

EFEITOS DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO NA UTILIZAÇÃO DE NITRATO E DISTRIBUIÇÃO DE CARBOIDRATOS EM CANA-DE-AÇÚCAR¹

JOAQUIM ALBENÍSIO GOMES DA SILVEIRA² e OTTO JESU CROCOMO³

RESUMO - Cana-de-açúcar foi cultivada em casa de vegetação e solução nutritiva com nove combinações $\text{NO}_3^- \times \text{K}$. Os níveis de N e K, isoladamente, mais que a interação entre NK, afetaram de maneira diferente a distribuição de fitomassa entre raízes, colmos e folhas. A combinação N_2K_3 foi a que proporcionou menores valores de atividade da redutase do nitrato e menores concentrações de nitrato e N-amino solúvel em relação a N_2K_1 e N_2K_2 . O índice de conversão de N (kg colmo/kg N) diminuiu em função do aumento do nível de N e nas plantas deficientes em K. Os tratamentos com níveis elevados de N apresentaram menores concentrações de açúcares redutores e sacarose. A combinação N_2K_3 apresentou maiores concentrações de sacarose em folhas e colmos. O maior rendimento no tratamento N_2K_3 deve estar relacionado a um equilíbrio funcional mais favorável quanto à produção e mobilização de sacarose para colmos e custos energéticos menores para utilização de nitrogênio.

Termos para indexação: nutrição de plantas, metabolismo de N e K, assimilação de N, açúcares, *Saccharum*.

NITRATE UTILIZATION AND CARBOHYDRATE DISTRIBUTION AS AFFECTED BY NITROGEN AND POTASSIUM NUTRITION IN SUGAR CANE PLANTS

ABSTRACT - The experiment was carried out in a greenhouse and in nutrient solutions with three combination of NO_3^- with three K levels each combination. The N and K levels, alone, affected the dry matter distribution between roots, stalks and leaves, more than N-K interactions. N and K-deficient plants presented the lowest growth of leaves and stalks, respectively. The N_2K_3 combination promoted the largest dry matter accumulation in the stalks. These plants showed lower nitrate and soluble N-amino concentrations and lower nitrate reductase activity than N_2K_1 and N_2K_2 . The protein concentration was altered only by N deficiency. The N conversion index (kg of stalk/kg of N) was reduced by increasing N levels and in K-deficient plants. The highest N levels caused decreases in the concentrations of sucrose and reducing sugars in leaves and stalks. The N_2K_3 combination showed the highest levels of sucrose in leaves and stalks. The highest yield in N_2K_3 combination may be related with higher photosynthetic efficiency, higher sucrose translocation to the stalk and lower energetic costs of nitrogen utilization.

Index terms: plant nutrition, N and K metabolism, N assimilation, sugars, *Saccharum*.

INTRODUÇÃO

Nitrogênio e potássio são nutrientes requeridos em grandes quantidades por cana-de-açúcar. Estes elementos participam direta-

mente do sistema fonte-dreno, com reflexos na produção e qualidade do produto final (Alexander 1973, Humbert 1974). O N apresenta efeitos marcantes no Índice de Área Foliar e na intensidade de perfilhamento (Novoa & Loomis 1981, Silveira 1985). Por outro lado, os processos de absorção e assimilação de nitrato consomem quantidades elevadas de energia (Schrader 1984). Em cana-de-açúcar, altas concentrações de N provocam diminuição nas concentrações de açúcares redutores e sacarose (Silveira & Crocomo 1981).

¹ Aceito para publicação em 22 de novembro de 1990

² Eng.-Agr., Dr., Prof., E.S.A. "Luiz de Queiroz" e CENA/USP, Caixa Postal 96, CEP 13400 Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq.

³ Eng.-Agr., Dr., Prof., E.S.A. "Luiz de Queiroz"/USP e CEBTEC/FEALQ, Caixa Postal 9, CEP 13400 Piracicaba, SP.

O N apresenta efeitos positivos sobre a taxa de fotossíntese, através de uma relação linear entre a %N e a taxa de fixação de CO_2 (Hart 1970, Black et al. 1978, Bolton & Brown 1980). O aumento dos níveis de proteínas das folhas pode provocar elevação nos custos de manutenção através de incrementos na respiração (Barnes & Hole 1978). Isto poderia explicar as diferenças na eficiência de uso de N entre variedades (Gascho et al. 1986), assim como as baixas respostas ao N-fertilizante durante o ciclo de cana-planta no Brasil (Rossiello 1987). Apesar de K interagir com o N (Murphy 1980), pouco é conhecido a respeito do envolvimento direto e simultâneo dos dois nutrientes nos processos de síntese de proteínas e fotossíntese.

O K participa direta e indiretamente no processo de fotossíntese, ao nível de fotofosforilação e assimilação de CO_2 (Mengel 1977, Huber 1985), além de atuar no carregamento e transporte de sacarose no floema (Haeder 1977, Mengel 1985). Em cana-de-açúcar, o elemento apresenta efeitos favoráveis sobre o conteúdo de sacarose e qualidade do caldo, diminuindo as concentrações de aminoácidos livres (Hart 1934, Humbert 1974). Esse nutriente participa também de outros processos como transpiração, transporte de nitrato e síntese de proteínas (Marschner 1986), diretamente relacionados com a eficiência de uso de N e produção fotossintética.

Alguns trabalhos com cana-de-açúcar em condições de campo demonstraram haver interação entre N e K quanto à produção (Samuels 1969, Zambelo Júnior 1979). Plantas jovens cultivadas em solução nutritiva apresentam diferenças na atividade de enzimas relacionadas com o metabolismo de carboidratos em função dos níveis de K e NO_3^- (Alexander 1964). Entretanto, existe muito pouco conhecimento a respeito do envolvimento de N e K nos processos de assimilação de nitrato e metabolismo de carboidratos.

O presente trabalho objetiva estudar o envolvimento de nitrogênio e potássio na assimilação de nitrato e distribuição de carboidratos em cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

Condições experimentais

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, em Piracicaba, SP, durante o período de março a setembro. As amplitudes de variação das temperaturas médias e mínimas, médias e máximas, durante o experimento, foram de 8/12, 17/22 e 26/31°C, respectivamente. O plantio foi feito com gemas isoladas da porção central de colmos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) cv. NA56-79, previamente esterilizadas durante 30 minutos com hipoclorito de sódio a 10% e tratadas contra raquitismo, conforme Silva (1976). As gemas foram colocadas para germinar em bandejas contendo vermiculita umedecida com CaSO_4 0,1 mM. Após emergência, as platinhas foram irrigadas semanalmente com solução nutritiva completa de Hoagland & Arnon diluída 1:10. Trinta dias após o plantio (DAP), as plantas selecionadas foram transferidas para vasos contendo três litros de solução (duas plantas/vaso), que foi renovada a cada quinze dias até os 60 DAP. Após este período, foram transferidas para vasos contendo 10 litros de solução, que foi renovada a cada trinta dias. Todas as soluções receberam aeração forçada.

Delineamento experimental e composição do meio nutritivo

Foram utilizados nove tratamentos principais, três épocas de colheita (60, 120 e 180 DAP), com três repetições, em delineamento inteiramente casualizado. As comparações entre médias foram realizadas através do teste de Tukey a partir de análise da variância em esquema fatorial. Os tratamentos foram resultantes da combinação de três níveis de NO_3^- ($\text{N}_1 = 1,0$; $\text{N}_2 = 9,0$; $\text{N}_3 = 18$ mM) com três de K ($\text{K}_1 = 0,1$; $\text{K}_2 = 6,0$; $\text{K}_3 = 18,0$ mM) na solução nutritiva. As concentrações de H_2PO_4^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{2-} , Cl^- e Na^+ , nos diversos tratamentos, são mostradas na Tabela 1. Os micronutrientes foram fornecidos conforme solução de Johanson, descrita em Epstein (1972). Os valores de pH das soluções variaram de 6,0 a 7,0 durante o período experimental.

Determinações analíticas

As plantas foram colhidas aos 60, 120 e 180 DAP no período da manhã. O material foi separado em raízes, colmos (colmo + bainha) e folhas. As análises nas folhas foram efetuadas nas lâminas das terceiras

TABELA 1. Concentração dos nutrientes nas soluções nutritivas dos nove tratamentos (expresso em mM).

Tratamento	NO ₃ ⁻	K ⁺	H ₂ PO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Na ⁺
N ₁ K ₁	1,0	0,1	1,0	3,0	1,0	1,0	3,1	2,0
N ₂ K ₁	9,0	0,1	1,0	3,0	1,0	1,0	0,1	4,0
N ₃ K ₁	18,0	0,1	1,0	3,0	1,0	1,0	0,1	12,0
N ₁ K ₂	1,0	6,0	1,0	3,0	1,0	1,0	3,0	2,0
N ₂ K ₂	9,0	6,0	1,0	3,0	1,0	1,0	5,6	4,0
N ₃ K ₂	18,0	6,0	1,0	3,0	1,0	1,0	0,1	7,0
N ₁ K ₃	1,0	12,0	1,0	3,0	1,0	4,0	9,0	2,0
N ₂ K ₃	9,0	12,0	1,0	3,0	1,0	4,0	6,0	4,0
N ₃ K ₃	18,0	12,0	1,0	3,0	1,0	1,0	6,0	7,0

e quartas folhas (totalmente expandidas), com exceção da primeira coleta, na qual, se utilizou a média de todas as folhas. Após determinação da massa seca das três partes, o material foi moído até 20 mesh. A atividade de redutase de nitrato foi determinada através do método *in vivo* de Hageman & Hucklesby (1971), utilizando-se a porção central da folha + 3. A concentração de nitrato foi mensurada com o método de Gine et al. (1983); N-amino solúvel foi medido na fração etanólica a partir de reação com ninhidrina (Kabat & Mayer 1967); as proteínas foram quantificadas colorimetricamente (Lowry et al. 1952); N-total foi determinado pelo método Kjeldahl e K por fotometria de chama (Jørgensen 1977); açúcares redutores (AR) e açúcares redutores totais (ART) foram quantificados pelo método de Somogy & Nelson, e a concentração de sacarose, estimada pela diferença (ART - AR) x 0.95 (Amorim & Zago 1978).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção e distribuição da fitomassa

A matéria seca acumulada em raízes, colmos e folhas da cultivar NA56-79 de cana-de-açúcar, em função dos tratamentos, apresentou praticamente o mesmo modelo de variação nas três épocas de colheita (Fig. 1). Observaram-se diferenças mais nítidas quanto aos efeitos dos níveis de N e K, isoladamente, que os devidos à interação N-K. As respostas positivas foram significativas somente entre os níveis

N₁-N₂ e K₁-K₂ (as plantas dos níveis N₁ e K₁ apresentaram sintomas visuais da deficiência de nitrogênio e potássio, respectivamente). Entretanto, não houve diferenças entre a matéria seca produzida e distribuída nas plantas dos tratamentos N₁K₁, N₁K₂ e N₁K₃, evidenciando que a cultivar não respondeu aos incrementos de K quando o N foi limitante. Por outro lado, a elevação das doses de N₁ para N₂ provocou incrementos de fitomassa em raízes, colmos e folhas mesmo na presença de níveis deficientes em K-tratamentos N₁K₁ e N₂K₁ (Fig. 1).

Os tratamentos com baixos níveis de N, independentemente das concentrações de K, apresentaram distribuição de matéria seca preferencial para as raízes, em relação a colmos e folhas, proporcionando valores baixos de relação parte aérea/raiz (Fig. 2). A deficiência de K, por outro lado, independentemente do nível de N (tratamentos N₂K₁ e N₃K₁), induziu uma alocação preferencial nas folhas, provocando aumentos significativos na relação folha/colmo (dados não apresentados). As respostas ao K foram mais evidenciadas no crescimento de colmos, principalmente aos 180 DAP, época onde os internódios estavam bastante desenvolvidos nas plantas não deficientes (Fig. 1). Os valores de matéria seca nos colmos das plantas N₂K₁, N₂K₂ e N₂K₃ foram de 13; 37 e 45 g, respectivamente.

O nível elevado de N ($N_3 = 18 \text{ mM}$) na solução nutritiva provocou reduções significativas (teste Tukey ao nível de 5%) na quantidade de matéria seca de raízes, e pequenas diminuições em colmos e folhas em relação ao nível N_2 , aos 180 DAP, o que proporcionou

aumentos na relação parte aérea/raiz, principalmente em presença de níveis não limitantes de K (Fig. 2). O tratamento N_2K_3 apresentou a maior produção de matéria seca na planta inteira, sendo a diferença mais evidenciada nos colmos aos 180 DAP (Fig. 2 e 3), indicando que a produção e distribuição da fitomassa foi mais influenciada pelo equilíbrio nutricional N/K do que pela interação N-K, no sentido restrito. Estes resultados estão dentro do esperado e de acordo com outros trabalhos (MacLeod 1969, Baldwin 1976, Kochl 1977).

Diversos trabalhos têm demonstrado que a carência de N induz uma distribuição preferencial de matéria seca para as raízes, enquanto que níveis elevados do nutriente provocam aumentos na relação entre parte aérea/raiz (Baldwin 1976, Marschner 1986), através de mecanismos ainda não esclarecidos (Penning de Vries 1980). É provável que haja envolvimento direto de fitormônios, principalmente citocininas (Beringer 1980). Dessa maneira, o nível N_2 possibilitou maiores produções de matéria seca em relação aos níveis N_1 e N_3 . A combinação N_2K_3 , portanto, apresentou o melhor equilíbrio N/K em relação à quantidade de energia para utilização de N (absorção e redução de nitrato, síntese e manutenção de proteínas, transporte, etc.) e quanto ao nível de K para otimizar processos chaves como fotossíntese, transporte de sacarose, síntese de proteínas, transpiração, etc.

Participação de potássio na utilização do nitrogênio

Os valores do índice de conversão de N em colmos, IC_N (g MS colmo/g N) apresentaram a tendência de diminuir em função do nível de N, independentemente da concentração de K, aos 180 DAP. As plantas deficientes somente em K (N_2K_1 e N_3K_1) apresentaram os menores IC_N em relação às plantas não deficientes (Fig. 3). Os resultados desse índice foram relacionados inversamente, com as concentrações de N-total e $N-NO_3^-$ no colmo (Fig. 4 e 5). É possível que as maiores concentrações de N-amino solúvel nas plantas deficientes em K

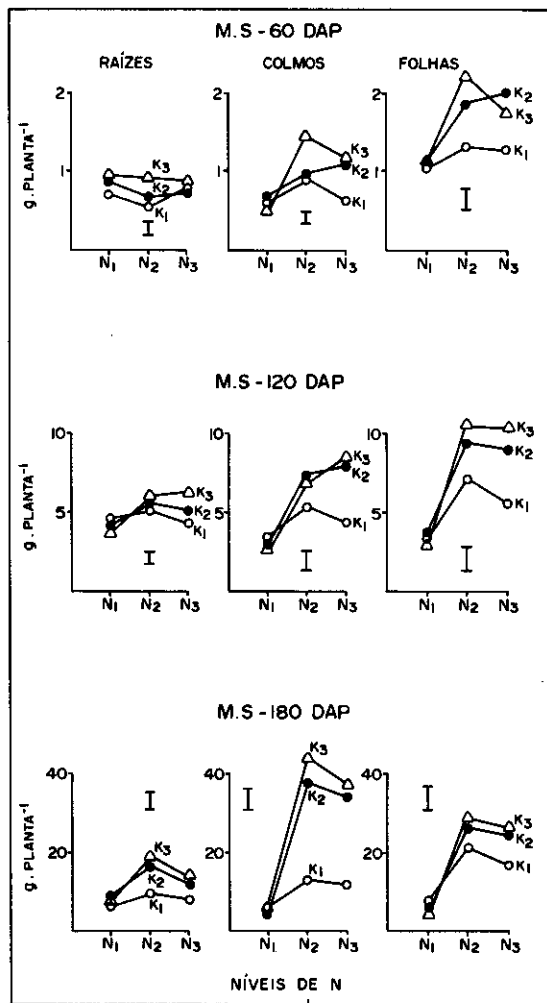


FIG. 1. Distribuição da matéria seca (MS) em raízes, folhas e colmos de cana-de-açúcar cv. NA56-79, aos 60, 120 e 180 dias após plantio (DAP), cultivadas em solução nutritiva com diferentes níveis de N ($N_1 = 1,0$; $N_2 = 9,0$; $N_3 = 18,0 \text{ mM}$) e K ($K_1 = 0,1$; $K_2 = 6,0$; $K_3 = 12,0 \text{ mM}$). Barras indicam diferença mínima significativa entre tratamentos (Tukey $p = 0,05$).

(Fig. 5) possam estar diretamente relacionadas com a "eficiência" menor de conversão de N em fitomassa devido à menor intensidade de síntese de proteínas naqueles tratamentos. Os resultados acima estão de acordo com outros trabalhos, onde plantas cultivadas com níveis

elevados de N apresentaram menores valores de índice de conversão de N (Novoa & Loomis 1981, Silveira 1985).

As concentrações de $N-NO_3^-$ nos colmos aumentaram linearmente em função do nível de nitrato da solução nutritiva, independente-

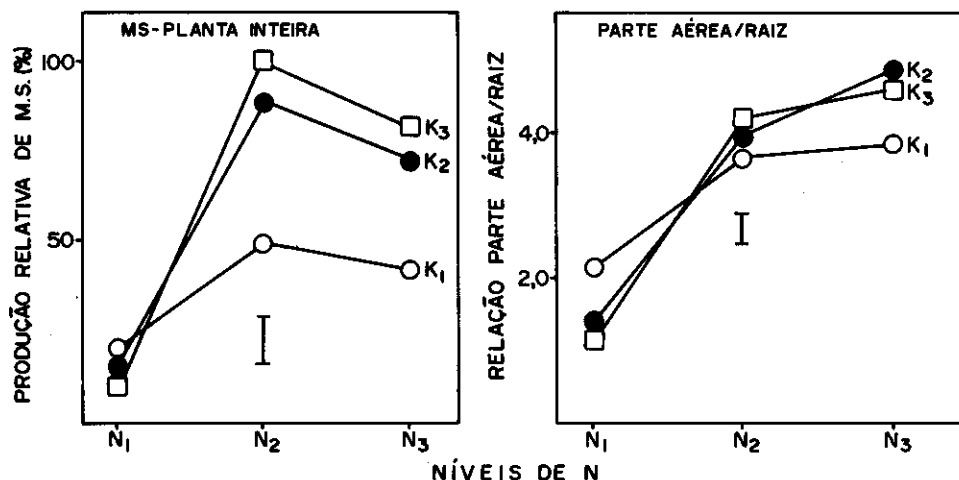


FIG. 2. Distribuição da matéria seca (MS) na planta inteira e relação parte aérea/raiz de cana-de-açúcar cv. NA56-79, aos 180 dias após plantio (DAP), nos nove tratamentos. (O valor relativo 100 = 91 g.planta⁻¹). Barras indicam diferença mínima significativa entre tratamentos (Tukey $p = 0,05$).

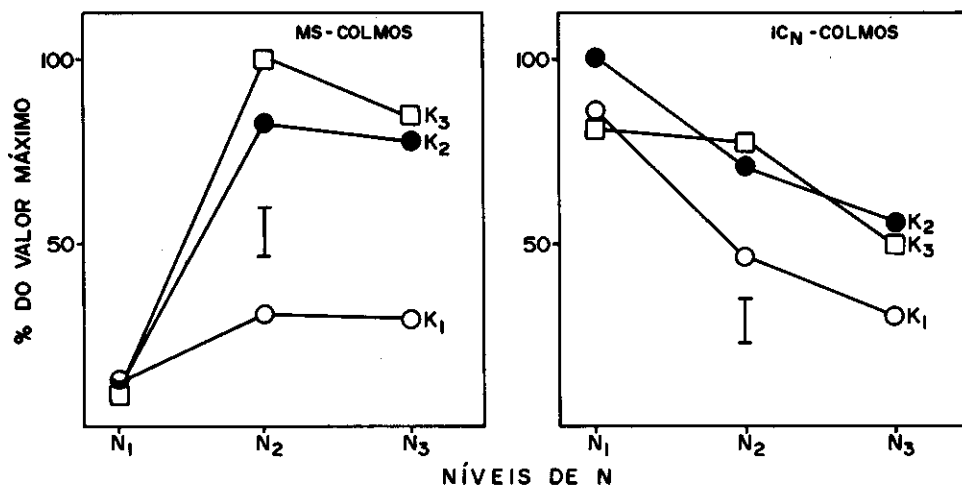


FIG. 3. Valores relativos de matéria seca (MS) e índice de conversão de N (IC_N) em colmo de cana-de-açúcar cv. NA56-79 aos 180 dias após plantio (DAP) nos nove tratamentos. (Os valores relativos 100 correspondem a 44 g.colmo⁻¹ e 128 kg colmo.kg de N⁻¹, respectivamente). Barras indicam diferença mínima significativa entre tratamentos (Tukey $p = 0,05$).

mente da concentração de K (Fig. 5). Os valores da atividade de redutase do nitrato e concentração de proteínas nas folhas aumentaram entre os níveis N_1 e N_2 , nas três concentrações de K. A tendência observada entre os níveis N_2 e N_3 foi a de não haver alteração nas con-

centrações de proteínas, nas seis combinações NK (Fig. 6). As atividades de redutase do nitrato, por outro lado, sofreram efeitos nítidos da interação N-K. As combinações NK_3 apresentaram um modelo de resposta diferente em relação às combinações NK_1 e NK_2 . A ativi-

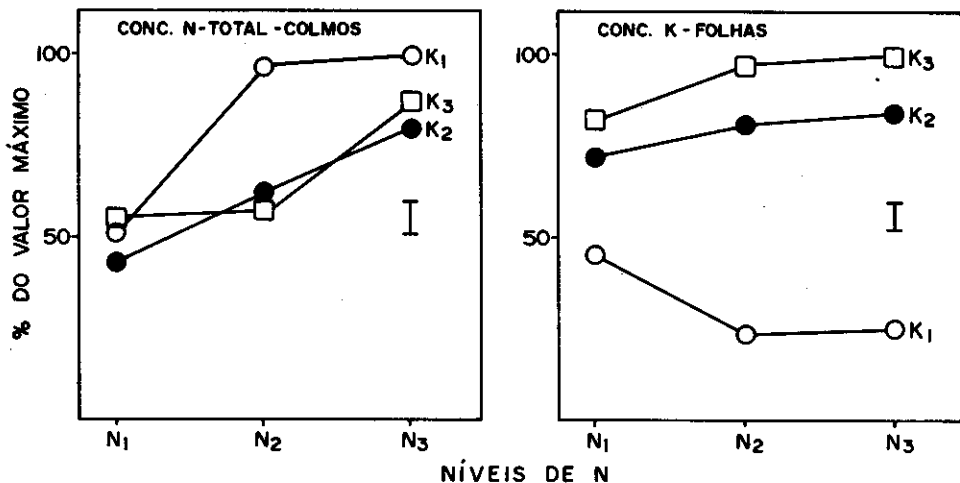


FIG. 4. Valores relativos de concentração de N total em colmos e K total em folhas de cana-de-açúcar, aos 180 dias após plantio (DAP), nos nove tratamentos. (Os valores relativos 100 correspondem a $1,7 \text{ g N (100 g de MS)}^{-1}$ e $2,4 \text{ g K (100 g de MS)}^{-1}$ respectivamente. Barras indicam diferença mínima significativa entre tratamentos (Tukey $p = 0,05$).

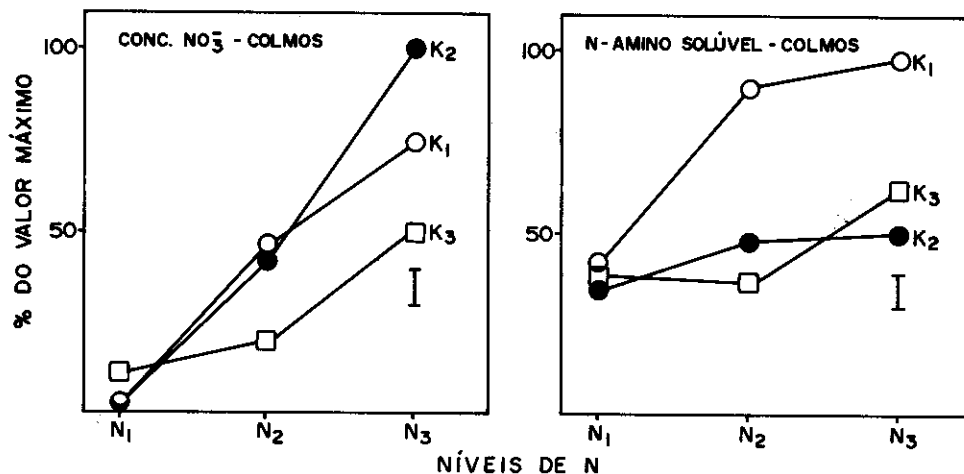


FIG. 5. Valores relativos de concentração de NO_3^- e N-amino solúvel em colmo de cana-de-açúcar cv. NA56-79 aos 180 dias após plantio (DAP) nos nove tratamentos. (Os valores relativos 100 correspondem a $19 \text{ umoles de NO}_3^- \text{ (g de MS)}^{-1}$ e $0,4 \text{ g de N-amino. (100 g de MS)}^{-1}$ respectivamente. Barras indicam diferença mínima significativa entre tratamentos (Tukey $p = 0,05$).

dade da enzima nestes últimos tratamentos aumentou várias vezes entre N_1 e N_2 e permaneceu constante entre N_2 e N_3 . De outra maneira, o incremento observado entre os tratamentos N_1K_3 e N_2K_3 foi pequeno, enquanto que entre N_2K_3 e N_3K_3 observou-se um aumento pronunciado na atividade da enzima (Fig. 6).

As diferenças observadas para os modelos de variação da atividade de redutase de nitrato, em função das interações N-K, são semelhantes às observadas para as concentrações de N- NO_3^- e de N-amino nos colmos (Fig. 5). Os resultados evidenciam a ocorrência de interações N-K significativas para a utilização de nitrogênio, inclusive entre os tratamentos com plantas não deficientes. Esses dados poderiam explicar a maior produção de fitomassa no tratamento N_2K_3 (Fig. 2 e 3). É provável que as plantas daquele tratamento (N_2K_3) tenham apresentado um equilíbrio nutricional N/K mais favorável, levando-se em conta que níveis elevados de K favorecem a absorção e o transporte de nitrato (Mengel 1985) e síntese de proteínas (Blevins 1985), enquanto que níveis muito elevados de N consomem grandes quantidades de energia para absorção e redu-

ção de nitrato, síntese e manutenção de proteínas, com reflexos negativos no crescimento (Barnes & Hole 1978).

As maiores concentrações de K nos colmos das plantas N_2K_3 em relação as dos tratamentos N_2K_1 e N_2K_2 (Fig. 4) estão relacionadas com valores mais baixos de concentração de nitrato nos colmos e atividade de redutase de nitrato nas folhas (Fig. 5 e 6). A mesma tendência foi observada para as concentrações de N-amino solúvel nos colmos, porém as diferenças não foram significativas ao nível do teste de Tukey a 5% (Fig. 5). Estes dados evidenciam que a maior acumulação de fitomassa (Fig. 1) e de sacarose (Fig. 8), nos colmos das plantas N_2K_3 estão relacionados com a utilização mais eficiente do nitrato absorvido. Os valores mais baixos na atividade de redutase de nitrato podem refletir apenas uma dependência circunstancial do fluxo de NO_3^- a partir dos colmos (Silveira & Crocomo 1981). Nas condições fisiológicas (*in situ*), a atividade da enzima pode estar sob forte controle bioquímico. Nestes casos, a medida *in vivo* poderá refletir uma situação artificial (Huffaker & Rains 1978).

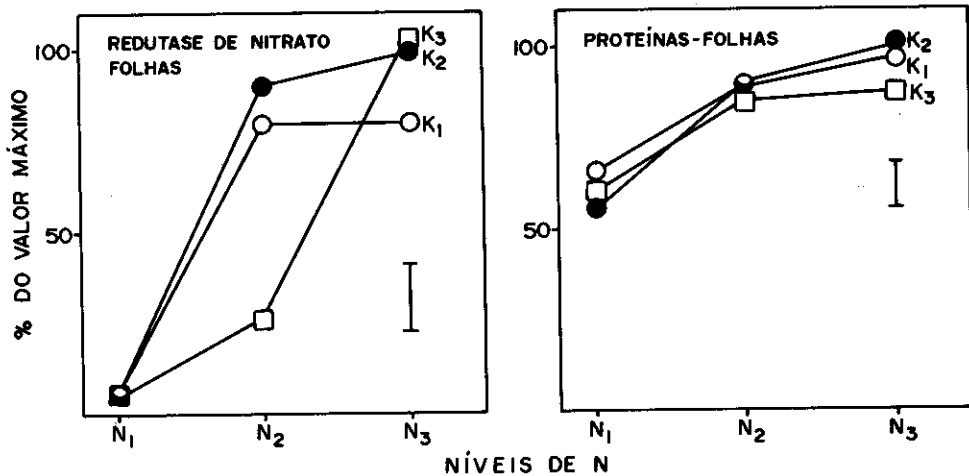


FIG. 6. Valores relativos de atividade de redutase de nitrato e concentração de proteínas em folhas de cana-de-açúcar cv. NA56-79 aos 180 dias após plantio (DAP), nos nove tratamentos. (Os valores 100 correspondem a 2,5 μ moles de $NO_2^- \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ e 16,1 g de proteína ($\cdot 100$ g de MS) $^{-1}$, respectivamente. Barras indicam diferença mínima significativa entre tratamentos (Tukey $p = 0,05$).

Produção e distribuição de carboidratos

O modelo de variação das concentrações de açúcares redutores em folhas e colmos, em função dos nove tratamentos, mostra que houve efeitos significativos dos níveis de N e de K isoladamente e praticamente nenhum efeito da interação N-K sobre a acumulação desses carboidratos (Fig. 7 e 8). As plantas deficientes apenas em N (N_1K_2 e N_1K_3) apresentaram um acúmulo relativo maior nas folhas em relação aos colmos, indicado pelo aumento na relação folha/colmo, que foi mais evidente aos 60 DAP (dados não apresentados). Nesta época, o tratamento N_1K_2 apresentou valores de 0,84 contra 0,56% de açúcares redutores do tratamento N_2K_2 , nas folhas. As maiores relações folha/colmo nas plantas deficientes em N poderiam refletir o menor consumo de carboidratos, devido ao menor crescimento de folhas e à intensa migração a partir dos colmos para o maior crescimento relativo das raízes (Silveira & Crocomo 1981).

O nível mais elevado de nitrato na solução nutritiva (N_3) provocou reduções nas concentrações de açúcares redutores de colmos nas

plantas N_3K_2 e N_3K_3 (não deficientes em K), em relação aos tratamentos N_2K_2 e N_2K_3 (Fig. 8). Nas folhas, as diferenças não foram diferentes significativamente (Fig. 7). Estes resultados estão dentro do esperado, no sentido de que a absorção e redução de nitrato apresentam um custo energético elevado que se reflete no consumo de carboidratos de cana-de-açúcar (Silveira 1985). É interessante observar que os modelos de variação da concentração de sacarose em folhas e colmos, em função das nove combinações N-K, foram semelhantes entre si (Fig. 7 e 8). Neste caso, ao contrário dos açúcares redutores, observou-se nitidamente a existência de interação N-K, onde as respostas para os níveis de N foram diferentes entre as combinações NK_1 e NK_3 contra NK_2 . Assim, o nível N_3 induziu reduções nas concentrações de sacarose de folhas e colmos somente quando combinado aos níveis K_1 e K_3 , enquanto que o tratamento N_3K_2 não provocou reduções nas concentrações de sacarose, em relação aos níveis N_2K_1 , N_2K_2 e N_2K_3 .

Semelhante ao observado para açúcares redutores, as plantas deficientes apenas em N

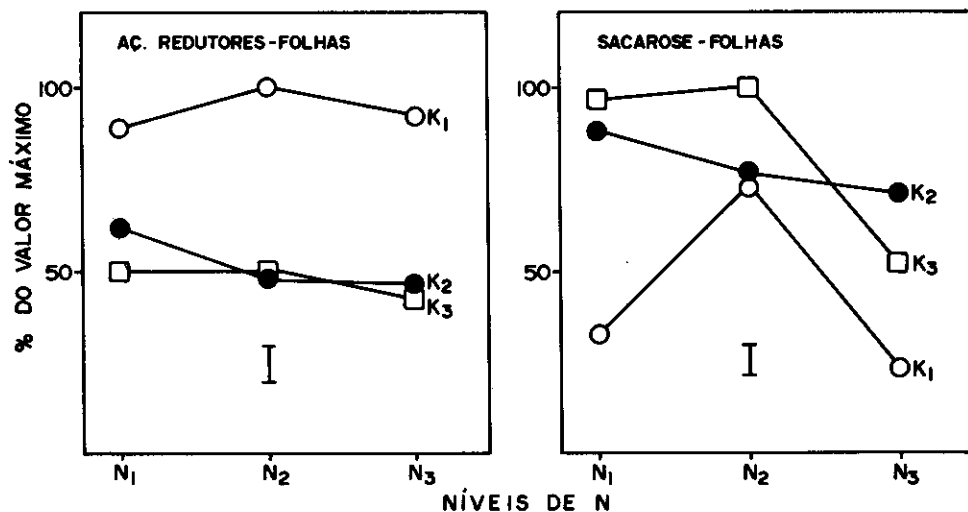


FIG. 7. Valores relativos de concentração de açúcares redutores e sacarose em folhas de cana-de-açúcar cv. NA56-79, aos 180 dias após plantio (DAP), nos nove tratamentos. (Os valores relativos 100 correspondem a 2,7 e 1,0 g de glicose ($\cdot 100 \text{ g de MS}$)⁻¹ respectivamente. Barras indicam diferença mínima significativa entre tratamentos (Tukey $p = 0,05$).

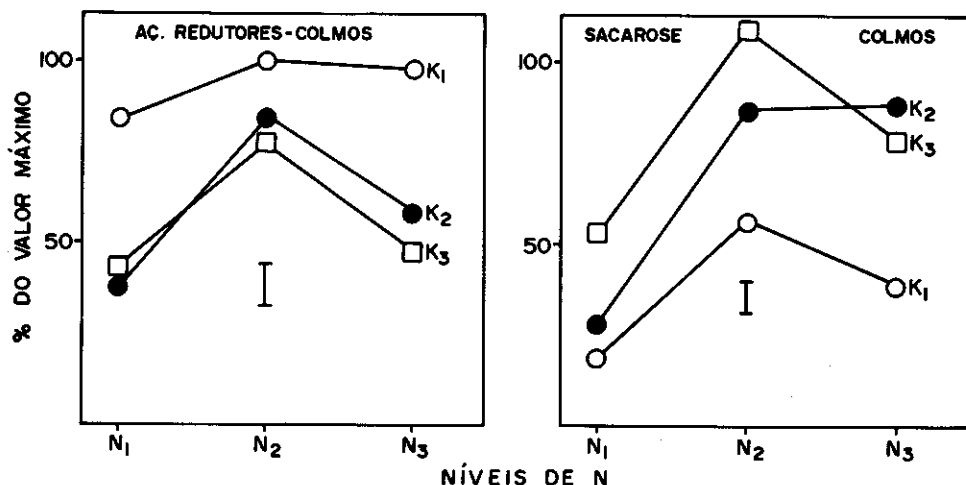


FIG. 8. Valores relativos de concentração de açúcares redutores e sacarose em colmos de cana-de-açúcar cv. NA56-79 aos 180 dias após plantio (DAP), nos nove tratamentos. (Os valores relativos 100 correspondem a 12,7 e 8,4 g de glucose ($\cdot 100 \text{ g de MS}$)⁻¹, respectivamente. Barras indicam diferença mínima significativa entre tratamentos (Tukey $p = 0,05$).

(N_1K_2 e N_1K_3) apresentaram acúmulo de sacarose relativamente maior nas folhas em relação aos colmos (Fig. 7 e 8). É possível que as causas possam ter sido as mesmas apontadas para o acúmulo de açúcares redutores. Por outro lado, a carência de K (plantas N_2K_1 e N_3K_1) provocou altas concentrações de açúcares redutores em folhas e colmos e baixas concentrações de sacarose nos colmos (Fig. 7 e 8). Estes resultados estão dentro do esperado, já que as plantas deficientes em K apresentam maiores atividades de invertases (Hart 1934, Suzuki 1982), menores taxas de fotossíntese (Alexander 1973) e menor intensidade de migração das folhas para os colmos (Hart 1970). Assim, aumentos nas concentrações de K entre os tratamentos N_2K_1 , N_2K_2 e N_2K_3 propiciaram incrementos nas concentrações de sacarose nos colmos aos 180 DAP (Fig. 8). Entretanto, o mesmo tipo de resposta aos incrementos de K não foi observado entre os tratamentos N_3K_1 , N_3K_2 e N_3K_3 , evidenciando a complexidade das interações entre os dois nutrientes.

O tratamento N_2K_3 apresentou as maiores concentrações de sacarose em folhas e colmos

aos 180 DAP (Fig. 7 e 8), evidenciando a existência de um equilíbrio nutricional N/K mais favorável para uma maior produção fotossintética, maior intensidade de migração de sacarose das folhas para os colmos e menores custos energéticos para a utilização de nitrato, propiciando condições para uma maior produção de colmos.

CONCLUSÕES

1. Os níveis de nitrato e de potássio e a interação entre os dois afetam a produção e a distribuição de carboidratos em folhas e colmos de cana-de-açúcar.

2. Os níveis de nitrato e de potássio, mais que a interação entre os dois, afetam a distribuição de fitomassa entre raízes, colmos e folhas.

3. Maiores conteúdos de sacarose nos colmos são obtidos pela combinação NK mais favorável em termos de maior produção fotossintética e menores custos energéticos para utilização de nitrogênio.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, A.G. Behaviour of enzymes governing starch-and-sucrose forming pathways in two sugarcane varieties supplied with variable nitrate and phosphate in sand culture. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v.69, n.2, p.153-171, 1964.
- ALEXANDER, A.G. Sucrose enzyme relationships in immature sugarcane as affected by varying levels of nitrate and potassium supplied sand culture. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v.47, n.3, p.165-229, 1973.
- AMORIM, V.H.; ZAGO, E.A. **Análises para o controle da fermentação**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1978. 26p. Apostila do Departamento de Química.
- BALDWIN, J.P. Competition for plant nutrients in the soil: a theoretical approach. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.87, p.341-356, 1976.
- BARNES, A.; HOLE, C.C. A theoretical basis of growth and maintenance respiration. **Annals of Botany**, London, v.42, p.1217-1221, 1978.
- BERINGER, H. Nutritional and environmental effects on yield formation. In: COLLOQUIUM INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 15., 1980, Berne. **Proceedings**. Berne: International Potash Institute, 1980. p.155-174.
- BLACK, E.C.; BROWN, R.H.; MOORE, R.C. Plant Photosynthesis. In: DOBEREINER, J.; BURRIS, R.H.; HOLLANDER, A. (ed.). **Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics**. [S.l.:s.n.], 1978. p.95-110.
- BLEVINS, D.G. Role of potassium in protein metabolism in plants. In: MUNSON, R.D. (ed.). **Potassium in agriculture**, Madison: University of Wisconsin, 1985. p.413-424.
- BOLTON, J.K.; BROWN, R.H. Photosynthesis of grass species, differing in carbon dioxide fixation pathways. V. Response of *Panicum maximum*, *Panicum milioides* and tallfescue *Festuca arundinacea* to nitrogen nutrition. **Plant Physiology**, Bethesda, v.66, p.97-100, 1980.
- EPSTEIN, E. **Mineral nutrition of plant: principles and perspectives**. London: John Wiley, 1972.
- GASCHO, G.J.; ANDERSON, D.L.; OZAKI, H.Y. Cultivar dependent sugarcane response to nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, p.1064-1069, 1986.
- GINE, M.F.; REIS, B.F.; ZAGATTO, E.A.G.; KRUG, F.J.; JACINTHO, A.O. Simple procedure for standard additions in flow injection analysis. **Analytica Chimica Acta**, Washington, v.155, p.131-138, 1983.
- HAEDER, H.E. Effects of potassium on phloem loading and transport. In: COLLOQUIUM OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 13., 1971, Berne. **Proceedings**. Berne: International Potash Institute, 1977. p.115-122.
- HAGEMAN, R.H.; HUCKLESBY, D.P. Nitrate reductase from higher plants. In: **METHODS in enzymology**. New York: Academic Press, 1971. v.17a, p.491-502.
- HART, C.E. Effect of potassium deficiency upon translocation of ^{14}C in detached blades of sugarcane. **Plant Physiology**, v.45, p.183-187, 1970.
- HART, C.E. Some effects of potassium upon the amounts of protein and amino forms of nitrogen, sugars, and enzyme activity of sugarcane. **Plant Physiology**, Bethesda, v.9, p.453-490, 1934.
- HUBER, S.C. Role of potassium in photosynthesis and respiration. In: MUNSON, R.D. (ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: University of Wisconsin, 1985. p.379-396.
- HUFFAKER, R.C.; RAINS, D.W. Factor influencing nitrate acquisition by plants; assimilation and fate of reduced nitrogen. In: NIELSEN, D.R.; MACDONALD, J.G. (eds.). **Nitrogen in the environment**. London: Academic Press, 1978. v.2, p.1-43.
- HUMBERT, R.P. **El cultivo de la caña de azúcar**. México: Continental, 1974. 719p.
- JØRGENSEN, S.S. **Guia analítico**. Metodologia utilizada para análise química de rotina. Piracicaba: CENA/USP, 1977. 23p.

- KABAT, E.A.; MAYER, M.M. Nihydrin method. In: THOMAS, C.C. (ed.). **Experimental immunochemistry**. 2.ed. London: Spring Field, 1967. p.560-563.
- KOCHL, A. The effects of nitrogen and potassium nutrition on yield and quality of sugar beet. In: COLLOQUIUM OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 13., 1977, Berne. **Proceedings**. Berne: International Potash Institute, 1977. p.209-220.
- LOWRY, O.H.; ROSEBROUGH, N.I.; FARR, A.L.; RANDALL, R.J. protein measurement with the phenol reagent. **Journal Biological Chemistry**, v.193, p.265-275, 1952.
- MACLEOD, L.B. Effects of N, P and K and their interactions on the yield and kernel of barley in hydroponic culture. **Agronomy Journal**, Madison, v.61, p.26-29, 1969.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 674p.
- MENGEL, K. Energy absorption, energy conversion, and energy storage of crops in relation to endogenous and exogenous factors. In: COLLOQUIUM INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 13., 1977. Berne. **Proceedings**. Berne: International Potash Institute, 1977. p.61-82.
- MENGEL, K. Potassium movement within plant and its importance in assimilate transport. In: MUNSON, R.D. (ed.) **Potassium in agriculture**. Madison: University of Wisconsin, 1985. p.397-411.
- MURPHY, L.S. Potassium interactions with others elements. In: POTASSIUM for agriculture. Berne: Potash and Phosphate Institute, 1980. p.183-209.
- NOVOA, R.; LOOMIS, R.S. Nitrogen and plant production. **Plant and Soil**, The Hague, v.58, p.177-204, 1981.
- PENNING DE VRIES, F.W.T. Simulation models of growth of crops, particularly under nutrient stress. In: COLLOQUIUM INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 15., 1980, Berne. **Proceedings**. [S.L]: International Potash Institute, 1980. p.213-226.
- ROSSIELLO, R.O.P. **Bases fisiológicas da acumulação de nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.* cv. NA56-79) em resposta à adubação nitrogenada em cambissolo**. Piracicaba: ESALQ, 1987. 172p. Tese Doutorado.
- SAMUELS, G. **Foliar diagnosis for sugarcane**. Chicago: Adams Press, 1969. 362p.
- SCHRADER, L.E. Functions and translocations of nitrogen in higher plants. In: HAUCK, R.D. (ed.). **Nitrogen in crop production**. Madison: [s.n.], 1984. p.55-65.
- SILVA, W.M. Termoterapia em gemas isoladas assegura o controle do raquitismo. **Boletim Técnico COPERSUCAR**, Piracicaba, n.1, p.10-13, 1976.
- SILVEIRA, J.A.G. da. **Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivada em condições de campo**. Piracicaba: ESALQ, 1985. 152p. Tese Doutorado.
- SILVEIRA, J.A.G. da; CROCOMO, O.J. Biochemical and physiological aspects of sugarcane (*Saccharum spp.*). I. Effects of NO₃ nitrogen concentration on the metabolism of sugars and nitrogen. **Energia Nuclear e Agricultura**, Piracicaba, v.3, n.1, p.19-33, 1981.
- SUZUKI, J. **Biossíntese e acúmulo de sacarose em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Influência do íon potássio durante diferentes estádios de crescimento em solução nutritiva**. Piracicaba: ESALQ, 1982. 96p. Tese Doutorado.
- ZAMBELLO JÚNIOR, E. **Aplicação do sistema integrado de diagnose e recomendação para diferentes solos e épocas de amostragem foliar em soqueira de cana (*Saccharum spp.*)**. Piracicaba: ESALQ, 1979. 95p. Tese.