees. **Critical Reviews in Plant Science**, v.19, p.227-247, 2000.

REIS, V. M.; OLIVEIRA, A. L. M. de; BALDANI, V. L. D.; OLIVARES, F. L.; BALDANI, J. I. **Fixação Biológica de Nitrogênio simbiótica e Associativa**. In: Fernandes, M. S. [Ed.]. *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, 432 p.

RESENDE, A. S.; SANTOS, A. XAVIER, R. P.; COELHO, C. H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O. C.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 937-941, 2006.

RESENDE, A. S. de; XAVIER, R. P.; QUESADA, D. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDY, R. M. Use of green manures in increasing inputs of biologically fixed nitrogen to sugar cane. **Biology and Fertility of Soil**, v. 37, p. 215-220, 2003.

RESENDE, A. S.; XAVIER, R. P.; OLIVEIRA, O. C. DE; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco. **Plant and Soil**, v. 281, p.337-349, 2006.

RUSCHEL, A. P.; HENIS, Y.; SALATI, E. Nitrogen-15 tracing of N-fixation with soil-grown sugar cane seedlings. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 7, p.181-182, 1975.

RUSCHEL, A. P.; VICTORIA, R. L.; SALATI, E.; HENIS, Y. Nitrogen fixation in sugar cane (*Saccharum officinarum*). **Ecology Bulletin**, v. 26, p. 297-305, 1978.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; ALVES, G. D. Mineralização do carbono e do nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 99, p 33-38, 1985.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I. H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I. Eficiência na utilização de uréia (¹⁵N) em aplicação única ou parcelada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.9, p. 943-949, 1984.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:811-820, 2010.

SCHULTZ, N.; MORAIS, R. F.; SILVA, J. A.; BAPTISTA, R. B.; OLIVEIRA, R. P.; LEITE, J. M.; PEREIRA, W.; CARNEIRO JÚNIOR, J. B.; ALVES, B. J. R.; BALDANI, J. I.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; REIS, V. M. Avaliação agronômica de duas variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas e adubadas com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p.261-268, 2012.

SCHULTZ, N., SILVA, J. A.; SOUSA, J. S., MONTEIRO, R. C., OLIVEIRA, R. P., CHAVES, V. A., PEREIRA, W., SILVA, REIS, V. M., URQUIAGA, S. Inoculação de bactérias diazotróficas na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p.359-371, 2014.

SILVEIRA, J. A. G. **Interações entre assimilação de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) cultivada em condições de campo**. 1985. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1985. 152p.

SUMAN, A.; GAUR, A.; SHRIVASTAVA, A. K.; YADAV, R. L. Improving sugarcane growth and nutrient uptake by inoculating *Gluconacetobacter diazotrophicus*. **Plant Growth Regulation**, v. 47, p. 155-162, 2005.

TRIVELIN, P. C. O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: Três casos estudados com o uso do traçador ^{15}N** . 2000. 143 f. (Tese Livre-Docência) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2000.

TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L; RODRIGUÊS, J. C. S. Aproveitamento por soqueira de cana de açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia- ^{15}N e uréia- ^{15}N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, p.1375-1385, 1995.

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C. & SARRIÉS, G.A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduo da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.637-646, 2002.

UMRIT, G. BHOLAH, M. A.; NG KEE KWONG, K. F. Nitrogen benefits of legume green manuring in sugarcane farming systems in Mauritius. **Sugar Tech**, v. 11, p. 12-16, 2009.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K. H. S.; BODDEY, R. M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen balance estimates. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p.105-114, 1992.

URQUIAGA, S.; XAVIER, R. P.; MORAIS, R. F. de; BATISTA, R. B.; SCHULTZ, N.; LEITE, J. M.; SÁ, J. M. e; BARBOSA, K. P.; RESENDE, A. S. de; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Evidence of field nitrogen balance and ¹⁵N natural abundance data for the contribution of biological N₂ fixation to Brazilian sugarcane varieties. **Plant and Soil**, v. 35, p. 5-22, 2012.

VITTI, A. C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: Manejo e efeito na produtividade**. 2003. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003. 114p.

VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSETO, R. Nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. 882p.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42 p. 249-256, 2007.

VITTI, G. C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão holística. In: YAMADA, T.; STIPP, S. R.; VITI, G. C. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. **International Plant Nutrition Institute**. Piracicaba, 2007, 714p.

XAVIER, R. P. **Contribuição da Fixação Biológica de Nitrogênio na Produção Sustentável da Cultura de Cana-de-Açúcar**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, 2006.

ZAMBELLO J. R.; E.; AZEREDO, D. F. Adubação na Região Centro-sul. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. p.351-368.

Embrapa

Agrobiologia

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PÁTRIA EDUCADORA