ASPECTOS BIOQUÍMICOS E FISIOLÓGICOS DA RELAÇÃO K/N EM
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* sp) cv. NA-5679 CULTIVADA
EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

JOAQUIM ALBENÍSIO G. DA SILVEIRA
Engenheiro-Agrônomo

Orientador: Dr. Otto Jesu Crocomo

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Energia Nuclear na Agricultura.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Abril, 1980

Em memória de meus Pais

Raimundo Leonel e Maria do Livramento,

O F E R E Ç O.

Aos meus filhos,

Alexandre e Bruno,

Luz de meus caminhos

D E D I C O.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. *Otto Jesu Crocomo*, pela orientação dedicada e, acima de tudo, pela imensa contribuição à minha formação científica.
- Ao Prof. *Hilkias Bernardo de Souza*, chefe do Depto. de Química da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, a quem devo grande parte de minha formação profissional.
- A Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, na pessoa de seu Diretor, Prof. *Francisco Barreira Pereira*, pela oportunidade oferecida.
- Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), na pessoa de seu Diretor Prof. *Admar Cervellini* e de seus Pesquisadores e Professores, pela alta contribuição à minha formação científica.
- Ao Instituto da Potassa (USA/SUIÇA), na pessoa de seu representante no Brasil Eng^o Agr^o *T. Yamada*, pelo apoio financeiro.
- Ao PLANALSUCAR, pela doação do material de propagação em forma de toletes de cana-de-açúcar, cv NA 5679.
- Aos Pesquisadores Dr. *Carlos Clemente Cerri*, Dr. *André Martin Louis Neptune* e M.S. *Takashi Muraoka*, da Seção de Fertilizantes e Fertilidade do Solo do CENA, pelo proveitoso convívio nessa seção.
- Aos Funcionários da Seção de Bioquímica de Plantas do CENA, *Romeu Rocha*, pelos excelentes serviços de desenho e *Cláudio Sérgio Dorelli*, pelo auxílio na parte experimental.
- Ao Dr. *Ricardo Bohrer Sgrillo*, da Seção de Entomologia do CENA, pelo auxílio nas análises estatísticas.
- A todo o pessoal da Seção de Bioquímica de Plantas do CENA, pelo elevado espírito de companheirismo.

- Ao Sr. *João Eduardo Pilotto (Dudu)*, pelo excelente trabalho de datilografia e elevada fineza no atendimento das solicitações feitas à Divisão de Ensino e Extensão do CENA.
- A todos aqueles que, de certa maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.
- Finalmente, um agradecimento especial àquela que no *latu sensu* deveria ser a co-autora do presente trabalho: minha esposa *ELIANA DI MICELI DA SILVEIRA*.

INDICE

	<u>Página</u>
1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1. Participação do K^+ no Metabolismo e Crescimento de Plantas	7
3.2. Participação do N no Metabolismo e Crescimento de Plantas	14
3.3. Interação K-N e o Crescimento de Plantas	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1. Material	24
4.1.1. Obtenção das Plantas	24
4.1.2. Meio Nutritivo	26
4.1.3. Fatores Externos	26
4.2. Métodos	27
4.2.1. Delineamento Experimental	27
4.2.2. Métodos Analíticos	29
5. RESULTADOS	32
5.1. Observações Gerais do Crescimento	32
5.2. Acúmulo e Distribuição de Matéria Seca	35
5.3. Acúmulo e Distribuição de Açúcares	41
5.4. Acúmulo e Distribuição de Compostos Nitrogenados	50
5.5. Acúmulo e Concentração de Cátions (K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} e Na^+) ...	66

6. DISCUSSÃO	72
6.1. Participação de Potássio e Nitrogênio no Metabolismo, A- cúmulo e Migração de Açúcares	72
6.1.1. Efeitos da Concentração de K^+	72
6.1.2. Efeitos da Concentração de Nitrogênio	78
6.1.3. Relação K/N e o Acúmulo de Açúcares	83
6.2. Participação do Potássio e Nitrogênio no Metabolismo de Compostos Nitrogenados	84
6.2.1. Participação do Potássio	84
6.2.2. Participação do Nitrogênio	89
6.3. Crescimento das Plantas nos Períodos de 2, 4 e 6 Meses ..	91
6.4. Concentração de Ca^{++} , Mg^{++} e Na^+ Relacionada com a Rela- ção K/N	95
7. CONCLUSÕES	98
8. SUMMARY	100
9. LITERATURA CITADA	102
APÊNDICE	114

ABREVIATURAS UTILIZADAS

ADP	- Adenosina Difosfato
AMP	- Adenosina Monofosfato
AR	- Açúcares Redutores
ART	- Açúcares Redutores Totais
ATP	- Adenosina Trifosfato
BSA	- Soroalbumina Bovina
GDH	- Desidrogenase Glutâmica
GOGAT	- Glutamato Sintetase
GS	- Glutamina Sintetase
m.s.	- Matéria Seca
NADH	- Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Reduzido
NADPH	- Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato Reduzido
NRa	- Redutase de Nitrato
TCA	- Ciclo dos Ácidos Tricarboxílicos

1. RESUMO

Plantas de cana-de-açúcar, cv NA-5679, foram cultivadas em solução nutritiva contendo 3 concentrações crescentes de K^+ (0,1, 6,0 e 12,0 mM) e 3 de $N-NO_3^-$ (1,0, 9,0 e 18,0 mM), resultando 9 combinações K - N diferentes. Os resultados foram obtidos em 3 períodos: 2, 4 e 6 meses de idade. O ensaio foi conduzido em condições de casa de vegetação, localizada no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), em Piracicaba, São Paulo. O delineamento estatístico empregado foi o de blocos inteiramente casualizados, utilizando-se 9 tratamentos com 3 repetições.

O trabalho objetivou fundamentalmente estudar a participação de potássio e nitrogênio e o equilíbrio nutricional desses elementos sobre alguns aspectos do acúmulo, composição e migração de açúcares das folhas até o colmo e interrelação com o processo de redução do $N-NO_3^-$.

Os resultados obtidos permitem observar que o K^+ interfere

decisivamente na concentração, produção e migração de açúcares das folhas até o colmo. Níveis crescentes de potássio provocam aumentos na concentração e produção de sacarose e açúcares redutores totais (ART), diminuição na concentração de açúcares redutores (AR) e aumento na migração de açúcares das folhas até o colmo. Plantas deficientes em potássio apresentam acúmulo de açúcares redutores, $N-\alpha NH_2$ solúvel e alta relação folha/colmo em termos de matéria seca e de açúcares.

O acúmulo de $N-\alpha NH_2$ solúvel nas plantas deficientes em potássio deve ser provocado, provavelmente, por um descompasso entre a taxa de síntese de proteínas, que nessas plantas é diminuída, e a taxa de redução do nitrato, que permanece a mesma, seja em plantas normais, seja nas deficientes em potássio. Além disso, deve-se considerar que a taxa de acúmulo de $N-\alpha NH_2$ também é a mesma, tanto em plantas normais, quanto nas mantidas em deficiência de potássio.

O nitrogênio também afeta a concentração, produção e migração de açúcares. Plantas deficientes em nitrogênio apresentam baixa concentração de sacarose e açúcares redutores totais (ART), acúmulo de sacarose nas folhas e alta relação folha/colmo, sugerindo haver diminuição na migração de sacarose das folhas até o colmo. Ao contrário do potássio, altos níveis de nitrogênio reduzem a concentração e produção de sacarose e açúcares redutores totais (ART), além de reduzir o crescimento da planta como um todo, em termos de acúmulo de matéria seca.

Os resultados sugerem a existência de uma relação K/N nas

folhas considerada ótima para a máxima concentração de sacarose no colmo, já que existe uma estreita e positiva correlação entre os valores da relação K/N em massa e a porcentagem de sacarose no colmo.

A relação K/N ótima encontrada apresenta valor de 0,94, correspondendo a 2,33% de K^+ e 2,41% de N-Total nas folhas 3⁺ e 4⁺, aos 6 meses de idade, sendo tal combinação responsável pela maior concentração e produção de sacarose e açúcares redutores totais (ART) e acúmulo de matéria seca total na planta.

2. INTRODUÇÃO

É um fato por demais conhecido por parte daqueles que trabalham com nutrição de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp), que os elementos potássio e nitrogênio são fundamentais para um ótimo desempenho fisiológico e produção agrícola de açúcares, sendo os dois nutrientes minerais exigidos em maior quantidade, tanto na planta como em termos de consumo de fertilizantes.

Diversos trabalhos realizados em condições de campo e com solução nutritiva em casa de vegetação têm demonstrado que o potássio é exigido em altas quantidades e altas concentrações por cana-de-açúcar, comparando-se com outras plantas cultivadas. É fato estabelecido que o potássio participa direta e/ou indiretamente de inúmeros processos vitais das plantas. Em cana-de-açúcar, ele participa na biossíntese de sacarose, taxa de fotossíntese, migração de açúcares das folhas até o colmo, além de atuar naqueles processos comuns às diversas plantas: síntese de proteínas,

síntese de amido, além de atuar como cofator de um sem número de enzimas envolvidas com o metabolismo intermediário de plantas. A maioria dos ensaios realizados, indica que altos níveis de K^+ na planta provocam aumentos na concentração e produção total de sacarose.

Quanto ao nitrogênio, os resultados de experimentos com cana-de-açúcar não são tão conclusivos como os de potássio. No entanto, ensaios em laboratório com uso de ^{14}C têm demonstrado que esse nutriente participa, pelo menos indiretamente, do processo de migração de sacarose das folhas até o colmo. Por outro lado, diversos trabalhos têm demonstrado existir uma correlação positiva entre o teor de nitrogênio na folha e a taxa de fotossíntese e a de crescimento. Certamente, tal correlação tem uma faixa limite de existência, controlada pelo nível de nitrogênio na planta que, em certos limites, pode ter ação tóxica sobre o crescimento da planta. Os resultados dos ensaios sobre os efeitos dos níveis de nitrogênio na concentração e produção total de sacarose são contraditórios, principalmente aqueles realizados em condições de campo. De um modo geral, altos níveis de nitrogênio provocam diminuição na concentração de sacarose, apesar de terem efeitos positivos sobre a produção total.

Ao nível bioquímico, a literatura revela que o processo de assimilação do nitrogênio inorgânico, principalmente $N-NO_3^-$, é essencial - mente consumidor de energia e esqueletos carbônicos provenientes primariamente dos açúcares gerados pela fotossíntese. Por outro lado, o potássio participa de inúmeros passos bioquímicos estreitamente relacionados com o processo global de fotossíntese e interconversão de açúcares. Por tanto, no plano bioquímico, potássio e nitrogênio estão fortemente rela-

cionados, principalmente em plantas que utilizam açúcares como material de reserva.

Certamente, o conhecimento das interações K-N e o metabolismo de açúcares em cana-de-açúcar, somente serão estabelecidos através de estudos sob condições controladas. Infelizmente, apesar da cana-de-açúcar ser uma cultura altamente importante para os aspectos sócio-econômicos do Brasil, principalmente nos dias atuais, são raríssimos os trabalhos realizados que satisfaçam tais requisitos.

É nesse contexto que surgiu a necessidade da realização do presente trabalho, que objetiva fundamentalmente fornecer algumas informações básicas sobre a interação K-N e o comportamento fisiológico de cana-de-açúcar, cv NA 5679, dando-se ênfase aos aspectos bioquímicos da composição, concentração e migração de açúcares das folhas até o colmo, interrelacionados com as fases iniciais da assimilação do nitrogênio (N-NO_3^-) e a taxa de síntese de proteínas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Participação do K^+ no Metabolismo e Crescimento de Plantas

O K^+ é um cátion essencial para todas as plantas, sendo exigido em alta quantidade e alta concentração. Participa direta ou indiretamente de inúmeros processos bioquímicos, sendo sua carência ou deficiência refletida numa baixa taxa de crescimento.

3.1.1. Participação no Processo de Fotossíntese

Plantas deficientes em K^+ apresentam baixa taxa de assimilação de CO_2 (JONES, 1966; COOPER *et alii*, 1967). Alguns dados indicam que o K^+ atua diretamente na translocação de produtos da fotossíntese, pois, em condições de taxa de assimilação de CO_2 controlada, esse cátion continua a exercer efeito sobre a translocação (HARTT, 1970; HAEDER e MENGEL, 1972). A ação do K^+ parece estar relacionada com o processo de fotofosforilação. O ATP gerado seria utilizado nos processos ativos de trans

locação de solutos (HARTT, 1970).

Portanto, a participação do K^+ no processo de fotossíntese atuaria decisivamente na taxa de crescimento normal da planta. Além disso, o fato do K^+ atuar na regulação do potencial osmótico das células, interfere decisivamente no processo de fotossíntese. O acúmulo de K^+ decresce o potencial osmótico, estando assim relacionado com a umidade do tecido, já que baixos potenciais osmóticos (menor potencial água), "retêm" mais água no tecido. Esta é a razão pelo qual plantas bem supridas de K^+ requerem menos água (BLANCHET *et alii*, 1962). Acredita-se que o K^+ esteja envolvido com os mecanismos de abertura e fechamento dos estômatos (FISHER, 1969).

3.1.2. Participação na Ação Enzimática

O K^+ participa em vários passos da biossíntese de proteínas. Atualmente, são conhecidas pelo menos 60 enzimas que são ativadas por cátions monovalentes (K^+ , Rb^+ , NH_4^+ , Na^+). Desses, o K^+ , além de ser o mais eficiente, é o único que encontra-se nas plantas com concentrações suficientemente altas para atuar como cofator enzimático. Participa na atividade de amido sintetase, vários passos na síntese proteica, quinase pirúvica, amilase, etc. (EVANS e WILDES, 1971).

Em plântulas de arroz, a atividade de redutase de nitrato é diminuída pela carência de K^+ (SASAKAWA e YAMAMOTO, 1977). Resultados semelhantes foram encontrados em folhas de trigo (HARPER e PAULSEN, 1969). No entanto, em folhas e raízes de feijoeiro de plantas deficientes de po-

tássio, a atividade da enzima não foi diminuída em plantas com diferentes estádios de crescimento (GUTIERREZ, 1978).

Em cana-de-açúcar, plantas deficientes em K^+ apresentam baixo nível de sacarose e alto nível de açúcares redutores, principalmente glicose, provavelmente devido a alta atividade de hexoquinase e amilase e baixa atividade de fosfofrutoquinase. Neste caso, o amido pode servir com fonte de glicose para a via glicolítica e síntese de sacarose em folhas de cana-de-açúcar (ALEXANDER, 1964).

Plantas jovens de cana-de-açúcar, quando cultivadas em solução nutritiva deficiente em K^+ , apresentam maior atividade de amilase e menor atividade de invertase. É provável que sacarose possa ser sintetizada nas folhas por ação de invertase (HARTT, 1934).

Plantas de cana-de-açúcar deficientes em K^+ apresentam um incremento no teor de sacarose nas folhas ao longo do tempo (de 14 a 30 semanas de idade). Associado a isso, verifica-se um decréscimo na atividade de enzimas relacionadas com o metabolismo de açúcares, particularmente β -amilase (ALEXANDER, 1973).

A divergência de resultados encontrados pelos autores acima pode ser explicada levando-se em consideração diferenças de variedade e idade da planta ou folha, pois, como demonstrou ALEXANDER (1965), uma mesma enzima pode apresentar comportamento oposto quando se trabalha com diferentes variedades de cana-de-açúcar.

Em condições de estres provocado por deficiência de K^+ em

cana-de-açúcar, o problema de migração de açúcares não envolve somente problemas diretos de translocação, mas sim, alterações metabólicas ao nível enzimático. Assim, os resultados sugerem que outras enzimas, tais como sacarose sintetase, maltase, glucoquinase, amido fosforilase e amilase estejam envolvidas na síntese de sacarose (ALEXANDER, 1967). Além disso, plantas de cana-de-açúcar deficientes em K^+ apresentam mesmo teor de clorofila e menor taxa de fotossíntese comparadas com plantas normais (ALEXANDER, 1973).

Plantas deficientes em K^+ apresentam menor umidade na folha. O estresse de água provoca diminuição na incorporação de aminoácidos na síntese proteica, havendo diminuição no conteúdo de proteínas (BEN-ZIONI et alii, 1967; MIZRAHI, 1970).

3.1.3. Participação no Metabolismo de Açúcares e $N-\alpha NH_2$ Solúvel

Já é fato estabelecido que plantas deficientes em K^+ apresentam alto teor de açúcares redutores, baixo teor de sacarose, baixo teor de amido e alto teor de $N-\alpha NH_2$ solúvel (OKAMOTO, 1967; EVANS e WILDES, 1971; ZAGO, 1978; HART, 1934). Em casos de severa deficiência, aminas tóxicas, tais como agmatina e putrescina, se acumulam nas folhas, principalmente nas mais velhas (RICHARDS e COLEMAN, 1952; SMITH e SINCLAIR, 1967; BASSO, 1973; BASSO, 1974; CROCOMO e BASSO, 1974; ZAGO, 1978).

Plantas deficientes em Mg^{++} também apresentam acúmulo de putrescina. Como K^+ e Mg^{++} participam de vários passos da síntese de proteínas, pode-se admitir que em condições de deficiência, a síntese de

putrescina funcione como um mecanismo reparador ou pelo menos minimizador de maiores distúrbios, já que a reação de produção de putrescina a partir da descarboxilação de argina envolve a produção de NH_4^+ , que poderia suprir parcialmente a deficiência de K^+ ou Mg^{++} na síntese de proteína (BASSO, 1974).

Fornecendo-se as aminas putrescina e espermidina exogenamente a folhas normais provoca-se o aparecimento dos sintomas típicos de deficiência de K^+ (BASSO, 1979 - *comunicação pessoal*).

Existe alguma controvérsia quanto a origem do $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel acumulado em plantas deficientes em K^+ . A maioria dos autores acredita que o fator principal é a diminuição no teor de proteínas (KOCH e MENGEL, 1972). Porém, em alguns casos, o teor de proteínas chega até a aumentar (HSIAO et alii, 1970). Possivelmente, tal aumento seja provocado devido a uma menor taxa de crescimento (KOCH e MENGEL, 1972). Particularmente, acreditamos que tais controvérsias sejam motivadas por 3 fatores: (1) a taxa de redução do NO_3^- é superior à taxa de síntese de proteínas; (2) idade da folha e grau de deficiência; (3) forma de expressar os resultados (sobre peso seco ou peso fresco, já que plantas deficientes em K^+ apresentam menor umidade nas folhas).

Plantas de cana-de-açúcar com deficiência de K^+ apresentam maior teor de glucose, maior teor de açúcares redutores e menor teor de sacarose. O teor de proteínas cresce até os 6 meses, porém, não apresenta diferenças entre os tratamentos (ALEXANDER, 1964; ALEXANDER, 1973).

A qualidade do açúcar de cana-de-açúcar depende primariamente do conteúdo de sacarose, mas é também afetada pelo conteúdo de compostos $N-\alpha NH_2$ solúveis e pelo conteúdo de minerais, particularmente K^+ e Na^+ . A presença dessas substâncias provoca distúrbios durante a cristalização do açúcar. Níveis adequados de K^+ na nutrição geralmente são acompanhados de aumento na produção de açúcares (TROCME e BARBIER, 1966) e decréscimo no conteúdo de $N-\alpha NH_2$ solúvel (DRAYCOTT et alii, 1970).

Diversos experimentos de campo com cana-de-açúcar têm demonstrado que altos níveis de K^+ provocam grandes aumentos na produção e na concentração de sacarose (SAMUELS et alii, 1956; SAMUELS, 1955; SAMUELS e CIBES, 1953). O K^+ é essencial para uma alta qualidade do caldo (HARTT, 1934).

3.1.4. Alguns Aspectos da Absorção do K^+ Relacionada com Outros Íons

Além de participar ativamente de inúmeros processos bioquímicos na planta, o K^+ exerce importante influência sobre os processos cinéticos de absorção e migração de íons (EPSTEIN, 1972; MENGEL e KIRKBY, 1978).

Na ausência de K^+ ou quando em muito baixa concentração, a absorção de outros cátions é grandemente facilitada, ocorrendo acúmulo de Mg^{++} , Ca^{++} e Na^+ . No entanto, a recíproca é verdadeira. Altas concentrações de K^+ diminuem a absorção daqueles cátions. Desse modo, K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} devem competir por um mesmo sítio-carregador no processo de absor-

ção (MENGEL, 1978; EPSTEIN, 1972; LEGGET e GILBERT, 1969; GRIMME, 1974), sendo tal fenômeno denominado "antagonismo".

Quando o íon encontra-se em baixas concentrações (<0,2 mM), existe uma alta afinidade íon-carregador, sendo nestas circunstâncias menor a influência do íon competidor. É provável a existência de mais de um mecanismo de absorção, à medida que aumenta a concentração externa do íon. É nas faixas de maior concentração que ocorre maior competição (EPSTEIN, 1972).

Por outro lado, a presença de um íon pode aumentar a taxa de absorção de outro. Esse fenômeno é denominado "sinergismo". Um dos exemplos mais importantes é absorção de K^+ e outros cátions em presença de NO_3^- . Altas taxas de absorção de NO_3^- concorrem para um maior acúmulo de K^+ , Mg^{++} e Ca^{++} , que são absorvidos como contra-íons (MENGEL e KIRKBY, 1978). A nível bioquímico, após a assimilação do $N-NO_3^-$, ocorre aumento na taxa respiratória (BEEVERS, 1976; GIVAN, 1979), acúmulo de ácidos orgânicos, principalmente o malato, que é sintetizado a partir de fosfoenolpiruvato e oxaloacético (KIRKBY e MENGEL, 1969; KIRKBY e KNIGHT, 1977). Desse modo, após redução do NO_3^- , os ânions orgânicos acumulados "neutralizariam" as cargas positivas de K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} absorvidas como contra-íons (BLEVINS et alii, 1974).

Um esquema hipotético para a absorção e migração de K^+ , das raízes até as partes aéreas, foi proposto por BEN ZIONI et alii (1971). Nesse esquema, o K^+ seria absorvido como contra-íon de NO_3^- . Na planta o K^+ migraria como contra-íon do malato que seria utilizado como substrato

respiratório. O equivalente aniônico do malato seria substituído nas raízes por HCO_3^- , que seria excretado ao meio exterior, alcalinizando-o. Os autores sugerem, também, uma certa relação estequiométrica $\text{K}^+ \times \text{NO}_3^-$ na absorção.

A resposta à absorção de K^+ pelas plantas depende consideravelmente do nível de nitrogênio no substrato nutritivo. Geralmente, quando a planta é bem suprida com nitrogênio, a produção cresce com o nível de K^+ . Por outro lado, o N fornecido somente é utilizado totalmente quando o nível de K^+ é adequado (MENGEL e KIRKBY, 1978).

Certas variedades de cana-de-açúcar são tolerantes à salinidade, inclusive a absorção de K^+ não é influenciada pela concentração de Na^+ (SYED e ELSWAIFY, 1972).

3.2. Participação do N no Metabolismo e Crescimento de Plantas

O nitrogênio é um elemento fundamental para todos os seres vivos, sendo encontrado nas plantas em altas concentrações, quando comparado aos outros elementos minerais. Sendo constituinte obrigatório de proteínas e ácidos nucleicos, obviamente esse elemento participa direta ou indiretamente de inúmeros processos bioquímicos.

A taxa de crescimento de plantas está diretamente relacionada com o nível de N. Plantas cultivadas com altos níveis de N apresentam altas taxas de crescimento (MINOTT et alii, 1969). Existe uma estreita correlação entre a taxa de crescimento e a assimilação de N. Sob condi-

ções alta atividade fotossintética (alta intensidade luminosa, temperatura ótima e água), o nível de N pode ser alto e vice-versa. Isso ocorre particularmente em plantas C-4 (SLACK e HATCH, 1967).

Na planta, o nitrogênio pode ser dividido em 3 grandes frações: N-Inorgânico (N-NO_3^- , N-NH_4^+), N- αNH_2 solúvel e N-Proteico. Todas 3 frações são influenciadas pela nutrição da planta. Destas, o N- αNH_2 solúvel (aminoácidos, amidas e aminas), é a fração mais variável em função de distúrbios nutricionais, sendo que o conteúdo de proteínas varia somente em condições extremas (GOSWAMI e WILLCOX, 1969; BEEVERS, 1976).

O nitrogênio inorgânico absorvido sob a forma de NO_3^- , NH_4^+ ou N_2 vai em última instância, ser incorporado na forma de NH_4^+ em esqueletos carbônicos provenientes primariamente da fotossíntese (CROCOMO, 1979).

Quando a forma de nitrogênio absorvido é NO_3^- , o que ocorre na maioria das plantas em cultivo em condições de solos, o primeiro passo metabólico envolvido é o da ação da enzima redutase de nitrato (BEEVERS e HAGEMAN, 1969; HEWITT, 1975; BEEVERS, 1976; CROCOMO, 1979). A enzima é induzível pelo substrato, mais especificamente pelo fluxo de NO_3^- até o citoplasma, que é o local de redução. O processo de redução consome bastante poder redutor na forma de NADH, que é gerado pela degradação de açúcares produzidos na fotossíntese (MENGEL e KIRKBY, 1978). Há, portanto, uma estreita correlação entre a redução do NO_3^- e a redução fotossintética do CO_2 .

Em plantas C-4, onde a eficiência de utilização do N em ter-

mos de produção de matéria seca é bem maior que nas plantas C-3, acredita-se que haja compartimentalização espacial na realização dos 2 processos. Assim, a redução do NO_3^- ocorre nas células do mesófilo, enquanto a assimilação do CO_2 ocorre nas células da bainha. Deste modo, não haverá competição pelo poder redutor (NADPH e ferredoxina reduzida) e ATP (BLACK *et alii* (1978)). No esquema proposto por Black e colaboradores, o NO_3^- absorvido pelas raízes seria transportado até as folhas (células do mesófilo) onde sofreria ação de redutase de nitrato e redutase de nitrito.

Após a completa redução do NO_3^- até NH_4^+ , inicia-se o processo de incorporação do NH_4^+ em ácidos orgânicos, principalmente, α -cetoglutarico e oxaloacético do ciclo de Krebs e piruvato. Portanto, novos esqueletos carbônicos são utilizados, provenientes primariamente de açúcares (GIVAN, 1979; BEEVERS, 1976). As enzimas mais importantes nesse processo são: GDH (glutamato desidrogenase), GS (glutamina sintetase) e GOGAT (glutamato sintetase). A atividade dessas enzimas é função, principalmente, da concentração de $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ nas células. Em condições de elevadas concentrações de NH_4^+ , a via GS/GOGAT parece ser mais importante que a via GDH (LEA e MIFLIN, 1976; GUTIERREZ, 1978; CROCOMO, 1979).

Em plântulas de trigo, atividade de GDH não foi alterada em plantas deficientes em K^+ , enquanto que a atividade de GS foi diminuída (HARPER e PAULSEN, 1969).

Em plântulas de arroz, a atividade de GDH também não foi alterada pela deficiência de K^+ (SASAKAWA e YAMAMOTO, 1977).

Em feijoeiro, estudando-se a atividade dessas enzimas em plantas deficientes em K^+ , em diferentes estádios de maturidade, observou-se um aumento na atividade de GDH, diminuição na atividade de GS e GOGAT e atividade de redutase nitrato praticamente igual com relação às plantas normais (GUTIERREZ e CROCOMO, 1978).

Quando altas quantidades de N-Inorgânico são fornecidas às plantas, ácido glutâmico e ácido aspártico, assim como suas amidas glutamí_{na} e asparagina, se acumulam nos tecidos. Sob tais condições, obviamente, o N-Inorgânico está sendo assimilado numa taxa maior que a de síntese proteica. Em casos extremos, o $N-\alpha NH_2$ solúvel pode diminuir o crescimento da planta (MENGEL e KIRKBY, 1978).

3.2.1. Participação do N no Metabolismo de Açúcares

O nitrogênio participa direta e indiretamente do metabolismo de açúcares.

Em cana-de-açúcar, ensaios com ^{14}C têm demonstrado que plantas deficientes em nitrogênio acumulam açúcares nas folhas, evidenciando diminuição na migração (HARTT, 1964; HARTT, 1970). No entanto, outros ensaios têm demonstrado que o efeito do nitrogênio sobre a migração depende do estágio de crescimento da planta (SNYDER e TOLBERT, 1966). A taxa de fotossíntese em cana-de-açúcar é aumentada com o nível de N dos 2 aos 6 meses de idade. Após esse período, permanece constante (HARTT, 1967). Apesar da deficiência de N diminuir a taxa de fixação de CO_2 , a concentração de sacarose nas folhas é aumentada. Portanto, a diminuição na migra-

ção não se deve à falta de sacarose, mas a outro fator. Provavelmente, o efeito é indireto, através de alterações no crescimento da planta como um todo (HARTT, 1970).

Em *Lolium perene*, baixos níveis de N-NO_3^- provocam acúmulo de açúcares solúveis nas folhas e baixo teor de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel. Altos níveis de NO_3^- provocaram respostas opostas. Quando utiliza-se a percentagem de conversão do ^{14}C da fração solúvel (etanol) para a fração insolúvel (clorofórmio), como critério para estimar o metabolismo, os dados revelam que as raízes parecem ser mais sensíveis à deficiência de N do que a parte aérea. Assim, uma diminuição no crescimento das raízes e/ou na absorção de nutrientes, pode ser um dos primeiros efeitos da deficiência de nitrogênio (BARTA, 1975).

Vários trabalhos têm demonstrado que o nível e a forma de nitrogênio afetam a composição química, atividade de enzimas e absorção e migração de nutrientes (BENNETT *et alii*, 1964; BAYLEY, 1972; ANDERSEN e JACKSON, 1972).

Utilizando-se vários níveis de NO_3^- , a fim de provocar variação no nível de N e no pH celular, em duas variedades de cana-de-açúcar, ALEXANDER (1965) obteve interessantes resultados ao nível enzimático. Altos níveis de NO_3^- provocaram grandes aumentos na atividade de fosforilase do amido, principalmente, nas folhas (plantas com 4 semanas de idade). Essa enzima pode atuar tanto na síntese como na degradação do amido, dependendo da variedade estudada. O mesmo ocorre com relação ao nível de sacarose, pois, enquanto uma variedade (M 336) acumula sacarose em baixos ní-

veis de NO_3^- , o oposto ocorre com a variedade Uba. Tais diferenças no nível de sacarose são devidas, provavelmente, ao comportamento das enzimas invertase, fosforilase do amido e fosfatase ácida. Baixa atividade de fosforilase do amido está relacionada a baixos níveis de glicose. A atividade de sacarose fosforilase foi constante.

Os resultados acima sugerem que as diferenças nos níveis de sacarose se devem a reações não estritamente ligadas à síntese de sacarose. O autor sugere uma relação entre o nível de glucose e atividade de fosforilase do amido, no sentido de que essa enzima possa ser inibida pelo nível de glucose. As atividades de amilase e hexoquinase variam de maneira idêntica, sugerindo que glucose proveniente do amido, sofre reação de fosforilação e seja utilizada em outras vias metabólicas, além de atuar como inibidor da fosforilase do amido. *ALEXANDER (1965)* propõe um esquema para demonstrar as interrelações no metabolismo de açúcares afetado pelo nível de NO_3^- em cana-de-açúcar (Figura 1).

Estudos com cana-de-açúcar jovem (6 meses), têm demonstrado que altos níveis de NO_3^- provocam baixas concentrações de sacarose e altas concentrações de açúcares redutores (*ALEXANDER, 1964*). No entanto, *BONNET et alii (1956)*, trabalhando com cana-de-açúcar cultivada em areia lavada, observaram uma correlação positiva entre a quantidade de nitrogênio aplicado e o ganho de matéria seca e % de sacarose.

Como foi visto anteriormente, o processo de redução de NO_3^- está diretamente relacionado com o nível de açúcares. A atividade de redutase de nitrato é potencialmente capaz de influenciar a produção. Em

Figura 1 - Esquema das vias metabólicas do metabolismo de açúcares em cana-de-açúcar, Var. M.336, afetado pelo nível de nitrato (ALEXANDER, 1965)

trigo, a atividade da enzima na folha bandeira está correlacionada positivamente com o nível de NO_3^- no solo e produção de proteínas no grão (EILRICH e HAGEMAN, 1973). No entanto, CROY e HAGEMAN (1970), investigando a atividade de redutase de nitrato em 32 variedades de trigo, não encontraram uma nítida correlação entre atividade da enzima e conteúdo de proteínas nos grãos. Os autores sugerem que além da atividade da enzima na folha bandeira, a taxa de migração de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel para o grão é o principal fa-

tor que influencia o conteúdo de proteínas.

No caso de cana-de-açúcar, a situação deve ser oposta, já que a redução do NO_3^- é um processo que consome esqueletos carbônicos provenientes de açúcares. Assim, variedades com alto potencial de redução do NO_3^- , devem acumular menos açúcares e mais $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel. Realmente, tal hipótese foi parcialmente confirmada por *ROSARIO et alii* (1977). Trabalhando com várias variedades em condições de campo, observaram uma correlação negativa entre a concentração de açúcares (açúcares/planta) e atividade de redutase de nitrato. Verificaram também que a atividade da enzima é máxima aos 6 meses de idade.

O quociente NR_a (exógena)/ NR_a (endógena), em cana-de-açúcar pode ser tomado como um guia para diagnose foliar em termos de recomendação de adubação nitrogenada (*VILLALOBOS e CARVAJAL, 1977*).

O nitrogênio assimilado em cana-de-açúcar dirige-se preferencialmente às folhas jovens com maior taxa de crescimento. A intensidade de síntese proteica parece controlar a redistribuição do nitrogênio (*BURR et alii, 1958*).

3.3. Interação K-N e o Crescimento de Plantas

Por tudo o que foi exposto na presente revisão de literatura, fica claro que existe uma estreita correlação entre a relação K/N na planta e seu desempenho fisiológico, principalmente, naquelas que acumulam carboidratos como material de reserva. Infelizmente, são muito poucos os

trabalhos que abordam esse tema sob os aspectos bioquímicos e fisiológicos.

Em beterraba açucareira, diversos pesquisadores têm tentado estabelecer uma relação N : K ótima para a máxima produção de açúcar. Os dados indicam uma forte interação N - K. Apesar disso, os dados sobre a relação N : K ótima no meio nutritivo são bastante discrepantes (KOCHL, 1977).

Em cana-de-açúcar, HUMBERT (1958) sugere que uma relação K/N de 4 : 5 nos entre-nós 8 - 10 é ótima para alta produção de sacarose.

Cevada cultivada em solução nutritiva com 3 níveis de K^+ (10, 50 e 200 ppm) e 3 níveis de N (50, 100 e 200 ppm) apresenta 3 curvas de crescimento. Somente no nível K_1 a curva apresenta uma forte depressão, não seguindo a equação de Mitscherlich (MACLEOD, 1969).

KOCHL (1977) sugere uma relação N : K de 1 : 0,7 (em equivalente químico), considerada ótima para produção de beterraba açucareira.

Em condições de campo, diversos pesquisadores têm demonstrado a existência de forte interação K - N em cana-de-açúcar. Assim, altas doses de potássio aplicado, aumentam consideravelmente o teor de N nas folhas (ZAMBELO JR., 1979). No entanto, diversos experimentos executados em Porto Rico, têm demonstrado que nem sempre a interação N - K é nítida. Assim, em alguns ensaios, o nitrogênio aplicado apresenta uma correlação positiva com a concentração de potássio e em outros uma correlação negativa. O potássio aplicado apresenta uma correlação negativa com a concentração de N (SAMUELS, 1969).

Por diferentes mecanismos, os nutrientes interagem entre si e a composição mineral da planta revela tais evidências. Preocupado com esses aspectos, *BEAUFILS (1956)* introduziu a técnica do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS*), propondo as relações N/P, N/K e K/P e diagramas para interpretação do balanço nutricional de N, P e K (*ZAMBELO JR., 1979*).

Apesar da contribuição dos estudos citados acima, o fato da maioria desses experimentos ser realizada em condições de campo, com participação simultânea de inúmeros fatores externos, constituindo sistemas altamente complexos, muito limita as generalizações cientificamente rigorosas a cerca da real interação entre 2 ou mais nutrientes no processo solo-planta, já que torna-se praticamente impossível a distinção de um efeito direto de outro indireto. Infelizmente, são muito poucos os trabalhos realizados com variáveis controladas a nível de nutrição mineral e fisiologia de plantas cultivadas.

*DRIS - *Diagnosis and Recommendations Integrated System*

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

4.1.1. Obtenção das Plantas

4.1.1.1. Tratamento das Gemas - Toletes de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.), cultivar NA 5679, foram colhidos em 21/03/79 na Estação Experimental do Instituto Agrônômico, em Piracicaba, S.P. As plantas-mãe possuíam 12 meses de idade. As gemas selecionadas localizavam-se a 1/3 das extremidades do colmo. As gemas foram isoladas, retirando-se a porção succulenta do colmo. Em seguida, foram esterilizadas durante 30 minutos com solução aquosa de hipoclorito de sódio a 1% e colocadas em água, 52°C, durante 60 minutos, de acordo com *SILVA (1976)*.

4.1.1.2. Germinação - As gemas foram colocadas em bandejas contendo vermiculita saturada com solução de CaSO_4 10^{-4}M , mantidas em casa de vegetação e irrigadas diariamente com água destilada. A porcentagem de germinação foi de 90%. Após 15 dias de emergência, as bandejas foram

Tabela 1 - Composição química das soluções nutritivas dos diferentes tratamentos*

Tratamento	N-NO ₃ ⁻	K ⁺	P-H ₂ PO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	S-SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Na ⁺
N ₁ K ₁	1,0	0,1	1,0	3,0	1,0	1,0	3,1	1,9
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	12,8
N ₁ K ₂	1,0	6,0	1,0	3,0	1,0	1,0	3,0	1,9
N ₂ K ₂	9,0	6,0	1,0	3,0	1,0	1,0	5,6	3,6
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	1,9
N ₂ K ₃	9,0	12,0	1,0	3,0	1,0	4,0	6,0	3,6
N ₃ K ₃	18,0	12,0	1,0	3,0	1,0	1,0	6,0	7,0

* Os micronutrientes foram fornecidos para todos os tratamentos em iguais concentrações, de acordo com EPSTEIN (1972). Os valores acima são em concentração mM.

irrigadas a cada 8 dias com solução nutritiva de *HOAGLAND e ARNON (1950)* diluída 1:10. Após 30 dias, plantas selecionadas pelo aspecto vegetativo foram transferidas para os meios nutritivos definitivos.

4.1.2. Meio Nutritivo

Durante o experimento (5 meses), as plantas foram mantidas em solução nutritiva de *HOAGLAND e ARNON (1950)*, modificada conforme Tabela 1. Inicialmente, foram cultivadas em vasos contendo 3 litros de solução durante 2 meses; após esse período, foram transferidas para vasos de 13 litros de capacidade, contendo 10 l de solução. As soluções foram completamente renovadas a cada 15 dias até os 2 meses iniciais e a cada 30 dias após esse período. O volume inicial foi ajustado diariamente com água destilada. Todos os vasos receberam aeração forçada.

O pH das soluções variou de 6,0 - 7,0 durante o decorrer do experimento. O balanço catiônico-aniônico foi obtido através da substituição do K^+ pelo Na^+ e NO_3^- por Cl^- e $SO_4^{=}$.

4.1.3. Fatores Externos

O ensaio foi conduzido em condições de casa de vegetação, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, São Paulo, no período de 21 de março a 15 de setembro de 1979.

Os fatores luz, temperatura e umidade do ar foram não limitantes e considerados ótimos para o crescimento da espécie estudada. A intensidade luminosa dentro da casa de vegetação foi de 70% com relação ao

meio exterior. A temperatura do ar durante o decorrer do experimento apresentou os seguintes valores médios (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores das temperaturas médias mensais dentro da casa de vegetação durante o experimento

Meses	Temperaturas Médias ($^{\circ}\text{C}$)		
	mínima	máxima	média
Abril	11,0	31,0	22,0
Maio	10,0	29,0	20,0
Junho	8,0	26,0	18,0
Julho	8,1	27,0	17,0
Agosto	10,0	30,0	21,0
Setembro	12,0	29,0	21,0

4.2. Métodos

4.2.1. Delineamento Experimental

O delineamento adotado foi do tipo inteiramente casualizado com 3 níveis de N-NO_3^- na solução nutritiva ($\text{N}_1 = 1 \text{ mM}$; $\text{N}_2 = 9 \text{ mM}$ e $\text{N}_3 = 19 \text{ mM}$) e 3 níveis de K^+ ($\text{K}_1 = 0,1 \text{ mM}$; $\text{K}_2 = 6 \text{ mM}$ e $\text{K}_3 = 12 \text{ mM}$), resultando 9 tratamentos com 3 repetições, utilizando-se 2 plantas/vaso, como discrimi-

nado na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação K/N nas soluções nutritivas dos diferentes tratamentos

Tratamento	Relação K/N.NO ₃ ⁻ (em equivalentes químico)	Relação K/N (em massa)	Notação
1	0,1 : 1,0	0,27	N ₁ K ₁
2	0,1 : 9,0	0,03	N ₂ K ₁
3	0,1 : 18,0	0,01	N ₃ K ₁
4	6,0 : 1,0	16,71	N ₁ K ₂
5	6,0 : 9,0	1,85	N ₂ K ₂
6	6,0 : 18,0	0,92	N ₃ K ₂
7	12,0 : 1,0	33,42	N ₁ K ₃
8	12,0 : 9,0	3,71	N ₂ K ₃
9	12,0 : 18,0	1,85	N ₃ K ₃

As plantas foram colhidas com 3 idades diferentes: 6, 12 e 18 semanas de permanência nas soluções nutritivas, correspondendo a 2, 4 e 6 meses de idade fisiológica, aproximadamente.

4.2.2. Métodos Analíticos

4.2.2.1. Análise Química

4.2.2.1.1. Amostragem e Preparo das Amostras - Após coleta, as plantas foram divididas em perfilhos, raiz, colmo, nervura principal, lâminas e bainha, secas em estufa com circulação de ar, de 60-70°C e pulverizadas em moinho.

Para as análises nas folhas foram utilizadas as lâminas das folhas 3⁺ e 4⁺, de acordo com *MALAVOLTA et alii (1974)*. No colmo das plantas com 6 meses de idade utilizou-se somente o material contido na região dos entre-nós.

4.2.2.1.2. Preparo dos Extratos e Dosagem Química

a) N-Total, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e Na⁺

100 mg do material pulverizado foi completamente digerido e oxidado com mistura de H₂SO₄ concentrado + H₂O₂ + Se_(s) + LiSO₄, de acordo com *JØRGENSEN (1977)*.

N-Total foi determinado por microdestilação e dosagem volumétrica, pelo método Kjeldahl, de acordo com *BATAGLIA et alii (1978)*.

Os elementos K, Ca, Mg e Na foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica, segundo o método proposto por *JØRGENSEN (1977)*.

b) N-NO₃⁻

100 mg do material pulverizado foi misturado com 10 mL de

solução saturada de CaSO_4 , aquecido durante 2 horas a 90°C e centrifugado a 5000 rpm por 10 minutos. O NO_3^- foi determinado em sistema de fluxo contínuo, colorimetricamente, a partir do NO_2^- formado pela redução do NO_3^- através de coluna de cádmio cobreado, segundo o método proposto por *ROSAS* (1979).

c) Açúcares Redutores (AR), Açúcares Redutores Totais (ART) e Sacarose Estimada

100 mg do material pulverizado foi misturado com etanol 80% (v/v), aquecido a 80°C durante 60 minutos, fazendo-se duas extrações sucessivas com porções de 5,0 mL de etanol e centrifugado a 5000 rpm por 10 minutos. Os oligosacarídeos contidos no extrato foram hidrolisados com HCl 0,5 N a 65°C durante 30 minutos, de acordo com *AMORIM e ZAGO* (1978).

Os açúcares redutores foram dosados colorimetricamente pelo método de *SOMOGYI* (1952), modificado por *NELSON* (1944). A % de sacarose estimada foi obtida pela diferença $\text{ART} - \text{AR}$.

d) $\text{N}-\alpha\text{NH}_2$ Solúvel

A extração foi feita juntamente com açúcares redutores (item c). A % $\text{N}-\alpha\text{NH}_2$ foi determinada a partir da reação do reativo níhídri na ativado com KCN 0,01 M, com os grupos $\alpha\text{-NH}_2$ existentes no extrato, de acordo com o método proposto por *KABAT e MAYER* (1967).

e) Proteínas

O resíduo sólido restante após extração de $\text{N}-\alpha\text{NH}_2$ solúvel foi misturado com 10 mL de NaOH 1 M, em duas porções sucessivas de 5,0 mL,

aquecido a 90°C durante 60 minutos e centrifugado a 5000 rpm por 5 minutos.

As proteínas foram dosadas pelo método colorimétrico de LOWRY et alii (1951), utilizando soro albumina bovina (BSA) como padrão.

4.2.2.2. Análise Enzimática

a) Atividade de Redutase de Nitrato (E.C.1.6.6.2)

Foi utilizado o método *in vivo* de HAGEMAN e HUCKLESBY (1971), com algumas modificações.

A porção mediana da folha 3⁺ sem nervura principal, imediatamente após coleta, foi picada em dimensões de 1 cm², pesando-se 200 mg, que foram transferidos para tubos de ensaio contendo 2,5 mL de tampão KH₂PO₄ 0,1 M, pH 7,5 + 0,5 mL de KNO₃ 0,1 M. Em seguida, aplicou-se vácuo dentro dos tubos durante 1 minuto e incubação a 32°C ao abrigo da luz, durante 30 minutos.

A reação foi interrompida pela adição de 1 mL de sulfanilamida 1% (em HCl 2 N) e 1,0 mL de α -naftiletilenodiamina 0,05%. A quantidade de NO₂⁻ produzida foi determinada colorimetricamente, após leitura a 540 nm.

A atividade da enzima foi expressa em micromoles de NO₂⁻ formado por hora e por grama de matéria fresca.

5. RESULTADOS

5.1. Observações Gerais do Crescimento

As plantas dos 9 tratamentos apresentam diferenças marcantes quanto a aparência visual de seus diferentes órgãos, suficientes para agrupá-los em 3 tipos: (1) plantas "normais" (Tratamentos N_2K_2 , N_3K_2 , N_2K_3 e N_3K_3); (2) plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1) e (3) plantas deficientes em nitrogênio (N_1K_1 , N_1K_2 e N_1K_3). As principais características dessas plantas estão descritas na Tabela 3.

Os tratamentos N_2K_2 , N_3K_2 , N_2K_3 e N_3K_3 apresentam plantas com ótimo aspecto vegetativo nas diferentes partes: raiz, colmo e folhas, conforme descrição da Tabela 4. Essas plantas apresentam-se sem qualquer sintoma visual de anormalidades nutricionais e/ou fitossanitária. Não existe uma diferença nítida entre as plantas desses tratamentos, apesar do tratamento N_2K_3 apresentar plantas com aspecto geral de maior crescimento.

Plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1) apresentam sintomas visuais típicos de deficiência nas folhas mais velhas, conforme descrição na Tabela 3. É interessante frisar, que apesar dos tratamentos N_1K_1 , N_2K_1 e N_3K_1 apresentarem o mesmo nível de K^+ na solução nutritiva, os sintomas de deficiência foram mais drásticos e mais nítidos nas plantas N_3K_1 e, em menor proporção, nas N_2K_1 . As plantas N_1K_1 praticamente não apresentam sintomas de deficiência de K^+ , sendo mais evidente os sintomas de deficiência de N. Além do mais, as plantas N_3K_1 apresentam os primeiros sintomas com apenas 15 dias de permanência nas respectivas soluções nutritivas, ao passo que os primeiros sintomas das plantas N_2K_1 aparecem somente aos 4 meses de idade. As raízes das plantas N_3K_1 apresentam fortes sintomas de anormalidades a partir dos 2 meses, com escurecimento de uma parte do sistema radicular. Portanto, as plantas N_3K_1 apresentam sintomas de deficiência de K^+ mais generalizados, evidenciando que os sintomas devem estar associados ao nível de $N-NO_3^-$ na solução e/ou nível de $N-\alpha NH_2$ na planta. As folhas 3⁺ e 4⁺ não apresentam sintomas visuais de deficiência de K^+ .

As plantas deficientes em $N^{(1)}$, ao contrário das deficientes em K^+ , não apresentam diferenças no aspecto vegetativo de raiz, colmo e folhas, com relação às diferentes combinações N - K. Desse modo, o aspecto vegetativo das plantas N_1K_1 , N_1K_2 e N_1K_3 foi praticamente o mesmo.

Os dados indicam que as plantas exigem $N-NO_3^-$ em concentrações e/ou quantidades bem superiores ao K^+ , pois, apesar da concentração

⁽¹⁾ Aos seis meses de idade, as plantas N_1K_1 , além de apresentarem os sintomas típicos de deficiência de N, apresentam também alguns sintomas visuais de deficiência de K^+ .

Tabela 4 - Principais características visuais de raiz, colmo e folhas de plantas de cana-de-açúcar, c.v. NA 5679, deficientes em nitrogênio, deficientes em potássio e normais, cultivadas em solução nutritiva até os 6 meses de idade

Tipo	Parte da Planta		
	raiz	colmo	folha
Plantas normais (N_2K_2 , N_3K_2 , N_2K_3 , N_3K_3)	Crescimento vigoroso, bastante ramificadas, volumosas e densas, suculentas, pouco lignificadas, coloração esbranquiçada. Ótimo aspecto vegetativo.	Crescimento vigoroso, aparcimento de nós aos 4 meses, diâmetro semelhante aos de plantas cultivadas em condições naturais	Crescimento vigoroso, verde de intenso, largas, ausência de qualquer sintoma visual de deficiência de nutrientes ou presença de doenças ou pragas.
Plantas deficientes em nitrogênio (N_1K_1 , N_1K_2 , N_1K_3)	Crescimento um pouco menos vigoroso, menos ramificadas, pouco volumosas, densas, aspecto lignificada, mais compridas, coloração amarelada.	Crescimento lento, praticamente sem diferenciação (ausência de nós), pequeno diâmetro e tamanho muito reduzido.	Crescimento lento, verde pálido, tendendo ao amarelo, senescência precoce das folhas mais velhas, muito pouco desenvolvidas (pequena largura e curtas).
Plantas deficientes em potássio (N_2K_1 , N_3K_1)	Crescimento menos vigoroso que as normais, aparecimento de deformações nas extremidades (aspecto coraloide) aos 30 dias, aparecimento de partes escuras. As plantas do tratamento N_3K_1 apresentaram sintomas mais drásticos de deficiência.	Crescimento menos vigoroso que as normais, mais pequeno diâmetro e menor tamanho, pequena distância entre os nós aos 5 meses. Presença de pontuações avermelhadas na bainha aos 4 meses.	Crescimento lento, verde intenso, estreitas e compridas, aparecimento de pontos avermelhados no limbo aos 30 dias, enrolamento e necrose nas pontas. Após 2 meses, pontos avermelhados na nervura principal das folhas mais velhas. As plantas que apresentaram os primeiros e mais drásticos sintomas visuais foram as do tratamento N_3K_1

do N-NO_3^- ser 10 vezes superior a do K^+ nas soluções nutritivas, as plantas crescidas com 1 m mol/l de N-NO_3^- apresentam um crescimento muito menor que as crescidas com 0,1 m mol/l de K^+ .

5.2. Acúmulo e Distribuição de Matéria Seca

5.2.1. Aos 6 Meses de Idade

Os dados de acúmulo de matéria seca em raiz, colmo, folha e planta inteira aos 6 meses de idade encontram-se na Tabela 5 e Figuras 2, 3, 4, 6, 7 e 8.

A análise dos dados indica que existe grande diferença no acúmulo de matéria seca total, quando se aumenta o nível de N-NO_3^- na solução nutritiva de N_1 a N_2 para qualquer um dos 3 níveis de K^+ . No entanto, a combinação N_2K_3 apresenta maior produção. Ao contrário do K^+ , altos níveis de N-NO_3^- (acima de 18,0 mM), diminuem a produção total de matéria seca, para qualquer nível de K^+ utilizado. Plantas "normais" (N_2K_2 , N_3K_2 , N_2K_3 e N_3K_3) não apresentam diferenças significativas para as relações folha/colmo e parte aérea/raiz.

Plantas deficientes em N (N_1K_1 , N_1K_2 e N_1K_3) apresentam baixíssimo acúmulo de matéria seca, não sendo observado, no entanto, diferenças entre elas, apesar das grandes diferenças existentes nos níveis de K^+ na solução nutritiva e na % de K nas folhas. Essas plantas apresentam uma alta relação folha/colmo e baixa relação parte aérea/raiz (Figuras 3 e 4), comparado com as plantas "normais". Além do mais, plantas deficien-

tes em N apresentam menor acúmulo de matéria seca comparado as deficientes em K^+ .

Quanto ao K^+ , os dados indicam que essa variedade de cana-de-açúcar é bastante exigente neste nutriente, pois, há resposta quanto ao acúmulo de matéria seca, quando se elevam os níveis de K^+ de K_1 a K_3 , principalmente quando combinado ao nível de K_2 . Assim, concentração de 2,33% nas folhas 3^+ e 4^+ (5-6 meses), com 2,41% de N-Total, promovem o máximo de acúmulo de matéria seca. Plantas deficientes em K apresentam alta relação folha/colmo. A relação parte aérea/raiz não é significativamente diferente das plantas "normais".

5.2.2. Aos 2, 4 e 6 Meses

As Figuras 5, 6, 7, 8 e 9 representam o acúmulo de matéria seca nas diferentes partes (raiz, colmo e folha), em função da idade da planta. Como pode ser observado, plantas "normais" (N_2K_2 , N_3K_2 , N_2K_3 e N_3K_3) apresentam um grande decréscimo na relação folha/colmo no período dos 4-6 meses, ao contrário das plantas deficientes em N e das deficientes em K^+ , que apresentam um pequeno decréscimo dos 2-4 meses, permanecendo praticamente constante dos 4-6 meses (Figura 5). Esses dados evidenciam que as deficiências de K e N provocam profundos distúrbios fisiológicos a partir dos 2 meses de idade.

As Figuras 7, 8 e 9 revelam que a taxa de crescimento nas diversas partes da planta, medida como acréscimo de matéria seca por unidade de tempo, foi maior no período dos 2-4 meses, nos diversos tratamentos.

Entretanto, analisando-se o acréscimo de matéria seca nas diferentes partes: raiz, colmo e folha, observa-se o seguinte: (1) nas folhas, plantas deficientes em N apresentam o menor acréscimo nos períodos 2-4 e 4-6 meses: 3,0 e 1,5 vezes a quantidade inicial, respectivamente; plantas deficientes em K^+ apresentam valores correspondentes de 4,0 e 3,0, enquanto as plantas "normais" (N_2K_3) apresentam 4,5 e 3,0 vezes a quantidade inicial; (2) no colmo, o acréscimo é de 5,7 e 1,5, 6,5 e 3,0, 5,0 e 6,5, correspondendo aos acréscimos de matéria seca nos períodos 2-4 e 4-6 meses, em plantas deficientes em N, plantas deficientes em K^+ e plantas "normais", respectivamente; (3) na raiz, os valores correspondentes foram: 6,0 e 1,8, 6,0 e 1,8, 6,0 e 3,0, respectivamente. Assim, os dados revelam que a raiz é a parte menos afetada pela deficiência de N e de K^+ em termos de crescimento relativo, sofrendo efeitos somente a partir dos 4 meses de idade da planta.

A análise dos dados acima, juntamente com os da Tabela 4 e Figura 5, evidencia que realmente as deficiências de K^+ e N induzem alterações nas relações folha/colmo e parte aérea/raiz, através de uma menor taxa de crescimento nos colmos com relação às folhas, evidenciando, assim, dificuldades na migração de produtos da fotossíntese até o colmo, principalmente no período 4-6 meses. É importante frisar que no período dos 2 - 4 meses, a atividade de "centro de consumo" das raízes e colmo é, em termos relativos, bastante elevada nas plantas deficientes em N e plantas deficientes em K^+ , indicando, portanto, que as dificuldades de migração se acentuam no período 4-6 meses.

Com relação ao acréscimo de matéria seca em toda planta, os

valores foram: 4,0 e 1,5, 5,0 e 2,5, 5,0 e 4,0, correspondendo aos períodos 2-4 e 4-6 meses nas plantas deficientes em N, plantas deficientes em K^+ e plantas "normais", respectivamente. Esses resultados estão de acordo com as observações visuais (Tabela 3), indicando que, nesses períodos, a planta é mais exigente em nitrogênio, com relação ao K^+ , já que o meio nutritivo das plantas deficientes em nitrogênio apresentavam esse elemento em concentração e quantidade 10 vezes superior ao K^+ existente no meio nutritivo das plantas deficientes em K^+ (Tabela 1).

É importante observar que nas plantas "normais" (N_2K_2 , N_3K_2 , N_2K_3 e N_3K_3), os acréscimos de matéria seca nos períodos 2-4 e 4-6 meses, nas folhas e colmos, apresentam diferenças interessantes. Assim, a melhor combinação N-K é a do tratamento N_2K_3 , seguido pelo N_2K_2 . Além de apresentar maior acúmulo de matéria seca total, o tratamento N_2K_3 apresenta maior acréscimo de matéria seca no colmo (no período 4-6 meses): 6,5 vezes, contra 5,0; 4,5 e 4,5 dos tratamentos N_2K_2 , N_3K_2 e N_3K_3 , respectivamente. Além disso, a Figura 3 e Tabela 5 indicam que plantas N_2K_3 apresentam relação folha/colmo de 0,63 contra 0,71; 0,74; 0,73 das plantas N_2K_2 , N_3K_2 e N_3K_3 . Apesar desses valores não serem diferentes estatisticamente (a nível de 95% de probabilidade), pode-se acreditar que o maior crescimento relativo das plantas N_2K_3 esteja relacionado com o menor valor da relação folha/colmo.

Os resultados indicam, portanto, que concentrações de $N-NO_3^-$ superiores a 18 mM no substrato, nas quantidades fornecidas, são prejudiciais ao crescimento da planta, para qualquer um dos níveis de K^+ .

Figura 2 - Produção relativa de matéria seca total de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figura 3 - Relação folha/colmo em peso seco de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figura 4 - Relação parte aérea/raiz em peso seco de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figura 5 - Relação folha/colmo em peso seco de cana-de-açúcar NA 5679, em plantas normais, plantas deficientes em potássio (-K) e plantas deficientes em nitrogênio (-N), em função da idade.

Figuras 6, 7 e 8 - Acúmulo de matéria seca em raiz (a), colmo (b) e folhas (c), em plantas de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, em função da idade.

Obs.: 1,2,3,4,5,6,7,8,9: Tratamentos conforme notação relacionada na Tabela 3.

5.3. Acúmulo e Distribuição de Açúcares

5.3.1. Aos 6 Meses de Idade

Os dados encontram-se na Tabela 6 e Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17. Observa-se, inicialmente, que o acúmulo de açúcares redutores e sacarose apresenta uma distribuição nos diversos tratamentos semelhante ao acúmulo de matéria seca. Assim, a concentração e produção de açúcares redutores totais (ART) é máxima no tratamento N_2K_3 . Semelhante ao observado para matéria seca, níveis de $N-NO_3^-$ superiores a 18 mM na solução nutritiva, provocam diminuição na concentração e produção de açúcares redutores totais. Para sacarose, o comportamento foi praticamente o mesmo. No caso de açúcares redutores, plantas com níveis de $N-NO_3^-$ acima de 18 mM, apresentam menor concentração somente quando o nível de K^+ não é deficiente. Portanto, níveis de $N-NO_3^-$ acima de 18 mM reduzem a concentração e produção de açúcares redutores totais e de sacarose, para qualquer um dos níveis de K^+ . Ao contrário do N, a planta responde positivamente aos níveis crescentes de K^+ , principalmente quando combinado ao nível N_2 (N_2K_1 , N_2K_2 e N_2K_3).

Plantas deficientes em nitrogênio apresentam igual concentração de sacarose e menor concentração de açúcares redutores na folha e menor concentração de açúcares redutores e sacarose no colmo, enquanto as deficientes em K^+ apresentam menor concentração de sacarose e maior concentração de açúcares redutores, comparado às plantas "normais". Os dados das Figuras 16, 20 e 21 indicam que nas plantas deficientes em nitrogênio ocorre acúmulo de sacarose e açúcares redutores na folha, enquanto nas de-

ficientes em K^+ verifica-se um grande acúmulo de açúcares redutores.

Quanto à relação K/N, a Figura 15 indica que existe uma cor relação positiva ($r = 0,92^{**}$), significativa a nível de 1% de probabilidade, entre a relação K/N nas folhas 3^+ e 4^+ (5-6 meses) e a % de sacarose no colmo. Deve ser frisado que plantas muito deficientes em N apresentam relações K/N próximo de 1,0, porém, com baixíssimas concentrações de sacarose. Portanto, os valores da relação K/N podem ser tomados como indicadores do estado nutricional dessa variedade de cana-de-açúcar, somente quando as concentrações de K^+ e N são não-limitantes.

O fato das plantas N_3K_2 e N_3K_3 apresentarem menor produção de açúcares e menor produção de matéria seca (Figuras 2 e 10) sugere que concentrações de $N-NO_3^-$ superiores a 18 mM (na quantidade fornecida) e concentração de N-Total nas folhas acima de 2,5%, podem provocar decréscimo no crescimento e produção de açúcares nesta variedade de cana-de-açúcar. Apesar disso, a concentração e acúmulo de N-Total nas folhas não diferem entre as plantas N_2K_2 e N_3K_2 ou N_2K_3 e N_3K_3 , evidenciando, assim, as limitações da diagnose foliar. Tal diferença, realmente ocorre no colmo: 1,08 e 1,41 ou 0,99 e 1,52.

5.3.2. Aos 2, 4 e 6 Meses

Os dados relativos ao acúmulo e distribuição de açúcares nos períodos de 2, 4 e 6 meses encontram-se nas Tabelas 9, 10 e 11 e Figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29 e 32.

Inicialmente, os dados revelam que após os 2 meses de idade, ocorre maior concentração de açúcares solúveis no colmo com relação às folhas, em todos os tratamentos (Figuras 29 e 32). Observa-se também um grande decréscimo na concentração de açúcares redutores e sacarose no período de 2-4 meses, tanto nas folhas como no colmo (Figuras 18 e 19). É interessante frisar, que nesse período ocorre maior taxa de crescimento e maior intensidade na síntese de proteínas. Assim, apesar da alta taxa de produção de açúcares pela fotossíntese, estes devem estar sendo utilizados intensamente no processo de crescimento e principalmente na síntese de proteínas. Isso pode ser evidenciado pelo comportamento da planta no período de 4-6 meses, em que observa-se um grande acúmulo de açúcares solúveis, com a concentração de proteínas praticamente inalterada, tanto na folha como no colmo (Figuras 28 e 31).

Plantas deficientes em N (N_1K_1 , N_1K_2 e N_1K_3) apresentam alta relação folha/colmo de açúcares redutores nos 3 períodos (Figura 22), sendo a concentração desses açúcares relativamente maior nas folhas aos 6 meses, com relação às plantas "normais" (Figura 18). No caso de sacarose observa-se um grande aumento na relação folha/colmo dos 2-4 meses e uma grande diminuição no período 4-6 meses (Figura 23). Esses dados sugerem, portanto, que no período dos 2-4 meses ocorre grande acúmulo de açúcares redutores e sacarose nas folhas de plantas deficientes em nitrogênio. No entanto, no período de 4-6 meses, a relação folha/colmo de açúcares redutores e sacarose diminui significativamente, sugerindo que o período 2-4 meses é crítico em termos de necessidades de nitrogênio para o processo de migração. Apesar disso, plantas deficientes em N apresentam relação AR-folha/AR-colmo elevadas, quando comparadas com plantas "normais" nos 3

períodos.

Plantas deficientes em K^+ apresentam, de um modo geral, comportamento semelhante ao das plantas deficientes em N. A principal diferença é que as plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1) apresentam um grande aumento na relação folha/colmo de açúcares redutores, no período de 4-6 meses, evidenciando assim acúmulo desses açúcares nesse período. Apesar disso, nessas plantas, observa-se uma maior concentração de açúcares redutores, tanto na folha como no colmo, comparado às plantas "normais". Além disso, ao contrário das plantas deficientes em N, observa-se, no período de 4-6 meses, um grande aumento na relação folha/colmo de açúcares redutores e uma grande diminuição na relação folha/colmo de sacarose (Figuras 22 e 23). Esses dados sugerem que a participação de K^+ e N no processo geral de migração e na biossíntese de açúcares deve ser distinta.

Com relação às plantas "normais" (N_2K_2 , N_3K_2 , N_2K_3 e N_3K_3), os dados revelam uma grande diminuição nas concentrações de açúcares redutores e de sacarose no período de 2-4 meses e um grande aumento dos 4-6 meses, tanto na folha como no colmo, conforme indicam as Figuras 18, 19, 20 e 21. Além disso, a relação folha/colmo para açúcares redutores decresce linearmente em função da idade, enquanto que para sacarose a relação praticamente não se altera nos 3 períodos (Figuras 22 e 23). A diminuição na relação folha/colmo de açúcares redutores provavelmente está relacionada com o grande aumento de $N-\alpha NH_2$ solúvel nas folhas, através de uma maior taxa de assimilação de $N-NO_3^-$ nas folhas. A possibilidade da diminuição da relação folha/colmo em açúcares redutores estar relacionada com maior taxa de migração não deve ser descartada.

Figura 9 - Acúmulo de matéria seca total em cana-de-açúcar NA 5679, em plantas normais, plantas deficientes em potássio (-K), e em plantas deficientes em nitrogênio (-N), em função da idade.

Figura 10 - Produção relativa de açúcares redutores totais (ART), por plantas de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figura 11 - Produção de sacarose estimada em colmo de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figuras 12 e 13 - Percentagem de sacarose estimada (12) e açúcares redutores totais - ART - (13), em colmo de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figura 14 - Percentagem de açúcares redutores em colmo de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figura 15 - Percentagem de sacarose no colmo de cana-de-açúcar NA 5679, em função da relação K/N, nas folhas 3⁺ e 4⁺, aos 6 meses de idade.

Figura 16 - Relação folha/colmo em termos de açúcares redutores totais (ART), em cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figura 17 - Relação açúcares redutores totais (ART)/açúcares redutores (AR), no colmo de cana-de-açúcar NA 5679 nos diversos tratamentos aos 6 meses de idade.

Figuras 18 e 19 - Concentração de açúcares redutores em folhas (18) e colmo (19) de cana-de-açúcar NA 5679, em plantas normais, plantas deficientes em potássio (-K) e em plantas deficientes em nitrogênio (-N), em função da idade.

Figuras 20 e 21 - Percentagem de sacarose estimada em folhas (20) e colmo (21) de cana-de-açúcar NA 5679, em plantas normais, plantas deficientes em potássio (-K) e em plantas deficientes em nitrogênio (-N), em função da idade.

Figuras 22 e 23 - Relação folha/colmo e termos de açúcares redutores -AR- (22) e sacarose (23), em cana-de-açúcar NA 5679, em plantas normais, plantas deficientes em potássio (-K) e em plantas deficientes em nitrogênio (-N), em função da idade.

Figuras 24, 25 e 26 - Relação folha/colmo em cana-de-açúcar NA 5679, expressa em termos de matéria seca (a), açúcares redutores totais (b) e N- α NH₂ solúvel (c), nos diversos tratamentos em função da idade.

Obs.: 1,2,3,4,5,6,7,8,9: Tratamentos conforme notação especificada na Tabela 3.

As Figuras 20 e 21 indicam que no período dos 4-6 meses ocorre uma alta taxa de acúmulo de sacarose, principalmente no colmo. É importante observar que no período de 2-4 meses a relação folha/colmo para sacarose aumentou de 0,10 para 0,16. Apesar de tal aumento ser bem menos pronunciado, comparado às plantas deficientes em N e nas deficientes em K⁺, a Figura 23 indica que, no período de maior utilização de açúcares para o crescimento, ocorre maior diminuição na concentração de sacarose no colmo em relação às folhas.

5.4. Acúmulo e Distribuição de Compostos Nitrogenados

5.4.1. N- α NH₂ Solúvel e Proteínas

5.4.1.1. Aos 6 Meses - Os dados correspondentes ao acúmulo e distribuição de N- α NH₂ solúvel e proteínas encontram-se nas Tabelas 9, 12 e 13 e Figuras 26, 27, 28, 30, 31, 37, 38 e 44.

De um modo geral, a porcentagem de N- α NH₂ solúvel na folha é igual a do colmo nos diversos tratamentos. Quanto às proteínas, a Figura 44 indica que as folhas (lâminas) apresentam maior concentração, principalmente quando expressa com base no peso de matéria verde, já que as folhas possuem menor umidade.

Quanto aos diversos tratamentos, as Figuras 27, 30, 37 e 38 indicam que plantas cultivadas com níveis crescentes de N-NO₃⁻ (N₁, N₂ e N₃) apresentam concentrações crescentes de N- α NH₂ solúvel nas folhas. No colmo, o comportamento foi diferente, principalmente quanto ao tratamento

N_2K_3 que apresentou concentrações de $N-\alpha NH_2$ solúvel igual ao N_1K_3 . No entanto, esses dados estão de acordo com os encontrados para a concentração de N-Total (Figura 36), $N-NO_3^-$ (Figura 39) e atividade de redutase nitrato (Figura 40). Com relação às proteínas, os dados indicam que não há diferenças significativas entre a porcentagem de proteínas nos diversos tratamentos, apesar das plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1) apresentarem valores menores. No entanto, esses dados, quando expressos com base no peso da matéria verde, deixam de ser diferentes, porque essas plantas apresentam menor umidade nas folhas, em relação às "normais".

Plantas deficientes em nitrogênio apresentam baixa concentração de $N-\alpha NH_2$ solúvel nas folhas e nos colmos. É importante observar que as plantas do tratamento N_1K_1 , apesar de apresentarem sintomas típicos de deficiência de N, apresentam maior concentração de $N-\alpha NH_2$ solúvel, comparado aos tratamentos N_1K_2 e N_1K_3 . Provavelmente, no período de 6 meses, a deficiência de K^+ nessas plantas começa a se manifestar. A porcentagem de proteínas, tanto nas folhas como no colmo é, praticamente, igual, comparando-se plantas normais com as deficientes em N, enquanto a relação folha/colmo em $N-\alpha NH_2$ solúvel é menor nas plantas deficientes.

Ao contrário das plantas deficientes em N, as deficientes em K^+ apresentam alta concentração de $N-\alpha NH_2$ solúvel, tanto nas folhas como no colmo, apresentando também baixa relação folha/colmo. Esses dados indicam que compostos nitrogenados solúveis e tóxicos (aminas, amidas, aminoácidos) não devem se acumular preferencialmente nas folhas. A porcentagem de proteínas nas plantas deficientes em K^+ é, praticamente, igual a de plantas normais. É importante frisar que as folhas tomadas para análises

(Folhas 3⁺ e 4⁺) não apresentam sintomas visuais de deficiência em K⁺. Portanto, os dados indicam que a relação entre a taxa de síntese de proteínas e a taxa de crescimento (acúmulo de matéria seca) é igual nas folhas de plantas deficientes em K⁺ e de plantas "normais".

5.4.1.2. Aos 2, 4 e 6 Meses - As Figuras 27 e 30 e Tabelas 12 e 13 indicam que a porcentagem de N- α NH₂ solúvel diminui nas folhas e nos colmos no período de 2-4 meses somente nas plantas "normais" (N₂K₂, N₃K₂, N₂K₃ e N₃K₃), ao contrário das plantas deficientes em N (N₁K₁, N₁K₂, N₁K₃) e as deficientes em K⁺ (N₂K₁ e N₃K₁), que, nesse período, praticamente não alteram a porcentagem de N- α NH₂ solúvel nas folhas. No colmo dessas plantas deficientes em K⁺ ocorre uma diminuição na concentração de N- α NH₂ solúvel, enquanto que no de plantas deficientes em nitrogênio, essa concentração permanece praticamente constante.

No período de 4-6 meses ocorre aumento na concentração de N- α NH₂ solúvel em todos os tratamentos, tanto nas folhas como no colmo (Figuras 27 e 30). No entanto, o incremento é maior nos níveis N₂ e N₃, principalmente nas folhas. Assim, o acúmulo de N- α NH₂ em plantas deficientes em N (N₁K₁, N₁K₂ e N₁K₃) é bastante reduzido quando comparado às plantas "normais".

Nas plantas "normais" (N₂K₂, N₃K₂, N₂K₃ e N₃K₃) a concentração de N- α NH₂ diminui no período de 2-4 meses, aumentando no período de 4-6 meses, tanto no colmo como nas folhas. A relação folha/colmo de N- α NH₂ solúvel permanece praticamente constante no período de 2-4 meses, aumentando no período de 4-6 meses. É importante ressaltar, dando ênfase

ao que foi citado no sub-item anterior (5.4.1.), que as plantas N_2K_3 apresentam comportamento diferente, comparadas com as outras plantas "normais" (N_2K_2 , N_3K_2 e N_3K_1), principalmente no período de 4-6 meses. Assim, as plantas N_2K_3 apresentam alta relação folha/colmo (Tabela 8), devido a um menor acúmulo e concentração de $N-\alpha NH_2$ solúvel no colmo; baixa atividade de redutase nitrato nas folhas (Tabela 13); baixa concentração de N-Total no colmo e baixa concentração de NO_3^- no colmo (Figuras 36 e 39). A concentração de proteínas nas plantas "normais" aumenta bruscamente no período de 2-4 meses, principalmente nas folhas. No período de 4-6 meses, o teor de proteínas permanece praticamente constante. As Figuras 42 e 43 mostram o comportamento do acúmulo de proteínas e de $N-\alpha NH_2$ solúvel nas folhas, nos diferentes períodos. As curvas indicam que a taxa de acúmulo de proteínas é diferente da taxa de acúmulo de $N-\alpha NH_2$ solúvel nas folhas, principalmente no período de 4-6 meses. Neste período, a taxa de acúmulo de $N-\alpha NH_2$ solúvel nas folhas de plantas normais é bem superior à taxa de acúmulo de proteínas. Esses dados indicam que no período de 4-6 meses, as folhas funcionam como centro de acúmulo de $N-\alpha NH_2$ solúvel ("pool de aminoácidos solúveis"). A alta relação folha/colmo reforça tal ponto de vista.

Plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1) apresentam altas concentrações de $N-\alpha NH_2$ solúvel nas folhas e no colmo nos 3 períodos de crescimento. A relação folha/colmo aumenta gradativamente dos 2 aos 6 meses, sendo, no entanto, menor que o de plantas "normais". Apesar disso, os valores absolutos da concentração de $N-\alpha NH_2$ solúvel nas folhas, cresce significativamente nas folhas deficientes em K^+ , no período de 4-6 meses,

comparado ao de plantas "normais". Assim, os dados revelam que, apesar da ampla redistribuição de compostos $\alpha\text{-NH}_2$ solúveis para o colmo e, provavelmente, raízes, verifica-se um grande acúmulo desses compostos nas folhas de plantas deficientes em K^+ . A análise dos dados contidos nas Figuras 42 e 43 revela que as plantas deficientes em K^+ apresentam grandes diferenças quanto ao acúmulo de proteínas e o acúmulo de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel, comparadas com as plantas "normais". Assim, a taxa de acúmulo de proteínas é muito menor que a taxa de acúmulo de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel, havendo como consequência grande acúmulo de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel. Além disso, a Figura 40 demonstra que a atividade de redutase de nitrato não é menor em folhas de plantas deficientes em K^+ , evidenciando que a taxa de redução e, possivelmente, a de assimilação do N-NO_3^- , não é diminuída na deficiência de K^+ . Assim, a diminuição na taxa de síntese de proteínas provocaria o acúmulo de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ nestas plantas.

Plantas deficientes em N (N_1K_1 , N_1K_2 e N_1K_3) apresentam baixa concentração de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel, tanto nas folhas como no colmo, nos 3 períodos de crescimento. Ao contrário das plantas "normais", a porcentagem de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel não diminui no período de 2-4 meses, possivelmente, devido à baixa taxa de crescimento neste período, conforme dados da Figura 9. A taxa de síntese de proteínas e a taxa de acúmulo de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel, são significativamente menores que a de plantas "normais", conforme Figuras 42 e 43. Ao contrário das plantas "normais", as inclinações destas curvas são praticamente idênticas (Figuras 42, 43 e 9), explicando, assim, a ausência de acúmulo de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel e o fato de que plantas deficientes em N apresentarem a mesma concentração de proteínas comparadas com as "normais". Assim, provavelmente, a taxa de síntese de proteínas exerce

controle sobre a taxa global de crescimento. A Figura 48 indica que a relação folha/colmo de $N-\alpha NH_2$ solúvel aumenta levemente dos 2-4 meses, permanecendo praticamente constante nos 4-6 meses.

5.4.2. N-Total e $N-NO_3^-$

5.4.2.1. Aos 6 Meses - As Figuras 33, 34, 35, 36, 39 e 41 e Tabelas 14 e 15 contêm os dados de concentração e acúmulo de N-Total e $N-NO_3^-$, em folha e colmo de plantas com 6 meses de idade.

A porcentagem de N-Total, tanto na folha como no colmo, aumenta com os níveis de N na solução nutritiva. No entanto, somente os níveis de N_1 e N_2 combinados a qualquer nível de K^+ apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade. É importante observar que no colmo ocorre diferenças mais nítidas quanto à concentração de N-Total. Assim, os tratamentos N_2K_2 e N_3K_2 apresentam diferenças significativas (1,08% e 1,41%, respectivamente - Tabela 14). O tratamento N_2K_3 , como frisado anteriormente, apresenta comportamento algo singular, pois a concentração de N-Total é bastante baixa (0,99%), comparada com a do tratamento N_3K_3 (1,52%). Provavelmente, tal comportamento se deve ao efeito de diluição, já que as plantas N_2K_3 apresentam maior acúmulo de matéria seca. Isto pode ser evidenciado através da análise da Figura 34, que indica um mesmo acúmulo de N-Total pelas plantas N_2K_3 comparadas com as N_3K_3 . As Figuras 33 e 34 revelam que nas folhas não ocorre acúmulo de N-Total, quando se eleva o nível de $N-NO_3^-$ de 9 a 18 mM na solução nutritiva, ao contrário do colmo que parece atuar como órgão de acúmulo de compostos nitrogenados. No entanto, em termos relativos, as folhas funcionam como órgãos acumuladores de N, pois, o aumento na concentração indica que a taxa

de acúmulo de N é maior que a taxa de crescimento.

O K^+ não exerce influência na concentração de N-Total nas folhas, qualquer que seja o nível de N (N_1 , N_2 ou N_3). No colmo, o K^+ não exerce influência nas plantas deficientes em N (N_1K_1 , N_1K_2 e N_1K_3) e nas plantas "normais" (N_2K_2 , N_2K_3 , N_3K_2 e N_3K_3). Desse modo, as plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1) apresentam maior concentração de N-Total no colmo, provavelmente devido a menor taxa de crescimento nesta parte da planta.

O teor em NO_3^- nas folhas é extremamente baixo nos diversos tratamentos, sendo detectadas concentrações abaixo de 10 ppm (Tabela 13). No colmo, a concentração é várias vezes superior, sendo diretamente proporcional ao nível de NO_3^- na solução nutritiva (Figura 39). Esses dados sugerem que NO_3^- seja a forma de nitrogênio preferencialmente acumulada no colmo, quando as plantas são cultivadas em meio de N- NO_3^- . Apesar dos resultados apresentarem um alto coeficiente de variação (27,10%), os mesmos sugerem que as plantas N_2K_3 apresentam menor concentração e menor acúmulo em NO_3^- que as plantas N_2K_2 , cultivadas com mesmo nível de NO_3^- . Além disso, as Figuras 38 e 40 indicam que a porcentagem de N- αNH_2 no colmo e atividade de redutase de nitrato são menores nas plantas N_2K_3 , sugerindo existir uma relação entre a taxa de crescimento, que é maior nas plantas N_2K_3 , concentração de N- NO_3^- e atividade de redutase de nitrato. Assim, a concentração de NO_3^- no colmo deve estar positivamente correlacionada com atividade de redutase de nitrato, N-Total e N- αNH_2 solúvel.

5.4.2.2. Aos 2, 4 e 6 Meses - Os dados referentes à concentração de N-Total nas folhas e no colmo, nos diversos tratamentos e nos períodos de 2, 4 e 6 meses, encontram-se na Tabela 15 e Figura 49.

De um modo geral, nas plantas "normais" (N_2K_2 , N_3K_2 , N_2K_3 e N_3K_3) a concentração de N-Total aumenta nas folhas no período de 2-4 meses diminuindo mais acentuadamente no período de 4-6 meses. É interessante observar que o período de 2-4 meses apresenta maior taxa de acúmulo de N-Total, pois, neste período ocorre maior taxa de crescimento. No colmo, praticamente, não ocorre variação na porcentagem de N-Total no período de 2-4 meses, havendo, contudo, uma grande diminuição no período de 4-6 meses, que coincide com o período de maior taxa de crescimento desse órgão.

Plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1) apresentam praticamente a mesma concentração de N-Total nas folhas nos 3 períodos, comparado com as plantas "normais", além de apresentarem a mesma variação. No colmo, o comportamento é diferente, principalmente no período de 4-6 meses. Nas plantas deficientes em K^+ , observa-se um relativo acúmulo de N-Total nesse período. É importante ressaltar o que foi frisado no sub-item 5.2.1., no sentido de que plantas deficientes em K^+ apresentam praticamente a mesma taxa de crescimento nas folhas, comparado com as plantas "normais", ao passo que o colmo sofre drástica redução no crescimento no período de 4-6 meses. Assim, as diferenças de concentração de N-Total são devidas, principalmente, à alteração na taxa de crescimento, sugerindo a existência de forte relação entre a taxa de crescimento e a taxa de absorção do elemento.

Plantas deficientes em N (N_1K_1 , N_1K_2 e N_1K_3) apresentam, de um modo geral, o mesmo comportamento das plantas "normais", quanto à concentração de N-Total nos 3 períodos de crescimento, conforme Figuras 49 e 50. No entanto, a concentração de N-Total é significativamente menor nas plantas deficientes em nitrogênio.

5.4.3. Atividade de Redutase de Nitrato (EC. 1.6.6.2)

Os dados referentes à atividade de redutase de nitrato em folhas de plantas com 4 e 6 meses de idade, encontram-se na Tabela 14 e Figura 40.

Como pode ser observado, a atividade da enzima aos 6 meses é maior que aos 4 meses, com exceção das plantas deficientes em N (N_1K_1 , N_1K_2 e N_1K_3), que apresentam atividade cerca de 3 vezes menor aos 6 meses. A atividade de redutase de nitrato aumenta significativamente entre os níveis N_1 e N_2 , sendo que para N_2 e N_3 não ocorrem diferenças significativas para qualquer um dos 3 níveis de K^+ . Vale ressaltar que as plantas do tratamento N_2K_3 apresentam um comportamento singular aos 6 meses, já que nas mesmas a enzima apresenta baixa atividade, comparada com as plantas "normais" (N_2K_2 , N_3K_2 e N_3K_3) e as deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1), conforme Tabela 13.

Plantas deficientes em K^+ apresentam atividade de redutase de nitrato praticamente idêntica a de plantas "normais", aos 4 e 6 meses. Ao contrário, plantas deficientes em N apresentam atividade da enzima muitas vezes menor.

Figuras 27, 28 e 29 - Concentração de N- α NH₂ solúvel (a), proteínas (b) e açúcares redutores totais (c), em folhas de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, em função da idade.

Obs.: 1,2,3,4,5,6,7,8,9: Tratamentos conforme notação especificada na Tabela 3

Figuras 30, 31 e 32 - Concentração de N- α NH₂ solúvel (a), proteínas (b) e açúcares redutores totais (c), em colmo de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, em função da idade.

Obs.: 1,2,3,4,5,6,7,8,9: Tratamentos conforme notação especificada na Tabela 3.

(33)

-61-

Figuras 33 e 34 - Acúmulo de N-Total nas folhas (33) e colmo (34) de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figuras 35 e 36 - Percentagem de N-Total em folhas (35) e colmo (36) de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figuras 37 e 38 - Percentagem de N- α NH₂ solúvel em folhas (37) e colmo (38) de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade

Figura 39 - Concentração de N-NO₃⁻ no colmo de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figura 40 - Atividade de redutase de nitrato em folhas de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figura 41 - Acúmulo de nitrato em colmo de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figuras 42 e 43 - Acúmulo de proteínas (42) e N-αNH₂ solúvel (43) em folhas de cana-de-açúcar NA 5679, em plantas normais, plantas deficientes em potássio (-K) e plantas deficientes em nitrogênio (-N) em função da idade.

Figura 44 - Percentagem de proteínas, açúcares redutores totais (ART) e N- α NH₂ solúvel em folhas de plantas de cana-de-açúcar NA 5679 em função da idade.

Figura 45 - Percentagem de proteínas nas folhas (a) e no colmo (b) de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos aos 6 meses de idade.

Obs.: 1,2,3,4,5,6,7,8,9: Tratamentos conforme notação especificada na Tabela 3.

Figuras 46 e 47 - Percentagem de N-αNH₂ solúvel em folhas (46) e colmo (47) de cana-de-açúcar NA 5679, em plantas normais, plantas deficientes em potássio (-K) e em plantas deficientes em nitrogênio (-N), em função da idade

Figura 48 - Relação folha/colmo em termos de N-αNH₂ solúvel, em cana-de-açúcar NA 5679, em plantas normais, plantas deficientes em potássio (-K), e em plantas deficientes em nitrogênio (-N), em função da idade.

Figura 49 - Percentagem de N-Total nas folhas de cana-de-açúcar NA 5679, em plantas normais, plantas deficientes em potássio (-K) e em plantas deficientes em nitrogênio (-N), em função da idade.

5.5. Acúmulo e Concentração de Cátions (K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} e Na^+)

Os dados referentes ao acúmulo e concentração de K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} e Na^+ encontram-se nas Tabelas 8 e 16 e Figuras 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59 e 60.

A concentração de K^+ aos 6 meses aumenta significativamente à medida que os níveis de K^+ aumentam na solução nutritiva, independente do nível de N (Figura 51). O nível de N não interfere na concentração de K^+ , já que as diferenças encontradas são devidas ao efeito de diluição através de diferenças no crescimento (Figura 52). No entanto, o acúmulo de K^+ (g de K^+ /planta) é bastante aumentado quando se elevam os níveis de nitrogênio de N_1 a N_2 , combinados aos níveis K_2 ou K_3 . Plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1) apresentam baixa concentração nesse elemento aos 6 meses (0,59 e 0,61%, respectivamente). Plantas N_1K_1 apresentam maior concentração de K^+ (1,12%), apesar de crescerem com um mesmo nível de K^+ . Provavelmente, a menor taxa de crescimento nessas plantas foi responsável pelo aumento relativo na concentração. As Figuras 59 e 60 mostram que em plantas "normais" (N_2K_3) a concentração de K^+ diminui no período de 2-4 meses, permanecendo constante no período 4-6 meses. Plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1) apresentam uma diminuição "normal" no período de 2-4 meses e um grande decréscimo na concentração de K^+ no período de 4-6 meses.

As Figuras 53 e 54 mostram a variação na concentração de Ca^{++} e Mg^{++} nas folhas aos 6 meses de idade. Como pode ser observado, a concentração de Ca^{++} é praticamente a mesma para os diversos tratamen-

tos, com exceção das plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1) e das plantas deficientes em nitrogênio e K^+ (N_1K_1), onde a concentração de Ca^{++} é maior. É importante ressaltar que as plantas N_2K_1 apresentam maior concentração em Ca^{++} que as N_3K_1 , apesar de ambas apresentarem sintomas de deficiência de K^+ . O comportamento do Mg^{++} é similar ao do Ca^{++} , diferindo em dois aspectos: (1) ao contrário do Ca^{++} , nas plantas N_3K_1 o Mg^{++} apresenta maior concentração; (2) plantas deficientes em N (N_1K_2 e N_1K_3) apresentam menor concentração de Mg^{++} . É importante frisar que as plantas N_1K_1 , apesar de apresentarem sintomas de deficiência de nitrogênio, apresentam alta concentração de Mg^{++} . As Figuras 59 e 60 mostram o comportamento da concentração de Ca^{++} e Mg^{++} em função da idade da planta. Os dados evidenciam que em plantas "normais", as concentrações de Ca^{++} e Mg^{++} praticamente não variam em função da idade (2, 4 e 6 meses). Em plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1) as concentrações de Ca^{++} e Mg^{++} aumentam no período de 2-4 meses. No período de 4-6 meses, a concentração de Ca^{++} diminui enquanto a de Mg^{++} aumenta.

Quanto à concentração de Na^+ , os dados contidos na Tabela 8 e Figuras 55, 59 e 60 são bastante interessantes. Apesar da concentração de Na^+ nas soluções nutritivas ser variável nos diversos tratamentos (Tabela 1), a concentração deste elemento nas folhas não varia, inclusive nas plantas deficientes em K^+ e nos diferentes períodos de crescimento.

As Figuras 56, 57 e 58 e Tabela 8 contêm os dados sobre a relação $K/Ca+Mg$ e cátions nas folhas de plantas dos diversos tratamentos. Plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1) apresentam relação

K/Ca+Mg extremamente baixa comparado com as plantas dos outros tratamentos. É importante ressaltar que os valores da relação K/Ca+Mg em plantas deficientes em K^+ apresentam diferença mais nítida com relação aos valores de plantas "normais" que o valor absoluto da concentração de K^+ , isto é, a relação K/Ca+Mg nas folhas apresenta uma faixa de variação mais ampla que a de concentração de K^+ , quando se compara plantas "normais" e plantas deficientes em K^+ . Os níveis de nitrogênio (N_1 , N_2 e N_3) não afetam a relação K/Ca+Mg. Semelhante à concentração de K^+ , essa relação diminui no período de 2-4 meses, permanecendo constante no período de 4-6 meses em plantas normais e diminuindo continuamente até os 6 meses nas plantas deficientes em K^+ . A Figura 56 e Tabela 7 mostram os valores da Σ cátions ($K^+ + Na^+ + Ca^{++} + Mg^{++}$), expresso em miliequivalentes/100 g de matéria seca, nos diversos tratamentos. Plantas deficientes em K^+ e plantas deficientes em N apresentam esses valores estatisticamente idênticos aos de plantas "normais".

Figura 50 - Concentração de K^+ em folhas de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figura 51 - Acúmulo de potássio nas folhas de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figuras 52 e 53 - Concentração de Ca (52) e Mg (53) em folhas de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos aos 6 meses de idade.

Figura 54 - Concentração de Na em folhas de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figura 55 - Somatório (Σ) de cátions ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$), em folhas de cana-de-açúcar, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figura 56 - Relação K/Ca+Mg em folhas de cana-de-açúcar NA 5679, nos diversos tratamentos, aos 6 meses de idade.

Figura 57 - Relação K/Ca+Mg em folhas de cana-de-açúcar NA 5679, em plantas normais e em plantas deficientes em potássio (-K), em função da idade.

Figura 58 - Variação na concentração de K, Ca, Mg e Na em folhas de plantas de cana-de-açúcar NA 5679, deficiente em K, em função da idade

● K
▲ Mg
○ Ca
★ Na

Figura 59 - Variação na concentração de K, Ca, Mg e Na em folhas de cana-de-açúcar NA 5679, normais em função da idade

6. DISCUSSÃO

6.1. Participação de Potássio e Nitrogênio no Metabolismo, Acúmulo e Migração de Açúcares

6.1.1. Efeitos da Concentração de K^+

Os resultados apresentados anteriormente (Tabela 5), sugerem que o K^+ atua decisivamente no metabolismo de açúcares. Os incrementos nos níveis de K^+ na solução nutritiva provocam diminuição na concentração de açúcares redutores e aumento no teor de sacarose, tanto nas folhas como no colmo, sendo tais efeitos mais nítidos no colmo e entre os níveis K_1 (0,1 mM) e K_2 (6,0 mM). Tais efeitos são observados em todas as combinações N-K, descartando assim a possibilidade da existência de uma interação direta entre esses dois nutrientes. Na realidade, o que se observa é a existência de combinações N-K ótimas para o crescimento da planta. Assim, níveis crescentes de K^+ provocam maior acúmulo de açúcares quando combinados a qualquer nível de N, sendo que o nível N_2 é o que, combinado ao

K^+ , provoca maiores produções. Esses resultados sugerem que o K^+ participa direta e/ou indiretamente nos processos de fotossíntese, biossíntese de sacarose e outros açúcares.

O K^+ participa diretamente na síntese do amido como cofator da sintetase do amido e como cofator da quinase pirúvica (EVANS e WILDES, 1971). Em algumas variedades de cana-de-açúcar, a deficiência desse nutriente provoca aumento na atividade de β -amilase e diminuição na atividade de fosfofrutoquinase, havendo acúmulo de açúcares redutores, principalmente glucose e diminuição no nível de sacarose (ALEXANDER, 1964). Apesar desses resultados, outros ensaios com cana-de-açúcar têm demonstrado que plantas deficientes em K^+ apresentam diminuição na atividade de enzimas envolvidas com o metabolismo de açúcares, particularmente β -amilase, havendo acúmulo de sacarose nas folhas (ALEXANDER, 1973). A divergência de resultados quanto ao comportamento da atividade de β -amilase pode ser motivada por diferenças na idade da folha, intensidade de deficiência do elemento ou diferenças genéticas. HARTT (1934), trabalhando com cana-de-açúcar deficiente em K^+ , encontrou menor atividade de invertase, maior atividade de amilase, sugerindo que sacarose possa ser sintetizada nas folhas por ação de invertase. Apesar da hipótese de Hartt, sabe-se atualmente que as enzimas sacarose intetase e sacarose-P-sintetase desempenham importante papel na biossíntese de sacarose. Infelizmente, são poucos os trabalhos publicados sobre atividade dessas enzimas em cana-de-açúcar, particularmente em ensaios com o K^+ . Desse modo, apesar de já estar praticamente estabelecido na literatura especializada que o K^+ é essencial para o acúmulo de sacarose e que em condições de deficiência desse nutriente ocorre acúmulo de açúcares redutores, permanecem ainda desconhecidas as vias meta-

bólicas e os passos bioquímicos da ação do K^+ no metabolismo de açúcares. De qualquer maneira, os dados revelam que o acúmulo de açúcares redutores e sacarose está diretamente relacionado com a concentração de K^+ e que tal acúmulo envolve a participação de várias enzimas não estritamente ligadas às reações de biossíntese e/ou quebra da molécula de sacarose.

Além de ter participação direta na ação de diversas enzimas envolvidas com o metabolismo de açúcares, o K^+ participa direta e/ou indiretamente de inúmeros processos essenciais para o acúmulo de açúcares e para o próprio desempenho fisiológico da planta. Desses processos, talvez os mais importantes sejam a fotossíntese e a síntese de proteínas. Os resultados encontrados demonstram que o K^+ , além de participar na composição de açúcares, participa também ativamente na taxa de fotossíntese (estimada através da taxa de crescimento), na taxa de acúmulo de proteínas e na migração de açúcares. Os dados revelam que o K^+ , quando combinado a um nível ótimo de nitrogênio ($N_2 = 9 \text{ mM}$), provoca significativos aumentos na taxa de fotossíntese, taxa de acúmulo de proteínas e eficiência de migração de açúcares das folhas até o colmo, no período de 2-6 meses de idade da planta. Dessa maneira, explica-se a maior produção de açúcares redutores totais (ART) e de sacarose nas plantas N_2K_3 . É importante observar que essas plantas apresentam uma maior relação folha/colmo no período de 2-4 meses, uma grande diminuição no período de 4-6 meses e uma maior taxa de crescimento no colmo neste último período, comparado com as demais plantas "normais" (N_2K_2 , N_3K_2 e N_3K_3). Além disso, as plantas N_2K_3 apresentam uma grande diminuição na concentração de açúcares redutores totais no colmo no período de 2-4 meses. A análise conjunta desses dados sugere que a combinação N_2K_3 (2,48% de N e 2,33% de K^+ nas folhas 3^a e 4^a) conduz

a um equilíbrio nutricional tal que a maquinária bioquímica da planta opera dentro de sua faixa ótima^(*).

A explicação lançada anteriormente é corroborada com os resultados da literatura. Em cana-de-açúcar, existe uma correlação positiva entre o teor de K^+ nas folhas e a taxa de fotossíntese. Possivelmente, o papel do K^+ está relacionado com a taxa de transpiração (ALEXANDER, 1973). O autor chama a atenção para o fenômeno de "fome escondida" de K^+ , pois, mesmo sem apresentar sintomas de deficiência (ao contrário, com aspecto normal), a planta pode apresentar redução na taxa de fotossíntese. Plantas com 0,91% de K^+ apresentam 10% menos fotossíntese do que a planta controle com 1,7% de K^+ . Plantas com severa deficiência apresentam cerca de 90% de redução na fotossíntese.

Ensaio com folhas destacadas de cana-de-açúcar e ^{14}C , demonstraram que baixos níveis de K^+ antes de alterarem a taxa de fotossíntese, diminuem a migração de sacarose das folhas, havendo, em seguida, diminuição na taxa de fotossíntese. Além disso, baixos níveis de K^+ decrescem a migração de sacarose num grau maior do que o decréscimo da umidade nas folhas, sugerindo que o elemento atue sobre a permeabilidade das folhas, que, por seu turno, afeta a umidade (HARTT, 1970). Além disso, umidade e nível de K^+ estão correlacionados com o processo de abertura

(*) Poder-se-ia especular, com limitações, que no período de 2-4 meses as plantas "investiram" partes de suas reservas do colmo na biossíntese de material protoplasmático nas folhas e raízes a fim de satisfazer as necessidades catabólicas e anabólicas nestas 2 partes da planta, que apresentam alta taxa de crescimento neste período. Provavelmente, o fator temperatura pode ter influenciado tal comportamento, já que no período de 0-2 meses as temperaturas do ar foram mais baixas que no período 2-4 meses (Tabela 3).

dos estômatos e a fotossíntese (*BLANCHET et alii, 1962; FISHER, 1968*) sendo que a permeabilidade pode atuar sobre a difusão de CO_2 , podendo aumentar a resistência à difusão, diminuindo a taxa de assimilação (*ALEXANDER, 1973*).

HARTT (1963) demonstrou que o acúmulo de sacarose nas folhas pode atuar como repressor da fotossíntese, diminuindo a eficiência fotossintética. A eficiência de migração de sacarose é essencial para a máxima produção de cana-de-açúcar, sugerindo que variedades possam ser selecionadas pela capacidade de translocar sacarose. Outros resultados encontrados por *HARTT (1970)*, trabalhando com folhas destacadas de cana-de-açúcar, sugerem que o K^+ atua diretamente na migração de sacarose, pois, em condições de taxa constante de assimilação de $^{14}\text{CO}_2$, esse cátion continua a exercer efeitos sobre a migração. A ação do K^+ parece estar relacionada com o processo de fotofosforilações. O ATP gerado seria utilizado nos processos ativos de migração.

Além de participar ativamente no processo de fotossíntese, deve-se ter em mente que o K^+ participa diretamente de vários passos metabólicos da biossíntese de proteínas, além de ser cofator de, pelo menos, 60 enzimas (*EVANS e WILDES, 1971*). Portanto, a ação do K^+ ao nível de biossíntese de proteínas deve assumir uma importância fantástica em todos os processos vitais da planta, já que são as proteínas, em última análise, as biomoléculas controladoras do crescimento e desenvolvimento. *ALEXANDER (1967)* relata que, em condições de estresse provocada por deficiência de K^+ em cana-de-açúcar, não há só o envolvimento de problemas diretos de migração, mas também de alterações metabólicas ao nível enzimático. As

sim, os resultados sugerem que outras enzimas, tais como sacarose sintetase, maltase, glucoquinase, amido fosforilase e amilase, estão envolvidas no acúmulo de sacarose nas folhas.

Os resultados encontrados para a composição de açúcares nas plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1), são concordantes com os da literatura. Essas plantas apresentam alta concentração de açúcares redutores e baixa concentração de sacarose, tanto nas folhas como no colmo, nos 3 períodos de crescimento. No entanto, quando se comparam os dados relativos às plantas N_2K_1 e N_3K_1 , surge uma diferença interessantíssima: as plantas N_3K_1 apresentam concentração de sacarose nas folhas muito menor do que as plantas N_2K_1 , nos 3 períodos de crescimento. Por outro lado, as plantas N_3K_1 apresentam sintomas visuais de deficiência de K^+ muito mais severos durante todo o período de crescimento. Associado a isso, plantas N_3K_1 apresentam maior concentração de $N-\alpha NH_2$ solúvel, sendo esta concentração uma estimativa do acúmulo de aminoácidos, aminas e aminas tóxicas à planta. Desse modo, podemos especular que o nível N_3 ($N-NO_3^- = 18 \text{ mM}$) combinado a um nível deficiente de K^+ ($K = 0,1 \text{ mM}$), gera um maior acúmulo de $N-\alpha NH_2$ solúvel nas folhas que, atingindo níveis tóxicos, reduz além da taxa de crescimento, algum passo bioquímico envolvido no acúmulo de sacarose. Essa especulação tem forte apoio na literatura consultada, já que plantas deficientes em K^+ apresentam baixo teor de sacarose, alto teor de açúcares redutores e alto teor de $N-\alpha NH_2$ solúvel (OKAMOTO, 1967; EVANS e WILDES, 1971; ZAGO, 1978). Em casos de severa deficiência, aminas tóxicas, tais como agmatina e putrescina, se acumulam nas folhas, principalmente nas mais velhas (RICHARDS e COLEMAN, 1952; SMITH e SINCLAIR, 1967; BASSO, 1973; BASSO, 1974; CROCOMO e BASSO, 1974; ZAGO, 1978).

O efeito prejudicial do elevado teor de putrescina em plantas deficientes em K^+ é um fato já comprovado (ZAGO, 1978). Em *E. coli*, o aumento de putrescina ocorre concomitantemente com a paralização na síntese de proteínas. Em plântulas de feijoeiro, o crescimento é tanto mais intenso quanto menor for a relação molar putrescina/espermidina (BASSO, 1977). No caso das plantas N_1K_1 , apesar de cultivadas com um mesmo nível de K^+ , com relação às plantas N_2K_1 e N_3K_1 , os dados obtidos reforçam a explicação lançada acima. Essas plantas não apresentam sintomas visuais de deficiência de K^+ aos 2 e 4 meses de idade. No entanto, aos 6 meses, alguns sintomas se manifestam nas folhas, apesar de não serem tão evidentes como nas plantas N_2K_1 e N_3K_1 . Associado a isso, as plantas N_1K_1 apresentam maior concentração de açúcares redutores, menor concentração de sacarose e maior concentração de $N-\alpha NH_2$ solúvel nas folhas aos 6 meses, comparado com os períodos de 2 e 4 meses. Desse modo, os dados sugerem que o surgimento dos sintomas visuais de deficiência de K^+ nas folhas está positivamente correlacionado com o aumento no teor de $N-\alpha NH_2$ solúvel e negativamente correlacionado com a concentração de sacarose nas folhas.

6.1.2. Efeitos da Concentração de Nitrogênio

Os resultados encontrados evidenciam que o nitrogênio tem participação direta e/ou indireta no metabolismo, acúmulo e migração de açúcares. Quando se eleva o nível de N_1 a N_2 , correspondendo a 1,70 e 2,48% de N-Total nas folhas 3⁺ e 4⁺ aos 6 meses de idade, observa-se uma resposta linear para concentração e produção de sacarose no colmo, assim como para acúmulo de matéria seca. A concentração e acúmulo de açúcares redutores totais (ART) apresenta o mesmo comportamento. Paralelamente,

observa-se uma grande redução na relação folha/colmo, sugerindo que esse nutriente participa do processo de migração de açúcares das folhas até o colmo. No entanto, ao contrário do K^+ , altos níveis de nitrogênio (N_3), correspondendo a 2,64% de N-Total nas folhas 3^+ e 4^+ , diminuem a concentração e produção de açúcares redutores totais e sacarose, além de diminuir a taxa de crescimento e provocar um pequeno aumento na relação folha/colmo. Tal efeito é observado em todas as combinações N-K pesquisadas, sendo que as maiores concentrações e produções de açúcares são obtidas no tratamento N_2K_3 , devido, provavelmente, ao nível ótimo de K^+ na planta e não a uma estreita e direta interação N-K.

Os resultados obtidos estão de acordo com os da literatura, apesar de que alguns ensaios de campo não indicarem o efeito negativo de altos níveis de nitrogênio na concentração e produção de sacarose em cana-de-açúcar. Provavelmente, o fato de tais experimentos serem realizados em condições de campo, onde nem sempre os altos níveis de fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo são colocados disponíveis às plantas, pode explicar o não aparecimento de efeitos negativos no crescimento da planta. Segundo *MENGEL e KIRKBY (1978)*, quando altas quantidades de N-Inorgânico são fornecidas às plantas, ocorre acúmulo de $N-\alpha NH_2$ solúvel, devido a uma maior taxa de assimilação com relação à taxa de síntese de proteínas, sendo que, em condições extremas, poderá haver uma diminuição na taxa de crescimento da planta.

Em cana-de-açúcar, altos níveis de nitrogênio reduzem a percentagem de sacarose (*ALEXANDER, 1964; MALAVOLTA et alii, 1972*). No entanto, *BONNET et alii (1956)*, trabalhando com cana-de-açúcar cultivada em

areia lavada, observaram uma correlação positiva entre a quantidade de N aplicado e a percentagem de sacarose. Trabalhando com cana-soca, em condições de campo, ZAMBELLO JR. (1979) obteve uma correlação positiva entre o nível de N aplicado e a produção de sacarose.

As gramíneas C-4 apresentam uma alta eficiência de utilização do nitrogênio em termos de produção de matéria seca, havendo uma correlação positiva entre o teor de N na folha e a taxa de fotossíntese. As plantas C-3 apresentam a mesma correlação, no entanto, possuem menor taxa fotossintética por unidade de N na folha (BLACK *et alii*, 1978). No caso específico de cana-de-açúcar, existe uma correlação positiva entre o teor de N nas folhas e a taxa de fotossíntese. Existe uma correlação positiva entre o teor de N e o teor de clorofila, sem existir, contudo, uma nítida correlação entre o teor de clorofila e a taxa fotossintética (ALEXANDER, 1973). Existe também uma estreita e positiva correlação entre a taxa fotossintética e a taxa de assimilação de N-Inorgânico (SLACK e HATCH, 1967). Plantas de cana-de-açúcar deficientes em nitrogênio apresentam diminuição da taxa de assimilação de CO_2 e diminuição na migração de produtos da fotossíntese das folhas até o colmo. No entanto, a concentração de sacarose nas folhas não é diminuída, sugerindo que a diminuição na migração não se deve à falta de sacarose, mas sim a outro fator. Provavelmente, o efeito é indireto, através de alterações no crescimento da planta como um todo (HARTT, 1970). No entanto, outros ensaios têm demonstrado que o efeito do nitrogênio sobre a migração de solutos orgânicos depende do estágio de crescimento (SYNDER e TOLBERT, 1966).

Além de ter participação no processo de fotossíntese, o

nitrogênio está diretamente relacionado com o nível de açúcares solúveis através do processo de assimilação do N-NO_3^- . KLEPPER *et alii* (1971) demonstraram que, para a redução de 1 mol de NO_3^- através da ação da redutase de nitrato e coenzima NADH, 1 mol de glicose ou frutose, gerado primariamente pela fotossíntese, deve estar disponível para sofrer oxidação, a fim de gerar NADH e esqueleto carbônico para incorporação de NH_3 . Além disso, a incorporação de NH_3 acelera o processo respiratório, havendo maior intensidade catabólica na via glicolítica e ciclo de Krebs (BEEVERS, 1976; GIVAN, 1979). Por outro lado, a redução do NO_2^- por ação da redutase de nitrito, requer a presença de ferredoxina reduzida, que é um importante agente redutor participante do processo de fotossíntese, através da formação de NADPH que atua diretamente na redução do CO_2 . Portanto, o processo de redução do N-NO_3^- nas folhas pode afetar a taxa de fotossíntese, apesar das plantas C-4 apresentarem esses dois processos compartimentalizados (BLACK *et alii*, 1978). Acrescido a isso, deve ser ressaltado que as reações de assimilação de NH_3 através das vias GS/GOGAT e/ou GDH, requerem fundamentalmente, ATP e NADPH, gerados, em última instância, pela oxidação de açúcares.

Fazendo-se uma síntese das linhas discutidas acima, fica evidente que altos níveis de nitrogênio inorgânico, principalmente N-NO_3^- , tendem a provocar diminuição no teor de açúcares de reserva nas plantas.

Plantas deficientes em nitrogênio (N_1K_1 , N_1K_2 e N_1K_3), apresentam baixas concentrações de açúcares redutores e de sacarose no colmo, principalmente nos períodos de 4 e 6 meses. Nas folhas, os resultados não são totalmente claros, pois, aos 2 meses, ocorre uma maior concen

tração de sacarose, sendo a concentração de açúcares redutores igual a de plantas normais; aos 4 meses ocorre maior concentração de açúcares redutores e de sacarose, enquanto aos 6 meses verifica-se menor concentração de açúcares redutores e uma concentração de sacarose ligeiramente maior. Como foi frisado anteriormente, aos 6 meses as plantas N_1K_1 apresentam um comportamento que mais se aproxima das plantas deficientes em K^+ (N_2K_1 e N_3K_1), com base na maior concentração de açúcares redutores e menor concentração de sacarose, principalmente no colmo. As plantas deficientes em N apresentam alta relação folha/colmo, principalmente aos 4 meses de idade. Esses resultados são, de um modo geral, concordantes com a literatura, de acordo com HARTT (1970) e ALEXANDER (1973).

BARTA (1975), trabalhando com plantas de *Lolium perene*, em presença de atmosfera de $^{14}CO_2$, encontrou que baixos níveis de $N-NO_3^-$ na solução nutritiva provocam acúmulo de açúcares solúveis, enquanto altos níveis de $N-NO_3^-$ provocam efeitos opostos. HARTT (1970), trabalhando com cana-de-açúcar em presença de $^{14}CO_2$ encontrou resultados semelhantes aos aqui apresentados: plantas deficientes em nitrogênio apresentam menor migração e a concentração de sacarose nas folhas não é diminuída.

Com a finalidade de estudar o efeito de níveis crescentes de $N-NO_3^-$ na solução nutritiva sobre o comportamento de enzimas envolvidas com o metabolismo de açúcares em plântulas de cana-de-açúcar, ALEXANDER (1965) partiu da hipótese de que alterações nos níveis de NO_3^- provocam mudanças no pH celular após assimilação do $N-NO_3^-$. O autor concluiu que o comportamento no nível de sacarose depende da variedade estudada e que alterações nos níveis de NO_3^- provocam diferenças nos níveis de sacarose

devido a alterações na atividade de enzimas envolvidas não diretamente na biossíntese de sacarose. A atividade de fosforilase do amido aumenta com o nível de N-NO_3^- , sendo que as enzimas amilase, invertase, sacarose fosforilase, hexoquinase, fosfatase ácida e fosforilase do amido participam ativamente no acúmulo de sacarose. É importante frisar que o acúmulo de sacarose nas folhas de plantas cultivadas com baixos níveis de N-NO_3^- depende da variedade.

A menor concentração de sacarose nos colmos e a maior concentração nas folhas de plantas deficientes em nitrogênio sugere que, nessas plantas, ocorre sérios problemas de translocação, dependentes direta ou indiretamente de compostos nitrogenados.

6.1.3. Relação K/N e o Acúmulo de Açúcares

Os resultados encontrados sugerem que, em cana-de-açúcar, deve existir uma relação K/N nas folhas, considerada ótima para a máxima produção de sacarose. A Figura 15 indica que existe uma correlação positiva entre a relação K/N nas folhas 4^+ e 3^+ e a porcentagem de sacarose. Além disso, os dados discutidos anteriormente demonstram que, por um lado, o K^+ é essencial para atingir a máxima concentração de sacarose, e por outro, o nitrogênio é essencial até um nível crítico, acima do qual a concentração de sacarose é fortemente diminuída. Neste trabalho, a relação ótima foi de 0,94, correspondendo a 2,33% de K^+ e 2,48% de N-Total nas folhas 3^+ e 4^+ aos 6 meses. Obviamente, tais valores não são definitivos e, possivelmente, não representam os níveis críticos de K^+ e N. De qualquer maneira, pode-se recomendar o uso de tal relação para fins de

diagnose foliar, juntamente com os valores absolutos da concentração de ca da elemento.

O uso de relações e diagramas com a finalidade de se avaliar o equilíbrio nutricional de plantas é mais seguro, principalmente por que os níveis críticos de um elemento variam em função de vários fatores, tais como: tipo de solo, variedade, idade da planta (ZAMBELO JR., 1979). Em cana-de-açúcar, HUMBERT (1958) sugere uma relação K/N de 4:5 nos entre-nós 8-10, considerada ótima para a máxima produção de sacarose. Em beterraba açucareira KOCHL (1977) sugere uma relação K/N de 0,7:1 em equivalente químico. Outros trabalhos com beterraba açucareira têm apresentado valores bastante discrepantes. Infelizmente, são poucos os trabalhos produzidos com cana-de-açúcar e realizados em condições controladas.

6.2. Participação do Potássio e Nitrogênio no Metabolismo de Compostos Nitrogenados

6.2.1. Participação do Potássio

Os resultados revelam que o K^+ deve atuar na taxa de síntese de proteínas, estimada através do acúmulo destas últimas em função do tempo. Quanto ao acúmulo de $N-OH_2$ solúvel, observa-se que plantas deficientes em K^+ apresentam altas concentrações, tanto nas folhas como no colmo. Como foi relatado anteriormente, as plantas N_3K_1 apresentam maior concentração de $N-OH_2$ solúvel com relação às plantas N_2K_1 e N_1K_1 . O teor de proteínas não é estatisticamente diferente entre os diversos tratamentos, sendo que a diferença fundamental reside entre as taxas de acúmulo de

proteínas e a taxa de acúmulo de $N-\alpha NH_2$ solúvel. Além disso, observa-se que a atividade de redutase de nitrato nas folhas 3^+ de plantas deficientes em K^+ é estatisticamente igual a de plantas "normais" (N_2K_2 , N_3K_2 e N_3K_2) e maior do que a das plantas N_2K_3 . Esses resultados sugerem que as plantas deficientes em K^+ reduzem o NO_3^- com intensidade praticamente igual a de plantas "normais", sem, contudo, apresentarem as mesmas taxas de síntese de proteínas e de crescimento. Isso implica que a demanda por nitrogênio reduzido para síntese de proteínas e outras moléculas nitrogenadas nas plantas deficientes em K^+ é menor do que a oferta gerada através do processo de assimilação do $N-NO_3^-$. Esse quadro levaria, consequentemente, a um acúmulo de compostos nitrogenados solúveis, possivelmente putrescina, que, atingindo níveis críticos de toxidez, agiriam sobre a síntese de proteínas (ZAGO, 1978), reduzindo o crescimento como um todo (BASSO, 1974). Associado ao acúmulo de compostos $N-\alpha NH_2$ solúveis de ação tóxica, deve-se levar em consideração também o fato do K^+ ser um cofator enzimático exigido em altas concentrações para a máxima eficiência catalítica nas reações em que o mesmo participa (EPSTEIN, 1972). Desse modo, a baixa concentração de K^+ em plantas deficientes, por si mesmo reduz a taxa de reações envolvidas com a biossíntese de proteínas.

Embora existam controvérsias sobre a origem do $N-\alpha NH_2$ solúvel acumulado em plantas deficientes em K^+ , a maioria dos autores acredita que o fator principal é a diminuição no teor de proteínas (KOCH e MENGEL, 1972). No entanto, em alguns casos, o teor de proteínas chega até a aumentar (HSIAO et alii, 1970). Possivelmente, de acordo com KOCH e MENGEL (1972), tal aumento seja o resultado de uma menor taxa de crescimento.

Quanto à atividade de redutase de nitrato em plantas deficientes em potássio, os resultados da literatura são discordantes. *GUTIERREZ (1978)*, trabalhando com feijoeiro em diferentes estágios de crescimento, verificou que a atividade desta enzima não é diminuída pela deficiência de K^+ . Por outro lado, plântulas de trigo e de arroz deficientes em potássio, apresentam menor atividade de redutase de nitrato (*HARPER e PAULSEN, 1969; SASAKAWA e YAMAMOTO, 1977*). A divergência de resultados pode ser motivada por vários fatores, tais como diferenças genéticas e intensidade de deficiência do elemento por ocasião da análise.

Os resultados do presente trabalho não indicam diferenças na porcentagem de proteínas entre plantas deficientes em K^+ e as plantas "normais", nem diferenças entre as taxas de crescimento e as taxas de acúmulo de proteínas, o que, aliás, era esperado, já que o acúmulo de material orgânico deve estar positivamente correlacionado com o acúmulo de proteínas, pois, são estas que controlam, em última instância, todo o processo de crescimento. Acreditamos que a explicação dada no parágrafo anterior com relação ao acúmulo de $N-\alpha NH_2$ seja bastante plausível.

Quanto ao acúmulo de $N-\alpha NH_2$ solúvel em plantas deficientes em K^+ , existem vários trabalhos relatando que, em casos de severa deficiência, aminas tóxicas, principalmente putrescina, se acumulam nos tecidos (*RICHARDS e COLEMAN, 1952; SMITH e SINCLAIR, 1967; CROCOMO e BASSO, 1974; BASSO, 1974; ZAGO, 1978*). O efeito prejudicial do alto teor de putrescina sobre o crescimento de plantas é um fato já comprovado.

Por outro lado, *BASSO (1977)*, relata que altas relações

molares putrescina/espermidina reduzem o crescimento de plântulas de feijoeiro. *BASSO (1974)* propõe um esquema metabólico para explicar as vias de formação de putrescina e produção de espermidina a partir daquela. Neste processo, haveria formação de íons NH_4^+ a partir da descarboxilação de arginina e desamonificação através de agmatina. Segundo o autor, essa seria uma maneira da célula minimizar os danos provocados pela deficiência de K^+ , já que o NH_4^+ substitui o K^+ em alguns passos da biossíntese de proteínas, apesar de apresentar menor eficiência.

Com relação aos níveis crescentes de potássio (K_1 , K_2 e K_3) os dados revelam que a concentração de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel diminui somente de K_1 a K_2 , tanto nas folhas como no colmo. No entanto, deve ser salientado mais uma vez o comportamento das plantas do tratamento N_2K_3 aos 6 meses de idade. Como foi relatado anteriormente, estas plantas apresentam: (a) maior produção de matéria seca; (b) maior concentração e produção de sacarose e açúcares redutores totais no colmo; (c) menor relação folha/colmo para matéria seca e açúcares redutores totais; (d) menor concentração de N-Total, $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel e N-NO_3^- no colmo; (e) menor atividade de redutase de nitrato nas folhas. Deve-se enfatizar que essas características devem ser comparadas com os demais tratamentos, inclusive com as plantas "normais". Como os valores encontrados são estatisticamente diferentes, alguma explicação lógica e teórica deve ser lançada. Os dados indicam uma correlação positiva entre a atividade de redutase de nitrato e o teor de N-NO_3^- e porcentagem de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ no colmo. Agora, surgem algumas perguntas interessantes: por que esta correlação ocorre com o nitrogênio do colmo e não com o nitrogênio das folhas? Por que as plantas do tratamento N_2K_3 apresentam baixa atividade de redutase de nitrato, bai

xas concentrações de N-NO_3^- e $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel no colmo e altas concentrações e produção em açúcares redutores totais e sacarose ?

Infelizmente, os dados bibliográficos disponíveis são muito escassos para nos ajudar a responder tais perguntas. Quanto à primeira, alguns autores relatam que a atividade de redutase de nitrato é induzida pelo substrato, mais especificamente pelo fluxo de NO_3^- até o citoplasma (SHANER e BOYER, 1976; MENGEL e KIRKBY, 1978). As análises demonstraram que o nível de NO_3^- nas folhas é baixíssimo comparado com o colmo, sugerindo que o NO_3^- acumulado no colmo possa participar, através do fluxo até as folhas, como indutor da síntese da enzima. Desse modo, o colmo como um local de acúmulo, reservaria o N-NO_3^- proveniente da absorção pelas raízes e o $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel produzido nas folhas, através da ação da redutase de nitrato. BLACK *et alii* (1978) propõe um esquema para a redução do NO_3^- em plantas C-4 (gramíneas), em que o NO_3^- é transportado das raízes até as células do mesófilo para sofrer ação da redutase do nitrato. Em nossos ensaios, foi verificado que em cana-de-açúcar, cultivar NA 5679, a atividade da enzima está localizada principalmente nas folhas.

Quanto à segunda pergunta, se pensássemos pela planta, seríamos impelidos a admitir que não é viável para a finalidade da cana-de-açúcar, que é acumular açúcares no colmo, ter uma alta atividade de redução de nitrato, já que esse processo consome essencialmente açúcares. Mas, de uma maneira mais objetiva e menos filosófica, continua uma indagação: Por que as plantas N_2K_3 contêm menos NO_3^- no colmo e menor atividade de redutase de nitrato ? Estará este fato realmente relacionado com a maior produção ? Em caso positivo, em que ponto ocorre a regulação para tais ní-

veis ótimos ? *ROSÁRIO et alii (1977)*, trabalhando com várias variedades de cana-de-açúcar, estabeleceram uma correlação negativa entre a atividade de redutase de nitrato nas folhas e a concentração de açúcares no colmo. Infelizmente, o trabalho foi realizado em condições de campo e com poucos parâmetros analisados. Seria interessante estudar mais profundamente as relações existentes entre o potencial de redução do NO_3^- e produção de açúcares por cana-de-açúcar. Além do consumo de açúcares na formação de compostos $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúveis, altas concentrações destes compostos nitrogenados no colmo provocam diminuição na qualidade do caldo (*MENGEL e KIRKBY, 1978*).

6.2.2. Participação do Nitrogênio

Os níveis crescentes de N-NO_3^- na solução nutritiva provocam aumentos crescentes nas concentrações de N-Total e $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel nas folhas e colmos, N-NO_3^- no colmo e atividade de redutase de nitrato nas folhas. A porcentagem de proteínas permanece constante, sendo igual inclusive nas plantas deficientes em nitrogênio. Entretanto, as diferenças mais nítidas ocorrem no colmo aos 6 meses de idade, sendo que nas folhas as diferenças entre os níveis N_2 e N_3 não são estatisticamente diferentes com base no Teste de Tuckey ao nível de 5%. É importante frisar que o aumento na concentração de N-Total e $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel nas folhas se deve ao menor crescimento das plantas N_3 com relação às N_2 , já que o acúmulo de nitrogênio por planta (nas folhas) é o mesmo. No colmo, ao contrário, observa-se um acúmulo crescente de N-Total e N-NO_3^- . É interessante observar que a concentração e acúmulo de NO_3^- por planta cresce linearmente com os níveis crescentes de NO_3^- na solução nutritiva, sugerindo que esta

forma de nitrogênio seja absorvida e parcialmente acumulada no colmo.

A atividade de redutase de nitrato aumenta linearmente do nível N_1 ao N_2 , permanecendo praticamente constante entre os níveis N_2 e N_3 . Desse modo, a atividade da enzima apresenta uma correlação positiva entre os níveis de NO_3^- na solução nutritiva e os níveis de NO_3^- no colmo. Esses resultados estão em perfeito acordo com a literatura. Diversos pesquisadores têm demonstrado que a enzima é induzida pelo NO_3^- e que sua atividade está positivamente correlacionada com o nível de NO_3^- no substrato nutritivo (HEWITT, 1975; VILLALOBOS e CARVAJAL, 1977; MENGEL e KIRKBY, 1978).

Plantas deficientes em nitrogênio (N_1K_1 , N_1K_2 e N_1K_3) apresentam baixa concentração de N-Total, $N-NH_2$ e $N-NO_3^-$ e muito baixa atividade de redutase de nitrato, para qualquer nível de potássio utilizado. No entanto, a porcentagem de proteínas não é diminuída nestas plantas. Quanto às combinações N-K, os dados revelam que a concentração de N-Total nas folhas não é afetada pelo nível de K^+ , sugerindo mais uma vez ausência de interação direta entre esses dois elementos. Com relação ao colmo, observa-se diferença significativa nas combinações N-K somente nas plantas deficientes em K^+ . Possivelmente, tal diferença seja ocasionada pelo menor crescimento nestas plantas e não por interação direta entre os 2 nutrientes. A questão da interação N-K é bastante controversa na literatura. Alguns pesquisadores trabalhando com cana-de-açúcar em condições de campo, têm observado que aplicações de adubos potássicos provocam aumentos na concentração de N-Total nas folhas (ZAMBELO JR., 1979). No entanto, essa interação, mesmo em cana-de-açúcar, nem sempre é claramente

definida (SAMUELS, 1969). Em beterraba açucareira cultivada em solução nutritiva, KOCHL (1977) encontrou forte interação. No entanto, o autor qualifica de interação o efeito de diferentes combinações N-K sobre o crescimento e a produção. A isso nós chamamos de equilíbrio nutricional de nitrogênio e potássio, sendo interação uma relação direta entre 2 nutrientes a nível de absorção, migração e/ou funcionalidade. No caso de experimentos de campo, diversos efeitos indiretos podem incidir sobre a composição química dos tecidos do vegetal.

6.3. Crescimento das Plantas nos Períodos de 2, 4 e 6 Meses

Os resultados revelam que a taxa de crescimento das diferentes partes, raízes, colmos e folhas, são diferentes entre si e entre os três períodos de crescimento, tanto nas plantas "normais" como nas deficientes em nitrogênio e nas deficientes em potássio. Além disso, o potássio e o nitrogênio afetam drasticamente a taxa de crescimento de cada parte.

No período de 2-4 meses, as raízes e colmos apresentam as maiores taxas de crescimento, mas havendo diferenças significativas entre os diferentes tratamentos. No entanto, nas folhas, ocorre uma menor taxa de crescimento nas plantas deficientes em nitrogênio comparada com as plantas "normais" e com as deficientes em potássio. No período de 4-6 meses ocorrem profundas diferenças na taxa de crescimento. As plantas deficientes em nitrogênio são as que apresentam maiores reduções no crescimento. Nas folhas, a taxa de crescimento diminui em 50%, no colmo, cer

ca de 75% e nas raízes, 70%. Nas plantas deficientes em potássio, os valores correspondentes foram: 25%, 50% e 70%, enquanto nas plantas "nor-mais" as folhas apresentam uma redução de 20%, os colmos apresentam um aumento de 25% e as raízes uma diminuição de 50%. Considerando a planta toda, observa-se que o período de maior taxa de crescimento foi o de 2-4 meses.

Comparando-se as plantas "normais" (N_2K_2 , N_3K_2 , N_2K_3 e N_3K_3), observa-se que o tratamento N_2K_3 apresenta plantas com maior taxa de crescimento no colmo no período de 4-6 meses, além de apresentar a maior diminuição na relação folha/colmo neste período.

Ao nível bioquímico, observa-se um grande incremento na taxa de acúmulo de proteínas no período de 2-4 meses, permanecendo constan-te no período de 4-6 meses, sendo tais resultados mais evidentes nas fo-lhas. Paralelamente, ocorre uma grande diminuição na concentração de a-çúcares redutores e sacarose nas folhas e, principalmente, no colmo, no período de 2-4 meses. No período seguinte, ocorre um grande acúmulo de açúcares redutores e sacarose, principalmente no colmo. Quanto ao $N-\alpha NH_2$ solúvel, o comportamento é semelhante ao dos açúcares, sendo que as variações na concentração são muito menos pronunciadas, principalmente nas plantas deficientes em nitrogênio e nas deficientes em potássio.

A análise do quadro acima revela que no período de 2-4 me-ses ocorrem profundas modificações fisiológicas, havendo neste período, grandes necessidades de material fotossintético e nutrientes, principal-mente nitrogênio. A grande diminuição na concentração de açúcares no

colmo deve estar associada ao grande incremento na síntese de proteínas e ao processo respiratório e biossíntese de outras biomoléculas vitais. Quanto ao possível acúmulo de açúcares no colmo, no período de 0-2 meses, pode provavelmente estar relacionado com o fator temperatura do ar e das raízes (solução nutritiva), pois, neste período, apesar das temperaturas mínimas médias apresentarem valores de 10°C e 8°C , foram registradas temperaturas de até 0°C (meses de maio e junho). Além disso, a intensidade nos processos de absorção de nutrientes, síntese de proteínas e taxa de crescimento nas diferentes partes da planta, pode ter sido inferior à taxa de fotossíntese neste período.

Os dados da literatura corroboram a explicação lançada acima. *HUMBERT (1968)*, citado por *ALEXANDER (1973)*, relata que a temperatura é o principal fator que controla a taxa de crescimento de cana-de-açúcar. Em ensaios com luz e temperatura controladas, verifica-se que temperaturas abaixo de 21°C nas raízes tornam-se fortemente limitantes ao crescimento; nenhum crescimento se verifica a 10°C ; 27°C é temperatura ótima para o crescimento e absorção de nutrientes. Segundo *BURR et alii (1957)*, a temperatura pode também influenciar a absorção e migração de nutrientes. Em temperaturas acima de 18°C o aumento nos níveis de nitrogênio provocam aumentos no crescimento. Em temperatura abaixo de 13°C , variações nas quantidades de nitrogênio na solução nutritiva não se refletem sobre o crescimento.

CAVALCANTI e AQUINO (1974), citando vários trabalhos numa

revisão de literatura, relatam que a sacarose acumulada no colmo pode ser redistribuída para outras partes da planta, sendo tal processo função de alguns fatores como: a demanda competitiva pela respiração de outras partes da planta e processos ativos de absorção. Além disso, a mobilização de sacarose para a respiração está estritamente correlacionada com a temperatura. A intensidade de mobilização de sacarose do colmo depende também da idade da planta e da relação folha/colmo.

Os dados evidenciam que aumento na taxa de crescimento e de proteínas aos 2-4 meses pode estar relacionado com as maiores temperaturas deste período⁽¹⁾ e, possivelmente também, com a própria fisiologia da planta, já que, de acordo com ALEXANDER (1973), as maiores taxas de fotossíntese em cana-de-açúcar ocorrem entre os 3-5 meses de idade. Quanto ao acúmulo de açúcares redutores e sacarose no colmo aos 0-2 meses, se deve, provavelmente, à baixa taxa de crescimento em raízes, colmo e folhas neste período. O brusco decréscimo na concentração de açúcares do colmo no período de 2-4 meses deve estar relacionado com o aumento na taxa de crescimento de folhas, colmos e, principalmente, raízes, além de absorção de nutrientes. Desse modo, os processos de biossíntese de proteínas, absorção de nutrientes e síntese das demais biomoléculas vitais atuariam como consumidores de esqueletos carbônicos provenientes dos açúcares. Com base na diminuição da relação folha/colmo e maior acréscimo de matéria seca e sacarose no colmo no período de 4-6 meses, pode-se pensar que este seja um período de acúmulo de açúcares no colmo de plantas

⁽¹⁾ Os valores das temperaturas médias mínima, máxima e média mensal, neste período, foram: 8,1 e 10,0; 27,0 e 30,0; 17,0 e 21,0, respectivamente.

de cana-de-açúcar, cv NA 5679.

6.4. Concentração de Ca^{++} , Mg^{++} e Na^+ Relacionada com a Relação K/N

Os resultados revelam que a concentração de Ca^{++} nas folhas 3⁺ e 4⁺ é diferente somente nas plantas deficientes em potássio, onde se verifica um grande acúmulo de Ca^{++} . O comportamento do Mg^{++} é semelhante ao do Ca^{++} , sendo que aquele cátion se acumula em maior extensão nas plantas deficientes em potássio, principalmente nas N_3K_1 . Além disso, as plantas deficientes em nitrogênio apresentam a metade da concentração de Mg^{++} comparadas com as plantas normais. Deve-se ressaltar que as plantas N_1K_1 , apesar de apresentarem sintomas típicos de deficiência de nitrogênio e serem cultivadas com um mesmo nível de NO_3^- com relação às plantas N_1K_2 e N_1K_3 , apresentam altas concentrações de Mg^{++} . Desse modo, os dados sugerem que, sob baixas concentrações de NO_3^- , a absorção de Mg^{++} pode ser diminuída provavelmente devido à presença de K^+ . Ao contrário, em condições de baixas concentrações de K^+ , os íons Ca^{++} e Mg^{++} têm concentração aumentada, principalmente em presença de altos níveis de NO_3^- .

Os dados discutidos acima estão de acordo com a literatura especializada. É fato estabelecido para a maioria das plantas que espécies cultivadas em condições de baixas concentrações de K^+ (plantas deficientes em potássio) apresentam altas concentrações de Mg^{++} e Ca^{++} (EPSTEIN, 1972; MALAVOLTA *et alii*, 1972; MENGEL e KIRKBY, 1978). Com relação aos níveis de NO_3^- na solução nutritiva, diversos trabalhos têm demons

trado que, níveis crescentes de NO_3^- na solução nutritiva, aumentam a absorção de cátions (Ca^{++} , Mg^{++} e Na^+), aumentando suas concentrações na planta (KIRKBY e KNIGHT, 1977; MENGEL e KIRKBY, 1978). Nossos resultados indicam tal efeito somente para Mg^{++} , quando se elevam os níveis de NO_3^- de N_1 a N_2 (1 a 9 mM) na solução nutritiva, enquanto as concentrações de Ca^{++} e Na^+ permanecem constantes com relação aos 3 níveis de NO_3^- .

Quando se analisa a variação das concentrações de K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} em função da idade da planta, observa-se um fato interessante. Nas plantas "normais", a concentração de K^+ diminui no período 2-4 meses, permanecendo constante no período 4-6 meses. Nas plantas deficientes em potássio, a concentração desse cátion diminui dos 2-4 meses e, mais acentuadamente, no período de 4-6 meses. Com relação ao Ca^{++} e Mg^{++} , observa-se que nas plantas normais suas concentrações permanecem constantes dos 2-6 meses, enquanto nas deficientes em potássio, essas concentrações aumentam com a idade da planta, sendo que a concentração de Ca^{++} aumenta dos 2-4 meses, diminuindo um pouco dos 4-6 meses, enquanto a de Mg^{++} cresce significativamente dos 4-6 meses. Esse quadro sugere que a medida da relação $\text{K}/\text{Ca}+\text{Mg}$ pode tomar-se um excelente instrumento de diagnose de nível de K^+ neste cultivar de cana-de-açúcar (NA 5679).

Com relação ao Na^+ , os dados revelam que neste cultivar de cana-de-açúcar, esse cátion não interagiu intimamente com o K^+ , pois, apesar dos diferentes níveis de Na^+ na solução nutritiva, não se observaram diferenças em sua concentração na planta nem sobre a de K^+ , ao contrário de Ca^{++} e Mg^{++} . Esse dado está de acordo com os encontrados por SYED e ELSWAIFY (1972), trabalhando com outras variedades de cana-de-açúcar. No

entanto, diversos trabalhos têm demonstrado que o Na^+ pode afetar a absorção de K^+ e que, em condições de deficiência deste último, ocorre acúmulo de Na^+ em algumas espécies (EPSTEIN, 1972; MENGEL e KIRKBY, 1978).

Os resultados encontrados revelam também que o equilíbrio catiônico, estimado através da somatória de cargas positivas devida aos cátions Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ e K^+ não é afetado pela relação K/N e nem pelas condições de deficiência do potássio. Essa análise foi feita com a finalidade de observar se a deficiência de K^+ provoca diminuição nas cargas positivas por unidade de peso de plantas, já que, de acordo com uma teoria de COLEMAN e RICHARDS (1956), citado por BASSO (1974), o acúmulo de putrescina teria a finalidade de manter o equilíbrio iônico da célula em condições de deficiência de potássio, devido ao caráter básico desta diamina. Em nossos resultados, as plantas deficientes em potássio chegam a apresentar um maior somatório de cátions, apesar de não ser significativo ao nível de 5% de probabilidade. Desse modo, o acúmulo de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel nessas plantas, que inclui provavelmente putrescina, não deve estar associado a uma diminuição nas cargas positivas devidas aos cátions inorgânicos.

7. CONCLUSÕES

Levando-se em consideração os fatores metodologia, condições ambientais, idade e cultivar de cana-de-açúcar utilizado, a análise dos resultados do presente trabalho permite chegar às conclusões que se seguem.

Níveis crescentes de K^+ na solução nutritiva e nas folhas, quando combinado a um nível ótimo de nitrogênio, provocam aumentos na concentração e produção de sacarose e açúcares redutores totais (ART), diminuição na concentração de açúcares redutores (AR) e diminuição na relação folha/colmo em termos de matéria seca e de açúcares totais.

Plantas deficientes em potássio apresentam acúmulo de açúcares redutores, $N-\alpha NH_2$ solúvel, Ca^{++} e Mg^{++} , não havendo, no entanto, acúmulo de Na^+ . A porcentagem de proteínas e atividade de redutase de nitrato não são alteradas. O acúmulo de $N-\alpha NH_2$ solúvel nas plantas deficientes em potássio deve ser provocado, provavelmente, por um descompasso entre a

taxa de síntese de proteínas, que nessas plantas é diminuída, e a taxa de redução do nitrato que permanece na mesma, seja em plantas normais, seja nas deficientes em potássio. Além disso, deve-se considerar que a taxa de acúmulo de N-OH_2 solúvel também é a mesma, tanto em plantas normais quanto nas mantidas em deficiência de potássio.

O nitrogênio também afeta a concentração, produção e migração de açúcares das folhas até o colmo. Plantas deficientes em nitrogênio apresentam baixa concentração de sacarose e açúcares redutores totais (ART) no colmo. Nas folhas ocorre um relativo acúmulo de sacarose, demonstrado através de aumento da relação folha/colmo. Na deficiência de nitrogênio verifica-se uma alta relação parte aérea/raiz em termos de matéria seca.

Ao contrário do potássio, altas concentrações de nitrogênio provocam diminuição na concentração e produção de sacarose e açúcares redutores totais (ART), além de reduzir o crescimento da planta como um todo, em termos de acúmulo de matéria seca.

Existe uma correlação positiva entre os valores da relação K/N em massa nas folhas 3⁺ e 4⁺ aos 6 meses e a concentração de sacarose no colmo. Os resultados indicam que a relação K/N ótima apresenta valor de 0,94, correspondendo a 2,33% de K⁺ e 2,41% de N-Total nas folhas 3⁺ e 4⁺, aos 6 meses de idade, sendo tal combinação responsável pela maior concentração e produção de sacarose e açúcares redutores totais (ART) e acúmulo de matéria seca total na planta.

8. SUMMARY

The objective of this research work was to study the participation of potassium and nitrogen and their ratios, in biochemical and physiological aspects of the accumulation, composition and translocation of sugars from the leaves to the stalks and to study the interrelationship between the NO_3^- - N reduction process and sugar concentration, in sugarcane plants cv. NA 5679.

The sugarcane plants were grown in nutrient solution containing three different levels of K^+ (0.1, 6 and 12 mM) and three different levels of NO_3^- - N (1, 9 and 18 mM), with 9 different K-N combinations and 3 replicates of each. Data were collected at 2, 4 and 6 months after transplanting into the nutrient solutions.

K^+ concentration affected the composition, concentration, production and translocation of sugars from the leaves to the stalks. Increasing levels of potassium enhances the concentration and production

of sucrose and total reducing sugars (TRS), but decrease the concentration of reducing sugars (RS) and increase the translocation of sugars from the leaves to the stalks. K-deficient plants show an accumulation of reducing sugars and $\alpha\text{-NH}_2$ - N and a high leaf/stalk ratio in terms of dry matter and total reducing sugars (TRS).

The accumulation of $\alpha\text{-NH}_2$ - N in the K-deficient plants was due probably to an unbalance between the rate of protein synthesis which decreases in these plants, and the rate of nitrate reduction which remains the same in either normal and K-deficient plants. It should be emphasized that the rate of accumulation of $\alpha\text{-NH}_2$ - N is also the same in the plants maintained in either condition.

The nitrogen concentration affects the composition, concentration, production and translocation of sugars. N-deficient plants have a low concentration and production of sucrose and reducing sugars (RS) in the stalks. On the other hand, an accumulation of sucrose in the leaves and high leaf/stalk ratio are observed, which suggests a low rate of translocation of sucrose from the leaves to the stalks. Contrary to potassium, high nitrogen concentrations reduces the concentration and production of sucrose and total reducing sugars (TRS), and reduces the growth of the plants in terms of dry matter.

The results suggest that there is an "optimum" K/N ratio in the leaves determining a maximum sucrose concentration in the stalks, since a narrow and positive correlation exists between the K/N ratio and sucrose percentage in the stalks.

9. LITERATURA CITADA

ALEXANDER, A.G. - 1964. Sucrose-enzyme relationships in imature sugar cane as affected by varing levels of nitrate and potassium supplied in sand culture. *J. Agr. Univ. P. R.* 47(3): 165-229.

ALEXANDER, A.G. - 1965. Behavior of enzymes governing starch-and-sucrose forming pathways in two sugarcane varieties supplied with variable nitrate and phosphate in sand culture. *J. Agr. Univ. P. R.* 69(2): 153-171.

ALEXANDER, A.G. - 1974. Sugarcane physiology: a compreehensive study of the *Saccharum* source-to-sink system. Amsterdam, Elsevier. 752p.

AMORIM, V.H. e E.A. ZAGO - 1978. Análises para o controle da fermentação. Apostila do Depto. de Química da ESALQ/USP. 26p.

- ANDERSEN, A.J. e W.A. JACKSON - 1972. Influence of nitrogen supply on uptake and translocation of strontium and calcium in wheat seedlings. *Physiol. Plant.* 26: 175-182.
- BARTA, A.L. - 1975. Effect of nitrogen nutrition on distribution of photosynthetically incorporated $^{14}\text{CO}_2$ in *Lolium perenne*. *Can. J. Bot.* 53: 237-242.
- BASSO, L.C. - 1973. Significado bioquímico da deficiência de potássio na formação de aminas em gergelim (*Sesamum indicum* L.). Tese apresentada à Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, SP, para obtenção do título de Doutor em Ciências. 60p.
- BASSO, L.C. - 1974. Formação de di- e poliaminas em plantas deficientes em potássio e magnésio. Piracicaba, SP, ESALQ/USP. 40p. (Dissertação de Mestrado).
- BASSO, L.C. - 1977. Relações do potássio e do nitrogênio em plantas: poliaminas. Apostila do Curso Intensivo de Proteínas Vegetais. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP. p. 26-29.
- BATAGLIA, O.C.; J.P.F. TEIXEIRA; P.R. FURLAN e J.R. GALLO - 1978. Análise Química de Plantas. Campinas, Instituto Agronômico. Circular nº 87. 31p.
- BAYLEY, J.M. - 1972. The effect of the source of inorganic nitrogen on growth and enzymes of nitrogen assimilation in soyben and wheat cells

- in suspension cultures. *Planta* 105: 15-24.
- BEEVERS, L. e R.H. HAGEMAN - 1969. Nitrate reduction in higher plants. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 20: 494-518.
- BENNET, W.; J. PESEK e J. HANWAY - 1964. Effect of nitrate and ammonium on growth of corn in nutrient solution sand culture. *Agron. J.* 56: 342-345.
- BEN-ZIONI, A.; Y. VAADIA e S.H. LIPS - 1971. Nitrate uptake by roots as regulated by nitrate reduction products of the shoot. *Physiol. Plant.* 24: 288-290.
- BLACK, E.C.; R.H. BROWN e R.C. MOORE - 1978. Plant photosynthesis. In: J. DOBEREINER; R. H. BURRIS e A. HOLLAENDER, limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics. p. 95-110.
- BLANCHET, R.; R. STUDER e C. CHAVMONT - 1962. Some aspects of interactions in the water supply of plants. *Ann. Agron.* 13: 93-110.
- BLEVINS, D.G.; A.J. HIATT e R.H. LOWE - 1974. The influence of nitrate and chloride uptake on expressed sap, pH, organic acid synthesis and potassium accumulation in higher plants. *Plant. Physiol.* 54: 82-87.
- BRAG, H. - 1972. The influence of potassium on the transpiration rate and stomatal opening in *Triticum aestivum* and *Pisum sativum*. *Physiol.*

Plant. 26: 250-257.

BURR, G.O.; C.E. HARTT; H.W. BRODIE; T. TANIMOTO; H.P. KORTSCHAR; D. TAKAHASHI; F.M. ASHTON e R.E. COLEMAN - 1957. The sugarcane plant.

Plant. Physiol. 8: 275-308.

CAVALCANTI, G.A. e B.F. AQUINO - 1974. Fisiologia da cana-de-açúcar. In: Tópicos de Fisiologia Vegetal. Curso de Pós-Graduação em Fitopatologia. ESALQ/USP, Piracicaba, SP. p. 188-209.

COOPER, R.B.; R.E. BLASER e R.H. BROWN - 1967. Potassium nutrition effects on net photosynthesis and morphology of alfafa. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 31: 231-235.

CROCOMO, O.J. e L.C. BASSO - 1974. Accumulation of putrescine and related amino acids in potassium deficient sesamum. *Phytochem.* 13: 2659-2665.

CROCOMO, O.J. - 1979. Assimilação do nitrogênio pelas plantas. *Fisiologia Vegetal*, Vol. 1. Coord. MARIO G. FERRI. Editora da Universidade de São Paulo. p. 179-207.

DRAYCOTT, A.P.; J.A.P. MARSH e P.B.H. TINKER - 1970. Sodium and potassium relationships in sugar beet. *J. Agric. Sci.* 74: 567-573.

EILRICH, G.L. e R.H. HAGEMAN - 1973. Nitrate reductase activity and its relationships to accumulation of vegetative and grain nitrogen in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Sci.* 13: 58-66.

- EPSTEIN, E. - 1972. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. John Wiley and Sons. Inc., New York, London, Sydney and Toronto.
- EVANS, H.J. e R.A. WILDES - 1971. Potassium and its role in enzyme activation. In: Potassium in Biochemistry and Physiology. Proc. 8th. Colloqu. Intern. Potash Institute, Berne.
- FISCHER, R.A. - 1968. Stomatal opening: role of potassium uptake by guard cells. *Science*. 160: 784-785.
- GIVAN, V.C. - 1979. Metabolic detoxification of ammonia in tissues of higher plants. *Phytochem.* 18: 375-382.
- GOSWAMI, A.K. e J.S. WILLCOX - 1969. Effect of applying increasing levels of nitrogen to rye-grass. I. Composition of various nitrogenous fractions and free amino acids. *J. Sci. Food. Agric.* 20: 592-594.
- GRIMME, H. - 1974. Potassium release in relation to crop production. In: Potassium Research and Agricultural Production. 10th. Congress of the Intern. Potash Institute. Berne.
- GUTIERREZ, L.E. - 1977. Atividade de enzimas relacionadas com assimilação do nitrogênio afetada pela deficiência de potássio e maturidade em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). Instituto de Química, Universidade de São Paulo (Tese de Doutorado).

GUTIERREZ, L.E. e O.J. CROCOMO - 1978. Atividade de enzimas relacionadas com assimilação do nitrogênio em raízes de feijoeiro durante o desenvolvimento. *In: Res. VII Reun. An. Soc. Bras. Bioq.*, C-15.

HAEDER, H.E.; K. MENGEL e H. FORSTER - 1973. The effects of photosynthates and yield pattern of potato plants. *J. Sci. Food. Agric.* 24: 1479-1487.

HAGEMAN, R.H. e D.P. HUCKLESBY - 1971. Nitrate reductase from higher plants. *In: Methods in Enzymology.* 17A: 491-503.

HARPER, J.E. e G.M. PAULSEN - 1962. Nitrogen assimilation and protein synthesis in wheat seedlings as affected by mineral nutrition. I. Macronutrients. *Plant Physiol.* 44: 69-74.

HART, C.E. - 1934. Some effects of potassium upon the amounts of protein and amino forms of nitrogen, sugars, and enzyme activity of sugarcane. *Plant Physiol.* 9: 453-490.

HART, C.E. - 1964. Translocation of sugar in the cane plant. *In: Ann. Conf. Hawaiian Sugar Technologists:* 151-167.

HART, C.E. - 1967. Effect of moisture supply upon translocation and storage of ^{14}C in sugarcane. *Plant Physiology.* 42: 338-346.

HART, C.E. e G.O. BURR - 1967. Factors affecting photosynthesis in sugarcane. *Proc. Int. Soc. Sugarcane technol.* 12th. Congr. p. 590-608.

- HARTT, C.E. - 1969. Effect of potassium deficiency upon translocation of ^{14}C in attached blades and entire plants of sugarcane. *Plant Physiol.* 44: 1461-1469.
- HARTT, C.E. - 1970. Effect of nitrogen deficiency upon translocation of ^{14}C in sugarcane. *Plant Physiol.* 46: 419-422.
- HARTT, C.E. - 1970. Effect of potassium deficiency upon translocation in detached blades of sugarcane. *Plant Physiol.* 45: 183-187.
- HARTT, C.E.; H.P. KORTSCHAIL, A.J. FORBES e G.O. BURR - 1963. Translocation of ^{14}C in sugarcane. *Plant Physiol.* 38: 305-318.
- HEWITT, E.J. - 1975. Assimilator nitrate-nitrite reduction. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 26: 73-100.
- HOAGLAND, D.R. e D.I. ARNON - 1950. The water culture method for growing plants without soil. Calif. Agr. Exp. Sta. California Circ. 347.
- HSIAO, T.C.; R.H. HAGEMAN e E.H. TYNER - 1970. Effects of potassium nutrition on protein and total free amino acids in *Zea mays*. *Crop Sci.* 10: 78-82.
- JONES, L.H. - 1966. Carbon-14 studies of intermediary metabolism in potassium-deficient tomato plants. *Canad. J. Bot.* 44: 297-307.

- JONES, L.H. e K. MENGEL - 1967. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea and ammonium nutrition. *Plant Physiol.* 42: 6-14.
- HUMBERT, R.P. - 1958. Potash fertilization in the hawaiian sugar industry. Potassium Symp. Editor Int. Potash Institute. Berne. p. 319-344.
- JØRGENSEN, S.S. - 1977. Guia Analítico. Metodologia utilizada para análise química de rotina. Piracicaba, SP, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA). 23 p.
- KABAT, A.E. e M.M. MAYER - 1967. Ninhydrin method for primary amino acids. In: Experimental immunochemistry. Charles & Thomas Pub. USA. p. 561-563.
- KIRKBY, E.A. e A.H. KNIGHT - 1977. The influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic and accumulation and cation-anion balance in whole tomato plants. *Plant Physiol.* 60: 349-353.
- KLEPER, L.; D. FLESHER e R.H. HAGEMAN - 1971. Generation of reduced nicotinamide for nitrate reduction in green leaves. *Plant Physiol.* 48: 580-590.
- KOCH, K. e K. MENGEL - 1972. Effect of a varied potassium nutrition on

the uptake and incorporation of labelled nitrate by young tobacco plants [*Nicotiane tabacum* L.]. *J. Sci. Food Agric.* 23: 1107-1112.

KOCHL, A. - 1977. The effects of nitrogen and potassium nutrition on yield and quality of sugar beet. *In: Proceedings of the 13th. Coll. of the International Potash Institute held in York, UK.* 350 p.

LEGGETT, J.E. e W.A. GILBERT - 1969. Magnesium uptake by soybeans. *Plant Physiol.* 44: 1182-1186.

LOWRY, O.H.; N.J. ROSEBROUGH; A.L. FARR e R.J. RANDALL - 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193: 265-275.

MacLEOD, L.B. - 1969. Effects of N, P and K and their interactions on the yield and kernel weight of barley in hydroponic culture. *Agron. J.* 61: 26-29.

MALAVOLTA, E.; H.P. HAAG; F.A.F. MELLO e M.O.C. BRASIL SOBR^o - 1974. Nutrição Mineral e Adubação de Plantas Cultivadas. Livraria Pioneira, Editora. São Paulo, SP. p. 259-240.

MENGEL, K. e E.A. KIRKBY - 1978. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. Berne, Switzerland. 593 p.

MIFLIN, B.J. e P.J. LEA - 1976. The pathway of nitrogen assimilation in plants: a review. *Photochem.* 15: 873-885.

- MINOTTI, P.L.; D. WILLIAMS; D. CRAIG e W.A. JACKSON - 1969. Nitrate uptake by wheat as influenced by ammonium and other cations. *Crop Sci.* 9: 9-14.
- NELSON, N. - 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *J. Biol. Chem.* 153: 375-380.
- OKAMOTO, S. - 1967. Effects of potassium nutrition on the glycolysis and the Krebs cycle in Taro plants. *Soil Sci. and Plant Nutrition.* 13: 143-150.
- ROSÍAS, M.F.G.G. - 1979. Determinação espectrofotométrica simultânea de nitrato e nitrato em águas e solos por injeção em fluxo contínuo. Piracicaba, SP, ESALQ/USP (Dissertação de Mestrado). 70 p.
- ROSÁRIO, E.L. e K. SOOKSATHAN - 1977. Influence of fertility levels on nitrate reductase activity and its significance to sugar yield. Intern. Soc. of Sugar Cane Technologists. Proc. XVI Congress. Volume 2, p. 1825-1841.
- RICHARDS, F.J. e R.G. COLEMAN - 1952. Occurrence of putrescine in potassium deficient barley. *Nature.* 170: 460.
- SAMUELS, G. e H. CIBES - 1953. Influence of mineral deficiencies on the growth and yield of sugarcane. *J. Agr. Univ. P. R.* 47(2): 61-75.

- SAMUELS, G. - 1955. Influence of fertilizers on the components of available sucrose-per-cent-cane.. *J. Agr. Univ. P. R.* 39(2): 84-91.
- SAMUELS, G.; P. LANDRAU JR. e B.G. CAPÓ - 1956. The influence of fertility on the varietal response of sugarcane. *J. Agr. Univ. P.R.* 40(3): 120-143.
- SAMUELS, G. - 1969. *Foliar diagnosis for sugar cane.* Chicago. Adams Press. 362 p.
- SASAKAWA, H. e Y. YAMAMOTO - 1977. Nitrate assimilation in rice seedlings as affected by mineral nutrition. *Plant & Cell Physiol.* 18: 215-224.
- SHANER, D.I. e J.S. BOYER - 1976. Nitrate reductase activity in maize (*Zea mays* L.) leaves. II. Regulation by nitrate flux at low leaf water potential. *Plant Physiol.* 58: 505-509.
- SILVA, W.M. - 1976. Termoterapia em gemas isoladas assegura o controle do raquitismo. *Boletim Técnico.* Copersucar. (1): 10-13.
- SLACK, C.R. e M.D. HATCH - 1967. Comparative studies on the activity of carboxylases and other enzymes in relation to the new pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation in the tropical grasses. *Biochem. J.* 103: 660-665.
- SMITH, T.A. e C. SINCLAIR - 1967. The effect of acid feeding on amine formation in barley. *Ann. Bot.* 31: 103-111.

- SNYDER, F.W. e N.E. TOLBERT - 1966. Influence of nitrogen nutrition and season on photosynthetic incorporation of $^{14}\text{CO}_2$ into sucrose and other soluble compounds of the sugar beet. *Bot. Gaz.* 127: 164-170.
- SOMOGYI, M. - 1952. Notes on sugar determination. *J. Biol. Chem.* 195: 19-23.
- SYED, M.M. e S.A. EL-SWAIFY - 1972. Effect of saline water irrigation on N.Co 310 and H-50-7209 cultivars of sugar cane. I. Growth parameters. *Trop. Agric. (Trinidad)*. 49: 337-346.
- TROCME, S. e G. BARBIER - 1966. Influence of "old" and "young" potassium on the sugar content of sugar beets. *In: Proc. Intern. Potash Inst. Berne.*
- VILLALOBOS, E. e J.F. CARVAJAL - 1977. La actividad de la reductasa del nitrato como guía de fertilización nitrogenada de cinco especies agrícolas. *Agron. Cost.* 1: 57-63.
- ZAGO, E.A. - 1978. Acúmulo de putrescina e interrupção da síntese proteica em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) deficiente em potássio. Piracicaba, SP, ESALQ/USP. (Dissertação de Mestrado). 48 p.
- ZAMBELO JR., E. - 1979. Aplicação do sistema integrado de diagnose e recomendação para diferentes solos e épocas de amostragem foliar em soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.). Piracicaba, SP, ESALQ/USP. (Dissertação de Mestrado). 95 p.

APENDICE

Tabela 5 - Distribuição de matéria seca em raiz, colmo e folha de plantas de cana-de-açúcar, c.v. NA 5679, cultivada em solução nutritiva com 6 meses de idade. Média de 6 repetições

Tratamento	Matéria seca (g/2 plantas)			Matéria seca total (g/2 plantas)	Relação folha/colmo	Relação parte aérea/raiz
	folha	colmo	raiz			
N ₁ K ₁	15,63 a	11,98 ab	13,31 a	40,91 a	1,11 b	2,07 a
N ₂ K ₁	40,40 b	27,04 c	18,58 a	86,02 b	1,50 c	3,62 b
N ₃ K ₁	33,97 b	25,98 bc	15,79 a	75,75 b	1,32 bc	3,80 bc
N ₁ K ₂	10,86 a	10,10 a	15,73 a	36,69 a	1,09 b	1,33 a
N ₂ K ₂	53,09 c	74,30 de	32,13 bc	161,09 cd	0,71 a	3,98 bc
N ₃ K ₂	48,94 c	69,26 d	24,21 b	143,19 c	0,74 a	4,92 c
N ₁ K ₃	9,45 a	8,39 a	13,43 a	31,28 a	1,14 b	1,32 a
N ₂ K ₃	57,15 c	89,07 e	35,81 c	182,09 d	0,63 a	4,16 bc
N ₃ K ₃	53,65 c	76,13 de	27,88 bc	156,60 c	0,73 a	4,61 bc
<hr/>						
F=132,36**			F=121,59**	F=25,36**	F=139,67**	F=35,95**
Δ= 8,33			Δ= 14,73	Δ= 8,33	Δ= 25,00	Δ= 1,14
cv=8,10			cv=11,85	cv=13,28	cv=8,62	cv=12,01

Δ = TUCKEY a nível de 5% de probabilidade

Tabela 6 - Concentração e distribuição de açúcares solúveis em colmo e folhas de plantas de cana-de-açúcar, c.v. NA 5679, cultivada em solução nutritiva, com 6 meses de idade. Média de três repetições.

Tratamento	folha				colmo				Relação
	% aç. reduto- res totais		% sacarose estimada		% aç. reduto- res totais		% sacarose estimada		ART-folha/ ART-colmo
	% açúcares redutores	% aç. reduto- res totais	% sacarose estimada	% açúcares redutores	% aç. reduto- res totais	% sacarose estimada	% açúcares redutores	% aç. reduto- res totais	ART-folha/ ART-colmo
grama de glicose/100 g de matéria seca									
N ₁ K ₁	2,40 b	2,76 b	0,36 ab	10,74 c	12,25 bc	1,51 a			0,22 bc
N ₂ K ₁	2,91 c	3,70 c	0,79 b	12,74 d	17,50 d	4,76 b			0,21 bc
N ₃ K ₁	2,51 bc	2,76 b	0,25 a	12,49 d	15,75 cd	3,26 b			0,17 b
N ₁ K ₂	1,66 a	2,63 b	0,97 b	4,99 a	7,25 a	2,26 a			0,36 d
N ₂ K ₂	1,28 a	2,10 ab	0,82 b	10,49 c	17,75 d	7,26 cd			0,11 a
N ₃ K ₂	1,26 a	2,03 a	0,77 b	7,37 b	14,75 c	7,38 cd			0,13 a
N ₁ K ₃	1,41 a	2,46 b	1,05 b	5,50 ab	10,00 b	4,50 b			0,24 v
N ₂ K ₃	1,28 a	2,36 ab	1,08 b	10,62 c	19,00	8,38 d			0,12 a
N ₃ K ₃	1,20 a	1,76 a	0,56 ab	6,62 b	13,25	6,63 c			0,13 a

F=52,24**	F=26,44**	F=7,92**	F=118,37**	F=56,78**	F=61,88**	F=40,74**
Δ=0,44	Δ=0,54	Δ=0,50	Δ=1,34	Δ=2,53	Δ=1,53	Δ=0,05
CV=8,89	CV=7,55	CV=29,30	CV=5,22	CV=6,28	CV=10,54	CV=10,75

Tabela 7 - Relação K/N nas folhas, produção de matéria seca e açúcares no colmo de plantas de cana-de-açúcar, c.v. NA 5679, cultivada em solução nutritiva, com 6 meses de idade. Média de 3 repetições

Tratamento	Relação K/N (massa)	Matéria Seca (grama/2 colmos)	Produção de açúcares totais (g glicose/2 colmos)
N ₁ K ₁	0,58 b	11,98 ab	1,46 a
N ₂ K ₁	0,22 a	27,04 c	4,73 b
N ₃ K ₁	0,21 a	25,98 bc	4,09 b
N ₁ K ₂	1,07 e	10,10 a	0,73 a
N ₂ K ₂	0,76 c	74,30 de	13,18 d
N ₃ K ₂	0,75 c	69,26 d	10,21 c
N ₁ K ₃	1,15 e	8,39 a	0,84 a
N ₂ K ₃	0,94 d	89,07 e	16,92 d
N ₃ K ₃	0,91 d	75,07 de	9,94 c

F=124,48**
 Δ=0,15
 cv= 7,20
 F=121,59**
 Δ=14,73
 cv=11,85
 F=354,82**
 Δ=1,53
 cv=7,82

Tabela 8 - Relação K/N, relação K/Ca+Mg, Σ cátions e concentração de K, Ca, Mg, Na em folhas de plantas de cana-de-açúcar, c.v. NA 5679, cultivada em solução nutritiva, com 6 meses de idade. Média de 3 repetições

Tratamento	Relação K/N (massa)	% K ⁺	% Ca ⁺⁺	% Mg ⁺⁺	% Na ⁺	Σ cátions (meq/100g de m.s.)	Relação K/Ca+Mg (massa)
N ₁ K ₁	0,58 b	1,12 b	0,49 c	0,54 c	0,27 a	109,95 b	1,09 a
N ₂ K ₁	0,22 a	0,59 a	0,63 c	0,57 c	0,26 a	105,42 b	0,49 a
N ₃ K ₁	0,21 a	0,61 a	0,49 b	0,85 d	0,26 a	122,27 b	9,45 a
N ₁ K ₂	1,07 e	1,74 c	0,32 a	0,14 a	0,25 a	82,27 a	3,86 bc
N ₂ K ₂	0,76 c	1,95 cd	0,35 a	0,24 b	0,24 a	97,93 ab	3,30 b
N ₃ K ₂	0,75 c	2,09 d	0,30 a	0,23 b	0,24 a	98,17 ab	3,94 bc
N ₁ K ₃	1,15 e	1,97 cd	0,34 a	0,14 a	0,24 a	89,60 ab	4,10 c
N ₂ K ₃	0,94 d	2,33 de	0,34 a	0,25 b	0,29 a	110,14 b	3,94 bc
N ₃ K ₃	0,91 d	2,41 e	0,31 a	0,23 b	0,27 a	108,18 b	4,46 c

F=124,43**	F=215,31**	F=80,87**	F=172,27**	F=2,97*	F=10,07**	F=170,28**
$\Delta=0,15$	$\Delta=0,25$	$\Delta=0,06$	$\Delta=0,09$	$\Delta=0,05$	$\Delta=17,45$	$\Delta=0,64$
cv=7,20	cv=5,02	cv=5,50	cv=9,10	cv=6,78	cv=5,87	cv=7,83

Tabela 9 - Relação folha/colmo de matéria seca, açúcares redutores totais (ART) e N- α NH₂ solúvel em plantas de cana-de-açúcar, c.v. NA 5679, cultivada em solução nutritiva, nos diferentes tratamentos em função da idade. Média de 3 repetições.

Tratamento	Relação folha/colmo (matéria seca)			Relação folha/colmo (açúcares redutores totais)			Relação folha/colmo (N - α NH ₂ solúvel)		
	2 meses	4 meses	6 meses	2 meses	4 meses	6 meses	2 meses	4 meses	6 meses
N ₁ K ₁	1,31 a	0,92 a	1,11 b	0,20 ab	0,42 b	0,22 bc	0,43 ab	0,55 a	1,32 b
N ₂ K ₁	1,53 a	1,34 b	1,50 c	0,18 a	0,28 ab	0,21 bc	0,61 a	0,89 c	1,05 a
N ₃ K ₁	1,73 a	1,28 b	1,32 bc	0,13 a	0,15 a	0,17 b	0,58 a	0,74 b	1,07 a
N ₁ K ₂	1,63 a	1,01 a	1,09 b	0,28 b	0,67 c	0,36 d	0,63 ab	0,99 cd	1,12 ab
N ₂ K ₂	1,96 a	1,26 b	0,71 a	0,22 ab	0,31 b	0,12 a	0,61 a	0,79 bc	1,35 b
N ₃ K ₂	1,76 a	1,20 b	0,74 a	0,22 ab	0,14 a	0,14 a	0,74 b	1,09 d	1,46 b
N ₁ K ₃	1,83 a	0,98 a	1,14 b	0,26 b	0,28 ab	0,24 c	0,75 b	0,71 b	0,96 a
N ₂ K ₃	1,57 a	1,51 c	0,63 a	0,24 ab	0,95 d	0,12 a	0,66 ab	0,90 ab	1,82 c
N ₃ K ₃	1,45 a	1,26 b	0,73 a	0,25 ab	0,28 ab	0,13 a	0,71 b	0,78 bc	1,07 a

F=1,83 F=36,20** F=27,61** F=7,11** F=63,77** F=40,74** F=9,03** F=17,47** F=36,85**
 Δ =0,59 Δ =0,15 Δ =0,29 Δ =0,10 Δ =0,15 Δ =0,05 Δ =0,10 Δ =0,15 Δ =0,25
CV=12,00 CV=4,49 CV=10,84 CV=14,39 CV=15,00 CV=10,75 CV=5,36 CV=7,55 CV=6,25

Tabela 10 - Concentração de açúcares solúveis em folhas de plantas de cana-de-açúcar, c.v. NA 5679, cultivada em solução nutritiva, nos diferentes tratamentos em função da idade. Média de três repetições.

Tratamento	2 meses		4 meses		6 meses	
	% açúcares redutores	% sacarose estimada	% açúcares redutores	% sacarose estimada	% açúcares redutores	% sacarose estimada
grama de glicose/100 g de matéria seca						
N ₁ K ₁	1,45 ab	0,84 b	0,93 e	0,07 ab	2,40 c	0,36 ab
N ₂ K ₁	1,79 b	0,47 b	0,72 d	0,18 ab	2,71 d	0,79 b
N ₃ K ₁	1,76 b	0,03 a	0,65 cd	0,04 ab	2,51 cd	0,25 a
N ₁ K ₂	1,23 a	0,84 b	0,76 d	0,17 ab	1,68 b	0,97 b
N ₂ K ₂	1,31 a	0,56 b	0,43 a	0,13 ab	1,28 ab	0,82 b
N ₃ K ₂	1,31 a	0,47 b	0,48 a	0,01 a	1,26 ab	0,77 b
N ₁ K ₃	1,20 a	0,78 b	0,69 cd	0,03 ab	1,31 ab	1,05 b
N ₂ K ₃	1,38 a	0,57 b	0,52 b	0,07 ab	1,28 ab	1,08 b
N ₃ K ₃	1,30 a	0,54 b	0,44 a	0,08 ab	1,20 a	0,56 ab

F=8,88**	F=7,92**	F=203,22**	F=5,54**	F=52,24**	F=7,92**
Δ=0,44	Δ=0,43	Δ=0,05	Δ=0,14	Δ=0,44	Δ=0,50
CV=10,14	CV=29,0	CV=3,25	CV=43,0	CV=8,89	CV=29,20

Tabela 11 - Concentração de açúcares solúveis em colmos de plantas de cana-de-açúcar, c.v. NA 5679, cultivada em solução nutritiva, nos diferentes tratamentos em função da idade. Média de três repetições.

Tratamento	2 meses		4 meses		6 meses	
	% açúcares redutores	% sacarose estimada	% açúcares redutores	% sacarose estimada	% açúcares redutores	% sacarose estimada
g de glicose/100 g de matéria seca						
N ₁ K ₁	4,85 c	6,76 b	1,94 c	0,43 ab	10,74 c	1,51 a
N ₂ K ₁	9,25 d	4,05 a	3,08 d	0,13 ab	12,74 d	4,76 b
N ₃ K ₁	8,74 d	4,77 ab	4,33 e	0,01 a	12,49 d	3,26 b
N ₁ K ₂	1,85 ab	5,33 ab	1,27 b	0,12 ab	4,79 a	2,26 a
N ₂ K ₂	2,95 b	5,28 ab	1,30 b	0,79 b	10,79 c	7,26 cd
N ₃ K ₂	3,07 b	4,94 cd	2,54 cd	0,88 b	7,37 b	7,38 cd
N ₁ K ₃	1,68 a	6,98 b	2,12 c	0,39 ab	5,50 ab	4,50 b
N ₂ K ₃	3,05 b	5,61 b	0,18 a	0,44 ab	10,02 c	8,38 d
N ₃ K ₃	2,40 ab	4,78 ab	1,30 b	0,52 b	6,02 b	6,63 c

F=129,91**	F=10,16**	F=88,17**	F=9,79**	F=118,37**	F=64,98**
Δ=1,24	Δ=1,53	Δ=0,64	Δ=0,44	Δ=1,34	Δ=1,53
CV=10,51	CV=9,79	CV=11,15	CV=38,67	CV=5,22	CV=10,42

Tabela 12 - Concentração de $N-\alpha NH_2$ solúvel⁽¹⁾ e % de proteínas⁽²⁾ em folhas de cana-de-açúcar c.v. NA 5679, cultivada em solução nutritiva, nos diferentes tratamentos em função da idade. Média de três repetições.

Tratamento	2 meses			4 meses			6 meses		
	% $N-\alpha NH_2$ solúvel	% proteínas	% $N-\alpha NH_2$ solúvel	% $N-\alpha NH_2$ solúvel	% proteínas	% $N-\alpha NH_2$ solúvel	% $N-\alpha NH_2$ solúvel	% proteínas	% proteínas
N_1K_1	0,08 a	6,90 a	0,08 a	0,08 a	23,49 ab	0,21 b	24,75 c		
N_2K_1	0,14 b	7,47 a	0,13 b	0,13 b	22,27 a	0,36 e	22,54 ab		
N_3K_1	0,16 b	7,36 a	0,14 b	0,14 b	21,85 a	0,41 f	21,32 b		
N_1K_2	0,08 a	7,82 a	0,09 a	0,09 a	22,68 ab	0,15 a	23,28 bc		
N_2K_2	0,14 b	7,38 a	0,09 a	0,09 a	24,48 b	0,25 c	24,38 bc		
N_3K_2	0,15 b	7,70 a	0,09 a	0,09 a	22,85 ab	0,28 d	24,39 bc		
N_1K_3	0,08 a	7,47 a	0,09 a	0,09 a	24,48 b	0,15 a	23,89 bc		
N_2K_3	0,15 b	7,24 a	0,10 a	0,10 a	25,49 b	0,25 c	22,79 bc		
N_3K_3	0,16 b	7,12 a	0,10 a	0,10 a	24,07 b	0,26 c	23,64 bc		
	F=139,85**	F=1,90	F=44,50**	F=10,94**	F=385,00**	F=15,97**			
	$\Delta=0,02$	$\Delta=0,99$	$\Delta=0,02$	$\Delta=1,83$	$\Delta=0,02$	$\Delta=1,38$			
	CV=4,06	CV=4,77	CV=5,83	CV=2,69	CV=3,00	CV=2,09			

⁽¹⁾ Expresso em grama de N/100 g de matéria seca

⁽²⁾ Expresso em grama de proteína/100 g de matéria seca

Tabela 13 - Concentração de N- α NH₂ solúvel⁽¹⁾ e % de proteínas⁽²⁾ no colmo de plantas de cana-de-açúcar, c.v. NA 5679, cultivada em solução nutritiva, nos diversos tratamentos em função da idade.
Média de 3 repetições

Tratamento	2 meses			4 meses			6 meses		
	% N- NH ₂ solúvel	% proteínas	% N- NH ₂ solúvel	% proteínas	% N- NH ₂ solúvel	% proteínas	% N- NH ₂ solúvel	% proteínas	% proteínas
N ₁ K ₁	0,12 a	13,20 ab	0,14 c	18,09 a	0,16 b	16,96 bc			
N ₂ K ₁	0,23 c	14,05 b	0,15 c	18,04 a	0,34 e	18,15 c			
N ₃ K ₁	0,28 d	13,96 b	0,20 d	18,40 a	0,38 f	16,92 bc			
N ₁ K ₂	0,12 a	13,99 b	0,09 a	18,70 b	0,14 a	16,19 ab			
N ₂ K ₂	0,23 c	12,86 a	0,11 b	18,91 b	0,18 bc	18,84 a			
N ₃ K ₂	0,20 b	13,29 ab	0,08 a	18,50 ab	0,19 c	15,94 ab			
N ₁ K ₃	0,11 a	13,54 ab	0,13 bc	17,08 a	0,15 ab	15,82 ab			
N ₂ K ₃	0,23 c	13,71 ab	0,14 c	18,91 b	0,14 a	15,08 ab			
N ₃ K ₃	0,22 bc	14,05 b	0,13 bc	17,38 a	0,24 d	15,20 ab			
F=191,78**			F=81,70**	F=5,26**	F=364,47**	F=2,55*			
Δ =0,02			Δ =0,02	Δ =1,29	Δ =0,02	Δ =1,20			
CV=4,03			CV=5,02	CV=2,49	CV=3,87	CV=2,55			

⁽¹⁾ Expresso em grama de N/100 g de matéria seca

⁽²⁾ Expresso em grama de proteína/100 g de matéria seca

Tabela 14 - Atividade de nitrato redutase ⁽¹⁾ na folha 3⁺ aos 4 e 6 meses, % N- α NH₂ solúvel no colmo aos 4 e 6 meses e concentração de NO₃⁻(²) no colmo e na folha de plantas de cana-de-açúcar, c.v. NA5679, cultivada em solução nutritiva, aos 6 meses de idade. Média de três repetições.

Tratamento	Atividade de nitrato redutase		% N- α NH ₂ solúvel (g N/100 g de matéria seca)		Concentração de NO ₃ ⁻ (6 meses)	
	4 meses	6 meses	4 meses	6 meses	colmo	folha
N ₁ K ₁	0,44 a	0,15 a	0,14 c	0,16 b	12,33 a	<10
N ₂ K ₁	0,94 b	1,87 b	0,15 c	0,34 e	568,33 bc	<10
N ₃ K ₁	1,19 bc	1,87 b	0,20 d	0,38 f	914,67 c	<10
N ₁ K ₂	0,39 a	0,11 a	0,09 a	0,14 a	12,67 a	<10
N ₂ K ₂	1,02 bc	2,13 b	0,11 b	0,18 bc	530,00 b	<10
N ₃ K ₂	1,27 c	2,36 b	0,08 a	0,19 c	1.227,33 c	<10
N ₁ K ₃	0,45 a	0,11 a	0,13 bc	0,15 ab	158,00 a	<10
N ₂ K ₃	1,15 bc	0,60 a	0,14 c	0,14 a	243,33 ab	<10
N ₃ K ₃	1,27 c	2,47 b	0,13 bc	0,24 d	622,33 bc	<10

F=61,00**	F=39,91**	F=81,70**	F=364,47**	F=30,91**
$\Delta=0,25$	$\Delta=0,79$	$\Delta=0,02$	$\Delta=0,02$	$\Delta=369,81$
CV=9,53	CV=21,70	CV=5,02	CV=3,87	CV=27,10

(¹) Expresso em $\mu\text{moles de NO}_2^- \cdot \text{hora}^{-1} \cdot \text{grama de matéria fresca}$

(²) Expresso em ppm ($\mu\text{g de NO}_3^-/\text{grama de matéria seca}$)

Tabela 15 - Concentração (%) de N-Total⁽¹⁾ nas folhas e colmo de plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum sp*) cv NA 5679, com diferentes idades. Média de três repetições.

Tratamento	2 meses		4 meses		6 meses	
	folha	colmo	folha	colmo	folha	colmo
	(1) grama de N/100 g de matéria seca					
N ₁ K ₁	2,14 a	1,29 a	2,26 a	1,43 ab	1,92 a	0,90 a
N ₂ K ₁	2,82 b	1,89 b	2,92 bc	1,74 bc	2,67 bc	1,68 de
N ₃ K ₁	2,91 b	2,02 b	2,90 bc	1,87 c	2,92 c	1,74 c
N ₁ K ₂	2,02 a	1,24 a	2,15 a	1,26 a	1,61 a	0,78 a
N ₂ K ₂	2,74 b	1,90 b	2,97 c	1,65 bc	2,57 bc	1,09 b
N ₃ K ₂	2,65 b	1,83 b	2,70 b	1,57 b	2,86 bc	1,40 c
N ₁ K ₃	1,97 a	1,14 a	2,46 a	1,30 a	1,70 a	0,95 a
N ₂ K ₃	2,78 b	1,82 b	2,98 c	1,81 c	2,48 b	0,99 b
N ₃ K ₃	2,80 b	1,90 b	2,98 c	1,77 c	2,64 bc	1,51 cd

F=31,65**	F=37,95**	F=68,92**	F=133,78	F=40,54**	F=128,05**
Δ=0,30	Δ=0,25	Δ=0,25	Δ=0,18	Δ=0,39	Δ=0,18
CV=4,58	CV=5,77	CV=2,55	CV=2,09	CV=5,67	CV=4,46

Tabela 16 - Concentração de K^+ e Mg^{++} nas folhas de plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp) cv NA 5679 com diferentes idades. Média de três repetições.

Tratamento	2 meses		4 meses		6 meses	
	% K^+	% Mg^{++}	% K^+	% Mg^{++}	% K^+	% Mg^{++}
g do elemento/100 g de matéria seca						
N_1K_1	2,06 a	0,40 b	1,73 ab	0,40 b	1,12 b	0,54 c
N_2K_1	1,51 a	0,53 c	1,60 a	0,56 c	0,59 a	0,57 c
N_3K_1	1,97 a	0,40 b	1,72 ab	0,47 b	0,61 a	0,85 d
N_1K_2	2,70 b	0,18 a	1,74 ab	0,17 a	1,74 c	0,13 a
N_2K_2	3,07 b	0,19 a	2,02 b	0,19 a	1,95 cd	0,24 b
N_3K_2	2,99 b	0,20 a	1,93 b	0,16 a	2,09 d	0,23 b
N_1K_3	2,79 b	0,18 a	1,75 ab	0,14 a	1,97 cd	0,14 a
N_2K_3	3,30 b	0,18 a	2,28 c	0,17 a	2,33 de	0,25 b
N_3K_3	2,99 b	0,17 a	2,40 c	0,18 a	2,41 e	0,23 b

F=27,11**	F=119,12	F=58,48**	F=214,07**	F=215,31	F=172,27**
$\Delta=0,60$	$\Delta=0,05$	$\Delta=0,20$	$\Delta=0,07$	$\Delta=0,25$	$\Delta=0,09$
CV=7,79	CV=7,99	CV=3,27	CV=7,05	CV=5,02	CV=9,10

Tabela 17 - Concentração⁽¹⁾ de Ca^{++} e Na^+ em folhas de plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum sp*) cv. NA 5679 com diferentes idades. Média de três repetições.

Tratamento	2 meses		4 meses		6 meses	
	% Ca^{++}	% Na^+	% Ca^{++}	% Na^+	% Ca^{++}	% Na^+
N_1K_1	0,51 d	0,42 a	0,58 b	0,26 c	0,49 b	0,27 a
N_2K_1	0,50 d	0,40 a	0,84 c	0,25 bc	0,67 c	0,26 a
N_3K_1	0,40 c	0,46 a	0,70 c	0,27 c	0,49 b	0,26 a
N_1K_2	0,32 b	0,40 a	0,59 b	0,24 bc	0,32 a	0,25 a
N_2K_2	0,28 a	0,41 a	0,49 b	0,19 ab	0,35 a	0,24 a
N_3K_2	0,29 a	0,41 a	0,36 a	0,20 b	0,30 a	0,24 a
N_1K_3	0,32 b	0,43 a	0,48 b	0,14 a	0,34 a	0,24 a
N_2K_3	0,26 a	0,47 a	0,36 a	0,17 ab	0,34 a	0,29 a
N_3K_3	0,23 a	0,59 b	0,36 a	0,21 bc	0,31 a	0,27 a

(1) Expresso em grama do elemento/100 g de matéria seca

F=65, 12**	F=8, 60**	F=103, 92**	F=15, 87**	F=80, 87**	F=2, 97*
$\Delta=0,05$	$\Delta=0,10$	$\Delta=0,10$	$\Delta=0,05$	$\Delta=0,05$	$\Delta=0,05$
CV=6,43	CV=8,35	CV=5,28	CV=9,05	CV=5,50	CV=6,78