



CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

RECUPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA FERTILIDADE DOS SOLOS



José Luiz Ioriatti Demattê¹

1. BASES PARA A RECUPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA FERTILIDADE DOS SOLOS

1.1. Relação entre fertilidade e produtividade

A cana-de-açúcar apresenta um sistema radicular diferenciado em relação à exploração das camadas mais profundas do solo, quando comparado com o sistema radicular das demais culturas, principalmente as anuais. Sendo uma cultura semi-perene e com ciclo de 5 a 7 anos, o desenvolvimento radicular em maior profundidade é fundamental para o acréscimo de produtividade em solos de baixa fertilidade e baixa retenção de umidade.

Trabalhando com resultados de produtividade de cana em quatro cortes em áreas comerciais de um universo de 13 usinas cooperadas, a Copersucar (1997) obteve os resultados resumidos na Tabela 1. Tais resultados indicam que, independentemente da textura do solo, se argilosa ou arenosa, a produtividade decresce dos solos eutróficos, os mais férteis, para os álicos, menos férteis, passando pelos distróficos, os intermediários.

Por outro lado, os resultados também indicam que os solos eutróficos, porém de textura média-argilosa, apresentam produtividades semelhantes às dos solos mais argilosos, porém distróficos (90 t ha⁻¹). Produtividades semelhantes também são observadas quando se comparam solos eutróficos, porém de textura média-arenosa, com solos argilosos, porém álicos (87 t ha⁻¹).

Tabela 1. Produtividade média da cana-de-açúcar, em quatro cortes, em função da textura e da fertilidade dos solos em 13 usinas cooperadas.

Argila %	V%	TCH ¹	Argila %	V%	TCH
> 35	Eutrófico	97	25 a 35	Eutrófico	90
	Distrófico	90		Distrófico	87
	Álico	87		Álico	83
	Ácrico	83			
15 a 25	Eutrófico	87	< 15	Eutrófico	75
	Distrófico	85		Distrófico	73
	Álico	83		Álico	71

¹ TCH = toneladas de colmo por hectare.

Observação: resultados de 6 safras; 17 variedades; 47 tipos de solos.

Fonte: COPERSUCAR (1997).

A questão que fica pendente é: por que os solos eutróficos são mais produtivos que os demais?

A explicação seria que nos solos eutróficos, que apresentam saturação por bases superior a 50% em profundidade, independentemente dos valores de CTC, a exploração radicular se faz em maior volume de solo, captando, assim, mais nutrientes e umidade. Além disso, a saturação por bases favorece maior disponibilidade de nutrientes assim como disponibiliza melhor os fertilizantes aplicados nestes solos, como nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes.

Considerando tais informações, a recuperação da fertilidade dos solos distróficos ou álicos, ou mesmo os epieutróficos, independentemente dos valores de CTC, deve ser feita também em subsuperfície. Para isso, quantidades de corretivos (calcário e gesso) devem ser dosadas de maneira a atingir tais objetivos e, conseqüentemente, aumentar a produtividade.

Considerando-se somente o tipo de solo, no caso o Latossolo Roxo (Tabela 2), a produtividade também tende a ser função da fertilidade, sendo os eutróficos mais produtivos (94 t ha⁻¹) do que os distróficos (90 t ha⁻¹) ou álicos (87 t ha⁻¹).

Tabela 2. Produtividade média da cana-de-açúcar (4 cortes) e respectivas variações por solo.

Solo	TCH		
	Máximo	Médio	Mínimo
TR eutrófico	110	102	91
LR eutrófico	112	94	82
PV textura arenosa/média, eutrófico	100	94	85
LR distrófico	108	90	74
LV textura média, distrófico	102	89	76
LE textura argilosa, epieutrófico	102	88	83
LR álico	100	87	65
LE textura média, epieutrófico	94	88	80
LE textura média, álico	86	84	80
LV textura média, álico	84	84	73
AQ	72	68	64

¹ TR = Terra Roxa estruturada; LR = Latossolo Roxo; PV = Podzólico Vermelho-Amarelo; LE = Latossolo Vermelho Escuro; LV = Latossolo Vermelho-Amarelo; AQ = Areias Quartzosas.

Fonte: COPERSUCAR (1997).

¹ Professor Titular aposentado e ex-Chefe do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP. Fone: (19) 3433-1775, e-mail: jjid@terra.com.br

Por outro lado, solos mais arenosos podem apresentar produtividades semelhantes às dos argilosos. É o caso do solo podzolizado de textura arenosa na superfície e de textura média na subsuperfície, porém eutrófico, com produtividade semelhante à do Latossolo Roxo eutrófico (94 t ha⁻¹). O que leva tal solo a produzir tanto quanto o Latossolo Roxo é o fato da quantidade de água disponível na subsuperfície ser maior assim como as condições químicas permitirem o seu aproveitamento pelas raízes da cana. Fica mais uma vez ilustrada a necessidade de se corrigir também a subsuperfície dos solos de baixa fertilidade.

A Tabela 3 resume os resultados de produtividade da cana-soca e os dados de fertilidade do solo em função da saturação por bases (índice V), em talhões comerciais da Usina Barra Grande, em Lençóis Paulista-SP.

Tabela 3. Produtividade da cana-soca e características químicas do solo da região de Lençóis Paulista-SP. Safra 95/96.

Profundidade	Al	Ca	Mg	CTC	V
(cm)	----- (emg 100 cm ⁻³) -----				(%)
RB 806043 – 2º corte – 70 TCH (ambiente E)					
0-25	0,24	0,49	0,38	3,47	27
25-50	0,81	0,07	0,03	3,20	5
50-75	0,84	0,05	0,02	3,01	6
75-100	1,02	0,05	0,03	2,98	5
SP 71-1406 – 10º corte – 62 TCH (ambiente A)					
0-25	0,12	6,27	1,12	10,89	62
25-50	0,17	5,50	0,92	8,63	74
50-75	0,10	4,35	0,89	7,37	71
75-100	0,12	4,50	1,11	7,61	73

Observa-se que no segundo corte da variedade RB 806043 a produtividade foi de 70 t ha⁻¹, contra a média de 87 t ha⁻¹ dos demais talhões. Por outro lado, no décimo corte da variedade SP 71-1406 a produtividade foi de 62 t ha⁻¹, elevada se for considerado o número elevado de cortes.

O principal fator que levou à queda acentuada da produtividade da RB 806043 e a grande longevidade da SP 71-1406 foi a diferença na fertilidade dos solos. No primeiro caso, observe que a saturação por bases apresentou um valor baixo, de 27%, na primeira camada, e valores extremamente baixos, inferiores a 10%, na subsuperfície até os 100 cm de profundidade. No segundo caso, o valor da saturação por bases é elevado, tanto na superfície, com 62%, como na subsuperfície, com valores ao redor de 70% até 100 cm de profundidade. Portanto, no primeiro caso, o solo está empobrecido tanto na superfície como na subsuperfície e não tem suporte para grandes produtividades. A baixa saturação por bases em profundidade restringe o desenvolvimento radicular e, em consequência, o volume de solo explorado pelas raízes, o que não ocorre no segundo caso.

Em princípio, as bases para a recuperação da fertilidade dos solos, seriam as seguintes:

- Em relação ao primeiro caso, elevar e manter o nível da saturação por bases na faixa de 40% a 65% na superfície do solo e pelo menos 40% até os 60 cm de profundidade do solo. Esta recuperação deve ser feita com o uso de calcário e de gesso;
- No segundo caso, de solo fértil, é importante não deixá-lo empobrecer, utilizando-se os mesmos procedimentos anteriores;

• Posteriormente, haverá necessidade de enriquecer a superfície do solo com fósforo e equilibrar a quantidade de nitrogênio e de potássio, assim como de micronutrientes, o que poderá ser feito com o uso de fertilizantes minerais ou orgânicos.

1.2. Relação entre cálcio e sistema radicular

O cálcio (Ca), em geral, não deve ser considerado um nutriente importante em programas de adubação nos solos que recebem aplicações normais de corretivos da acidez. As quantidades aplicadas superam em muito as necessidades da cultura. Para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, contudo, a necessidade de cálcio passa a ter um enfoque completamente diferente e muito relacionado ao uso do gesso.

A presença de Ca na solução do solo é essencial para a sobrevivência das raízes que estão em contato com ela. O Ca não se transloca na planta da parte aérea para as porções novas das raízes em desenvolvimento. Ao que parece, o Ca evita que as raízes percam sua propriedade de semipermeabilidade, essencial à absorção de nutrientes (PEARSON, 1996).

Uma das limitações dos solos na região tropical úmida se refere à baixa fertilidade em profundidade e isto se reflete no menor volume explorado pelo sistema radicular e, em consequência, na menor produtividade. Kofler (1986) comparou a profundidade do sistema radicular de diversas culturas no Brasil e em outros países e observou que, no Brasil, a profundidade do sistema radicular da cana-de-açúcar atinge 60 cm, contra 160 cm em outros países. Portanto, um dos objetivos no manejo da fertilidade destes solos é o de favorecer um maior volume de exploração radicular. Em trabalho feito no Brasil Central, Ritchey et al. (1981) observaram que após a calagem houve uma redistribuição do Ca até os 110 cm de profundidade e, ao mesmo tempo, houve uma tendência de distribuição das raízes de trigo em função destes teores de Ca, tanto no primeiro ano como após o quarto ano.

Trabalhando na calibração de gesso e de calcário em solos de textura média, baixa CTC, na cultura da cana, Morelli et al. (1987) encontraram a mesma correlação entre cálcio e sistema radicular. Após 27 meses de instalação do experimento, o tratamento com 2,8 t ha⁻¹ de gesso, o de mais alta produtividade neste experimento, indicou a distribuição do Ca e das raízes até 150 cm de profundidade, como indicado na Tabela 4.

Tabela 4. Correlação entre cálcio e desenvolvimento radicular em Latossolo textura média. Usina Barra Grande, Lençóis Paulista, SP, ano agrícola 87/88.

Profundidade	Teor de cálcio	Quantidade de raiz
(cm)	(cmol dm ⁻³)	(g dm ⁻³)
0-25	2,10	4,4
26-50	1,37	3,0
51-75	0,90	2,4
76-100	0,82	2,0
101-125	0,70	1,8
126-150	0,60	1,1

Note que esta distribuição de raízes não segue o padrão normal, em que praticamente 80% do sistema radicular estaria na camada de 0-20 cm. Neste caso, na camada superficial estavam presentes cerca de 36% de raízes enquanto na profundidade de 26 a 75 cm havia uma concentração de 36,7% de raízes. Surpreende a constatação de que na profundidade de 100 a 150 cm a quantidade de raízes era de 19%.

1.3. Sistemas de avaliação do estoque de nutrientes no solo

Diversos sistemas são utilizados para a avaliação da quantidade de nutrientes existentes no solo, entre os quais a diagnose visual, a diagnose foliar, esta podendo ser refinada com o uso do sistema DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System), e a análise de solo. Para complementação, pode-se utilizar a análise do caldo da cana para correlação com os demais métodos (BITTENCOURT et al., 1992).

Na diagnose visual são utilizados os critérios dos sintomas de deficiências de nutrientes na planta, quais sejam:

- Nitrogênio: a deficiência é caracterizada pelo amarelimento generalizado das folhas, pouco perfilhamento e colmos finos.
- Fósforo: há redução e atraso no desenvolvimento do sistema radicular, o que tende a refletir no menor desenvolvimento da cultura. As folhas são estreitas e podem apresentar coloração verde escura ou azulada. As folhas mais velhas tornam-se cloróticas, secam e morrem a partir da extremidade e ao longo das margens. O sistema radicular é pouco desenvolvido.
- Potássio: como é um nutriente altamente móvel na planta, os sintomas iniciais são localizados nas folhas mais velhas. As bordas e pontas das folhas apresentam clorose amarelo-alaranjada com numerosas manchas cloróticas, que mais tarde se fundem tornando-se necróticas e evidenciando coloração parda.
- Cálcio: os primeiros sintomas aparecem nas folhas mais velhas e se caracterizam pelo surgimento de inúmeras pequenas manchas vermelhas e pontiformes. O crescimento da planta é retardado e os colmos apresentam pequeno diâmetro. Eventualmente pode ocorrer seca do meristema apical e morte da planta.
- Magnésio: da mesma maneira que o cálcio, o início da deficiência ocorre nas folhas mais velhas. Surgem pequenas manchas cloróticas e isoladas no limbo, tornando-se mais tarde marrom-escuro à medida que as manchas aumentam de número e tamanho.
- Enxofre: a deficiência ocorre inicialmente nas folhas mais jovens. No estágio inicial ela é semelhante à deficiência de nitrogênio. O limbo apresenta-se amarelado e com o progredir da carência aparecem pequenas manchas cloróticas. Posteriormente, as folhas mais velhas assumem cor púrpura clara, ocorrendo a morte da folha.
- Boro: é um micronutriente que não se transloca na planta, afetando o desenvolvimento apical. As folhas mais novas apresentam-se curtas e deformadas, com o limbo foliar enrugado e áspero. As folhas do cartucho tornam-se entrelaçadas, retorcidas e descoloridas, apresentando-se mais estreitas e pequenas. Há uma similaridade entre os sintomas da deficiência de boro e o da doença denominada *pokhah boeng* causada pelo fungo *Fusarium moniliforme*. Entretanto, não foram encontradas evidências relacionando os dois sintomas.
- Cloro: dificilmente são detectados sintomas de deficiência de cloro no campo pois as quantidades deste nutriente incorporadas pelas chuvas e fertilizantes são mais do que suficientes para suprir a cultura.
- Cobre: as deficiências severas são bem visíveis. Há clorose moderada a severa da folhagem e um envergamento característico das folhas conhecido como *droopy top*.
- Ferro: a deficiência se manifesta nas folhas mais novas através de clorose interveinal, formando estrias paralelas que se alternam entre coloração verde-escura e clorótica branca.

- Manganês: a deficiência ocorre inicialmente nas folhas mais novas caracterizando-se pela presença de alterações nos espaços interveinais de coloração verde-escuro a verde-claro, formando estrias longitudinais.

- Molibdênio: a deficiência ocorre nas folhas mais velhas caracterizando-se pelo aparecimento de pequenas estrias cloróticas.
- Zinco: a deficiência ocorre inicialmente nas folhas mais novas na forma de nervuras cloróticas, com surgimento de estrias não simétricas, permanecendo verde o tecido interveinal.

Tais deficiências, principalmente as de nitrogênio, podem ser mascaradas, dependendo da época de observação (período seco) ou de determinadas doenças (estria vermelha).

A diagnose foliar é avaliada através da análise das folhas, usando-se as faixas de teores indicadas na Tabela 5.

Tabela 5. Faixas de teores adequados de nutrientes para cana-de-açúcar.

N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g kg ⁻¹) -----					
18-25	1,5-3,0	10-16	2,0-8,0	1,0-3,0	1,5-3,0
B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
----- (mg kg ⁻¹) -----					
10-30	6-15	40-250	25-250	0,05-0,20	10-50

Fonte: RAIJ e CANTARELLA (1996).

Os cuidados a serem tomados neste exame são os seguintes:

- A área deve ser uniforme quanto a variedade, idade de corte, categoria de corte, se cana-planta ou soqueira.
- Coletar a folha + 3 usando o terço médio para análise em época de maior desenvolvimento da cultura, normalmente no período vegetativo, cerca de 6 meses para cana-planta e socas de início e meados da safra e 3 meses para socas de final de safra; coletar na faixa de 20 a 30 folhas por talhão (10 a 12 ha).
- Em relação à amostragem dos solos para avaliação da fertilidade, ela deve ser feita 3 a 5 meses antes do plantio da cana retirando-se 12 a 15 amostras simples para uma faixa de 12 a 15 ha. Amostrar nas duas profundidades, 0-25 cm e 26-50 cm. Nas canas-socas é recomendado amostrar no corte anterior e na entrelinha, se o caso for de correção da saturação por bases, também em duas profundidades. A densidade de amostragem pode ser menor, de 20 a 30 ha, dependendo da variabilidade da área.

Atualmente, tem-se tentado correlações entre solo-variedade-análise do caldo para calibrar melhor o aspecto nutricional da cultura, principalmente para os macronutrientes. Tabelas de interpretação das análises de solos serão vistas posteriormente.

1.4. Ação do calcário e do gesso na recuperação química dos solos

Historicamente, o uso de calcário na cultura da cana tem gerado controvérsias relacionadas principalmente às respostas na produtividade. No final da década de 70 e meados da década de 80 eram comuns informações de que o calcário não aumentava a produtividade e por isso não haveria necessidade de seu uso. Posteriormente, através de resultados da pesquisa, tal afirmativa foi superada e atualmente há aplicação deste corretivo inclusive em soqueiras.

Entretanto, as dificuldades de uma generalização do emprego da calagem nas diversas regiões canavieiras do mundo residem, principalmente, na escolha dos métodos indicadores de previsão das necessidades e das quantidades de calcário a empregar. Neste aspecto, em revisão feita por Marinho e Albuquerque (1983), uma série de métodos de determinação foram indicados, entre eles o pH do meio, o teor absoluto de Al^{3+} , o percentual de Al na CTC do solo, o percentual de Al em relação ao de Ca e Mg, os teores de Ca e Mg ou os níveis críticos destes elementos, a relação entre os teores de Ca e Mg e o pH.

Em 1981, Raij especificou outros métodos, inclusive os de laboratório, para a determinação da necessidade de calagem, entre eles o de incubação com carbonato de cálcio ou o uso do tampão SMP (de Shoemaker, McClean e Pratt, autores do método) muito usado no Rio Grande do Sul. Porém, tais métodos não são práticos para uso rotineiro, sendo mais utilizados em trabalhos de pesquisa. Entretanto, este mesmo autor detalha a metodologia desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), na década de 50, para a determinação da necessidade de calagem envolvendo parâmetros químicos e físico-químicos específicos do solo, como a capacidade de troca catiônica (CTC), a saturação por bases (índice V%), a soma de bases e o pH. A expressão para esta determinação é a seguinte:

$$\text{Necessidade de calagem} = (V_f - V_i) \times T / \text{PRNT} \text{ (equação 1),}$$

em que:

V_f = saturação por bases desejada, em %.

V_i = saturação por bases do solo, em %.

T = capacidade de troca catiônica a pH 7,0, valor em cmol dm^{-3} ou mmol dm^{-3} .

PRNT = poder relativo de neutralização do calcário.

Esta expressão determina a quantidade de corretivo para uma profundidade de 20 cm ou 2.000 m^3 de solo.

Por sua vez, a saturação por bases (V) é determinada pela expressão:

$$V = SB/T \times 100 \text{ (equação 2),}$$

em que:

SB = soma das bases Na, Ca, Mg e K, em cmol dm^{-3} ou mmol dm^{-3} .

A saturação por bases apresenta, para a maioria dos solos brasileiros, estreita correlação com o pH do solo, exceção feita para solos com delta pH positivo. Sendo assim, este parâmetro físico-químico pode ser determinado por cálculo, de acordo com a expressão a seguir:

$$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})} = 4,5 + 0,025 \times V \text{ (equação 3),}$$

em que V representa a saturação por bases, em %.

Por esta expressão, a uma saturação por bases de 40% corresponde um pH em H_2O de 5,5; a uma saturação por bases de 60% corresponde um pH em H_2O de 6,0.

De maneira geral, as análises de solos têm apresentado os valores de pH em CaCl_2 . A transformação deste atributo em pH em H_2O é feita adicionando-se 0,6 unidades. Assim, um pH em CaCl_2 de 4,5 apresenta um valor de pH em H_2O de 5,1.

Observe que, ao se utilizar esta metodologia para indicação da necessidade de calcário, o usuário pode perfeitamente ajustar o pH do solo de acordo com a faixa desejada e mais adequada para a cultura.

Em 1988, Benedini, e posteriormente Benedini e Korndörfer (1992), ambos da Copersucar, em diversos experimentos estudando

o assunto e usando os teores iniciais de cálcio e magnésio do solo, assim como o aumento esperado de produção e perdas prováveis destes nutrientes pelo solo, estimadas durante o ciclo da cultura, desenvolveram a expressão a seguir:

$$\text{NC} = [3 - (\text{Ca} + \text{Mg}) \times 100] / \text{PRNT} \text{ (equação 4)}$$

em que:

NC = necessidade de calagem, em t ha^{-1} , a 20 cm de profundidade;

Ca + Mg = em cmol dm^{-3} ;

PRNT = poder relativo de neutralização do calcário.

O valor 3 foi obtido pela soma dos valores críticos de Ca e Mg no solo, estipulados pelos autores em 1,4 e 0,9 cmol dm^{-3} , respectivamente, mais um adicional, que é variável dependendo das perdas por lixiviação de bases, de 0,7 cmol dm^{-3} . Tal fórmula, entretanto, apresenta uma CTC do solo limitada a 7,0 cmol dm^{-3} . Em outras palavras, quando a CTC for igual ou superior a 7,0 cmol dm^{-3} e o teor de Ca + Mg igual ou superior a 3 cmol dm^{-3} não haveria necessidade de aplicação de calcário.

Tal expressão foi determinada pelos resultados da correlação entre produtividade relativa da cana e quantidade de Ca + Mg (Figura 1).

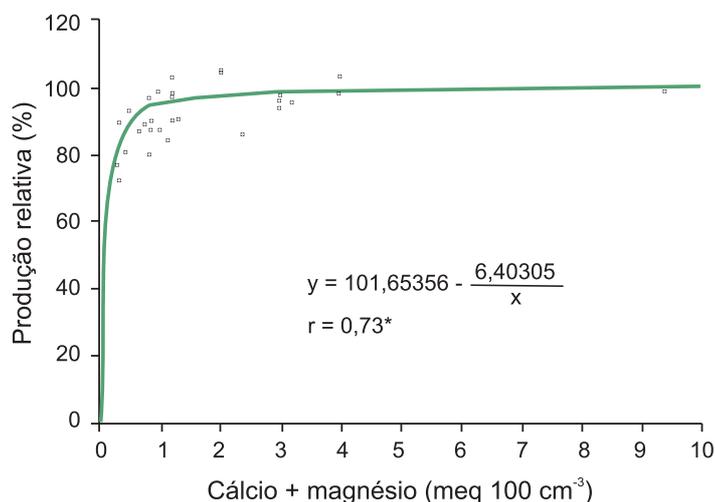


Figura 1. Efeitos dos teores iniciais de cálcio + magnésio no solo sobre a produção relativa de cana, com aplicação de calcário.

Fonte: BENEDINI e KORNDÖRFER (1992).

Nota-se nesta figura que a curva da produção relativa ficou paralela ao eixo X devido a um único ponto na faixa de 9,5 meq 100 cm^{-3} de Ca + Mg onde não houve resposta ao corretivo. Entretanto, os autores não indicaram qual era a saturação por bases do solo daquele ponto. Dependendo deste valor, o calcário poderia ou não reagir.

Com isso criou-se um impasse, pois, através desta expressão, solos de elevada CTC e com teor de Ca + Mg superior a 3 cmol dm^{-3} , porém com V% baixo, não receberiam corretivo. Posteriormente, estes autores, assim como Penatti e Forti (1993, 1994) da Copersucar, corrigiram este caso salientando que “essa fórmula é válida para todos os tipos de solos, exceto quando apresentarem CTC maior do que 7,0 cmol dm^{-3} , Ca menor do que 0,4 cmol dm^{-3} e V abaixo de 10%. Nesses casos, utilizar no mínimo 2 t ha^{-1} de calcário a mais do que o valor recomendado pela Copersucar ou optar pela fórmula da saturação por bases (fórmula IAC) com saturação desejada de 60%”.

De qualquer maneira, o uso desta fórmula para solos de CTC igual ou inferior a 7,0 cmol dm^{-3} é perfeitamente viável. A explicação

é bastante simples uma vez que, simulando a determinação da saturação por bases para valores de CTC de 3 a 7 cmol dm^{-3} e mantendo-se constante a quantidade de Ca + Mg em 3 cmol dm^{-3} , obtêm-se valores de pH entre 7,0 (para uma CTC de 3,0 cmol dm^{-3} e V de 70%) e 5,5 (para uma CTC de 7 cmol dm^{-3}), dentro da faixa ideal para a cultura.

Para o sucesso da prática da calagem na recuperação de solos de baixa fertilidade recomenda-se incorporar o calcário o mais profundo possível. Nas fórmulas apresentadas, a quantidade de corretivo foi determinada para a profundidade de 20 cm. Como a maioria dos casos necessita de recuperação mais profunda, digamos a 30 cm, há necessidade de se acrescentar 50% a mais da dose do corretivo.

Recomenda-se que a aplicação de calcário como corretivo do solo seja feita em área total e se possível incorporado, embora a aplicação também no sulco tenha apresentado efeito positivo (ORLANDO FILHO et al., 1990). Em plantio direto pode-se optar pela aplicação de dois terços em área total e um terço dentro do sulco.

Como já comentado, o uso de gesso auxilia na recuperação química do solo em profundidade além de fornecer cálcio e enxofre à cultura. Seu uso pode ser direcionado no plantio ou nas soqueiras dependendo do tipo de planejamento implantado. O cálculo para a quantidade de gesso a ser aplicada para cana-planta ou cana-soca pode ser feito em função da CTC e da saturação por bases do solo de acordo com a análise da segunda camada (20-40 cm) (Tabela 6).

Tabela 6. Quantidade aproximada de gesso a ser aplicada de acordo com a CTC e a V do subsolo.

CTC	V	Gesso
(mmol dm^{-3})	(%)	(t ha^{-1})
< 30	< 10	2,0
	10-20	1,5
	20-35	1,0
30-60	< 10	3,0
	10-20	2,0
	20-35	1,5
60-100	< 10	3,5
	10-20	3,0
	20-35	2,5

Fonte: DEMATTÊ (1986).

Quanto ao método de aplicação destes dois insumos, há necessidade de alguns esclarecimentos. Teoricamente, e para melhor eficiência da ação do gesso no transporte de nutrientes em profundidade, ele deveria ser aplicado 3 a 6 meses após a aplicação do calcário. Entretanto, tal procedimento é difícil de ser executado levando-se em consideração a grande dinâmica das operações na lavoura canavieira. Sendo assim, sugere-se armazenar os dois insumos na lavoura, um ao lado do outro, e aplicá-los um após o outro, seguido de incorporação. Aparentemente, os resultados obtidos com este procedimento têm sido satisfatórios.

O exemplo da Tabela 7 corresponde à recuperação de área com cana-de-açúcar em solo de textura média e de baixa CTC na região de Pirassununga, SP. Os resultados das análises químicas dos talhões logo após o último corte indicam baixa fertilidade tanto na superfície como, principalmente, na subsuperfície.

O preparo convencional do solo foi feito com grade, com aplicação de calcário para atingir 60% da saturação por bases acres-

Tabela 7. Recuperação química de solos de baixa CTC usando calcário e gesso em latossolo de textura média.

Talhão	Prof.	Ca	Mg	CTC	V	Al
	(cm)	- - - ($\text{emg } 100 \text{ ml}^{-1}$) - - -		- - -	- - - (%) - - -	
Antes da destruição da soqueira - linha da cana (31/07/91)						
01	0-20	0,39	0,16	4,3	15	60
	20-50	0,20	0,01	3,3	7	74
	50-80	0,13	0,01	2,7	6	76
Pré-colheita da soja (21/03/92) – Após a correção						
01	0-20	1,41	0,84	4,4	58	2
	20-50	0,75	0,29	4,0	27	12
	50-80	0,50	0,21	3,6	21	24

cido de 20%, totalizando a quantidade de 3,0 t ha^{-1} , sendo seguido pela aplicação de 1,5 t ha^{-1} de gesso em setembro. Posteriormente foram aplicados 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato simples em área total e plantado soja em novembro/91. A colheita da soja foi feita em março e o plantio direto da cana em abril/92. Fez-se nova amostragem dos solos neste período, que indicou elevação dos níveis de saturação por bases tanto na superfície como na subsuperfície, atingindo os valores desejados na camada superficial. Em subsuperfície o aumento também foi expressivo, passando de 7% para 27% na segunda camada e para 21% na faixa de 50-80 cm. Tais resultados indicam que a recuperação química em solos de baixa CTC é relativamente rápida, independentemente da sua textura. Com a aplicação de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 este solo estaria sendo enriquecido com aproximadamente 22 ppm de fósforo.

A recuperação química em solos de elevada CTC é mais onerosa e demanda mais tempo justamente devido ao elevado poder tampão destes solos. Os resultados da Tabela 8 resumem este caso, que corresponde a um Latossolo argiloso álico em área pertencente à Usina São José, em Macatuba, SP. Por ocasião da reforma, a saturação por bases estava com 2% na superfície e 1% na subsuperfície até os 100 cm de profundidade. O teor de Al era elevado.

O procedimento para recuperação do solo foi semelhante ao do caso anterior, porém, neste caso, foi usado o arado para a incorporação mais profunda do corretivo. A quantidade de calcário utilizada foi de 7,2 t ha^{-1} e a de gesso 2,5 t ha^{-1} . Após 7 meses do plantio, ou 12 meses após a aplicação do corretivo, novas análises dos solos foram efetuadas. O nível da saturação por bases atingiu os valores desejados na superfície do solo, próximo aos 60%. Na segunda camada os valores ficaram ao redor de 20% e 28%, respectivamente, para os talhões 8 e 4. Note que a correção em profundidade do solo do Lote 4 foi mais eficiente devido aos menores valores da CTC. Recomenda-se que a recuperação química de solos de elevado poder tampão, como é o presente caso, seja feita ao longo dos cortes, ao invés de tentar fazê-la em uma única vez. Numa primeira etapa pode-se calcular a quantidade de corretivo para 45% da saturação por bases. Nos cortes seguintes seriam aplicadas quantidades escalonadas para manutenção e elevação do nível da saturação por bases. Por outro lado, um solo de CTC elevada, uma vez recuperado, demora mais tempo para perder a fertilidade em relação a um solo de baixa CTC.

1.5. A dinâmica das bases

Ao longo da exploração agrícola os teores dos nutrientes tendem a cair mais rapidamente nos solos de baixa CTC, principalmente os das bases.

Tabela 8. Recuperação química de solos de alta CTC usando calcário e gesso. Usina São José, Macatuba-SP.

Profundidade	Antes do plantio					7 meses após o plantio				
	Al	Ca	Mg	CTC	V	Al	Ca	Mg	CTC	V
(cm)	----- (meq 100 cm ⁻³) -----				(%)	----- (meq 100 cm ⁻³) -----				(%)
Fazenda 20 – Lote 08 (plantio 91)										
0-25	1,60	0,11	0,03	10,62	2	0,20	5,11	0,82	10,70	56
25-50	1,55	0,02	0,04	9,44	1	1,24	1,77	0,38	11,12	20
75-100	1,53	0,08	0,04	10,51	1	1,50	0,36	0,06	12,67	4
Fazenda 22 – Lote 04 (plantio 91)										
0-25	1,00	0,05	0,04	8,16	2	0,06	5,11	0,26	9,10	60
25-50	0,95	0,06	0,03	6,53	2	1,00	1,90	0,13	7,34	28
75-100	0,85	0,05	0,02	4,78	2	1,00	0,95	0,09	5,77	18

Em experimento de longa duração, Morelli et al. (1992), trabalhando na calibração de doses de calcário e de gesso em solos de baixa CTC, obtiveram valores de saturação por bases após 8 e 18 meses do plantio da cana, conforme resultados da Tabela 9.

Observa-se que aos 8 meses após a aplicação dos insumos e com as doses crescentes de gesso houve aumento, porém de menor expressão, da saturação por bases em profundidade. Aos 18 meses houve uma redistribuição dos resultados em profundidade, porém com diminuição dos valores na superfície.

Com o calcário a situação de decréscimo é a mesma, porém há diferenças expressivas nos valores da saturação por bases. Assim é que, ao passar de 2 t ha⁻¹ para 6 t ha⁻¹ de calcário, a saturação passou de 31% para 60% na superfície do solo aos 8 meses,

caindo para 30% e 47%, respectivamente, aos 18 meses. Quando há associação do calcário com o gesso a redistribuição em profundidade é mais eficiente e duradoura.

Assim, quando se analisa a camada superficial das áreas que receberam calcário ou gesso, observa-se redução dos valores da saturação por bases ao longo do tempo. Cabe aqui alguns esclarecimentos relacionados à ação do gesso na redução do alumínio, no aumento do pH e da saturação por bases. O assunto ainda não foi devidamente esclarecido, apesar do grande número de estudos na área. Um dos efeitos diretos e simples do gesso ocorre na redução da saturação por alumínio. De acordo com Raij (1988), quando se aplica gesso no solo há aumento do teor de cálcio no sistema e, com isso, há diluição da quantidade de alumínio. Embora isto possa

Tabela 9. Caracterização química do Latossolo Vermelho-Escuro distrófico no experimento com diversas doses de calcário e gesso aos 8 e 18 meses após o plantio.

Calcário (t ha ⁻¹)	Profundidade (cm)	Saturação por bases (%)							
		8 meses				18 meses			
		Gesso (t ha ⁻¹)				Gesso (t ha ⁻¹)			
		0	2	4	6	0	2	4	6
0	0-25	13	17	23	26	16	15	19	21
	25-50	10	16	23	23	7	13	17	19
	50-75	9	14	22	21	7	15	16	22
	75-100	ND ¹	ND	ND	ND	7	13	17	24
	100-125	ND	ND	ND	ND	5	11	16	20
2	0-25	31	36	43	37	30	27	36	37
	25-50	20	17	26	25	12	22	28	21
	50-75	12	14	19	26	8	19	26	25
	75-100	ND	ND	ND	ND	8	16	23	24
	100-125	ND	ND	ND	ND	6	13	17	25
4	0-25	44	41	53	56	41	34	46	46
	25-50	19	21	24	30	12	19	26	24
	50-75	16	13	25	29	12	20	23	24
	75-100	ND	ND	ND	ND	10	15	25	25
	100-125	ND	ND	ND	ND	11	17	18	26
6	0-25	60	60	58	62	47	57	45	55
	25-50	22	28	23	33	11	25	21	27
	50-75	11	23	24	31	9	22	26	25
	75-100	ND	ND	ND	ND	11	22	24	32
	100-125	ND	ND	ND	ND	15	16	18	34

¹ ND = não determinado.

ser benéfico para as plantas, não pode ser entendido como uma redução da acidez ou do teor de alumínio. O mesmo raciocínio se aplica à saturação por bases.

Examinando-se o comportamento isolado do cálcio e do magnésio neste experimento (Tabela 10) após 18 meses da aplicação, nota-se empobrecimento do teor de Mg quando se utiliza o gesso isolado, como no tratamento 4,0 t ha⁻¹. Neste tratamento, o teor de Mg na testemunha, na superfície, era de 0,17 meq 100 ml⁻¹ e passou para 0,06 meq 100 ml⁻¹ aos 18 meses. Na profundidade de 100-150 cm o teor de Mg na testemunha, que era de 0,02 meq 100 ml⁻¹, passou para 0,13 meq 100 ml⁻¹.

Por outro lado, quando se associa o calcário ao gesso (tratamento 4,0 t ha⁻¹ de calcário + 2,0 t ha⁻¹ de gesso) há um enriquecimento seguro em profundidade tanto de Mg como de Ca. Sendo assim, é importante que o uso de gesso seja sempre acompanhado pelo uso de calcário, a menos que as análises de solo indiquem o contrário.

1.6. Ação do calcário e do gesso na produtividade da cana

O uso de corretivo é componente fundamental na recuperação dos solos assim como no aumento da produtividade, haja vista

o grande número de resultados experimentais positivos, principalmente quando associado ao gesso (PENATTI e FORTI, 1993, 1994).

Neste caso em particular, Morelli et al. (1992), em trabalho de longa duração com quatro cortes de cana usando calcário e gesso em solo de baixa CTC, obtiveram resultados expressivos (Tabela 11).

Com o uso isolado de gesso houve acréscimos na tonelage de até 51 t ha⁻¹, valor semelhante ao obtido com o uso isolado de calcário. Entretanto, quando os dois produtos foram associados, o acréscimo na produtividade foi além, com valor máximo de 87 t ha⁻¹ na relação 4 t ha⁻¹ de calcário e 2,0 t ha⁻¹ de gesso.

A importância das relações entre os cátions trocáveis, como Ca, Mg e K, no solo e a produtividade das culturas tem sido motivo de controvérsias no meio agrônomo brasileiro. Quaggio (2000) fez uma ampla revisão sobre o assunto. A principal conclusão a que chegou é que a relação não tem importância para o crescimento ou produção das plantas. Outros autores mencionam que relações extremas afetam as plantas, mas não se trata de um efeito direto da relação Ca/Mg sobre o crescimento ou a produção das culturas, mas sim de deficiências de cálcio ou de magnésio. Tem sido discutida a questão da relação Ca/Mg principalmente quando se usa o gesso.

Tabela 10. Teores de cálcio e magnésio em Latossolo Vermelho Escuro distrófico no experimento com diferentes doses de calcário e gesso aos 18 meses após o plantio da cana.

Calcário (t ha ⁻¹)	Profundidade (cm)	Ca (meq 100 ml ⁻¹)			Mg (meq 100 ml ⁻¹)		
		Gesso (t ha ⁻¹)			Gesso (t ha ⁻¹)		
		0	2	4	0	2	4
0	0-25	0,40	0,56	0,77	0,17	0,07	0,06
	50-75	0,13	0,32	0,38	0,06	0,08	0,06
	100-125	0,08	0,19	0,30	0,02	0,08	0,13
4	0-25	1,06	1,26	1,85	0,74	0,47	0,50
	50-75	0,19	0,42	0,47	0,10	0,19	0,16
	100-125	0,15	0,29	0,31	0,08	0,14	0,17

Tabela 11. Produtividade da cana-de-açúcar, em TCH, em solo arenoso ácido tratado com calcário e gesso (quatro cortes).

Tratamentos		TCH				Soma	Diferença para a testemunha
Calcário	Gesso	1º Corte (7/88)	2º Corte (7/89)	3º Corte (8/90)	4º Corte (9/91)		
(t ha ⁻¹)							
0	0	121,8	98	88	88	395	-
0	2	128,8	103	93	100	424	29
0	4	129,7	109	96	110	444	49
0	6	130,7	109	96	111	446	51
2	0	128,8	107	94,0	110	439	44
2	2	131,4	109	98,0	116	454	59
2	4	140,4	116	99,9	112	467	72
2	6	133,1	111	95,4	117	456	61
4	0	130,0	110	97	113	449	56
4	2	140,0	119	100	125	482	87
4	4	133,5	119	102	116	469	73
4	6	135,1	129	95	113	471	76
6	0	126,1	106	95	112	439	44
6	2	128,8	110	104	125	467	72
6	4	130,7	109	96	117	452	57
6	6	126,7	117	103	126	472	77

Através dos resultados das Tabelas 10 e 11 pode-se observar que produtividades elevadas foram obtidas com relações Ca/Mg variando de 3,9 a 8,9, o que vem comprovar que não há necessidade desta relação ser menor. O que deve ser considerado neste caso é o cuidado em não deixar que o teor de Mg atinja valores mínimos que possam comprometer sua absorção.

1.7. Interação entre calcário e fósforo em cana-de-açúcar

Infelizmente, grande parte dos experimentos com calcário em cana-de-açúcar, inclusive os citados pela Copersucar ou Benedini (2004), somente leva em consideração a sua ação na produtividade da cultura e não o seu efeito no aumento da disponibilidade de outros nutrientes, como N, P e micronutrientes, assim como a interação entre eles. A literatura nacional e a internacional são ricas em trabalhos com outras culturas objetivando tais considerações. Em relação à cana-de-açúcar, desde a década de 30, ou seja, há mais de 60 anos, já se conheciam os efeitos benéficos do calcário na maior absorção de fósforo (AYRES, 1934).

Visando esclarecer alguns pontos relacionados à reação do calcário em solos de CTC superior a $7,0 \text{ cmol dm}^{-3}$, assim como na interação do calcário com o P, foi escolhido o trabalho de Zambello et al. (1983). O solo estudado, um podzolizado, apresentava, na camada superficial, teores de Ca e de Mg de $2,85$ e $1,15 \text{ cmol dm}^{-3}$, respectivamente, com CTC de $10,45 \text{ cmol dm}^{-3}$, saturação por bases de 38% e pH em H_2O de 4,95. De acordo com a metodologia da Copersucar e as informações contidas em Benedini (2004), tal solo não necessitava de calcário pois o teor de Ca + Mg era de $4,0 \text{ cmol dm}^{-3}$, a saturação por bases maior que 10% e a CTC maior que $7,0 \text{ cmol dm}^{-3}$. Neste experimento, os tratamentos utilizados foram as doses de 0, 4 e 8 t ha^{-1} de calcário (PRNT 70) e as doses de 0, 75 e 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 . A dose de $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário seria suficiente para elevar a saturação por bases a 65%. Os resultados estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Interação entre calcário e fósforo em cana-de-açúcar.

Tratamentos		Cortes			
Calcário	P_2O_5	Primeiro	Segundo	Terceiro	Quarto
(t ha^{-1})	(kg ha^{-1})	----- Produtividade (t ha^{-1}) -----			
0	0	75	81	88	70
0	75	130	94	95	75
0	150	135	95	97	78
4	0	87	111	114	74
4	75	142	119	119	82
4	150	161	125	123	84
8	0	86	109	119	71
8	75	155	122	125	87
8	150	184	125	127	94

Fonte: ZAMBELLO et al. (1983).

As principais considerações em relação a este trabalho são:

- Nota-se que o calcário, isoladamente, reagiu tanto na cana-planta como nas demais socas, apesar do teor de bases estar acima de 3 cmol dm^{-3} e a saturação por bases acima de 10%. O acréscimo de produtividade com a dose de $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ de corretivo ao longo do ciclo foi de 72 t ha^{-1} .

- A resposta ao fósforo aplicado foi maior na presença de calcário, evidenciando a interação positiva entre eles, resultante

do efeito neutralizador do calcário sobre o complexo aniônico, fixando-o.

- A resposta do calcário foi menor na ausência do fósforo e elevada na presença deste nutriente, indicando o efeito conjunto destes elementos no aumento da produtividade.

Tais pesquisadores determinaram também o efeito residual do calcário e do fósforo na cultura (Tabela 13). Observa-se o elevado efeito residual do calcário, de 84,9%, ainda após o quarto corte, fato este esperado tendo em conta que o calcário atua por período prolongado no solo.

Tabela 13. Efeito residual do calcário e do fósforo após quatro cortes.

Ciclo	Calcário	Fósforo
	----- (%) -----	
Segundo corte	94,7	82,3
Terceiro corte	89,6	67,7
Quarto corte	84,9	55,7

Fonte: ZAMBELLO et al. (1983).

Outro trabalho que evidencia os efeitos do calcário no aumento da disponibilidade de fósforo e, conseqüentemente, no aumento da produtividade é o realizado por Reis e Cabala-Rosand (1986), cujos resultados estão resumidos na Tabela 14. Neste trabalho, o fósforo, na forma de superfosfato simples, foi aplicado em área total e no sulco, com subtratamentos com e sem calcário.

Tabela 14. Relação entre fosfatagem e calagem na cultura da cana-de-açúcar.

P_2O_5 no sulco	Fosfatagem (kg ha^{-1} de P_2O_5)					
	Área sem calagem			Área com calagem		
	0	100	200	0	100	200
(kg ha^{-1})	----- Produtividade no primeiro corte (t ha^{-1}) -----					
0	23	102	111	33	111	134
50	66	107	122	74	123	134
100	79	115	124	95	124	133
150	91	116	122	98	127	135
200	96	118	126	112	121	131

Fonte: REIS e CABALA-ROSAND (1986).

2. RECUPERAÇÃO QUÍMICA DE SOLO DE BAIXA CTC AO LONGO DAS SOQUEIRAS E AUMENTO DA PRODUTIVIDADE DE CANA

Após a recuperação química do solo por ocasião do seu preparo, os teores das bases, principalmente de Ca, Mg e K, tendem a diminuir ao longo dos cortes, com maior velocidade nos solos de baixa CTC. Assim é que Morelli et al. (1987), em trabalho de longa duração, cinco cortes, em solo de baixa CTC, verificaram que a aplicação de $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário associadas a $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ de gesso por ocasião do preparo do solo, com níveis iniciais de saturação por bases de 15% e 7%, respectivamente, a 0-20 cm e 20-50 cm de profundidade, resultou em aumento desses valores. Após o primeiro corte, a saturação por bases na camada superficial era de 52% e 38%, respectivamente, para as duas profundidades, diminuindo gradativamente ao longo dos cortes e atingindo valores próximos ao estado inicial após o quinto corte (Figura 2), ou seja, após 62 meses da aplicação do corretivo.

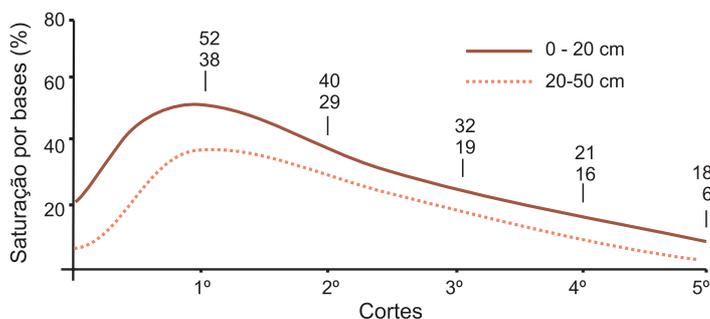


Figura 2. Queda da fertilidade expressa pela saturação por bases ao longo dos cortes de cana em latossolo de textura média-arenosa. Usina Barra Grande, SP.

Fonte: MORELLI et al. (1987).

Com a queda acentuada da saturação por bases e, em consequência, do pH, é inevitável a redução da disponibilidade de outros nutrientes como P, K e N, além da própria deficiência de Ca e Mg. A queda destes valores foi acompanhada pela queda de produtividade, passando de 107 t ha⁻¹, no primeiro corte, para 72 t ha⁻¹, no quinto corte.

Mediante estes resultados conclui-se que há necessidade de se aplicar novamente os corretivos no meio do ciclo da cultura, por exemplo, após o segundo corte. Com base nestas evidências, Lorenzetti et al. (1992), em quatro experimentos com diversas variedades aplicando calcário, gesso e P em soqueiras e em solos com valores variados de CTC e de saturação por bases, obtiveram acréscimos de produtividade em praticamente todos os casos analisados (Tabela 15).

Tabela 15. Recuperação química de soqueira usando calcário, gesso e fósforo em diversos tipos de solos. Usina São José, Macatuba, SP.

Tratamentos	Produtividade (t ha ⁻¹) ¹
1. NK + calcário (2 t ha ⁻¹)	70,3 a
2. NPK + calcário (2 t ha ⁻¹)	75,0 b
3. NK + gesso (2 t ha ⁻¹)	79,6 c
4. NPK + gesso (2 t ha ⁻¹)	79,6 bc
5. NK + gesso (4 t ha ⁻¹)	77,3 bc
6. NPK + gesso (4 t ha ⁻¹)	78,3 bc
7. NK + calcário + gesso (2 + 4 t ha ⁻¹)	77,1 bc
8. NPK + calcário + gesso (2 + 4 t ha ⁻¹)	81,5 bc
9. NK	66,8 a

¹ Média de quatro experimentos.

LSD = 6,9 (5%).

Todos os tratamentos receberam N e K na adubação normal na faixa de 90-00-120 kg ha⁻¹ de N-00-K₂O. A quantidade de fósforo nos tratamentos foi de 35 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O tratamento testemunha, com NK, produziu, em média, 67 t ha⁻¹. Com a aplicação de 2,0 t ha⁻¹ de calcário o acréscimo de produtividade foi pequeno, porém, quando se aplicou também o fósforo, a produtividade foi para 75 t ha⁻¹, com acréscimo de 8 t ha⁻¹, indicando, com isso, a interação entre calcário e fósforo. O uso de gesso, associado ou não ao fósforo, promoveu produtividade superior à do calcário, na faixa de 79 t ha⁻¹, com acréscimo de 12 t ha⁻¹.

A associação de calcário e fósforo, tratamento 2, foi favorável ao aumento da produtividade, porém o mesmo não ocorreu com a associação de gesso e fósforo. Isto se explica por dois motivos: o primeiro, porque o gesso não altera o pH do solo, e o segundo,

porque o gesso usado contém fósforo. A produtividade mais elevada foi obtida com o tratamento 8. De qualquer forma, para uma unidade de produtividade média de 85 t ha⁻¹, uma área com produtividade de 67 t ha⁻¹, como a testemunha, seguramente seria reformada. Ora, o custo de uma reforma e posterior plantio, comparado ao custo de um tratamento de soqueira, é aproximadamente 3,2 vezes maior. Com o tratamento de soqueira, a área com produtividade de 67 t ha⁻¹ deixou de ser reformada, com sensível economia no sistema.

Os resultados da análise química do solo do experimento da área 2 em relação a Ca, Mg e saturação por bases, após 12 meses da aplicação dos insumos, são apresentados na Tabela 16 (LORENZETTI et al., 1992). Os tratamentos indicados são os mesmos da Tabela 15.

Tabela 16. Análise química do solo da área 2 com a aplicação de calcário e gesso em soqueira de cana, ano agrícola 92/93. Usina São José, Macatuba, SP.

Profundidade	Tratamentos			
	T9	T1	T3	T7
(cm)	----- Ca (cmol dm ⁻³) -----			
0-25	0,58	0,80	0,61	1,47
26-50	0,33	0,45	0,54	0,83
51-75	0,24	0,23	0,42	0,74
76-100	0,20	0,23	0,28	0,61
	----- Mg (cmol dm ⁻³) -----			
0-25	0,24	0,48	0,15	0,65
26-50	0,13	0,12	0,14	0,25
51-75	0,13	0,10	0,13	0,34
76-100	0,10	0,10	0,10	0,17
	----- V (%) -----			
0-25	28	38	34	49
26-50	17	20	19	25
51-75	17	11	16	25
76-100	12	14	15	22
Produtividade (t ha ⁻¹)	72	78	88	93

Note que a saturação por bases na testemunha era de 28% na camada superficial, decrescendo para 17% nas camadas inferiores, indicando sensível empobrecimento do solo. Com a aplicação de 2,0 t ha⁻¹ de calcário, tratamento T1, a saturação na camada superficial passou para 38%, com acréscimo de 6,0 t ha⁻¹ de cana. Os teores de cálcio e de magnésio aumentaram. O uso isolado do gesso, tratamento 3, apesar de proporcionar um acréscimo de 16 t ha⁻¹, empobreceu o solo em magnésio, porém o enriqueceu em cálcio. Com o uso associado de calcário e gesso, tratamento 7, houve sensível melhoria na distribuição tanto de cálcio como de magnésio em profundidade, indicando mais uma vez que, dependendo das condições do solo, é mais seguro o uso associado.

Por outro lado, o uso destes insumos é tempo-dependente. Sendo assim, nos cortes subsequentes pode haver efeito residual e, conseqüentemente, maior produtividade, conforme dados da Tabela 17. Neste trabalho, o gesso foi aplicado logo após o primeiro corte. No segundo corte, o acréscimo de produtividade entre a testemunha e a dose de 2,0 t ha⁻¹ de gesso foi de 8 t ha⁻¹. Nos cortes seguintes, o efeito residual propiciou acréscimos neste tratamento de 19 t ha⁻¹ e 12 t ha⁻¹, respectivamente, num total, nos três cortes, de 39 t ha⁻¹. Note que os valores de saturação por bases em profundidade melhoraram sensivelmente com o uso de gesso.

Tabela 17. Ação do gesso na saturação por bases do solo e na produtividade de soqueiras de cana, SP 70-1143, em solo arenoso distrófico. Destilaria Galo-Bravo, Ribeirão Preto, SP.

Tratamentos	Profundidade (cm)	V* (%)	Produtividade (t ha ⁻¹)			
			2º corte (Set/84)	3º corte (Set/85)	4º corte (Jul/86)	Média
NK	0-20	46	97	106	59	87 a
	20-40	25				
	40-60	15				
NK + 0,5 t ha ⁻¹ gesso	0-20	50	99	114	60	91 b
	20-40	28				
	40-60	18				
NK + 1,5 t ha ⁻¹ gesso	0-20	54	96	113	65	97 b
	20-40	30				
	40-60	25				
NK + 2,0 t ha ⁻¹ gesso	0-20	54	105	125	71	101 c
	20-40	31				
	40-60	23				

* Análises feitas três anos após a instalação.

Fonte: DEMATTÊ (1986).

3. RECUPERAÇÃO QUÍMICA DE SOLO DE ALTA CTC AO LONGO DAS SOQUEIRAS E AUMENTO DA PRODUTIVIDADE DE CANA

De acordo com as especificações da Copersucar, solos com CTC superior a 7 cmol dm⁻³, saturação por bases superior a 10% e teor de Ca + Mg superior a 3,0 cmol dm⁻³ não reagiriam aos corretivos, tanto em cana-planta como em soqueira. Porém, os resultados apresentados na Tabela 18, da ação destes dois insumos na produtividade da soqueira, em solos com CTC ao redor de 11,2 cmol dm⁻³, cujos teores de Ca + Mg estavam ao redor de 3,2 cmol dm⁻³ e com saturação por bases de 29%, indicam justamente o contrário.

Tabela 18. Resposta da soqueira à aplicação de calcário e gesso em solos com elevada CTC¹. Usina Passa Tempo, MS.

Tratamentos			Produtividade da soqueira			Acréscimo	
Calcário	Gesso	P ₂ O ₅	3º corte	4º corte	5º corte		
----	(t ha ⁻¹)	----	(kg ha ⁻¹)	-----	(t ha ⁻¹)	-----	(t ha ⁻¹)
0	0	0	52	76	54		
2	0	0	56	85	62	21	
2	0	40	60	93	66	37	
0	0	40	56	77	55	6	
0	3	0	60	90	56	19	
0	3	40	60	85	60	18	

¹ Instalação em Nov/91 (2º corte); Jul/92 (3º corte); Out/93 (4º corte); Out/94 (5º corte).

Esta tabela resume os resultados de três experimentos, com quatro variedades, instalados na Usina Passa Tempo, em MS, indicando também os efeitos residuais dos insumos. A instalação dos tratamentos foi feita após o segundo corte, em Latossolo Roxo. A quantidade de calcário permitiu a elevação da saturação por bases para a faixa de 50%. O efeito dos insumos no terceiro corte não foi elevado, porém nos demais cortes houve sensível aumento da produtividade, indicando efeito residual. A diferença de produtividade entre os tratamentos e a testemunha, após os três cortes, foi significativa a 5% de probabilidade, com exceção do tratamento utilizando somente fósforo. O tratamento calcário + fósforo diferenciou-se dos demais.

Observe que, nos experimentos em geral, é fundamental acompanhar o desempenho dos insumos em pelo menos três cortes pois os efeitos residuais, principalmente do calcário, se manifestam ao longo do tempo. Com a aplicação de 2,0 t ha⁻¹ de calcário em área total na soqueira obteve-se um acréscimo de 21 t ha⁻¹ de cana, indicando a sua ação no aumento da produtividade. Quando se aplicou o fósforo associado ao calcário, o acréscimo passou para 37 t ha⁻¹ indicando mais uma vez a interação positiva destes insumos. O uso isolado de fósforo alterou muito pouco a produtividade nos três cortes.

Resultados de outro experimento nesta mesma linha estão resumidos na Tabela 19. Neste caso, as 3,0 t ha⁻¹ de calcário permitiram que a saturação por bases atingisse próximo a 60%. Novamente a aplicação isolada de fósforo não aumentou a produtividade. Porém, com a associação calcário + fósforo o acréscimo na produtividade foi superior ao obtido com o uso isolado de calcário.

Tabela 19. Resposta da soqueira à aplicação de calcário, gesso e fósforo em solos com elevada CTC¹. Usina Passa Tempo, MS.

Calcário	Gesso	P ₂ O ₅	Produtividade da soqueira		
			Média 3 ensaios	Acréscimo	
----	(t ha ⁻¹)	----	(kg ha ⁻¹)	-----	(t ha ⁻¹)
0	0	0	81		
3	0	0	94	13	
3	0	40	99	18	
0	3	0	102	21	
0	3	40	97	16	
0	0	40	86	4	

¹ Teor de Ca + Mg = 3,4 cmol dm⁻³; CTC = 10,4 cmol dm⁻³; V = 34%. Instalação em Out/91 (2º corte); Out/92 (3º corte).

As recomendações de uso destes produtos em soqueiras serão feitas em função dos resultados das análises de solos, da camada superficial, para uso de calcário, e da subsuperfície, para uso de gesso. Quando a saturação por bases estiver abaixo de 45% na camada superficial usa-se calcário. A necessidade de calcário pode ser calculada utilizando-se a recomendação do IAC, com o Vf para 60%, ou a recomendação da Copersucar, se a CTC for inferior a 7,0 cmol dm⁻³. Como na determinação do calcário a fórmula é espe-

cífica para uma quantidade a ser aplicada a 20 cm de profundidade, haverá necessidade de dividir esta quantidade em duas, uma vez que este corretivo será incorporado a pequena profundidade na operação de cultivo.

Quando a saturação por bases estiver abaixo de 40% na segunda camada usa-se o gesso, de acordo com as recomendações indicadas na Tabela 6. Há casos em que se deve aplicar os dois insumos. Nestes casos, os produtos são aplicados em área total na superfície do solo e, quando possível, incorporados ligeiramente por ocasião do cultivo.

4. QUANTIDADE DE NUTRIENTES EXTRAÍDA PELA CANA-DE-AÇÚCAR

A cultura de cana-de-açúcar é grande extratora de nutrientes do solo. Resultados de diversos trabalhos têm indicado uma razoável variação na quantidade de nutrientes extraídos, que é dependente de diversos fatores, entre eles: solo, variedade e condições climáticas. Assim, para a formação de 1,0 t de colmos, a literatura tem indicado variações de 0,9 a 1,32 kg de N; 0,20 a 0,69 kg de P_2O_5 ; 1,2 a 1,8 kg de K_2O ; 0,70 a 0,95 de CaO; 0,56 a 0,86 de MgO e 0,30 a 0,36 de S.

Considerando-se colmo + folhas + palmito, a quantidade de nutrientes extraída por 1,25 t de cana é de: 1,2 kg de N; 0,37 kg de P_2O_5 ; 1,49 kg de K_2O ; 1,12 kg de CaO; 0,68 kg de MgO e 1,07 kg de SO_4 . Em relação aos micronutrientes, a quantidade extraída é de 300 g de B, 270 g de Cu; 8.900 g de Fe; 5.700 g de Mn e 720 g de Zn (MALAVOLTA et al., 1997).

A quantidade de nutrientes a ser fornecida para a cultura pode ser dada pela expressão:

$$\text{Quantidade de nutrientes} = (\text{necessidade da planta} - \text{reserva no solo}) \times f$$

O fator f, que expressa o aproveitamento do fertilizante pelas raízes da planta, visa corrigir as possíveis perdas sofridas nos processos que ocorrem entre a aplicação do fertilizante e a absorção, entre elas as perdas por erosão, volatilização (no caso da uréia e aquamônia), lixiviação (para nitrato e potássio), fixação (para fosfato) e queima da palhada (volatilização de NO_3^- e SO_2^-). Em função destas perdas pode-se estimar a porcentagem média de aproveitamento dos nutrientes, a saber: 30% a 40% para o fósforo e 70% para o potássio. Em relação ao nitrogênio, sua ação no solo é muito influenciada pela matéria orgânica e, sendo assim, o aproveitamento é extremamente variável. No caso da cana-soca, o aproveitamento está na faixa de 25% a 30%, já na cana-planta este valor é mais baixo.

4.1. Nitrogênio

É fato devidamente conhecido e comprovado nos meios acadêmicos e práticos que as respostas à adubação nitrogenada no plantio não são conclusivas, enquanto nas socas são mais consistentes. É necessário entender que o N aplicado, quando em contato com o solo, entra no complexo matéria orgânica, morta ou viva, sofrendo as reações de imobilização e mineralização, cuja dimensão ainda é pouco conhecida em nossos solos, principalmente na cultura canavieira.

Em relação à cana-planta, revisões feitas por Azeredo et al. (1986) e por Carnauba (1990) mostraram que em 135 experimentos de campo, nas mais diversas regiões canavieiras do Brasil, somente 19% apresentaram acréscimos significativos na produtividade devido à adubação nitrogenada. De 1990 a 2003, Gava et al.

(2003) testaram outros experimentos, com as mesmas tendências de respostas.

Considerando-se que a cana extrai de 0,92 a 1,2 kg de N por tonelada de colmo, como explicar a produtividade de 115 t ha^{-1} obtida no primeiro corte no ano agrícola 2002, em levantamento feito pela Copersucar, num universo de 32 usinas, com doses de 0 a 60 kg ha^{-1} de N?

Nesta linha de trabalho, Morelli et al. (1997a) obtiveram produtividade de 148 t ha^{-1} no primeiro corte, em Latossolo de textura média-arenosa, com dose zero de N.

Trabalhos determinados a aprofundar este tema tem sido desenvolvidos principalmente com N marcado, liderados por Trivelin, no CENA, em Piracicaba (TRIVELIN et al., 1995, 1996), e pelo grupo de microbiologia (DÖBEREINER, 1983).

O aparente não empobrecimento em N no solo e a manutenção da produção da cana sugerem que a cultura pode obter o N a partir de outros meios ou o próprio solo fornecer o N por outros caminhos. Como fontes alternativas de N para a cana citam-se:

- **N mineralizado dos restos de cultura da própria cana.** Trabalhos de Barnes (1964) indicam que do total de N da cultura 14% estão na forma de soqueira e 4,6% na forma de raiz.

- **N mineralizado da matéria orgânica do solo.** Trabalhos de Greenland (1986) consideram que, em ambiente tropical úmido, 5% da matéria orgânica do solo está na forma de N e que a taxa de mineralização anual é de 2%.

- **N armazenado no tolete de plantio.** Carneiro et al. (1995) observaram que as reservas de N no tolete, um total de 12 kg, são transferidas parcialmente (50%) para os tecidos da cultura principal.

- **Práticas agrícolas.** A calagem, associada à mobilização do solo e ao período quente e úmido por ocasião do preparo dos solos, de setembro a março, acelera o processo de mineralização, liberando N mineral para o sistema. O uso de gesso favorece o desenvolvimento radicular em profundidade (MORELLI et al., 1992) facilitando a captação de mais N pela raiz (SOUZA et al., 1992).

- **Fixação biológica.** Em 1961, Döbereiner encontrou diversas bactérias fixadoras de N tanto na rizosfera quanto na superfície das raízes. A partir daí, outros pesquisadores identificaram grande diversidade de bactérias fixadoras de N em cana (ARIAS et al., 1978; SINGH, 1994) e observaram serem elas variedade-dependentes (URQUIAGA et al., 1997), encontrando valores de 52,3% de N fixado pela SP 70-1143 e 46% pela SP 71-799.

De acordo com Morelli et al. (1987), cálculos grosseiros para estimar a quantidade de N estocado no solo, usando o N mineralizado da matéria orgânica na faixa 0-50 cm de profundidade assim como o N mineralizado pelo ciclo de cinco cortes da soqueira acrescido pelas reservas de N no tolete, chegaram a um total de 135 kg de N mineralizado, suficientes para suprir grande parte da demanda de N pela cana-planta em todos os experimentos testados. Não foi estimada a fixação biológica.

Resultados experimentais obtidos por técnicos da Copersucar em três experimentos sobre adubação nitrogenada em cana-planta (doses de 0 a 90 kg ha^{-1}) em solos de textura contrastante, desde arenosos a argilosos, e com 40 variedades (SP e RB) também não foram conclusivos. No caso da RB 72454, houve resposta no solo arenoso mas não no argiloso. No Latossolo de textura média, das 40 variedades testadas somente duas responderam. A análise conjunta mostrou haver retorno econômico com aplicação de N na faixa de 40 a 60 kg ha^{-1} para as variedades responsivas.

4.1.1. Parcelamento da adubação nitrogenada no plantio

A prática do parcelamento da adubação nitrogenada tem sido efetuada principalmente por fornecedores de cana e por algumas usinas, aqueles mais por tradição e estas mais pelo receio de perdas de N por lixiviação.

Da mesma forma como ocorre com os resultados da adubação nitrogenada no sulco de plantio, os resultados do parcelamento também são inconclusivos, tanto por via solo como por aplicação aérea.

Morelli et al. (1997a) instalaram cinco experimentos sobre parcelamento de N no plantio, em Areia Quartzosa com teor de argila de 8% na superfície e 12% na subsuperfície. Os resultados (Tabela 20) indicaram que não houve resposta ao fracionamento do N. Note que doses de até 120 kg ha⁻¹ de N aplicadas no sulco ou parceladas produziram o mesmo efeito que a dose zero em solo arenoso, concordando com os resultados da Copersucar (1995a).

Em relação ao experimento da Copersucar (Tabela 21), somente a RB 72454 teve um acréscimo de 15 t ha⁻¹ com a aplicação parcelada de N, porém, o resultado não foi significativo. Na média final, a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N no sulco produziu 129 t ha⁻¹ contra 132 t ha⁻¹ com o parcelamento, num total de 75 kg ha⁻¹ de N. As possíveis explicações para os resultados são:

- O próprio estoque de N no solo, sendo suficiente para suprir a demanda de N pela cana; e
- O parcelamento da adubação normalmente é feito no início das chuvas, período de máxima mineralização do N orgânico.

Por outro lado, a operação de parcelamento implica no “fechamento” do sulco de plantio, ou seja, necessita de um cultivo. Tem-se constatado perda de produtividade com esta operação, além de quebra do efeito dos herbicidas e danificação dos perfilhos. A perda de produtividade está mais relacionada à diminuição da umidade do solo devido ao processo de escarificação ainda no período seco assim como ao rompimento de raízes.

O parcelamento do N via aérea foi muito utilizado durante a década de 80 e início da década de 90 e ainda tem sido utilizado, porém em menor escala. Entretanto, tal prática tem sido questionada.

Em experimento de longa duração, MORELLI et al. (1997b), simulando aplicação aérea parcelada de N e de K nas formas de uréia e cloreto de potássio, em parcelas controladas, durante as safras 92, 93 (esta com reaplicações dos produtos), 94 e 95 (também com reaplicações), em solos de textura arenosa a argilosa, desde Areias Quartzosas a Latossolo Roxo, com diversas variedades, não obtiveram resultados significativos (Tabela 22). Nos tratamentos

Tabela 21. Produtividade da cana-planta em relação à cobertura nitrogenada.

Variedade	Produtividade	
	Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	
	30 (Plantio)	45 (Cobertura)
	----- (t ha ⁻¹) -----	
RB 72454	140	155
SP 79-2312	128	139
SP 81-3250	130	134
SP 79-2233	133	131
SP 80-1842	130	132
SP 79-1011	128	130
SP 79-1143	120	121
SP 80-1836	121	116
Média	129	132

Fonte: COPERSUCAR (1995a).

Tabela 22. Efeito da simulação de parcelamento de nitrogênio, potássio e molibdato de amônio na produtividade de cana-planta e cana-soca em diversas safras. Usinas Barra Grande e São José, Macatuba-SP.

Experimento	Tratamentos				
	Nº	Testemunha	N	N + MoNH ₄	MoNH ₄
SAFRA 92					
	01	117 a	115 a	116 a	-
	02	90 a	90 a	93 a	-
	03	104 a	106 a	108 a	-
SAFRA 93					
	01	107 a	110 a	116 a	109 a
	02	153 a	145 a	161 a	153 a
	03	93 a	103 a	102 a	96 a
	04	115 a	124 a	128 a	122 a
SAFRA 94					
	01	83 a	76 a	85 a	84 a
	02	93 a	85 a	90 a	85 a
	03	98 a	96 a	97 a	95 a
	04	104 a	105 a	108 a	102 a
	05	118 a	124 a	127 a	126 a
	06	91 a	93 a	94 a	93 a
	07	135 a	131 a	137 a	136 a
SAFRA 95					
	01	103 a	112 a	108 a	-
	02	137 a	136 a	130 a	-
	03	105 a	108 a	105 a	-
	04	128 a	133 a	131 a	-
	05	99 a	103 a	108 a	-

Tabela 20. Efeito da cobertura nitrogenada sobre a produtividade de cana-planta em Areia Quartzosa. Usina Barra Grande, Lençóis Paulista-SP.

Tratamento		Experimento				
N (sulco)	N (cobertura)	1	2	3	4	5
----- (kg ha ⁻¹) -----		----- (t ha ⁻¹) -----				
0	0	130 a	120 a	134 a	148 a	98 a
40	0	130 a	132 b	129 a	138 a	99 a
80	0	135 a	127 a	134 a	138 a	99 a
120	0	134 a	129 a	129 a	141 a	108 a
40	40	130 a	126 a	134 a	135 a	99 a
40	80	134 a	128 a	132 a	135 a	103 a
40	120	132 a	126 a	131 a	143 a	105 a
	CV	6,2	5,7	5,9	6,1	6,4

também aplicou-se molibdato de amônio. Nestes experimentos, as aplicações foram feitas no período de novembro a janeiro e as doses de nitrogênio, potássio (na forma de K_2O) e molibdato de amônio foram, respectivamente, de 23 kg ha⁻¹, 20 kg ha⁻¹ e 0,45 kg ha⁻¹. Nas reaplicações, a quantidade de N passou a 46 kg ha⁻¹. Observe, pelos resultados, que não houve diferença significativa nestes 19 experimentos ao longo das safras. Tendência semelhante foi obtida pela Copersucar (2000a).

4.1.2. A questão da lixiviação

As perdas de N por lixiviação são influenciadas por uma série de fatores, entre eles a quantidade de chuvas, a solubilidade dos sais, a afinidade dos íons pelos sítios de adsorção do solo, a presença de íons acompanhantes, a composição química do material orgânico adicionado ao solo, o clima e as características dos solos (OLIVEIRA et al., 1999). Apesar da preocupação por parte dos técnicos das usinas em relação a possíveis perdas por lixiviação do N no plantio, tal fato não parece ser significativo. Experimentos com ¹⁵N em cana-planta no Brasil têm indicado ausência de perda por lixiviação do N do adubo ou, quando esta ocorreu, foi em pequena quantidade (PADOVESE, 1988; SALCEDO et al., 1988). Tais autores atribuem esta ausência ou pequena quantidade lixiviada ao papel dos microrganismos na imobilização do N do solo. Contudo, há relatos de perdas de 28,2% e 7,5% de N-fertilizante por lixiviação quando se utilizou uréia e aquamônia, respectivamente (CAMAROGO, 1989).

Oliveira et al. (1999) estudaram as perdas de ¹⁵N provenientes da uréia em solo podzolizado com 84% de areia na camada superficial e doses de N de 0, 30, 60, e 90 kg ha⁻¹. Durante o período experimental as precipitações e as irrigações somaram um total de 2.015 mm de água. Tais pesquisadores observaram que durante o experimento não ocorreu perda por lixiviação de N originário da uréia em nenhuma das doses aplicadas. As maiores perdas de N, principalmente na forma de NO₃, foram provenientes da mineralização da matéria orgânica do solo e dos restos de cultura. O valor médio de N lixiviado foi de 4,5 kg ha⁻¹ (Figura 3). Um cálculo aproximado da lixiviação é sugerido por Reichardt et al. (1982). Tais autores, após deduzirem a evapotranspiração da precipitação, indicam a lixiviação na faixa de 1 mm de NO₃ translocado no solo por mm de chuva. Considerando um saldo de 600 mm entre precipitação e evapotranspiração, a profundidade do lixiviado estaria a 60 cm de profundidade do solo, ainda possível de ser absorvido pelas raízes da cana.

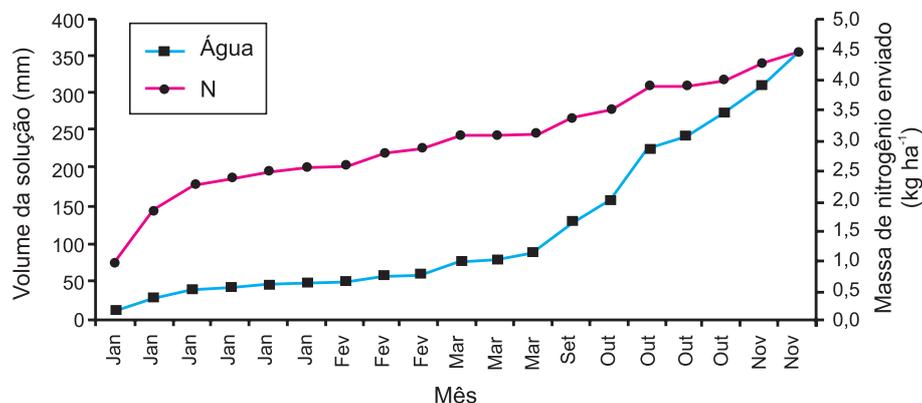


Figura 3. Lixiviação de NO₃ em solo arenoso com nitrogênio marcado.
Fonte: OLIVEIRA (1999).

4.1.3. Adubação nitrogenada para plantio

O nitrogênio é absorvido pelas plantas nas formas mineral, NO₃ ou NH₄, sendo que o principal meio de translocação é o fluxo de massa. A distância linear média percorrida pelo NO₃ é da ordem de 4,2 mm dia⁻¹ (NOVAIS e SMITH, 1999).

Os trabalhos da Copersucar (2000b) sobre recomendação de adubação têm indicado o seguinte: as doses de N estariam na faixa de 0 a 60 kg ha⁻¹; na média, tem-se usado 30 a 40 kg ha⁻¹; a aplicação seria feita somente no fundo do sulco; no caso de uso de leguminosa como cultura secundária não se aplica N.

Nas usinas, um dos subprodutos mais usados como fertilizante, além da vinhaça, é a torta de filtro, com teores de N na faixa de 1,0% a 1,2%, suprimindo perfeitamente a demanda da cana no plantio.

Não há contra-indicação quanto ao uso das diversas formas de N, no caso uréia, nitrato de amônia e sulfato de amônio.

4.2. Fósforo

O fósforo é considerado um nutriente de baixo aproveitamento pelas plantas devido às reações de fixação que sofre no solo, pois o ânion H₂PO₄⁻ tem forte afinidade pela superfície dos colóides dos óxidos de ferro e alumínio. As quantidades aplicadas, principalmente no plantio da cana, superam a quantidade extraída pela cultura (cerca de 0,43 kg de P₂O₅ por tonelada de colmos), diferindo, neste aspecto, do potássio, cuja quantidade aplicada corresponde, aproximadamente, à quantidade extraída pela cultura. Tal fato evidencia que, antes de adubar a planta com fósforo, é preciso adubar o solo.

Quando adubos fosfatados são aplicados ao solo, e após sua dissolução, praticamente todo o P é retido na fase sólida, formando compostos menos solúveis. Todavia, parte do P retido pode ser recuperado e aproveitado pela planta. A grandeza dessa recuperação é afetada pela textura do solo, tipos de minerais de argila e acidez do solo. Além disso, dose, fonte, granulometria e formas de aplicação do fertilizante fosfatado também influem neste processo.

Em relação à textura do solo, quanto maior a quantidade de argila, maior a quantidade de P deverá ser aplicada ao solo para obter a mesma quantidade de P-solução em solos de mineralogia caulínica e oxidica (Figura 4).

A correção da acidez é uma prática que contribui para aumentar a disponibilidade de P do solo e a eficiência dos fertilizantes fosfatados solúveis, como já foi demonstrado anteriormente.

O fósforo é absorvido pelas plantas na forma H₂PO₄⁻ principalmente pelo processo de difusão. Ele é pouco móvel no solo.

Resultados calculados por Novais e Smith (1999) indicam uma distância linear média percorrida pelo fósforo de 0,013 mm dia⁻¹. Se considerarmos os meses chuvosos de novembro a abril, ou seja, 180 dias, a distância máxima percorrida pelo fósforo será de 0,23 cm. Sendo assim, e considerando que o sistema radicular da cana tende a explorar as diversas camadas do solo, principalmente as mais superficiais, onde houver raiz deverá haver fósforo. Portanto, é de se esperar que em solos com baixo teor de fósforo a aplicação também em área total facilite sua absorção pelo sistema radicular da cana.

Morelli et al. (1991), trabalhando com solos de baixa CTC e baixo teor de fósforo (6 ppm), aplicaram termofosfato Yoorin em área total e no sulco de plantio da cana. Os resulta-

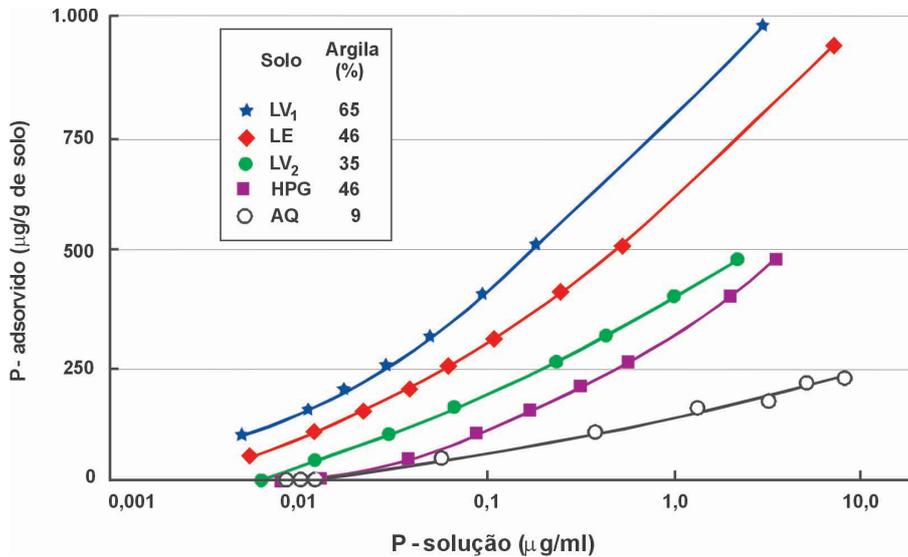


Figura 4. Relação entre o P-adsorvido e P-solução em solos da região do Cerrado com diferentes teores de argila (SOUSA, 1982).

dos indicaram que a aplicação a lanço foi mais eficiente nos dois cortes do que a aplicação no sulco (Tabela 22). Comparando a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço com a aplicação da mesma quantidade no sulco, a diferença para a aplicação a lanço nos dois cortes foi de 56 t ha⁻¹. Entretanto, a associação das aplicações a lanço e no sulco apresentou resultado mais favorável do que as aplicações isoladas. Tais resultados vêm comprovar a necessidade de se proceder a fosfatagem por ocasião do plantio quando o teor de P₂O₅ do solo for inferior a 10 ppm.

Tabela 22. Resposta da cana-de-açúcar à aplicação de fósforo na forma de termofosfato, em área total e no sulco de plantio, em solo arenoso.

P ₂ O ₅ a lanço (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ aplicado dentro do sulco (kg ha ⁻¹)				Média ¹
	0	100	200	300	
(kg ha ⁻¹) ----- Cana (t ha ⁻¹) -----					
CANA-PLANTA					
0	68,7	100,9	104,2	127,5	100,3 b
200	147,7	169,1	171,8	171,3	165,0 a
400	158,1	168,7	172,5	173,1	168,1 a
Média	124,8 b	146,2 a	149,5 a	157,3 a	-
1ª SOCA					
0	44,7	63,6	77,9	77,1	64,6 a
200	91,7	97,3	100,2	100,8	97,3 b
400	104,7	106,3	109,3	112,3	108,2 b
Média	80,2 b	89,1 ab	94,1 a	96,7 a	-

¹ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey no nível de 5%.

Em relação à fonte a ser utilizada, tanto para aplicação em área total como no sulco de plantio, os fosfatos solúveis e os termofosfatos são superiores aos fosfatos naturais. Os fosfatos naturais necessitam da acidez natural do solo para solubilização do fósforo. Como nesta cultura o calcário é aplicado tanto no preparo do solo como nas soqueiras, a eficiência dos fosfatos naturais decresce à medida que o pH do solo aumenta, ocorrendo o contrário em relação aos fosfatos solúveis (SOUSA e LOBATO, 2003).

Os resultados da Tabela 23 confirmam este caso, onde foram usados o fosfato natural de Arad (com 30% de P₂O₅ total), o termofosfato Yoorin (com 16% de P₂O₅) e o Fosmag 509 (com 22% de

P₂O₅), todos aplicados em área total. O experimento foi montado com cana-planta em um latossolo de textura média-arenosa, com 6 ppm de P, em março de 2003, na Usina Quatá, SP. Por ocasião do preparo do solo, a área recebeu calcário e gesso, e no plantio, além de N e K, foi aplicado nematicida. A análise do solo após o primeiro corte indicou saturação por bases de 58%, ou seja, pH em H₂O acima de 5,5. Tanto o termofosfato Yoorin como o Fosmag 509 foram comparados com o fosfato de Arad devido à presença de micronutrientes. No primeiro corte, e independentemente da dosagem, o Arad foi menos eficiente do que as demais fontes.

Além do aumento na produtividade de colmos, em outro ensaio o Yoorin produziu cana com teor de P mais elevado no caldo, o que reduz o custo do processamento industrial devido a menor necessidade de P na fermentação (CESAR et al., 1987).

Tabela 23. Resultado da aplicação de diversas fontes de fósforo, em área total, em latossolo de textura média-arenosa na cultura de cana-de-açúcar.

Fonte	P ₂ O ₅ aplicado em área total (kg ha ⁻¹)			
	0	100	200	400
----- Cana (t ha ⁻¹) -----				
Arad	89	90	88	94
Yoorin	91	100	108	114
Fosmag 509	87	102	100	103

Alvarez et al. (1965), estudando o efeito de diversos fosfatos na produtividade da cana-de-açúcar, em Latossolo Roxo distrófico, Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho textura arenosa, nas doses de 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, observaram maiores respostas para o termofosfato Yoorin (+ 49%), seguido pelo superfosfato simples (+ 35%) (Figura 5).

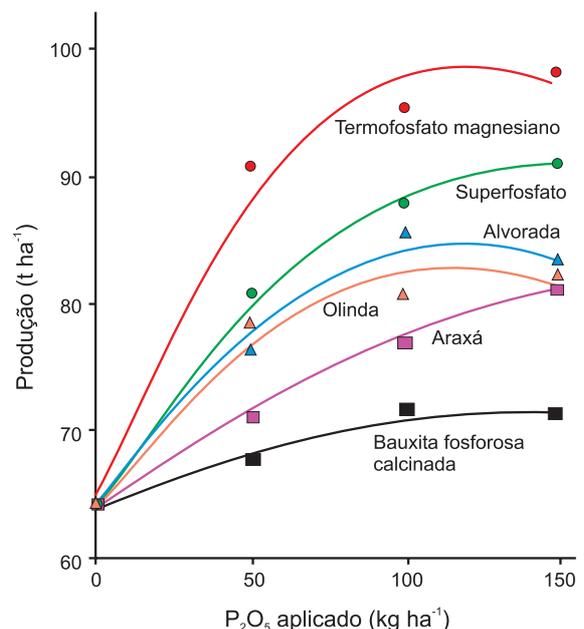


Figura 5. Respostas da cana-de-açúcar a fosfatos aplicados no sulco em cinco ensaios.

Coleti (1983), comparando a torta de filtro com várias fontes de fósforo na dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, observou que ela tem eficiência similar à dos fertilizantes fosfatados (Tabela 24).

Tabela 24. Efeito de fontes de fósforo na produtividade da cana variedade NA 56-79 cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo textura arenosa.

Tratamentos	Fontes de fósforo	TCH ¹
20-120-120	Superfosfato triplo	124 ab
20-120-120	Superfosfato simples	130 ab
20-120-120	FAPS	122 ab
20-120-120	Hiperfosfato	127 ab
20-120-120	Termofosfato	137 a
20-120-120	Apatita	122 ab
20-120-120	Farinha de osso	137 a
20-120-120	Torta de filtro	141 a
20-120-120	DAP	124 ab
20-120-120	MAP	114 ab
20-000-120	Testemunha	104 b

¹ TCH = toneladas de colmo por hectare.

Fonte: COLETI (1983).

4.2.1. Balanço do fósforo no solo – Plantio

Tem sido norma, na cultura da cana-de-açúcar, aplicar o fósforo no sulco de plantio para todo o ciclo ou parcelá-lo ao longo dos cortes. Por outro lado, tem sido também questionada a aplicação de fósforo nas soqueiras devido à inconsistência dos resultados. De qualquer forma, são necessários alguns esclarecimentos. Considerando-se:

- a aplicação de 150 kg de P₂O₅ no sulco de plantio em solo argiloso com baixo teor de fósforo;
- a fixação, pelo solo, de 30% deste fósforo;
- a extração de 0,43 kg de P₂O₅ por tonelada de massa verde; e
- a produtividade de 400 t no ciclo da cana;

a quantidade de P₂O₅ necessária para o ciclo da cultura seria de 172 kg (400 t x 0,43 kg de P₂O₅) e a quantidade existente no solo (deduzida a quantidade fixada) seria de 105 kg (30% de 150). Neste exemplo, há um déficit de 67 kg de P₂O₅, que deveriam ser repostos nas socas mais velhas, pelo menos para suprir a cultura. Entretanto, se o solo estiver muito ácido (V abaixo de 40%) não haverá resposta a este fósforo adicional. Será preciso, neste caso, aplicar também calcário, como já foi indicado.

4.3. Potássio

O K no solo é governado pela quantidade de K não-trocável. Solos com elevado teor de K não-trocável seriam os originados de material rico em K, no caso micax e ortoclássio, existentes nos folhelhos, argilitos, granitos e nos arenitos com cimento calcário.

O K é absorvido pelas plantas na forma iônica e, assim como o P, depende da difusão para chegar às raízes. Entretanto, a alta solubilidade dos sais de K confere a ele concentrações elevadas, o que caracteriza maior mobilidade em relação ao P, permitindo movimentação na forma de sais e lixiviação através do solo.

Como a maioria dos solos brasileiros cultivados com cana apresenta baixa quantidade de K não-trocável, o equilíbrio entre K-não trocável e K-trocável não é importante. Sendo assim, o K-trocável, o fator quantidade, seria a única reserva disponível que

controlaria o K em solução. Devido a esta característica, o teor de K-trocável nas análises de solos é um parâmetro seguro na recomendação da quantidade deste elemento nas adubações usando as curvas de calibração (Tabela 25).

Tabela 25. Adubação mineral de plantio com base na análise de solo.

N	P-resina	P ₂ O ₅	K	K ₂ O
(kg ha ⁻¹)	(mg dm ⁻³)	(kg ha ⁻¹)	(mmol dm ⁻³)	(kg ha ⁻¹)
40	0-6	150 ¹	< 0,7	160
40	7-15	120	0,8-1,5	130
40	16-30	90	1,6-3,0	100
40	30-50	60	3,1-5,0	80
40	> 50	0	> 5,0	0

¹ Adicionar 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em área total.

Quanto às formas de aplicação de potássio, no sulco ou em área total, tem sido mais freqüente sua aplicação localizada no sulco de plantio. Entretanto, como o ânion acompanhante do K é o Cl, não específico, pode haver maior arraste de K se este for aplicado de forma localizada. Infelizmente, trabalhos de pesquisa nesta linha e nesta cultura não são freqüentes e as análises de solos, de maneira geral, têm indicado empobrecimento em potássio nesta cultura.

Em experimento desenvolvido na Usina Quatá, SP, com aplicação de cloreto de potássio em soqueira de segundo corte, em área total, com níveis crescentes de 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de K₂O, observou-se suprimento da saturação por potássio na CTC do solo de 1% a 6%, respectivamente, nas profundidades de 0-20 cm e 20-50 cm. Comparada à aplicação localizada, a aplicação em área total foi mais eficiente somente com doses superiores a 180 kg ha⁻¹ de K₂O.

5. RESPOSTA DAS SOQUEIRAS À ADUBAÇÃO NPK

Contrariamente à cana-planta, as soqueiras respondem favoravelmente à adubação, principalmente em relação ao N. Isto ocorre porque nas regiões do Brasil onde a cana-de-açúcar é cultivada ocorrem, durante o ciclo das soqueiras, períodos climáticos seco e frio ou seco e quente, pouco favoráveis à mineralização do N orgânico. Além disso, durante o ciclo das socas, o solo é pouco ou nada mobilizado por ocasião do cultivo e os corretivos, quando aplicados, não são incorporados. Como se verifica, tais condições são adversas à mineralização da matéria orgânica e, com isso, o N do adubo passa a ter resposta, como pode ser visto na Figura 6. Observa-se, neste caso, que as respostas foram crescentes até a dose de 160 kg ha⁻¹ de N.

A textura do solo também exerce influência sobre as respostas ao N em soqueira e, neste caso, com maior ganho de produtividade para os solos arenosos (Figura 7). Observe que, na mesma dosagem de 100 kg ha⁻¹ de N, nos solos arenosos a produtividade ficou na faixa de 115 t ha⁻¹ enquanto no solo argiloso a produtividade ficou na faixa de 90 t ha⁻¹. Uma possível explicação para a reação diferenciada ao N se refere ao maior teor de matéria orgânica do solo argiloso e, portanto, maior imobilização do N do adubo.

Por outro lado, um fato interessante se refere à eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) aproveitado pela cultura da cana. Resultados experimentais com ¹⁵N têm indicado que a EUFN é baixa, na faixa de 12% a 27% na cana-soca e inferior a 10% na cana-planta (TRIVELIN et al., 1995, 1996). Parte do nitrogênio aplicado na forma de adubo fica imobilizada pela massa microbiana

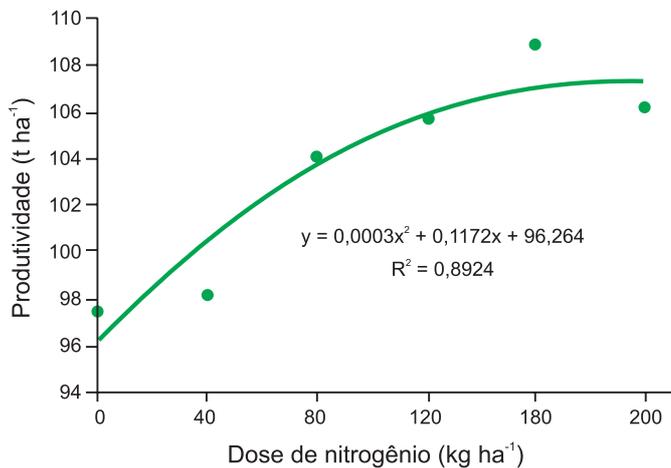


Figura 6. Curva de regressão polinomial média de dois experimentos para as doses de nitrogênio nas soqueiras das variedades SP 80-1842 e SP 81-3250.

Fonte: COPERSUCAR (2001).

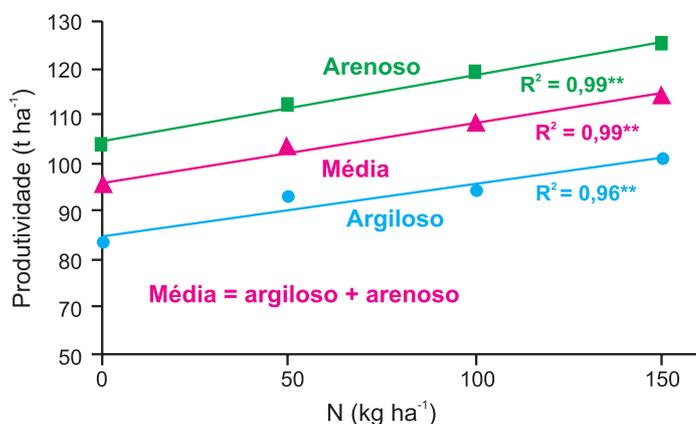


Figura 7. Produtividade de cana-de-açúcar com diferentes doses de nitrogênio em solos de textura argilosa e arenosa. Média de quatro experimentos e três safras.

Fonte: COPERSUCAR (2000a).

do solo e é utilizada no auxílio à mineralização do N orgânico do solo, que é aproveitado pela cultura. No balanço final, a planta absorve o N do fertilizante e o N mineralizado da matéria orgânica. O restante do ^{15}N que foi imobilizado pelos microrganismos do solo pode ser mineralizado para a próxima soqueira ou eventualmente para o próximo plantio se a soqueira for eliminada no ano seguinte ao da adubação.

6. RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO E DE POTÁSSIO PARA AS SOQUEIRAS

Infelizmente, não há curvas de resposta para o N, diferentemente do que ocorre para P e K. O principal motivo é o pouco conhecimento sobre a taxa de mineralização do N na região tropical úmida. Sendo assim, a melhor recomendação ainda é a baseada na expectativa de produção e no uso da relação 1,0 a 1,2 kg de N por tonelada de colmo. Se a expectativa de produção de um segundo corte for de 90 t ha⁻¹ de colmos, deve-se usar 100 kg ha⁻¹ de N; se a expectativa for de 60 t ha⁻¹ de colmo, deve-se usar cerca de 70 kg ha⁻¹ de N.

As respostas ao K nas soqueiras são semelhantes às respostas na cana-planta (Figura 8). Maiores ganhos de produtividade, entretanto, estão nos solos argilosos. Em relação à recomenda-

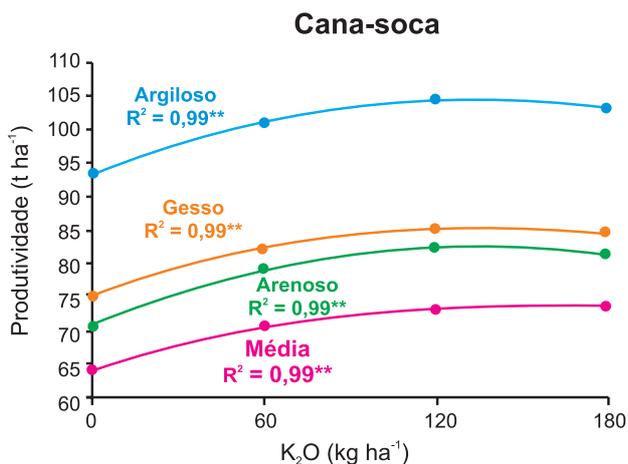
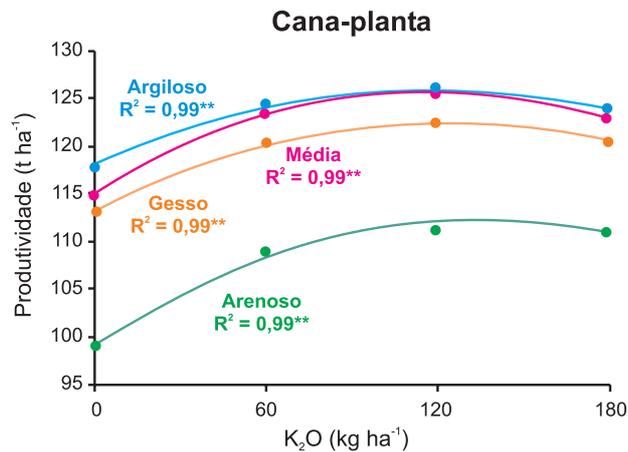


Figura 8. Curvas de produtividade de cana-planta e cana-soca com doses de potássio em solos de textura argilosa, média e arenosa. Média de 22 experimentos em cana-planta e 13 experimentos em cana-soca.

Fonte: COPERSUCAR (2001).

ção, utilizam-se os dados da Tabela 25 ou, caso o solo tiver baixo teor de potássio, utiliza-se a expectativa de produção, ou seja, 1,3 a 1,5 kg ha⁻¹ de K₂O por tonelada de colmo. Assim, se a expectativa de produção for de 100 t ha⁻¹ usa-se 140 a 160 kg ha⁻¹ de K₂O.

7. A QUESTÃO DO FÓSFORO EM SOQUEIRA

A maioria dos experimentos usando fósforo em soqueira não tem apresentado resposta conclusiva. Um dos fatores que podem estar interferindo nesta resposta é o pH. À medida que os cortes vão avançando, a saturação por bases tende a diminuir e, em consequência, o pH fica mais ácido, condição para baixa eficiência de absorção de fósforo. Com o uso de calcário em soqueira pode haver alguma resposta, como já foi observado em diversos ensaios.

O uso de fosfato natural em soqueira também apresenta baixa eficiência, principalmente se for utilizado calcário (Tabela 26). Na Usina Passa Tempo, em Mato Grosso do Sul, foram instalados diversos experimentos em soqueira usando os fosfatos de Arad, Gafsa e o termosuperfosfato Yookarin. As soqueiras receberam 2,5 t ha⁻¹ de calcário previamente e foram adubadas com 500 kg ha⁻¹ da fórmula 20-00-30. As fontes fosfatadas foram aplicadas em área total nas doses de 100 a 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Enquanto os fosfatos naturais promoveram acréscimos de cerca de 8 t ha⁻¹, valor não significativo, o Yookarin promoveu acréscimo de até 19 t ha⁻¹.

Por outro lado, no balanço do fósforo no solo ficou evidenciada a possível falta deste nutriente em soqueiras mais velhas.

Tabela 26. Ação do fosfato natural de Arad e Gafsa e Yookarin na produtividade de soqueira, em solos argilosos¹. Usina Passa Tempo, MS. Dez./2004.

Fonte de fósforo	Tratamento P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	TCH			
		Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Média
Arad	Testemunha	77	55	71	67 a
	100	80	65	72	72 a
	200	83	62	74	73 a
	400	83	69	74	75 a
Gafsa	100	85	61	69	72 a
	200	82	60	73	72 a
	400	83	63	72	73 a
Yookarin ²	100	82	72	80	82 b
	200	85	70	78	86 b
	400	88	72	84	84 b

CV = 7,2

Experimento	Setor, talhão	Instalação	Colheita	Solo	Variedade	Corte
1	Estreito, 15	Dez/03	Out/04	LR 1-2	RB 85-5113	Terceiro
2	Sta. Lucia, 3	Dez/03	Dez/04	LR 1-3	RB 85-5536	Quarto
3	Sta. Tereza, 22	Dez/03	Dez/04	LR 1-3	RB 72-454	Terceiro

¹ Aplicação de fósforo em soqueira, área total.² Yookarin = termosuperfosfato.

Sendo assim, o uso de 30 a 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nas socas mais velhas pode ser indicado desde que o solo esteja com pH na faixa favorável.

As doses mínimas, médias e máximas de NPK usadas em cana-planta e cana-soca no Estado de São Paulo estão resumidas na Tabela 27 (COPERSUCAR, 1995a). Quanto às doses mínimas desta tabela, é necessário levar-se em consideração que, na maioria dos casos, elas estão completando as adubações orgânicas, como torta de filtro e vinhaça, ou usando o estoque do nutriente do solo.

Tabela 27. Doses de NPK usadas nas usinas cooperadas.

Situação	Nutriente	Doses de NPK ¹		
		Mínima	Média	Máxima
----- (kg ha ⁻¹) -----				
Cana-planta	Nitrogênio	17	35	60
	Fósforo	76	115	150
	Potássio	72	116	172
Cana-soca	Nitrogênio	42	85	112
	Fósforo	0	20	56
	Potássio	40	104	130
Vinhaça (caminhão)	Nitrogênio	40	84	108

¹ P₂O₅ aplicado dentro do sulco.

Fonte: COPERSUCAR (1995a).

Em regiões de solos arenosos, onde não se aplica gesso ou outra fonte contendo enxofre, é necessário usar fertilizantes contendo este nutriente, tais como sulfato de amônio, superfosfato simples ou termofosfatos. A dose suficiente para o ciclo é de 60 kg ha⁻¹ de S.

8. A PALHA COMO COMPONENTE DA FERTILIZAÇÃO DOS SOLOS

Com as normas e leis contra a queima da cana-de-açúcar, a palha sobre a superfície do solo tem gerado uma série de alterações no solo e no ambiente. Sendo assim, grande parte das atividades

agrícolas relacionadas às adubações, cultivo e controle de pragas tem sido novamente estudada e avaliada. Não é exagero afirmar que se deve aprender tudo novamente.

O corte de cana crua coloca na superfície do solo 12 a 20 t ha⁻¹ de palha seca por corte. A concentração média de nutrientes nesta palhada é substancial (Tabela 28).

Tabela 28. Concentração média de nutrientes na palha. Média de quatro cultivares de cana.

Nutriente	Folha seca	Folha verde	Palmito	Total
----- (g kg ⁻¹) ----- (kg ha ⁻¹)				
N	3,2	9,9	4,9	54,7
P	0,2	1,1	0,9	4,4
K	3,4	16,9	30,0	76,0
Ca	4,2	3,1	1,7	54,9
Mg	1,9	1,7	1,5	25,5
S	1,1	1,1	1,2	15,1

Fonte: COPERSUCAR (2000c).

Se forem levados em conta estes resultados, observa-se que 50% do N e 65% do K poderiam ser deduzidos da adubação mineral da soca do ano seguinte. Entretanto, a mineralização da palha é dependente de fatores ambientais e da relação C/N, assim como da posição do nutriente em relação ao componente desta palha, no caso lignina, celulose, hemicelulose, conteúdo celular e polifenóis.

A mineralização da palha não é uniforme, como se observa na Tabela 29 (OLIVEIRA et al., 1999). Assim, após um ano de observação, a quantidade de matéria seca passou de 13,9 t ha⁻¹ para 10,8 t ha⁻¹, originada principalmente do conteúdo celular e da hemicelulose. Neste tempo, houve liberação de somente 11 kg ha⁻¹ de N, por ele estar na celulose, de difícil decomposição. A taxa de mineralização foi de apenas 18% e foram liberados 85%, 44% e 39% de K, Ca e Mg, respectivamente.

Portanto, em termos de reposição de nutrientes, pode-se fazer um cálculo em relação ao K, mas não em relação ao N. Nas áreas com palha, a dedução do K do fertilizante pode ser feita na

Tabela 29. Matéria seca (MS) da palha da variedade SP 79-1011, nutrientes e carboidratos estruturais contidos nas amostras de 1996 e 1997.

Ano	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	C	Hemicelulose	Celulose	Lignina	Conteúdo celular	C/N	
	(t ha ⁻¹)	-----							(kg ha ⁻¹)					
1996	13,9 a	64	6,6	66 a	25 a	13 a	9	6.255 a	3.747 a	5.376	1.043	3.727 a	97 a	
1997	10,8 b	53	6,6	10 b	14 b	8 b	8	3.642 b	943 b	5.619	1.053	2.961 b	68 b	

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: OLIVEIRA et al. (1999).

proporção de 40 kg de K₂O para cada 10 t de palha. Em 15 t ha⁻¹ de palha serão deduzidos 60 kg de K₂O. Neste caso, a formulação das soqueiras apresentará maior quantidade de N em relação à de K.

Após cinco anos, esta palha do primeiro corte estará praticamente mineralizada e grande parte do N estará no complexo matéria orgânica e será usada nos ciclos seguintes. Além deste aspecto, a decomposição da palha tenderá a interferir no menor uso de corretivos, de gesso e de outros nutrientes. Para isso, haverá necessidade de pesquisas nesta linha.

9. ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SOQUEIRA COM PALHA

Um dos adubos nitrogenados mais utilizados na cultura da cana é a uréia. Sua reação no solo depende da umidade e envolve inicialmente a hidrólise da fonte nitrogenada por meio da urease, enzima produzida por fungos e bactérias, presente no solo e em maior quantidade na palha. Como resultado da hidrólise tem-se a formação de carbonato de amônio, que não é estável no solo e se desdobra em NH₃, CO₂ e H₂O. Parte do N-NH₃ formado reage com o H⁺ da solução do solo, resultando no cátion NH₄⁺. Não havendo umidade, a reação de formação do íon NH₄⁺ não se processa e haverá perda de amônia (NH₃).

Com a palha, o sistema de cultivo para incorporar o adubo nitrogenado é mais difícil. Assim, tem-se aplicado o adubo na superfície, sem incorporação. Perdas de uréia, quando aplicada na superfície do solo, tem sido relatadas por muitos pesquisadores, com valores entre 40% e 60%, ou mais.

Trabalho desenvolvido por Oliveira et al. (1999) em simulação de adubação de soqueira de cana com palha, usando uréia associada à vinhaça e ao KCl durante o período chuvoso, mostrou que as maiores perdas por volatilização do ¹⁵N foram verificadas nos tratamentos em que a solução de uréia foi aplicada na superfície do solo coberto por palhada: 94% quando se utilizou a vinhaça como fonte de K e 87% quando se usou o KCl. Quando se aplicou a uréia sobre o solo nu, sem a vinhaça, as perdas por volatilização foram de 76%. Mesmo após a adição de 38,2 mm de água ainda ocorreram perdas significativas de amônia da solução de uréia aplicada sobre a superfície do solo nas duas condições. Quando a solução nitrogenada foi enterrada no solo as perdas foram inferiores a 5% e não houve diferença entre os tratamentos.

Costa et al. (2003), em trabalho na mesma linha, porém usando, além da uréia, a mistura uréia (50%) + sulfato de amônio (50%), o uran e o Agifer (subproduto da Aginomoto), observaram que as perdas com o uso de uréia ou da mistura foram da ordem de 36% e 35%, respectivamente, enquanto as do uran foram de 15% e as do Agifer 9%.

Nestes casos, em que há aplicação sem incorporação do adubo, a melhor opção é o uso de forma nitrogenada menos volátil, como nitrato ou sulfato de amônio.

Gava et al. (2003) estudaram a contribuição da palhada como fonte de N e verificaram os efeitos desse resíduo na recuperação do nitrogênio da uréia aplicada na adubação de soqueira em condições de campo. A uréia (100 kg ha⁻¹ de N), aplicada em área total, sem incorporação, esteve sempre associada à vinhaça (100 m³ ha⁻¹). Do N total acumulado na parte aérea da soqueira, 10% a 16% foram absorvidos do fertilizante e, em média, 4% do N mineralizado da palhada. A eficiência de utilização do N da uréia pela soqueira foi, em média, de 17%, e o da palhada, 8%. O N da palhada foi disponibilizado para a planta no final do ciclo da cultura. Em relação à produção final de colmos, não houve diferença significativa entre os tratamentos, porém o tratamento onde a uréia foi incorporada ao solo ao lado da soqueira apresentou maior produção assim como a maior quantidade de N proveniente da fonte marcada.

10. APLICAÇÃO DE ADUBO EM ÁREA TOTAL OU LOCALIZADO EM ÁREA COM PALHA

Dentre as vantagens da palha sobre a superfície do solo, citam-se: aumenta a infiltração de água; aumenta o teor de matéria orgânica; favorece a proliferação de organismos do solo; recicla nutrientes; aumenta o aporte de N no solo; atenua a compactação; mantém o solo mais úmido por mais tempo. Entre as desvantagens, citam-se: redução da temperatura do solo (de 0,4°C a 1,0°C) assim como redução da faixa entre as temperaturas máximas e mínimas; maior danificação pelas geadas; aumento de pragas de solo; maior possibilidade de ataque por lagartas e cigarrinha de raiz; maior demora na brotação da soqueira de cana; maior demanda de N devido à elevada relação C/N da palha; pequena disponibilidade do N da palha; possível decomposição anaeróbica da palha devido ao encharcamento temporário entre a palha e o solo, motivado pela compactação.

A principal consequência em relação à cultura pode ser a queda de produtividade, que está relacionada ao tipo de solo, à região e à variedade. Solos argilosos tendem a perder mais produtividade do que os arenosos em condições semelhantes de clima devido ao maior valor do calor específico dos solos argilosos (demoram mais tempo para se aquecer). Trabalhos feitos na Usina da Barra em solo argiloso, em soqueira de segundo corte, indicaram que:

- A área com 100% de palha reduziu a produtividade em cerca de 23 t ha⁻¹.
- A remoção da palha da linha da cana, colocando-a na entrelinha, foi suficiente para reduzir as perdas de produtividade em cerca de 15 t ha⁻¹.
- Não houve diferença entre a área cultivada e a não cultivada.

Observou-se que a cobertura do solo com a palha pode funcionar como um isolamento entre o fertilizante e o solo. As reações entre fertilizante e solo se realizam através da umidade. Deste modo, a eficiência da adubação irá depender de uma série de característi-

cas do solo, entre elas o nível de compactação, que age na infiltração da água e na difusão dos nutrientes, assim como nas características da planta em relação à distribuição do sistema radicular.

Ensaios de longa duração envolvendo a localização do adubo em soqueira com palha (COPERSUCAR, 1999b), em diferentes solos e variedades e manejados sob condições climáticas variáveis, têm indicado semelhança de resultados em relação aos tratamentos. O fertilizante aplicado sobre a palha, na linha ou na entrelinha, não tem apresentado diferenças, assim como as áreas cultivadas mecanicamente ou não. Houve casos em que o cultivo mecânico em áreas com palha reduziu a produtividade devido ao rompimento do sistema radicular localizado mais próximo à superfície. Entretanto, é necessária uma profunda reflexão em relação a esta prática em vista do fertilizante aplicado sobre a palha estar sujeito ao arraste pelas águas das chuvas e poluir o ambiente, principalmente em regiões de topografia inclinada e com sulcação reta em desnível. Neste caso, o cultivo, assim como a incorporação do adubo, irá propiciar maior segurança assim como poderá atenuar os efeitos maléficos da compactação, melhorando a infiltração das águas.

O corte de cana na palha tende a permitir maior concentração de raízes na superfície do solo. Exames em trincheira têm indicado, em certos casos, concentração das raízes entre a superfície do solo e a palha. Com isso, tem sido freqüente o tombamento das soqueiras por ocasião de ventos fortes, além de maior possibilidade da cultura sentir a seca.

A aplicação de NK em área total na cana seria indicada após exame do sistema radicular. Se as raízes estiverem explorando tanto a linha como a entrelinha da cana, tal aplicação poderia ser indicada. Entretanto, se a entrelinha estiver muito compactada, a eficiência de absorção de fertilizantes será reduzida. Infelizmente, estudos nesta linha não são freqüentes em cana-de-açúcar.

Experimento coletado em 2005 na Usina Triunfo, em Alagoas, em área de corte mecanizado e com compactação da entrelinha, indicou que a aplicação de NK em área total, em soqueira de segundo corte, causou perda de produtividade quando comparada com a aplicação localizada sobre a linha da cana.

Por outro lado, a aplicação de fertilizante em área total sobre a palha pode sofrer perdas por arraste das águas de chuva principalmente em relevo ondulado ou em plantio de sulcação reta em desnível. Além de perdas há o grande risco de contaminação de rios e lagos. Em trabalho realizado na Usina da Barra, SP, amostras de água de enxurrada foram coletadas e analisadas em três precipitações nos meses de outubro de 1999 em área de soqueira onde o fertilizante foi aplicado em área total (Tabela 30). As análises indicaram perdas razoáveis não só de N mas também de K e Ca.

11. USO DE SILICATO EM CANA-DE-AÇÚCAR

O silício (Si), apesar de não ser um elemento essencial às plantas, é absorvido pela cana e tem sido associado ao aumento da resistência às doenças em outras culturas. Além disso, aumenta a resistência da parede celular e regula a evapotranspiração, entre outras características.

A maior fonte de Si é o próprio solo, através do intemperismo dos minerais de argila. Estes minerais são compostos principalmente por grades de silício (uma ou duas grades) unidas a grades de alumínio (normalmente uma grade). Uma vez destruído o mineral, os seus componentes entram na solução do solo. Sendo assim, solos argilosos apresentam maior teor de Si na solução do solo do que solos arenosos, apesar destes terem o quartzo (SiO₂) como mineral dominante na fração areia. Ocorre que o quartzo é quimica-

Tabela 30. Perdas de nutrientes pela água das chuvas, em áreas de soqueiras, com adubo e vinhaça aplicados na superfície após as chuvas. Usina da Barra, safra 98/99.

Fazenda São Francisco (500 kg ha ⁻¹ 18-00-27)			
Nutrientes (mg L ⁻¹)	Chuva 8/10/98 25 mm	Chuva 16/10/98 4 mm	Chuva 26/10/98 18 mm
N	1,40	0,40	0,10
K	2,50	1,20	1,80
Ca	3,00	4,00	1,00
Mg	0,70	0,80	1,00

Fazenda São Pedro (150 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça + 245 kg ha ⁻¹ NH ₄ NO ₃)			
Nutrientes (mg L ⁻¹)	Chuva 8/10/98 25 mm	Chuva 16/10/98 4 mm	Chuva 26/10/98 18 mm
N	1,40	0,40	0,12
K	17,0	8,40	7,70
Ca	16,0	12,0	4,0
Mg	4,70	4,00	1,20
S	5,0	4,0	14,5

mente muito resistente à decomposição. Devido a estas características, os solos arenosos tendem a responder mais aos silicatos do que os solos argilosos. Os silicatos utilizados como fonte de silício normalmente são subprodutos de indústrias e apresentam em sua composição, além do silício (23% de SiO₂), óxidos de cálcio (40%) e de magnésio (10%) e micronutrientes. A solubilidade do silicato de cálcio é seis a sete vezes superior à do calcário. Além dos silicatos, outra importante fonte de Si são os termofosfatos que, além de P, contém cerca de 10% de Si (22-23% SiO₂) solúvel. Assim, os silicatos agem no solo de maneira semelhante ao calcário. A Copersucar (2000d) tem uma série de experimentos instalados em algumas usinas do Estado e está no aguardo de resultados.

Resultados obtidos em 2005 na região de Andradina, SP, têm indicado respostas semelhantes do silicato em relação às respostas do calcário e às do gesso. O que falta, portanto, é verificar a ação isolada do silício e do carbonato contidos no silicato. Em experimento colhido em 2005 naquela região observou-se que o acréscimo de 250 kg ha⁻¹ a 1.000 kg ha⁻¹ de silicato aplicados no sulco de plantio produziu aumentos de produtividade de 85 t ha⁻¹, na testemunha, contra 110 t ha⁻¹ com a dose máxima do produto. Entretanto, o tratamento de 1 t ha⁻¹ de calcário, aplicado também no sulco de plantio, produziu 110 t ha⁻¹.

11.1. Efeito da fonte de silício

Segundo Korndörfer e Gascho (1999), tanto os parâmetros de solo como os das plantas de arroz foram significativamente afetados pelas fontes e doses de Si utilizadas (Tabela 31). Observe que o termofosfato proporcionou maior concentração de silício na planta, quando comparado com as demais fontes. Um dos fatores desta maior concentração se deve ao aumento do pH do solo para 6,2, o que tende a favorecer a maior absorção de silício.

Mesmo sabendo que as funções do Si na cana-de-açúcar ainda não foram completamente esclarecidas, é certo que o elemento desempenha um papel importante na produtividade desta cultura (PREEZ, 1970). No Estado de São Paulo, pesquisadores encontraram 0,93 kg de Si extraído por tonelada de colmos de cana-planta (SILVA, citado por KORNDÖRFER, 2002). Os autores salientam que, apesar do Si não ser considerado essencial aos vegetais, o mesmo foi absorvido em quantidade elevada. Há casos em que o calcário é

Tabela 31. Efeito de fontes de Si nas características químicas do solo e na concentração de Si na planta de arroz.

Fontes	Dose de Si (mg kg ⁻¹)	Si na planta (g kg ⁻¹)	Solo			
			pH (H ₂ O)	Si - (mg kg ⁻¹)	P	Ca (cmol dm ⁻³)
Testemunha	0	11 c	4,6 c	5 c	20 d	1,8 b
Escória Tennessee	500	14 b	5,4 b	53 b	46 b	4,4 a
Wollastonita	500	22 a	5,7 ab	58 b	34 c	4,4 a
Minas Liga	500	15 b	5,8 ab	8 c	37 c	2,1 b
Serpentinito	500	7 d	4,8 c	9 c	37 c	1,9 b
Termofosfato	500	20 a	6,2 a	107 a	345 a	4,5 a

Fonte: adaptada de KORNDÖRFER e GASCHO (1999).

aplicado em área total para correção do pH e o silicato aplicado no sulco de plantio, na faixa de 300 a 400 kg ha⁻¹, como fonte de Si.

O teor mínimo de Si no solo é considerado como sendo menor ou igual a 20 ppm, quando extraído por ácido acético 0,5 M.

11.2. Efeito do silício no controle de pragas

A cada dia que passa aparecem novas evidências do importante papel do Si no aumento da resistência das plantas ao ataque da broca-do-colmo (KEEPING e MEYER, 1999). Em um experimento conduzido na África do Sul utilizando seis variedades comerciais de cana-de-açúcar plantadas em vasos contendo areia e utilizando duas doses de silicato de cálcio (2.500 e 5.000 kg ha⁻¹, equivalentes a 425 e 850 kg ha⁻¹ de Si puro, respectivamente) foram comparadas com as testemunhas (sem Si). A cana-de-açúcar foi artificialmente infestada com *Eldana saccharina* aos 9,5 meses de idade e o experimento colhido seis meses depois. Os tratamentos com Si resultaram em significativo aumento da resistência da cana-de-açúcar ao ataque de *Eldana saccharina*. De modo geral, a massa de brocas e os danos causados pela mesma foram reduzidos em aproximadamente 19% e 33% quando a dose de Si foi de 2,5 t ha⁻¹ e 5 t ha⁻¹, respectivamente.

12. MICRONUTRIENTES

A aplicação de micronutrientes na cultura da cana é uma prática pouco utilizada, principalmente pelo fato de se ter baixo número de trabalhos e poucos resultados conclusivos na região Centro-Sul, a não ser em solos de tabuleiros do nordeste. Por outro lado, o uso de subprodutos como vinhaça, torta de filtro, cinzas de caldeiras, etc., apresentam micronutrientes em sua composição, além de resíduos destes elementos em adubos e calcário. Entretanto, em inúmeras análises de solos de usinas e destilarias, principalmente em áreas com diversos ciclos de cana, têm sido observados níveis muito baixos de micronutrientes, principalmente de zinco e boro. Tem surpreendido a escassez destes nutrientes, inclusive em solos desenvolvidos de diabásio, como o Latossolo Roxo.

Nestes últimos três anos, uma série de experimentos com micronutrientes foram instalados em diversas usinas usando produtos de aplicação foliar e de aplicação no solo. Na instalação dos experimentos foi dada prioridade às socas, ao invés da cana-planta. As justificativas para tal procedimento foram as seguintes:

- Por ocasião do plantio, a mobilização do solo, assim como a aplicação de calcário, gesso e fertilizante fosfatado em área total, pode conter traços de micronutrientes, situação esta que não se repete nas soqueiras.

- Ao longo do ciclo da cultura, os resíduos existentes nos insumos aplicados no plantio tendem a decrescer.

A Tabela 32 resume os principais resultados de uma série de experimentos com micronutrientes. O principal fertilizante contendo micronutrientes aplicado no solo foi o FTE-BR 12, que apresenta maior concentração de zinco (Zn). A comparação com a torta de filtro se justifica, pois muitas usinas a utilizam. A composição deste material é muito variável em relação aos micronutrientes. A torta de filtro originada de solos com deficiência de micronutrientes seguramente apresentará tal deficiência.

A maioria dos experimentos foi instalada com quatro a oito repetições, dependendo do número de tratamentos existentes. A comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A aplicação do FTE foi feita sobre a soqueira de cana, por ocasião do cultivo, ou no sulco de plantio. As soqueiras receberam a adubação normal com NK. A torta de filtro foi aplicada em área total tanto no plantio como nas soqueiras. O Follyfertil é um produto para aplicação foliar. Neste caso, as aplicações foram feitas no período chuvoso, usando equipamento de herbicida.

Os resultados apresentam uma tendência consistente de respostas em relação ao uso do FTE, principalmente nas soqueiras, apesar da maioria dos solos serem argilosos e originados de rocha eruptiva básica, onde não se esperavam resultados positivos. Em relação à torta de filtro, o acréscimo na produtividade pode estar também relacionado à ocorrência de outros nutrientes em sua composição, principalmente P e N. A dose de 30 kg ha⁻¹ de FTE BR 12 seria suficiente para suprir pelo menos 350 t ha⁻¹ de colmos.

Quanto à aplicação do fertilizante foliar, seus resultados não foram consistentes. Além disso, é necessário levar em consideração o fato de que a aplicação é anual.

De qualquer maneira, é necessário que a recomendação em relação ao uso de micronutrientes seja indicada mediante análises de solo. No caso específico das áreas onde foram instalados os experimentos das usinas Passa Tempo e Maracaju, a maioria dos resultados de análises de solos da primeira camada indicaram teor de Zn inferior a 0,5 ppm.

A Tabela 33 resume os diferentes níveis dos principais micronutrientes no solo.

13. AÇÃO DO NEMATICIDA NA MELHORIA DA EFICIÊNCIA DOS FERTILIZANTES

Os nematóides são um dos principais responsáveis pela restrição biológica ao desenvolvimento radicular, principalmente em solos de textura média a arenosa, onde reduzem a quantidade de raízes assim como dificultam a absorção de água e nutrientes, culminando com a redução da produtividade. Em áreas com elevado nível destes organismos, os efeitos das adubações em muitos casos não se fazem sentir, mesmo com o aumento das doses de fertilizantes.

Por outro lado, a ação de nematicidas tende a favorecer melhor a absorção de nutrientes, com conseqüente aumento da produtividade, como observado na Tabela 34. Neste trabalho, feito na região de Ribeirão Preto, em solo de textura média-arenosa e com elevado nível de nematóides, a ação do produto, no caso Furadan, permitiu acréscimo apreciável de produtividade, quando comparado com as parcelas que não receberam o produto (DEMATTÊ, 1986).

Note que a aplicação de 750 kg ha⁻¹ da fórmula 4-20-20 produziu 80 t ha⁻¹ de colmos sem o nematicida. Com o uso do nematicida, a produtividade passou para 92 t ha⁻¹ sem o fertilizante.

Tabela 32. Aplicação de micronutrientes no solo e na folha na cultura de cana-de-açúcar em diversos experimentos.

Categoria	Tratamentos	Produtos	Produtividade (t ha⁻¹)
Usina Maracaju (MS), Latossolo Roxo distrófico, RB 84-5257			
Terceiro corte	Testemunha		73 a
	Torta de filtro (TF)	25 t ha ⁻¹	80 b
	FTE-BR 12	25 kg ha ⁻¹	78 b
	FTE-BR 12 + TF	25 kg + 25 t ha ⁻¹	94 c
Usina Maracaju (MS), Latossolo Roxo epieutrófico, RB 72-454			
Quinto corte	Testemunha		62 a
	Torta de filtro (TF)	25 t ha ⁻¹	78 b
	FTE-BR 12	25 kg ha ⁻¹	72 b
	FTE-BR 12 + TF	25 kg + 25 t ha ⁻¹	79 b
Usina Passa Tempo (MS), Latossolo Roxo distrófico, RB 72-454			
Quarto corte	Testemunha		118 a
	Torta de Filtro (TF)	25 t ha ⁻¹	122 a
	FTE-BR 12	25 kg ha ⁻¹	120 a
	FTE-BR 12 + TF	25 kg + 25 t ha ⁻¹	124 b
Usina Passa Tempo (MS), Latossolo Roxo epieutrófico, RB 72-454			
Primeiro corte	Testemunha		137 a
	Torta de Filtro (TF)	25 t ha ⁻¹	144 b
	FTE-BR 12	25 kg ha ⁻¹	144b
	FTE-BR 12 + TF	25 kg + 25 t ha ⁻¹	153 c
Usina Delta (MG), LE argiloso distrófico, SP 79-1011			
Terceiro corte	Testemunha		87a
	Torta de Filtro (TF)	30 t ha ⁻¹ (AT)	89 a
	FTE-BR 12	30 kg ha ⁻¹ , linha	97 b
	FTE-BR 12 + TF	30 + 30	94 b
Usina Passa Tempo (MS), Latossolo Roxo epieutrófico, SP 81-3250			
Primeiro corte	Testemunha		132 a
	FTE-BR 12	25 kg ha ⁻¹	130 a
	FTE-BR 12	50 kg ha ⁻¹	134 a
	Sulfato Zn	12 kg ha ⁻¹	130 a
	Sulfato Zn	24 kg ha ⁻¹	134 a
	Torta de Filtro	30 t ha ⁻¹	146 b
Usina Passa Tempo (MS), Latossolo Roxo distrófico, RB 72-454			
Quinto corte	Testemunha		102 a
	Torta de Filtro (TF)	25 t	110 b
	TF	50 t	104 a
	FTE-BR 12	25 kg ha ⁻¹	108 a
	FTE-BR 12	50 kg ha ⁻¹	111 b
	TF + FTE-BR 12	25 t + 25 kg ha ⁻¹	110 b
Usina Quatá (SP), LVA textura média-arenosa, RB 83-5486			
Terceiro corte	Testemunha		89 a
	Follyfertil	3,0 L ha ⁻¹	98 b
	Follyfertil	6,0 L ha ⁻¹	93 a
Usina Quatá (SP), PV textura areia/média, RB 83-5486			
Segundo corte	Testemunha		82 a
	Follyfertil	3,0 L ha ⁻¹	91 a
	Follyfertil	6,0 L ha ⁻¹	90 a
Usina Passa Tempo (MS), Latossolo Roxo, SP 81-3250			
Primeiro corte	Testemunha		100 a
	Follyfertil	3,0 L ha ⁻¹	93 a
	Follyfertil	6,0 L ha ⁻¹	109 a
Usina Passa Tempo (MS), Latossolo Roxo epieutrófico, SP 81-3250			
Quarto corte	Testemunha		91 a
	Follyfertil	3,0 L ha ⁻¹	90 a
	Follyfertil	6,0 L ha ⁻¹	92 a

Tabela 33. Teores de micronutrientes em solos.

Elemento	Baixo	Médio	Adequado
----- (ppm) -----			
B	< 0,1	0,1 a 0,30	> 0,3
Cu	< 0,4	0,4 a 0,8	> 0,8
Fe	< 20	20 a 30	> 30
Mn	< 3	3 a 5	> 5
Zn	< 0,5	0,5 a 1,0	> 1,0

Tabela 34. Associação de nematicida e fertilizante na produção de cana, Usina Galo Bravo, Fazenda Santa Lúcia, Ribeirão Preto-SP¹.

Fertilizante 4-20-20	Nematicida	Produtividade
(kg ha ⁻¹)	(L ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)
0	0	67 a
375	0	86 b
750	0	80 b
0	5	94 c
375	5	93 c
750	5	94 c
0	10	92 c
375	10	94 c
750	10	98 c
CV = 7,2%		

¹ Safra 95/96; plantio em 3/94; corte em 6/95.

A explicação para tal resultado, que não é raro na cultura da cana, se deve ao fato do próprio solo já ter reservas mínimas de nutrientes, e com a ação do nematicida esta reserva é utilizada.

A indicação do uso do nematicida deve ser baseada no histórico da área assim como na análise da ocorrência de nematóide, tanto na raiz como no solo. Em situações onde as análises indicaram níveis elevados do organismo, o uso do nematicida é recomendado. Em tais casos, indica-se a redução de 15% do fertilizante por ocasião do plantio. Em relação às soqueiras, o uso de nematicida também tem sido indicado, havendo necessidade, entretanto, de alguns cuidados a serem considerados, a saber:

O ciclo das soqueiras pode ser dividido em três fases:

- Soqueiras de início de safra, maio a junho, que ainda apresentam umidade, porém com período seco pela frente;
- Soqueiras de meio de safra, julho a setembro, em pleno período seco;
- Soqueiras de final de safra, outubro a novembro, com período chuvoso.

Os nematicidas necessitam de umidade para agir. Portanto, a maior possibilidade de êxito na aplicação destes produtos estaria nas soqueiras de final de safra. Assim, a decisão a ser tomada quanto à aplicação do nematicida em soqueiras é muito mais delicada do que a tomada no plantio. A maioria dos resultados obtidos com esta prática tem apresentado um acréscimo de produtividade na faixa de 4 a 8 t ha⁻¹. Nos períodos menos úmidos tem sido indicado o Temik, devido a sua maior solubilidade, e nos períodos mais úmidos o Furadan.

Por outro lado, deve-se levar em consideração outros aspectos que podem influir negativamente nesta prática. A questão da localização do nematicida é um fator importante pois se o produto não estiver próximo à linha da cana ou sobre a linha sua eficiência

cia pode ser reduzida. A aplicação rasgando a soqueira tem sido a mais eficiente. Outro aspecto ainda pouco conhecido é a reação do nematicida com os herbicidas. Dependendo desta reação poderá haver interação negativa entre estes produtos, com sensível redução da produtividade e aumento do custo. A Tabela 35 indica um caso desta interação. O experimento foi conduzido na Usina Quatá usando diversos herbicidas em soqueira de quinto corte em solo de textura média-arenosa, com baixo teor de alumínio. A testemunha capinada teve um acréscimo de 7 t ha⁻¹ com o uso do nematicida, melhorando, assim, a eficiência da adubação NK. Quanto aos herbicidas testados, a maioria não promoveu acréscimo na produtividade quando associado com o nematicida, indicando justamente o efeito negativo. Neste experimento, o Sinerge foi o herbicida que melhor se ajustou ao nematicida, com acréscimo de 9,0 t ha⁻¹ na produtividade.

14. AGRICULTURA DE PRECISÃO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

A partir da década de 90, principalmente nos Estados Unidos, a aplicação pontual de fertilizantes tem sido desenvolvida com o objetivo de racionalizar o uso de insumos e corretivos assim como reduzir o impacto ambiental. Tal tecnologia tem sido empregada com maior rapidez em culturas anuais, inclusive no Brasil, porém em cana-de-açúcar tem-se encontrado uma série de limitações ao seu emprego.

Resultados preliminares a respeito de mapas de distribuição de nutrientes e corretivos em cana, obtidos em área de 15 ha e com malha de amostragem de 0,25 ha a 4,0 ha na região de Lençóis Paulista, SP, tida como homogênea, em solo de textura média, têm mostrado grande variabilidade, como, por exemplo, na saturação por bases (Figura 9). No caso do mapa de calcário, as doses variaram de 2.660 kg ha⁻¹ a 235 kg ha⁻¹, e as de fósforo de 150 kg ha⁻¹ a 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Na tentativa de obter mais informações relacionadas a este sistema, principalmente no que se refere ao módulo de amostragem e à produtividade, foi desenvolvido um experimento na região de Lençóis Paulista, SP (DEMATTÊ et al., 2000, 2001). Resumidamente, tal experimento constou do seguinte:

- Foram escolhidas duas áreas de reforma contíguas de 16 ha cada uma, em solo de textura média-argilosa. Uma das áreas, designada de Sistema Pontual (SP), foi subdividida em módulos de 4 ha, 2 ha, 1 ha, 0,5 ha e 0,25 ha. As correções químicas e as adubações foram feitas de acordo com as análises correspondentes a cada área específica. Para maior precisão em cada uma destas sub-áreas foram instaladas parcelas com repetições do tratamento correspondente. Na outra área, designada de Sistema Convencional (SC), os tratamentos foram montados de acordo com a média das análises.

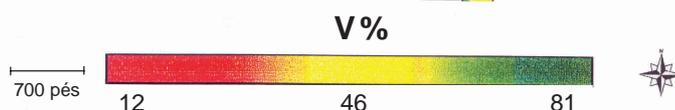
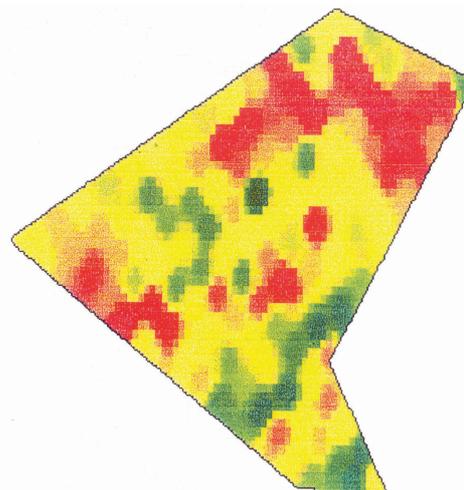


Figura 9. Mapa de variação da saturação por bases na região de Lençóis Paulista, SP.

Para dar maior consistência ao experimento, esta área também foi subdividida, exatamente como no sistema pontual, com as mesmas repetições, porém usando os corretivos e os fertilizantes pela média das análises.

- O experimento foi montado em março de 1998, o primeiro corte foi realizado em junho de 1999 e o segundo corte em julho de 2000. Os resultados estão indicados na Tabela 36.

Tabela 36. Produtividade da cana-de-açúcar em dois cortes nos sistemas pontual e convencional de condução da cultura.

Sistema	Módulo (ha)					Média
	4	2	1	0,5	0,25	
----- (t ha ⁻¹) -----						
Primeiro corte						
Pontual	121	106	115	115	105	112,6
Convencional	107	112	109	114	107	109,8
Segundo corte						
Pontual	100	93	95	95	97	96,0
Convencional	85	95	86	97	91	90,3

- Observe que a produtividade é variável em ambos os sistemas, porém, na média final e de acordo com a análise estatística, não houve diferenças entre os sistemas de produção. O módulo de 4 ha

Tabela 35. Associação de herbicida e nematicida em solo arenoso, em soqueira de quinto corte com a variedade SP 81-3250 da Usina Quatá (SP).

Tratamentos	Produtividade (t ha ⁻¹)		Diferença (t ha ⁻¹)
	Sem nematicida	Com nematicida	
Testemunha capinada	83	90	7
Provence 0,10 g + Gamit 2,0 L	90	87	-3
Gamit 1,5 L + Velpar 0,8 kg	90	92	3
Combine 0,8 L + Velpar 1,0 kg	87	87	0
Velpar 1,8 kg	86	86	0
Provence 0,170 g	84	85	1
Sinerge 4,0 L	84	93	9

foi o mais indicado pela análise estatística em termos de amostragem. Entretanto, somente os custos das análises de solos para o módulo de 0,25 ha foram maiores do que o custo do cloreto de potássio a ser usado. Em relação ao mapa de produtividade, a variabilidade no sistema pontual variou de 95 t ha⁻¹ a 134 t ha⁻¹ no primeiro corte e a tonelage de pol variou de 15,1 pol ha⁻¹ a 20,5 pol ha⁻¹ (Figuras 10 e 11, respectivamente).

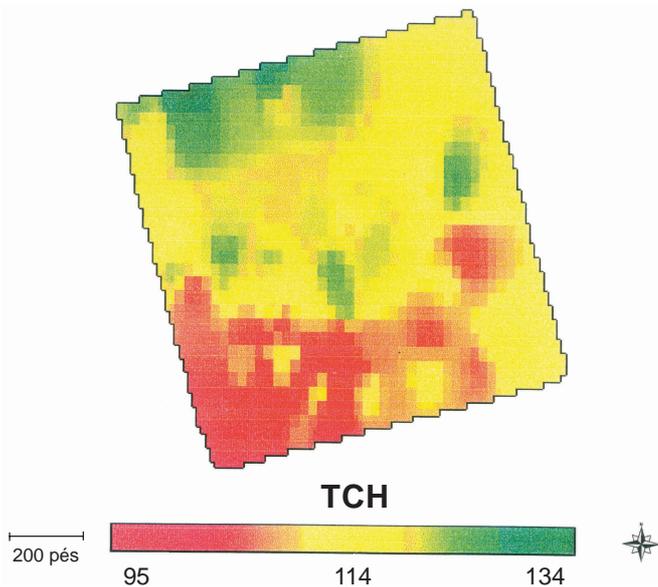


Figura 10. Mapa de produtividade em toneladas por hectare, em área de 16 ha na região de Lençóis Paulista, SP.

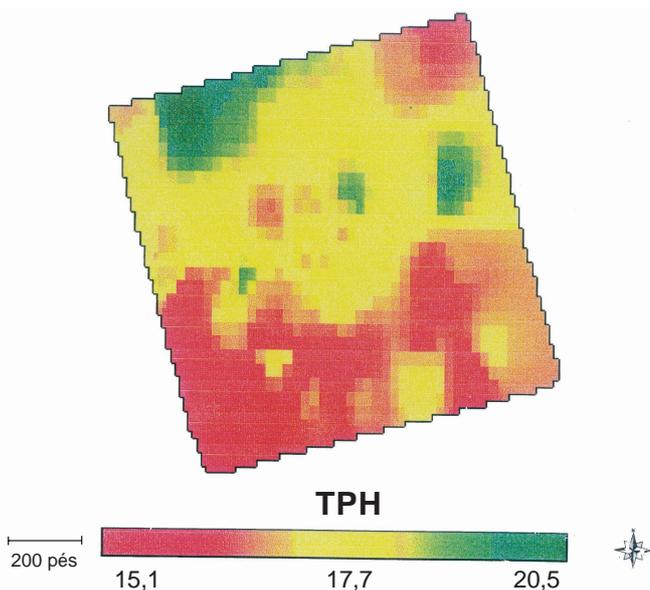


Figura 11. Mapa de produtividade em toneladas de pol por hectare, em área de 16 ha na região de Lençóis Paulista, SP.

Posteriormente, a Copersucar (1998), em ensaio com corte mecanizado de cana-de-açúcar na Usina São Martinho, SP, usando caçamba instrumentada acoplada a GPS, obteve o mapa e a frequência de produtividade. Num talhão de quarto corte a variabilidade foi de 40 a 140 t ha⁻¹.

As principais limitações ao emprego deste sistema na cana, além do maior custo, tem sido o desenvolvimento de equipamentos para a obtenção do mapa de produtividade. Posteriormente, com o mapa obtido, a questão é se haverá rapidez necessária para se fazer o diagnóstico dos fatores limitantes que estão induzindo a variabi-

lidade na produtividade agrícola. Além disso, e supondo que haja esta avaliação, se haveria tempo suficiente para, através das práticas agrícolas, atenuar tais limitações. É preciso entender que, na velocidade que se processa a safra nas usinas, tal inconveniente dificilmente será suplantado.

Sendo assim, o mapa de produtividade tende a perder interesse em relação a este aspecto do sistema. Por outro lado, ele poderá ser útil no diagnóstico dos fatores limitantes de áreas específicas dentro do talhão de cana e que poderão ser corrigidos na futura reforma.

Entretanto, como sugestão, podem ser utilizadas aplicações pontuais de calcário, gesso e fertilizante fosfatado por ocasião das reformas das áreas, tendo como módulos áreas de 4 ha ou mesmo talhões de 12 a 16 ha. Pode ser um início para o sistema.

15. POSSÍVEIS FRACASSOS NA ÁREA DE NUTRIÇÃO

Nem sempre a adubação apresenta os resultados esperados. Várias causas podem ser apontadas, entre elas: acidez do solo, compactação, encharcamento e assoreamento do sulco de plantio, mato-competição, falta de elementos essenciais, proporção inadequada de fertilizantes, fonte inadequada de elementos, localização, época de aplicação, pragas e moléstias, variedades pouco responsivas, etc. Tais causas devem ser devidamente avaliadas numa possível averiguação em caso de fracasso.

Entretanto, uma das principais causas do possível fracasso da adubação na cultura da cana-de-açúcar está relacionada à época de plantio. As épocas de plantio desta cultura, sem irrigação, na região centro-sul, vão desde meados de setembro a final de abril. Em solos de baixa fertilidade e baixa retenção de umidade o plantio deve ser feito a partir de meados de fevereiro em diante. O plantio de cana de ano e meio nestes solos, de dezembro a fevereiro, tendem a produzir menos do que o plantio de março e abril. A explicação é simples: no plantio antecipado a cana estará bem desenvolvida no período seco, de julho a outubro. Neste período, a evapotranspiração é maior comparada com a da cana plantada tardiamente e, como a reserva de umidade no solo não é suficiente para suprir tal evapotranspiração, a cana tende a secar. Com isso, no plantio tardio, a evapotranspiração no período seco será menor e a cultura tende a sofrer bem menos a falta de umidade. Com as chuvas a partir de outubro, a cana plantada tardiamente se desenvolverá com maior rapidez, comparada à cana plantada antecipadamente, e, conseqüentemente, terá maior produtividade. Tal situação tende a ser mais limitante à medida que o período seco se acentua, como no oeste do Estado de São Paulo, comparado à região de Piracicaba.

Num plantio irrigado, de maio a novembro, em cana de 12 meses, a produtividade caiu de 110 t ha⁻¹, em maio, para 106 t ha⁻¹, em julho, e 70 t ha⁻¹, em novembro, em áreas comerciais com solos de textura média-arenosa a arenosa da Usina da Barra, SP (Tabela 37). As menores produtividade observadas no plantio de setembro a novembro se devem ao período seco, de maio a outubro, que coincide com a cana adulta, com maior evapotranspiração, apesar do fato de que a quantidade de fertilizante utilizada foi a mesma para todo o período analisado.

Em região com solos de melhor fertilidade a tendência de produtividade tem sido a mesma que a de solos de baixa fertilidade. Em experimento de competição com seis variedades, instalado na Usina Passa Tempo, MS, em Latossolo Roxo, o plantio feito em junho de 2003 e colhido em junho de 2004 produziu, em média, 113 t ha⁻¹, contra 80 t ha⁻¹ em plantio feito em outubro de 2003 e cortado em outubro de 2004.

Tabela 37. Produtividade da cana-de-açúcar em função do déficit hídrico. Usina da Barra, SP.

Plantio	Maio/00	Junho/00	Julho/00	Agosto/00	Setembro/00	Outubro/00	Novembro/00
Corte	Maio/01	Junho/01	Julho/01	Agosto/01	Setembro/01	Outubro/01	Novembro/01
Produtividade (t ha ⁻¹)	110	104	106	84	70	69	70
Déficit (mm)	109	39	33	50	123	171	199

O mesmo princípio se aplica à região nordestina. Nesta região, o plantio de cana de ano e meio, de maio a agosto, tende a apresentar menor produtividade, 30% a 40% a menos do que as canas de 12 meses plantadas em pleno período seco, de setembro a janeiro.

Por outro lado, os diferentes níveis de compactação têm causado sérios transtornos na área de nutrição. A ação deste fator interfere na translocação de nutrientes para a zona das raízes e restringe a penetração da raiz no bloco compactado. A densidade limite para a penetração de raízes em solos argilosos foi delimitada pela Copersucar (1995b) como sendo 1,35 g cm⁻³.

LITERATURA

ALVAREZ, R.; ARRUDA, H.V.; WUTKE, A. P. C. Adubação de cana-de-açúcar. X - Experiência com diversos fosfatos (1959-60). *Bragantia*, v. 24, p. 1-8, 1965.

ARIAS, E.; GATTI, I. M.; RUSCHEL, A. P.; VOSE, P. B. Primeiras observações ao microscópio eletrônico de bactérias fixadoras de N na raiz de cana-de-açúcar. *Turrialba*, n. 28, p. 203-207, 1978.

AYRES, A. Phosphate fixation in Hawaii soils. *Hawaii Plant Rec.*, Honolulu, v. 38, p.131-145, 1934.

AZEREDO, D. F. de; BOLSANELLO, J.; WEBWE, H.; VIEIRA, J. R. Nitrogênio em cana-planta - doses e fracionamento. *Revista STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v. 4, p. 26-33, 1986.

BARNES, A. C. *The sugar cane*. New York: Interscience, 1964. 456 p.

BENEDINI, M. S. **Calcário e gesso na cana-de-açúcar**. IDEA News, Ribeirão Preto, n. 48, 2004.

BENEDINI, M. S. **Novo conceito no uso de calcário em cana-de-açúcar**. Piracicaba: Copersucar, 1988. (Série Agronômica, n. 16)

BENEDINI, M. S.; KORNDÖRFER, G. H. Avaliação de critérios para recomendação de calcário em cana-de-açúcar. *Revista STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v. 10, n. 3, p. 20-25, 1992.

BITTENCOURT, V. C.; PAIXÃO, A. C. S.; BEAUCLEAR, E. G. F. Diagnóstico nutricional da cana-de-açúcar através da análise do caldo. Dados preliminares. *Revista STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v. 11, 1992.

CAMARGO, P. B. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes: uréia (¹⁵N) e aquamônia (¹⁵N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 1989. Dissertação (Mestrado)-CENA/ESALQ.

CARNAUBA, B. A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. *Revista STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v. 8, 1990.

CARNEIRO, A. V.; TRIVELIN, P. C.; VITÓRIA, P. L. Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio no desenvolvimento da cana-planta. *Scientia Agricola*, v. 52, p. 199-209, 1995.

CESAR, M. A. A.; DELGADO, A. A.; CAMARGO, A. P. de; BISSOLI, B. M. A.; SILVA, F. C. da. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. *Revista STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos*, p. 32-38, 1987.

COLETTI, J. T. **Uso de torta de filtro e bagaço humificado na cultura da cana-de-açúcar**. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM ADUBAÇÃO DE PLANTAS CULTIVADAS. Piracicaba: ESALQ/USP, 1983. (mimeografado)

COPERSUCAR. Agrícola Informa. **Adubação com nitrogênio e potássio em cana-planta e cana-soca**. Piracicaba, 2001. (Boletim n. 129)

COPERSUCAR. Agrícola Informa. **Adubação foliar**. Piracicaba, 1999a. (Boletim n. 14)

COPERSUCAR. Agrícola Informa. **Adubação NK em cana-planta e cana-soca**. Piracicaba, 2000a. (Boletim n. 122)

COPERSUCAR. Agrícola Informa. **Adubação nitrogenada em cana-planta**. Piracicaba, 1995a. (Boletim n. 29)

COPERSUCAR. Agrícola Informa. **Adubação nitrogenada em cana-planta**. Piracicaba, 2000b. (Boletim n. 115)

COPERSUCAR. Agrícola Informa. **Agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 1998. (Boletim n. 91)

COPERSUCAR. Agrícola Informa. **Liberção de nutrientes da palha com e sem utilização de nitrogênio marcado (¹⁵N) em áreas com sem vinhaça**. Piracicaba, 2000c. (Boletim n. 116)

COPERSUCAR. **Efeito do cultivo mecânico em soqueira de canaviais colhidos sem queimar - Projeto cana crua**. Piracicaba, 1999b. (Boletim n. 106)

COPERSUCAR. **Potencial de compactação do solo**. Piracicaba, 1995b. (Informe Agrícola 37)

COPERSUCAR. Potencial de produção de cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1997. p. 68-76.

COPERSUCAR. **Silício em cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2000d. (Boletim n. 114)

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. *Rev. Bras. Ci. do Solo*, v. 27, p. 631-637, 2003.

DEMATTÊ, J. L. I. Solos arenosos de baixa fertilidade: Estratégia de manejo. In: SEMINÁRIO AGRO INDUSTRIAL, 5., e SEMANA "LUIZ DE QUEIROZ", 29., Piracicaba, 1986. (Mimeografado)

DEMATTÊ, J. A. M.; MORELLI, J.; DEMATTÊ, J. L. I. **Agricultura de precisão aplicada à cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2001.

DEMATTÊ, J. A. M.; MORELLI, J.; NELLI, E. J.; NEGRÃO, R. Precision farming applied to sugar cane in São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 2., 2000, Lake Buena Vista, Florida. ERIM, 2000. p. 388-394.

DÖBEREINER, J. Denitrogen fixation in rhizosphere and phyllosphere associations. In: LAUHLI, A.; BIELESKI, R. I. (Ed.). *Inorganic Plant Nutrition*. Berlin, 1983.

DÖBEREINER, J. Nitrogen fixing bacteria of the genus *Beijerinchia* Derk in the rhizosphere of sugar cane. *Plant Soil*, v. 15, 1961.

GAVA, G.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Recuperação do nitrogênio (¹⁵N) da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 621-630, 2003.

GREENLAND, D. J. Soil organic matter in relation to crop nutrition and management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, China, *Proceedings...* 1986.

KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Application of silicon enhances resistance of sugarcane to stalk borer *Eldana saccharina* Walker. In: CONGRESS ENTOMOLOGICAL SOC., 12., 1999. *Proceedings...*

KOFLER, N. F. A profundidade do sistema radicular e o suprimento de água as plantas no Cerrado. *Informações Agronômicas*, n. 33, p. 1-4, 1986.

KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. J. Avaliação de fontes de silício para o arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1., e REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. *Anais...* Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 313-316.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do silício na produção da cana-de-açúcar. *Revista STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v. 21, n. 1, p. 6-9, 2002.

LORENZETTI, J. M.; RODRIGUES, J. C.; MORALES, S. H.; DEMATTÊ, J. L. I. Uso de calcário e gesso em soqueira de cana-de-açúcar. *Revista STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v. 10, n. 3, p. 14-18, 1992.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. **Avaliação do estado nutricional das plantas - princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.

MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G. Calagem. In: **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Instituto do Açúcar e do Alcool, Planalsucar, 1983.

MORELLI, J.; DEMATTÊ, J. L. I.; DALBEN, A. E. Parcelamento da adubação nitrogenada em cana-planta: aplicação no solo. *Revista STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v. 15, 1997a.

MORELLI, J.; DEMATTÊ, J. L. I.; NELLI, E. Parcelamento da adubação nitrogenada em cana-planta e cana-soca: aplicação foliar. *Revista STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v. 16, 1997b.

MORELLI, J.; NELLI, E.; 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*, v. 6, 1987.

MORELLI, J.; DALBEN, A. E.; ALMEIDA, J. O. C.; DEMATTÊ, J. L. I. Calcário e gesso na produtividade de cana-de-açúcar e nas características químicas de um latossolo de textura média, álico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 16, p. 187-194, 1992.

MORELLI, J.; NELLI, E. J.; BAPTISTELLA, J. R.; DEMATTÊ, J. L. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas propriedades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 15, p. 57-61, 1991.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e plantas em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C.; GAVA, G.; VITTI, A. C. Lixiviação de nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar: experimento em lisímetro. *Revista STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v. 18, 1999.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C.; PENATTI, C.; PICCOLO, M. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 12, p. 2359-2362, 1999.

ORLANDO FILHO, J.; SILVA, L.; MANOEL, L. Fontes de calcário aplicadas em área total e sulco de plantio em cana-de-açúcar. *Revista STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v. 9, 1990.

PADOVESE, P. P. **Movimento e perdas de nitrogênio e potássio num solo com cana-de-açúcar (Saccharum spp.)**. Piracicaba, 1988. 119 p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ/USP.

PEARSON, R. W. Soil environment and root development. In: PIERRE, W. H.; KIRKHAM, D.; SHAW, R. J. *Plant environment and efficient water use*. Amer. Soc. Agronomy, 1996. p. 95-126.

PENATTI, C. P.; FORTI, J. A. Calcário e gesso em cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 6., Piracicaba, 1994. Piracicaba: Copersucar, 1994.

PENATTI, C. P.; FORTI, J. A. Projeto: calcário e gesso em cana-de-açúcar. *Boletim Copersucar*, 1993.

PREZZI, P. The effect of silica on cane growth. *The South African Sugar Technol. Assoc. Proc.*, v. 44, p. 183-188, 1970.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 111 p.

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

RAIJ, B. van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular do subsolo**. São Paulo: ANDA, 1988. 88 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285 p.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.; URQUIAGA, S. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant system with emphasis on the tropics. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AGROCHEMICAL, 1982. Rome. *Proceedings...* Viena: IAEA, 1982.

REIS, E. L.; CABALA-ROSAND, P. Respostas da cana-de-açúcar ao nitrogênio, fósforo e potássio em solo de tabuleiro do sul da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 10, n. 2, p.129-134, 1986.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; SOUZA, D. M. G. Lixiviação de cálcio e crescimento de raízes em solos de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18., 1981, Salvador. *Anais...* Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1981.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E.; CARNEIRO, C. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. Perdas de N por lixiviação em cana-planta fertilizada com uréia (¹⁵N). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 23, n. 7, p. 725-732, 1988.

SINGH, M. Estimation of nitrogen fixation in *Saccharum* spp. by ¹⁵N dilution method. *Journal Nuclear Agric. Biol.*, v. 23, p. 1-5, 1994.

SOUZA, D. M. G. de. Adubação e reações de fósforo no solo. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, 1982, Campo Grande. AEAMS/ANDA/INSTITUTO DA POTASSA/FUFMS. (Mimeografado)

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. *Informações Agronômicas*, n. 112, 2003. 16 p. (Encarte Técnico)

SOUZA, E. C. A. de; YASUDA, M. (Ed.). **Uso agronômico do termofosfato no Brasil**. 2.ed. Poços de Caldas: Fertilizantes Mitsui, 2003. 50 p.

SOUZA, D. M. G. de; REIN, T. A.; LOBATO, E.; RITCHEY, K. Sugestões para diagnóstico e recomendações de gesso em solos de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992. Uberaba. *Anais...* Uberaba, 1992. p. 139-158.

TRIVELIN, P. C.; RODRIGUES, J. C. S.; VITÓRIA, R. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia ¹⁵N e uréia ¹⁵N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 1, p.89-99, 1996.

TRIVELIN, P. C.; VITÓRIA, R. L.; RODRIGUES, J. C. S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de ciclo do nitrogênio da aquamônia ¹⁵N e uréia ¹⁵N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 30, n. 12, p. 1375-85, 1995.

ZAMBELLO, E.; RODELLA, A.; ORLANDO FILHO, J.; ARAGÃO, J. Interação calcário e fósforo na cana-de-açúcar. *Revista STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v. 1, 1983.

URQUIAGA, S.; RESENDE, A.; ALVES, B. Fixação biológica de nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar: perspectivas. In: WORKSHOP SOBRE AVALIAÇÃO E MANEJO DOS RECURSOS NATURAIS EM ÁREA DE EXPLORAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR. Aracaju: Embrapa, 1997.