

EFEITO DO NITROGÊNIO NÍTRICO, AMONIACAL E DE URÉIA SOBRE O CRESCIMENTO, CARBOIDRATOS E COMPOSTOS NITROGENADOS EM CANA-DE-AÇÚ-CAR (*Saccharum* spp. cv. NA 56-79) CULTIVADA EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

NEFTALI OCHOA ALEJO

Orientador: **Dr. Otto J. Crocomo**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro - 1980

.i.

A Adelaide, minha esposa

A Mayara, minha filha

D E D I C O

A minha mãe e irmãos

O F E R E Ç O

AGRADECIMENTOS

- Ao *Prof. Dr. OTTO J. CRÓCOMO* por ter-me orientado e incentivado durante o desenvolvimento deste trabalho.
- Ao *CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA (CENA)* e à *ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"* pela oportunidade oferecida.
- Ao *CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA (MÉXICO)* pela ajuda financeira na realização do curso.
- Ao *Dr. FÉLIX CÓRDOBA*, do *CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS (MÉXICO)* co-autor da minha formação no campo da pesquisa.
- A *CARLOS DORELLI, ENIO TIAGO OLIVEIRA, ROMEU ROCHA* e *MARIA FERNANDA GINÉ ROSÍAS* pela colaboração na parte experimental.
- À *Professora MARLI DE BEM GOMES*, do Departamento de Matemática e Estatística da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" pela execução e orientação na análise estatística dos dados.
- A todos os meus colegas da *Seção de Bioquímica de Plantas* pela amizade, convivência e companheirismo.
- Ao *Dr. ERIC DERBYSHIRE* pelo auxílio na parte correspondente à língua inglesa.
- A *CLEUSVAL BISSI* pelo inestimável serviço de datilografia dos manuscritos.

Í N D I C E

	<u>Página</u>
1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	3
3. REVISÃO DA LITERATURA.	10
3.1. Cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp).	10
3.2. Outras plantas.	12
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1. Cultivo das plantas	19
4.2. Análises.	21
4.2.1. Nitrogênio total	21
4.2.1.1. Soluções utilizadas	21
4.2.1.2. Técnica	21
4.2.2. Nitrogênio solúvel em álcool	22
4.2.2.1. Extração.	22
4.2.2.2. Quantificação	22
4.2.2.2.1. Soluções utilizadas	22
4.2.2.2.2. Técnica.	23
4.2.3. Amônio.	23
4.2.3.1. Soluções utilizadas	23
4.2.3.2. Técnica.	24

	<u>Página</u>
4.2.4. Uréia.	24
4.2.4.1. Soluções utilizadas	24
4.2.4.2. Técnica	24
4.2.5. Nitrato.	25
4.2.5.1. Extração.	25
4.2.5.2. Quantificação	25
4.2.5.2.1. Soluções utilizadas..	25
4.2.5.2.2. Técnica.	26
4.2.6. Proteína	26
4.2.6.1. Extração.	26
4.2.6.2. Quantificação	27
4.2.6.2.1. Soluções utilizadas	27
4.2.6.2.2. Técnica.	27
4.2.7. Aminoácidos totais.	27
4.2.7.1. Preparo das amostras	27
4.2.7.2. Análise.	28
4.2.8. Açúcares solúveis em álcool	29
4.2.8.1. Extração.	29
4.2.8.2. Quantificação de açúcares so- lúveis totais.	29
4.2.8.2.1. Soluções utilizadas..	29

	<u>Página</u>
4.2.8.2.2. Técnica.	30
4.2.8.3. Quantificação de açúcares re- dutores.	30
4.2.8.3.1. Soluções utilizadas..	30
4.2.8.3.2. Técnica.	31
5. RESULTADOS.	32
5.1. Observações gerais.	32
5.2. Matéria fresca.	33
5.2.1. Raiz.	33
5.2.2. Parte aérea.	33
5.3. Matéria seca.	35
5.3.1. Raiz.	35
5.3.2. Parte aérea	37
5.4. Nitrogênio total.	37
5.4.1. Raiz.	37
5.4.2. Parte aérea.	39
5.5. Nitrogênio solúvel em álcool.	39
5.5.1. Raiz.	39
5.5.2. Parte aérea.	41

	<u>Página</u>
5.6. Amônio livre.	41
5.6.1. Raiz.	41
5.6.2. Parte aérea.	42
5.7. Uréia.	44
5.7.1. Raiz.	44
5.7.2. Parte aérea.	44
5.8. Nitrato.	44
5.8.1. Raiz.	44
5.8.2. Parte aérea.	46
5.9. Proteína.	46
5.9.1. Raiz.	46
5.9.2. Parte aérea.	48
5.10. Aminoácidos totais.	48
5.10.1. Raiz.	48
5.10.2. Parte aérea.	49
5.11. Açúcares solúveis totais.	50
5.11.1. Raiz.	50
5.11.2. Parte aérea.	52
5.12. Açúcares redutores.	53
5.12.1. Raiz.	53

	<u>Página</u>
5.12.2. Parte aérea.	55
6. DISCUSSÃO.	56
6.1. Influência do nitrato, amônio e uréia sobre o crescimento.	56
6.2. Influência do nitrato, amônio e uréia sobre o teor dos compostos nitrogenados.	62
6.3. Efeito do nitrato, amônio e uréia sobre o conteúdo dos carboidratos.	75
7. CONCLUSÕES.	81
8. SUMMARY.	83
9. LITERATURA CITADA	85
10. APÊNDICE.	99

LISTA DAS TABELAS

<u>Tabela</u>		<u>Página</u>
1	- Composição das soluções nutritivas utilizadas	20
2	- Efeito do nitrato, amônio e uréia sobre os valores de matéria fresca das raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.	100
3	- Influência do nitrato, uréia e amônio sobre a produção de matéria seca em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.	101
4	- Percentagens de nitrogênio total na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva contendo nitrato, uréia ou amônio.	102
5	- Efeito do nitrato, uréia e amônio sobre o teor de nitrogênio solúvel na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.	103
6	- Influência do nitrato, uréia e amônio sobre o conteúdo de NH_4^+ livre na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva.	104
7	- Conteúdo de uréia nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva contendo uréia.	105
8	- Teor de nitrato nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva contendo nitrato.	106
9	- Conteúdo de proteína na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar supridas com nitrato, uréia ou amônio em solução nutritiva.	107

<u>Tabela</u>	<u>Página</u>
10 - Aminoácidos totais na raiz de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva contendo nitrato.	108
11 - Teor de aminoácidos totais na raiz de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva contendo uréia.	109
12 - Aminoácidos totais na raiz de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva com amônio.	110
13 - Aminoácidos totais na raiz de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva sem nitrogênio (controle).	111
14 - Teor de aminoácidos totais na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva contendo nitrato.	112
15 - Teor de aminoácidos totais na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em presença de uréia.	113
16 - Aminoácidos totais na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva contendo amônio como fonte de nitrogênio.	114
17 - Aminoácidos totais na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva sem nitrogênio (controle).	115
18 - Efeito do nitrato, uréia e amônio sobre o teor de açúcares solúveis totais na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.	116

<u>Tabela</u>		<u>Página</u>
19	- Influência do nitrato, uréia e amônio sobre o conteúdo de açúcares redutores em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.	117
20	- Crescimento comparativo de diferentes plantas supridas com nitrato, amônio ou uréia. .	57

LISTA DAS FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1 - Representação esquemática da assimilação do nitrogênio.	5
2 - Efeito do nitrato, uréia e amônio sobre a produção de matéria fresca na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.	34
3 - Influência do nitrato, uréia e amônio sobre a produção de matéria seca na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.	36
4 - Efeito do nitrato, uréia e amônio sobre o teor de N-total nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva.	38
5 - Influência de nitrato, uréia e amônio, sobre o conteúdo de N-solúvel nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.	40
6 - Teor de NH_4^+ livre nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva contendo nitrato, uréia ou amônio como fontes de nitrogênio.	43
7 - Teor de NO_3^- nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva contendo nitrato.	45
8 - Efeito do nitrato, uréia e amônio sobre o conteúdo de proteínas nas raízes e partes aéreas de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva.	47
9 - Influência do nitrato, uréia e amônio sobre o teor de açúcares solúveis totais nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.	51

Figura

Página

10 -	Conteúdo de açúcares redutores nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva contendo nitrato, uréia ou amônio.	54
------	---	----

A B R E V I A T U R A S

- ADP - Adenosina difosfato
- ATP - Adenosina trifosfato
- GDH - Desidrogenase glutâmica
- GOGAT - Síntase de glutamato
- GS - Sintetase de glutamina
- NADH - Nicotinamida adenina dinucleotídio reduzido
- NADPH - Nicotinamida adenina dinucleotídio fosfato reduzido
- m.s. - Matéria seca

1. RESUMO

Plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp. cv. NA 56-79) de 18 dias de idade obtidas por germinação de toletes em vermiculita, foram cultivadas em solução nutritiva contendo nitrato, uréia, amônio ou em solução sem nitrogênio (controle), a pH 6,0. O experimento foi conduzido na Seção de Bioquímica de Plantas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, por um período de 7 semanas, em câmara de crescimento Conviron a 28°C e fotoperíodo de 12 horas. Cada semana foram colhidas plantas dos diferentes tratamentos e divididas em raiz e parte aérea. Foi determinado o crescimento (matéria fresca e matéria seca), diferentes compostos nitrogenados e carboidratos.

O maior crescimento das plantas de cana-de-açúcar foi observado em presença de nitrato. A uréia teve um efeito deletério sobre as raízes mas promoveu o crescimento da parte aérea até valores semelhantes aos do nitrato. Na solução nutritiva amoniacal, as plantas apresentaram sintomas de toxidez e, conseqüentemente, o crescimento das raízes e parte aérea foi inibido.

As plantas em amônio apresentaram o maior teor

de nitrogênio total e proteína nas raízes. Além disso, o conteúdo de nitrogênio solúvel em álcool e o NH_4^+ livre nas raízes e parte aérea também foi maior em presença de amônio. As plantas cultivadas em uréia mostraram maior valor de nitrogênio total na parte aérea. O conteúdo de proteína na parte aérea não foi influenciado pelas 3 fontes nitrogenadas.

As raízes e parte aérea das plantas supridas com amônio ou uréia, mostraram maior teor total de ácido aspártico do que em presença de nitrato.

O teor de açúcares solúveis totais na raiz e parte aérea mostrou ser estatisticamente igual em amônio e nitrato ou em nitrato e uréia, porém, maior em amônio do que em uréia.

O amônio promoveu também um aumento de açúcares redutores na raiz e parte aérea quando comparado com o nitrato e a uréia. Nas raízes das plantas em nitrato ou uréia não houve diferença estatística, porém, na parte aérea o teor de açúcares redutores foi maior em presença do nitrato.

2. INTRODUÇÃO

É bem conhecido que o nitrogênio tem um papel chave tanto no metabolismo como no crescimento das plantas. Apesar das plantas utilizarem o nitrogênio sob a forma de uréia e nitrito, as principais fontes em condições naturais são os íons amônio e nitrato. Estudos feitos com inúmeras espécies vegetais submetidas a nutrição amoniacal ou nítrica tem mostrado que cada forma nitrogenada produz diferentes respostas fisiológicas na planta (*HAYNES e GOH, 1978*). Os vegetais apresentam grande variação quanto à sua habilidade para absorver e utilizar as diversas formas nitrogenadas.

Grande parte da literatura sobre o metabolismo do nitrato em plantas tem sido revisada por vários autores (*BEEVERS e HAGEMAN, 1969; PATE, 1971, 1973; HEWITT, 1975*). O nitrato deve ser reduzido antes de sua assimilação, mas o amônio, uma vez absorvido, pode ser imediatamente usado na síntese de aminoácidos e outros compostos orgânicos.

Estudos enzimáticos tem mostrado que o nitrato, sendo a forma mais oxidada do nitrogênio, é primeiramente reduzido a nitrito, e este, por sua vez, é transformado em

amônio antes de sua incorporação em constituintes orgânicos (Figura 1). As enzimas que catalisam esses processos são a redutase de nitrato e a redutase de nitrito, respectivamente. O doador de elétrons para a redutase de nitrato nas plantas superiores é geralmente o NADH (BEEVERS e HAGEMAN, 1969). Segundo KLEPPER *et alii* (1971), os açúcares produzidos pela fotossíntese migram do cloroplasto para o citosol, onde são metabolizados através da glicólise. A oxidação do gliceraldeído-3-fosfato resultante seria a fonte de NADH para a redução do nitrato.

A redutase de nitrito é uma enzima localizada nos cloroplastos dos tecidos verdes (MAGALHÃES *et alii*, 1974). O doador natural de elétrons para esta enzima é a ferredoxina reduzida. Por outro lado, o poder redutor necessário para reduzir a ferredoxina pode ser fornecido através da fotofosforilação não cíclica ou pelo NADPH em presença da redutase de ferredoxina.

A uréia é outro composto amplamente usado, como fertilizante nitrogenado. Ao que tudo indica, há duas maneiras de utilização da uréia pelas plantas (REINBOTHE e MOTHE, 1962). Em uma delas, a uréia é hidrolisada pela urease, enzima largamente distribuída no reino vegetal. Neste caso, a uréia é decomposta em uma molécula de CO₂ e duas de amônio. Esta pode ser a via mais comum para as plantas utilizarem a uréia. Em algumas plantas, porém, a urease não tem sido detectada, isto é, aparentemente elas não possuem urease, significando que a uréia é rapidamente utilizada de alguma outra maneira até hoje desconhecida (provavelmente através do reverso do ciclo da uréia).

Nos anos recentes tem aparecido vários relatos

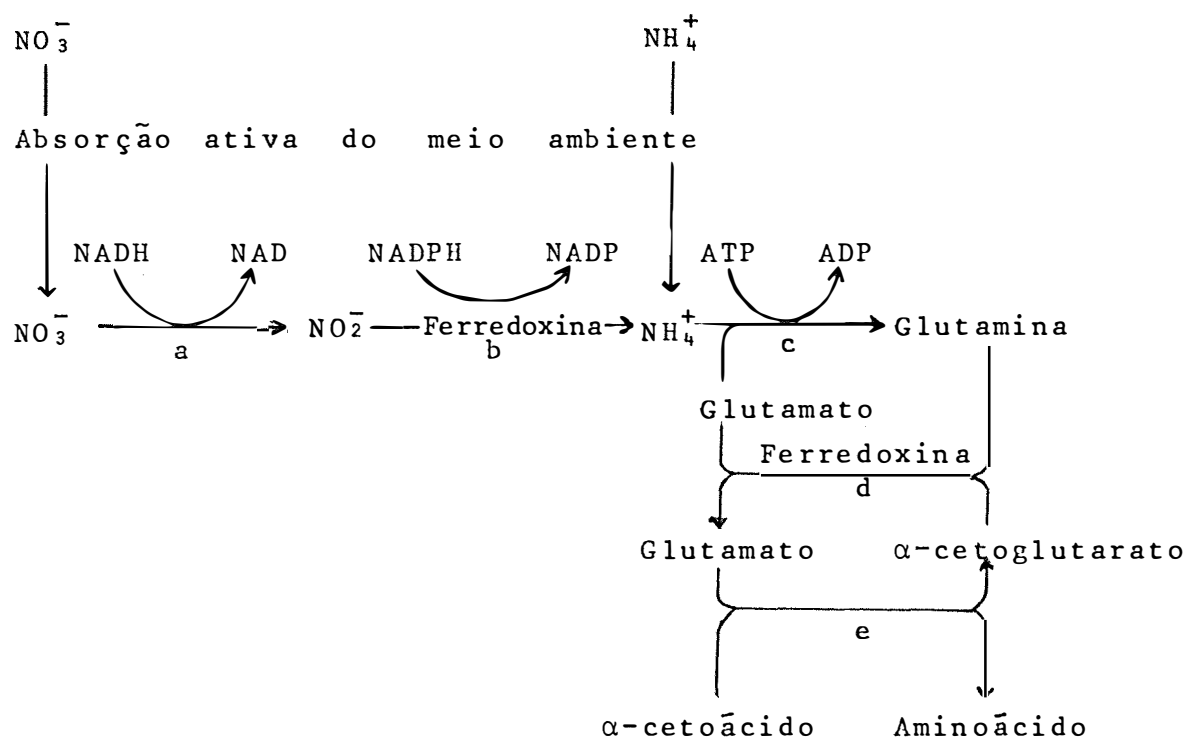


Figura 1 - Representação esquemática da assimilação do nitrogênio. Os sistemas enzimáticos são: a) Redutase de nitrato; b) Redutase de nitrito; c) Sintetase de glutamina (GS); d) sintase de glutamato (GOGAT); e) Transaminase.

FONTE: HAYNES e GOH (1978).

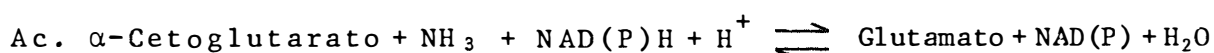
sobre a pequena e ainda adversa resposta a aplicação de uréia no solo. Segundo *COURT et alii* (1964a), as causas e mecanismos de fitotoxicidade da uréia, envolvem a própria uréia ou os produtos de sua transformação durante a produção industrial (biureto), ou os produtos de transformação no solo e nas plantas (cianato, carbamato, amônio e nitrito). Dentre eles, o amônio e o nitrito são considerados como sendo os principais responsáveis pelos efeitos observados quando a uréia empregada contém baixo teor de biureto (*COURT et alii*, 1964b).

Os trabalhos sobre o metabolismo do nitrogênio em plantas superiores tem revelado a participação dos intermediários do ciclo de Krebs, glicólise, e aminoácidos. Historicamente, as idéias sobre o metabolismo intermediário tem sido centradas no amônio e aminoácidos, particularmente os aminoácidos dicarboxílicos e suas amidas, como sendo as substâncias chave (*STEWART e POLLARD*, 1957).

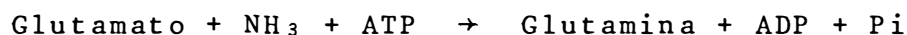
O amônio absorvido diretamente pelas plantas ou aquele resultante do nitrato, nitrito ou uréia, é incorporado em aminoácidos através de uma série de reações enzimáticas. Atualmente considera-se que há duas vias metabólicas através das quais o nitrogênio amoniacal é assimilado nas células dos organismos vivos (*CROCOMO*, 1979):

1) Via desidrogenase glutâmica (Via GDH); 2) Via sintetase de glutamina/sintase de glutamato (Via GS/GOGAT).

1) Via GDH - A desidrogenase glutâmica (GDH) catalisa a reação reversível de aminação redutiva do α -cetoglutaratato:



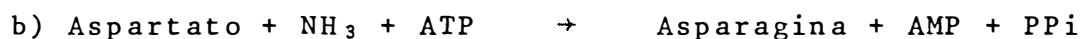
Por muitos anos, GDH foi considerada a principal via de assimilação do nitrogênio, sendo, entretanto, acompanhada da ação da enzima sintetase de glutamina (GS) que catalisa a formação de glutamina a partir do glutamato e amônio na presença de ATP:



2) Via GS/GOGAT - Num esquema proposto por *MI-FLIN e LEA (1976)*, o amônio é assimilado pelas plantas superiores através da operação combinada da sintetase de glutamina (GS) e de uma segunda enzima chamada sintase de glutamato ou GOGAT. Neste caso, o glutamato atua como primeiro receptor do nitrogênio amoniacal para produzir glutamina. Este sistema é um dos principais doadores do N-reduzido para a síntese de aminoácidos. Assim sendo, o N-amídico da glutamina pode ser transferido ao α -cetoglutarato para formar duas moléculas de glutamato através da catálise pela GOGAT. O glutamato, por sua vez, pode ser utilizado na síntese de outros aminoácidos por meio de reações de transaminação com alguns α -cetóácidos (Figura 1).

Além dessas duas vias, existe uma terceira chamada via da sintetase de asparagina (*GIVAN, 1979*). Essa enzima normalmente transfere o nitrogênio amídico da glutamina para o aspartato formando asparagina (a). No entanto, a sintetase de asparagina pode catalisar também a reação entre o amônio e o aspartato para formar asparagina (b), mas o K_m (NH_4^+) é muito maior do que o K_m (glutamina). A sintetase de asparagina pode chegar a ser uma enzima primária de assimilação em níveis elevados de amônio. A seguir, são resumidas as reações catalizadas por esta enzima:





Inúmeros pesquisadores tem demonstrado a estreita relação que existe entre o metabolismo dos carboidratos e a assimilação de nitrogênio em plantas (GIVAN, 1979). Assim, a assimilação de nitrato leva frequentemente a um aumento da atividade respiratória e a uma mudança no fluxo de carbono entre a glicólise e o ciclo das pentoses (JESSUP e FOWLER, 1976, 1977). A nutrição excessiva e contínua com sais de amônio, produz toxidez em plantas superiores. Um aspecto importante deste fenômeno é o bloqueio ou alteração dos processos de produção de energia. A assimilação de nitrogênio requer uma grande demanda de esqueletos carbônicos para a desintoxicação dos íons amônio. A nutrição com amônio diminui as reservas de carboidrato e posteriormente influencia a produção de energia através da interferência na produção de ATP derivado da fotossíntese ou da fosforilação oxidativa (KROGMANN *et alii*, 1959; VINES e WEDDING, 1960; RABINDRANATH *et alii*, 1972). Por outro lado, o NH_4^+ afeta de diversas maneiras a atividade do ciclo dos ácidos tricarbônicos e da via das pentoses (BECCARI *et alii*, 1969). O amônio atua direta ou indiretamente na síntese ou degradação de proteínas (BARKER, 1968). A presença de amônio geralmente conduz a uma elevação dos teores de amônio livre, amidas e aminoácidos básicos, e pode produzir um incremento dos açúcares solúveis e um decréscimo do amido e outros polissacarídeos. O nitrato promove um aumento dos ácidos orgânicos (HAYNES e GOH, 1978).

Diversas pesquisas tem mostrado que a forma e quantidade do nitrogênio aplicado à planta exercem vários efeitos sobre o seu crescimento e composição química (ARNON, 1959; WEISSMAN, 1959; BENNETT *et alii*, 1964; NIELSEN e CUNNINGHAM, 1964; MacLEOD e CARSON, 1965; KIRBY e MENGEL, 1967), sobre a

atividade enzimática (BAYLEY, 1972; WEISSMAN, 1972), ou na absorção de nutrientes e sua translocação (BLAIR *et alii*, 1970; ANDERSEN e JACKSON, 1972; HANSEN, 1972).

Quanto a cana-de-açúcar, gramínea intensivamente cultivada, quase não existe informação sobre os efeitos que ocasionam as diferentes formas nitrogenadas sobre sua composição química. Os estudos referem-se principalmente ao efeito da adubação nitrogenada sobre a produção de cana-de-açúcar no campo e sobre os teores de sacarose (LÓPEZ-DOMINGUEZ, 1923; DAS, 1936; MÉNDEZ e CHARDON, 1940; BORDEN, 1948; SAMUELS, 1956). Sem dúvida, esta planta não é uma exceção quanto aos efeitos observados em outros vegetais submetidos a tratamentos com formas nitrogenadas diferentes, e naturalmente, esses efeitos vão-se refletir na composição química da mesma. No presente trabalho pretendeu-se, portanto, estudar o efeito do amônio, nitrato e uréia sobre o crescimento da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva, e a sua influência sobre o conteúdo de carboidratos e compostos nitrogenados.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp)

Segundo *DAS (1936)*, a aplicação de adubos nitrogenados aumenta a produção de cana-de-açúcar até mais de 100%, mas a qualidade, expressa em termos de toneladas necessárias para produzir uma tonelada de açúcar, decresce aproximadamente 15%. A aplicação de nitrogênio sob a forma de sulfato de amônio em concentrações crescentes, promove o aumento do tamanho das folhas. O nitrogênio favorece a produção de cana, porém, em concentrações elevadas observa-se um efeito oposto. O fornecimento deste nutriente promove a suculência, isto é, a planta contém mais água por grama de material vegetal. O aumento de nitrogênio aplicado provoca um decréscimo na concentração de sacarose e na matéria seca. Observa-se também um incremento do teor de açúcares redutores paralelo ao aumento de nitrogênio fornecido. Uma adubação nitrogenada intensiva condiciona o aumento de nitrogênio solúvel. As folhas mostram uma sensível correlação entre o aumento de açúcares redutores e o incremento de nitrogênio total. Além disso, aplicações de nitrogênio consideradas como relativamente moderadas, permitem que se eleve o valor de matéria seca e sacarose. Resultados semelhantes são relatados por *BURR et alii (1957)*.

Trabalhos de campo relativos ao efeito da adubação nitrogenada sobre a produção de cana-de-açúcar, não tem apresentado diferenças significativas entre o nitrato de sódio, uramon, e sulfato, superfosfato e nitrato de amônio (LÓPEZ-DOMÍNGUEZ, 1923; MÉNDEZ e CHARDON, 1940).

BORDEN (1948) relata que o tratamento com adubos nitrogenados aplicados durante o período entre 6 e 11 meses, resulta em uma elevação do conteúdo de açúcares redutores e umidade, mas provoca uma diminuição no teor de sacarose.

Por outro lado, SAMUELS (1956), SAMUELS e LANDRAU (1952), e SAMUELS *et alii* (1952a,b), constataram uma elevação da produção de cana-de-açúcar e até mesmo um incremento na produção de sacarose devido à adubação nitrogenada. Diferentes formas de nitrogênio (nitrato e sulfato de amônio, cianamida e uramôn) não mostraram diferenças apreciáveis.

ALEXANDER (1964, 1965a,b), estudando o efeito do nitrato e outros nutrientes sobre as enzimas que participam da síntese e hidrólise do amido e da sacarose, obteve os seguintes resultados: o maior teor de sacarose foi observado nas folhas de plantas supridas com níveis decrescentes de nitrato; a proteína foliar aumentou progressivamente e não foi afetada pelos diferentes níveis de nitrato. A diminuição do nitrato provocou um decréscimo nas fosfatases, principalmente a de ATP e da fosfatase de glucose. A diminuição da atividade das fosfatases mostrou uma estreita relação com o aumento do teor de sacarose. As preparações enzimáticas exibiram uma marcada atividade de amilase, porem, essa enzima foi suprimida pelo decréscimo de nitrato.

Segundo GÓMEZ e SANCHEZ (1968), a resposta da cana-de-açúcar a diferentes formas nitrogenadas é notória no caso da uréia. A média de produção é maior quando se usa uréia do que com nitrato de amônio. Os aumentos de sacarose são maiores de acordo com os incrementos de nitrogênio aplicado.

O suprimento de K, N e P afetam a translocação de ^{14}C na cana-de-açúcar (HARTT, 1970). A deficiência de nitrogênio leva ao decréscimo da percentagem de nitrogênio e clorofila nas folhas, reduz a fixação de $^{14}\text{CO}_2$ e mesmo provoca mudanças na composição relativa dos produtos da fixação. Nas plantas deficientes em nitrogênio decresce a translocação dos compostos produzidos na fotossíntese.

3.2. Outras plantas

O crescimento do abacaxizeiro usando nitrogênio amoniacal ou nítrico foi avaliado por STEWART *et alii*, (1925). O teor de nitrogênio total foi maior nas plantas cultivadas em amônio, mas a matéria fresca e matéria seca total, bem como o peso e comprimento das folhas ou das raízes, foi maior em presença de nitrato.

TIEDJENES (1934), trabalhando com tomateiro, algodoeiro e macieira cultivados em areia, encontrou valores maiores de N-orgânico (total e solúvel), proteína, α -N-Amino, amidas e humina quando o nitrogênio era fornecido como amônio do que como nitrato. O crescimento em nitrato ou amônio foi dependente da concentração do sal na solução nutritiva

e também da disponibilidade de carboidratos no tecido vegetal. As plantas exigiram concentrações inferiores de amônio para conseguir um crescimento equivalente ao alcançado em nitrato. Plantas com alto teor de carboidrato disponível assimilaram amônio mais rapidamente do que as que continham valores comparativamente menores. Resultados semelhantes foram relatados por *CLARK (1936)* empregando tomateiro submetido à ação do nitrogênio nítrico e amoniacal. Além disso, ele constatou maior quantidade de glutamina e asparagina nas plantas crescidas em amônio do que em nitrato.

Os procedimentos experimentais usados para determinar a disponibilidade do nitrato ou do amônio para as plantas, envolvem frequentemente o uso de soluções nutritivas contendo uma ou outra forma. Para acompanhar mais de perto os efeitos sobre a composição do tecido é necessário cultivar as plantas em uma série de soluções de composição semelhante mas com uma quantidade igual de nitrato ou de amônio. Esse tipo de experimento foi conduzido em *Bryophyllum (PUCHER et alii, 1947)*. As plantas em solução nítrica apresentaram maior teor de ácidos orgânicos do que as cultivadas em amônio. Nas folhas, os sólidos orgânicos, água, N-total, N-orgânico solúvel, ácidos orgânicos (isocítrico, málico e cítrico), amido, fibra e carboidrato fermentável diminuí em quantidade absoluta ao aumentar o amônio na solução de cultura. Além disso, o nitrogênio proteico e a glutamina aumentaram até um valor máximo e depois decresceram. A asparagina diminuiu inicialmente e posteriormente aumentou.

Um estudo comparativo entre a uréia e outras fontes nitrogenadas foi desenvolvido por *WALLACE e ASHCROFT (1956)*. Em feijoeiro e limoeiro houve indicações de que a uréia influenciava o balanço de nutrientes. O efeito, entretan

to, foi diferente em ambas as plantas. Por exemplo, em alguns casos deu resultados semelhantes aos do nitrato, mas em outros foi similar aos do amônio. Os teores de matéria seca e nitrogênio total das plantas cultivadas em uréia foram semelhantes aos obtidos com nitrato ou com nitrato de amônio. O nitrogênio total foi sempre maior nas raízes, caules e folhas das plantas nutridas com amônio, enquanto que a matéria seca foi maior nas plantas mantidas em uréia, nitrato, ou nitrato de amônio.

A influência do amônio e nitrato sobre o conteúdo de proteína e aminoácidos em plantas de trigo foi abordada por *WEISSMAN (1959)*. O N-total foi maior nas plantas supridas com amônio do que em presença de nitrato ou nitrato de amônio. A máxima síntese protéica ocorreu em plântulas de 24 horas de idade mantidas por 72 horas em uma mistura de nitrato e amônio. A composição de aminoácidos proteicos das plântulas em amônio foi semelhante à de plântulas crescidas em ausência de nitrogênio, enquanto que as cultivadas em nitrato continham maior teor de arginina e menor de lisina. A quantidade de arginina e glutamina foi superior em presença de amônio do que em nitrato.

O uso da uréia como fertilizante foi testado por *LOW e PIPER (1961)* em azevem ("Italian Ryegrass"). O rendimento de matéria seca por vaso foi semelhante com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 e uréia a uma dose de 104,2 lb N/acre.

Já *NIELSEN e CUNNINGHAM (1964)* trabalhando com a mesma planta submetida a doses crescentes de NH_4^+ e NO_3^- (0 - 500 ppm), constataram um crescimento máximo da parte aérea a 19,5°C quando a concentração de N- NO_3^- foi de 100 ppm ou quando a de N- NH_4^+ foi de 200 ppm. A forma de N influenciou a

composição da planta, pois o aumento de NO_3^- provocou decréscimo da concentração de P, Cl e S, e o NH_4^+ levou a diminuição do Ca endógeno. Os valores de matéria seca das raízes foi similar em ambas as fontes. A percentagem de N foi maior em presença de NO_3^- do que em NH_4^+ .

Em experimentos com folhas de feijoeiro, *BARKER et alii* (1965) demonstraram um maior consumo de O_2 em amônio do que em nitrato, e a mesma taxa de evolução de CO_2 para ambos. Os principais produtos de assimilação do $^{15}\text{NO}_3^-$ foram aminoácidos solúveis, e para $^{15}\text{NH}_4^+$ foram amidas.

O valor relativo do amônio e nitrato como fontes de nitrogênio para *Pinus radiata* e *Picea glauca* foi testado por *McFEE e STONE* (1968). Experimentos de 3 semanas a 6 meses foram conduzidos em solo, solução nutritiva e em resinas de troca iônica. As duas espécies mostraram maior crescimento em amônio do que em nitrato.

A absorção e assimilação de NO_3^- e NH_4^+ em milho foram estudadas por *IVANKO e INGVERSEN* (1971), *INGVERSEN e IVANKO* (1971). As raízes de plantas privadas de nitrogênio, quando supridas com NH_4^+ ou NO_3^- , exibem uma intensa atividade de absorção, sendo que o maior valor foi conseguido com o nitrato. O N- NO_3^- foi incorporado preferencialmente no α -ceto glutarato e, então, foi transferido para outros cetoácidos através de transaminação. A assimilação do amônio levou à síntese de arginina, glutamina e asparagina.

Segundo *MOORE e KERAITIS* (1971), as espécies de eucalipto apresentam uma exigência particular de nitrogênio. Por exemplo, *E. melliodora*, *E. blakely*, *E. albens* e *E. goniocalyx* mostraram um crescimento máximo quando o amônio

nao ultrapassou a metade do N total fornecido. Por sua vez, *E. rossii*, *E. polyanthemos* e *E. sideroxylon*, exibiram uma excelente resposta com amônio como fonte única. Por último, *E. agglomerata* e *E. macrorhyncha*, geralmente responderam melhor quando a relação de nitrogênio total aplicado foi 1:1.

A variação na resposta ao amônio e nitrato em coníferas também foi observada por *van den DRIESSE* (1971).

OJI e IZAWA (1972) analisaram as mudanças quantitativas de aminoácidos livres e amidas em plantas de cevada suplementadas com amônio ou nitrato. Em raízes supridas com amônio, verificou-se uma rápida síntese primária e conversão de glutamina e glutamato, sendo a primeira o principal metabólito na assimilação. Após a transferência para um meio sem nitrogênio, a glutamina foi rapidamente convertida em glutamato que em seguida sofreu transaminação em aspartato e alanina. Já em plantas mantidas em nitrato, a maior parte do NO_3^- foi transportada para a parte aérea onde foi assimilado como glutamato e aspartato. Nas raízes, a glutamina aumentou continuamente sugerindo que foi este composto o produto primário na assimilação do nitrato.

Em pepino, o amônio induz um aumento nos valores de matéria fresca e uma diminuição nos níveis de clorofila e nitrogênio proteico (*RABINDRANATH et alii*, 1972).

A taxa de crescimento e o conteúdo de água de plântulas de *Pinus silvestris* L. nutridas com uréia foi comparada com nitrato e amônio (*CHRISTERSSON*, 1972). O crescimento das plântulas em amônio, uréia e nitrato foi aproximadamente 90, 75 e 60%, respectivamente do valor obtido em uma mistura de amônio + nitrato. Em uréia, as plântulas apresentaram clo

rõse severa, e as raízes mais velhas mostraram coloração escura. Além disso, o sistema radicular era muito frágil. As plântulas em uréia continham os maiores valores de nitrogênio total, seguidas pelas plantas suplementadas com amônio ou amônio + nitrato. O menor valor foi constatado em presença de nitrato.

YONEMA e KUMAZAWA (1974) estudaram a assimilação de $^{15}\text{NH}_4^+$ em arroz. A análise cinética de assimilação do amônio pelas raízes revelou a glutamina e o glutamato como sendo os principais produtos. Provavelmente o aspartato e alanina receberam o nitrogênio amínico diretamente do amônio livre nas raízes. Através de reações de transaminação, os grupos amino foram doados para outros aminoácidos a partir dos produtos primários de assimilação, especialmente do glutamato. *YONEMA e KUMAZAWA (1975)* publicaram também um trabalho sobre a assimilação de $^{15}\text{NO}_3^-$ em arroz. Nesse caso, o nitrato foi rapidamente reduzido em amônio nas raízes, onde foi incorporado na glutamina e o glutamato. O padrão de assimilação em aminoácidos e a incorporação em proteínas foi semelhante ao do amônio. Na parte aérea, a alanina, serina, glutamato, gama-aminobutirato e aspartato foram marcados intensamente com ^{15}N . Portanto, parece operar um mecanismo de assimilação diferente nos órgãos fotossintetizadores e não fotossintetizadores.

Quando plântulas de cevada foram colocados em um meio contendo nitrato, amônio ou uréia, seu conteúdo de proteína e glutamato aumentou durante as primeiras horas (*RICHTER e DIJKSHOORN, 1975*). Após um período de crescimento ativo, as plantas submetidas à ação do amônio e uréia mostraram um maior aumento em aspartato livre e em nitrogênio do que as plantas mantidas em nitrato. As diferentes formas nitrogenadas não exerceram qualquer efeito sobre a concentração e composição protéica e, ainda, foi de pouca importância na compo-

sição total de aminoácidos da planta.

Dependendo da concentração do meio e do tipo de planta, o nitrato é reduzido e incorporado em compostos orgânicos nas raízes ou na parte aérea. No tomateiro, o nitrato é predominantemente reduzido e incorporado na parte aérea. LORENZ (1976a,b) estudou as mudanças no teor de aminoácidos livres característicos da via do glutamato e do aspartato em tecidos do tomateiro. O incremento do amônio no meio resultou na produção e acumulação maciça de glutamina nas raízes e parte aérea. A asparagina acumulou-se em menor grau que a glutamina. O glutamato e a prolina decresceram com o aumento do amônio, enquanto que a concentração de aspartato e treonina foram menos afetadas.

BAUER *et alii* (1977) seguiram a incorporação do $^{15}\text{NO}_3^-$ em vários componentes de plântulas de ervilha. O ^{15}N apareceu rapidamente na forma de amônio devido à redução do NO_3^- nas folhas. A assimilação primária foi feita principalmente através do grupo amida da glutamina o qual foi marcado e transformado rapidamente. O glutamato e a alanina também foram marcados rapidamente. A asparagina (grupo amídico) marcou-se rapidamente e mostrou uma transformação considerável. Menor incorporação e recâmbio foram observados com o aspartato, gama-butilato e homosserina.

Uma boa revisão sobre a nutrição amoniacal e nítrica em plantas foi publicada por HAYNES e GOH (1978).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Cultivo das plantas

Toletes de aproximadamente 5 cm de comprimento obtidos a partir de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp cv. NA 56-79) de 1 ano de idade obtidas na estação Experimental do Instituto Agronômico de Campinas da região de Piracicaba, foram semeados em bandejas com vermiculita e mantidos em câmara de crescimento a 28°C e fotoperíodo de 12 horas. A irrigação foi feita cada 3 dias com água destilada. Após um período de crescimento de 18 dias, as plantas, distribuídas ao acaso, foram divididas em 4 grupos de 56 e então colocadas em bandejas com 6 l de solução nutritiva a pH 6,0 contendo seja nitrato, amônio, uréia ou em solução sem nitrogênio (controle). A composição química de cada solução (*SARRUGE, 1975*) está resumida na Tabela 1. O experimento foi conduzido durante 7 semanas em câmara de crescimento como anteriormente. Semanalmente foram renovadas as soluções nutritivas dos quatro grupos. Semanalmente foram colhidas 8 plantas dos diferentes tratamentos, dividindo-se em raízes e parte aérea (caule + folhas). Cada uma das partes foi colocada em saquinhos de papel e pesadas para se obter a matéria fresca. A seguir, foram levadas pa-

ra a estufa a 65°C e secas até peso constante para determinar a matéria seca.

Tabela 1 - Composição das soluções nutritivas utilizadas.

SOLUÇÃO ESTOQUE		Sol.1 (NO ₃ ⁻)	Sol.2 (Urêia)	Sol.3 (NH ₄ ⁺)	Sol.4 (sem N)
(ml/l)					
KH ₂ PO ₄	1 M	1	1	1	1
KNO ₃	1 M	5	-	-	-
Ca(NO ₃) ₂	1 M	5	-	-	-
MgSO ₄	1 M	2	2	2	2
KCl	1 M	-	5	5	5
CaCl ₂	1 M	-	5	5	5
Urêia	1 M	-	7,5	-	-
NH ₄ Cl	1 M	-	-	15	-
Micronutrientes*		1	1	1	1
Fe-EDTA**		1	1	1	1

A concentração de cada forma nitrogenada é 15 mM.

*A solução de micronutrientes contém 2,86 g de H₃BO₃; 1,81 g MnCl₂.4H₂O; 0,21 g ZnSO₄.7H₂O; 0,0742 g CuSO₄.5H₂O e 0,0179g H₂MoO₄ em um litro.

**A solução de Fe-EDTA contém 32,2 g de Na₂EDTA-2H₂O e 89,2 ml de NaOH 1 M por litro.

4.2. Análises

Todas as análises na raiz e parte aérea foram feitas com material seco, moído em almofariz em presença de nitrogênio líquido.

4.2.1. Nitrogênio total

4.2.1.1. Soluções utilizadas

a) Solução digestora: 1 g de selenito de sódio anidro; 21,39 g de Na_2SO_4 ; 4 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 200 ml de H_2SO_4 conc.; e 175 ml de água destilada.

b) NaOH 12 N

c) Solução de ácido bórico com indicador: 20 g de H_3BO_3 ; 15 ml de verde de Bromocresol a 0,1% e 5 ml de vermelho de metilo a 0,1% em etanol absoluto; completar a 1 l com água destilada.

d) H_2SO_4 0,1 N

4.2.1.2. Técnica

O nitrogênio total foi determinado pelo método de Kjeldahl. Amostras de 50 mg de material seco foram colocadas em balões Kjeldahl contendo 7 ml de solução digestora e

submetidas a digestão até se obter uma solução incolor. O amônio de cada solução foi separada por destilação em presença de NaOH 12 N. A amônia coletou-se em um Erlenmeyer contendo 10 ml da solução de ácido bórico com indicador. A seguir, titulou-se a amônia com H_2SO_4 0,1 N até o indicador da solução mudar de cor (de verde para marrom claro). A percentagem de nitrogênio foi calculada a partir do volume de H_2SO_4 0,1 N necessário para titular o NH_3 da amostra.

4.2.2. Nitrogênio solúvel em álcool

4.2.2.1. Extração

O nitrogênio solúvel em álcool foi extraído de amostras de 100 mg de material seco, com 4 ml de etanol a 80% em banho de água a $85^{\circ}C$ por 15 minutos. As suspensões, uma vez resfriadas, foram centrifugadas a 500 Xg durante 10 minutos. O sobrenadante foi coletado e o sedimento foi reextraído mais duas vezes com volumes de 3 ml de etanol a 80% na forma antes descrita. Os extratos de cada amostra foram juntados e completados até 10 ml com etanol a 80%. O material sólido que ficou depois da extração, foi posteriormente usado para extrair proteína.

4.2.2.2. Quantificação

4.2.2.2.1. Soluções utilizadas

a) *Reagente de ninhidrina*: 200 mg de ninhidrina; 15 ml de etileno monometil eter; 5 ml de tampão de acetato

4 M pH 5,5; e 0,5 ml de KCN 0,01 M.

b) Etanol a 50%.

4.2.2.2.2. Técnica

O N-solúvel foi determinado pelo método descrito por *KABAT e MAYER (1967)*. Aliquotas de 0,2 ml do extrato alcoólico foram colocadas em tubos de ensaio. A seguir, adicionou-se 0,4 ml de reagente de ninhidrina. Os tubos foram incubados em banho de água a 85°C por 5 minutos. Após o resfriamento, acrescentou-se 2 ml de etanol a 50%. Logo após, fez-se a leitura a 570 nm em um espectrofotômetro, usando como testemunha uma preparação onde se substituiu o volume de extrato por água destilada e procedendo como no caso das amostras. A absorbância registrada foi comparada com os valores de uma curva padrão de nitrogênio preparada com glicina.

4.2.3. Amônio

4.2.3.1. Soluções utilizadas

a) Solução fenólica: 5 g de fenol e 25 mg de nitroprussiato de sódio em 500 ml de água destilada.

b) Solução alcalina de hipoclorito: 4,2 ml de Q-Boa e 2,5 g de NaOH em 500 ml de água destilada.

4.2.3.2. Técnica

O amônio foi determinado segundo *WEATHERBURN (1967)*. Alíquotas de 0,2 - 0,4 ml de extrato alcoólico (N-solúvel) foram colocadas em tubos de ensaio. Juntou-se 2,5 ml de solução fenólica com agitação. Em seguida, acrescentou-se 2,5 ml de solução alcalina de hipoclorito e agitou-se. Incubou-se a 37°C por 20 minutos. A leitura das soluções foi feita a 625 nm e comparada com uma curva padrão de sulfato de amônio.

4.2.4. Uréia

4.2.4.1. Soluções utilizadas

a) *Solução de urease*: 400 mg de urease comercial Merck em 100 ml de tampão de solução Na_2HPO_4 0,1M + 1% EDTA pH 6,5.

4.2.4.2. Técnica

A dosagem de uréia foi feita de acordo com o método indireto descrito por *KAPLAN (1969)*. A determinação foi feita em amostras de plantas cultivadas em presença de uréia. Alíquotas de 0,2 ml do extrato alcoólico (N-solúvel), foram incubadas com 0,2 ml de solução de urease por 30 min, a 37°C. Findo o período de incubação, fez-se a dosagem do amônio segundo *WEATHERBURN (1967)*. A quantidade de N-Uréia

foi calculada a partir da subtração do N-amônio nas amostras submetidas à hidrólise com urease menos o N-amônio presente antes do tratamento com a enzima.

4.2.5. Nitrato

4.2.5.1. Extração

Amostras de 100 mg de material seco das plantas cultivadas em presença de nitrato, foram extraídas com 10 ml de solução saturada de CaSO_4 em banho de água a 85°C por 2 horas. A suspensão foi filtrada e o filtrado foi submetido a análise.

4.2.5.2. Quantificação

4.2.5.2.1. Soluções utilizadas

a) *Solução tampão*: 1 g EDTA; 20 g de tetraborato; e 100 g de NH_4Cl em 1000 ml de água destilada e pH 8,6.

b) *Solução reveladora de nitrito*: 20 g de sulfanilamina; 100 ml de ácido ortofosfórico (80%); e 1 g de cloridrato de N-1, naftil etileno diamino em 1 l de água destilada.

c) *Solução saturada de CaSO_4* .

4.2.5.2.2. Técnica

O nitrato foi determinado pelo método descrito por *GINÉ-ROSIAS (1979)*. Os filtrados contendo nitrato foram injetados em um sistema de fluxo contínuo dotado de uma coluna de cádmio recoberta com CuSO_4 para reduzir o nitrato a nitrito. A solução carregadora das amostras foi a solução saturada de CaSO_4 . O nitrito fez-se reagir com solução reveladora em presença da solução tampão. A solução com a cor desenvolvida se fez passar através de um espectrofotômetro fixado a um comprimento de onda de 540 nm. A absorbância foi registrada automaticamente. A concentração de nitrato das amostras foi calculada por comparação da altura do pico registrado automaticamente no papel, com a altura do pico de amostras padrão de nitrato aplicadas no sistema de fluxo contínuo.

4.2.6. Proteína

4.2.6.1. Extração

A proteína foi extraída do sedimento que restou após a extração de nitrogênio solúvel em álcool (4.2.2.1.), utilizando-se 5 ml de NaOH 1 N e aquecimento em banho de água a 85°C , durante 15 minutos. Após o resfriamento, as suspensões foram centrifugadas a 500 Xg por 10 minutos. O sobrenadante foi coletado e, então, o processo de extração foi repetido mais uma vez. O líquido das duas extrações foi juntado e aferido a 10 ml com NaOH 1 N.

4.2.6.2. Quantificação

4.2.6.2.1. Soluções utilizadas

a) *Reagente cuproalcalino*: 50 ml de solução de Na_2CO_3 a 2% em NaOH 0,1 N; e 1 ml de solução de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ a 0,5% em tartarato de sódio a 1%.

b) *Reagente de Folin-Ciocalteu 1 N*.

4.2.6.2.2. Técnica

A dosagem de proteína foi feita pelo método de *LOWRY et alii (1951)*. Alíquotas de 0,2 ml de cada extrato diluído 5 vezes, foram colocadas em tubos de ensaio. O volume se ajustou a 0,4 ml com água destilada. A seguir, adicionou-se 2 ml de reagente cuproalcalino. Após um período de 10 minutos, foi acrescentado 0,2 ml de reagente de Folin-Ciocalteu 1N. A reação se deixou transcorrer por 30 minutos. Findo o processo, fez-se a leitura a 660 nm contra um branco preparado substituindo o volume de amostra por água destilada. A concentração de proteína foi calculada a partir da interpolação do valor de absorbância em uma curva padrão feita com albumina bovina.

4.2.7. Aminoácidos totais

4.2.7.1. Preparo das amostras

Amostras de material seco contendo entre 1,5 e

3,5 mg de proteína, foram hidrolizadas em 10 ml de HCl 6N a 110°C por 24 horas em ampolas a vacuo. Os hidrolisados foram passados por um filtro "Millipore", e o líquido obtido foi seco em evaporador rotatório a 50°C. O resíduo foi retomado em tampão de citrato de sódio 0,2 N pH 2,2 (o tampão contém também 5 ml de tiodiglicol concentrado + 0,1 ml de ácido caprílico por litro).

4.2.7.2. Análise

Alíquotas de 0,5 ml de cada amostra foram injetadas em um analisador de aminoácidos da Beckman mod. 120 C, equipado com uma coluna de resina P.A. 35 (23 X 0,9 cm) para aminoácidos básicos, e outra com resina A.A. 15 (69 X 0,9 cm) para os aminoácidos neutros e ácidos. A eluição dos aminoácidos da coluna P.A. 35 foi executada com tampão de citrato de sódio 0,35 N pH 5,25 a um fluxo de 70 ml/h, durante uma hora. Já para eluir os aminoácidos da coluna de A.A. 15, usou-se inicialmente um tampão de citrato de sódio 0,2 N pH 3,25 por 85 minutos e, posteriormente, uma solução do mesmo sal e da mesma concentração mas a pH 4,25, durante 110 minutos. O fluxo de ambas as soluções foi de 70 ml/h. Cada aminoácido eluído se fez reagir automaticamente com solução de ninhidrina a 55°C, e a cor desenvolvida foi registrada em papel na forma de picos. A concentração de cada aminoácido foi calculada por comparação da área dos picos correspondentes (determinada por triangulação) com as dos padrões aplicados no analisador.

4.2.8. Açúcares solúveis em álcool

4.2.8.1. Extração

A extração dos açúcares solúveis em álcool foi realizado segundo *SHANNON (1963)* com algumas modificações. Amostras de 100 mg de material seco foram extraídas com 8 ml de solução de metanol-clorofórmio-água (13:4:3) à temperatura ambiente por um período de 30 minutos com agitação frequente. Findo o tempo de extração, as suspensões foram centrifugadas a 5000 Xg por 10 minutos. A fração líquida foi coletada e o sedimento foi reextraído mais 3 vezes com volumes de 3 ml cada vez. Os diferentes líquidos de extração foram juntados e, então, concentrados em um evaporador rotatório a 45°C e a vácuo até aproximadamente 1 ml. O balão de evaporação foi lavado com 3 ml de água destilada e o líquido foi juntado ao resto da amostra. A seguir, as soluções contendo os açúcares foram lavados duas vezes com 2 ml de clorofórmio para extrair pigmentos. A fase aquosa, separada por centrifugação a 800 Xg por 5 minutos, foi coletada. O clorofórmio usado na lavagem foi reextraído duas vezes com 2 ml de água destilada. Tanto a fase aquosa coletada inicialmente como a água de lavagem do clorofórmio foram juntadas e completadas a 10 ml. O extrato obtido foi usado para dosagem de açúcares solúveis totais e açúcares redutores.

4.2.8.2. Quantificação de açúcares solúveis totais

4.2.8.2.1. Soluções utilizadas

- a) Solução de fenol a 5%.
- b) H_2SO_4 concentrado.

4.2.8.2.2. Técnica

Os açúcares solúveis totais foram dosados pelo método do fenol-sulfúrico descrito por *DUBOIS et alii (1956)*. Alíquotas de 0,1 ml do extrato de açúcares solúveis em álcool foram colocadas em tubos de ensaio e completadas a 0,5 ml com água destilada. Juntou-se 0,5 ml de solução de fenol a 5% com agitação e, a seguir, acrescentou-se 2,5 ml de H_2SO_4 concentrado, agitando. Após 20 minutos, as soluções foram lidas a 490 nm contra um branco preparado com água destilada e os outros reagentes. O valor de absorbância foi comparado com uma curva padrão de glucose.

4.2.8.3. Quantificação de açúcares redutores

4.2.8.3.1. Soluções utilizadas

a) *Reagente Somogyi*: 24 volumes de solução A (25 g de tartarato de sódio e potássio + 20 g de $NaHCO_3$ + 200g Na_2SO_4 em 1 l de água) e 1 volume de solução B (15 g de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ em 100 ml de água).

b) *Reagente de Nelson*: 25 g de molibdato de amônio; 21 ml de H_2SO_4 concentrado; e 3 g de $Na_2A_5O_4 \cdot 7H_2O$ em 500 ml de água destilada.

4.2.8.3.2. Técnica

A determinação de açúcares redutores foi feita segundo *NELSON (1944)*. O volume das alíquotas foi de 0,2 e 1 ml para os extratos da parte aérea e raízes respectivamente. As alíquotas de parte aérea ajustaram-se a 1 ml com água destilada. A seguir, foi juntado 1 ml de reagente de Somogyi, misturando bem. Os tubos contendo a mistura de reação foram tapados com bolas de vidro e colocados em banho de água a 85°C por 10 minutos. Logo após o resfriamento, adicionou-se 1 ml de reagente de Nelson. Depois de agitar as soluções, foi juntado 4 ml de água destilada a cada tubo. A leitura das soluções foi feita a 530 nm contra uma testemunha onde o volume de amostra foi substituído por água destilada. O valor de absorvância foi interpolado em uma curva padrão de glucose.

Todos os resultados das análises dos diferentes tratamentos foram comparados estatisticamente através de análise inteiramente casualizada com parcelas subdivididas.

5. RESULTADOS

5.1. Observações gerais

As plantas submetidas a tratamento com as diferentes formas nitrogenadas apresentaram diferenças quanto ao aspecto externo e desenvolvimento. Por exemplo, as raízes das plantas em uréia ou amônio apresentaram uma coloração marrom e mostraram menor crescimento que as de plantas em nitrato ou sem nitrogênio (controle). Por outro lado, a parte aérea das plantas em nitrato e uréia exibiram uma cor verde escura e, além disso, um bom crescimento. As folhas das plantas controle adquiriram uma coloração verde-amarelada no fim do ensaio. Nas plantas em amônio, a parte aérea mostrou coloração menos intensa do que em nitrato e uréia, mas mais intensa do que nas plantas controle. O crescimento da parte aérea das plantas em amônio foi notoriamente afetado, sendo que o desenvolvimento foi menor do que nas outras fontes nitrogenadas e do que nas plantas controle.

5.2. Matéria fresca

5.2.1. Raiz

Os resultados de matéria fresca são resumidos na Tabela 2 e ilustrados na Figura 2. A análise estatística indica que houve efeito significativo devido aos tratamentos. A matéria fresca das raízes foi maior em nitrato do que no controle, uréia ou amônio (colocados em ordem decrescente). No entanto, estatisticamente, nitrato = controle > uréia > amônio. Em nitrato, as raízes mostraram incremento de matéria fresca significativo a partir da 4.^a semana, enquanto que as do controle (sem N) só foi a partir da 5.^a semana. Já em uréia, só houve aumento significativo ao se comparar o valor da 3.^a semana com o da 4.^a em diante.

5.2.2. Parte aérea

A produção de matéria fresca observou a ordem seguinte: nitrato > uréia > controle > amônio (Tabela 2, Figura 2). Entretanto, estatisticamente, os resultados de matéria fresca em presença de nitrato e uréia foram iguais mas diferiram dos valores registrados no controle ou no tratamento com amônio. Também houve diferença significativa entre o controle e em amônio. Estes resultados podem ser assim resumidos: nitrato = uréia > controle > amônio. A parte aérea das plantas em nitrato mostrou aumento significativo de matéria fresca a partir da 4.^a semana, enquanto que em uréia o aumento ocorreu na 5.^a semana de tratamento. Já nas plantas em amônio houve um aumento discreto e não significativo. Nas plantas controle foi registrada uma elevação não significativa du

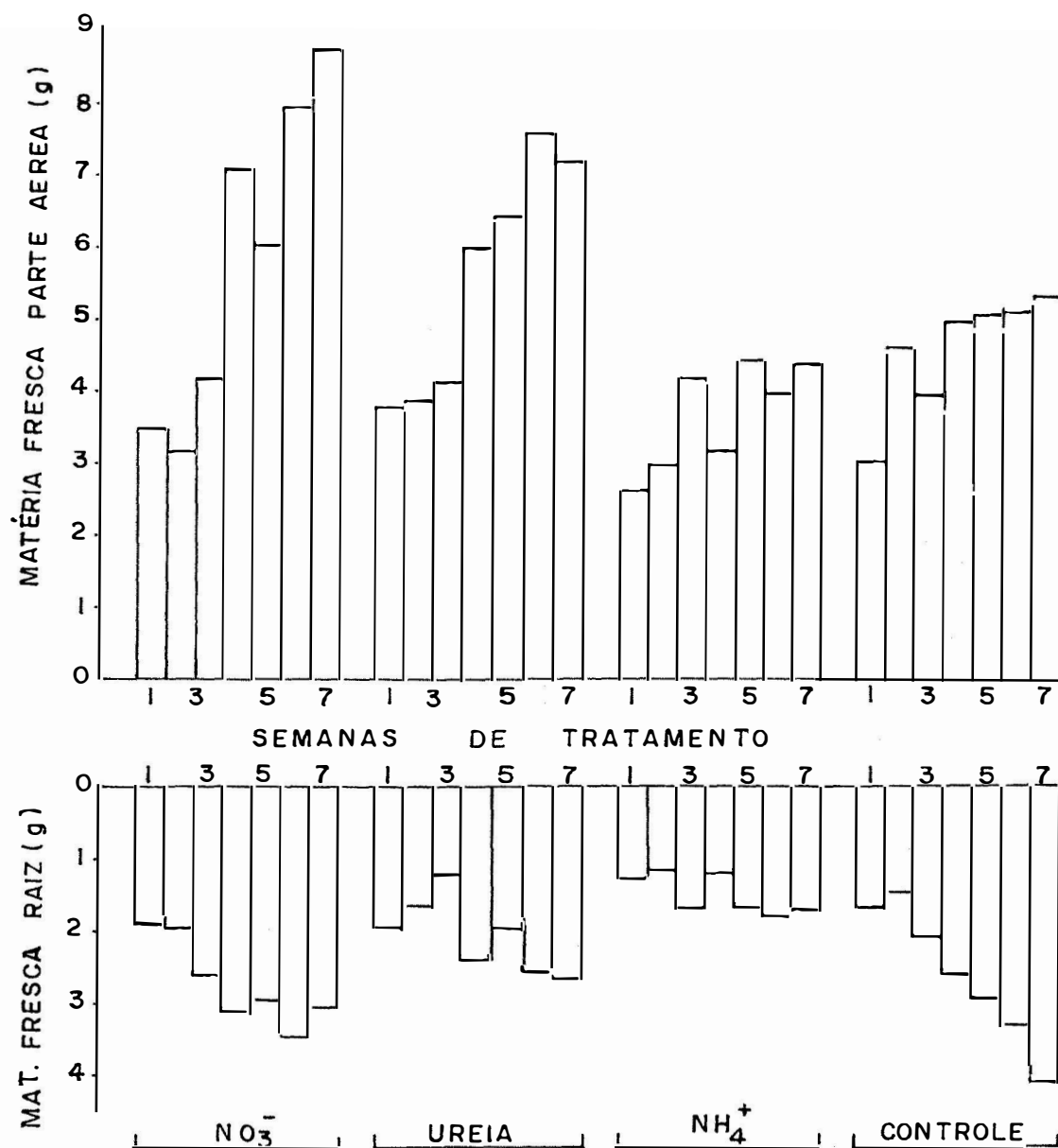


Figura 2 - Efeito do nitrato, uréia e amônio sobre a produção de matéria fresca na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

rante as primeiras 4 semanas mas depois os valores permaneceram quase constantes.

5.3. Matéria seca

5.3.1. Raiz

A matéria seca das raízes das plantas cultivadas nos diferentes tratamentos apresentaram diferenças entre si (Tabela 3, Figura 3). A maior produção de matéria seca foi constatada nas plantas cultivadas em solução sem nitrogênio e, em menor proporção, nos tratamentos com nitrato, uréia e amônio, respectivamente. Os valores de matéria seca das raízes das plantas controle não foram estatisticamente diferentes dos resultados em nitrato. Ao se comparar o tratamento com nitrato e uréia houve diferença estatística no teor de matéria seca. Por outro lado, não se observou diferença significativa entre o tratamento com uréia e amônio. Assim, os resultados podem ser representados como sendo: controle = NO_3^- > uréia = NH_4^+ . As raízes das plantas supridas com nitrato exibiram aumento de matéria seca durante as 7 semanas sendo que somente a partir da 6.^a semana o incremento foi significativo. As plantas controle também mostraram um incremento significativo a partir da 6.^a semana de tratamento. No caso das raízes de plantas cultivadas em uréia ou amônio, a produção de matéria seca foi irregular ao longo do tempo e não houve aumento estatisticamente significativo.

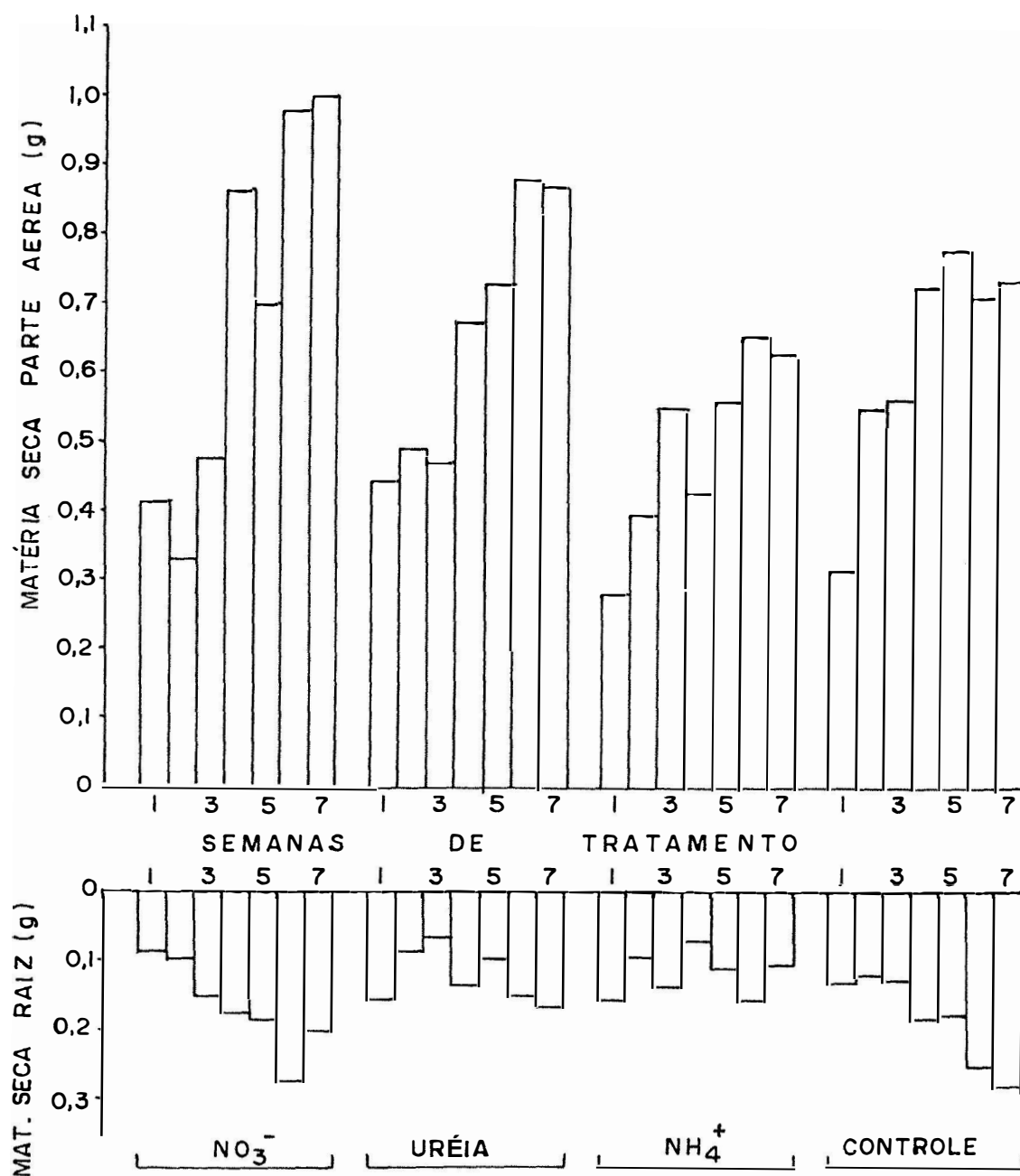


Figura 3 - Influência do nitrato, uréia e amônio sobre a produção de matéria seca na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

5.3.2. Parte aérea

Na Tabela 3 são resumidos os resultados de matéria seca da parte aérea e são ilustrados na Figura 3. Os teores de matéria seca em ordem decrescente foram: nitrato, uréia, controle e amônio. Entretanto, não houve diferença significativa entre os 3 primeiros, ficando restrita apenas para o tratamento com amônio. Portanto: $\text{NO}_3^- = \text{uréia} = \text{controle} > \text{NH}_4^+$. Em todos os casos houve aumento significativo dos valores de matéria seca, porém, em nitrato e no controle o incremento foi conseguido a partir da 4.^a semana, enquanto que em uréia e amônio foi só na 6.^a semana de tratamento. Cabe dizer que nas plantas controle, os valores de matéria seca se mantiveram mais ou menos constantes a partir da 4.^a semana, enquanto que nos outros tratamentos o aumento foi progressivo ao longo do tempo.

5.4. Nitrogênio total

5.4.1. Raiz

Os resultados de N-total constam da Tabela 4 e são ilustrados na figura 4. O teor de nitrogênio total registrado em ordem decrescente foi: amônio, uréia, nitrato e controle. Em todos os casos, os valores foram estatisticamente significativos entre si ($\text{NH}_4^+ > \text{uréia}$ $\text{N}_3^- > \text{controle}$). Os teores de nitrogênio total mostraram aumento significativo ao longo do tempo em todos os tratamentos sendo que em amônio e uréia se manifestou mais rápido (2.^a semana) do que no tratamento com nitrato ou o controle (3.^a e 5.^a semana, respectivamente).

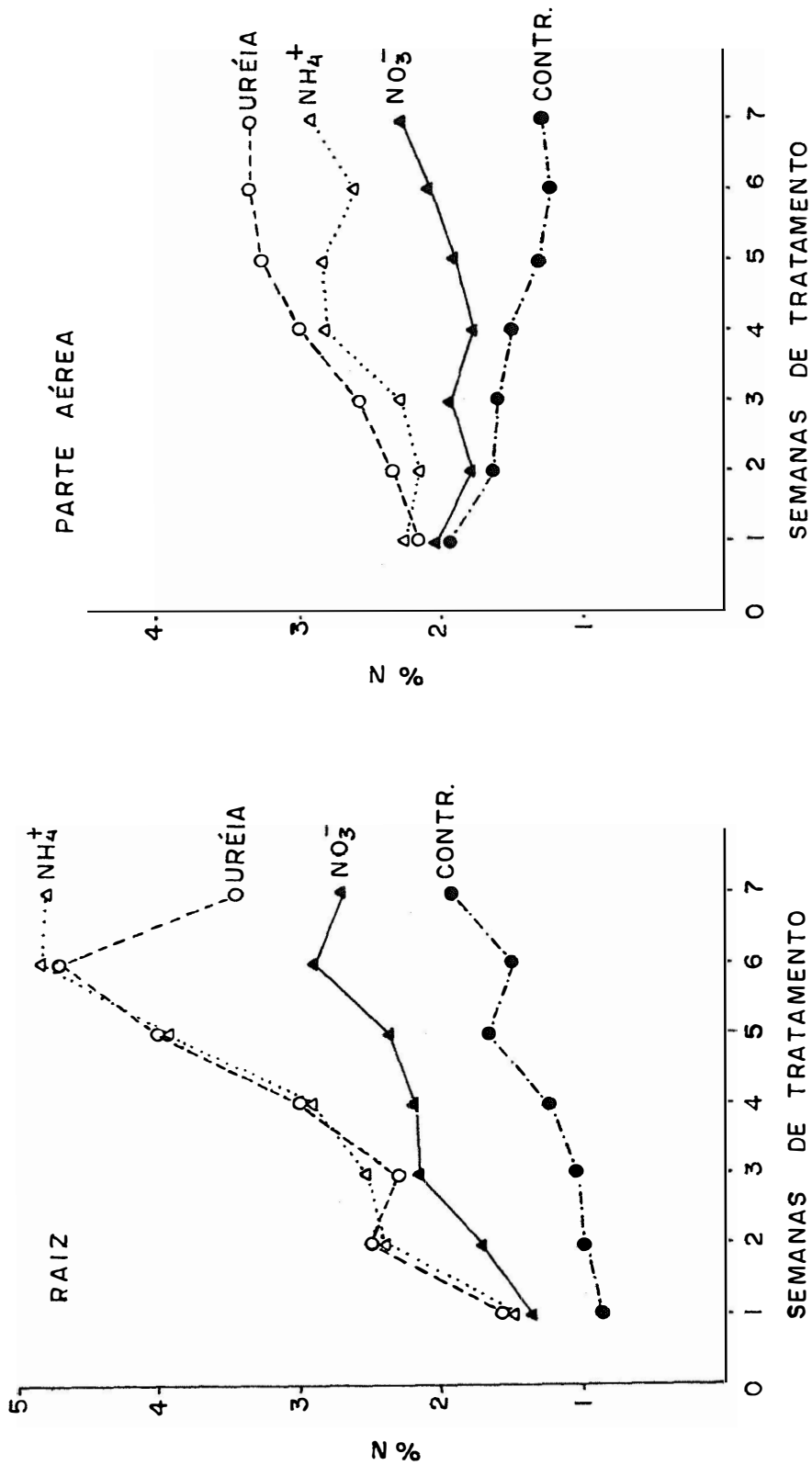


Figura 4 - Efeito do nitrato, uréia e amônio sobre o teor de N-total nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva.

5.4.2. Parte aérea

Na parte aérea o maior valor de nitrogênio total foi observado nas plantas cultivadas em uréia sendo que o resultado foi significativo quando comparado com as plantas em amônio, nitrato ou o controle (em ordem decrescente). Em todos os casos a diferença estatística foi significativa (Tabela 4, Figura 4). Em presença de uréia houve um incremento significativo no teor de N-total a partir da 4.^a semana, o mesmo acontecendo no tratamento com amônio. Nas plantas cultivadas com nitrato, o aumento significativo só foi conseguido na 7.^a semana de tratamento. Já nas plantas controle, ao contrário do que aconteceu nas raízes, a parte aérea mostrou um decréscimo gradual do teor de N-total mas não foi significativo. Em termos gerais, a percentagem de N-total foi maior nas raízes do que na parte aérea.

5.5. Nitrogênio solúvel em álcool

5.5.1. Raiz

O conteúdo de N-solúvel nas raízes foi dependente do tratamento testado. O maior teor de N-solúvel foi constatado nas plantas cultivadas em amônio e, em menor grau, em uréia, nitrato e no controle respectivamente (Tabela 5, Figura 5). As diferenças registradas foram estatisticamente significativas para todos os tratamentos. As raízes das plantas mantidas em uréia e amônio apresentaram um aumento significativo ao longo do tempo (a partir da 3.^a e 4.^a semanas, respectivamente). Em nitrato, os teores de N-solúvel foram irre

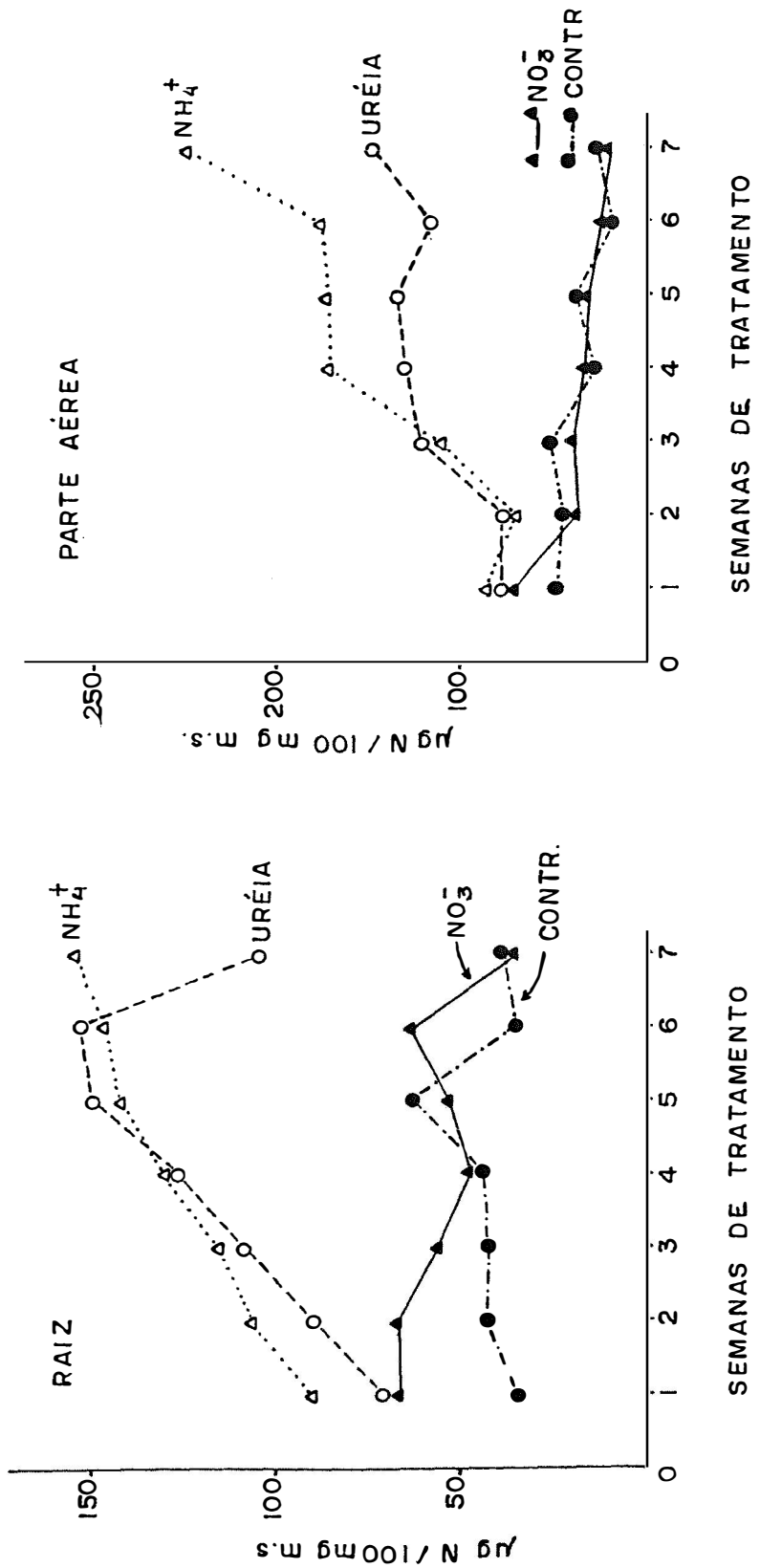


Figura 5 - Influência de nitrato, uréia e amônio, sobre o conteúdo de N-solúvel nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

gulares com tendência a diminuir sendo que o decréscimo só foi significativo na 7.^a semana. Nas plantas controle o teor de N-solúvel aumentou discretamente durante as primeiras 5 semanas, mas depois diminuiu até os valores iniciais. As mudanças no controle não foram significativas.

5.5.2. Parte aérea

Os resultados de N-solúvel na parte aérea são mostrados na Tabela 5 e ilustrados na Figura 5. As plantas supridas com amônio mostraram o maior conteúdo de N-solúvel o qual foi estatisticamente diferente do teor registrado nas plantas cultivadas com uréia, no controle ou em nitrato (em ordem decrescente). As plantas em uréia apresentaram um teor significativo de N-solúvel quando comparadas com as plantas controle ou as mantidas em nitrato. Nestes dois últimos tratamentos a diferença não foi significativa. Portanto: $\text{NH}_4^+ > \text{uréia} > \text{controle} = \text{NO}_3^-$. Tanto em amônio como em uréia houve incremento gradativo do N-solúvel ao longo do tempo sendo que o aumento significativo foi atingido na 4.^a semana de tratamento. Por outro lado, em nitrato ou nas plantas controle, registrou-se um decréscimo não significativo durante o ensaio.

5.6. Amônio livre

5.6.1. Raiz

Os resultados (Tabela 6 e Figura 6) mostram um teor muito maior de NH_4^+ livre nas raízes das plantas tratadas

com amônio do que em uréia, nitrato e no controle respectivamente. Em uréia, apesar de que o conteúdo de NH_4^+ foi estatisticamente inferior ao registrado em presença de amônio, o teor foi notoriamente superior ao constatado em nitrato ou no controle. Por outro lado, nas raízes de plantas cultivadas com nitrato, o teor de NH_4^+ livre foi muito pequeno e comparativamente igual ao das plantas controle. Observou-se uma elevação significativa do conteúdo de NH_4^+ livre ao longo do ensaio em presença de amônio e uréia, porém não em nitrato ou no controle. Maiores e mais rápidos aumentos do teor de NH_4^+ livre foram obtidos em amônio (incremento significativo a partir da 2.^a semana) do que em uréia (6.^a semana). Nas plantas controle e nas cultivadas com nitrato, o teor de NH_4^+ livre permaneceu quase constante durante o ensaio. No tratamento com amônio, o valor de NH_4^+ livre tendeu a se manter mais ao menos constante a partir da 4.^a semana.

5.6.2. Parte aérea

A maior quantidade de NH_4^+ livre foi detectada na parte aérea das plantas cultivadas em presença de amônio seguida em ordem decrescente pelas plantas em uréia, controle e nitrato (Tabela 6 e Figura 6). A diferença entre o tratamento com amônio e uréia foi significativa bem como entre as plantas em uréia e as controle ou em nitrato. Entretanto, não foram observadas diferenças entre estes dois últimos. Quanto ao efeito do tempo sobre o conteúdo de NH_4^+ livre, apenas no tratamento com amônio foi detectado aumento significativo a partir das 4.^a semana. O tratamento com uréia, se bem que não foi significativo, levou a um aumento do NH_4^+ livre ao longo do tempo, enquanto que em nitrato e no controle os teores se mantiveram em níveis baixos e quase constantes.

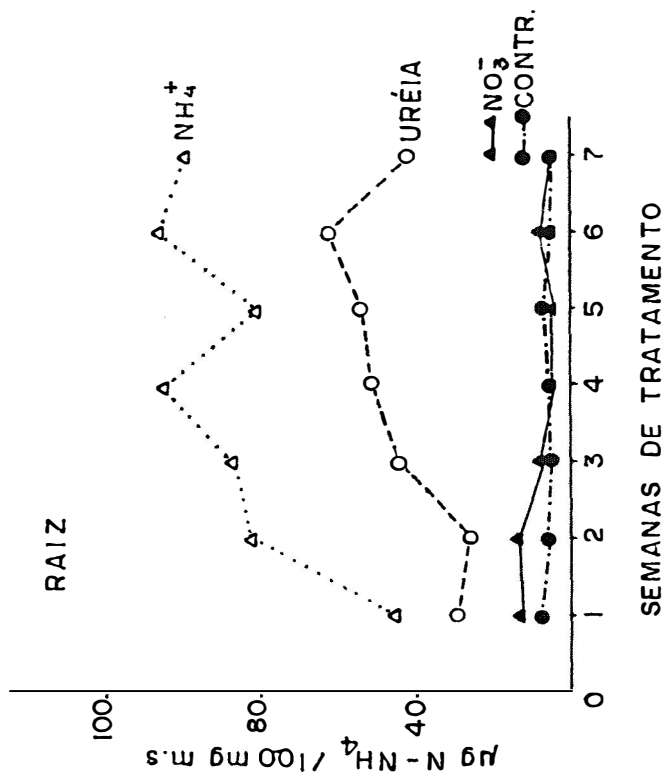
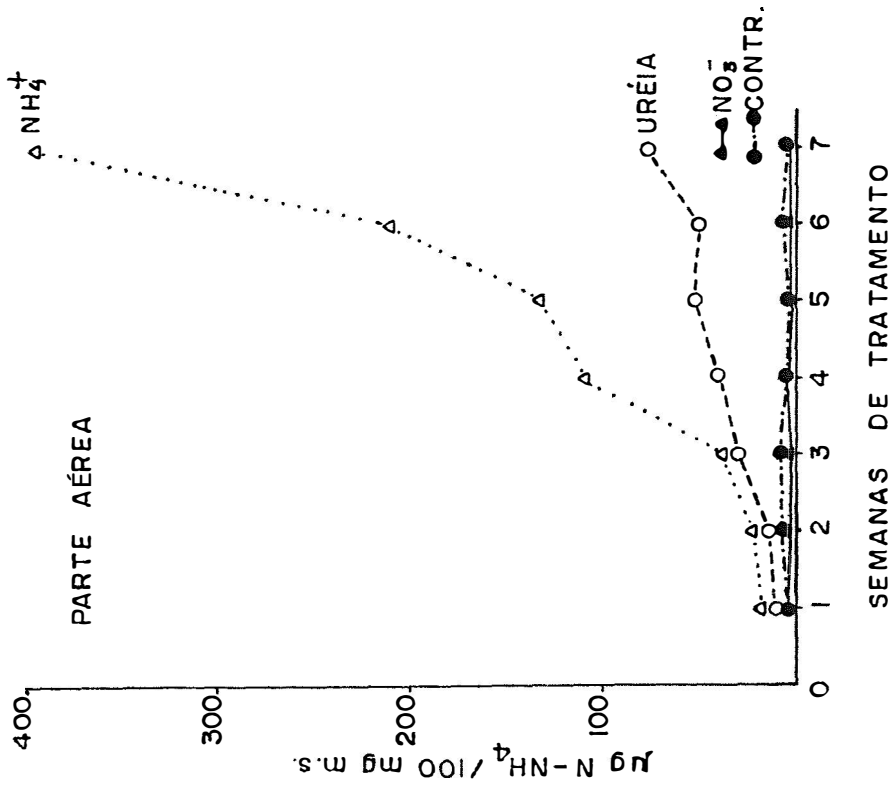


Figura 6 - Teor de NH_4^+ livre nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva contendo nitrato, uréia ou amônio como fontes de nitrogênio.

5.7. Uréia

5.7.1. Raiz

A raiz das plantas cultivadas em uréia não mostraram a presença desse composto nitrogenado, pois os valores de NH_4^+ após o tratamento com urease foram praticamente os mesmos registrados antes dele, como pode ser visto na Tabela 7.

5.7.2. Parte aérea

Na parte aérea os resultados foram semelhantes aos observados na raiz, isto é, quantidades de uréia não detectadas pelo método usado (Tabela 7).

5.8. Nitrato

5.8.1. Raiz

O conteúdo de NO_3^- nas plantas cultivadas com nitrato exibiu certa irregularidade durante o ensaio pois houve uma diminuição inicial até a 4.^a semana e depois aumentou discretamente (Tabela 8, Figura 7). No entanto, os valores de NO_3^- oscilaram entre uma faixa de aproximadamente 80 - 120 $\mu\text{g N-NO}_3/100 \text{ m.s.}$

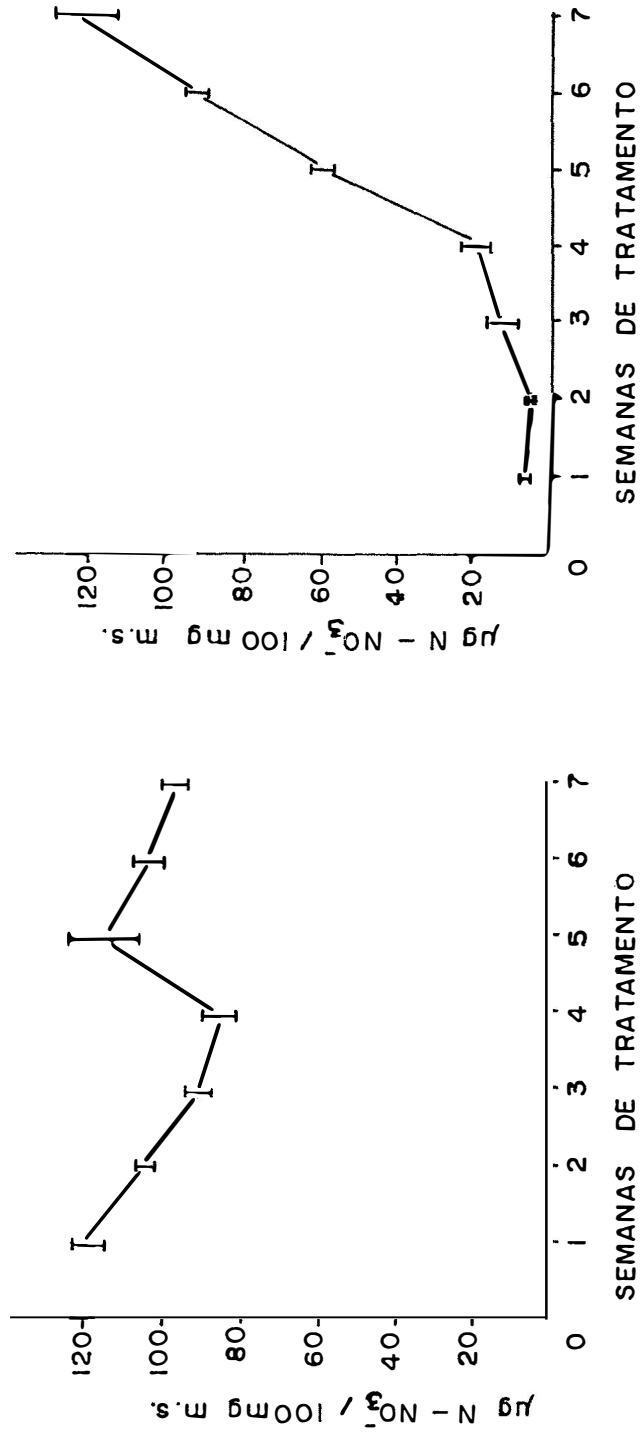


Figura 7 - Teor de NO_3^- nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva contendo nitrato.

5.8.2. Parte aérea

Em geral, os teores de nitrato na parte aérea foram pequenos durante as 3 primeiras semanas mas a partir da 4.^a semana foi observada uma elevação acentuada (Tabela 8, Figura 7).

5.9. Proteína

5.9.1. Raiz

O teor mais alto de proteína foi detectado nas raízes de plantas mantidas em uréia seguidas pelas tratadas com amônio, controle e nitrato (Tabela 9, Figura 8). Cabe dizer que somente houve diferença significativa ao comparar os resultados obtidos em uréia com aqueles do controle e os do nitrato. Além disso, não se apresentou diferença estatística entre os valores observados em presença de uréia e o amônio. Por outro lado, houve diferença significativa entre o tratamento com amônio e nitrato mas não entre o amônio e o controle ou mesmo entre o controle e o nitrato. Portanto, os resultados podem ser resumidos como: uréia = amônio > nitrato; uréia > controle; amônio = controle; controle = nitrato.

Quanto ao teor de proteína ao longo do tempo, observa-se um aumento progressivo em todos os tratamentos. Em uréia foi conseguido um aumento significativo a partir da 2.^a semana, enquanto que em amônio e no controle só foi atingido na 4.^a semana, e em nitrato na 7.^a semana de tratamento. No entanto, em uréia os resultados mostraram certa irregularidade, pois houve diferença estatística entre os valores de

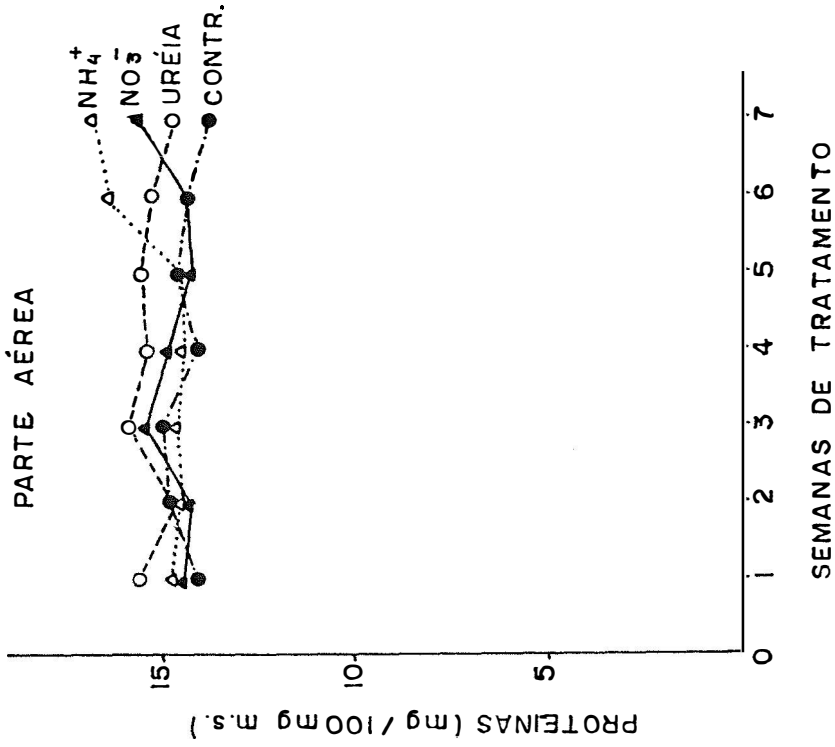
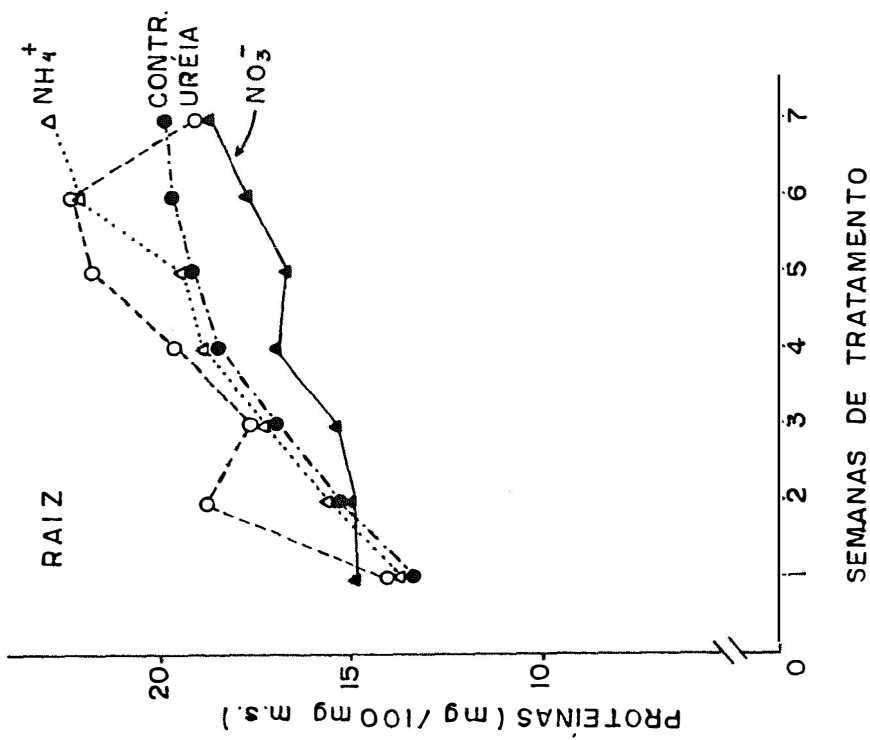


Figura 8 - Efeito do nitrato, uréia e amônio sobre o conteúdo de proteína nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva.

proteína registrados na primeira e segunda semanas não entre a primeira e a terceira. A diferença estatística foi restabelecida na quarta semana como no caso das plantas em amônio.

5.9.2. Parte aérea

O conteúdo de proteína na parte aérea foi maior no tratamento com amônio e em menor proporção nas plantas cultivadas com uréia, nitrato e nas plantas controle (Tabela 9, Figura 8). Entretanto, estatisticamente não houve diferença entre os resultados obtidos com as 3 fontes nitrogenadas. Tanto as plantas em amônio como em uréia mostraram um teor significativo de proteína com respeito às plantas controle. Não foi observada diferença significativa no tratamento com nitrato e o controle.

À diferença das raízes, o teor de proteína na parte aérea se manteve mais ou menos constante durante o ensaio no tratamento com uréia, nitrato e no controle. Nas plantas em amônio, o conteúdo de proteína foi praticamente o mesmo nas primeiras 5 semanas, mas na 6.^a semana houve um pequeno aumento que continuou na 7.^a semana atingindo então uma diferença significativa quando comparado com o valor da 2.^a semana.

5.10. Aminoácidos totais

5.10.1. Raiz

Os teores de aminoácidos totais nas raízes das

plantas submetidas aos diversos tratamentos são mostradas nas Tabelas 10, 11, 12 e 13. Os aminoácidos predominantes em todos os tratamentos foram o ácido aspártico, ácido glutâmico, glicina, alanina e leucina. Outros aminoácidos detectados em menor proporção foram a treonina, valina, serina, prolina, isoleucina, lisina e fenilalanina. Em quantidade ainda inferior foram detectados a arginina, tirosina, histidina e metionina.

O teor de ácido aspártico foi maior em uréia e amônio do que em nitrato e no controle, mas essa diferença foi pequena. O conteúdo de ácido glutâmico foi praticamente igual em todos os tratamentos. As plantas em uréia apresentaram teores levemente superiores de glicina, alanina e arginina. O teor de amônio foi discretamente maior nas plantas mantidas em uréia ou amônio.

Em geral, o teor de ácido aspártico nos tratamentos com nitrato, uréia e amônio foi maior na primeira semana do que nas restantes. A arginina aumentou no tratamento com uréia durante as primeiras 4 semanas e depois permaneceu quase constante. Em presença de nitrato também houve um aumento discreto da arginina durante as primeiras 3 semanas.

5.10.2. Parte aérea

As plantas cultivadas em presença de uréia ou do amônio exibiram uma nítida diferença no conteúdo de ácido aspártico e do amônio quando comparadas com as plantas mantidas em nitrato ou com as plantas controle (Tabelas 14, 15, 16, 17). O teor de ácido aspártico foi maior em presença de uréia do que em amônio, sobretudo nas primeiras duas semanas. O teor

deste aminoácido nas plantas em nitrato foi também maior do que nas plantas controle. O conteúdo de ácido glutâmico não mostrou diferenças marcadas devidas aos diferentes tratamentos. Em nitrato, os níveis de arginina, glicina, alanina, isoleucina, leucina e fenilalanina foram discretamente maiores do que nas outras condições, principalmente nas duas primeiras semanas. Houve também aumentos esporádicos da prolina em presença de nitrato. Por outro lado, o conteúdo de metionina foi menor nesta fonte nitrogenada. O ácido aspártico mostrou tendência a diminuir nas duas primeiras semanas no tratamento com nitrato, uréia e no controle, enquanto que em amônio permaneceu mais ou menos constante ao longo do ensaio.

5.11. Açúcares solúveis totais

5.11.1. Raiz

Os teores de açúcares solúveis totais são resumidos na Tabela 18 e ilustrados na Figura 9. O maior conteúdo de açúcares totais foi constatado nas raízes das plantas controle (sem N) sendo que houve diferenças estatística quando comparado com os resultados registrados em amônio, nitrato ou uréia (colocados em ordem decrescente). As raízes das plantas cultivadas em amônio exibiram um teor de açúcares significativamente maior do que as crescidas em uréia mas não houve diferença estatística com as mantidas em nitrato. Além disso, o conteúdo de açúcares em nitrato não foi estatisticamente diferente do obtido em uréia. Por conseguinte: controle > amônio, nitrato, uréia; amônio > uréia; amônio = nitrato; nitrato = uréia.

Nas raízes das plantas controle houve um in-

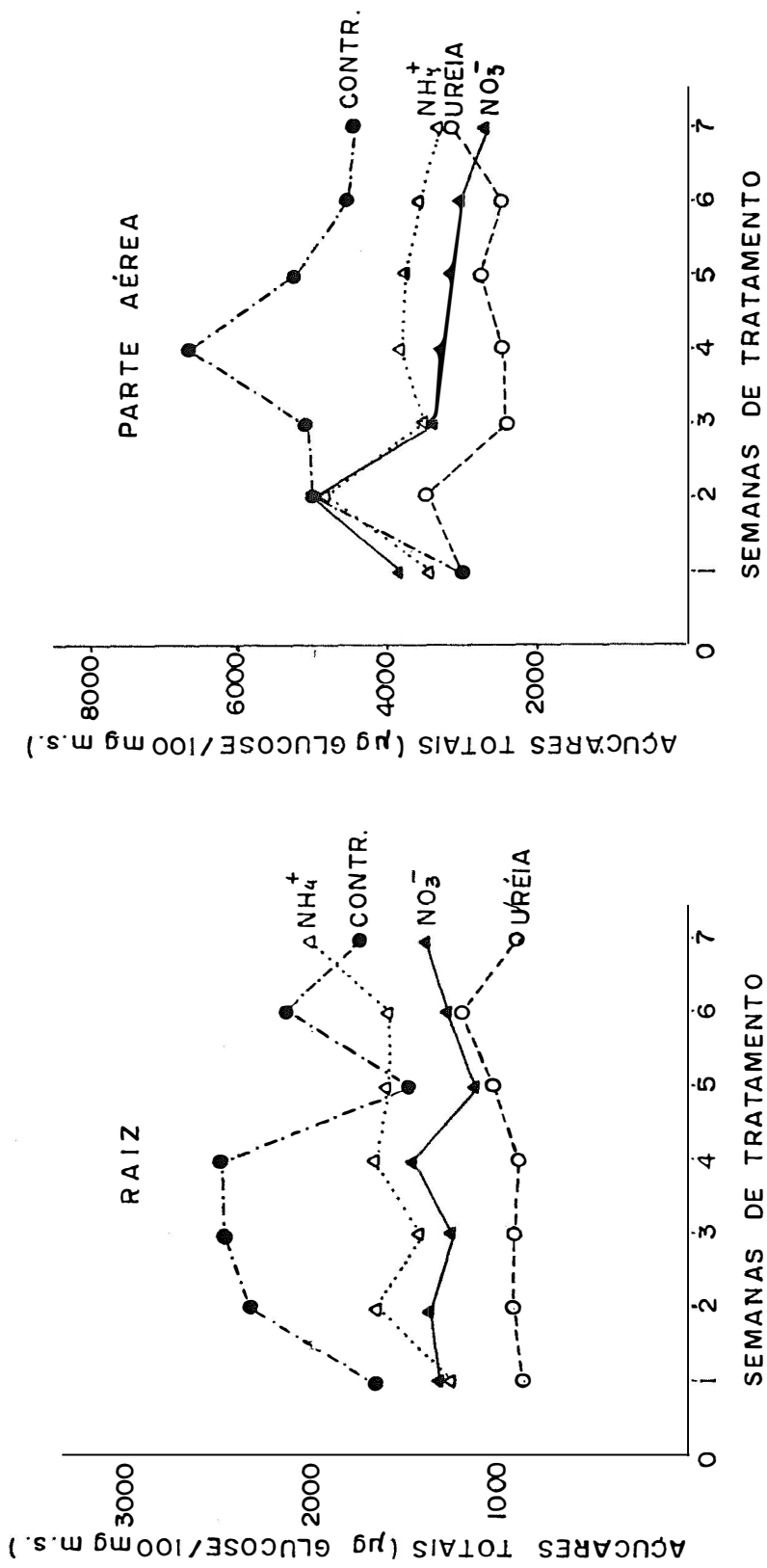


Figura 9 - Influência do nitrato, uréia e amônio sobre o teor de açúcares solúveis totais nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

cremento significativo dos açúcares solúveis totais a partir da 2ª. semana, porém, nas últimas 3 semanas os níveis diminuíram. Já no tratamento com amônio os teores de açúcares se mantiveram mais ou menos constantes ao longo das primeiras 6 semanas e só foi conseguida uma diferença significativa na 7ª. semana. Em nitrato, os valores de carboidratos totais não mostraram tendência regular em aumentar ou diminuir. Por outro lado, em presença de uréia, os teores permaneceram quase constantes nas primeiras 4 semanas, com um aumento discreto nas 5ª e 6ª. semanas e uma queda até os valores iniciais na 7ª. semana de tratamento.

5.11.2. Parte aérea

A Tabela 18 contém os resultados de açúcares solúveis totais na parte aérea dos diferentes tratamentos. Os resultados são ilustrados na Figura 9. A quantidade de açúcares totais foi maior na parte aérea das plantas controle (sem N) do que em amônio, nitrato ou uréia (colocadas em ordem decrescente). A relação estatística dos resultados de açúcares totais foi a mesma que a observada nas raízes, isto é, valores significativamente maiores no controle quando comparados com os das 3 fontes nitrogenadas. Houve diferença entre o tratamento com amônio e uréia mas não entre o amônio e nitrato ou entre este último e a uréia.

Em relação aos teores de açúcares totais durante o desenvolvimento das plantas, foi constatada uma diminuição significativa nas plantas em nitrato, enquanto que em uréia não se observou aumento ou decréscimo progressivos, pois houve uma queda inicial a partir da 3ª. semana mantendo-se mais ou menos constante até a 6ª. semana, aumentando levemente na

7.^a semana. No caso das plantas cultivadas em amônio, com exceção de um aumento na 2.^a semana, os teores se mantiveram quase constantes ao longo do experimento. Já nas plantas controle, os açúcares totais aumentaram gradativamente até a 4.^a semana mas posteriormente houve um decréscimo nas 3 últimas semanas.

Em termos gerais, o conteúdo de açúcares totais foi maior na parte aérea do que nas raízes do tratamento correspondente.

5.12. Açúcares redutores

5.12.1. Raiz

A Tabela 19 e a Figura 10 mostram os valores de açúcares redutores nas raízes das plantas submetidas aos diferentes tratamentos. As plantas controle mostraram a maior conteúdo seguidas pelas plantas cultivadas em amônio, nitrato e uréia respectivamente. No controle, o teor de açúcares redutores foi significativamente superior ao dos demais tratamentos. Os resultados em amônio também diferiram estatisticamente dos de nitrato e uréia. Já entre estes dois últimos não houve diferença significativa. Nas plantas controle, o conteúdo de açúcares redutores aumentou significativamente durante as primeiras 4 semanas, observou-se posteriormente uma diminuição progressiva. Nos tratamentos com nitrato, uréia e amônio não ocorreram mudanças acentuadas ao longo do tempo, isto é, os valores registrados foram praticamente iguais em todas as semanas.

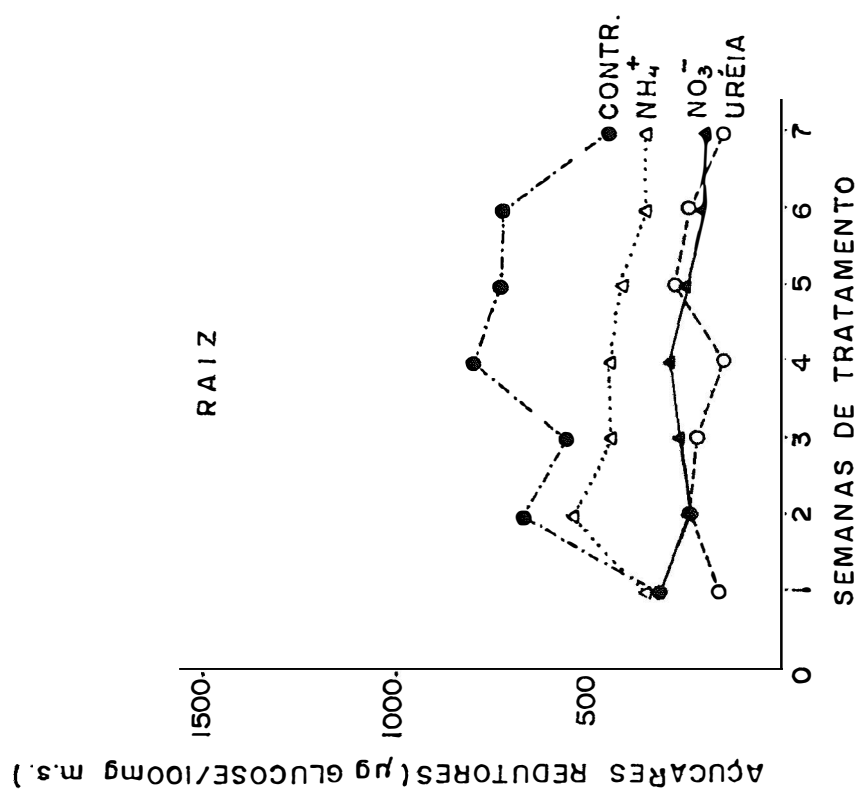
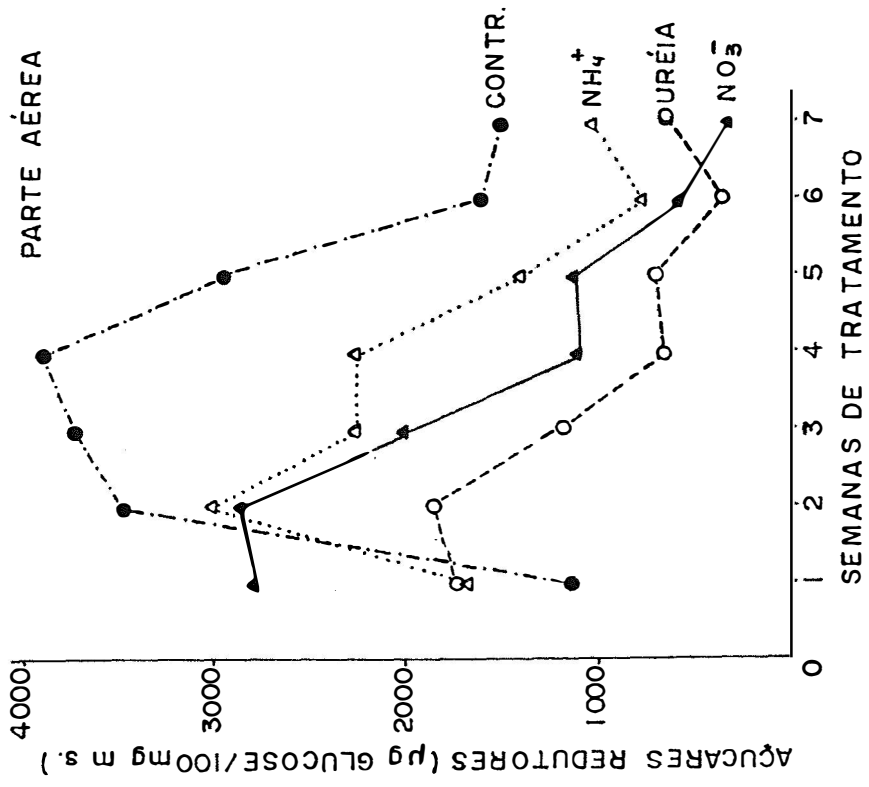


Figura 10 - Conteúdo de açúcares redutores nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva contendo nitrato, uréia ou amônio.

5.12.2. Parte aérea

Nas plantas controle o teor de açúcares redutores foi superior ao dos outros tratamentos (Tabela 19, Figura 10). Seguíram-lhe, em ordem decrescente, os valores das plantas em amônio, nitrato e uréia. Os níveis de açúcares redutores diferiram significativamente entre si em todos os casos. Os açúcares redutores sofreram diminuição progressiva e significativa ao longo do tempo tanto em amônio, nitrato e uréia. Já nas plantas controle (sem N), houve incremento durante as primeiras 4 semanas mas depois disso o teor de açúcares redutores diminuiu gradativamente até níveis significativamente menores do máximo valor registrado (4.^a semana).

Os conteúdos de açúcares redutores na parte aérea foram maiores do que nas raízes dentro de cada tratamento.

6. DISCUSSÃO

6.1. Influência do nitrato, amônio e uréia sobre o crescimento

Inúmeros estudos tem sido realizados para comparar o nitrato, amônio e uréia como fontes de nitrogênio para as plantas superiores. Os resultados obtidos por vários autores através de experimentos comparativos sobre a influência das 3 formas nitrogenadas no crescimento de plantas mantidas em solução nutritiva foram resumidos por *BOLLARD (1959)* e são apresentados na Tabela 20. De um modo geral, o nitrato promove bom crescimento em todas as espécies testadas, mas em alguns casos os rendimentos obtidos com uréia são tão bons ou melhores que os conseguidos em nitrato. Os resultados mostram que apenas em duas espécies (*Baeria chrystoma* e *Nicotiana tabacum*²) o crescimento é marcadamente menor do que com nitrato. Por outro lado, observa-se que o amônio raramente consegue igualar ou superar o nitrato ou a uréia na promoção de crescimento das plantas testadas.

Os resultados de crescimento das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) expressos em termos de matéria fresca e matéria seca mostraram uma tendência concordante com os dados relatados por *BOLLARD (1959)*, pois o maior rendimen-

Tabela 20 - Crescimento comparativo de diferentes plantas supridas com nitrato, amônio ou uréia.

FONTE: BOLLARD (1959).

E S P É C I E S	CRESCIMENTO RELATIVO (%)		
	NITRATO	AMÔNIO	URÉIA
<i>Pisum sativum</i>	-	100	130
<i>Zea mays</i>	100	78	65
<i>Nicotiana tabacum</i> ¹	100	18	64
<i>Phleum pratense</i> *	100	36	75
<i>Agrotis alba</i> *	100	40	85
<i>Dactylis glomerata</i> *	100	31	98
<i>Lolium perenne</i> *	100	38	83
<i>Poa pratensis</i> *	100	65	129
<i>Trifolium pratense</i> *	100	65	144
<i>Trifolium hybridum</i> *	100	45	194
<i>Trifolium repens</i> *	100	32	146
<i>Triticum sativum</i>	100	27	76
<i>Oryza sativa</i>	100	122	90
<i>Baeria chrysostoma</i> ⁺	100	37	43
<i>Lycopersicon esculentum</i>	100	64	78
<i>Nicotiana tabacum</i> ²	100	74	18
<i>Citrus sp.</i>	100	28	85
<i>Phaseolus vulgaris</i>	100	64	107
<i>Triticum sativum</i> [‡]	100	-	88

O crescimento foi comparado pela produção de matéria verde exceto em ⁺ e [‡] que foi medido pelo comprimento da parte aérea e pela matéria verde, respectivamente.

*Experimento comparativo em solução nutritiva esterilizada e não esterilizada.

¹ e ²: Resultados obtidos por diferentes autores.

to foi obtido em nitrato quando comparado com o controle (sem N) mas não foi estatisticamente diferente do rendimento em presença de uréia. Em amônio, o crescimento das plantas foi muito menor que em nitrato, uréia ou mesmo inferior ao controle. Entretanto, isto é válido principalmente no caso do crescimento da parte aérea das plantas tratadas, pois comparando os resultados de matéria fresca e matéria seca das raízes, observa-se um melhor desenvolvimento em nitrato (comparável ao controle) do que em uréia (menor que no controle). Além disso, o crescimento das raízes em uréia foi maior do que em presença de amônio. Os resultados observados em nitrato e amônio concordam com os obtidos por *McGEORGE (1923)* em experimentos com cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva ou em areia contendo nitrato ou amônio. Nesse estudo o autor relata que o crescimento das raízes e da parte aérea foram excelentes em presença de nitrato. Já nas plantas em solução amoniacal, quase não houve crescimento das suas raízes, e a parte aérea, ainda que vigorosa no início, acabou por morrer depois de poucas semanas.

O efeito negativo do amônio sobre o crescimento das plantas tem sido atribuído à ação tóxica dessa fonte nitrogenada. Por exemplo, *BENNETT et alii (1964)* constataram que o incremento da concentração de amônio na solução nutritiva teve um maior efeito deletério sobre o crescimento das raízes de milho do que na parte aérea. Segundo *WARNCKE e BARBER (1973)*, a relação entre a matéria seca da parte aérea e da raiz de milho, aumentou significativamente com o incremento da concentração de nitrogênio amoniacal. Neste caso, o aumento da relação do peso da parte aérea/raiz, foi devido não ao maior crescimento da parte aérea e sim a uma menor produção de raízes. As plantas apresentaram raízes menos ramificadas e de coloração escura. Partindo destas observações, podemos atribuir o pobre crescimento das plantas de cana-de-açúcar em

amônio como sendo devido à toxidez por NH_4^+ visto que a maior concentração desse íon foi constatada nas raízes e parte aérea dessas plantas.

Existem na literatura estudos que demonstram que quando plantas são cultivadas em nitrato ou amônio, há mudança do pH do meio onde elas crescem (HAYNES e GOH, 1978). No meio contendo nitrato ou uréia o pH aumenta, enquanto que aquele que contém sais de amônio fica mais ácido (BOLLARD, 1959). Esses resultados tem sido observados em diferentes espécies vegetais (STEWART et alii, 1925; KARIM e VLAMIS, 1962). O controle da variação do pH do meio frequentemente conduz à eliminação das respostas atribuídas à absorção e metabolismo das diferentes formas nitrogenadas. Para exemplificar, basta citar o trabalho de BARKER et alii, 1966) com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em solução nutritiva tamponada e não tamponada contendo amônio. Os efeitos negativos de altas concentrações de amônio sobre o crescimento das raízes foram eliminados na solução a pH constante. Por outro lado, segundo COX e REISENAUER (1973), a influência do amônio sobre o crescimento é determinada tanto pelo grau de incorporação do NH_4^+ como pelos efeitos sobre o pH do meio que circunda a raiz. A absorção do NH_4^+ é diminuída pelo decréscimo do pH do meio nutritivo, enquanto que a solubilidade e absorção dos cátions micronutrientes aumenta (COX e REISENAUER, 1973). Portanto, como no presente trabalho não foi mantido constante o pH das soluções nutritivas contendo nitrato, amônio ou uréia, os resultados observados podem, em parte, ser devidos a efeitos secundários sobre a absorção das próprias fontes nitrogenadas e mesmo sobre a disponibilidade e absorção de outros nutrientes.

Sabe-se que na maioria das plantas a uréia é hidrolisada em amônio e CO_2 pela ação da urease (CROCOMO, 1959; REINBOTHE e MOTHESES, 1962). Assim sendo, pode-se assumir, en-

tão, que os efeitos tóxicos provocados pela uréia são, na verdade, o resultado da ação do amônio liberado durante a sua degradação. Os resultados obtidos nas plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva contendo uréia, demonstram que esse composto foi rapidamente hidrolisado visto que as quantidades de uréia tanto nas raízes como na parte aérea foi tão pequena que não se detectou pelo método usado (Tabela 7). A presença de quantidades apreciáveis de amônio livre nessas plantas também apoia essa idéia (Tabela 6). Os teores de amônio livre nas plantas em uréia, porém, foram muito inferiores aos registrados nas plantas supridas com amônio. Isto pode explicar, parcialmente, o diferente efeito do amônio e uréia sobre o crescimento. Além disso, existem evidências de que muitas espécies vegetais são capazes de absorver as moléculas intactas de uréia (WALLACE e ASHCROFT, 1956; BOLLARD, 1959) e STEWARD e POLLARD (1957) assumem que a molécula de uréia pode estar envolvida no metabolismo vegetal antes de sua degradação em amônio e CO_2 , o que poderia levar a uma diferente resposta quando comparado com o nitrogênio amoniacal. Outro fator que pode influenciar a resposta se refere ao íon acompanhante, pois no presente trabalho o amônio foi fornecido sob a forma de NH_4Cl havendo, portanto, um provável efeito do íon cloreto.

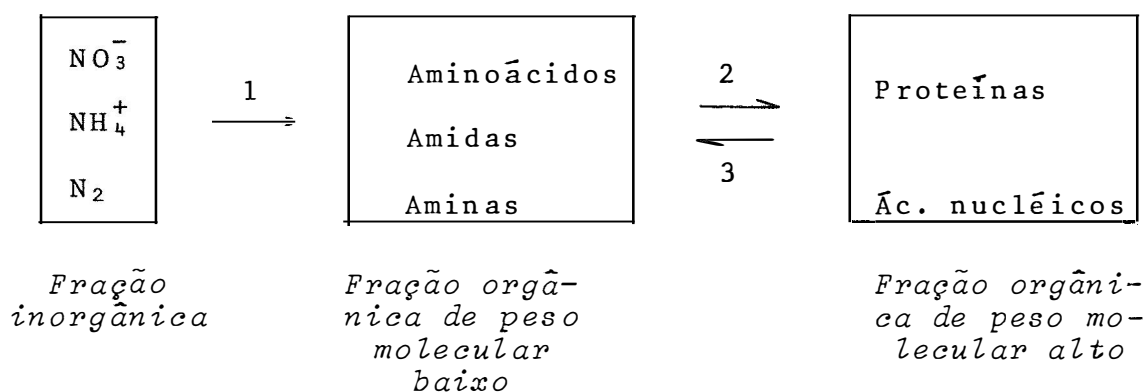
Quanto aos resultados obtidos com cana-de-açúcar cultivada em condições de campo e suprida com diferentes adubos nitrogenados não são concordantes com os aqui obtidos. Por exemplo, FERNANDEZ-GARCÍA (1927-1928) relata que a produção de cana-de-açúcar com 90, 120, 150 e 180 libras de sulfato de amônio ou nitrato de sódio por acre, foi estatisticamente igual. MENDEZ e CHARDON (1940) estudaram o rendimento de cana-de-açúcar durante um período de 5 anos para comparar o $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NaNO_3 e cianamida de cálcio. Os resultados não mostraram diferença significativa. Conclusões semelhantes foram

publicadas por *SAMUELS (1956) e SAMUELS et alii (1952a,b)* em experimentos comparativos com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 , uramon e cianamida. Por outro lado, *GOMÉZ e SÁNCHEZ (1968)* constataram uma maior produção de cana-de-açúcar por hectare em diferentes locais quando se usou uréia do que com NH_4NO_3 . Entretanto, os resultados de experimentos de campo não necessariamente devem concordar com os dados obtidos em condições de laboratório uma vez que no primeiro caso se tem uma série de variáveis que, inclusive, não permitem fazer comparações entre diferentes estudos realizados em condições de campo. Algumas das variações podem ser atribuídas ao tipo de solo, condições ambientais, presença de organismos no solo, propriedades particulares das fontes nitrogenadas, dose aplicada, idade da planta e a concentração de outros nutrientes no solo. Por conseguinte, as características físicas, químicas e biológicas do solo junto às condições ambientais e o tipo de planta, vão influenciar a disponibilidade, permanência, transformação e absorção das diferentes formas nitrogenadas. Para ilustrar rapidamente alguns dos problemas que se apresentam no campo quando se tenta comparar o efeito de diferentes fontes nitrogenadas sobre o crescimento e produção vegetal, basta citar o caso da uréia. Segundo *BROADBENT et alii (1958)*, a uréia é hidrolisada no solo por microrganismos que produzem urease, levando à formação de carbonato de amônio, o qual pode ser transformado em nitrato pela ação de microrganismos nitrificantes como *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. Assim sendo, poder-se-ia concluir que muitos dos efeitos atribuídos à uréia são, na verdade, produzidos pelo amônio ou pelo nitrato.

Com respeito às plantas controle que não receberam fonte nitrogenada, os sintomas de deficiência concordam com os relatados por *HUMBERT (1968 p.142)*. Na deficiência de nitrogênio as folhas apresentam uma coloração verde-amarela e menor crescimento do que as supridas com nitrogênio. O crescimento radicular é menos afetado.

6.2. Influência do nitrato, amônio e uréia sobre o teor dos compostos nitrogenados

Segundo *MENGEL e KIRBY (1978 p.314)* o metabolismo do nitrogênio em plantas é caracterizado por 3 etapas principais:



A primeira etapa se refere à conversão do nitrogênio inorgânico em compostos orgânicos de peso molecular baixo. No segundo passo, ocorre a síntese de compostos de peso molecular alto (proteínas e ácidos nucléicos) a partir de compostos de peso molecular baixo, particularmente, aminoácidos. A terceira etapa envolve a degradação das macromoléculas nitrogenadas. As 3 etapas são representadas pelas 3 frações envolvidas no metabolismo do nitrogênio: a) Nitrogênio inorgânico; b) compostos nitrogenados de peso molecular baixo; e c) macromoléculas nitrogenadas.

Nas plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva nítrica, o teor de NO_3^- na raiz permaneceu dentro de uma faixa estreita de concentração (80 a 120 $\mu\text{g N-NO}_3^-/100$ mg m.s.) indicando uma rápida saturação da capacidade de acúmulo devida provavelmente a uma maior relação entre a taxa

de absorção e de redução e assimilação. Apesar de que as raízes apresentaram teores de nitrato relativamente altos durante as 7 semanas do ensaio, na parte aérea, porém, o acúmulo de nitrato foi muito pequeno durante as primeiras 4 semanas, havendo um súbito aumento a partir da 5.^a semana, chegando a atingir valores semelhantes aos registrados na raiz na 6.^a e 7.^a semanas. De acordo com *HUFFAKER e RAINS (1978)*, após a absorção do nitrato do meio nutritivo, uma parte é reduzida na raiz, outra parte significativa é armazenada nesse órgão, e o restante é translocado para as folhas. Portanto, os eventos que se seguem na parte aérea dependem da taxa em que o nitrato é absorvido pelo sistema radicular, do grau em que o NO_3^- é reduzido e armazenado ali, e da eficiência com que o processo de depósito do NO_3^- opera no xilema. Assim, a ineficiência das raízes de cana-de-açúcar para reduzir todo o nitrato absorvido, conduz ao acúmulo na raiz e, posteriormente, ao aparecimento desse íon na parte aérea. A acumulação do NO_3^- na parte aérea é regido, por sua vez, pelo domínio do processo de translocação quando comparado com a taxa de redução e assimilação no colmo e nas folhas. A acumulação de nitrato na cana-de-açúcar é concordante com os estudos de *WRIGHT e DAVISON (1964)* visto que as plantas da família Gramineae se contam entre as que acumulam nitrato. Por exemplo, plantas de milho cultivadas no campo, mostram um aumento de nitrato no caule até um máximo (80 - 90 dias após o plantio) e um decréscimo subsequente, enquanto que nas folhas, o teor se manteve em valores pequenos e constantes (*SCHRADER, 1978*).

Existe uma estreita correlação entre o sítio onde se processa a redução do nitrato e o sítio de acúmulo na planta. Certas plantas, particularmente aquelas da família Chenopodiaceae, acumulam nitrato em seus tecidos (*HAYNES e GOH, 1978*). Em geral, a atividade de redução do nitrato nas raízes é muito pequena; conseqüentemente o NO_3^- é translocado

para as folhas onde acontece a sua redução. Nestas plantas, o nitrato pode ser também acumulado nas folhas quando a taxa de redução for superada pela taxa de translocação desde as raízes. De acordo com *SILVEIRA e CROCOMO (1980)*, a distribuição de atividade da redutase de nitrato em cana-de-açúcar se assemelha à do milho, isto é, baixa atividade nas raízes e colmo e alta atividade nas folhas. Por conseguinte, é provável que devido à baixa capacidade redutora na raiz o nitrato se acumule nesse órgão provocando um acúmulo posterior na parte aérea, sendo o caule o principal sítio de armazenamento.

O nitrato deve ser reduzido antes de ser assimilado, mas o amônio, uma vez absorvido, pode ser usado na síntese de aminoácidos e outros compostos orgânicos (*CROCOMO, 1979*). Segundo *MARTIN (1970)*, quase todo o NH_4^+ absorvido é assimilado no tecido radicular e, então, redistribuindo na forma de aminoácidos. A absorção de NH_4^+ pelas raízes é rápida e é dependente das condições ambientais e do tipo e idade da planta (*REISENAUER, 1978*). A taxa de absorção do NH_4^+ é influenciada principalmente pela concentração de amônio e pelo pH do meio nutritivo. A absorção do NH_4^+ aumenta com o pH, enquanto que a absorção do NO_3^- é favorecida a pH ácido (*RAO e RAINS, 1976*). *MICHAEL et alii (1965)*, estudando a absorção de NH_4^+ e NO_3^- por várias espécies vegetais, encontraram que ambas as formas eram absorvidas na mesma taxa a pH 6,8. Por outro lado, há evidências que indicam que a uréia é absorvida em menor proporção do que o nitrato e o amônio (*MENGEL e KIRBY, 1978, p.313*).

As plantas de cana-de-açúcar cultivadas em presença de amônio, apresentaram tendência a aumentar o teor de NH_4^+ livres nas raízes e parte aérea durante o ensaio (Figura 6). Na raiz, porém, os teores de NH_4^+ livre se mantiveram numa fai-

xa estreita de concentração (80 a 110 $\mu\text{g N-NH}_4^+$ /100 mg m.s.) a partir da 2.^a semana, indicando ineficiência para assimilar todo o amônio absorvido. Nota-se que durante as primeiras 3 semanas o amônio foi acumulado na raiz e somente uma pequena quantidade estava na parte aérea. Contudo, a acumulação de NH_4^+ na parte aérea aumentou marcadamente na 4.^a semana, chegando a atingir na 7.^a semana níveis muito maiores aos detectados na raiz. Isto pode ser explicado em termos de uma maior translocação da raiz para a parte aérea e/ou ao aumento da capacidade de armazenamento no caule e folhas. Assim, o desequilíbrio entre o grau de translocação e a taxa de assimilação levaria ao acúmulo de NH_4^+ livre na parte aérea.

Os altos níveis de NH_4^+ livre nas plantas de cana-de-açúcar cultivadas em amônio quando comparados com os teores constatados nas plantas controle, em nitrato ou em uréia, concordam com a literatura, pois quando plantas são supridas com sais de amônio, os níveis de nitrogênio amoniacal no tecido usualmente atingem um valor maior do que em presença de uréia ou nitrato (*BOLLARD, 1959*). Por exemplo, as folhas de uma gramínea que foram supridas com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ contêm 1,3% de amônio, enquanto que em uréia o teor de NH_4^+ foi 0,2%, e em nitrato de 0,03% (*BEAUMONT et alii, 1933*). Estes resultados são explicados levando-se em conta que o amônio exôgeno ao ser absorvido pela planta passa a fazer parte do NH_4^+ endôgeno, enquanto que o nitrato deve ser reduzido na planta para produzir NH_4^+ . Além disso, a redução de nitrato é um processo enzimático sujeito à regulação a fim de manter níveis apropriados de NH_4^+ , que usualmente são baixos (*BARKEER et alii, 1965*). Desta maneira pode ser explicada a pequena concentração de NH_4^+ em plantas de cana-de-açúcar cultivadas com nitrato, comparável, inclusive, com os teores registrados nas raízes e parte aérea das plantas controle (sem N). Por outro lado, pode-se supor que o amônio formado a partir do nitrato

foi imediatamente usado na síntese de compostos orgânicos.

Quanto às plantas controle (sem N), era de se esperar que os teores de amônio fossem baixos, pois devido ao estresse imposto, elas tem que usar com maior eficiência o nitrogênio endôgeno (inorgânico e orgânico).

As três frações envolvidas no metabolismo do nitrogênio são influenciadas pela nutrição da planta, especialmente, pelo suprimento de nitrogênio (*MENGEL e KIRBY, 1978, p.315*). Experimentos com tomateiro conduzidos por *CLARK (1936)*, revelaram um conteúdo maior de nitrogênio total em folhas de plantas cultivadas em amônio do que em plantas crescidas em nitrato. O valor de N-total foi maior em amônio por causa de um teor maior de N-insolúvel bem como de N-orgânico solúvel. Por outro lado, o conteúdo de N-solúvel e N-insolúvel nas raízes também foi maior em presença de amônio. Em arroz (*MARWAHA e JULIANO, 1976*), o N-total, proteína solúvel e aminoácidos livres na raiz e parte aérea foram maiores em plantas mantidas em amônio do que em nitrato. Já em trigo (*WEISMAN, 1959*), o teor de N-protéico na parte aérea foi semelhante em ambas as fontes mas o conteúdo de N-total foi maior em amônio. Estudos comparativos em feijoeiro e limoeiro (*WALLACE e ASHCROFT, 1956*), mostraram que a quantidade de N-total nas raízes, caule e folhas de plantas crescidas em uréia foi maior do que em nitrato, mas essas duas fontes foram inferiores ao amônio.

Os resultados obtidos no presente estudo são concordantes com a literatura no sentido das plantas em amônio apresentarem maior teor de N-total do que as plantas em nitrato. Todavia, ao comparar a uréia e o amônio, os resultados de N-total na raiz foram praticamente os mesmos durante as primeiras 6 semanas, mas o valor de N-total na ^a 7. semana

foi muito inferior em uréia do que em amônio, o qual provavelmente fez com que a diferença estatística entre os dois tratamentos fosse significativa. Já na parte aérea, o teor de N-total foi maior em uréia do que em amônio. Nas plantas controle (que não receberam fonte de nitrogênio), devido ao papel principal do nitrogênio como componente de proteínas, ácidos nucleicos e de muitas coenzimas, era de se esperar que apresentassem menor valor de N-total por causa da deficiência de nitrogênio.

Os maiores teores de N-total em presença de amônio ou uréia, provavelmente são devidos a uma maior rapidez na elaboração de compostos nitrogenados através da maior disponibilidade do NH_4^+ resultante da absorção direta desse íon ou da hidrólise de uréia quando comparado com o NH_4^+ derivado da redução do nitrato. Havendo maior disponibilidade e maior facilidade na assimilação de qualquer fonte nitrogenada, teoricamente haveria um maior deslocamento da fração inorgânica para a fração de compostos orgânicos solúveis de peso molecular baixo, a qual, manteria um equilíbrio com a fração de macromoléculas orgânicas. Assim sendo, os altos teores de NH_4^+ livre nas plantas cultivadas em amônio ou uréia, favoreceram a síntese de compostos orgânicos de peso molecular baixo, levando conseqüentemente a uma elevação dos níveis de N-solúvel. Por outro lado, nas plantas supridas com nitrato, onde os valores de NH_4^+ livre foram baixos apesar dos consideráveis níveis de NO_3^- endógeno, o teor de N-solúvel foi comparativamente inferior do que em amônio ou uréia indicando que existe um estrito controle no fluxo de $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{N-solúvel}$.

Sendo o N-solúvel o material intermediário para a síntese da fração nitrogenada macromolecular (proteínas e ácidos nucleicos), poder-se-ia pensar em uma relação direta entre as duas, de tal modo que o aumento da fração solúvel levasse ao incremento da fração macromolecular.

Neste ponto, observa-se que tanto a uréia como o amônio promoveram um aumento de proteína nas raízes quando comparadas com o nitrato, o que está de premissa anterior. No entanto, os resultados obtidos com as plantas controle submetidas a deficiência de nitrogênio contradizem essa idéia, visto que, apesar das raízes apresentarem quantidades muito baixas de N-solúvel, continham um teor de proteína estatisticamente igual às de plantas em nitrato ou em amônio. Já na parte aérea não houve diferença no conteúdo de proteína nos diferentes tratamentos ao longo do ensaio apesar do aumento de N-solúvel nas plantas supridas com amônio e uréia ou dos baixos níveis de N-solúvel nas plantas cultivadas em nitrato ou sem nitrogênio (controle).

Há evidências experimentais indicando que o conteúdo de N-solúvel (aminoácidos livres, amins e amidas) sofre incremento considerável ao aumentar a aplicação de adubo nitrogenado, enquanto que o teor de proteínas aumenta discretamente e, inclusive, quase não existe diferença quando a fonte nitrogenada adicionada ao solo é sob a forma de nitrato ou amônio (*MENGEL e KIRBY, 1978, p. 315*). Segundo *RICHTER e DIJKSHOORN (1975)*, a eficiência do amônio, uréia e nitrato para promover a síntese protéica em cevada é a mesma para as 3 formas, mas a maior facilidade de assimilação da NH_4^+ derivado do amônio ou uréia, leva a um acúmulo de nitrogênio orgânico não protéico quando comparados com o nitrato. Isto sugere, portanto, que a síntese protéica está controlada de tal maneira a fornecer quantidades de proteína apropriadas para manter o equilíbrio metabólico durante o crescimento. Por conseguinte, o amônio e uréia ao serem assimilados mais rapidamente do que o nitrato, fazem com que a produção de N-solúvel seja maior, mas isso não força a planta a sintetizar proteína e ácidos nucléicos na mesma proporção, pois todos os processos metabó-

licos aumentariam desordenadamente. Ao invés disso, a planta acumula o excesso de nitrogênio sob a forma de N-solúvel e mantém um estrito controle sobre a síntese de macromoléculas que assegura um funcionamento harmonioso. Quando o nitrato é absorvido, a sua assimilação está sujeita a controle através dos níveis de NH_4^+ livre ou de alguns aminoácidos (*OAKS et alii*, 1977). Esse mecanismo faz com que o teor de NH_4^+ e de N-solúvel na planta seja geralmente baixo quando comparado com o amônio e uréia. O mecanismo de redução do nitrato seria ligado e desligado de acordo com as exigências da planta.

No caso das plantas controle, é provável que haja uma redistribuição do nitrogênio endógeno nos órgãos mais velhos para assegurar o crescimento das partes mais novas e ativas. Por exemplo, o crescimento da parte aérea, expresso em termos de produção matéria fresca e matéria seca, cessou praticamente nas 4 últimas semanas mas, ainda assim, a concentração de proteína não sofreu alteração notável. O crescimento das raízes e o conteúdo de proteína, porém, aumentaram ao longo do ensaio e foram comparativamente iguais ao das plantas em nitrato. Assim sendo, é possível que o crescimento e síntese protéica se deram às custas do nitrogênio proveniente da parte aérea levando, então, a uma redução na sua taxa de cres-cimento.

O teor de N-total nas raízes das plantas dos diferentes tratamentos aumentou com o tempo de exposição. A mesma tendência foi observada na parte aérea das plantas em amônio, uréia e nitrato. A porcentagem de N-total na parte aérea das plantas controle apresentou tendência a diminuir com o tempo. Em geral, os valores de N-total nas raízes foi maior do que na parte aérea dentro de cada tratamento. Pode-se considerar que o teor de proteína é o principal responsável por este último fato, uma vez que nas raízes o conteúdo

de proteína foi maior do que na parte aérea, enquanto que o teor de N-solúvel na raiz foi menor ou igual ao valor registrado na parte aérea, ocupando um lugar secundário na sua participação no teor total de nitrogênio. Estes resultados podem ser justificados pelos obtidos por *TAKAHASHI (1959)* em estudos de absorção e assimilação de $^{15}\text{NH}_4^+$ em cana-de-açúcar. O teor de ^{15}N -total foi maior nas raízes e folhas e muito menor no caule. A incorporação de ^{15}N na fração insolúvel em álcool apresentou o mesmo padrão: maior nas raízes e folhas e menor no caule. Além disso, o ^{15}N incorporado na fração solúvel em álcool (amidas, aminoácidos, peptídeos, etc.) foi maior no caule do que nas folhas e raízes. A estreita relação entre o teor de N-total e o conteúdo protéico é suportada pelo fato de que no material vegetal verde, o N-protéico corresponde a 80-85% do N-total enquanto que os ácidos nucleicos constituem aproximadamente 10% e a fração solúvel em álcool cerca de 5% (*MENGEL e KIRBY, 1978, p.315*). No presente trabalho, é provável que os menores teores de N-total e proteína na parte aérea quando comparados com os das raízes sejam devidos à diluição de material foliar (rico em proteína) com o tecido do caule (com conteúdo pobre em proteína).

Nas plantas controle, o aumento de N-total na raiz ao longo do ensaio foi acompanhado de diminuição na parte aérea sugerindo uma redistribuição do nitrogênio endógeno de cima para baixo, provavelmente na forma de N-solúvel uma vez que os teores desta fração na parte aérea diminuíram discretamente com o tempo, enquanto que na raiz permaneceram mais ou menos constantes. Cabe lembrar que o conteúdo de proteína na parte aérea quase não se alterou durante o ensaio, enquanto que na raiz houve aumento progressivo com o tempo.

Com respeito à distribuição do N-solúvel, observa-se que os teores na parte aérea das plantas do tratamento

com amônio foram maiores na parte aérea do que nas raízes, sobretudo, a partir da 4.^a semana. Nas plantas supridas com uréia, os teores de N-solúvel foram praticamente os mesmos na raiz e parte aérea. Já nas plantas cultivadas em nitrato, o N-solúvel foi levemente menor na parte aérea do que na raiz a partir da 2.^a semana de tratamento. Nas plantas controle, os níveis de N-solúvel foram discretamente menores na parte aérea do que nas raízes a partir da 4.^a semana.

Sendo a raiz o órgão onde se realiza principalmente a assimilação do NH_4^+ (MARTIN, 1970; HAYNES e GOH, 1978), esperar-se-ia, a priori, um conteúdo maior de N-solúvel na raiz do que na parte aérea das plantas de cana-de-açúcar mantidas em amônio ou uréia, enquanto que as supridas com nitrato deveriam apresentar teores de N-solúvel maiores na parte aérea visto que a redução do nitrato em plantas C_4 se realiza principalmente nas folhas (MOORE e BLACK, 1979). Para explicar os resultados, sugere-se que após a assimilação do NH_4^+ proveniente da absorção direta ou da hidrólise da uréia, existe um transporte rápido do N-solúvel sintetizado na raiz para a parte aérea, como acontece em outras plantas (OJI e IZAWA, 1972; MUHAMMAD e KUMAZAWA, 1974a). Deste modo, o N-solúvel se acumularia na parte aérea chegando a atingir ou mesmo superar o teor registrado no sistema radicular. Esta hipótese pode ser apoiada pelas conclusões de TAKAHASHI (1959), pois o $^{15}\text{NH}_4$ absorvido por plantas de cana-de-açúcar, foi rapidamente incorporado na fração solúvel em álcool, a qual, após 6 dias de ter fornecido o $^{15}\text{NH}_4$, mostrou um gradiente crescente da raiz para o terço inferior e médio do caule e um gradiente decrescente deste último para o terço superior e folhas. O NH_4^+ na raiz e mesmo o N-amídico, foram ricos em ^{15}N sugerindo que as amidas foram sintetizadas em quantidade considerável nesse órgão. Segundo TAKAHASHI (1959), o excesso de ^{15}N é armazenado na forma de amônio, amidas, aminoácidos e peptídeos

na região basal do caule de onde são distribuídos para as partes da planta que deles necessitam.

Segundo *MUHAMMAD e KUMAZAWA (1974b)*, a maior parte do nitrato absorvido pelas plantas de arroz é transportado das raízes para as folhas, principalmente as recém-formadas, onde se processa a redução. Uma boa parte dos compostos orgânicos nitrogenados é destinada para as folhas em formação, e outra porção muito inferior é transportada para as folhas mais velhas. A maior parte dos compostos nitrogenados armazenados nestas últimas é distribuída mais tarde para suprir as necessidades de nitrogênio das folhas mais novas e também para as raízes através do floema. Nas plantas de cana-de-açúcar, é possível que os compostos nitrogenados resultantes da redução e assimilação do nitrato sejam acumulados no sistema foliar, principalmente nas folhas mais desenvolvidas. O teor de N-solúvel na raiz, por sua vez, seria mantido através da redistribuição dos compostos armazenados nas folhas e, em menor proporção, pela assimilação do nitrato no sistema radicular. Por outro lado, apesar de que o caule pode servir como sítio de armazenamento dos compostos resultantes da assimilação do NH_4^+ que entra por via radicular, provavelmente ele não atua como tecido armazenador dos produtos de assimilação do NO_3^- pois, se esse for o caso, os teores de N-solúvel na parte aérea das plantas cultivadas em nitrato seriam muito superiores aos das raízes. A desigualdade entre a parte aérea e o tecido radicular no que diz respeito ao conteúdo de N-solúvel, pode ser explicada levando-se em conta o efeito de diluição do tecido foliar (onde provavelmente se armazena o N-solúvel) com o do caule. Contudo, para ter uma idéia completa da distribuição do N-solúvel derivado da redução do nitrato, seria necessário fazer análise de raiz, caule e folhas, separadamente.

A análise cinética da assimilação do amônio e nitrato em arroz (*Oryza sativa*), indica que a glutamina e o glutamato são os produtos primários (YONEMA e KUMAZAWA, 1974, 1975). Parte do amônio pode ser incorporado diretamente no ácido aspártico e alanina. A glutamina é também o produto inicial durante a assimilação do amônio em *Chlorella* (KANAZAWA et alii, 1972). Em tomateiro, o aumento do amônio exógeno produz o acúmulo de glutamina nas raízes e parte aérea, enquanto que a asparagina se acumula em menor proporção (LORENZ, 1976a). Segundo INGVERSEN e IVANKO (1971), o nitrogênio nítrico é preferencialmente incorporado no α -cetoglutarato na raiz do milho mas a assimilação do amônio conduz ao aumento da glutamina e asparagina. Em trigo (WEISSMAN, 1959), os teores de asparagina e glutamina são maiores na parte aérea de plantas supridas com amônio do que com nitrato, mas a asparagina predomina nas primeiras, enquanto que a glutamina é mais abundante nas plantas em nitrato. De acordo com OJI e IZAWA (1972), o amônio é assimilado principalmente na forma de glutamina na raiz de cevada, e o nitrato é assimilado no glutamato e aspartato na parte aérea.

No presente estudo, os teores de aminoácidos totais nas raízes de cana-de-açúcar, mantidas em amônio ou uréia mostraram um aumento discreto no conteúdo total de ácido aspártico, característica essa que se acentua na parte aérea das mesmas. Se o NH_4^+ exógeno ou o proveniente da hidrólise da uréia fosse incorporado no α -cetoglutarato ou no glutamato, esperar-se-ia uma elevação do glutamato ou da glutamina, respectivamente. Cabe dizer que a glutamina é hidrolisada em glutamato e NH_3 durante a preparação das amostras para determinar os aminoácidos totais. No entanto, o incremento do ácido aspártico no teor total de aminoácidos, sugere a sua participação ativa na assimilação do nitrogênio reduzido. Este resultado é concordante com os de TAKAHASHI (1959), visto

que a absorção de $^{15}\text{NH}_4^+$ em cana-de-açúcar levou ao enriquecimento da asparagina, indicando que essa amida foi o produto primário ou que sua taxa de síntese foi mais rápida do que a da glutamina. Os valores de asparagina foram maiores nos dois terços inferiores do caule.

Segundo *GIVAN (1979)*, além do sistema GS/GOGAT, há outras rotas que podem entrar em funcionamento na presença de altos níveis de amônio, sendo a reação da sintetase de asparagina uma delas. Esta enzima normalmente transfere o grupo amídico da glutamina para o aspartato produzindo asparagina. Portanto, pode ser que a síntese de asparagina na cana-de-açúcar envolva inicialmente a assimilação do NH_4^+ na forma de glutamina e posteriormente a transferência do nitrogênio amídico para o aspartato. Isto é provável uma vez que no trabalho realizado por *TAKAHASHI (1959)*, a análise do material vegetal foi feita 6 dias após ter fornecido o $^{15}\text{NH}_4^+$, de tal modo que os resultados por ele obtidos podem estar indicando que a principal forma de armazenamento na assimilação do NH_4^+ é a asparagina mas isso não quer dizer que seja a primeira amida a ser sintetizada. Experimentos de absorção de NH_4^+ ou uréia durante períodos curtos (0 - 2 horas) poderiam ajudar a esclarecer mais este ponto.

Quanto às plantas cultivadas em nitrato, não foi evidenciado o acúmulo de glutamina. Os teores totais de aminoácidos nas raízes foram praticamente iguais aos registrados nas plantas controle, porém, na parte aérea houve um aumento discreto do ácido aspártico apesar dos baixos teores de amônio livre constatados nessas plantas. Isto sugere que mesmo nas baixas concentrações de amônio produzidas durante a redução do nitrato, o armazenamento se dá na forma de asparagina e não como glutamato ou glutamina.

6.3. Efeito do nitrato, amônio e uréia sobre o conteúdo dos carboidratos

Durante a assimilação de nitrogênio inorgânico existe uma demanda por esqueletos carbônicos ou por produtos derivados do metabolismo dos carboidratos. Assim, a transformação do NO_3^- em NO_2^- requer uma fonte de NADH que pode ser fornecida através da oxidação do gliceraldeído-3-fosfato. O poder redutor necessário para a conversão do NO_2^- em NH_4^+ , é fornecido pela ferredoxina que é reduzida durante a fotofosforilação não cíclica ou pelo NADPH em presença da redutase da ferredoxina. O NH_4^+ absorvido diretamente pelas plantas ou gerado por outros processos metabólicos (fixação do N_2 , redução do NO_3^- , hidrólise da uréia, etc.) é incorporado em alguns intermediários da glicólise ou do ciclo de Krebs, compostos esses que provêm do metabolismo dos carboidratos.

A assimilação de nitrato pelas plantas requer mais energia e conseqüentemente maior fonte de carboidrato do que a assimilação de quantidades equivalentes de amônio. Partindo desta premissa, esperar-se-ia que as plantas cultivadas em nitrato tivessem menor conteúdo de carboidrato do que as mantidas em amônio, porém, uma série de fatores determinam que isso não aconteça. REISENAUER (1978) relata que o nível de carboidrato na raiz diminui moderadamente ao aumentar o suprimento de nitrato, enquanto que, em quantidades de amônio capazes de reduzir o crescimento vegetal, há essencialmente uma queda rápida. O efeito do nitrato sobre o teor de carboidrato na raiz é menos marcado, uma vez que o NO_3^- pode ser rapidamente translocado à parte aérea ou acumulado nos vacúolos das células da própria raiz, processos esses que demandam muito menos energia do que a necessária para a rápida desintoxicação e incorporação do NH_4^+ . A taxa de assimilação do ni-

trato, por outro lado, é limitada e regulada através do controle da atividade da redutase do nitrato. Assim sendo, em condições de nutrição níttrica não se produz um estresse contínuo sobre as reservas de carboidratos utilizadas como a matéria-prima na síntese de compostos nitrogenados orgânicos (BARKER *et alii*, 1965). À diferença do nitrato, o amônio deve ser rapidamente assimilado para evitar os efeitos tóxicos que ele produz na planta. Consequentemente há um fluxo intenso de esqueletos carbônicos e uma diminuição rápida no nível de carboidratos.

Ao contrário do que se esperava, o teor de açúcares totais nas raízes e parte aérea das plantas de cana-de-açúcar cultivadas em amônio foi maior do que nas supridas com nitrato, se bem que a diferença não foi estatisticamente significativa. Já ao se comparar os resultados das plantas em nitrato e as cultivadas em uréia, houve certa concordância com a literatura, porquanto que em nitrato o teor de açúcares totais foi maior do que em uréia. Esta tendência seria explicada se se considerasse que ela libera amônio durante sua hidrólise, este íon sendo responsável pela diminuição do conteúdo de carboidrato. Contudo, o teor de açúcares solúveis possivelmente não é somente influenciado pela exigência energética para a absorção e assimilação da fonte nitrogenada em questão mas também pela taxa de crescimento da planta (REISENAUER, 1978). Por exemplo, os carboidratos solúveis ou as formas armazenadas, além de serem utilizados na assimilação do nitrogênio, são usados na síntese de compostos necessários ao crescimento (fonte de energia, síntese de polissacarídeos das paredes celulares, proteínas, ácidos nucleicos, etc.). Assim sendo, as plantas em nitrato apresentaram menor teor de carboidrato solúvel do que as plantas controle uma vez que nas primeiras houve um consumo moderado de esqueletos carbônicos durante a assimilação do NO_3^- e, provavelmente, um gasto considerável

na síntese de material celular. Levando em conta estes fatores, pode-se pensar que nas plantas em amônio, o teor de açúcares solúveis totais poderia ter sido mantido em quantidades comparáveis às registradas em nitrato, através do desvio contínuo dos carboidratos que seriam utilizados para o crescimento celular, acarretando assim o pobre crescimento observado nessa fonte nitrogenada. Já em uréia, o carboidrato armazenado seria suficiente para manter uma boa taxa de assimilação do nitrogênio sem, para tanto, prejudicar drasticamente o resto do metabolismo da planta. Neste caso, a assimilação do amônio liberado durante a hidrólise da uréia exigiria maior demanda de esqueletos carbônicos do que a necessária para assimilar o nitrato, mas essa demanda não atingiria as proporções observadas em amônio de tal modo a alterar o desenvolvimento da planta. Desta maneira, os açúcares solúveis poderiam ser suficientes para assimilar a uréia e, ao mesmo tempo, para manter o bom crescimento registrado nesse tratamento.

Cabe dizer que apesar das plantas em amônio apresentarem maior teor de açúcares solúveis totais, uma maior proporção corresponde a açúcares redutores quando comparadas com os valores observados em nitrato ou uréia. Estudos sobre adubação nitrogenada em cana-de-açúcar feitos por *DAS (1936)* mostram que o aumento de sulfato de amônio favorece o incremento de açúcares redutores. Segundo *MARWAHA e JULIANO (1976)*, o teor de açúcares redutores tende a ser maior nas raízes de plântulas de arroz supridas com amônio do que com nitrato. De acordo com *GIVAN (1979)*, o tratamento de tecidos vegetais com amônio resulta em um aumento gradual da atividade de várias enzimas que participam da degradação de carboidratos, facilitando com isso a disponibilidade de esqueletos carbônicos necessários para a rápida assimilação do amônio. Assim, os açúcares redutores, sendo uma forma mais facilmente utilizável,

aumentariam na planta como uma resposta para tentar manter o nível de amônio o mais baixo possível quando a fonte nitrogenada for o amônio ou, em menor grau, quando for a uréia. Os resultados de açúcares redutores nas plantas de cana-de-açúcar supridas com amônio ou uréia podem ser enquadrados nesta hipótese. Entretanto, de acordo com essa idéia as plantas cultivadas em nitrato deveriam ter apresentado os menores teores de açúcares redutores uma vez que o conteúdo de NH_4^+ livre tanto nas raízes como na parte aérea foi menor do que em uréia e muitíssimo inferior ao registrado em plantas cultivadas em presença de amônio. Os resultados aqui relatados demonstram o oposto, pois o teor de açúcares redutores em nitrato foi intermediário entre o registrado em amônio e aquele constatado em uréia. Contudo, isso pode ser explicado pelo relato de *ALEXANDER (1964)* segundo o qual, altas concentrações de nitrato (12 m.e.q./l) promovem o aumento de açúcares redutores através da ativação das reações enzimáticas que levam principalmente à síntese de glucose e frutose. Esse efeito só é observado durante os primeiros 6 meses de idade.

Com respeito às plantas controle (sem N), segundo *HUMBERT (1968, p.142)*, na deficiência de nitrogênio há acúmulo de carboidrato na cana-de-açúcar. De acordo com *EPSTEIN (1972, p.245)*, a diminuição resultante na fotossíntese faz com a planta deficiente em nitrogênio tenha carência não somente de aminoácidos essenciais mas também da maquinária necessária para a síntese de carboidratos e dos esqueletos carbônicos para todo tipo de sínteses **orgânica**.

Antes do estabelecimento da clorose, porém, os carboidratos, inclusive o amido, podem se acumular por não serem usados na síntese protéica como consequência da deficiência de aminoácidos. Portanto, os altos teores de açúcares solúveis totais e açúcares redutores constatados nas plantas controle se justificam pela sua não utilização na assimilação de nitrogênio e em outros processos. Por

outro lado, os teores de açúcares solúveis totais registrados durante as primeiras quatro semanas mostraram um aumento progressivo nas raízes e parte aérea. A partir da quinta semana, porém, começaram a ser visíveis os primeiros distúrbios no crescimento da parte aérea o qual se acompanhou também diminuição do teor de açúcares solúveis totais e mesmo de açúcares redutores nas raízes e parte aérea.

Um fato interessante que chamou a atenção foi a diminuição gradativa dos açúcares redutores na parte ao longo do ensaio, efeito esse independente da forma nitrogenada testada. Segundo *ALEXANDER (1965a)*, a cana-de-açúcar, possivelmente mais do que a maioria das plantas, tem a necessidade de metabolizar a glucose durante seus primeiros meses de crescimento e desenvolvimento. De acordo com *GLASZIOU (1961)*, a maturação do tecido de armazenamento vai acompanhado por um marcado incremento no conteúdo de sacarose e um concomitante decréscimo no teor de glucose e frutose. Por exemplo, nos entrenós 6 e 7 de plantas jovens da variedade H37/1933, o conteúdo de açúcares redutores foi 0,11M e o de sacarose de 0,05M. Em variedades comerciais, porém, a concentração de sacarose nos entrenós de plantas adultas foi aproximadamente 0,5M, enquanto que o conteúdo de açúcares redutores foi muito baixo (0,015M), havendo, portanto, uma inversão das formas acumuladas. Sendo a sacarose o principal carboidrato armazenado na cana-de-açúcar, ela tem de ser hidrolisada para fornecer açúcares mais simples que possam ser usados como fonte de energia e de esqueletos carbônicos durante a germinação e o crescimento. Assim, *SACHER, et alii (1963)*, relataram que o tecido imaturo da cana-de-açúcar contém altas quantidades de uma invertase ácida que é ativa a pH 5,0 - 5,5. A enzima está ausente nos tecidos de plantas mais maduras que contém alto teor de açúcares totais e baixo teor de açúcares redutores. Sugere-se, então, que esta enzima pode ser a responsável pela

hidrólise da sacarose nos tecidos de plantas jovens. Portanto, é possível que durante as primeiras semanas, quando o crescimento é muito ativo, a ação da invertase sobre a sacarose se deve ao aumento dos açúcares redutores. Este processo, porém, teria de ser inibido posteriormente quando a planta começasse a ser fotossinteticamente apta, passando, então, a acumular sacarose.

7. CONCLUSÕES

Nas plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp. cv. NA 56-79) cultivadas em solução nutritiva, há uma estreita relação entre a forma em que o nitrogênio é fornecido e o teor de compostos nitrogenados e carboidratos na planta. A interação entre o metabolismo dos carboidratos e compostos nitrogenados resulta em maior ou menor crescimento vegetal.

Das 3 fontes de nitrogênio testadas o nitrato produz um maior crescimento, pois tanto a raiz como a parte aérea apresentam um ganho progressivo de massa ao longo do tempo, enquanto que a uréia afeta negativamente o crescimento radicular. No nível de amônio utilizado (15 mM), há um efeito deletério sobre as raízes e parte aérea, indicando toxidez por esse íon.

A utilização de amônio ou uréia provoca um aumento de nitrogênio total, nitrogênio solúvel em álcool e NH_4^+ livre nas plantas quando comparados com o nitrato. Apesar disso, as diferentes fontes de nitrogênio não exercem efeito significativo sobre o conteúdo de uma fração importante dos compostos nitrogenados: as proteínas.

Tanto a uréia como o amônio favorecem um aumento significativo no teor total de ácido aspártico quando comparado com o nitrato. As 3 formas nitrogenadas não alteram o teor total de ácido glutâmico, ao contrário do que tem sido observado em inúmeras espécies vegetais.

A fonte de nitrogênio também influencia os níveis de carboidratos solúveis totais nas plantas de cana-de-açúcar. O amônio faz com que ocorra aumento no conteúdo de açúcares solúveis totais, porém, uma parte considerável dessa fração corresponde a açúcares redutores (açúcares simples) o qual é indesejável quando se procura uma maior produção de sacarose. Nesse caso, o nitrato mostra maior vantagem, pois além de promover um maior e mais harmonioso crescimento, os níveis de açúcares solúveis totais são comparativamente iguais aos conseguidos com amônio, mas o teor de açúcares redutores é menor do que em presença de amônio. Por outro lado, o amônio e uréia, sendo duas formas de nitrogênio reduzido, exercem efeitos comparativamente diferentes uma vez que em uréia as plantas, contêm menor conteúdo de açúcares solúveis totais do que em amônio. Entretanto, o crescimento em uréia é menos afetado do que em presença de amônio e, além disso, o teor de açúcares redutores também é menor em uréia, o que a coloca em melhor situação como fonte nitrogenada reduzida.

As conclusões tiradas no presente trabalho diferem daquelas obtidas em outros estudos comparativos de adubação nitrogenadas em cana-de-açúcar realizados em condições de campo. Portanto, os resultados e conclusões em cada caso são dependentes das condições experimentais testadas.

8. SUMMARY

Sugar cane plants (*Saccharum* spp. cv. NA 56-79) 18 days old, obtained by germination of buds of nodes were cultured in nutrient solution with nitrate, urea, ammonium or in a solution without nitrogen (control). The experiment was carried out in the Plant Biochemistry Section of the Center of Nuclear Energy for Agriculture, for a period of 7 weeks in a Conviron growth chamber at 28°C and photoperiod of 12 hours. Plants from all treatments were collected each week and divided into roots and shoots. Growth (green and dry matter), nitrogenous compounds and carbohydrates were determined in the samples.

Greater growth of sugar cane plants was obtained in the presence of nitrate. Urea had a deleterious effect on root growth whereas shoot growth was about the same as in nitrate solution. Plants with ammonium as the sole nitrogen source showed toxicity symptoms and, consequently, the growth of both roots and shoot was inhibited.

Ammonium-grown plants had the highest total nitrogen and protein contents in the roots. Furthermore, the alcohol soluble nitrogen fraction and free NH_4^+ values in the

shoots, were higher in these plants than in those in urea or nitrate. Shoots from urea-grown plants exhibited the highest levels of total nitrogen. The protein content in shoots was not influenced by any of the three nitrogen sources.

Roots and shoots from plants supplied with ammonium or urea showed higher levels of total aspartic acid than those supplied with nitrate.

The total soluble sugar content in both roots and shoots were statistically equal in ammonium and nitrate, or in nitrate and urea, but the plants in ammonium showed higher values than those in urea.

Ammonium promoted a greater increase in reducing sugar values in the roots and shoots than did nitrate or urea. Roots from plants grown in nitrate or urea did not show a statistically significant difference in the reducing sugar content. However in shoots a higher level was found in the plants supplied with nitrate than in those supplied with urea.

9. LITERATURA CITADA

- ALEXANDER, A.G., 1964. Sucrose enzyme relationships in immature sugar cane as affected by varying levels of nitrate and potassium supplied in sand culture. *J. Agric. Univ. P.R.*, 48:165-221.
- ALEXANDER, A.G., 1965a. Physiological studies of enzymes catalyzing the synthesis and hydrolysis of sucrose, starch and phosphorylated hexose in sugar cane. *J. Agric. Univ. P.R.*, 49:60-75.
- ALEXANDER, A.G., 1965b. Behavior of enzymes governing starch and sucrose-forming pathways in two sugar cane varieties supplied with variable nitrate and phosphate in sand culture. *J. Agric. Univ. P.R.*, 49:153-175.
- 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.
- ARNON, D.I., 1939. Effect of ammonium and nitrate nitrogen on the mineral composition and sap characteristics of Barley. *Soil Sci.*, 48:295-307.

- BARKEER, A.V., 1968. Ammonium interactions with proteins. *Biochim. Biophys. Acta*, 168:447-455.
- BARKEER, A.V., R.J. VOLK e W.A. JACKSON, 1965. Effects of ammonium and nitrate nutrition on dark respiration of excised bean leaves. *Crop Sci.*, 5:439-444.
- BARKEER, A.V., R.J. VOLK e W.A. JACKSON, 1966. Growth and nitrogen distribution patterns in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) subjected to ammonium nutrition. I- Effects of carbonates and acidity control. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30:228-232.
- BAUER, A., A.A. URQUHART e K.W. JOY, 1977. Amino acid metabolism of pea leaves: diurnal changes and amino acid synthesis from ¹⁵N-nitrate. *Plant Physiol.*, 59:915-919.
- BAYLEY, J.M., 1972. The effect of the source of inorganic nitrogen on growth and enzymes of nitrogen assimilation in soybean and wheat cells in suspension cultures. *Planta (Berl.)*, 105:15-24.
- BEAUMONT, A.B., W.S. EISENMENGER e W.J. MOORE, 1933. Assimilation of fixed nitrogen by grasses and clovers. *J. Agric. Res.*, 47:495-503.
- BECCARI, E., G. DAGNOLD, G. MORPURGO e F. POCCHIARI, 1969. Glucose and pyruvate metabolism in *Daucus carota* cells. *J. Exp. Bot.*, 20:110-112.
- BEEVERS, L. e R.H. HAGEMAN, 1969. Nitrate reduction in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 20:495-522.

- BENNETT, W.F., J. PESEK e J.J. HANWAY, 1964. Effects of nitrate and ammonium on growth of corn in nutrient solution sand culture. *Agron. J.*, 56:342-345.
- BLAIR, G.J., M.H. MILLER e W.A. MITCHELL, 1970. Nitrate and ammonium as sources of nitrogen for corn and their influence on the uptake of other ions. *Agron. J.*, 62:530-532.
- BOLLARD, E.G., 1959. Urease, urea and ureides in plants. *Symp. Soc. Exp. Biol.*, XIII:304-329.
- BORDEN, R.J., 1948. Nitrogen effects upon the yield and composition of sugar cane. *Hawaiian Plant Rec.*, 52:1-51.
- BROADBENT, F.E., G.N. HILL e K.B. TYLER, 1958. Transformation and movement of urea in soils. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 22:303-307.
- BURR, G.O., C.E. HARTT, H.W. BRODIE, T. TANIMOTO, H.P. KORTSCHAK, D. TAKAHASHI, F.M. ASHTON e R.E. COLEMAN, 1957. The sugarcane plant. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 8:275-308.
- CHRISTERSSON, L., 1972. The influence of urea and other nitrogen sources on growth rate of scots pine seedlings. *Physiol. Plant.*, 27:83-88.
- CLARK, H.E., 1936. Effect of ammonium and of nitrate nitrogen on the composition of the tomato plant. *Plant. Physiol.*, 11:5-24.

COURT, M.N., R.C. STEPHEN e J.S. WAID, 1964a. Toxicity as a cause of the inefficiency of urea as a fertilizer. *J. Soil Sci.*, 15:42-48.

COURT, M.N., R.C. STEPHEN e J.S. WAID, 1964b. Toxicity as a cause of the inefficiency of urea as a fertilizer. *J. Soil Sci.*, 15:49-65.

COX, W.J. e H.M. REISENAUER, 1973. Growth and ion uptake by wheat supplied nitrogen as nitrate, or ammonium, or both. *Plant Soil*, 38:363-380.

CROCOMO, O.J., 1959. Estudo sobre o metabolismo de uréia-¹⁴C aplicada às folhas de cafeeiro (*Coffea arabica*, var. Bourbon, B. Rodr., Choussy) normal e deficiente em nitrogênio. Piracicaba, ESALQ/USP, 83p. (Tese de Livre Docência).

CROCOMO, O.J., 1979. Assimilação do nitrogênio pelas plantas. In: Guimarães-Ferri, M. (Coord.). *Fisiologia Vegetal*. São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo, Vol. I, p.179-207.

DAS, U.K., 1936. Nitrogen nutrition of sugar cane. *Plant Physiol.*, 11:251-317.

DUBOIS, M., K.A. GILLES, J.K. HAMILTON, P.A. REBERS e F. SMITH, 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28:350-356.

EPSTEIN, E., 1975. Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas; tradução e notas de E. Malavolta. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo. 341p.

- FERNANDEZ-GARCÍA, R., 1927-1928. Annual Report of insular Experiment Station, Puerto Rico, p.84-85.
- GINÉ-ROSIAS, M.F., 1979. Determinação espectrofotométrica simultânea de nitrato e nitrito em águas e solos por injeção em fluxo contínuo. Piracicaba, ESALQ/USP, 70p. (Tese de Mestrado).
- GIVAN, C.V., 1979. Metabolic detoxification of ammonia in tissues of higher plants. *Phytochemistry*, 18:375-382.
- GLASZIOU, K.T., 1961. Accumulation and transformation of sugars in stalks of sugar cane. Origin of glucose and fructose in the inner space. *Plant Physiol.*, 36:175-179.
- GÓMEZ, J.F. e O. SÁNCHEZ, 1968. Fertilización nitrogenada en caña de azúcar. *Rev. ICA (Bogotá)*, 3:357-368.
- HANSEN, E.M., 1972. Studies on the chemical composition of isolated soil solution and the cation absorption by plants. I- Relationship between form and amount of added nitrogen and absorption of N, K, Na, Ca, and Mg by barley plants. *Plant Soil*, 37:589-607.
- HARTT, C.E., 1970. Effect of nitrogen deficiency upon translocation of ^{14}C in sugar cane. *Plant Physiol.*, 46:419-422.
- HAYNES, R.J. e K.M. GOH, 1978. Ammonium and nitrate nutrition of plants. *Biol. Rev.*, 53:465-510.
- HEWITT, E.J., 1975. Assimilatory nitrate-nitrite reduction. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 26:73-100.

- HUFFAKER, R.C. e D.W. RAINS, 1978. Factors affecting nitrate acquisition by plants; assimilation and fate of reduced nitrogen. In: Nielsen, D.R., e J.G. Mac Donald (Eds.). Nitrogen in the Environment. Academic Press, New York, Vol. II. p.1-43.
- HUMBERT, R.P., 1968. The growing of sugar cane. Elsevier, Amsterdam - London - New York. 779p.
- INGVERSEN, J. e S. IVANKO, 1971. Investigation of the assimilation of nitrogen by maize roots and the transport of some major nitrogen compounds by xylem sap. II- Incorporation of taken-up nitrogen into free amino acids and proteins of maize roots. *Physiol. Plant*, 24:199-204.
- IVANKO, S. e J. INGVERSEN, 1971. Investigation on the assimilation of nitrogen by maize roots and the transport of some major nitrogen compounds by xylem sap. I- Nitrate and ammonia uptake and assimilation in the major nitrogen fractions of nitrogen-starved maize roots. *Physiol. Plant.*, 24:59-65.
- JESSUP, W. e M.W. FOWLER, 1976. Interrelationships between carbohydrate metabolism and nitrogen assimilation in cultured plant cells. II- The effect of the nitrogen source and concentration on nutrient uptake and respiratory activity in cultured sycamore cells. *Planta (Berl.)*, 132:125-129.
- JESSUP, W. e M.W. FOWLER, 1977. Interrelationships between carbohydrate metabolism and nitrogen assimilation in cultured plant cells. III- Effect of the nitrogen source on the pattern of carbohydrate oxidation in cells of *Acer pseudoplatanus* L. grown in culture. *Planta (Berl.)*, 137:71-76.

KABAT, E.A. e M.M. MAYER, 1967. Experimental immunochemistry. 2a. Ed. Charles C. Thomas. Spring Field, p.560-563.

KANAZAWA, T., K. KANAZAWA, M.R. KIRK e J. BASSHAM, 1972. Regulatory effects of ammonia on carbon metabolism in *Chlorella pyrenoidosa* during photosynthesis and respiration. *Biochim. Biophys. Acta*, 256:656-669.

KAPLAN, A., 1969. The determination of urea, ammonia, and urease. In: Glick, D. (Ed.). Methods of Biochemical Analysis. Interscience, New York. Vol. 17:311-324.

KARIM, A.O. e J. VLAMIS, 1962. Comparative study of the effects of ammonium and nitrate nitrogen in the nutrition of rice. *Plant Soil.*, 16:32-41.

KIRBY, E.A. e K. MENGEL, 1967. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. *Plant Physiol.*, 42:6-14.

KLEPPER, L., D. FLESHER e R.H. HAGEMAN, 1971. Generation of reduced nicotinamide adenine dinucleotide for nitrate reduction in green leaves. *Plant Physiol.*, Lancaster, 48:580-590.

KROGMANN, D.W., A.T. JADENDORF e A. MORDHAY, 1959. Uncouplers of spinach chloroplast photosynthetic phosphorylation. *Plant Physiol.*, 34:273-276.

LÓPEZ-DOMINGUEZ, F.A., 1923. Fertilizer experiments on sugar cane. Insular Experiment Station, Bull., nº 29.

LORENZ, H., 1976a. Free amino acids in tomato plants in relation to form and concentration of nitrogen in the rooting medium. *Plant Soil*, 45:163-168.

- LORENZ, H., 1976b. Nitrate, ammonium and amino acids in the bleeding sap of tomato plants in relation to form and concentration of nitrogen in the medium. *Plant Soil*, 45:169-175.
- LOW, A.J. e F.J. PIPER, 1961. Urea as fertilizer. *J. Agric. Sci.*, 57:249-255.
- 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. e R.B. CARSON, 1965. Effect of source and rate of N and K on the yield and chemical composition of alfafa and orchard-grass. *Can. J. Plant Sci.*, 45:557-569.
- MAGALHÃES, A.C., C.A. NEYRA e R.H. HAGEMAN, 1974. Nitrite assimilation and amino nitrogen synthesis in isolated spinach chloroplasts. *Plant Physiol.*, Lancaster, 53:411-415.
- MARTIN, P., 1970. Pathway of translocation of ^{15}N from labelled nitrate or ammonium in kidney bean plants. In: Kirby, E.A. (Ed.). Nitrogen nutrition of the Plant. The Univ. of Leeds. p.104-112.
- MARWAHA, R.S. e B.O. JULIANO, 1976. Aspects of nitrogen metabolism in the rice seedlings. *Plant Physiol.*, 57:923-927.
- McFEE, W.W. e E.L. STONE, 1968. Ammonium and nitrate as nitrogen sources for *Pinus radiata* and *Picea glauca*. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:879-884.

- McGEORGE, W.T., 1923. The assimilation of nitrogen by sugar cane, nitrates vs. ammonium salts. *Planter's Rec.*, 27:347-352.
- MÉNDEZ, F. e F. CHARDON, 1940. Annual Raport of Agricultural Experiment Station, Puerto Rico, p.27-28.
- MENGEL, K. e A. KIRBY, 1978. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Berne. 593p.
- MICHAEL, G., H. SCHUMACHER e H. MARSCHNER, 1965. Uptake of ammonium and nitrate nitrogen from labelled ammonium nitrate and their distribution in the plant. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk.*, 110:225-238.
- MIFLIN, B.J. e P.J. LEA, 1976. The pathway of nitrogen assimilation in plants. *Phytochemistry*, 15:873-885.
- MOORE, R. e C.C. BLACK JR., 1979. Nitrogen assimilation pathways in leafmesophyll and bundle sheath cells of C₄ photosynthesis plants formulated from comparative studies with *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. *Plant Physiol.*, 64:309-313.
- MOORE, C.W.E. e K. KERAITIS, 1971. Effect of nitrogen source on growth of eucalyptus in sand culture. *Aust. J. Bot.*, 19:125-141.
- MUHAMMAD, S. e K. KUMAZAWA, 1974a. Assimilation and transport of nitrogen in rice. I- ¹⁵N-labelled ammonium nitrogen. *Plant Cell Physiol.*, 15:747-758.
- MUHAMMAD, S. e K. KUMAZAWA, 1974b. Assimilation and transport of nitrogen in rice. II- ¹⁵N-labelled nitrate nitrogen. *Plant Cell Physiol.*, 15:759-766.

NELSON, N., 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for determination of glucose. *J. Biol. Chem. (Baltimore)*, 153:375-380.

NIELSEN, K.F. e R.K. CUNNINGHAM, 1964. The effect of soil temperature and form and level of nitrogen on growth and chemical composition of italian ryegrass. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:213-218.

OAKS, A., M. ASLAM e I. BOESEL, 1977. Ammonium and amino acids as regulators of nitrate reductase in corn roots. *Plant Physiol.*, 59:391-394.

OJI, Y. e G. IZAWA, 1972. Quantitative changes of free amino acids and amides in barley plants during ammonia and nitrate assimilation. *Plant Cell Physiol.*, 13:249-259.

PATE, J.S., 1971. Movement of nitrogenous solutes in plant. Nitrogen-15 in Soil-Plant studies. p.165-187. IAEA.

PATE, J.S., 1973. Uptake, assimilation and transport of nitrogen compounds by plants. *Soil Biol. Biochem.*, 5:109-119.

PUCHER, G.W., CH. S. LEAVENWORTH, W.D. GINTER e H.B. VICKERY, 1947. Studies in the metabolism of crassulacean plants; the effects upon the composition of *Byophyllum calycinum* of the form in which nitrogen is supplied. *Plant Physiol.*, 22:205-227.

RABINDRANATH, P., A.V. BARKER e D.N. MAYNARD, 1972. Effects of ammonium and potassium ions on some physiological and biochemical processes of excised cucumber cotyledons. *Physiol. Plant.*, 27:32-36.

- RAO, K.P. e D.W. RAINS, 1976. Nitrate absorption by barley. *Plant Physiol.*, 57:55-58.
- REINBOTHE, H. e K. MOTHEs, 1962. Urea, ureides and guanidines in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 13:129-150.
- REISENAUER, H.M., 1978. Absorption and utilization of ammonium nitrogen by plants. In: Nielsen, D.R. e J.G. MacDonald (Eds.). Nitrogen in the environment. Academic Press, New York. Vol. II. p.157-170.
- RICHTER, R. e W. DIJKSHOORN, 1975. Amino acids of barley plants in relation to nitrate, urea or ammonium nutrition. *Plant Soil*, 42:601-618.
- SACHER, J.A., M.D. HATCH e K.T. GLASZIOU, 1963. Sugar accumulation cycle in sugar cane. III- Physical and metabolic aspects of cycle in immature storage tissues. *Plant Physiol.*, 38:348-354.
- SAMUELS, G., 1956. The efficiency of sugarcane in its use of nitrogen fertilizer applications. *J. Agric. Univ. P.R.*, 40:209-217.
- SAMUELS, G. e P. LANDRAU JR., 1952. The response of sugar cane to fertilizers. *J. Agric. Univ. P.R.*, 36:203-229.
- SAMUELS, G., M.A. LUGO LÓPEZ e P. LANDRAU JR., 1952a. Factors affecting the sucrose content of sugarcane: fertilizers. *J. Agric. Univ. P.R.*, 36:194-202.
- SAMUELS, G., P. LANDRAU JR., e B.G. CAPÓ, 1952b. The response of sugarcane in Puerto Rico to various nitrogen sources. *J. Agric. Univ. P.R.*, 36:231-239.

SARRUGE, J.R., 1975. Soluções nutritivas. *Summa Phytopatol.*, 1:231-233.

SCHRADER, L.E., 1978. Uptake, accumulation and transport of nitrogen in higher plants. In: Nielsen, D.R. e J.G. MacDonald (Eds.). Nitrogen in the environment. Academic Press. New York. Vol. II. p.101-141.

SHANNON, J.C., 1963. A procedures for the extraction and fractionation of carbohydrates from immature *Zea mays* kernels. *Purdue University Res. Bull.*, 842. 8p.

SILVEIRA, J.A.G. e O.J. CROCOMO, 1980. Biochemical and physiological aspects of sugarcane (*Saccharum* spp.). I- Effects of NO_3^- -nitrogen concentration on the metabolism of sugars and nitrogen. *Energ. Nucl. Agric.*, Piracicaba. (no prelo).

STEWART, F.C. e J.K. POLLARD, 1957. Nitrogen metabolism in plants: ten years in retrospect. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 8:65-114.

STEWART, G.R., E.C. THOMAS e J. HORNER, 1925. The comparative growth of pineapple plants with ammonia and nitrate nitrogen. *Soil Sci.*, 20:227-241.

TAKAHASHI, D.T., 1959. Six years studies on nitrogen utilization by sugar cane plant using ^{15}N as a tracer. *Proc. 10th Congr. ISSCT.* p.377-390.

TIEDJENES, V.A., 1934. Factors affecting assimilation of ammonium and nitrate nitrogen, particularly in tomato and apple. *Plant Physiol.*, 9:31-57.

- van den DRIESSE*, R., 1971. Response of conifer seedlings to nitrate and ammonium sources of nitrogen. *Plant Soil*, 34:421-439.
- VINES*, H.M. e R.T. *WEDDING*, 1960. Some effects of ammonia on plant metabolism and a possible mechanism for ammonia toxicity. *Plant Physiol.*, 35:820-825.
- WALLACE*, A. e R.T. *ASHCROFT*, 1956. Preliminary comparisons of the effects of urea and other nitrogen sources on the mineral composition of rough lemon and bean plants. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 68:227-233.
- WARNCKE*, D.D. e S.A. *BARBER*, 1973. Ammonium and nitrate uptake by corn (*Zea mays* L.) as influenced by nitrogen concentration and $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio. *Agron. J.*, 65:950-953.
- WEATHERBURN*, M.W., 1967. Phenol hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Anal. Chem.*, 39:971-974.
- WEISSMAN*, G.S., 1959. Influence of ammonium and nitrate on the protein and free-amino acids in shoots of wheat seedlings. *Am. J. Bot.*, 46:339-346.
- WEISSMAN*, G.S., 1972. Influence of ammonium and nitrate nutrition on enzymatic activity in soybean and sunflower. *Plant Physiol.*, 49:138-141.
- WRIGHT*, M.J. e K.L. *DAVISON*, 1964. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. *Adv. Agron.*, 16:197-247.
- YONEMA*, T. e K. *KUMAZAWA*, 1974. A kinetic study of the assimilation of ^{15}N -labelled ammonium in rice seedlings roots. *Plant Cell Physiol.*, 15:655-661.

YONEMA, T. e K. KUMAZAWA, 1975. A kinetic study of the
assimilation of ^{15}N -labelled nitrate in rice seedlings.
Plant Cell Physiol., 16:21-26.

10. A P È N D I C E

Tabela 2 - Efeito do nitrato, amônio e uréia sobre os valores de matéria fresca das raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

SEMANAS DE TRATAMENTO	M A T É R I A F R E S C A (g)									
	R A I Z					P A R T E A É R E A				
	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO	URÉIA	AMÔNIO
1	1,65	1,87	1,93	1,25	3,00	3,47	3,76	2,59	3,76	2,59
2	1,47	1,93	1,63	1,13	4,56	3,13	3,85	2,94	3,85	2,94
3	2,05	2,58	1,22	1,67	3,93	4,15	4,09	4,14	4,09	4,14
4	2,61	3,12	2,41	1,20	4,95	7,06	5,96	3,13	5,96	3,13
5	2,89	2,96	1,95	1,64	5,03	5,98	6,41	4,37	6,41	4,37
6	3,31	3,44	2,55	1,77	5,07	7,90	7,53	3,93	7,53	3,93
7	4,07	3,04	2,64	1,70	5,24	8,69	7,16	4,33	7,16	4,33
MÉDIAS DOS TRATAMENTOS:	2,56	2,71	2,05	1,48	4,54	5,77	5,54	3,63	5,54	3,63
Δ(D.M.S.)	(MÉDIAS DOS TRATAMENTOS): 0,49 (MÉDIAS DENTRO DE CADA TRATAMENTO): 1,19 : 1,27 : 2,54									
TESTE F:	11,46**	4,67**	3,43**	0,942	1,82	13,77**	7,27**	1,49	7,27**	1,49
	TESTE F (TRATAMENTOS): 19,18** C.V. (TRATAMENTOS) : 40,31% TESTE F (TRATAMENTOS): 19,29** C.V. (TRATAMENTOS): 32,12%									

Os valores de matéria fresca das raízes e parte aérea são as médias de 7 plantas.

** : Significativo a nível de 1%; Δ = Diferença mínima significativa (Teste Tukey 5%).

C.V.: Coeficiente de variação.

Tabela 3 - Influência do nitrato, uréia e amônio sobre a produção de matéria seca em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

SEMANAS DE TRATAMENTO	M A T É R I A S E C A (g)							
	R A I Z			P A R T E A É R E A				
	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO
1	0,136	0,088	0,158	0,160	0,310	0,412	0,438	0,276
2	0,125	0,102	0,089	0,098	0,546	0,326	0,484	0,391
3	0,132	0,155	0,068	0,141	0,558	0,472	0,457	0,543
4	0,185	0,179	0,140	0,075	0,721	0,861	0,670	0,423
5	0,182	0,188	0,099	0,115	0,774	0,696	0,723	0,554
6	0,253	0,274	0,156	0,158	0,706	0,973	0,876	0,651
7	0,284	0,205	0,170	0,108	0,732	0,987	0,863	0,625
MÉDIAS DOS TRATAMENTOS:	0,185	0,170	0,126	0,122	0,621	0,675	0,644	0,495
Δ (D.M.S.)	(MÉDIAS DOS TRATAMENTOS): 0,045							
	(MÉDIAS DENTRO DE CADA TRATAMENTO): 0,115							
TESTE F:	5,29	5,45**	2,15*	1,39	3,80**	10,83**	5,06**	2,65*
	TESTE F (TRATAMENTOS): 7,45**							TESTE F (TRATAMENTOS): 7,19**
	C.V. (TRATAMENTOS): 53,98%							C.V. (TRATAMENTOS): 33,98%

Os valores de matéria seca das raízes e parte aérea são as médias de 7 plantas.

**,*: Significativo a nível de 1 e 5%, respectivamente.

Δ: Diferença mínima significativa (Teste Tukey 5%).

C.V.: Coeficiente de variação.

Tabela 4 - Percentagens de nitrogênio total na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva contendo nitrato, uréia ou amônio.

SEMANAS DE TRATAMENTO	N - T O T A L (%)									
	R A I Z					P A R T E A É R E A				
	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO		
1	0,88	1,35	1,54	1,51	1,92 ^b	2,04 ^b	2,15 ^b	2,26 ^b		
2	1,00	1,71	2,49	2,40	1,62	1,77	2,33	2,14		
3	1,06	2,17	2,31	2,53	1,59	1,93	2,57	2,28		
4	1,23	2,20	2,99	2,94	1,48	1,74	2,98	2,77		
5	1,65	2,35	4,02	3,93	1,30	1,90	3,26	2,83		
6	1,50	2,90	4,73	4,84	1,20	2,07	3,32	2,59		
7	1,92	2,71	3,46 ^a	4,79 ^a	1,28	2,27	3,33 ^c	2,92 ^c		
MÉDIAS DOS TRATAMENTOS:	1,32	2,20	3,08	3,28	1,41	1,95	2,96	2,59		
Δ (D.M.S.)	(MÉDIA DOS TRATAMENTOS): 0,164									
	(MÉDIAS DENTRO DE CADA TRATAMENTO): 0,644									
TESTE F:	6,59**	13,22**	54,05**	74,32**	2,37*	3,12*	14,16**	7,86*		
	TESTE F (TRATAMENTOS): 610,25**									
	C.V. (TRATAMENTOS): 6,74%									
	TESTE F (TRATAMENTOS): 361,05**									
	C.V. (TRATAMENTOS): 7,94%									

As percentagens de N-total representam as médias de 3 valores no caso da raiz (2 grupos de duas plantas e outro de 4 plantas, ou no caso a com 2 grupos de duas plantas e outro de 3 plantas) e de 4 valores para a parte aérea (4 grupos de duas plantas, exceto em c com 3 grupos de duas plantas e um de uma planta). b: dados não incluídos na análise estatística por serem as médias de apenas 2 valores.

** e *: Significativo a nível de 1 e 5%, respectivamente; Δ: Diferença mínima significativa (Teste Tu key 5%); C.V.: Coeficiente de variação.

Tabela 5 - Efeito do nitrato, uréia e amônio sobre o teor de nitrogênio solúvel na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

SEMANAS DE TRATAMENTO	NITROGÊNIO SOLÚVEL ($\mu\text{g N}/100 \text{ mg m.s.}$)									
	R A I Z					P A R T E A É R E A				
	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO	URÉIA	AMÔNIO
1	33,42	66,33	69,67	90,33	48,50 ^b	70,75 ^b	77,00 ^b	86,00 ^b		
2	42,50	66,67	90,00	107,00	45,50	38,00	76,25	71,00		
3	41,92	56,00	108,67	115,00	51,87	40,00	120,12	111,75		
4	43,75	47,33	127,33	131,00	30,19	33,31	128,12	173,00		
5	62,67	53,67	150,00	142,33	35,00	35,19	133,75	173,25		
6	34,42	63,00	154,00	146,33	22,50	24,50	115,75	175,25		
7	37,33	36,67	105,33 ^a	154,67 ^a	23,87	22,49	147,25 ^c	250,50 ^c		
Δ (D.M.S.): (MÉDIAS DOS TRATAMENTOS): 10,09 : 19,93 (MÉDIAS DENTRO DE CADA TRATAMENTO): 29,37 : 47,72										
TESTE F: 2,14 2,65* 20,95** 12,02** 1,06 0,39 4,45** 28,90**										
TESTE F (TRATAMENTOS): 357,49** TESTE F (TRATAMENTOS): 177,92** C.V. (TRATAMENTOS): 12,02% C.V. (TRATAMENTOS): 26,85%										

Para explicação dos dados ver Tabela 4.

Tabela 6 - Influência do nitrato, uréia e amônio sobre o conteúdo de NH_4^+ livre na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva.

SEMANAS DE TRATAMENTO	NH_4^+ LIVRE ($\mu\text{g N}/100 \text{ mg m.s.}$)							
	R A I Z			P A R T E A É R E A				
	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO
1	7,08	11,87	30,00	45,27	5,75 ^b	4,37 ^b	10,62 ^b	18,75 ^b
2	5,83	12,91	25,83	81,85	5,53	4,50	15,19	22,50
3	5,62	6,66	44,58	87,30	4,81	2,94	30,31	37,50
4	5,42	5,00	51,25	105,45	3,03	4,09	40,31	107,50
5	6,46	5,21	54,17	81,47	3,65	2,65	52,19	130,12
6	4,79	7,29	62,08	105,70	3,81	2,69	50,94	211,25
7	5,62	6,04	41,67 ^a	99,06 ^a	3,97	2,72	77,50 ^c	394,37 ^c
MÉDIAS DOS TRATAMENTOS:	5,83	7,85	44,23	86,59	4,13	3,26	44,40	150,54
Δ (D.M.S.)	(MÉDIAS DOS TRATAMENTOS): 10,03						: 18,01	
	(MÉDIAS DENTRO DE CADA TRATAMENTO): 30,59						: 88,54	
TESTE F:	0,01	0,21	3,43**	8,91**	0,001	0,001	1,00	41,75**
	TESTE F (TRATAMENTOS): 294,48**						TESTE F (TRATAMENTOS): 261,44**	
	C.V. (TRATAMENTOS): 28,08%						C.V. (TRATAMENTOS): 41,53%	

Para explicação dos dados ver Tabela 4.

Tabela 7 - Conteúdo de uréia nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva contendo uréia.

SEMANAS DE TRATAMENTO	URÉIA ($\mu\text{g N}/100 \text{ mg m.s.}$)	
	R A I Z	PARTE AÉREA
1	1,67	1,87 ^b
2	-1,67	-0,50
3	-0,42	-1,31
4	1,25	3,44
5	-1,67	0,31
6	-7,92	-2,81
7	-1,69 ^a	-0,62

Os valores de uréia foram calculados pela diferença entre o teor de NH_4^+ total após a hidrólise com urease e o NH_4^+ registrado antes desse tratamento.

Os resultados das raízes representam as médias de 3 determinações (2 grupos de duas plantas e 1 de quatro plantas ou de três plantas como em a) ou de 4 no caso da parte aérea (4 grupos de duas plantas) com exceção de b que é a média de duas determinações.

Tabela 8 - Teor de nitrato nas raízes e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva contendo nitrato.

SEMANAS DE TRATAMENTO	NO ₃ ⁻ (µg N/100 mg m.s.)	
	R A I Z	PARTE AÉREA
1	119,17 ± 4,19*	7,5 ± 0,71 ^a
2	104,00 ± 2,49	6,0 ± 0,31
3	90,67 ± 2,84	12,75 ± 3,62
4	85,33 ± 4,12	19,62 ± 3,73
5	114,83 ± 9,04	60,75 ± 2,65
6	102,67 ± 4,25	93,00 ± 3,32
7	96,33 ± 3,57	121,87 ± 7,82

Os resultados de nitrato representam as médias de 3 repetições para as raízes e de 4 para a parte aérea, exceto a com 2 valores.

*: Erro padrão da média.

Tabela 9 - Conteúdo de proteína na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar supridas com nitrato, uréia ou amônio em solução nutritiva.

SEMANAS DE TRATAMENTO	PROTEÍNA (mg/100 mg m.s.)									
	R A I Z					PARTE AÉREA				
	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO	AMÔNIO	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO	AMÔNIO
1	13,44	14,92	14,06	13,64	13,64	14,06 ^b	14,53 ^b	15,62 ^b	14,69 ^b	14,69 ^b
2	15,42	15,10	18,85	15,52	15,52	14,69	14,37	14,61	14,61	14,61
3	16,98	15,42	17,60	17,29	17,29	15,00	15,55	15,86	14,76	14,76
4	18,54	16,98	19,58	18,85	18,85	14,14	14,92	15,39	14,37	14,37
5	19,27	16,67	21,77	19,37	19,37	14,61	14,30	15,62	14,61	14,61
6	19,69	17,71	22,29	22,19	22,19	14,30	14,30	15,31	16,48	16,48
7	19,89	18,75	19,06 ^a	22,92 ^a	22,92 ^a	13,83	15,70	14,84 ^c	16,95 ^c	16,95 ^c
MÉDIAS DOS TRATAMENTOS:	17,60	16,50	19,03	18,54	18,54	14,43	14,86	15,27	15,30	15,30
Δ (D.M.S.)	(MÉDIAS DOS TRATAMENTOS): 1,33									
	(MÉDIAS DENTRO DE CADA TRATAMENTO): 3,68									
TESTE F:	8,37**	2,90*	10,57**	15,88**	15,88**	0,66	1,52	0,82	4,59**	4,59**
	TESTE F (TRATAMENTOS): 14,37**									
	C.V. (TRATAMENTOS): 7,51%									
									TESTE F (TRATAMENTOS): 6,81**	
									C.V. (TRATAMENTOS): 5,16%	

A explicação dos dados se encontra na Tabela 4.

Tabela 10 - Aminoácidos totais na raiz de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva contendo nitrato.

AMINOÁCIDOS (µmoles/16 g N)	S E M A N A S D E T R A T A M E N T O						
	1	2	3	4	5	6	7
Lisina	18,55	18,56	19,16	18,86	19,74	23,71	14,32
Histidina	8,56	8,28	7,72	7,14	9,15	8,85	7,16
Arginina	7,71	7,99	11,15	11,71	11,44	17,17	11,74
Ác. Aspártico	102,48	97,37	66,93	70,00	65,50	85,97	89,63
Treonina	23,41	25,70	26,60	27,71	26,89	30,56	16,32
Serina	22,26	23,13	22,02	22,00	21,74	27,99	16,61
Ác. Glutâmico	52,24	56,54	58,35	77,43	50,06	63,12	63,29
Prolina	20,55	20,27	21,45	17,43	12,87	22,56	40,38
Glicina	50,33	53,97	62,64	59,71	75,23	59,70	42,38
Alanina	61,37	59,68	58,92	53,43	64,64	64,55	57,56
Valina	23,98	24,27	25,17	23,14	42,33	28,28	22,33
Metionina	4,28	4,57	4,86	4,57	4,29	5,43	2,86
Isoleucina	19,41	19,99	20,31	22,86	18,88	25,99	15,75
Leucina	37,39	37,12	38,33	42,28	38,04	50,56	28,35
Tirosina	8,85	9,42	9,44	8,57	8,58	8,85	8,88
Fenilalanina	15,13	15,70	16,30	16,57	16,02	16,57	12,88
Amônia	309,73	285,84	283,47	282,28	309,78	318,76	278,06
TOTAL	786,43	768,39	752,82	765,69	795,18	858,62	728,50

Os teores de aminoácidos totais correspondem ao valor de uma dosagem em material de um grupo de 8 plantas.

Tabela 11 - Teor de aminoácidos totais na raiz de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva contendo uréia.

AMINOÁCIDOS (µmoles/16 g N)	S E M A N A S D E T R A T A M E N T O						
	1	2	3	4	5	6	7 ^a
Lisina	18,26	13,70	18,84	24,03	25,77	26,08	25,09
Histidina	7,42	5,14	9,42	8,01	8,88	9,46	8,27
Arginina	7,70	9,91	11,13	17,45	17,18	18,91	17,96
Ác. Aspártico	156,39	99,34	62,53	98,42	110,82	106,62	99,80
Treonina	21,40	16,56	24,27	33,47	29,21	31,81	33,65
Serina	18,83	13,70	20,27	29,47	23,19	21,21	23,09
Ác. glutâmico	62,50	44,53	57,97	66,38	65,86	71,37	63,02
Prolina	18,55	37,11	14,56	26,89	22,05	24,36	25,95
Glicina	46,52	38,25	77,67	68,38	73,02	80,25	78,98
Alanina	55,08	44,25	70,53	78,68	71,02	78,82	76,13
Valina	20,26	17,13	45,12	26,32	28,35	30,95	26,52
Metionina	3,71	2,57	4,00	6,01	4,58	5,16	4,85
Isoleucina	15,12	12,56	21,99	24,03	28,06	29,81	28,51
Leucina	31,96	25,12	37,12	47,78	56,99	53,60	45,34
Tirosina	7,13	5,99	8,28	14,02	14,03	14,33	14,26
Fenilalanina	12,56	10,85	15,42	19,45	26,63	25,51	21,95
Amônia	352,17	226,66	305,82	297,57	319,01	337,63	326,20
TOTAL	855,56	623,37	802,94	886,34	924,65	965,88	919,57

Os valores de aminoácidos totais correspondem ao teor registrado em uma dosagem no material de um grupo de 8 plantas, exceto em a com 7 plantas.

Tabela 12 - Aminoácidos totais na raiz de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva com amônio.

AMINOÁCIDOS (mmoles/16 g N)	S E M A N A S D E T R A T A M E N T O						
	1	2	3	4	5	6	7 ^a
Lisina	17,70	18,85	20,86	19,15	22,27	21,99	28,54
Histidina	9,99	9,42	9,14	8,86	10,28	10,85	12,27
Arginina	7,71	9,14	10,00	8,86	10,85	10,56	8,56
Ác. Aspártico	174,47	106,25	92,02	106,03	85,38	80,24	72,77
Treonina	19,70	25,99	26,86	20,29	28,55	28,27	26,82
Serina	18,27	26,85	27,43	20,01	26,27	25,70	20,26
Ác. Glutâmico	47,69	59,98	54,87	58,01	60,25	63,11	66,21
Prolina	16,27	19,99	24,01	22,86	23,70	23,70	27,11
Glicina	44,26	45,70	55,16	54,59	59,11	59,97	71,63
Alanina	52,54	53,98	60,59	57,16	59,68	63,11	60,79
Valina	18,27	25,13	23,43	22,29	31,12	25,41	32,25
Metionina	2,57	2,85	4,00	3,43	2,85	3,14	1,99
Isoleucina	16,56	20,28	24,01	20,00	23,41	22,84	24,83
Leucina	31,41	25,99	43,44	34,29	44,83	45,12	46,23
Tirosina	6,85	7,99	12,00	8,29	10,85	11,71	10,27
Fenilalanina	12,28	14,28	18,00	17,15	17,13	17,99	20,55
Amônia	400,91	302,20	278,65	314,66	263,85	288,69	370,15
TOTAL	897,45	774,87	784,47	795,93	780,38	802,40	901,23

Os teores de aminoácidos representam o valor de uma dosagem em material de 8 plantas, exceto em a com 7 plantas.

Tabela 13 - Aminoácidos totais na raiz de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva sem nitrogênio (controle).

AMINOÁCIDOS (mmoles/16 g N)	S E M A N A S D E T R A T A M E N T O						
	1	2	3	4	5	6	7
Lisina	20,30	17,14	22,58	29,96	19,99	18,86	25,44
Histidina	9,43	8,57	11,51	12,56	9,99	8,86	10,29
Arginina	8,57	8,00	8,86	15,12	11,42	8,29	15,44
Ác. Aspártico	92,34	166,00	88,33	86,19	77,38	106,03	66,89
Treonina	24,87	20,28	22,58	41,67	27,70	20,29	32,30
Serina	25,44	20,00	22,87	41,95	26,27	21,43	25,73
Ác. glutâmico	54,60	45,14	64,03	83,62	63,11	51,44	81,76
Prolina	27,73	13,71	24,01	30,82	19,99	20,29	27,73
Glicina	54,60	41,43	56,89	79,91	57,11	57,44	81,47
Alanina	57,74	55,71	57,46	80,76	55,97	62,59	77,19
Valina	25,44	16,57	25,16	34,53	25,41	25,15	25,44
Metionina	2,86	2,57	2,57	4,28	3,14	2,86	4,00
Isoleucina	22,01	16,28	23,15	33,39	21,99	16,86	31,16
Leucina	44,60	31,71	50,60	50,51	45,97	39,72	44,60
Tirosina	9,72	7,14	16,86	14,84	11,71	13,72	11,43
Fenilalanina	16,87	11,43	17,44	23,69	15,13	17,43	22,58
Amônia	281,30	371,71	257,57	227,74	271,56	302,37	283,30
TOTAL	770,42	853,39	772,11	891,54	723,86	793,63	866,75

Os teores de aminoácidos correspondem a apenas uma dosagem no material de um grupo de 8 plantas.

Tabela 14 - Teor de aminoácidos totais na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva contendo nitrato.

AMINO ÁCIDOS (μ moles/16 g N)	S E M A N A S D E T R A T A M E N T O						
	1	2	3	4	5	6	7
Lisina	23,96	24,53	20,56	13,13	19,23	23,41	16,02
Histidina	9,13	11,98	9,14	5,14	6,79	9,71	7,44
Arginina	24,53	22,82	19,99	11,42	19,23	28,85	17,16
Ác. Aspártico	120,93	101,54	63,39	35,41	61,08	131,35	64,64
Treonina	32,51	31,94	22,27	11,99	27,15	27,41	28,03
Serina	33,65	31,37	24,56	15,42	27,71	33,12	28,03
Ác. Glutâmico	69,02	68,45	58,25	34,84	55,43	74,81	57,78
Prolina	41,07	30,80	137,63	20,56	131,79	35,41	26,89
Glicina	71,88	75,30	61,11	39,98	59,95	67,96	58,35
Alanina	66,74	66,17	56,54	34,84	57,69	61,11	53,77
Valina	32,51	26,24	34,84	18,27	31,67	34,84	25,17
Metionina	5,70	-	-	-	-	5,71	-
Isoleucina	29,66	31,37	28,55	15,42	25,45	34,84	21,74
Leucina	63,32	63,32	57,11	27,41	55,43	57,68	51,49
Tirosina	18,25	17,11	15,42	8,57	15,84	17,13	13,73
Fenilalanina	26,81	30,23	25,13	14,85	32,15	25,70	21,74
Amônia	205,93	237,31	114,22	103,37	108,03	205,02	265,44
TOTAL	875,60	870,48	748,71	410,62	734,64	874,06	757,42

Os teores de aminoácidos representam o valor de apenas uma dosagem em material de um grupo de 8 plantas.

Tabela 15 - Teor de aminoácidos totais na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em presença de uréia.

AMINOÁCIDOS (nmoles/16 g N)	S E M A N A S D E T R A T A M E N T O						
	1	2	3	4	5	6	7 ^a
Lisina	22,65	22,34	22,27	13,98	22,26	11,76	11,46
Histidina	8,89	8,58	8,56	5,14	8,56	4,88	4,58
Arginina	15,77	17,17	16,55	11,42	19,41	11,47	9,17
Ác. Aspártico	200,40	254,36	138,17	176,37	186,36	105,85	114,04
Treonina	20,36	20,31	21,98	17,41	25,40	11,19	12,03
Serina	28,96	28,33	23,12	19,69	27,97	14,63	13,18
Ác. glutâmico	58,20	57,51	68,51	58,79	72,49	42,46	39,54
Prolina	22,94	25,18	22,84	19,98	32,25	17,21	14,33
Glicina	50,17	50,64	57,09	47,95	56,22	31,27	28,65
Alanina	44,44	19,74	61,95	48,80	60,79	34,71	34,10
Valina	18,35	20,03	25,69	19,98	25,11	11,19	12,89
Metionina	2,29	2,86	2,28	2,28	3,42	-	-
Isoleucina	21,50	19,74	22,27	12,84	22,55	12,91	11,17
Leucina	40,14	42,63	47,10	34,53	49,09	25,82	24,07
Tirosina	14,33	14,31	11,70	9,99	18,55	5,45	6,30
Fenilalanina	15,77	17,74	18,56	13,70	22,55	7,17	10,32
Amônia	262,04	285,55	307,74	290,81	277,11	230,06	223,78
TOTAL	847,30	902,02	739,36	803,66	930,09	578,03	569,61

Os dados de aminoácidos correspondem a uma dosagem em material de um grupo de 8 plantas, exceto em a com 7 plantas.

Tabela 16 - Aminoácidos totais na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar mantidas em solução nutritiva contendo amônio como fonte de nitrogênio.

AMINOÁCIDOS (μ moles/16 g N)	S E M A N A S D E T R A T A M E N T O						
	1	2	3	4	5	6	7 ^a
Lisina	23,99	23,39	23,97	15,92	16,23	22,67	21,40
Histidina	9,14	8,84	8,85	6,82	6,83	7,17	8,85
Arginina	17,42	17,11	16,55	13,08	12,53	17,50	13,94
Ác. Aspártico	143,06	148,60	125,29	168,04	167,71	114,20	130,99
Treonina	25,99	25,39	25,68	17,91	17,94	19,80	21,40
Serina	25,70	25,96	24,54	19,62	20,50	22,67	22,83
Ác. Glutâmico	61,96	57,05	61,36	54,31	54,67	72,02	63,35
Prolina	25,99	22,82	23,12	19,62	20,21	20,37	22,54
Glicina	43,12	43,07	45,95	42,08	43,28	58,54	56,79
Alanina	46,26	51,34	52,51	45,49	45,84	59,97	57,08
Valina	22,84	23,67	24,26	15,66	18,22	23,24	22,54
Metionina	2,86	3,14	3,71	-	-	2,87	2,28
Isoleucina	14,56	14,26	18,55	17,06	15,66	19,80	17,41
Leucina	43,12	41,36	40,24	36,96	33,60	49,07	45,09
Tirosina	14,28	13,41	11,99	8,53	9,68	8,61	10,84
Fenilalanina	17,42	14,26	16,27	15,64	14,24	18,94	17,41
Amônia	342,66	316,89	362,44	284,62	281,89	286,66	288,53
TOTAL	880,37	850,56	885,28	781,05	779,03	824,10	823,27

Cada valor de aminoácidos totais corresponde a uma dosagem em material de um grupo de 8 plantas com exceção de a com 7 plantas.

Tabela 17 - Aminoácidos totais na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva sem nitrogênio (controle).

AMINOÁCIDOS (mmoles/16 g N)	S E M A N A S D E T R A T A M E N T O						
	1	2	3	4	5	6	7
Lisina	21,09	26,43	22,18	20,37	16,56	17,52	16,20
Histidina	9,12	11,08	7,10	7,75	7,99	6,03	7,39
Arginina	16,24	24,73	13,64	14,92	17,41	17,23	15,35
Ác. Aspártico	86,63	95,22	46,90	53,08	53,67	57,15	54,58
Treonina	23,94	34,68	25,01	25,25	26,26	25,27	25,87
Serina	24,22	34,96	25,87	25,54	27,12	26,13	28,14
Ác. Glutâmico	54,43	66,23	54,01	53,94	56,81	57,16	56,85
Prolina	26,50	29,84	22,17	25,25	25,69	25,56	25,01
Glicina	60,13	66,80	56,56	58,53	57,38	63,18	61,40
Alanina	53,29	62,53	54,29	52,51	54,24	57,44	55,14
Valina	24,79	27,00	21,89	23,81	24,26	25,85	23,88
Metionina	-	2,27	2,84	4,59	2,28	2,30	2,27
Isoleucina	23,37	24,44	25,58	24,96	24,55	22,98	21,89
Leucina	51,29	60,83	42,92	42,47	51,67	43,37	50,60
Tirosina	11,40	16,48	10,80	12,34	12,84	10,91	13,36
Fenilalanina	19,38	23,88	14,78	19,22	19,70	23,84	20,47
Amônia	243,66	264,35	119,67	121,38	148,73	178,35	177,94
TOTAL	749,48	871,75	566,21	585,91	626,16	660,27	656,34

Cada valor de aminoácidos totais representa a quantidade dosada em material de um grupo de 8 plantas.

Tabela 18 - Efeito do nitrato, uréia e amônio sobre o teor de açúcares solúveis totais na raiz e parte aérea de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

SEMANAS DE TRATAMENTO	AÇÚCARES SOLÚVEIS TOTAIS (µg Glucose/100 mg m.s.)									
	R A I Z					P A R T E A É R E A				
	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO	CONTROLE (SEM N)	NITRATO	URÉIA	AMÔNIO		
1	1650	1317	867	1283	3025 ^b	3850 ^b	3025 ^b	3450 ^b		
2	2350	1383	933	1667	5000	5037	3487	4875		
3	2483	1267	917	1450	5075	3437	2412	3487		
4	2500	1467	900	1667	6662	3287	2475	3837		
5	1483	1117	1033	1617	5237	3175	2787	3787		
6	2150	1283	1200	1600	4537	3087	2525	3587		
7	1750	1400	900 ^a	2000 ^a	4462	2725	3175 ^c	3325 ^c		
MÉDIAS DOS TRATAMENTOS:	2052	1319	964	1612	5162	3458	2810	3817		
Δ (D.M.S.)	(MÉDIAS DOS TRATAMENTOS): 401									
	(MÉDIAS DENTRO DE CADA TRATAMENTO): 596									
TESTE F:	9,46**	0,690	0,725	2,59*	3,55**	3,67**	1,06	1,71		
	TESTE F (TRATAMENTOS): 27,13**									
	C.V. (TRATAMENTOS): 27,26%									
	TESTE F (TRATAMENTOS): 31,09**									
	C.V. (TRATAMENTOS): 22,86%									

Para explicação dos dados ver Tabela 4.