

**INTERAÇÕES ENTRE ASSIMILAÇÃO DE NITROGÊNIO E O
CRESCIMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp)
CULTIVADA EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

JOAQUIM ALBENISIO GOMES DA SILVEIRA

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro, 1985

Aos meus filhos,

Thais

Bruno

Alexandre,

D E D I C O

Para

Elaine Castelo Branco,

O F E R E Ç O

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Otto, meu orientador desde o Programa de Mestrado, os agradecimentos pelos ensinamentos, amizade e compreensão.

- Aos colegas Helaine, Caruso, Adriano e Leonardo; aos técnicos de laboratório do CENA/USP, Ênio e Carlos, que espontaneamente deram suas valiosas contribuições, muito obrigado.

- À Seção de Bioquímica de Plantas do CENA/USP e ao PLANALSUCAR/IAA, A-
raras, pelas facilidades físicas.

ÍNDICE

	<u>Página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Crescimento de cana-de-açúcar	5
2.2. Absorção e assimilação do nitrogênio	10
2.3. Nitrogênio e crescimento de plantas	16
2.4. Vinhaça e nitrogênio	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Local do experimento	25
3.2. Descrição do clima	25
3.3. Descrição do solo	26
3.4. Cultivar e ciclo da cultura de cana-de-açúcar	28
3.5. Preparo das parcelas e tratamentos	28
3.6. Delineamento experimental	29
3.7. Transformações de dados e ajuste de funções matemáticas ..	30
3.8. Amostragem de plantas	32
3.9. Amostragem de solo	35
3.10. Análises químicas e bioquímicas na planta	35
3.11. Análises químicas no solo	42
4. RESULTADOS	45
4.1. Parâmetros da fertilidade do solo nos três tratamentos e em diferentes épocas após o plantio	45

4.2. Concentração de K, P, Mg e Ca nas folhas + 3 e colmos, em diferentes estádios do crescimento	54
4.3. Análise quantitativa do crescimento da cultura no ciclo de 360 dias, nos três tratamentos	60
4.4. Concentração de açúcares em folhas, bainha e colmo, em diferentes estádios de crescimento	69
4.5. Acúmulo de nitrogênio em diferentes estádios de crescimento	77
4.6. Atividade de Redutase de Nitrato em folhas e concentração de nitrato em folhas, bainha e colmo, em diferentes estádios do crescimento	81
4.7. Concentração de N-total, N- α NH ₂ solúvel e proteínas solúveis em folhas, bainha e colmo, em diferentes estádios do crescimento	84
4.8. Concentração de aminoácidos, amônia livre e proteínas em colmo e bainha aos 120 dap e atividade de Redutase de Nitrato e proteínas em folhas de diferentes idades	88
5. DISCUSSÃO	90
5.1. Absorção de nitrogênio pela cultura de cana-de-açúcar	90
5.2. Assimilação do nitrogênio	95
5.3. Nitrogênio e crescimento	102
6. CONCLUSÕES	112
7. LITERATURA CITADA	114
APÊNDICE	139

LISTA DAS TABELAS

<u>Tabela</u>		<u>Página</u>
1	Características químicas e físico-químicas nas profundidades 0-20 e 20-40 cm do solo Typic Haplorthox, analisado antes do plantio	26
2	% K na folha+3 e no colmo de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições ...	140
3	- % P na folha+3 e no colmo de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições	140
4	- % Mg na folha+3 e no colmo de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições	141
5	- % Ca na folha+3 e no colmo de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições	141
6	- Matéria seca e nitrogênio acumulados na parte aérea de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições	142
7	- Índice de Área Foliar e matéria seca de colmo de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições	142

<u>Tabela</u>		<u>Página</u>
8	- Taxa de Crescimento da Cultura e Taxa de Acúmulo de <u>Ni</u> <u>trogênio</u> , em cana-de-açúcar, estimadas através da ma- nipulação da função logística ajustada, em 10 épocas e três tratamentos	143
9	- Taxa de Crescimento Relativo e Taxa de Assimilação Lí- quida, em cana-de-açúcar, estimadas através da <u>manipu</u> <u>lação</u> da função logística ajustada, em 10 épocas e três tratamentos	144
10	- Taxa de Acúmulo Relativo de Nitrogênio na parte aérea e Taxa de Utilização Específica de Nitrogênio, em cana- de-açúcar, estimadas através da manipulação da função logística ajustada, em 10 épocas e três tratamentos ..	144
11	- % de açúcares solúveis totais no colmo e folha+3 de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. <u>Mé</u> <u>dia</u> de quatro repetições	145
12	- % de açúcares solúveis totais e % açúcares redutores na bainha de cana-de-açúcar, em cinco épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições	145
13	- % de açúcares redutores e POL% no colmo de cana-de- açúcar, em seis épocas e nos três tratamentos. Média de quatro repetições	146

Tabela

Página

14	-	Nitrato e açúcares solúveis totais por unidade de ni- trogênio, acumulados no colmo de cana-de-açúcar, em seis épocas e nos três tratamentos. Média de quatro repetições	146
15	-	Nitrogênio acumulado nas folhas e colmos de cana-de- açúcar, em sete épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições	147
16	-	Atividade de redutase nitrato na folha+3 e concentra- ção de nitrato no colmo de cana-de-açúcar, em dez épo- cas e três tratamentos. Média de quatro repetições ...	148
17	-	Concentração de nitrato na folha+3 e bainha de cana- de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições	149
18	-	% de N na folha+3 e no colmo de cana-de-açúcar, em seis épocas e nos três tratamentos. Média de quatro repetições	149.
19	-	% de N e % de proteínas solúveis na bainha de cana- de-açúcar, em cinco épocas, nos três tratamentos. Mé- dia de quatro repetições	150
20	-	% de proteínas solúveis e concentração de $N-\alpha NH_2$ solúvel na folha+3 de cana-de-açúcar, em seis épocas	

<u>Tabela</u>		<u>Página</u>
	e nos três tratamentos. Média de quatro repetições ...	150
21	- Concentração de $N-\alpha NH_2$ solúvel no colmo e bainha de cana-de-açúcar, em seis épocas e nos três tratamentos. Média de quatro repetições	151
22	- Concentração de aminoácidos, proteínas totais e proteínas solúveis em colmo e bainha de cana-de-açúcar, aos 120 dias após o plantio, nos três tratamentos	152

LISTA DAS FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	- Valores médios mensais de radiação, umidade relativa do ar, pluviosidade e temperatura do ar (máxima, média e mínima), durante o período experimental	27
2	- Valores de pH, K ⁺ -trocável, Mg ⁺⁺ -trocável e Ca ⁺⁺ -trocável na linha de plantio, profundidade 0-30 cm, durante o período experimental, nos três tratamentos. Média de quatro repetições	52
3	- Valores de P-disponível, Al-trocável, NO ₃ ⁻ trocável e número de amonificantes, na linha de plantio, profundidade 0-30 cm, durante o período experimental, nos três tratamentos. Média de quatro repetições	53
4	- Concentração de K nas folhas, no colmo, concentração de P nas folhas, no colmo, de cana-de-açúcar, em diferentes épocas e nos três tratamentos	58
5	- Concentração de Mg nas folhas, no colmo, concentração de Ca nas folhas e no colmo de cana-de-açúcar, em diferentes épocas e nos três tratamentos	59
6	- Acúmulo de matéria seca na parte aérea, índice de área foliar, taxa de crescimento da cultura e taxa de assimilação líquida, em cana-de-açúcar, em função do	

Figura

Página

	tempo e nos três tratamentos (curvas obtidas a partir das funções ajustadas	65
7	- Acúmulo de nitrogênio, taxa de utilização específica de nitrogênio, acúmulo de açúcares por unidade de N e acúmulo de açúcares solúveis totais em colmo de cana-de-açúcar, em função do tempo, nos três tratamentos (curvas de "a" e "b" obtidas a partir das funções ajustadas)	66
8	- Taxa de crescimento relativo, atividade de redutase de nitrato, taxa de acúmulo relativo de nitrogênio e taxa de acúmulo de nitrogênio de cana-de-açúcar, em função do tempo e nos três tratamentos (curvas de "a", "c" e "d" obtidas a partir de funções ajustadas)	67
9	- Atividade de redutase de nitrato, concentração de proteínas solúveis e de N-total em folhas de diferentes idades aos 300 dap, índice de colheita, produtividade e peso médio de colmos e número de colmos adultos e brotos na época de colheita de cana-de-açúcar e nos três tratamentos	68
10	- Concentração de proteínas solúveis nas folhas, N- α NH ₂ solúvel no colmo, N- α NH ₂ na bainha e açúcares solúveis totais nas folhas de cana-de-açúcar, em di-	

Figura

Página

	ferentes épocas e nos três tratamentos	74
11	- Concentração de açúcares solúveis totais na bainha, no colmo, açúcares redutores na bainha e no colmo de cana-de-açúcar, em diferentes épocas e nos três tratamentos	75
12	- Concentração de sacarose aparente no caldo, de açúcares redutores, umidade no colmo e nas folhas de cana-de-açúcar, em diferentes épocas e nos três tratamentos	76
13	- Acúmulo de matéria seca no colmo por unidade de N, acúmulo de N no colmo, acúmulo de N nas folhas e acúmulo de nitrato no colmo de cana-de-açúcar, em diferentes épocas e nos três tratamentos	80
14	- Concentração de NO_3^- no colmo, na bainha, na folha, e concentração de $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel na folha de cana-de-açúcar, em diferentes épocas e nos três tratamentos ...	83
15	- Concentração de N-total nas folhas, no colmo, proteínas solúveis na bainha e N-total na bainha de cana-de-açúcar em diferentes épocas e nos três tratamentos ...	87
16	- Análise de regressão entre TAL e TUE_N , entre TAL e TAN , entre TAR_N e aRN e entre TAL e aRN , para diferentes \underline{e}	

Figura

Página

pocas após o plantio. Os valores de TAL, TAN e TAR_N foram obtidos a partir das funções ajustadas, enquanto os de aRN são valores experimentais 109

17 - Análise de regressão entre IAF e nitrogênio acumulado nas folhas e entre % de N na parte aérea e valores de tempo após o plantio, a partir de valores experimentais dos três tratamentos 110

18 - Diagrama em fluxo para algumas inter-relações entre absorção e redução do NO_3^- e o crescimento de cana-de-açúcar 111

ABREVIATURAS UTILIZADAS

aRN	-	atividade de Redutase de Nitrato
TAR _N	-	Taxa de Acúmulo Relativo de Nitrogênio
TAN	-	Taxa de Acúmulo de Nitrogênio
TUE _N	-	Taxa de Utilização Específica de Nitrogênio
TCC	-	Taxa de Crescimento da Cultura
IAF	-	Índice de Área Foliar
TAL	-	Taxa de Assimilação Líquida
TCR	-	Taxa de Crescimento Relativo
M.F.	-	Matéria Fresca
M.S.	-	Matéria Seca
dap	-	dias após plantio
AR	-	Açúcares Redutores
AST	-	Açúcares Solúveis Totais

INTERAÇÕES ENTRE ASSIMILAÇÃO DE NITROGÊNIO E O CRESCIMENTO
DE CANA-DE-AÇÚCAR (Saccharum spp)
CULTIVADA EM CONDIÇÕES DE CAMPO

Joaquim Albenísio Gomes da Silveira

Otto Jesu Crocomo
Orientador

RESUMO

O presente trabalho objetiva apresentar um modelo fisiológico descritivo para algumas inter - relações entre a assimilação de nitrogênio e o crescimento de uma cultura de cana-de-açúcar (Saccharum spp) a partir de observações feitas em condições de campo e dados disponíveis na literatura. As informações apresentadas são referentes ao ciclo de 360 dias da variedade NA 56-79, no ciclo de cana-planta, plantada em outubro de 1982 em Araras, São Paulo, em solo Typic Haplorthox de textura argilosa, com três níveis de fertilidade. O delineamento estatístico utilizado é o fatorial com blocos ao acaso, com três tratamentos principais, seis sub-tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos principais são três níveis de fertilidade: (1) alto nível de nitrogênio, N; (2) somente vinhaça, V; (3) testemunha, T. Os sub-tratamentos são

seis épocas após o plantio: 90, 120, 180, 240, 300 e 360 dias. Os parâmetros determinados em cada época são: (a) fertilidade do solo: NO_3^- , pH, K, P, Ca, Mg e Al; (b) concentração de nutrientes na planta (folha+3 e colmo): %N, %K, %P, %Ca e %Mg; (c) atividade de Redutase de Nitrato na folha+3 e folhas com diferentes idades; (d) formas de nitrogênio (folha, bainha e colmo): %N, % proteínas solúveis, $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel, N-NO_3^- , N-NH_4^+ livre e aminoácidos totais; (e) açúcares (folha, bainha, colmo e caldo): % açúcares redutores, % de açúcares solúveis totais e POL%; (f) índices fisiológicos de crescimento: Índice de Área Foliar, Taxa de Assimilação Líquida, Taxa de Crescimento da Cultura, Taxa de Crescimento Relativo, Taxa de Utilização Específica de Nitrogênio, Taxa de Acúmulo de Nitrogênio e Taxa de Acúmulo Relativo de Nitrogênio; (g) produtividade: produção final, número de perfilhos, peso médio de colmo, número total de colmos e Índice de colheita. Os resultados revelam que as maiores taxas de absorção de nitrogênio e de atividade de Redutase de Nitrato na cultura de cana-de-açúcar ocorrem nos estádios iniciais do crescimento, decrescendo bruscamente com o aumento da idade. Existe uma correlação estreita e linear entre a taxa de absorção de nitrogênio e a atividade de Redutase de Nitrato. Os valores máximos de taxa de absorção de nitrogênio e de atividade de Redutase de Nitrato antecedem, no tempo, os valores máximos de Taxa de Assimilação Líquida e Taxa de Crescimento da Cultura, explicando o decréscimo exponencial na % de N observado na parte aérea de cana-de-açúcar. Elevados níveis de nitrogênio no solo provocam aumentos nas taxas de absorção de nitrogênio e na atividade de Redutase de Nitrato, acarretando grande diminuição nas concentrações de açúcares redutores e

açúcares solúveis totais do colmo e bainha durante um período determinado do crescimento. Plantas contendo elevados níveis de nitrogênio apresentam maior área foliar/planta, maior número de perfilhos e menor eficiência fisiológica de utilização de nitrogênio. A vinhaça no solo provoca diminuição na concentração de açúcares redutores do colmo e bainha sem afetar, contudo, a absorção de nitrogênio nem a atividade de Redutase de Nitrato. Os dados sugerem que o crescimento e o metabolismo do nitrogênio não são afetados pela presença de vinhaça no solo.

INTERACTIONS BETWEEN NITROGEN ASSIMILATION AND THE GROWTH
OF SUGARCANE (Saccharum spp) UNDER FIELD CONDITIONS

Joaquim Albenisio Gomes da Silveira

Otto Jesu Crocomo
Advisor

SUMMARY

The aim of the present work was to develop a descriptive physiological model concerning the relationships between assimilation of nitrogen and the growth of sugarcane (Saccharum spp) cv. NA 56-79 under field conditions, in a 360-day cycle. The sugarcane has been planted in the soil in October, 1982 and the experiment conducted under three different levels of soil fertility: (1) high level of nitrogen, N; (2) only vinasse, V; (3) control, T. The plant material for analysis was harvested 90, 120, 180, 240, 300 and 360 days after the start of the experiment. In each harvesting the following parameters were measured: (a) soil fertility: NO_3^- , pH, K, P, Ca, Mg and Al; (b) nutrient concentration in the plant (+3 leaf and stalk): %N, %K, %P, %Ca; %Mg; (c) nitrate reductase activity in +3 leaf and in leaves of different

ages; (d) nitrogen forms (in the leaves, sheath and stalk): %N, % soluble proteins, soluble $N-\alpha NH_2$, $NO_3^- - N$, free $NH_4^+ - N$ and total amino acids; (e) sugars (leaves, sheath, stalk and juice): % reducing sugars, % total soluble sugars; % total solids; (f) physiological parameters of growth: Leaf Area Index, Net Assimilation Rate, Crop Growth Rate, Relative Growth Rate, Nitrogen Specific Utilization Rate, Nitrogen Accumulation Rate, Nitrogen Relative Accumulation Rate; (g) productivity: Final Production, Stools Number, Average Weight of Stalks, Total number of Stalks, Harvesting Index. The results showed that the highest rates of nitrogen absorption and nitrate reductase activity in the sugarcane occurs in the initial stages of growing of the culture, levelling off drastically subsequently. There is a narrow and linear correlation between nitrogen absorption rate and the nitrogen reductase activity. Both parameters can be detected during the crop development before the highest values for the Net Nitrogen Assimilation Rate and or the Crop Growth Rate are observed. They are responsible for the exponential decrease in the %N in the shoot. High levels of soil nitrogen could be responsible for the increase in the nitrogen absorption rates and the nitrate reductase activity, leading to the observed great reduction in the concentrations of reducing sugars and in the total soluble sugars in the stalks and sheaths, during a given period of sugarcane growth. High nitrogen levels-bearing plants have greatest foliar area/plant, highest stool number and the lesser physiological efficiency of nitrogen utilization. When applied in the soil vinasse decreases the reducing sugars concentration in the stalks and sheaths:

however, did not affect nitrogen absorption nor nitrate reductase activity. In general, the nitrogen metabolism and the growth of sugar cane have not been affected by vinasse.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento de plantas e principalmente o de culturas agrícolas é um processo extremamente complexo, que envolve a interação de fatores ambientais com o genoma. Por outro lado, a produtividade agrícola de uma determinada cultura está, dentro de certos limites, diretamente relacionada com o seu crescimento, caracterizado através da ontogênese e da produção de matéria seca, conforme definição de WILD e BREEZE (1980). O estudo das interações entre o metabolismo e fatores ambientais está bem desenvolvido para CO_2 , radiação, temperatura e água, principalmente em relação à fotossíntese.

A introdução de modelos matemáticos em estudos de processos fisiológicos globais, tais como fotossíntese e respiração, proporcionou um grande avanço na compreensão dos mecanismos envolvidos na produtividade (THORNLEY, 1976). Com relação à participação dos nutrientes minerais na fisiologia das plantas, os estudos de modelagem são ainda incipientes (NYE e TYNKER, 1977). O principal problema relacionado com a elaboração e sucesso de um modelo fisiológico é a inexistência

de informações básicas a respeito dos processos metabólicos chaves para o crescimento e desenvolvimento.

O processo de assimilação do nitrogênio inorgânico pelas plantas é um dos mais importantes para o crescimento, talvez comparável à fotossíntese. Em termos fisiológicos, a importância do nitrogênio é evidente por ser constituinte estrutural de biomoléculas, tais como proteínas, DNA, RNA, hormônios, dentre outras não menos importantes. Em termos ambientais e de utilização pelas culturas, sua importância é evidenciada por sua limitada e complexa disponibilidade nos solos, sofrendo oscilações frequentes em função de fatores climáticos, do solo, da atividade de microorganismos e da fisiologia e morfologia das plantas.

Apesar da relativa abundância de dados na literatura a respeito da dinâmica do nitrogênio no solo e de seu comportamento metabólico na planta, iniciando pelo processo de absorção, pouco se sabe sobre sua participação nos mecanismos relacionados com o crescimento e produtividade em condições de campo. No caso de culturas, os estudos se concentram naquelas produtoras de grãos. Com relação à cana-de-açúcar (Saccharum spp), os estudos realizados são escassos e dispersos. Mesmo apresentando elevada eficiência fisiológica de utilização, demonstrada pela alta relação C/N, a cultura se caracteriza por absorver grandes quantidades de nitrogênio do solo.

Os resultados dos experimentos clássicos de adubação com nitrogênio em cana-de-açúcar, particularmente no Brasil, têm provocado

controvérsias e especulações. Por que cana-planta, na região sudeste, em solos argilosos, apresenta pequena reação à adubação nitrogenada? Que tipos de alterações bioquímicas e fisiológicas, com relação ao nitrogênio, a vinhaça pode provocar quando utilizada como fertilizante? Certamente, essas e outras indagações poderão ser respondidas com relativa segurança somente a partir de pesquisas fisiológicas, abordadas inclusive ao nível bioquímico, envolvendo absorção, armazenamento, assimilação, síntese de proteínas, inter-relacionados com o acúmulo de açúcares e matéria seca.

A assimilação do nitrogênio, quando analisada num sentido amplo, pode ser visualizada de maneira análoga à fixação fotossintética do carbono, conforme modelo proposto por BALDWIN (1976). Dessa maneira, este processo envolveria a absorção de NO_3^- e/ou NH_4^+ , redução de nitrato até amônia, incorporação desta em esqueletos carbônicos e biossíntese de moléculas nitrogenadas. Assim, percebe-se claramente a estreita relação entre o fluxo de nitrogênio desde o solo até as diversas partes da planta e o fluxo de carbono da atmosfera até esses mesmos sítios.

O presente trabalho é parte integrante de um programa de fisiologia e bioquímica da cana-de-açúcar, em desenvolvimento na Seção de Bioquímica de Plantas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP, e cujo objetivo é o de apresentar um modelo fisiológico-descritivo sobre interações entre a assimilação de nitrogênio e o crescimento dessa cultivar, a partir de observações feitas

a campo, no ciclo de ano, em solo de textura argilosa, com três níveis de fertilidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Crescimento de cana-de-açúcar

Cana-de-açúcar, gramínea tropical do tipo C_4 , caracteriza-se por apresentar elevada eficiência fotossintética e alta produtividade biológica (IRVINE, 1980), suficiente para caracterizá-la como "uma das mais eficientes e produtivas de todas as culturas" (BURR, 1971). Estudos realizados na Austrália, revelaram que as elevadas taxas de crescimento de cana-de-açúcar estão mais relacionadas com a maior extensão do período de crescimento vegetativo do que com a existência da via $C-4$ em si, já que em determinadas fases do crescimento a taxa fotossintética foi similar ao de plantas $C-3$ (BURR, 1971).

A taxa fotossintética em cana-de-açúcar decresce bruscamente com a idade da planta (ALEXANDER, 1973), enquanto as folhas jovens e maduras apresentam maior taxa de fotossíntese e menor respiração (IRVINE, 1980), o mesmo ocorrendo com a concentração de proteínas (CLEMENTS, 1980; SILVEIRA, 1980). A diminuição na taxa fotossintética apresenta uma curva recíproca da respiração, sugerindo que essas plantas são

hábéis para reassimilar o CO_2 liberado (IRVINE, 1980). A taxa respiratória parece desempenhar importante papel na taxa de crescimento, observando-se em plantas jovens um consumo de até 20% da fotossíntese diária, as folhas podendo apresentar taxas três vezes maiores que o colmo (WALDRON et alii, 1967; GLOVER, 1972).

Apesar das controvérsias, alguns trabalhos têm demonstrado a existência de fotorrespiração em cana-de-açúcar, sendo que a intensidade de liberação de CO_2 diminui com a intensidade luminosa e com a fotossíntese (IRVINE, 1980). A diminuição na taxa fotossintética com a idade da planta pode estar relacionada com a diminuição na atividade de invertases no caldo e acúmulo de sacarose, conforme resultados de SUZUKI (1982). É interessante observar que a despeito da taxa fotossintética permanecer em valores baixos e constantes na fase de maturação, a concentração de açúcares nas folhas aumenta de 1 para 2% e no colmo apical de 1 para 5% (GLASZIOU e BULL, 1971).

O decréscimo na taxa de fotossíntese em função da idade da planta está diretamente relacionado com a diminuição na concentração de N-total (HART e BURR, 1967; ALEXANDER, 1973), enquanto SILVEIRA (1980) observou que nas fases jovens da cultivar NA 56-79 o intenso crescimento na área foliar foi acompanhado por aumento na concentração de proteínas das folhas. Apesar de ser conhecida a estreita relação entre concentração de nitrogênio e taxa de fotossíntese em diversas espécies (WILSON e BROWN, 1983), ainda não estão esclarecidos os mecanismos de controle para diminuição na taxa de fotossíntese e concentração de proteínas nas folhas em função da idade da planta.

O crescimento de cana-de-açúcar, caracterizado pelo acúmulo de matéria seca, apresenta, para os ciclos de 12 e 18 meses, a forma sigmóide característica de crescimento do tipo determinado, parecendo não haver influência varietal (BULL e GLASZIOU, 1975; IRVINE, 1980; MACHADO et alii, 1982). O acúmulo de matéria seca pode ser separado em três fases: 1) fase inicial de crescimento lento; 2) fase de crescimento rápido; 3) fase final de crescimento lento (maturação). A duração de cada fase depende principalmente dos fatores ambientais temperatura, umidade do solo e radiação incidente, de acordo com MAGALHÃES (1983).

O crescimento das folhas antecede ao crescimento do colmo, indicado por uma maior relação folha/colmo nas plantas jovens, observando-se uma constante renovação de folhas durante o período de crescimento vegetativo, estando a formação de cada folha associada com a produção de um internódio. Sob condições favoráveis, novas folhas são produzidas no intervalo de uma a duas semanas (IRVINE, 1980). A longevidade das folhas é variável em função da variedade e das condições ambientais. No Havaí, a expectativa de vida das folhas de cana-de-açúcar varia de 60 a 75 dias (DILLEWIJN, 1952). A intensidade de crescimento foliar nos períodos iniciais é o fator mais importante na taxa de crescimento e na biomassa acumulada (MACHADO et alii, 1983; MACHADO, 1984).

Trabalhos de análise de crescimento com as variedades NA 56-79 e CB 41-14, em condições de campo, nas regiões de Piracicaba e Araras, no Estado de São Paulo, nos ciclos de cana-planta de 18 e 12 meses, respectivamente, revelaram que o acúmulo de matéria seca em função do tempo pode ser convenientemente descrita através da função logística

$Y = Y_{\max} / (1 + \exp (A + Bt))$ (MACHADO et alii, 1982; MACHADO et alii, 1983).

Os resultados indicam que o ciclo da cultura, função da época de plantio, afeta decisivamente a duração das fases de crescimento. Assim, cana-planta de 18 meses apresenta fase inicial de crescimento lento até 200 dias após o plantio (março-outubro); a fase de crescimento rápido entre 200-400 d.a.p. (outubro-maio), na qual 75% de toda matéria seca foi acumulada; e fase final, entre 400-500 d.a.p. (maio-agosto), com crescimento lento e maturação.

Os resultados para cana-planta de 12 meses de ciclo, plantada em outubro, indicam diferenças na duração de cada fase de crescimento. O período de crescimento inicial lento dura 140 dias (outubro-fevereiro); a fase de crescimento rápido entre 140-260 d.a.p. (fevereiro-maio) e fase final de crescimento lento (maturação) de 260 - 360 d.a.p. (maio-outubro). Os autores observaram um efeito positivo da irrigação no crescimento da cultivar NA 56-79, principalmente no aumento da área foliar. Resultados semelhantes foram obtidos por LEME et alii (1984), trabalhando no mesmo local.

O padrão de crescimento da área foliar, para uma mesma variedade, parece diferir com relação ao ciclo da cultura. Para NA 56-79, no ciclo de cana-planta de 12 meses, observa-se uma curva tipo parábola assimétrica, com um suave decréscimo após a maturação (MACHADO et alii, 1983; LEME et alii, 1984). No ciclo de 18 meses, a curva segue a forma sigmóide, não apresentando decréscimo até aproximadamente 14 meses. Resultados semelhantes foram obtidos por ORLANDO Fº (1978), trabalhando com a cultivar CB 41-14 até 16 meses após o plantio. Em culturas do Havaí,

com ciclo de 24 meses, o Índice de área foliar tende a permanecer constante após 5 meses de plantio (BULL e GLASZIOU, 1975).

A variação dos índices fisiológicos, em função do tempo, varia também em função do ciclo de crescimento da cultura. A Taxa de Crescimento da Cultura (TCC), em cana de 12 meses, é máxima aproximadamente aos 180 dias após o plantio, enquanto que no ciclo de 18 meses o pico ocorre em torno dos 300 d.a.p. A Taxa de Assimilação Líquida (TAL), no primeiro caso, decresce acentuadamente em função do tempo, enquanto que no segundo observa-se um aumento suave dos 100-300 d.a.p. e um decréscimo suave após esse período (MACHADO et alii, 1982; MACHADO et alii, 1983). Com relação aos valores de Índice de Área Foliar e Taxa de Crescimento da Cultura máximos, observa-se que os mesmos são bastante variáveis em função da cultivar, fatores climáticos, espaçamento, etc (IRVINE, 1980).

Alguns trabalhos relativos ao acúmulo de matéria seca em cana-planta e cana-soca sugerem que o crescimento dessas culturas está diretamente relacionado com os fatores climáticos e época de início de crescimento. Os resultados de ORLANDO F^o (1978), trabalhando com a cultivar CB 41-14 em três solos, sugerem que o crescimento da primeira soca é semelhante ao de cana-planta de 12 meses, principalmente quanto à duração das fases e intensidade de crescimento foliar.

2.2. Absorção e assimilação do nitrogênio

O primeiro ponto de controle da assimilação e utilização do nitrogênio inorgânico pelas plantas superiores é o sistema de absorção (CHANTAROTWONG et alii, 1976). Em condições de campo, em solos com boas condições de aeração, NO_3^- é a forma de nitrogênio predominante na solução do solo e a mais intensamente absorvida (BEEVERS e HAGEMAN, 1980). O nitrato absorvido pelas raízes pode ser reduzido por redutase de nitrato nas próprias raízes, armazenadas em vacúolos ou transportado para a parte aérea onde poderá ser armazenado ou assimilado até formas orgânicas (SCHRADER, 1984). Os processos de absorção, distribuição, redução e incorporação do nitrogênio em formas orgânicas estão sob influência genética (GOODMAN, 1979).

A absorção de nitrato, nas plantas superiores em geral, segue os mesmos modelos estabelecidos para absorção de íons. Entretanto, ao contrário de outros, a absorção de nitrato por algumas espécies previamente cultivadas em condições de carência de NO_3^- mostram um modelo típico de "indução por NO_3^- ", com uma taxa de absorção inicialmente baixa e uma fase posterior acelerada (SCHRADER e THOMAS, 1981). Existem fortes evidências de que a absorção de nitrato é regulada pela redução do NO_3^- através da atividade de redutase de nitrato, apesar do sistema de absorção poder funcionar independentemente do sistema de redução. Por outro lado, o sistema de absorção, através do suprimento do fluxo inicial de nitrato, pode influenciar fortemente a redução e o acúmulo de nitrato (HUFFAKER e RAINS, 1978; HAGEMAN, 1984).

Em plantas jovens de cana-de-açúcar, cultivadas em solução nutritiva, observa-se um aumento progressivo na concentração de NO_3^- na parte aérea, provavelmente no colmo, e concentração praticamente constante nas raízes até 8 semanas de crescimento (OCHOA, 1980; OCHOA e CROCOMO, 1982; CROCOMO et alii, 1981). Por outro lado, níveis crescentes de NO_3^- na solução nutritiva provocam aumentos lineares no acúmulo de nitrato e aumentos significativos na concentração de N-total no colmo, sugerindo que a cultivar NA 56-79 é capaz de absorver e acumular nitrogênio em resposta ao aumento de concentração de NO_3^- no substrato nutritivo (SILVEIRA, 1980; SILVEIRA e CROCOMO, 1981; SILVEIRA et alii, 1984a).

Após absorção de nitrato por cana-de-açúcar, é provável que a maior quantidade seja transportada e acumulada nos colmos (SILVEIRA e CROCOMO, 1981; SILVEIRA et alii, 1984a). Ensaio com ^{15}N , utilizando variedades do Havai, têm demonstrado acúmulo de nitrato em colmos de cana-de-açúcar cultivadas com elevado nível de nitrogênio, o mesmo não se observando em colmos maduros em condições normais de campo (BULL e GLASZIOU, 1975). É possível que o nitrato seja acumulado nas fases jovens de cana-de-açúcar e posteriormente mobilizado para os sítios de redução de maneira semelhante ao observado em milho (FRIEDRICH et alii, 1979; FRIEDRICH e SCHRADER, 1979).

O local de redução do nitrato nas gramíneas C-4 parece ser preferencialmente as folhas, mais especificamente no citoplasma das células do mesófilo, havendo uma compartimentalização com relação à redução do CO_2 que ocorreria nas células da bainha (BLACK et alii, 1978). Alguns ensaios têm demonstrado que em plantas jovens de cana-de-açúcar

a atividade de redutase nitrato "in vivo" é várias vezes maior nas folhas em relação às raízes (SILVEIRA e CROCOMO, 1981). Resultados semelhantes foram obtidos por MARETZKI e DE LA CRUZ (1967), encontrando valores mais elevados nas folhas e bainhas de cana-de-açúcar, enquanto FERNANDES e FREIRE (1976) obtiveram resultados similares trabalhando com Brachiaria sp., em condições de campo.

Durante a fase de maturação de cana-de-açúcar, a concentração de nitrato no colmo é muito baixa (BULL e GLASZIOU, 1975), predominando as formas de amidas e aminas. ROSÁRIO et alii (1977), trabalhando com várias variedades de cana-de-açúcar em condições de campo, observaram que a atividade de redutase nitrato nas folhas estava inversamente relacionada com a concentração de açúcares e que a mesma decrescia após 6 meses de plantio. Por outro lado, alguns autores têm sugerido a determinação da atividade de redutase nitrato em folhas de cana-de-açúcar para determinar o nível nutricional de nitrogênio na cultura (MARETZKI e DE LA CRUZ, 1973) e para avaliar a capacidade produtiva de variedades com relação à resposta a altos níveis de adubação nitrogenada (PARTHASARATHI, 1967; VILLALOBOS e CARVAJAL, 1977).

A redução do nitrato nas plantas superiores é regulada por diversos fatores, sendo possível dividi-los nos que afetam a quantidade de redutase nitrato e naqueles que interferem na atividade da enzima. A quantidade da enzima está sob forte controle regulatório, estando constantemente sendo sintetizada e degradada, sendo sua concentração de "estado de equilíbrio dinâmico" diretamente relacionada com o nível energético da célula (OAKS et alii, 1977; ASLAN et alii, 1976). Na re-

gulação da quantidade de enzima, a presença do substrato é o fator mais importante por induzir a "síntese de novo" da enzima, existindo evidências da participação direta ou indireta da luz no processo de indução (HAGEMAN e FLESHER, 1960; GRAY e CRESSWELL, 1984).

Trabalhos recentes com embriões de milho têm indicado que as citocininas podem atuar na indução da síntese de redutase nitrato através de mecanismos diferentes daqueles da indução pelo substrato (KUZNETSOV, 1984). Por outro lado, algumas evidências sugerem que redutase nitrato pode ser uma enzima constitutiva (SCHRADER e THOMAS, 1981). Para a ação da luz na indução da enzima são sugeridos os seguintes efeitos: (1) aumento na entrada de nitrato nas folhas; (2) manutenção no nível de poliribossoma; (3) ativação via sistema de fitocromo, o qual afeta o movimento de NO_3^- através de membranas a partir do "pool" de armazenamento para o "pool" de indução, e (4) inativando um inibidor de RN, o qual é formado na ausência de luz.

Diversos fatores afetam a atividade de redutase nitrato, sendo a disponibilidade do substrato e de poder redutor (usualmente NADH), os mais importantes (BEEVERS e HAGEMAN, 1980). Além desses, outros fatores tais como potencial da água do tecido, luminosidade, temperatura, nutrientes minerais, idade da planta e do tecido, respiração, etc, estão relacionados com o nível de atividade (HEWITT, 1975; BEEVERS e HAGEMAN, 1980; SCHRADER e THOMAS, 1981). Para plantas em condições de cultivo, o fator mais importante talvez seja o fluxo de nitrato das partes de armazenamento para os locais de redução. Alguns trabalhos têm demonstrado que o fluxo de nitrato para as folhas é mais importante na

regulação da atividade de RN que a concentração de NO_3^- na folha (SHANER e BOYER, 1976).

Alguns autores admitem a existência de dois "pools" de nitrato na folha: (1) um "pool" de armazenamento, possivelmente nos vacúolos e (2) um muito menor e rapidamente metabolizado, no citoplasma. De acordo com esse modelo, nitrato redutase seria regulada pelo fluxo de nitrato proveniente da corrente transpiratória chegando até o "pool" metabólico. A integração do "pool" de armazenamento com o "pool" metabólico seria possível somente com a mobilização do nitrato armazenado nos vacúolos, ou seja, a presença de substrato nas folhas (nos vacúolos) não necessariamente atuaria na indução da enzima (FERRARI *et alii*, 1973; SHANER e BOYER, 1976). De qualquer maneira, diversos trabalhos têm demonstrado uma correlação positiva entre a taxa de absorção de nitrato e a atividade de redutase nitrato (HUFFAKER e RAINS, 1978; SCHRADER, 1984).

Ensaio com plantas jovens de cana-de-açúcar cultivadas em presença de amônio ou nitrato na solução nutritiva, durante 10 horas em presença de luz, demonstraram atividade de redutase nitrato, nas folhas, praticamente invariável nesse intervalo de tempo, nas plantas mantidas em meio amoniacal, enquanto naquelas cultivadas em presença de NO_3^- a atividade da enzima aumentou em função do tempo; a atividade de NR nas raízes foi praticamente desprezível (SILVEIRA e CROCOMO, não publicado). O pequeno aumento na atividade de RN observado após uma hora de contato com o meio amoniacal foi igual ao tratamento controle (sem nitrogênio) sugerindo um efeito da luz na indução da enzima.

Plantas de cana-de-açúcar cultivadas com níveis crescentes de nitrato na solução nutritiva apresentam concentrações crescentes de NO_3^- no colmo, não sendo detectado nitrato nas lâminas das folhas (abaixo de $10 \mu\text{g}$ de NO_3^- / g de mat. seca). A atividade de redutase nitrato aumenta drasticamente do nível deficiente para o nível "normal", aumentando suavemente deste para o com "alto" nível de nitrato. O comportamento da atividade de RN, em função do nível de NO_3^- , varia conforme a interação K/N na solução nutritiva. Para maiores concentrações de K (12 mM), observam-se menores concentrações de nitrato no colmo e uma resposta mais pronunciada da enzima em função da concentração de NO_3^- na solução nutritiva (SILVEIRA, 1980; SILVEIRA et alii, 1980; SILVEIRA e CROCOMO, 1981).

O processo de assimilação do NO_3^- até as formas orgânicas iniciais, principalmente glutamina, glutamato e aspartato, envolve os sistemas enzimáticos: Redutase de Nitrato, Redutase de Nitrito, Sintetase de Glutamina, Sintetase de Glutamato e Glutamato Desidrogenase (GDH), além de transaminases (CROCOMO, 1983). Esse conjunto de reações está relacionado com o processo de fotossíntese, direta ou indiretamente, através do fornecimento de energia na forma de ATP, NADPH, ferredoxina reduzida e NADH gerado pela oxidação de ácidos orgânicos provenientes de açúcares. Em tecidos clorofilados, a transformação de um íon nitrato a té glutamato requer 20 fótons (SCHRADER e THOMAS, 1981). Em tecidos não clorofilados ou em tecidos verdes na ausência de luz, a assimilação de nitrato utiliza energia a partir da oxidação de açúcares.

Plantas de cana-de-açúcar cultivadas com elevados níveis de nitrato apresentam menores concentrações de sacarose (ALEXANDER, 1965;

SILVEIRA e CROCOMO, 1981). O nível de açúcares redutores varia em função da idade, podendo aumentar nas fases mais jovens e diminuir nas fases seguintes, quando em presença de elevadas concentrações de nitrato (ALEXANDER, 1961; SILVEIRA, 1980). É provável que elevados níveis de nitrato promovam maiores atividades de redutase de nitrito na planta (atividade "in situ"), maior síntese de proteínas, maior atividade meristemática, maior crescimento na área foliar e, como consequência, maior exaustão nos açúcares armazenados (CROCOMO e SILVEIRA, 1983).

2.3. Nitrogênio e crescimento de plantas

As gramíneas tropicais possuem altas taxas de crescimento e respondem grandemente à aplicação de fertilizantes nitrogenados (MENGEL, 1983; BROWN e WILSON, 1983), apesar de apresentarem elevada eficiência de utilização do nitrogênio absorvido. Para as plantas em geral, existe uma estreita relação entre a taxa de fotossíntese e o nível de nitrogênio das folhas, geralmente crescendo numa relação linear (BOLTON e BROWN, 1980). Nas plantas C-4, a taxa de assimilação do CO₂ por unidade de nitrogênio é cerca de duas vezes superior ao de plantas do tipo C-3 (BROWN, 1978). Alguns autores admitem que essa maior eficiência de utilização de nitrogênio esteja relacionada com a compartimentalização espacial entre a assimilação do NO₃⁻, que ocorreria nas células do mesófilo, e a assimilação do CO₂, a qual ocorre nas células da bainha, conforme modelo apresentado por BLACK et alii (1978).

Apesar da localização das enzimas redutase de nitrato e redutase de nitrito nas células do mesófilo e da menor concentração de Ribulose Bifosfato Carboxilase Oxigenase nas folhas de plantas C-4 (MOORE e BLACK, 1979), trabalhos recentes têm demonstrado que o uso eficiente do nitrogênio ($\text{mmol de CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \text{N} \cdot \text{s}^{-1}$) não é necessariamente maior nas plantas C-4 e que as vantagens aparentes conferidas pelo metabolismo da via C_4 podem ser negadas por características morfológicas e outras das folhas (WILSON e BROWN, 1983; BROWN e WILSON, 1983). De qualquer maneira, diversos trabalhos têm demonstrado que as gramíneas C-4 são altamente eficientes na utilização do nitrogênio absorvido, produzindo grandes quantidades de matéria seca por unidade de nitrogênio (BLACK et alii, 1978), possuindo um sistema eficiente de absorção (ROBINSON e RORISON, 1985).

As bases fisiológicas para as respostas ao nitrogênio aplicado como fertilizante ainda não são totalmente conhecidas. Aumentos na área foliar, teor de proteínas das folhas, concentração e atividade de enzimas, respiração mitocondrial e taxa de assimilação de CO_2 estão relacionados com altos níveis de nitrogênio (KEMP, 1980; NOVOA e LOOMIS, 1981; BROWN e WILSON, 1983). Por outro lado, os tecidos meristemáticos possuem um metabolismo de proteínas bastante ativo e os fotossintetados transportados para esses sítios são utilizados predominantemente para síntese de ácidos nucleicos e proteínas. É por esta razão que durante o estágio vegetativo da planta o nitrogênio controla em grande extensão a taxa de crescimento (MENGEL e KIRKBY, 1982).

A redistribuição do nitrogênio a partir de órgãos senescentes é induzida por uma diminuição na síntese de citocinina, a qual

está diretamente relacionada com o metabolismo de aminoácidos e com o nível de nitrogênio na célula (MICHAEL e BERINGER, 1980). Por sua vez, o nível de citocinina está diretamente envolvido com a assimilação de nitrato (KUZNETSOV, 1984) e com o crescimento através da divisão celular (METIVIER, 1983). Assim, o crescimento, representado pelo acúmulo de matéria seca, está diretamente relacionado com o balanço entre a assimilação de carbono e a nutrição mineral, particularmente com o nitrogênio, conforme esquema apresentado e WANN e RAPER (1979) e WILD e BREEZE (1981).

BALDWIN (1976) desenvolveu um sofisticado modelo geral para absorção de nitrogênio e crescimento de duas espécies de plantas em regime de competição em condições de campo. O modelo apresenta a idéia de "pools" de carboidratos e nitrogênio que combinados formam a parte estrutural da planta. Se existe excesso de carboidratos, o crescimento radicular é aumentado, favorecendo a absorção de nutrientes. Se o nitrogênio está em excesso, a extensão radicular é diminuída e ocorre uma mais intensa migração dos fotossintetados para as folhas em crescimento. A partição entre raízes e parte aérea seria controlada por uma relação alométrica modificada pela razão C/N (carboidratos e nitrogênio nas formas solúveis).

Um modelo semelhante foi desenvolvido por RAPER et alii (1978), assumindo que o "pool" de carboidratos das folhas está diretamente relacionado com o "pool" de carboidratos das raízes e este envolvido com o crescimento radicular e absorção de NO_3^- . Por sua vez, o fluxo de nitrato até as folhas determinaria a taxa de expansão foliar e, em consequência, o nível de carboidratos provenientes da fotossíntese. O

balanço funcional entre fixação do carbono pela parte aérea e a absorção de nitrato pelas raízes dependeria da distribuição dos esqueletos carbônicos para folhas jovens, caule e raízes em crescimento e da disponibilidade de nitrogênio.

Trabalhos têm demonstrado que um decréscimo no fluxo de nitrogênio a partir das raízes pode diminuir a taxa de fotossíntese por unidade de área foliar, com uma diminuição no "pool" de carboidratos disponível para as raízes. A necessidade em nitrogênio para garantir a iniciação e expansão de novas folhas é grande e imediata. Uma redução de 50% no suprimento de nitrato para as raízes resulta num decréscimo de 5% na taxa de fotossíntese por unidade de área foliar e uma redução de 30% na área foliar total (RAPER e PEEDIN, 1978). Por outro lado, a iniciação e expansão de novas folhas também determinam uma grande demanda para esqueletos carbônicos provenientes da fotossíntese. Além disso, esses sítios possuem "prioridade" para carbono, conforme hierarquia proposta por THORNLEY (1976). Assim, as relações carbono/nitrogênio (parte aérea/raiz) operariam de maneira cíclica para manter um balanço funcional.

Resultados da análise de crescimento com diversas espécies têm revelado existir uma excelente correlação entre a taxa de acúmulo de nitrogênio da planta e a taxa de crescimento da raiz, o mesmo não sendo observado entre a taxa de acúmulo de nitrogênio e a taxa de crescimento da planta. Esses dados sugerem que a absorção de nitrogênio é função principalmente do crescimento das raízes e da disponibilidade de carboidratos (RAPER et alii, 1976; RAPER et alii, 1977a; RAPER

et alii, 1978). Diversos autores têm observado que a concentração de nitrogênio na planta inteira decresce com a idade (JONES et alii, 1974; HESKETH e JONES, 1980; PEARSON e MULRHHEAD, 1984), através de uma função exponencial decrescente.

O decréscimo na concentração de nitrogênio em função da idade indica que, após um determinado período de crescimento, a planta pode atuar, ela própria, como fonte de nitrogênio para a fase de crescimento exponencial, através da redistribuição do nitrogênio armazenado nas fases anteriores (RAPER et alii, 1977b). Por outro lado, a redistribuição do nitrogênio poderia atuar como meio de controle da absorção juntamente com o coeficiente de absorção radicular (PEARSON e MULRHEAD, 1984). É provável que a utilização do nitrogênio armazenado esteja sob controle genético, conforme observações de FRIEDRICH et alii (1979), trabalhando com milho. O nitrato armazenado nos vacúolos pode manter o crescimento de plantas jovens por diversos dias (NOVOA e LOOMIS, 1981).

O acúmulo de nitrogênio, de maneira semelhante ao de matéria seca, em função do tempo, segue uma curva do tipo sigmóide quando as condições ambientais são não limitantes ao crescimento (PEARSON e MULRHEAD, 1984). Apesar da similaridade das curvas, as taxas de acúmulo de nitrogênio e de acúmulo de matéria seca não são diretamente correlacionadas (RAPER et alii, 1977a). Por outro lado, o nitrogênio está diretamente relacionado com a capacidade de "fonte" da planta através do aumento na área foliar, Duração de Área Foliar e respiração (PEARMAN et alii, 1978; NOVOA e LOOMIS, 1981). Geralmente, o aumen-

to da area foliar é devido ao aumento no número de perfilhos.

Apesar do aumento da área foliar em função do nível de nitrogênio, alguns trabalhos têm demonstrado existir uma menor eficiência de utilização do nitrogênio absorvido (Kg de biomassa/Kg de N) em plantas cultivadas com elevados níveis de nitrogênio no solo. A diminuição na eficiência de utilização do nitrogênio está relacionada com o aumento na respiração e acúmulo de proteínas na biomassa (PEARMAN et alii, 1977; THOMAS et alii, 1978; NOVOA e LOOMIS, 1981). A eficiência no uso do nitrogênio está intimamente relacionada com a partição e metabolismo do carbono, que por sua vez estão sob controle genético (PATE, 1981; NOVOA e LOOMIS, 1981; SHERRARD et alii, 1984).

Em cana-de-açúcar, diversos trabalhos têm demonstrado que a concentração de nitrogênio diminui em função da idade (ALEXANDER, 1973; ORLANDO Fº, 1978; CLEMENTS, 1980; SILVA e CASAGRANDE, 1983). Com relação aos efeitos nos processos fisiológicos, observam-se resultados semelhantes aos relatados para outras culturas, como aumento no crescimento da parte aérea, no número de perfilhos e diminuição no teor de sacarose quando em presença de elevadas concentrações de nitrogênio (CLEMENTS, 1980; SILVEIRA, 1980). O acúmulo de nitrogênio e matéria seca, em função do tempo, segue a forma sigmóide. Cana-planta e cana-soca apresentam diferenças nas curvas de crescimento e acúmulo de nitrogênio (SILVA e CASAGRANDE, 1983).

Com relação ao efeito de níveis crescentes de fertilizantes nitrogenados sobre a produção de biomassa, os resultados são

contraditórios. No Brasil, na região sudeste, em geral não se observa efeito positivo inequívoco de nitrogênio na produção de cana-planta de 18 meses cultivada em solos argilosos. O contrário geralmente é observado para cana-soca (ORLANDO F^o et alii, 1977; VOSE e RUSCHEL, 1982; ZAMBELLO Jr. e AZEREDO, 1983). Ainda não existe uma explicação convincente para os diferentes comportamentos de cana-planta e cana-soca em presença do nitrogênio, sendo sugerido presença significativa de microorganismos fixadores do nitrogênio na rizosfera de plantas de cana-de-açúcar, principalmente no ciclo de cana-planta (RUSCHEL, 1975; RUSCHEL et alii, 1977a; RUSCHEL et alii, 1977b).

Em outras regiões produtoras de cana (África do Sul, Havaí, Filipinas) recomenda-se utilização de doses relativamente altas de fertilizantes nitrogenados (ORLANDO F^o e ZAMBELO Jr., 1980). No Peru, em condições de plantio irrigado e ciclo longo de crescimento, algumas cultivares requerem até 300 Kg de N.ha⁻¹ como dose econômica (VALDIVIA, 1982). É provável que a questão da resposta ao fertilizante nitrogenado por cana-de-açúcar esteja relacionada com a taxa de crescimento que, por sua vez, depende do material genético e dos fatores ambientais, todos inter-relacionados com características fisiológicas em termos de eficiência de uso do nitrogênio, conforme BOCK (1984), STAFORD e LEGG (1984) e GREENWOOD et alii (1985).

2.4. Vinhaça e nitrogênio

O uso de vinhaça "in natura" como fertilizante para cana-de-açúcar tem provocado bastante controvérsia em diferentes aspectos. Um deles é o referente ao balanço nutricional, principalmente com relação ao nitrogênio e seus efeitos na produtividade e qualidade da matéria prima. GLÓRIA e ORLANDO Fº (1983), num excelente trabalho de revisão, destacam que esse resíduo é bastante rico em potássio e carbono, porém, pobre em nitrogênio e fósforo. Entretanto, os resultados de experimentos com complementação de N mineral, com relação à produtividade, não são conclusivos. As respostas variam em função do tipo de solo, dose e tipo de vinhaça e modo de aplicação.

Com relação às modificações químicas do solo, os resultados indicam que a vinhaça provoca elevação no pH, aumento na concentração de cátions trocáveis, diminuição no Al-trocável, diminuição na concentração de NO_3^- e aumento na condutividade elétrica (NUNES et alii, 1981; VELOSO et alii, 1982; GLÓRIA e ORLANDO Fº, 1983). As transformações do nitrogênio no solo são bastante intensas, observando-se aumento na atividade de microorganismos envolvidos na mineralização e imobilização de nitrogênio, desnitrificação e aumento geral na população de fungos (CAMARGO, 1954; CALDAS, 1960; LIMA, 1980; AMARAL SOBRINHO et alii, 1983).

Ensaio em condições de laboratório e casa-de-vegetação têm revelado que as transformações microbianas em solos tratados com vinhaça, nos períodos iniciais, provocam imobilização de nitrogênio i-

norgânico (NO_3^- e NH_4^+), perdas por desnitrificação e elevada liberação de CO_2 . A alta demanda bioquímica por O_2 pode estar relacionada com a diminuição no nível de NO_3^- que seria utilizado como acceptor de elétrons. O aumento no pH decorreria das reações de redução que se refletem no abaixamento do potencial redox (ALMEIDA et alii, 1982; AMARAL SOBRINHO et alii, 1983; LEAL et alii, 1983).

Apesar da possível imobilização do nitrato, experimentos em condições de campo têm revelado que a aplicação de vinhaça não provoca diminuição na % N das folhas + 3, + 1 e internódio + 3 (SILVA e GURGEL, 1981). Esses dados, juntamente com o de biomassa acumulada, sugerem que a absorção de nitrogênio não é afetada. Com relação à assimilação do nitrato em cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com vinhaça, a literatura consultada não contém nenhum trabalho. Por outro lado, o maior crescimento vegetativo, atraso na maturação e maior brotação nas socas das plantas cultivadas nessas condições (GLÓRIA e ORLANDO Fº, 1983) sugerem que os solos tratados com vinhaça apresentam boa disponibilidade de nitrogênio.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido em condições de campo, na Estação Experimental do PLANALSUCAR, Município de Araras, São Paulo, com localização de 22°18' (Latitude Sul), 47°23' (Longitude Oeste) e Altitude de 617 metros, durante o período de Outubro de 1982 a Outubro de 1983.

3.2. Descrição do clima

O clima do local, segundo o Sistema de Koppen, é do tipo C_{Wa}, mesotérmico de inverno seco (abril - setembro) e verão chuvoso (outubro - março). O regime térmico do ar apresenta temperaturas médias elevadas no verão e valores mais baixos no inverno. O solo praticamente não apresenta déficit hídrico, sendo do tipo údico e o regime térmico do tipo hipertérmico. Durante o período experimental, os

fatores radiação, temperatura (média, mínima e máxima), umidade do ar e pluviosidade foram mensurados em estação meteorológica localizada próxima às parcelas. A intensidade de variação desses fatores é mostrada através da Figura 1.

3.3. Descrição do solo

O solo é proveniente de argilitos com contribuição de rochas básicas, com relevo aplainado, profundo, horizonte B latossólico, textura argilosa, horizonte Ap com estrutura granular, consistência úmida friável e cor 3,5 YR 3/4. É classificado como Álico, A moderado, textura argilosa, Unidade Limeira (Typic Haplorthox), de acordo com OLIVEIRA et alii (1982). A Tabela 1 contém as principais características químicas e físicas nas profundidades 0-20 e 20-40 cm, determinadas antes do plantio.

TABELA 1 - Características químicas e físico-mecânicas nas profundidades 0-20 e 20-40 cm do solo Typic Haplorthox, analisado antes do plantio.

Profund. (cm)	pH(H ₂ O)	%C	K	P	ppm		Al
					Ca	Mg	
0-20	5,20	1,35	58	34	478	69	15
20-40	5,10	1,16	45	19	448	74	12

Profund. (cm)	% argila	% silte	% areia	% micro-poros	% macro-poros	D _s ⁺
0-20	64	22	14	40	16	1,30
20-40	66	20	14	43	13	1,32

⁺Densidade do solo = grama de sólidos do solo/cm³ de solo

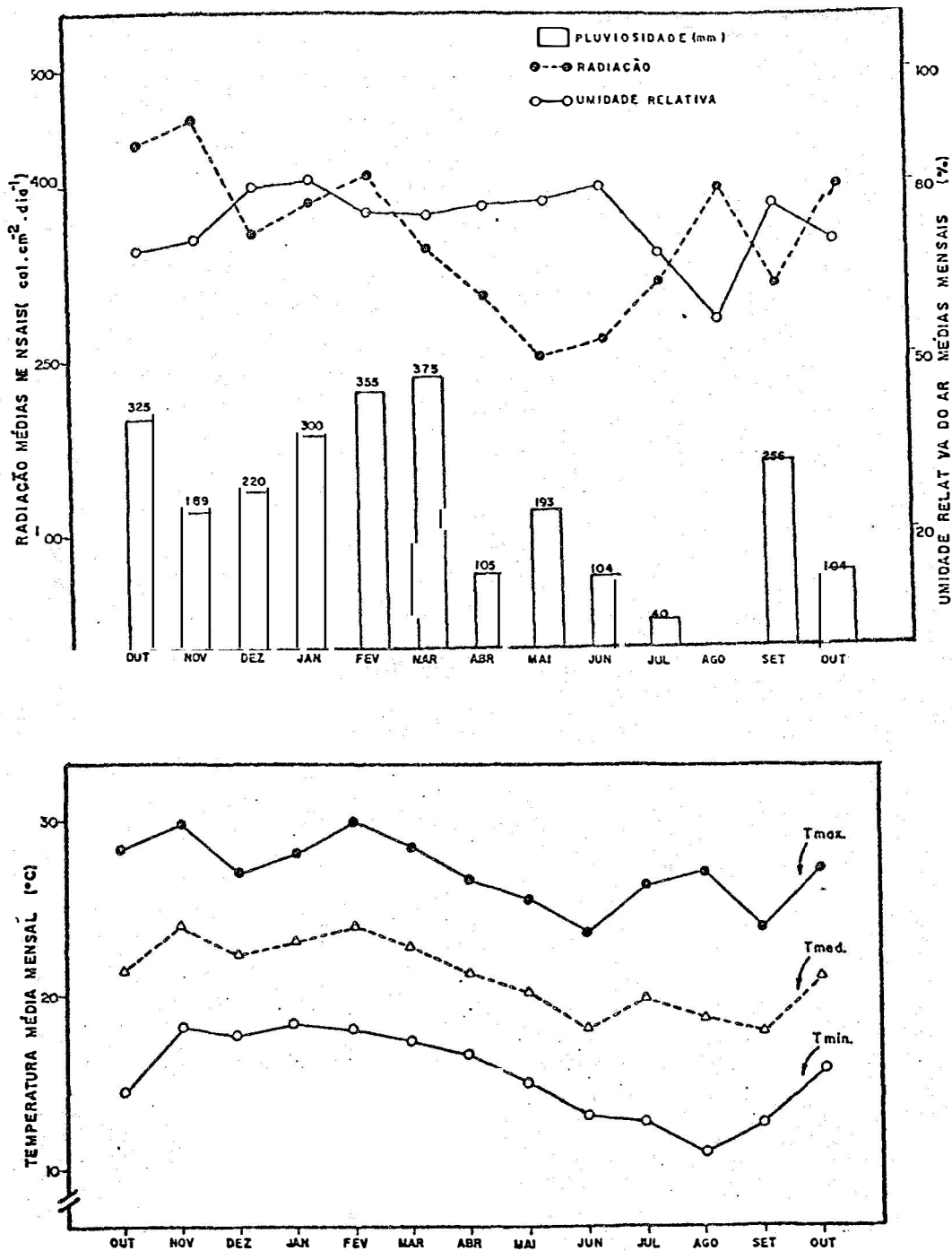


FIGURA 1 - Valores médios mensais de radiação, umidade relativa do ar, pluviosidade e temperatura do ar (máxima, média e mínima), durante o período experimental (outubro/82 - outubro/83).

3.4. Cultivar e ciclo da cultura de cana-de-açúcar (Saccharum spp)

Foi utilizada a variedade NA56-79 no ciclo de cana-planta ("cana de ano"), plantada em 19/10/82, utilizando-se toletes de viveiro primário, tratados contra raquitismo, conforme SILVA (1976), numa densidade de 15 gemas/metro linear, com toletes contendo três gemas. O sistema de plantio e os tratos culturais foram os convencionais realizados nas plantações de São Paulo, limitando-se ao controle de plantas daninhas, feito manualmente.

3.5. Preparo das parcelas e tratamentos

O solo foi preparado na forma convencional (SOUSA, 1976), com 1,40 m de distância entre as linhas de plantio, sendo cada parcela constituída por sete linhas com 10 m de comprimento, com uma área total de 98 m² e cinco linhas de área útil (70 m²).

Foram utilizados três tipos de parcelas (três tratamentos), distribuídos em blocos ao acaso, com as seguintes características:

(a) Tratamento N (alto nível de nitrogênio)

No plantio foram aplicados 20 Kg de N (uréia), 120 Kg de P₂O₅ (superfosfato simples) e 120 Kg de K₂O (cloreto de potássio), no sulco, expresso em Kg/ha. Aos 100 dias após o plantio (dap), foi efetuada aplicação de 450 Kg de N/ha (uréia), em cobertura, com incorpora

ção parcial.

(b) Tratamento V (somente vinhaça)

Antes do plantio (cinco dias), foram aplicados $200 \text{ m}^3/\text{ha}$ de vinhaça "in natura" do tipo mosto-misto, contendo a seguinte composição: $\text{K}_2\text{O} = 0,24\%$; $\text{N} = 0,028\%$; $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,008\%$; $\text{C} = 0,75\%$ ⁽¹⁾; $\text{CaO} = 0,98\%$ ⁽¹⁾; $\text{MgO} = 0,24\%$ ⁽¹⁾. A aplicação foi realizada através de irrigadores manuais, no sulco de plantio, na quantidade de 300 litros por 10 m de sulco. Não foi aplicada nenhuma quantidade de fertilizantes químicos.

(c) Tratamento T (testemunha)

Não foi feita aplicação de nenhum tipo de fertilizante ou de vinhaça.

3.6. Delineamento experimental

Foram instalados três tratamentos principais, designados por N (alto nível de nitrogênio), V (somente vinhaça) e T (testemunha), conforme descrito acima. Os tratamentos foram distribuídos ao acaso, através de sorteio, em quatro blocos (repetições) e 12 parcelas caracterizadas no item 3.5. Para análise da variância, utilizou-se o delineamento do tipo fatorial em blocos ao acaso, onde cada coleta (época após

(1) Valores estimados por regressão, a partir de dados publicados na literatura (SILVA e ORLANDO F^o, 1981; GLÓRIA e ORLANDO F^o, 1983).

plântio) constituiu-se em sub-tratamento, resultando um fatorial do tipo 3 x 6, com três tratamentos principais, seis sub-tratamentos e quatro repetições.

3.7. Transformações de dados e ajuste de funções matemáticas

O acúmulo de matéria seca e nitrogênio nas diferentes épocas foi expresso em $g.m^{-2}$ de terreno a partir dos dados primários de $g.planta^{-1}$ e número de colmos.metro linear⁻¹, medidos em cada época de amostragem. Após 180 dap, utilizaram-se os valores médios das mensurações mensais (sete medições), assumindo-se que o número de colmo estabiliza-se após esse período, conforme resultados de LEE (1984), trabalhando com a mesma cultivar e nas mesmas condições edáfico-climáticas.

Utilizou-se a função logística $Y = Y_{max} / (1 + \exp A + Bt)$ para descrever, no tempo, a variação da matéria seca e do nitrogênio da parte aérea. Os parâmetros Y_{max} , A e B foram estimados estatisticamente através da regressão assintótica proposta por STEVENS (1951), sendo t o tempo em dias. A quantidade de nitrogênio na parte aérea foi obtida a partir da concentração (%N) nas folhas e colmos+bainhas e massa dessas partes secas.

A partir das funções ajustadas e manipulação matemática obtiveram-se os seguintes índices fisiológicos:

$$P = \frac{P_{max}}{1 + e^{(A + Bt)}} \quad (g . m^{-2}) \quad (\text{matéria seca acumulada}) \dots\dots\dots (1)$$

$$TCC = \frac{dP}{dt} = - \frac{P_{\max} \cdot B \cdot e^{(A+Bt)}}{\left[1 + e^{(A+Bt)}\right]^2} \quad (\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}) \quad \text{taxa de crescimento da cultura} \quad \dots (2)$$

$$TCR = \frac{1}{P} \cdot \frac{dP}{dt} = - \frac{B \cdot e^{(A+Bt)}}{1 + e^{(A+Bt)}} \quad (\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}) \quad \text{taxa de crescimento relativo} \quad \dots (3)$$

$$TAL = \frac{TCC}{IAF} \quad (\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{folhas} \cdot \text{dia}^{-1}) \quad \text{taxa de assimilação líquida} \quad \dots (4)$$

$$N = \frac{N_{\max}}{1 + e^{(A+Bt)}} \quad (\text{g} \cdot \text{m}^{-2}) \quad \text{nitrogênio acumulado na parte aérea} \quad \dots (5)$$

$$TAN = \frac{dN}{dt} = - \frac{N_{\max} \cdot B \cdot e^{(A+Bt)}}{\left[1 + e^{(A+Bt)}\right]^2} \quad (\text{g} \cdot \text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}) \quad \text{taxa de acúmulo de nitrogênio} \quad \dots (6)$$

$$TARN = \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dt} = - \frac{B \cdot e^{(A+Bt)}}{1 + e^{(A+Bt)}} \quad (\text{g} \cdot \text{N} \cdot \text{g} \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}) \quad \text{taxa de acúmulo relativo de nitrogênio} \quad \dots (7)$$

$$TUEN = \frac{1}{N} \cdot \frac{dP}{dt} = \frac{TCC}{N} \quad (\text{g} \cdot \text{M} \cdot \text{S} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{N} \cdot \text{dia}^{-1}) \quad \text{taxa de utilização específica de nitrogênio} \quad \dots (8)$$

A área foliar foi estimada a partir do peso das folhas secas, considerando a Área Foliar Específica = $1 \text{ dm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, conforme resultados de MACHADO et alii (1982), trabalhando com a mesma cultivar. O Índice de Área Foliar (IAF) foi estimado graficamente sem ajuste de função matemática. Todos os índices fisiológicos, dos três tratamentos, foram obtidos em diferentes valores de t . Em seguida, foi feito um estudo através da análise de regressão entre os diversos índices.

3.8. Amostragem de plantas

3.8.1. Folhas, colmo + bainha, folhas + 3 e bainha da folha + 3 para determinação de matéria seca e análises químicas

O material foi coletado aos 90, 120, 180, 240, 300 e 360 dap. Em cada coleta, 15 canas por parcela (colmos primários e secundários) foram colhidas ao acaso, sempre durante o período da manhã. Em seguida, o material foi separado em folha + 3, bainha da folha + 3, colmo + bainha e folhas, e pesado separadamente para determinação do peso da matéria fresca. As bainhas foram separadas, com auxílio de lâmina, em comprimento de 10 cm a partir da lígula. As folhas + 3 (15 por parcela) foram cortadas e separados os 20 cm centrais, lavadas com água destilada e detergente, acondicionadas em sacos plásticos e guardadas em gelo seco juntamente com as bainhas, para posterior secagem em liofilizador à baixa temperatura.

As folhas e colmos + bainha foram triturados em forrageira, sub-amostrados (aproximadamente 500 g) e secos em estufa a 70°C com circulação de ar, para determinação de umidade e nitrogênio total. O peso da massa seca foi calculado a partir dos valores de umidade e massa de matéria fresca.

Caracterização das partes da planta utilizadas para análises

- (a) Folha + 3: Folha fisiologicamente madura, na posição + 3, de acordo com o sistema de numeração de Kuijper, descrito por BACCHI (1983). Utilizaram-se os 20 cm centrais de lâminas (sem nervura principal), previamente lavados, para análises químicas e bioquímicas e os 10 cm para atividade de redutase de nitrato.
- (b) Folhas: Mistura de todas as folhas separadas na região da lígula, trituradas em forrageira e sub-amostradas.
- (c) Bainhas: Bainhas das folhas + 3, cortadas com lâminas nos seus primeiros 10 cm (da lígula para o colmo).
- (d) Colmos: Colmos + bainhas resultantes após separação de todas as folhas na região da lígula.

3.8.2. Folhas + 3 para determinação da atividade de redutase nitrato (RN)

Para numeração das folhas, utilizou-se o Sistema de Kuijper, descrito por BACCHI (1983). As folhas foram amostradas aos 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dap, sempre às 13:00 hs (aproximadamente), amostrando-se três plantas por parcela, das três linhas centrais e no centro da parcela, totalizando 12 amostras por tratamento em cada época de amostragem. Em seguida, as folhas foram colocadas em sacos plásticos umedecidos, depois fechados e levados imediatamente para laboratório. Os valores de radiação, temperatura máxima e umidade relativa medidos nos dias de coleta estão indicados no quadro abaixo.

Valores de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%) e radiação ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$) nos dias de mensuração da atividade de redutase de nitrato (ano 1983).

Época (dap)	Mês	Temperatura	Umidade Relativa	Radiação
120	fevereiro	31,0	70,0	478,1
150	março	28,6	84,0	410,2
180	abril	29,0	65,0	406,9
210	maio	28,2	66,0	352,0
240	junho	27,6	65,0	326,2
270	julho	17,8	65,0	234,2
300	agosto	29,4	53,0	413,4
330	setembro	33,0	76,0	560,4

3.9. Amostragem de solo

O solo foi amostrado aos 15, 30, 60, 120, 180, 240, 300 e 360 dap, na profundidade de 0 - 30 cm, através de trado comum, na linha de plantio, coletando-se ao acaso uma amostra simples em cada uma das três linhas. Após mistura da terra (amostra composta), retirou-se uma sub-amostra de cada parcela e, em seguida, guardada em saco plástico. Para determinação de NO_3^- , NH_4^+ e número de amonificantes as amostras foram armazenadas em câmara fria ($\pm 4^\circ\text{C}$).

3.10. Análises químicas e bioquímicas na planta

3.10.1. Atividade de redutase de nitrato (aRN) em folhas

Foi utilizado o método "in vivo" de HAGEMAN e HUCKLESBY (1971), com algumas modificações. Folhas + 3, coletadas conforme descrito em 4.8.2, foram colocadas em sacos plásticos de 10 litros, previamente umedecidos, fechados com fita adesiva e imediatamente levadas ao laboratório. Em seguida, separaram-se os 10 cm centrais sem nervura principal, lavados com água destilada e enxugados totalmente com papel absorvente. As lâminas foram cortadas e picadas em pedaços de $\pm 0,5 \text{ cm}^2$. Após pesagem de 200 mg, em balança analítica, o material foi transferido para tubo de ensaio contendo 2,5 ml de KH_2PO_4 0,1M pH=7,5 + 0,5 ml de KNO_3 0,1M e posteriormente vedados com tampa de borracha para vácuo. O material vegetal foi transferido para os tubos simultaneamente com as repetições

alternadas de modo a minimizar o efeito do tempo de contato do NO_3^- . Imediatamente procedeu-se à sucção do ar (vácuo) dos tubos durante 60 segundos. Em ensaio anterior, observou-se que a redução do NO_3^- no tempo zero (sem incubação) foi desprezível. Assim, utilizou-se apenas a prova em branco como referência (mistura de reação sem tecido vegetal).

Os tubos foram colocados para incubação a 35°C , durante 30 minutos, ao abrigo da luz. Em seguida, alíquotas foram retiradas e diluídas convenientemente para a mistura de reação: 3 ml de alíquota diluída + 1 ml de sulfanilamida 1% (em HCl 2N) + 1 ml naftiletlenodiamina 0,05%. Após o desenvolvimento da cor rósea, foi efetuada a leitura de absorbância a 540 nm em espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em $\mu\text{moles de NO}_2^- \cdot \text{grama de tecido fresco}^{-1} \cdot \text{hora}^{-1}$.

3.10.2. Determinação de proteínas solúveis em NaOH 0,1N em folhas e bainhas

As folhas + 3 e bainhas da folha + 3 foram amostradas conforme anteriormente (4.8.1). As folhas foram separadas em seus 20 cm centrais e as bainhas nos primeiros 10 cm a partir da lígula. Lavadas com água destilada, cortadas em pequenas porções (as folhas sem a nervura principal), foram colocadas para secagem em liofilizador Virtis, à baixa temperatura, até peso constante e posteriormente moidas até 20 mesh.

A extração das proteínas foi feita a partir de 100 mg de matéria seca misturada com 10 ml de NaOH contendo 200 ppm de Na_2SO_3 , em

tubos de centrífuga com 3 cm de diâmetro, sob agitação lenta, a frio (temperatura ambiente), durante uma noite. Após centrifugação de 5000 Xg durante 15 minutos, transferiu-se 4 ml do sobrenadante para tubos de ensaio, acrescentou-se 3 ml de ácido tricloroacético 1N e deixou-se em repouso por 2 horas. Efetuou-se outra centrifugação a 6000 Xg por 30 minutos, descartou-se o sobrenadante e retomou-se o resíduo proteico com 4 ml de NaOH 0,1N.

A dosagem de proteínas foi feita espectrofotometricamente, através do método de LOWRY et alii (1951), usando alíquotas previamente diluídas para faixa de leitura de 0,2 - 0,5 unidades de absorbância, utilizando Albumina Bovina (BSA) como padrão e leituras a 660 nm.

3.10.3. Determinação de $\text{N}\alpha\text{-NH}_2$ solúvel em folhas, colmos e bainhas

As folhas + 3, colmos e bainhas foram amostrados conforme descrito anteriormente (4.8.1). O preparo das amostras de folhas e bainhas foi feito conforme determinação anterior (4.10.2). Os colmos, após separação de todas as folhas, foram triturados em forrageira, subamostrados (aproximadamente 500 g), imediatamente colocados em estufa com circulação de ar, 70°C, durante 7 dias e, em seguida, moídos até 20 mesh.

A extração do $\text{N}\alpha\text{-NH}_2$ solúvel foi feita a partir de 100 mg de matéria seca misturados inicialmente com 3 ml de etanol 80%, 85°C durante 15 minutos e centrifugado a 5000 Xg por 10 minutos. O sobrenadante foi separado e a operação repetida duas vezes com porções de 3 e

4 ml de etanol. O extrato obtido foi aferido a 10 ml em balão volumétrico. A dosagem foi feita espectrofotometricamente através do método de KABAT e MAYER (1967), utilizando o reativo ninhidrina e glicina como padrão.

3.10.4. Determinação de aminoácidos totais (Lys, His, Arg, Asp, Glu, Thr, Ser e Pro) em colmo e bainhas

Amostras de material seco de colmo e bainha, preparadas conforme anteriormente, contendo entre 1,5 e 3,5 mg de proteínas, foram hidrolizadas em 10 ml de HCl 6N a 110°C por 24 horas em ampolas de vácuo. O hidrolizado foi passado 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 0,2N pH 2,2. Aliquotas de 0,5 ml de cada amostra foram injetadas em autoanalisador de aminoácidos Beckman modelo 120C. Os aminoácidos foram separados por coluna de resina, eluídos com tampão apropriado, feita reação com solução de ninhidrina a 55°C e a intensidade de cor desenvolvida registrada em papel na forma de picos. A concentração de cada aminoácido foi calculada por comparação da área dos picos com as dos padrões aplicados no analisador.

3.10.5. Determinação de $N-NO_3^-$ em folhas+3, colmos e bainhas

As amostras de material vegetal foram preparadas conforme descrito anteriormente. A extração do $N-NO_3^-$ foi feita a partir de 100 mg de matéria seca misturadas com 5 ml de água destilada, aquecido

em banho-maria a 80°C durante 30 minutos. Após centrifugação a 5000 Xg, durante 10 minutos, separou-se o sobrenadante e repetiu-se a operação com mais 5 ml de água destilada. O extrato obtido foi filtrado em papel "millipore", sob sucção e diluído para 20 ml em balão volumétrico.

O NO_3^- foi determinado espectrofotometricamente por fluxo contínuo, a partir da redução até NO_2^- através de coluna de cádmio cobreada, pelo método desenvolvido por GINÉ (1979). Para verificar os efeitos das substâncias orgânicas sobre o poder redutor da coluna, efetuou-se testes com adição de padrões conhecidos de NO_3^- nas amostras, conforme GINÉ et alii (1983). Para minimizar o efeito do extrato sobre a coluna, injetou-se, no fluxo, padrões de NO_3^- em duplicata, um antes e outro após a corrida de 4 amostras. A concentração de nitrato foi determinada comparando-se a altura do pico registrada após passagem de cada amostra com a média dos 2 picos dos padrões.

3.10.6. Determinação de NH_4^+ - livre em colmos e bainhas

As amostras do material vegetal foram preparadas conforme descrito anteriormente. A extração do NH_4^+ - livre foi feita à baixa temperatura ($\pm 4^\circ\text{C}$) utilizando-se KCl 1N como extrator, a partir de 500 mg de matéria seca e 20 ml de solução extratora. A mistura foi colocada em câmara fria durante uma noite, centrifugada a 5000 Xg durante 10 minutos, o sobrenadante filtrado em papel "millipore" e aferido para 20 ml em balão volumétrico. A dosagem do amônio foi feita pelo método "fenolato-hipoclorito" de WEATHEERBURN (1967), utilizando-se 0,2 -

0,4 ml do extrato e leituras a 625 nm em espectrofotômetro.

3.10.7. Determinação de N-total (N orgânico) em folhas, colmos e bainhas

As amostras de folhas, colmo e bainha foram amostradas e preparadas conforme descrito anteriormente. A digestão "sulfúrica" foi realizada a partir de 200 mg de matéria seca do colmo e bainha e 100 mg de folha em contato com a seguinte mistura: 1 g de selenito de sódio anidro: 21,39 g de sulfato de sódio: 4 g de sulfato de cobre: 200 ml de ácido sulfúrico concentrado: 175 ml de água destilada. A digestão foi feita em tubos do tipo Kjeldahl contendo 7 ml de solução digestora até obtenção de um extrato incolor. A destilação e dosagem foi feita pelo método volumétrico de Kjeldahl descrito em JØRGENSEN (1977).

3.10.8. Determinação de açúcares solúveis totais (AST) em folhas, colmos e bainhas

As amostras do material vegetal foram preparadas conforme descrito anteriormente. A extração dos açúcares solúveis totais foi feita com etanol a 80%. Para 100 mg de matéria seca foram adicionados 4 ml de etanol 80%, aquecimento de 85°C durante 15 minutos e centrifugação a 5000 Xg durante 10 minutos. O sobrenadante foi separado e a operação repetida duas vezes com porções de 3 ml de etanol. Em seguida, o volume foi aferido para 10 ml em balão volumétrico. A dosagem foi feita espectrofotometricamente pelo método "fenol-sulfúrico", descrito por

DUBOIS (1956). Os extratos foram diluídos convenientemente antes da dosagem, para obtenção de leituras na faixa de 0,2 - 0,5 unidades de absorbância. As leituras foram efetuadas a 490 nm utilizando glucose p.a. como padrão.

3.10.9. Determinação de açúcares redutores (AR) em colmos e bainhas

As amostras de colmos e bainhas foram preparadas conforme descrito anteriormente. A extração dos açúcares redutores foi feita com etanol 80% de maneira idêntica a de açúcares solúveis totais (AST). A dosagem dos açúcares redutores foi feita espectrofotometricamente através do método de NELSON (1944), detalhado em OCHOA (1980). As leituras foram efetuadas a 530 nm utilizando glucose p.a. como padrão.

3.10.10. Determinação de K, P, Ca e Mg em folhas e colmos

As amostras de folha + 3 e colmo foram preparadas conforme descrito anteriormente. A digestão do material vegetal foi feita por via úmida a partir de 100 mg de matéria seca digerida em presença de ácido sulfúrico concentrado, água oxigenada, selênio e sulfato de lítio, de acordo com JØRGENSEN (1977). A dosagem de P foi feita colorimetricamente através do método do Molibdato de Amônio e a de K, Ca e Mg através de espectrofotômetro de absorção atômica.

3.10.11. Determinação de POL% (sacarose aparente) em caldo

As amostras foram coletadas conforme descrito anteriormente, amostrando-se 15 canas por parcela de cada tratamento. Os colmos foram triturados em forrageira, amostrados e imediatamente levados ao laboratório para extração do caldo, através de prensa hidráulica. A dosagem de POL% foi feita em sacarímetro digital.

3.11. Análises químicas no solo

3.11.1. Determinação de pH, K, P, Ca, Mg e Al

As amostras foram coletadas conforme descrito em 3.9. O preparo das amostras, a extração e a dosagem dos nutrientes foram efetuados nos laboratórios da Seção de Solos e Adubação do PLANALSUCAR, na Estação de Araras, conforme descrito por RODELLA (1983).

3.11.2. Determinação de $N-NO_3^-$ e $N-NH_4^+$

Amostras guardadas em câmara fria ($\pm 4^\circ C$) foram destorradadas e passadas em peneira de 2 mm. A extração do NO_3^- e NH_4^+ foi feita com KCl 2N na proporção de 10 g de solo úmido: 100 ml de extrator e agitação contínua por 24 horas em agitador horizontal. Em seguida, a suspensão foi filtrada em papel faixa azul até obtenção de um filtrado totalmente límpido e incolor.

O N-NO_3^- foi determinado espectrofotometricamente pelo método desenvolvido por GINÉ (1979), a partir da redução do nitrato até NO_2^- por uma coluna de cádmio cobreada, em fluxo contínuo, e formação de um complexo de cor rósea após reação do NO_2^- com sulfanilamida em meio ácido e estabilização do complexo em presença de N-1-naftil etilenodiamina. A concentração do NO_3^- foi calculada diretamente por comparação dos picos registrados automaticamente no papel com os dos padrões. As leituras foram feitas a 540 nm.

O N-NH_4^+ foi determinado espectrofotometricamente, através do método "fenolato-hipoclorito" de WEATHERBURN (1967), utilizando-se 0,4 ml do extrato de KCl para um volume de reação de 5,4 ml. As leituras foram efetuadas a 625 nm e os valores observados foram muito baixos (fora da faixa de resolução do método $< 0,01$ unidades de absorvância), à exceção do Tratamento N, 20 dias após aplicação da uréia. Esses resultados não foram computados no presente trabalho.

3.11.3. Determinação do nº provável de amonificantes no solo

O número provável de amonificantes foi determinado pelo método de diluições sucessivas, utilizando a tabela de McCrady. Em condições assépticas, 10,0 g de solo úmido foi diluído com 90 ml de água destilada esterelizada e a partir dessa suspensão, foram obtidas diluições sucessivas até 10^{10} vezes. Em seguida, 1,0 ml de cada diluição (com cinco repetições) foi transferido para tubo de ensaio contendo o seguinte meio de cultura líquido (10 ml): 5 ml de solução salina (NaCl 10%), 0,5 ml KH_2PO_4 1M, 0,1 ml de solução de micronutrientes de Hoa-

gland e Arnon, 0,05 ml de Fe-EDTA, 0,02 g de asparagina e água destilada q.s.p. 10 ml. O pH foi aferido para 5,5. Os tubos foram colocados para incubação na temperatura ambiente durante 15 dias. Após esse período, foi feito teste qualitativo para acúmulo de NH_4^+ através do reativo de Nessler comparando com a prova em branco (meio de cultura sem extrato de solo), conforme PRAMER e SCHMIDT (1965). O número provável de microorganismos amonificantes foi obtido através da tabela de Mc Crady.

4. RESULTADOS

4.1. Parâmetros da fertilidade do solo nos três tratamentos e em diferentes épocas após o plantio

Os resultados das mensurações de pH, K-trocável, Mg-trocável, Ca-trocável, P-disponível, Al-trocável, NO_3^- -disponível e do número provável de amonificantes, na linha de plantio, profundidade de 0-30 cm, nos três tratamentos e em diferentes épocas de amostragem, são mostrados nas Figuras 2 e 3. Os valores representam médias de quatro repetições a partir de amostras compostas de cada parcela. Pode ser observado que o tratamento V (vinhaça) apresenta valores mais elevados de pH, K, Mg e amonificantes, nas diferentes épocas, apresentam do níveis de P e NO_3^- praticamente iguais ao do tratamento T (testemunha) e valores mais baixos de alumínio trocável.

O tratamento N (alto nível de nitrogênio) apresenta valores de pH mais baixos que os do tratamento T, principalmente aos 180, 240, 300 e 360 dias após o plantio, sendo o mesmo observado para

os níveis de alumínio trocável que aumentam a partir dos 120 dap. As concentrações de Mg e Ca tendem a apresentar o mesmo comportamento dos valores pH, diminuindo, em relação ao tratamento T, após os 120 dap. As concentrações de potássio são maiores que as do tratamento T, principalmente nas quatro primeiras amostragens (15, 30, 60 e 120 dap). Essas transformações coincidem com a aplicação de elevada dose de N aos 100 dap (450 Kg de N/ha na forma de uréia). A concentração de NO_3^- no tratamento N aos 120 dap é cerca de 10 vezes superior a dos outros dois tratamentos (Figura 3-c).

Os resultados apresentam diferenças significativas entre tratamentos e entre as diferentes épocas de amostragem. Os valores de pH variam de 4,7 a 5,5, sendo, na maioria das amostragens, mais elevados no tratamento V (variando de 5,0 a 5,5) e mais baixos no tratamento N (variando de 4,7 a 5,0) e geralmente intermediários no tratamento T (de 4,7 a 5,2), conforme mostra a Figura 2-a. Os valores das médias das oito épocas de amostragens, para pH, são: V = 5,2; T = 5,0; N = 4,9. As médias do tratamento V são diferentes das demais ao nível de 5% de probabilidade, nas 3a. e 4a. épocas (60 e 120 dap), enquanto as médias do tratamento N são diferentes das demais em praticamente todas as épocas de amostragem.

Os níveis de Al-trocável, como é esperado, apresentam uma tendência inversa dos valores de pH. É interessante observar que os tratamentos V e T tendem a apresentar pequenas variações nos níveis de alumínio, com o tratamento V apresentando uma concentração média de 17 ppm e o tratamento T com uma média de 25 ppm. O tratamento

N, ao contrário, apresenta grande variação nos resultados, com valores em torno de 25 ppm nas duas primeiras amostragens (15 e 30 dap) e níveis crescentes a seguir até concentrações próximas de 60 ppm aos 300 e 360 dap, conforme Figura 3-b. Essas diferenças entre as médias dos tratamentos são significativas ao nível de 5% de probabilidade.

O nível de potássio também apresenta grandes diferenças entre os tratamentos e entre as épocas de amostragens (Figura 2-b). O tratamento V, nas três primeiras amostragens (15, 30, 60 dap) apresenta concentração de K cerca de 5 vezes superior ao do tratamento T (200 ppm contra 40 ppm, aproximadamente) e cerca de 2,5 vezes em relação ao tratamento N (200 ppm contra 80 ppm). A partir da 2a. amostragem, os valores da concentração de K são decrescentes até a 6a. coleta (dos 30 aos 240 dap), nos três tratamentos. Da 6a. até a 8a. coleta os valores tendem a aumentar novamente (240 a 360 dap). As diferenças entre os tratamentos tendem a diminuir a partir da 4a. amostragem (120 dap), principalmente entre os tratamentos N e T. Nas últimas coletas de solo, a diferença entre a concentração de K do tratamento V e do tratamento T diminui para uma relação de aproximadamente duas vezes. Os valores das médias das oito épocas amostradas, para os três tratamentos, são: V = 128 ppm; N = 50 ppm e T = 31 ppm. Essas médias são diferentes estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

As concentrações de Mg e Ca apresentam variações semelhantes (Figuras 2-c e 2-d) em relação às épocas de amostragem, apresentando um aumento entre a 1a. e a 2a. época (15 e 30 dap), um decréscimo da 2a. até a 6a (30, 60, 120, 180 e 240 dap) e um novo acrés-

cimo da 6a. à 7a. (240 e 300 dap) e um suave decréscimo entre a 7a. e a 8a. O tratamento V apresenta concentrações de Mg mais elevadas que os outros dois tratamentos, enquanto o tratamento N tende a apresentar níveis mais baixos que o tratamento T após a 5a. coleta (180 dap). As médias das oito épocas de amostragens, para os três tratamentos e a concentração de Mg, são: V = 68 ppm; T = 49 ppm e N = 39 ppm. Existe diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, somente entre a média do tratamento V e as dos dois outros tratamentos.

As concentrações de cálcio (Figura 2-d) são maiores no tratamento V em relação aos tratamentos T e N, principalmente após a 2a. amostragem. O tratamento N apresenta concentrações praticamente iguais as do tratamento T nas 1a., 2a. e 3a. amostragens (15, 30 e 60 dap), tornando-se inferiores nas 4a., 5a., 6a., 7a. e 8a (120, 180, 240, 300 e 360 dap). A amplitude de variação (valores mínimos e máximos, respectivamente) para os teores de Mg nos tratamentos V, N e T, foram 47 e 86; 20 e 65; 34 e 70, respectivamente. Para Ca, a variação foi de 305 e 561; 192 e 538; 244 e 492, respectivamente. As médias das oito épocas amostradas para concentração de cálcio, nos três tratamentos, são: V = 461 ppm; T = 376 ppm; N = 361 ppm, sendo a média do tratamento V diferente das demais ao nível de 5% de probabilidade. As médias dos tratamentos N e T não são diferentes estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade.

Os teores de P-disponível (Figura 3-a) apresentam diferenças significativas entre os tratamentos e entre as diferentes épocas de amostragem. A tendência geral de variação, em função das épocas

cas, é praticamente a mesma para os três tratamentos. O tratamento N, que recebeu adição de 120 Kg de P_2O_5 /ha no plantio, apresenta níveis de P-disponível bem acima dos outros tratamentos. Os teores nos tratamentos N, V e T apresentaram os seguintes valores mínimos e máximos, expressos em ppm, respectivamente: 34 e 52; 23 e 37; 20 e 34. As médias das 8 épocas de amostragens, para os três tratamentos, são: N = 41 ppm; T = 29 ppm e V = 28 ppm. A média do tratamento N difere significativamente das demais ao nível de 5% de probabilidade.

A Figura 3-c mostra os valores da concentração de NO_3^- nos três tratamentos, aos 15, 30, 60, 120 e 180 dap. Na 1a. amostragem (15 dias), os tratamentos apresentam os seguintes valores, em ppm de NO_3^- : N = 36; T = 20 e V = 13. Na segunda, os resultados são praticamente iguais, observando-se um aumento na concentração de nitrato no tratamento V para 20 ppm. Na 3a. amostragem (60 dap) os valores são praticamente iguais nos três tratamentos. Aos 120 dap, a concentração de NO_3^- no tratamento N é de 211 ppm contra 16 e 18 ppm dos tratamentos T e V, respectivamente. Deve ser ressaltado que aos 100 dap, foram aplicados 450 Kg de N/ha, em cobertura, com incorporação parcial de uréia. Na 5a. coleta (180 dap), o tratamento N apresenta 17 ppm contra 4 e 7 ppm dos tratamentos T e V, respectivamente. As médias das 8 épocas de amostragens, para os três tratamentos, são: N = 63; V = 17; T = 17, expresso em ppm. A média do tratamento N difere significativamente das demais, ao nível de 5% de probabilidade.

O número provável de microorganismos amonificantes no solo, nos tratamentos V e T, aos 15, 30, 60, 120 e 180 dap, é mostra-

do na Figura 3-d. O tratamento V apresenta uma quantidade de amonificantes várias vezes maior que o tratamento T, principalmente aos 30 dap (cerca de 10^{10} contra 10^6 amonificantes/g de solo úmido) e aos 120 dap (cerca de 10^9 contra 10^6). A concentração de NH_4^+ -disponível foi mensurada nos três tratamentos aos 15, 30, 60, 120 e 180 dap. Os valores encontrados foram muito baixos, praticamente abaixo da resolução do método empregado, à exceção do tratamento N aos 120 dap, o qual apresentou cerca de 40 ppm de N-NH_4^+ . Os resultados não foram computados no presente trabalho.

É importante observar que os valores de pH, Al-trocável, K-trocável, Mg-trocável, Ca-trocável e P-disponível apresentam algumas diferenças significativas quando determinados na linha ou na entre-linha de plantio, para os três tratamentos, aos 360 dap, conforme dados abaixo.

Local da Amostragem	pH	Al	K	Mg	Ca	P
		----- ppm -----				
<u>linha</u>						
N	5,1	52	47	26	317	44
V	5,4	18	68	65	490	27
T	5,3	27	34	44	385	30
<u>entre-linha</u>						
N	5,4	27	33	48	430	33
V	5,4	23	64	55	470	33
T	5,3	28	28	45	412	32

Os dados acima demonstram que o tratamento N apresenta menor valor pH, maior nível de alumínio e menores concentrações de Mg e Ca na linha de plantio, em relação a entre-linha, enquanto os valores de potássio e fósforo são ligeiramente superiores. É interessante observar que os tratamentos V e T praticamente não apresentam diferenças de concentração nos dois locais de amostragem do solo.

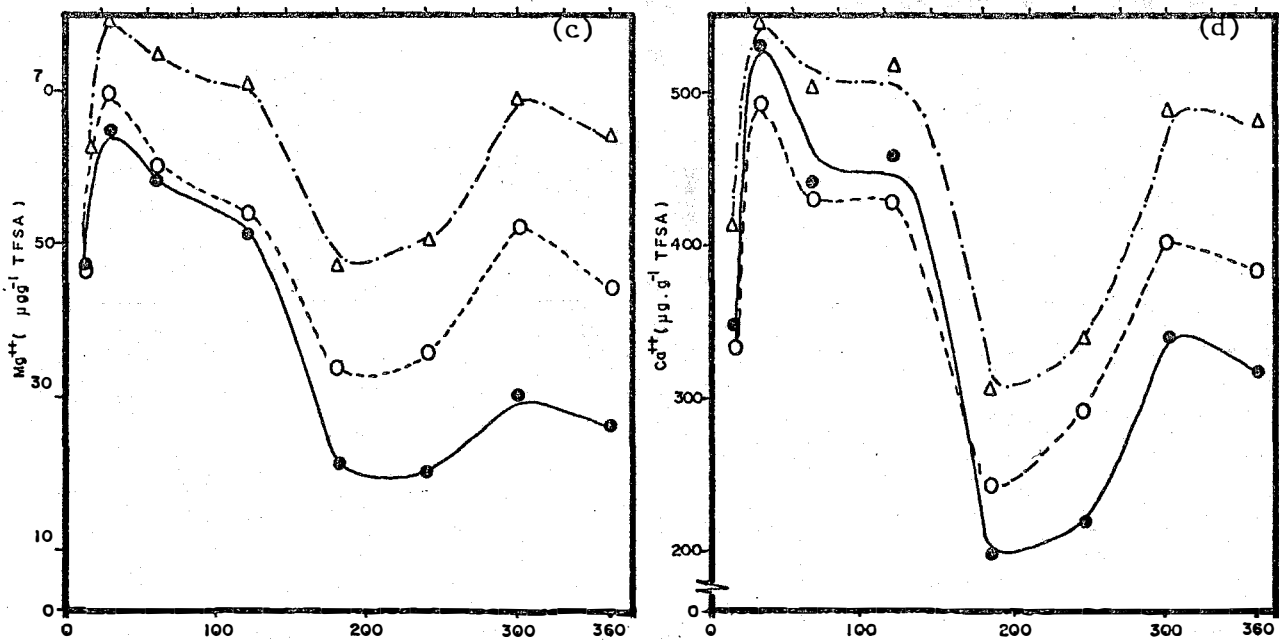
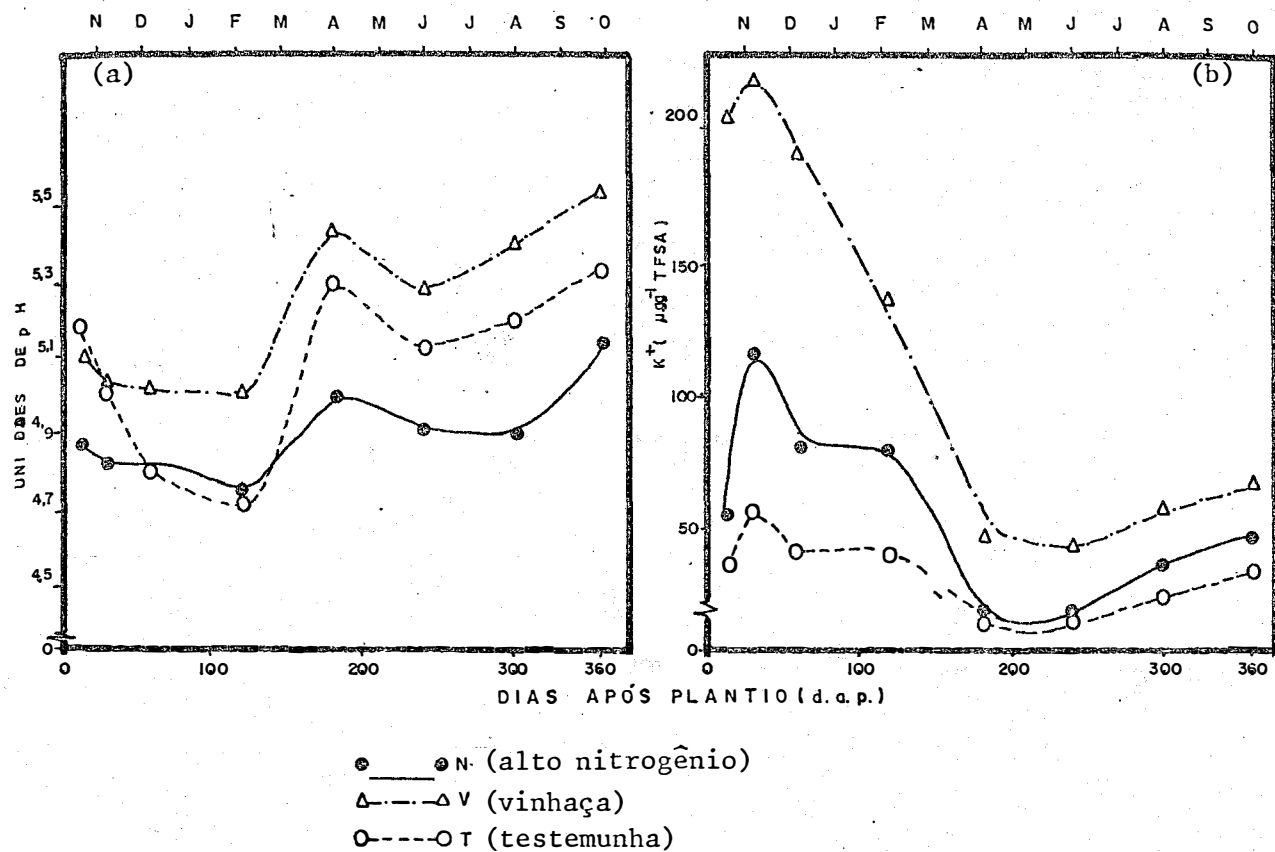
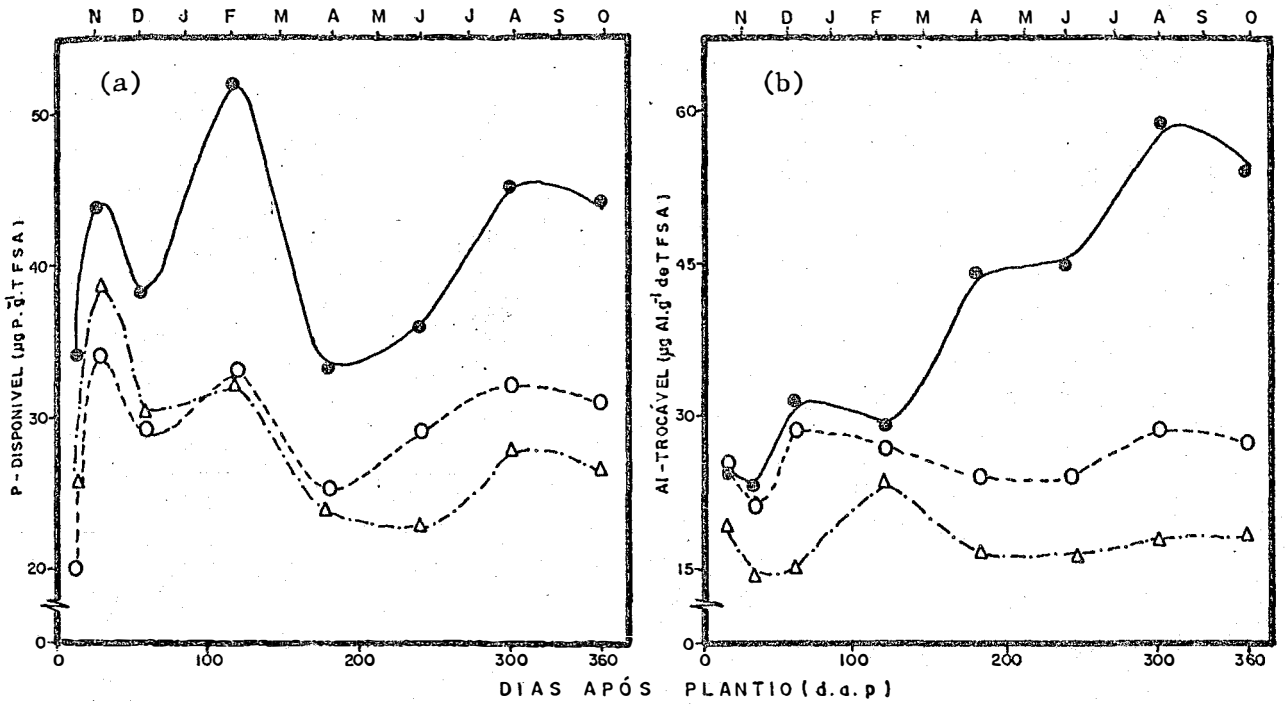


FIGURA 2 - Valores de pH (a), K⁺ - trocável (b), Mg⁺⁺ - trocável (c) e Ca⁺⁺ - trocável (d) na linha de plantio, profundidade 0-30 cm, durante o período experimental, nos três tratamentos. Média de quatro repetições.



●—● N (alto nitrogênio)
△—△ V (vinhaça)
○—○ T (testemunha)

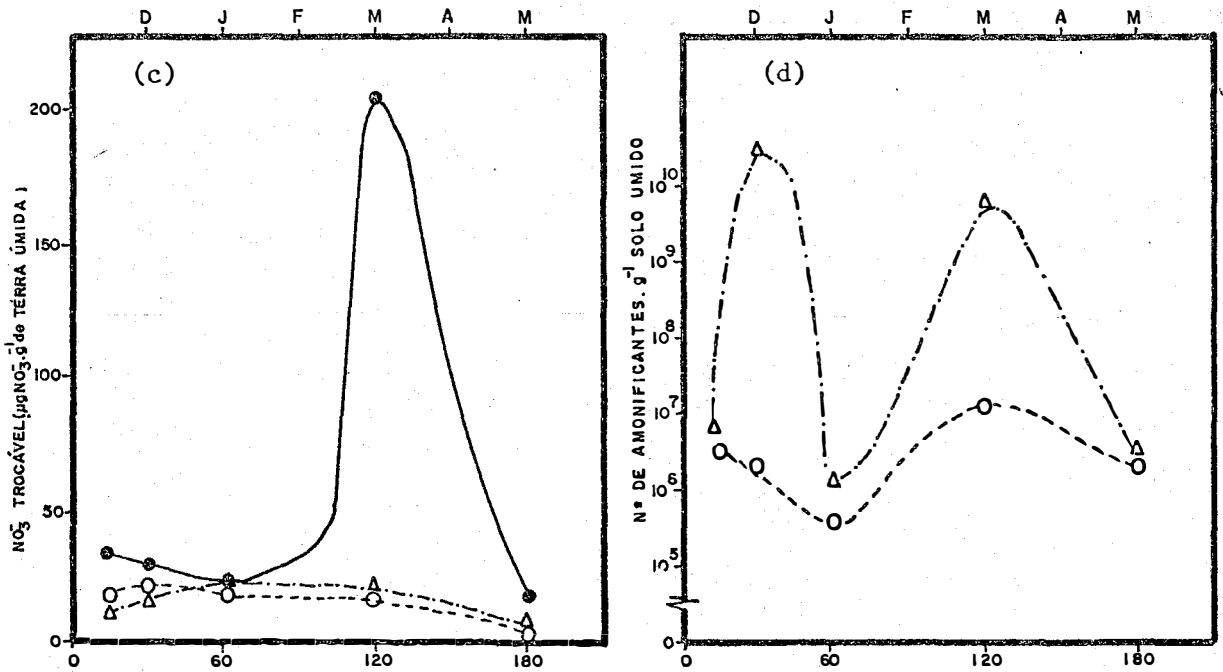


FIGURA 3 - Valores de P-disponível (a), Al-trocável (b), NO₃⁻ trocável (c) e número de amonificantes (d), na linha de plantio, profundidade 0-30 cm, durante o período experimental, nos três tratamentos. Média de quatro repetições.

4.2. Concentração de K, P, Mg e Ca nas folhas + 3 e colmos, em diferentes estádios do crescimento

Os valores das concentrações de K, P, Mg e Ca nas folhas + 3 e colmos de cana-de-açúcar, nos três tratamentos, aos 90, 120, 180, 240, 300 e 360 dap, encontram-se nas Figuras 4 e 5 e Tabelas 2, 3, 4 e 5. Observa-se que a variação da concentração no colmo, em função da idade, é semelhante para os quatro nutrientes, nos três tratamentos, com as concentrações diminuindo numa relação com tendência a exponencial. No caso das folhas, o padrão é diferente entre os nutrientes e com pequenas diferenças entre os tratamentos.

A variação da concentração de K nas folhas (Figura 4-a e Tabela 2), em função da idade, apresenta um padrão semelhante nos três tratamentos. Existe uma tendência geral para a concentração de K nas folhas decrescer suavemente em função da idade, nos três tratamentos. A %K no tratamento V é maior que a do tratamento T em todas as épocas de amostragem (diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade) e maior que a do tratamento N somente aos 90 dap, enquanto esse tratamento apresenta concentrações superiores as do tratamento T aos 120, 180 e 300 dap. Aos 120 dap, os tratamentos N, T e V apresentam, respectivamente, as seguintes % de K: 1,50; 1,27 e 1,54.

As concentrações de K no colmo decrescem exponencialmente (Figura 4-b e Tabela 2), em função da idade, sendo que o tratamento V apresenta valores sempre maiores que os dois outros tratamentos, exceção aos 120 dap, onde as concentrações dos tratamentos V e N

são iguais. As diferenças de concentrações entre os tratamentos são mais evidentes que nas folhas. O tratamento N apresenta concentrações maiores que o tratamento T aos 90, 120, 180 e 300 dap. É interessante observar que os tratamentos T e V apresentam um maior decréscimo na concentração de K dos 90 para os 120 dap (2,39 para 1,33 e 3,22 para 1,90, respectivamente) em relação ao tratamento N (2,65 para 2,07), refletindo uma maior absorção de K nesse tratamento no período considerado. No término do ciclo da cultura (360 dap), a % de K no tratamento V é cerca de duas vezes maior que as dos outros dois tratamentos.

O padrão de variação da concentração de P nas folhas (Figura 4-c e Tabela 3) é ligeiramente diferente nas três primeiras amostragens (90, 120 e 180 dap) entre os três tratamentos. Apesar disso, as diferenças entre as médias não são significativas ao nível de 5% de probabilidade. Existe uma tendência de diminuição brusca entre os 240 e 300 dap, permanecendo praticamente constante dos 300 aos 360 dap. Os tratamentos N, T e V apresentam, aos 120 dap, os seguintes valores, respectivamente: 0,21%; 0,22 e 0,23%.

A concentração de P nos colmos (Figura 4-d e Tabela 3) decresce exponencialmente em função da idade, à semelhança da % de K, nos três tratamentos. É interessante observar que aos 120 dap, o tratamento N apresenta maior concentração que os tratamentos T e V (0,11% contra 0,08% e 0,07%, respectivamente), além de um menor decréscimo em relação à época anterior (90 dap). Isso significa uma maior absorção do elemento entre 90 e 120 dap, da mesma maneira que a observada

para o potássio.

A variação da concentração de Mg nas folhas (Figura 5-a e Tabela 4), em função da idade, apresenta diferenças entre os três tratamentos, principalmente o tratamento V em relação aos outros dois. O tratamento N apresenta % de Mg inferior as dos tratamentos T e V nas três primeiras amostragens (90, 120 e 180 dap), apresentando aos 120 dap 0,12% versus 0,15% e 0,15%, respectivamente. O tratamento V apresenta menor concentração aos 240 dap, em relação aos tratamentos N e T: 0,11% contra 0,15% e 0,15%, respectivamente.

A variação da concentração de Mg no colmo é semelhante as de K e P, decrescendo exponencialmente (Figura 4-b e Tabela 4). Entretanto, o tratamento V apresenta concentrações inferiores ao tratamento T em todas as épocas de amostragem. O mesmo é observado em relação ao tratamento N, à exceção da primeira amostragem (90 dap). Os tratamentos N e T apresentam praticamente as mesmas concentrações de Mg no colmo para todas as épocas de amostragens. É importante observar que o tratamento N apresenta maior concentração aos 120 dap: 0,17% versus 0,14% e 0,11% dos tratamentos T e V, respectivamente, indicando, à semelhança do observado para K e P, maior acúmulo de Mg entre 90 e 120 dap.

A Figura 5-c e a Tabela 3 mostram a variação da concentração de Ca nas folhas de cana-de-açúcar. O tratamento V apresenta um padrão diferente daqueles dos tratamentos N e T, principalmente aos 240 dap, onde a % de Ca encontrada é cerca de 50% da observada

nos outros dois tratamentos: 0,62% contra 1,17% e 1,21%, respectivamente. Existe uma tendência para o tratamento V apresentar concentrações inferiores a partir dos 180 dap. Por outro lado, aos 120 dap, época recomendada para coleta de folhas para análise foliar (ORLANDO Fº e ZAMBELLO, 1983), a % de Ca no tratamento V é 0,56% contra 0,46% e 0,52% dos tratamentos N e T, respectivamente.

O modelo de variação da % de Ca no colmo, em função da idade (Figura 5-d e Tabela 5), nos três tratamentos, é semelhante ao observado para K, P e Mg. O tratamento V apresenta uma tendência de ter valores de concentração mais baixos que os dos outros dois tratamentos, principalmente a partir dos 180 dap. O tratamento N apresenta, aos 120 dap, maior concentração de Ca: 0,42% contra 0,32% e 0,28% dos tratamentos T e V, respectivamente, indicando uma maior absorção desse elemento no tratamento N no período de 90-120 dap, como igualmente verificado para K, P e Mg. Esses dados evidenciam o efeito positivo da aplicação da uréia aos 100 dap e/ou a absorção do nitrogênio no acúmulo de K, P, Mg e Ca na cultura de cana-de-açúcar.

Os resultados revelam que a maior absorção de potássio no tratamento V está relacionada com um grande acúmulo desse nutriente, principalmente no colmo, uma menor concentração de Mg no colmo e menor concentração de cálcio nas folhas e colmos em determinados estádios de crescimento da cultura de cana-de-açúcar.

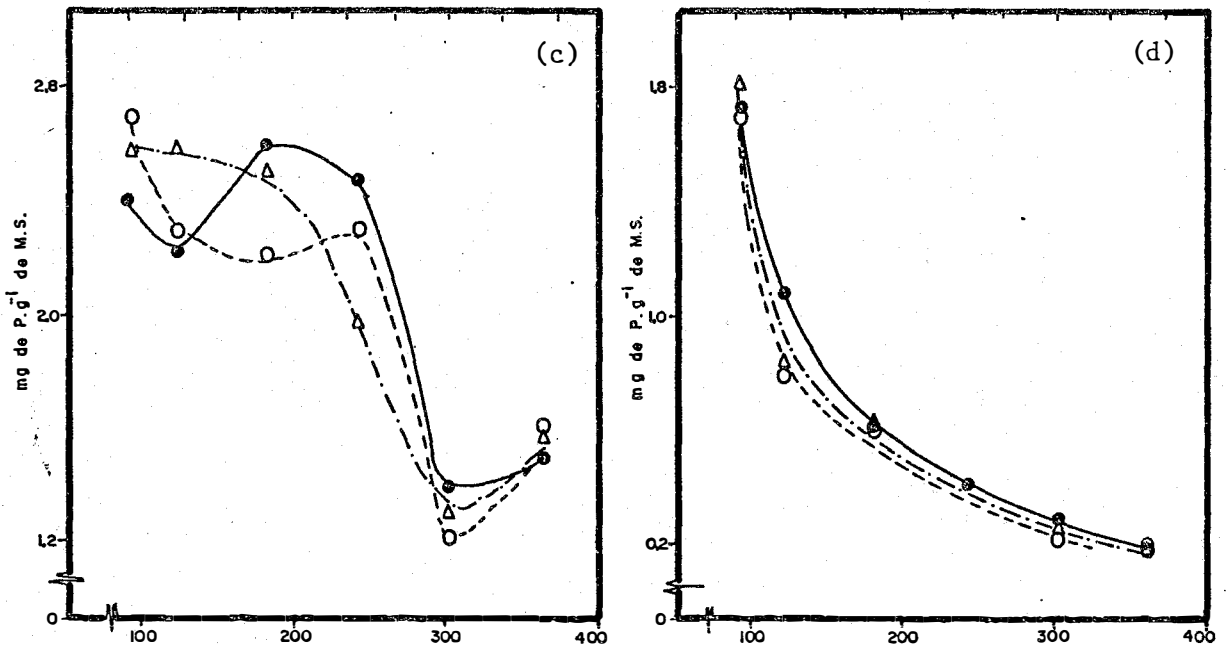
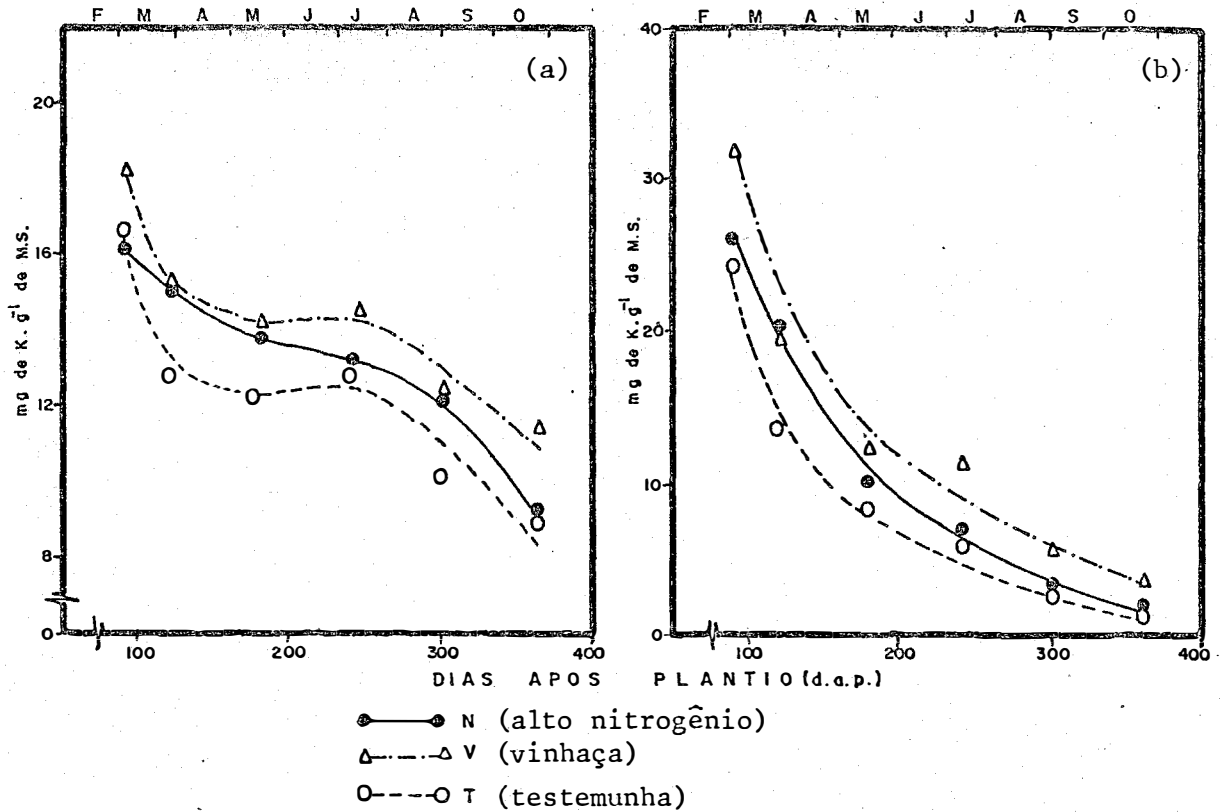


FIGURA 4 - Concentração de K nas folhas (a), no colmo (b), concentração de P nas folhas (c), no colmo (d), de cana-de-açúcar, em diferentes épocas e nos três tratamentos.

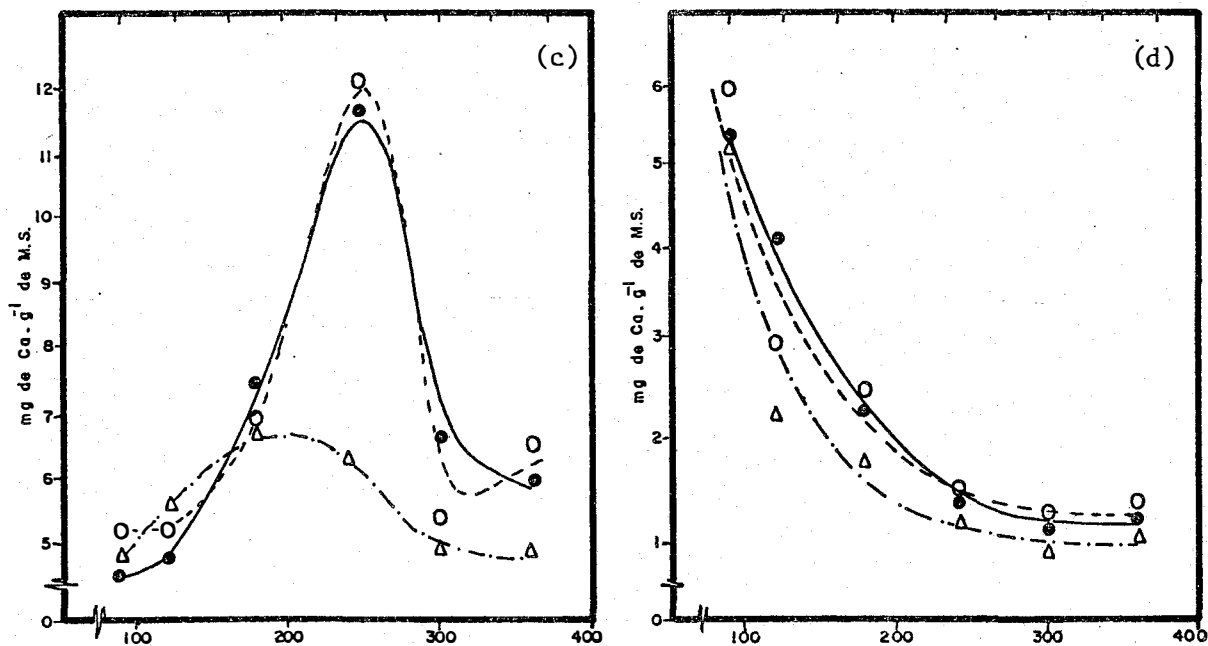
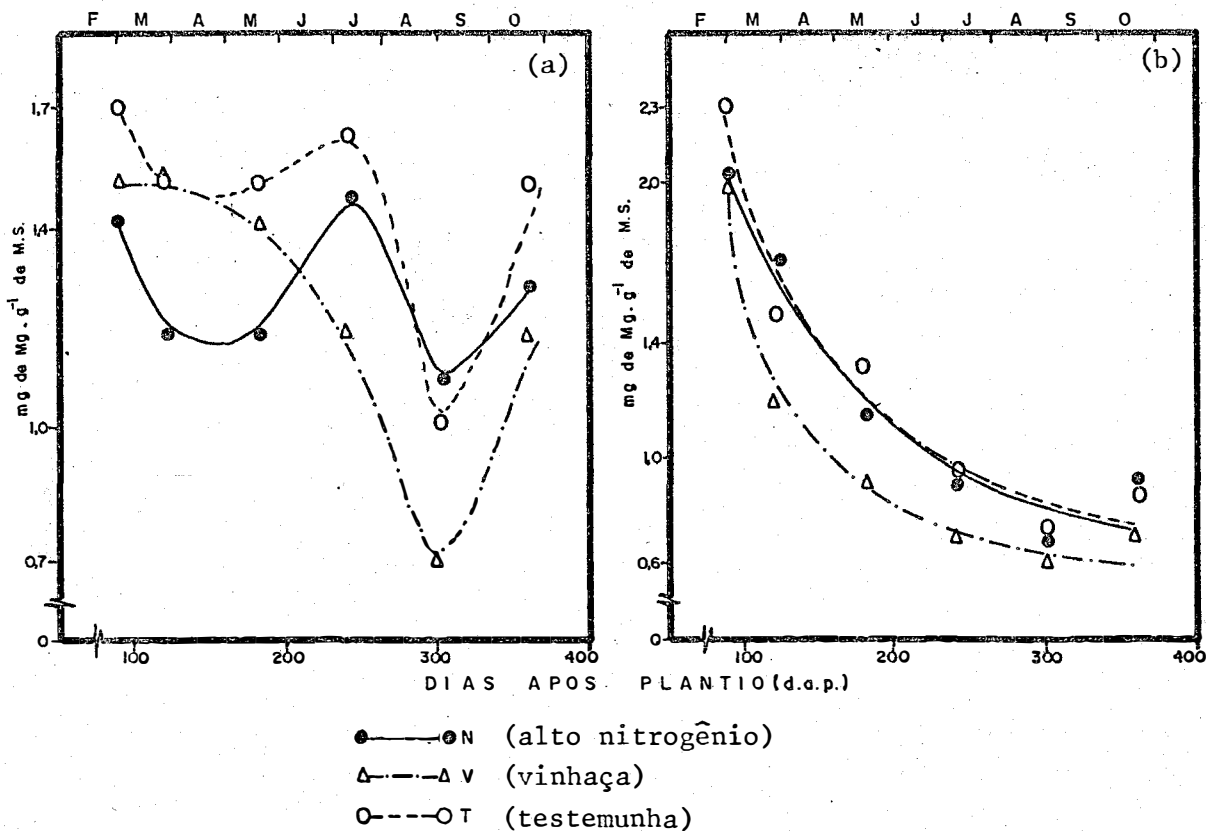


FIGURA 5 - Concentração de Mg nas folhas (a), no colmo (b), concentração de Ca nas folhas (c) e no colmo (d) de cana-de-açúcar, em diferentes épocas e nos três tratamentos.

4.3. Análise quantitativa do crescimento da cultura no ciclo de 360 dias, nos três tratamentos

Os resultados relativos ao acúmulo de matéria seca, Índice de Área Foliar (IAF), Taxa de Crescimento da Cultura (TCC), Taxa de Assimilação Líquida (TAL), Taxa de Utilização Específica de Nitrogênio (TUEN), Taxa de Crescimento Relativo (TCR), Índice de Colheita (IC), produtividade e número de colmos em cana-de-açúcar, encontram-se nas Figuras 6, 7, 8 e 9 e Tabelas 6, 7, 8, 9 e 10.

O acúmulo de matéria seca na parte aérea, em função do tempo, nos três tratamentos (Figura 6-a e Tabela 6), apresenta a forma sigmóide típica de crescimento determinado. Os resultados observados ajustam-se muito bem na função logística $Y = Y_{\max} / 1 + e^{-(A+Bt)}$, para os três tratamentos, a qual passa a descrever, no tempo, as variações de peso seco. Os tratamentos N e V não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, enquanto o tratamento T apresenta menores valores de peso seco, em relação aos outros dois, em todas as épocas de amostragem. O tratamento N apresenta valores de peso seco na parte aérea ligeiramente superiores aos do tratamento V, a partir dos 180 dap, devido ao maior crescimento das folhas, já que a matéria seca acumulada nos colmos (Tabela 9) é estatisticamente idêntica nos dois tratamentos.

A variação do IAF, no tempo e nos três tratamentos, mostrada na Figura 6-b e Tabela 7. Os tratamentos N e V apresentam valores mais elevados, em relação ao tratamento T, até os 120 dap.

Após esse período, o tratamento N apresenta maior incremento no IAF, alcançando, aos 180 dap, o valor de 4,47 contra 3,39 e 3,80 dos tratamentos T e V, respectivamente. Esses valores são diferentes entre si ao nível de 5% de probabilidade. Os três tratamentos apresentam índices máximos aos 240 dap, aproximadamente, com valores de 4,67; 3,74 e 4,06 para os tratamentos N, T e V, respectivamente. As curvas de variação do IAF apresentam uma suave tendência de parábolas assimétricas, com um declínio após os 240 dap (mês de julho), sendo mais acentuado no tratamento N.

A Figura 6-c e Tabela 8 mostram a variação da TCC, no tempo e nos três tratamentos. As curvas apresentam a forma de sino característica, com os tratamentos N e V apresentando maiores taxas que o tratamento T e diferenças mais evidenciadas até aproximadamente 240 dap. O tratamento N apresenta taxas mais elevadas que o tratamento V somente a partir dos 150 dap até aproximadamente 240 dap. A partir desse período, existe uma tendência das taxas de crescimento igualarem-se nos três tratamentos. O pico de crescimento nos três tratamentos ocorre aos 180 dap com taxas de 21,00; 15,93 e 18,87 g de M.S . m⁻².dia⁻¹ nos tratamentos N, T e V, respectivamente.

A Taxa de assimilação líquida (TAL) apresenta o mesmo padrão de variação no tempo para os três tratamentos, aumentando nas fases mais jovens das plantas (60-120 dap), diminuindo suavemente dos 120 aos 180 dap e decrescendo bruscamente a partir desse período até a maturação (Figura 6-d e Tabela 9). É interessante observar que o tratamento V tende a apresentar valores mais baixos até 150 dap, enquanto

o tratamento N apresenta taxas ligeiramente mais baixas a partir dos 150 dap, em relação aos tratamentos T e V. Os valores máximos de TAL ocorrem aos 120 dap, aproximadamente, com os três tratamentos apresentando os seguintes valores, em g de M.S. m^{-2} de folhas $\cdot dia^{-1}$: N = 5,37; T = 5,33 e V = 4,98. É provável que os valores médios dos três tratamentos, ao longo do ciclo da cultura, não apresentem diferenças significativas entre si.

A Taxa de Crescimento Relativo (TCR) apresenta uma tendência de variação semelhante para os três tratamentos (Figura 8-a e Tabela 9). Os valores decrescem a partir dos 60 dap, nos primeiros períodos numa forma relativamente suave (60-120 dap), decrescendo bruscamente a partir desse período. Os três tratamentos praticamente não apresentam diferenças entre suas taxas durante o ciclo da cultura. O tratamento T tende a apresentar maiores valores de TCR, em relação aos tratamentos N e V, a partir dos 180 dap.

A Figura 7-b e Tabela 10 mostram a variação, no tempo, da Taxa de Utilização Específica de Nitrogênio (TUEN), dos três tratamentos. A forma das curvas é semelhante para os três tratamentos, sendo que o tratamento T apresenta maiores valores em todos os estádios de crescimento. É importante observar que o tratamento N apresenta as taxas mais baixas, enquanto o tratamento V apresenta valores intermediários. Os valores mais elevados são observados nas fases mais jovens das plantas, decrescendo numa forma quase linear a partir dos 90 dap até o final do ciclo da cultura. As taxas aos 90 dap, para os três tratamentos, são: N = 2,70; T = 3,42 e V = 2,95, expressas em

g de M.S.gN⁻¹.dia⁻¹.

Os índices fisiológicos IAF, TCC, TAL, TCR e TUEN, além de apresentarem diferenças entre os tratamentos, apresentam também diferenças em relação ao comportamento no tempo em termos de duração com valores elevados e períodos de valores máximos. O período de maior crescimento foliar é dos 90 aos 180 dap, atingindo o valor máximo acumulado aos 240 dap. A TCC apresenta maiores taxas dos 120 aos 240 dap, com pico aos 180 dap. A TAL apresenta valores mais elevados dos 60 aos 210 dap, apresentando taxas máximas por todo esse período. A TCR apresenta os valores mais elevados nas fases mais jovens, com o máximo aos 60 dap, o mesmo sendo observado para a TUEN. Com relação às amplitudes de variação (máximo em relação ao mínimo), durante o ciclo da cultura de cana-de-açúcar, observam-se os seguintes valores para o tratamento N: IAF = 2,73 vezes; TCC = 16,6 vezes; TAL = 17,3 vezes; TCR = 58,7 vezes e TUEN = 30,0 vezes.

Os dados relativos à análise fisiológica da produtividade final da cultura, nos três tratamentos, encontram-se na Figura 9. Os tratamentos N, T e V apresentam as seguintes produtividades, em toneladas de cana/ha, respectivamente: 81,9; 64,2 e 72,3. A mesma proporção foi obtida quando expressa em toneladas de pol/ha, já que o parâmetro POL% cana foi idêntico para os três tratamentos (N = 15,2%; T = 15,4% e V = 15,3%). As Figuras 9-c e 9-d indicam que a maior produtividade (biomassa) no tratamento N está diretamente relacionada com o número de perfilhos (colmos com altura menor que 50 cm): 94,3 contra 81,5 e 80,3, expresso em perfilhos/parcela, nos tratamentos N, T e

V, respectivamente. Além do número de perfilhos, o tratamento N apresenta, também, maior peso médio/colmo em relação aos tratamentos T e V. Os tratamentos N e V apresentam praticamente o mesmo número de colmos adultos (com altura superior a 50 cm) e superiores ao tratamento T. O índice de colheita, IC (Figura 9-b) é idêntico para os três tratamentos: N = 0,14; T = 0,14 e V = 0,14, expresso em peso de sacarose aparente/peso de matéria seca da parte aérea total.

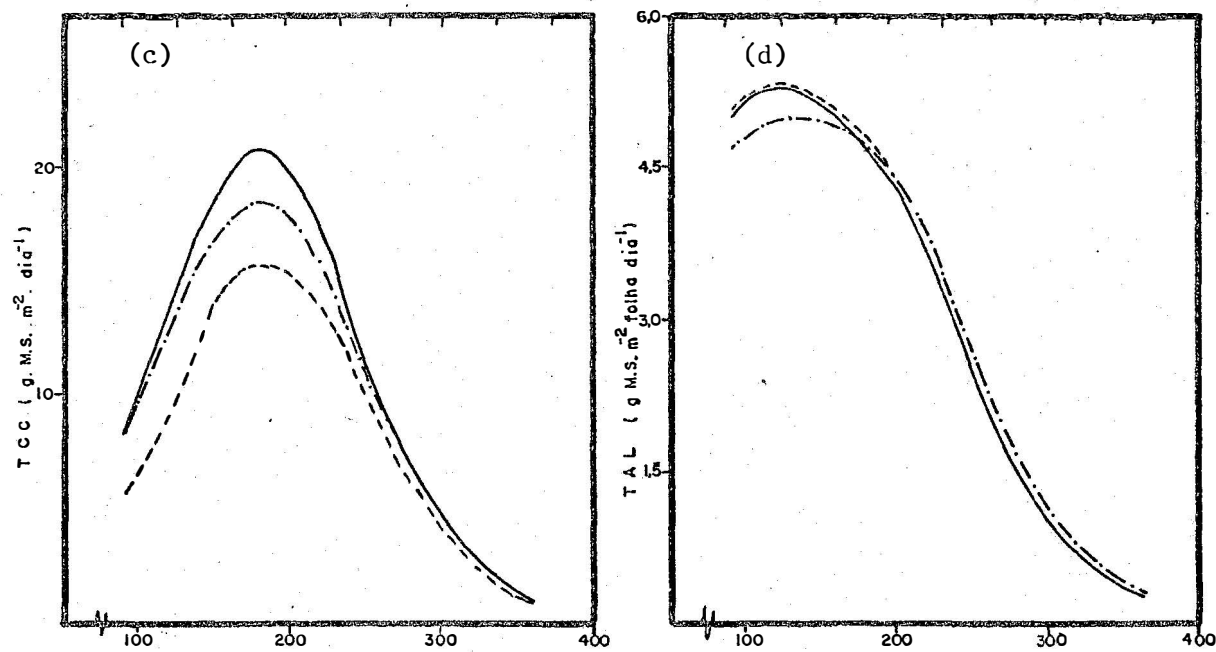
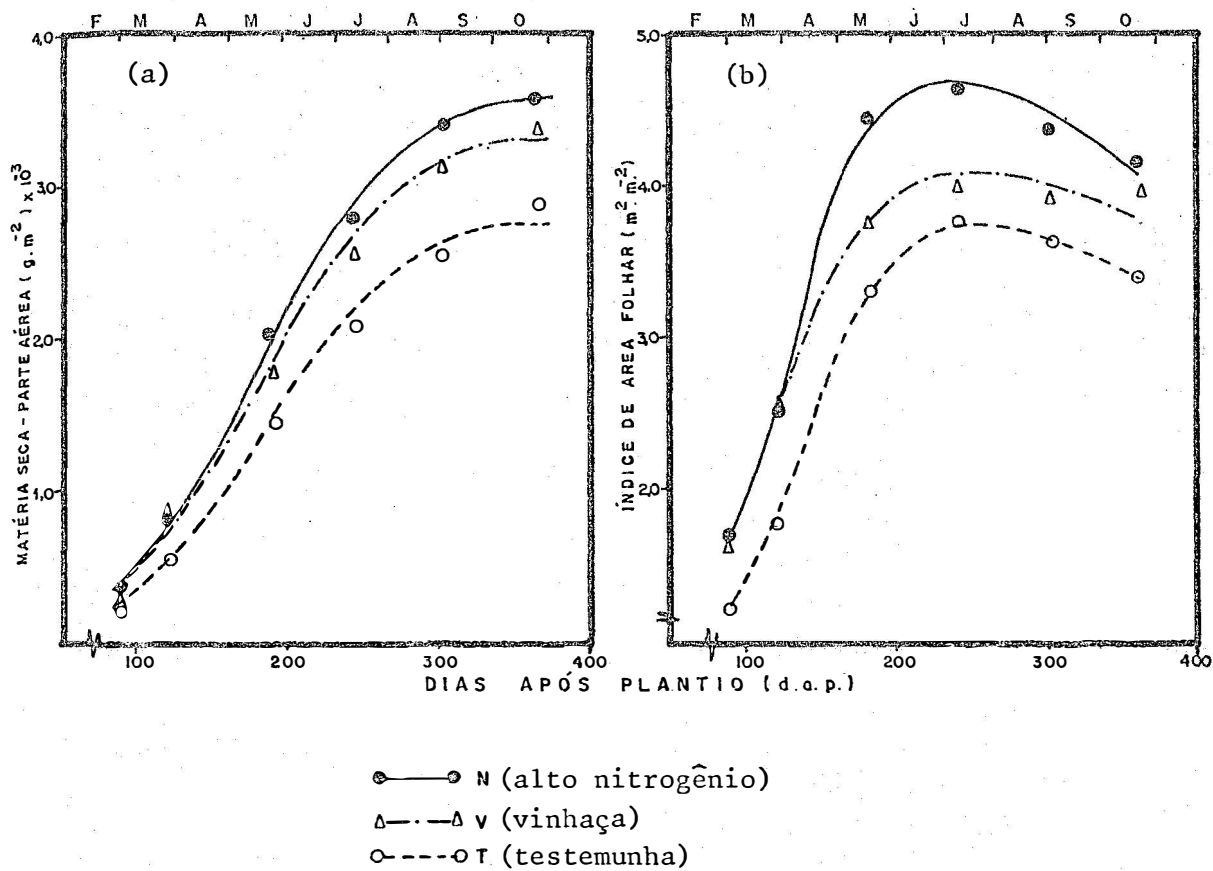
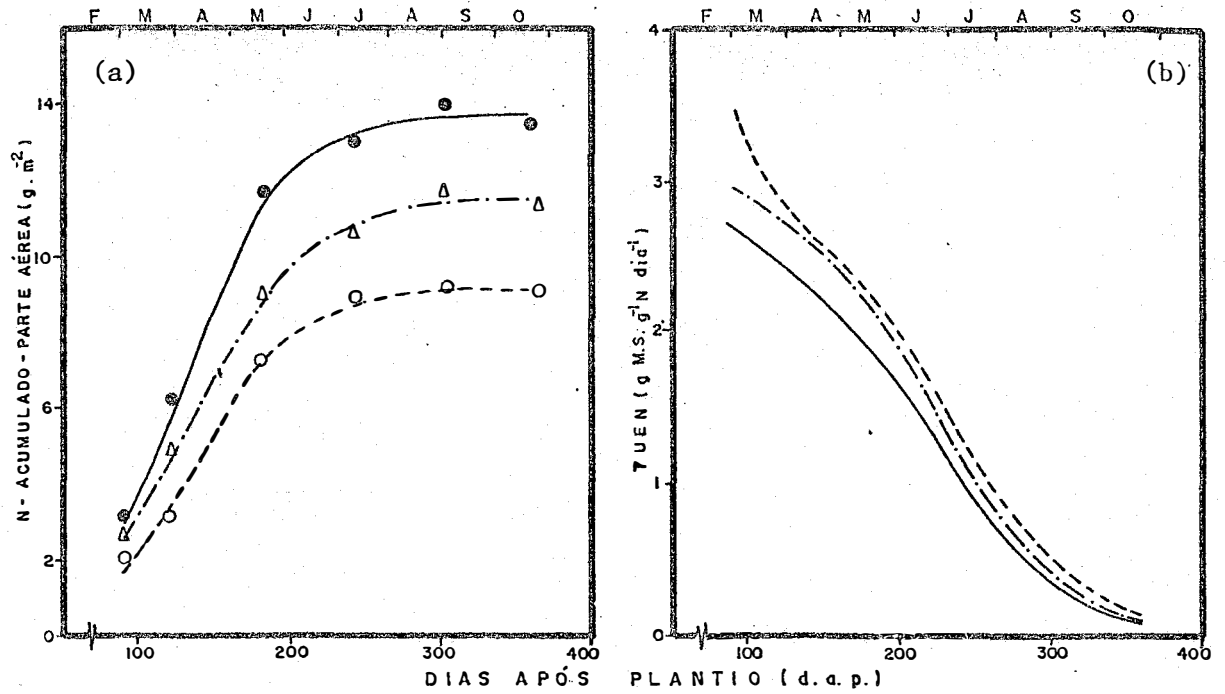


FIGURA 6 - Acúmulo de matéria seca na parte aérea (a), índice de área foliar (b), taxa de crescimento da cultura (c) e taxa de assimilação líquida (d), em cana-de-açúcar, em função do tempo e nos três tratamentos (curvas obtidas a partir das funções ajustadas).



●—● N (alto nitrogênio)
 △—△ V (vinhaça)
 ○—○ T (testemunha)

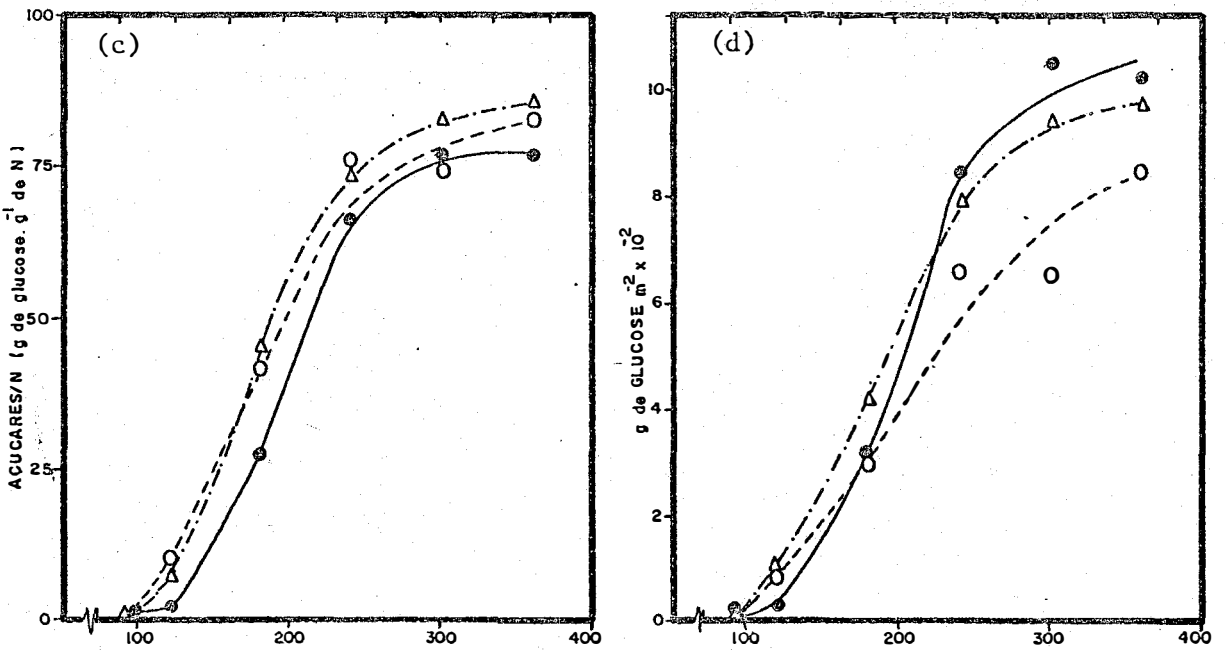


FIGURA 7 - Acúmulo de nitrogênio (a), taxa de utilização específica de nitrogênio - TUEN (b), acúmulo de açúcares por unidade de N (c) e acúmulo de açúcares solúveis totais em colmo (d) de cana-de-açúcar, em função do tempo, nos três tratamentos (curvas de "a" e "b" obtidas a partir das funções ajustadas).

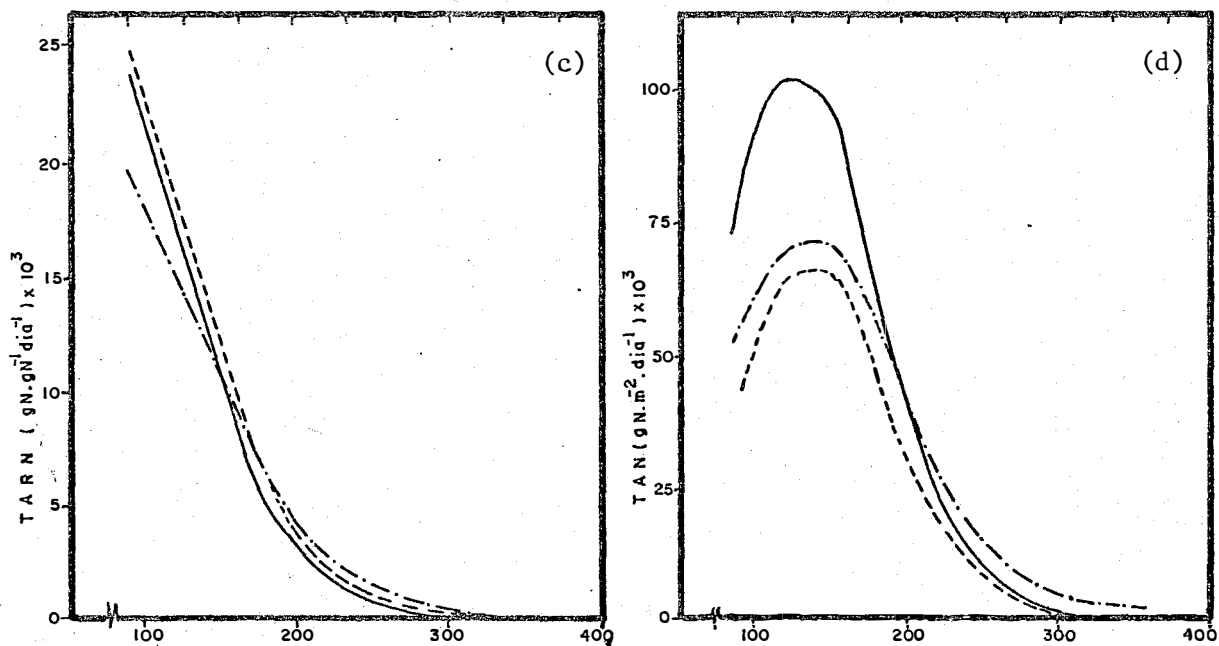
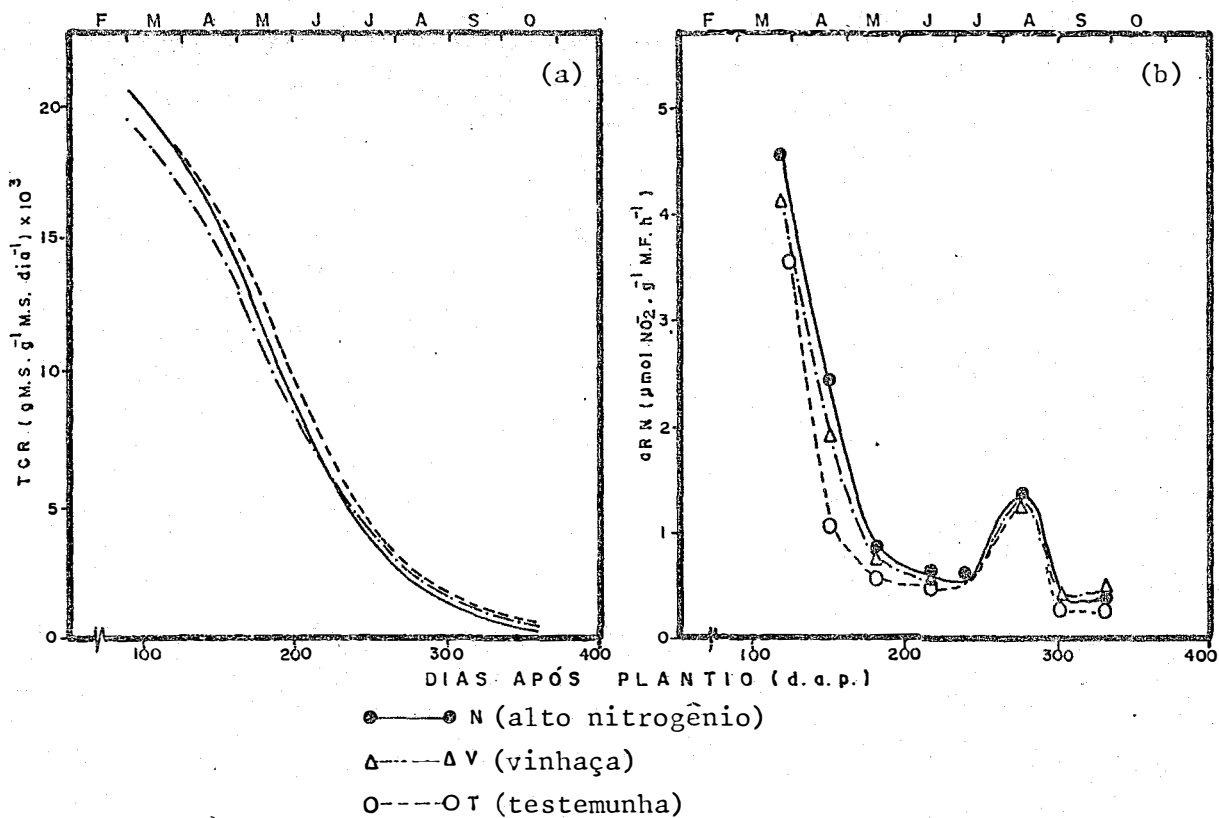


FIGURA 8 - Taxa de crescimento relativo (a), atividade de redutase nitrato (b), taxa de acúmulo relativo de nitrogênio (c) e taxa de acúmulo de nitrogênio (d), de cana-de-açúcar, em função do tempo e nos três tratamentos (curvas de "a", "c" e "d" obtidas a partir de funções ajustadas).

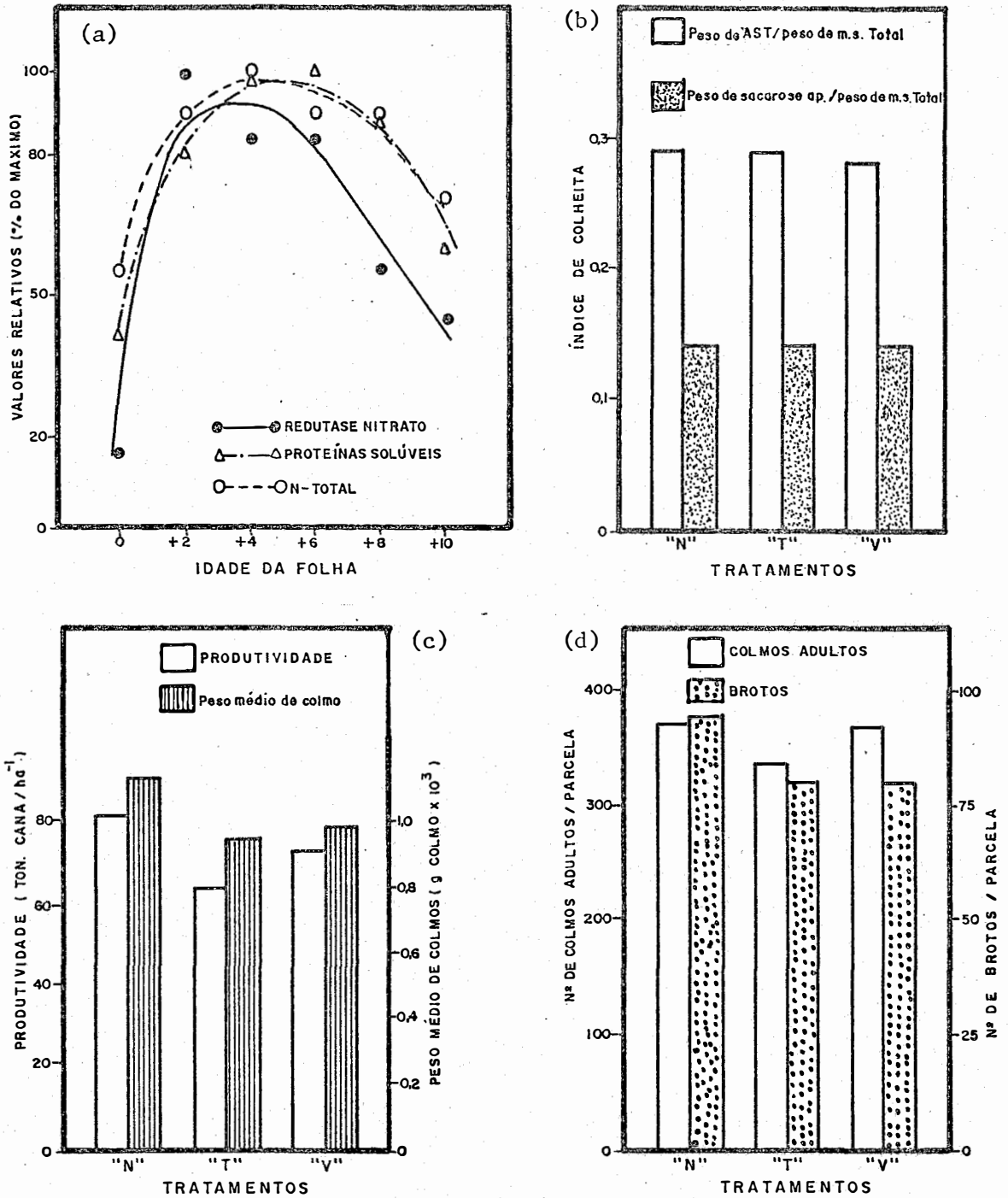


FIGURA 9 - Atividade de redutase nitrato, concentração de proteínas solúveis e de N-total em folhas de diferentes idades aos 300 dias após o plantio (a), índice de colheita (b), produtividade e peso médio de colmos (c) e número de colmos adultos e brotos (< 50 cm) na época de colheita de cana-de-açúcar e nos três tratamentos.

4.4. Concentração de açúcares em folhas, bainha e colmo, em diferentes estádios de crescimento

Os resultados relativos ao acúmulo de açúcares no colmo, à concentração de Açúcares Solúveis Totais (AST), Açúcares Redutores (AR) nas folhas, bainha, colmo e de sacarose aparente (POL%) no caldo, nos três tratamentos e em diferentes estádios do crescimento de cana-de-açúcar são mostrados através das Figuras 7-c, 7-d, 10, 11 e 12, e Tabelas 11, 12, 13 e 14. Os dados revelam que existem diferenças significativas entre as médias de %AR, %AST e POL%, entre tratamentos, entre estádios do crescimento e entre folhas, bainha e colmo.

A Figura 10-d e Tabela 11 mostram os dados referentes à concentração de açúcares solúveis totais (AST) nas folhas dos três tratamentos e nas diferentes épocas de amostragem. Os três tratamentos apresentam o mesmo padrão de variação em relação às diferentes épocas, observando-se uma tendência do tratamento V apresentar valores mais baixos nas três primeiras épocas de amostragem (90, 120 e 240 dap), diferenças essas não significativas ao nível de 5% de probabilidade. É interessante observar que a % de AST aos 180 dap, nos três tratamentos, é bastante inferior àquelas observadas nas demais épocas de amostragem, o mesmo ocorrendo aos 360 dap, porém, com menor intensidade. De um modo geral, o valor médio da % de AST nos três tratamentos, aos 90, 120, 240 e 300 dap, está em torno de 4% (g de glucose/100 g de M.S.) contra 2,3% e 3,3% aos 180 e 360 dap, respectivamente.

A concentração de AST e AR na bainha, nos três tratamentos e nas diferentes épocas de amostragem, são mostradas nas Figuras 11-a, 11-c e Tabela 12. A variação da % de AST, em função das épocas de amostragem, é idêntica para os três tratamentos, observando-se o mesmo para a variação da % de AR. O tratamento V apresenta valores mais baixos de AST e AR nas quatro primeiras amostragens (120, 180, 240 e 300 dap) em relação ao tratamento T, enquanto o tratamento N apresenta concentrações menores de AR e AST aos 120 dap. Essas diferenças entre médias são significativas ao nível de 5% de probabilidade.

Os padrões de variação na % de AST e % de AR, na bainha, em função das épocas de amostragem, são semelhantes. Observa-se uma diminuição de concentração dos 120 aos 240 dap, um aumento de ART dos 240 aos 360 dap, enquanto a % de AST aumenta dos 240 aos 300 dap e tende a diminuir dos 300 aos 360 dap. É interessante observar que a diferença AST-AR (sacarose estimada) é baixíssima (praticamente zero) aos 120 e 180 dap, cerca de 2,0 aos 240 dap, 3,0 aos 300 dap e aproximadamente 1,0 aos 360 dap. A % de AST, no tratamento T, varia em 1,5 vezes (em função da época), enquanto a % de AR varia em 3 vezes.

Apesar da diferença AST-AR diminuir de aproximadamente 3,0 para 1,0 entre 300 e 360 dap (tratamentos N e T), a concentração de AST diminui em apenas 1% nesse mesmo período. É interessante observar que o padrão de variação de AST na bainha é semelhante ao observado nas folhas, sendo que a primeira apresenta concentrações maiores, principalmente aos 120, 180, 300 e 360 dap.

A variação na concentração de AST e AR do colmo, em função das épocas de amostragens e nos três tratamentos, é mostrada nas Figuras 11-b e 11-d e Tabelas 11 e 13. O tratamento N apresenta um padrão de variação para % de AST e AR ligeiramente diferente dos tratamentos T e V devido a apresentar uma diminuição na concentração entre os 90 e 120 dap, enquanto o tratamento T apresenta um aumento de aproximadamente dez vezes na % de AR e em torno de três vezes na % de AST. Após 120 dap, o padrão de variação na % de AST é idêntico nos três tratamentos, enquanto o de AR é praticamente o mesmo, à exceção do valor observado no tratamento N aos 240 dap.

O tratamento N apresenta, no colmo, aos 120 dap, concentração de AR várias vezes menor que a do tratamento T: 0,76% contra 6,46%. O mesmo é observado para os AST, com o tratamento N apresentando 2,30% contra 7,66%. A diferença entre os dois tratamentos diminui aos 180 dap, sendo, porém, ainda significativa ao nível de 5% de probabilidade. Aos 240, 300 e 360 dap, as concentrações de AR e AST são praticamente iguais nos tratamentos N e T. O tratamento V, por outro lado, apresenta igual % de AST e menores concentrações de AR que o tratamento T, durante o ciclo da cultura, com exceção dos 90 dap. É interessante observar que o tratamento N apresenta maior % de AR e AST aos 90 dap em relação aos tratamentos T e V.

A % de AST no colmo, em função da idade da planta, aumenta linearmente entre 90 e 240 dap (exceção para o tratamento N entre 90 e 120 dap), decrescendo suavemente dos 240 aos 360 dap. A % de AR aumenta linearmente entre 90 e 180 dap (exceção para o tratamen

to N), decresce dos 180 aos 240 dap nos tratamentos T e V, permanecendo constante nesse período no tratamento N e aumentando dos 240 aos 360 dap nos três tratamentos. A % de AR no colmo é maior que na ba^unha, nos três tratamentos e nas diferentes épocas, à exceção dos 120 dap em que as concentrações são praticamente iguais. É interessante observar que a diferença AST-AR aos 90 e 120 dap, nos três tratamentos, é bastante pequena.

A concentração de sacarose aparente (POL%) e a % de AR no caldo, nas diferentes épocas e nos três tratamentos são mostrados nas Figuras 12-a e 12-b e Tabela 13. A POL%, nos três tratamentos, apresenta o mesmo padrão de variação, aumentando linearmente dos 120 aos 330 dap e diminuindo ligeiramente dos 330 aos 360 dap. A % de AR, determinada aos 240, 270, 300, 330 e 360 dap, apresenta variações sazonais com diminuição e aumentos sucessivos nesses períodos, para os três tratamentos. O tratamento N apresenta menor POL% aos 120 dap em relação aos tratamentos T e V, enquanto o tratamento V apresenta maiores valores aos 120 e 180 dap, em relação aos tratamentos N e T, sendo a diferença mais evidenciada aos 120 dap. A partir dos 180 dap, os três tratamentos apresentam iguais valores de POL%. O tratamento V, por outro lado, apresenta menor % de AR, principalmente aos 240, 270 e 300 dap.

As Figuras 7-c e 7-d e Tabela 14 mostram o acúmulo de Açúcares Solúveis Totais (AST) no colmo, expresso em grama de glucose/grama de nitrogênio na parte aérea e em grama de glucose/m² de terreno, em diferentes estádios de crescimento e nos três tratamentos. As

curvas são praticamente idênticas para os três tratamentos e para as duas formas de expressar os resultados, sugerindo a forma sigmóide para o acúmulo de açúcares. É interessante observar que o tratamento N apresenta maior acúmulo de açúcares aos 90 dap (4,80 g/m² contra 1,91 e 3,88 dos tratamentos T e V, respectivamente) e 1,65 g de glucose / g de N contra 0,96 e 1,06 nos tratamentos T e V, respectivamente, no mesmo período. Aos 120 dap, os resultados são alterados drasticamente com os tratamentos N, T e V apresentando os seguintes valores, expressos em g de glucose/m² e g de glucose/g de N, respectivamente: N = 11,32 e 1,85; T = 29,07 e 9,92; V = 35,09 e 7,56. O tratamento N apresenta menor acúmulo de açúcares/unidade de N, em relação aos tratamentos T e V, principalmente até os 240 dap. Os tratamentos T e V não apresentam diferenças significativas em relação ao acúmulo de açúcares por unidade de nitrogênio. O acúmulo de açúcares, quando expresso em g de glucose/m², é maior no tratamento V aos 120 e 180 dap, e praticamente igual após esse período, em relação ao tratamento N.

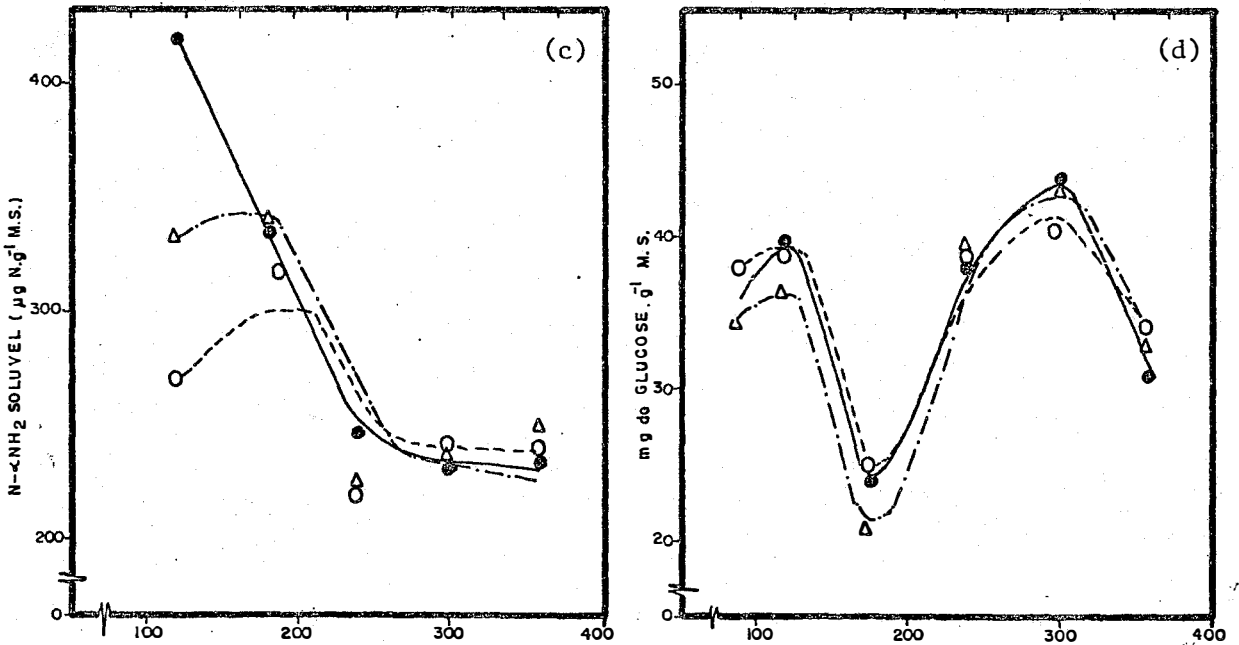
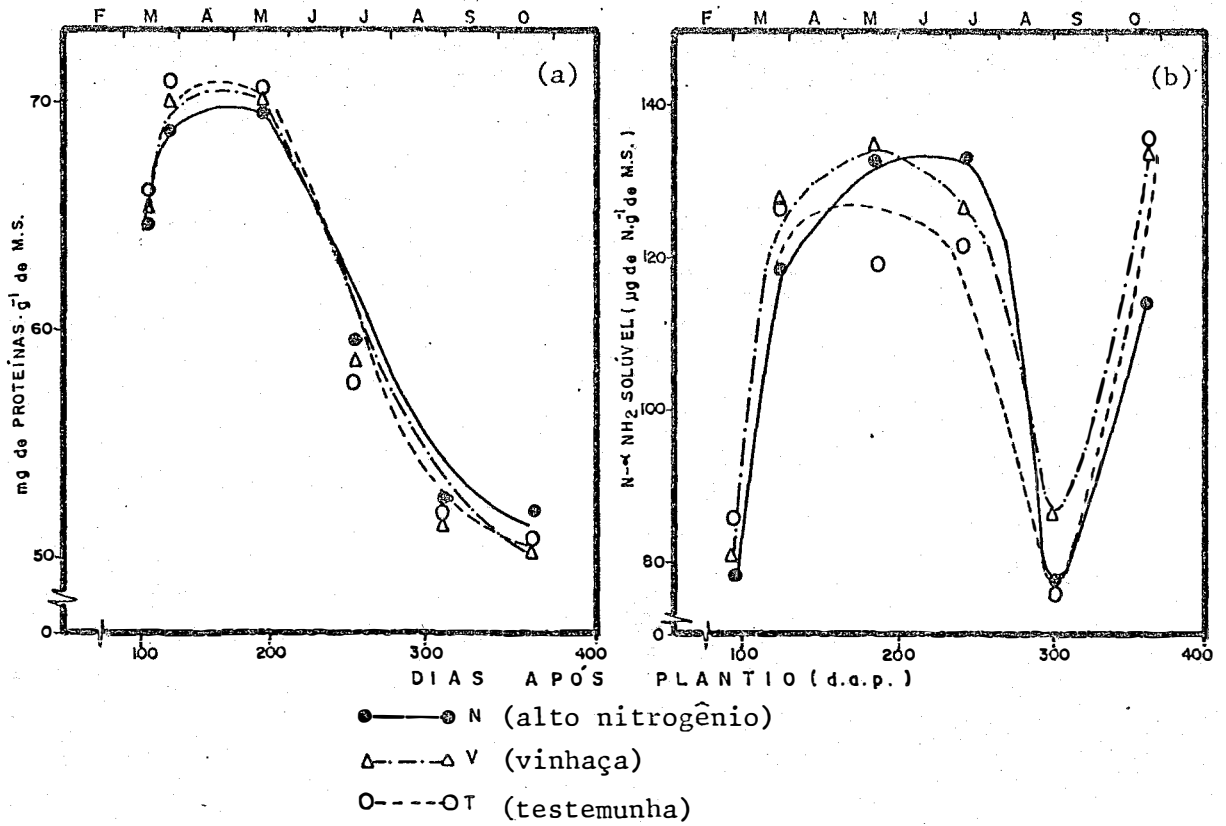


FIGURA 10 - Concentração de proteínas solúveis nas folhas (a), N-αNH₂ solúvel no colmo (b), N-αNH₂ na balsa (c) e açúcares solúveis totais nas folhas (d) de cana-de-açúcar, em diferentes épocas e nos três tratamentos.

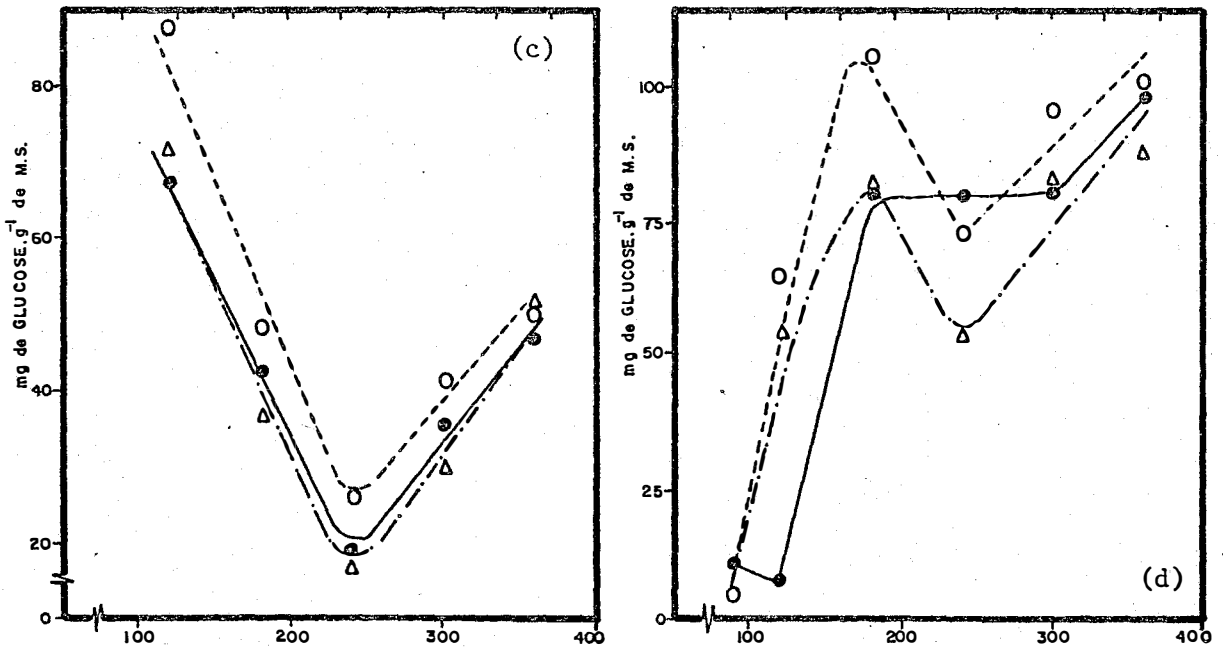
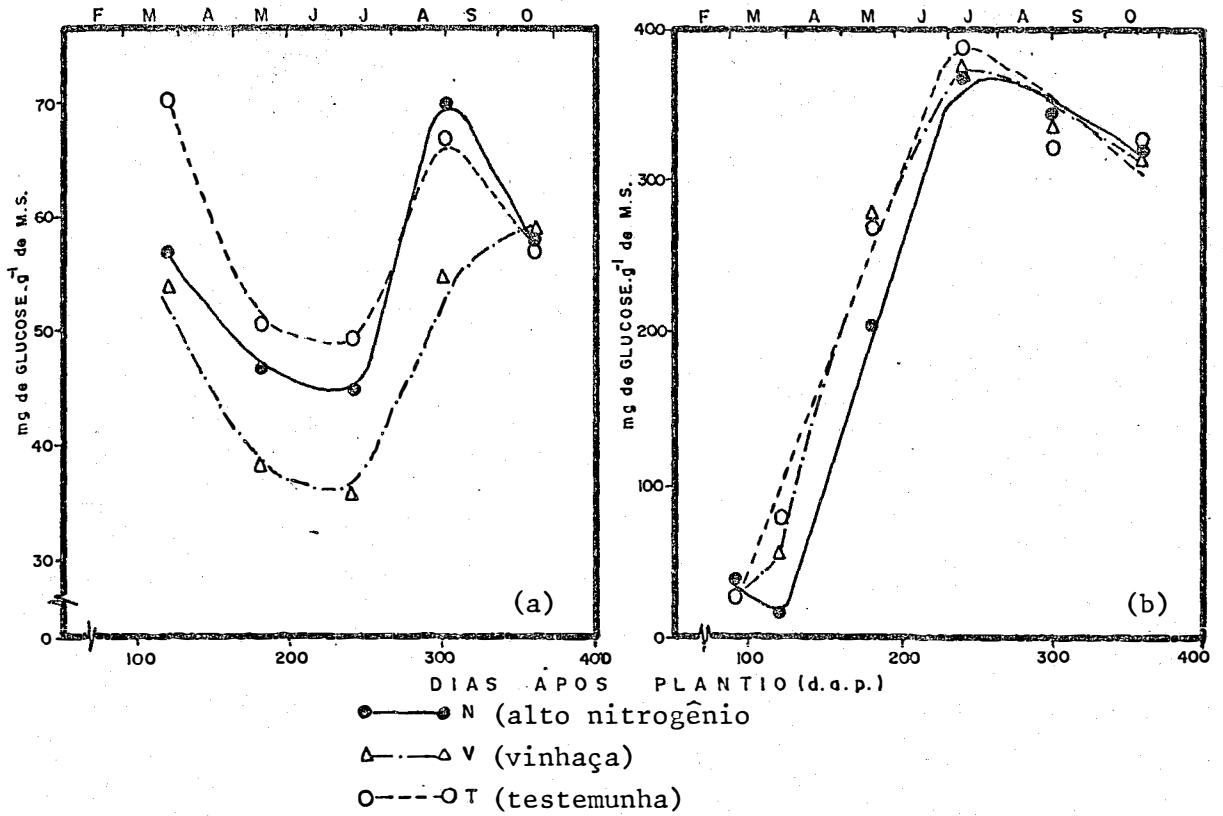
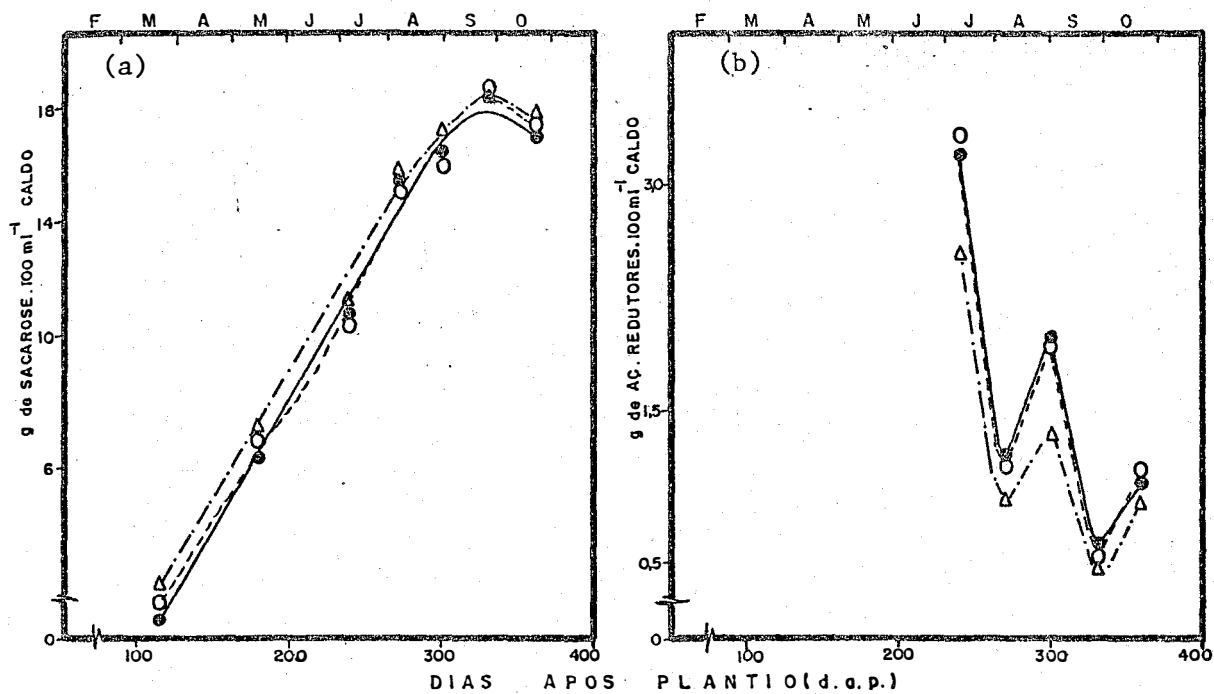


FIGURA 11 - Concentração de açúcares solúveis totais na bainha (a), no colmo (b), açúcares redutores na bainha (c) e no colmo (d) de cana-de-açúcar, em diferentes épocas e nos três tratamentos.



●—● N (alto nitrogênio)
 △---△ V (vinhaça)
 ○---○ T (testemunha)

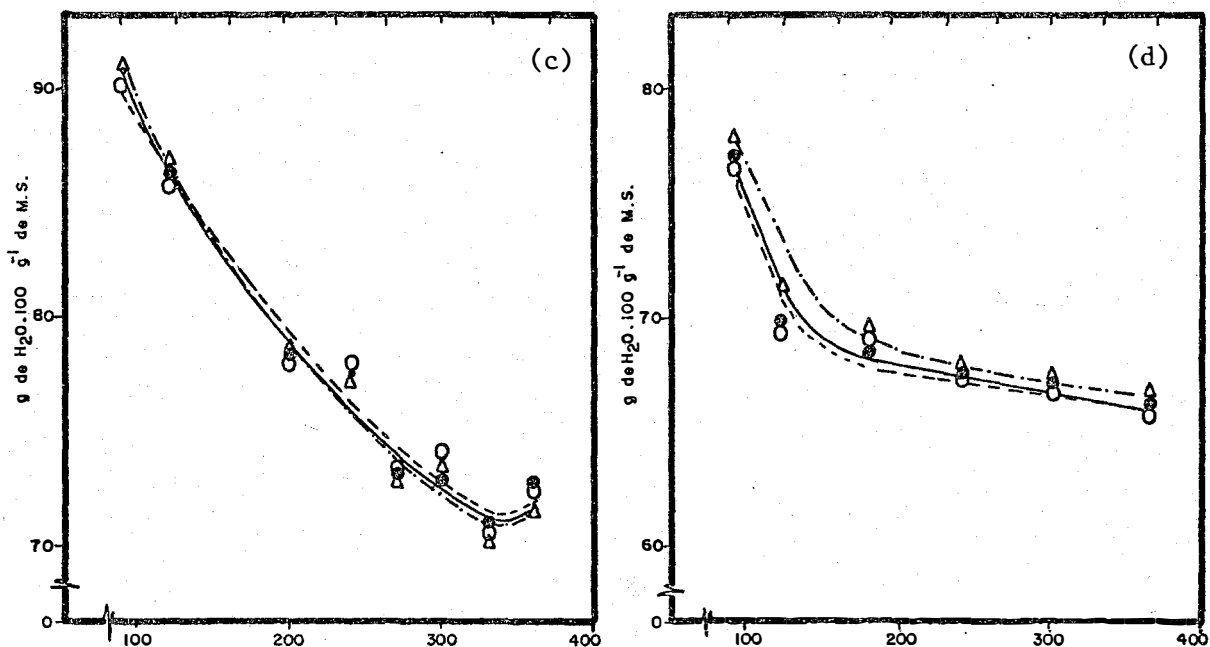


FIGURA 12 - Concentração de sacarose aparente (% POL) no caldo (a), de açúcares redutores (b), umidade no colmo (c) e nas folhas (d) de cana-de-açúcar, em diferentes épocas e nos três tratamentos.

4.5. Acúmulo de nitrogênio em diferentes estádios de crescimento

Os resultados dos valores de nitrogênio acumulado na parte aérea, folhas, colmos, Taxa de Acúmulo Relativo de Nitrogênio (TAR_N) e Taxa de Acúmulo de Nitrogênio (TAN), da parte aérea, nos três tratamentos e em função do tempo, são mostrados através das Figuras 7-a, 8-a, 8-b, 13 e Tabelas 6, 8, 10 e 15.

A Figura 7-a e a Tabela 6 mostram o acúmulo de nitrogênio na parte aérea, nos três tratamentos, a partir das mensurações nas seis épocas de amostragem. Os valores observados se ajustam à função logística utilizada para descrever o acúmulo de matéria seca, passando, também, a descrever a variação do nitrogênio acumulado em função do tempo nos três tratamentos. O tratamento N apresenta, a partir dos 120 dap, maiores valores de N acumulado em relação aos outros dois tratamentos, enquanto o Tratamento V apresenta valores mais elevados que o tratamento T a partir dos 90 dap. Os tratamentos N e V apresentam resultados iguais até os 90 dap.

Os resultados relativos ao nitrogênio acumulado nas folhas e colmos, nos três tratamentos e nos diferentes estádios de crescimento de cana-de-açúcar, encontram-se nas Figuras 13-b e 13-c e Tabela 15. Os três tratamentos apresentam o mesmo padrão de variação em função do tempo. O acúmulo no colmo é praticamente linear dos 90 aos 300 dap, com uma tendência a atingir estabilidade a partir deste período. Nas folhas, o padrão é diferente, com as curvas apresentando formas de parábolas assimétricas com declínio a partir dos 240 dap.

O padrão de variação do nitrogênio acumulado nas folhas, para os três tratamentos, é semelhante ao observado no Índice de Área Foliar. Com relação ao comportamento dos tratamentos, observa-se que, em relação ao colmo, os três tratamentos apresentam o mesmo comportamento observado para o acúmulo de nitrogênio na parte aérea. Nas folhas, o comportamento é diferente. Os tratamentos N e V apresentam valores idênticos aos 90, 120, 300 e 360 dap, com o primeiro tratamento apresentando valores mais elevados aos 180 e 240 dap. Em relação ao tratamento T, o tratamento N apresenta maiores valores até os 240 dap, enquanto o tratamento V apresenta maiores valores até somente os 120 dap.

As Figuras 8-c e 8-d e as Tabelas 10 e 8, apresentam os resultados da Taxa de Acúmulo Relativo de Nitrogênio (TAR_N) e Taxa de Acúmulo de Nitrogênio (TAN) na parte aérea, nos três tratamentos e em função do tempo. As taxas foram obtidas a partir de derivadas das funções logísticas ajustadas para cada tratamento, utilizando as definições de HUNT (1981). A variação da TAR_N , em função do tempo, é praticamente idêntica nos três tratamentos com um decréscimo brusco a partir dos 90 dap e tendendo para zero a partir dos 240 dap. No tratamento N, a TAR_N varia de 24,00 mg de N/mg de N.dia, aos 90 dap, para 0,02 mg de N/mg de N.dia (cerca de 1000 vezes). Os tratamentos apresentam uma tendência de comportamentos diferentes ao longo do ciclo de crescimento. O tratamento V tende a apresentar valores mais baixos até os 150 dap, apresentando, contudo, valores mais elevados a partir dos 210 dap. O tratamento N tende a apresentar valores mais baixos a partir dos 120 dap em relação ao tratamento T.

A variação da Taxa de Acúmulo de Nitrogênio (TAN) é idêntica nos tratamentos, as curvas apresentando a forma típica de sino, semelhante à variação da Taxa de Crescimento da Cultura. Os valores aumentam inicialmente, atingindo o valor máximo próximo aos 150 dap e decrescendo bruscamente a partir deste período, tendendo para zero a partir dos 240 dap. O tratamento N apresenta o valor máximo de 103,02 mg de N/dia aos 150 dap e 0,34 mg de N/dia aos 360 dap (diminui cerca de 300 vezes). Os três tratamentos apresentam diferenças nos valores das taxas durante o ciclo da cultura. O tratamento N apresenta valores mais elevados que os outros dois tratamentos até os 180 dap, enquanto o tratamento V tende a apresentar valores mais elevados a partir dos 210 dap. O tratamento T apresenta valores mais baixos durante todo o ciclo da cultura. Os valores máximos calculados, para os três tratamentos, foram (em mg de N/dia): N = 103,02; T = 65,03; V = 70,53. É interessante observar que a área sob as curvas de TAN (Figura 8-d) é menor que a das curvas de Taxa de Crescimento da Cultura (Figura 6-c), ou seja, a extensão do período de absorção de N, com taxas elevadas, é inferior ao período de intenso crescimento.

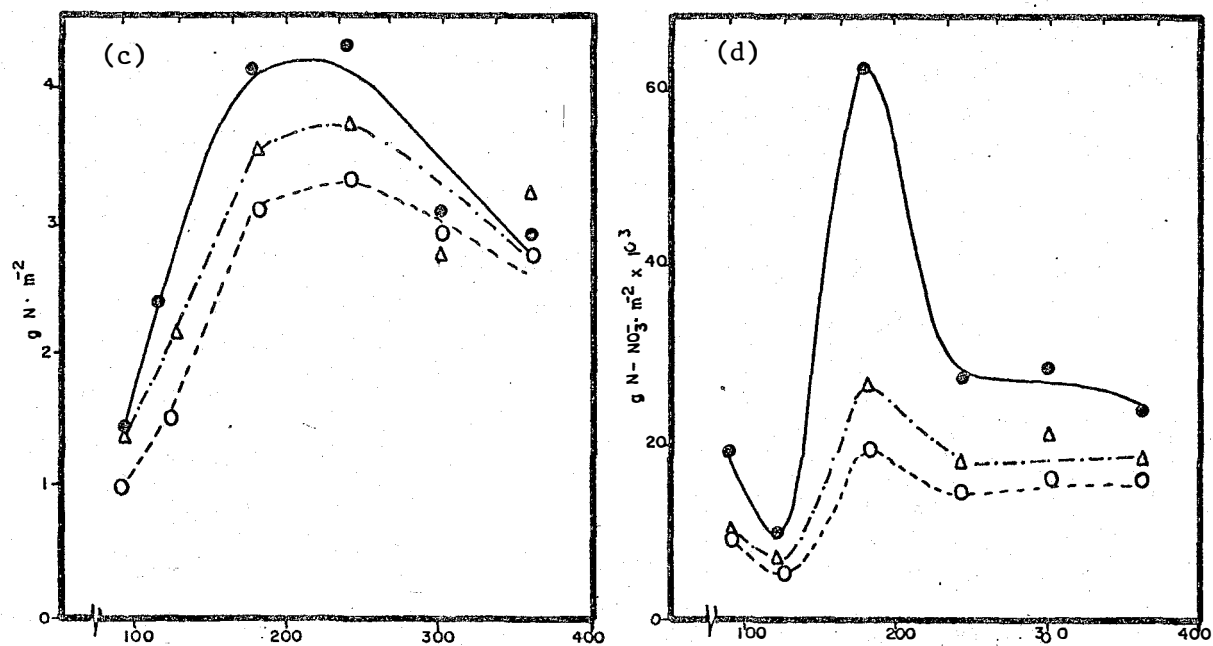
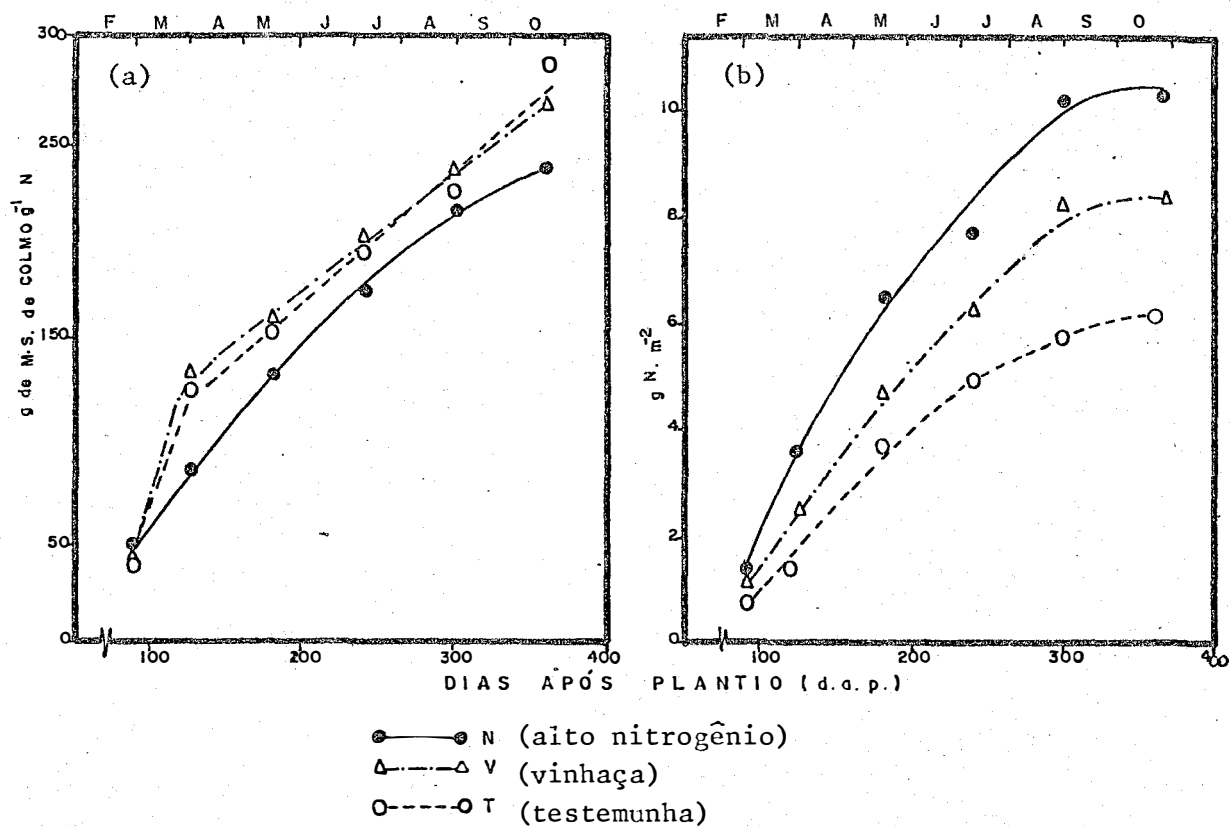


FIGURA 13 - Acúmulo de matéria seca no colmo por unidade de N (a), acúmulo de N no colmo (b), acúmulo de N nas folhas (c) e acúmulo de nitrato no colmo (d) de cana-de-açúcar, em diferentes épocas e nos três tratamentos.

4.6. Atividade de Redutase de Nitrato (aRN) em folhas e concentração de nitrato em folhas, bainha e colmo, em diferentes estádios do crescimento

Os resultados da atividade de Redutase de Nitrato (aRN) nas folhas, concentração de nitrato nas folhas, bainha e colmo, nos três tratamentos e em diferentes estádios do crescimento de cana-de-açúcar encontram-se nas Figuras 8 e 14 e Tabelas 16 e 17.

A atividade de Redutase de Nitrato (aRN) (Figura 8-b e Tabela 15) diminui acentuadamente dos 120 aos 240 dap (aproximadamente 8 vezes no tratamento N), aumentando aos 270 dap (de 0,59 para 1,43 no tratamento N) e voltando a diminuir dos 270 aos 330 dap. O padrão de variação é igual nos três tratamentos. Os tratamentos N e V não apresentam diferenças significativas entre as médias da aRN, ao nível de 5% de probabilidade, apesar do primeiro tratamento apresentar médias maiores aos 120, 150 e 180 dap. O tratamento T apresenta médias inferiores aos 120, 150 e 180 dap, em relação aos outros dois tratamentos.

A concentração de nitrato no colmo, nos três tratamentos e nos diferentes estádios de crescimento, é mostrada na Figura 9-a e Tabela 16. O padrão de variação é praticamente idêntico nos três tratamentos, com um decréscimo brusco entre 90 e 120 dap e um decréscimo suave até os 360 dap, exceção para o tratamento N, que apresenta um aumento dos 120 aos 180 dap. A intensidade de variação entre o período inicial e o final é elevada: 148,2 a 7,6 $\mu\text{g de N-NO}_3^-$ /

g de M.S. no tratamento N (aproximadamente 20 vezes). Aos 90 dap, o tratamento N apresenta maior concentração em relação ao tratamento T enquanto o tratamento V apresenta menor concentração em relação ao mesmo tratamento T. Somente aos 180 dap observa-se nova diferença entre os tratamentos, com o tratamento N apresentando maior concentração de nitrato em relação aos outros dois tratamentos. É importante observar que a concentração de NO_3^- é bastante baixa a partir dos 120 dap, nos três tratamentos.

As Figuras 9-a e 9-b e Tabela 17 mostram a variação da concentração de nitrato nas folhas e bainha, nos três tratamentos e em diferentes épocas de amostragem. A concentração nas lâminas das folhas é extremamente baixa, sendo detectadas pequenas quantidades de nitrato somente aos 90 e 120 dap, enquanto que a bainha apresenta concentrações do íon ligeiramente superiores nos 120 dap. É importante observar que o tratamento N apresenta uma concentração de nitrato relativamente elevada na bainha aos 120 dap ($30,35 \mu\text{g}$ de $\text{N-NO}_3^-/\text{g}$ de M.S. contra $2,68$ e $5,60$ dos tratamentos V e T, respectivamente), valor esse inclusive superior ao observado no colmo ($16,30 \mu\text{g}$ de $\text{N-NO}_3^-/\text{g}$ de M.S.). Aos 180 dap, a concentração de nitrato na bainha, no tratamento N, diminui drasticamente para $2,67 \mu\text{g}$ de $\text{N-NO}_3^-/\text{g}$ de M.S., coincidindo com um aumento de concentração no colmo nesse mesmo período.

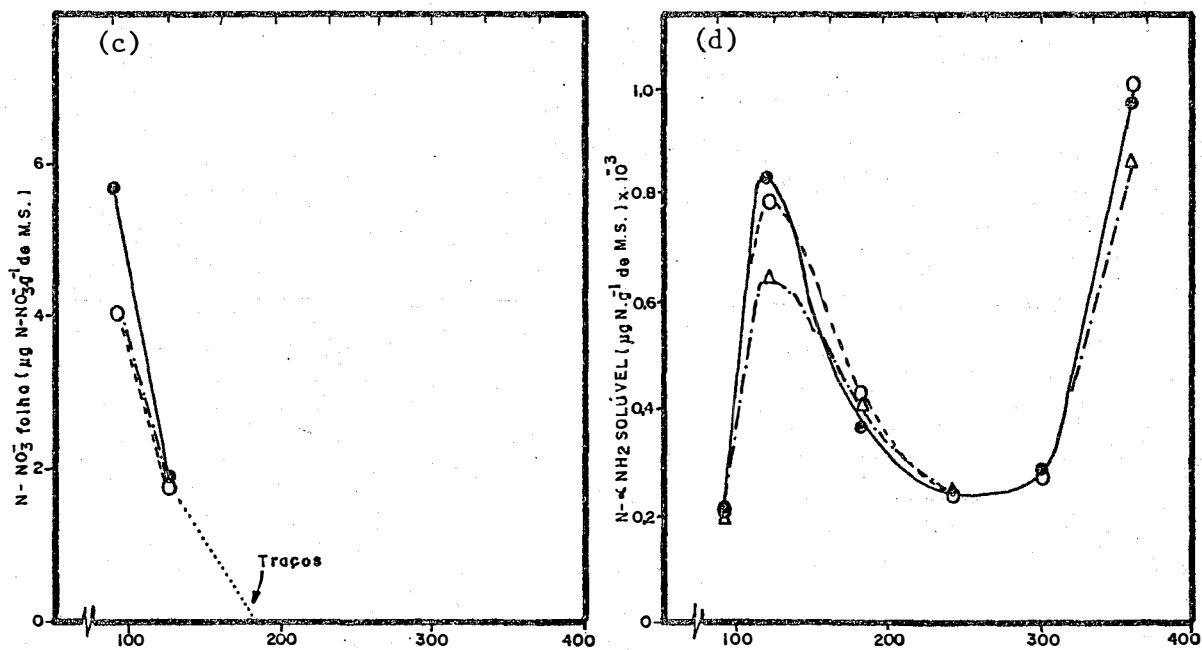
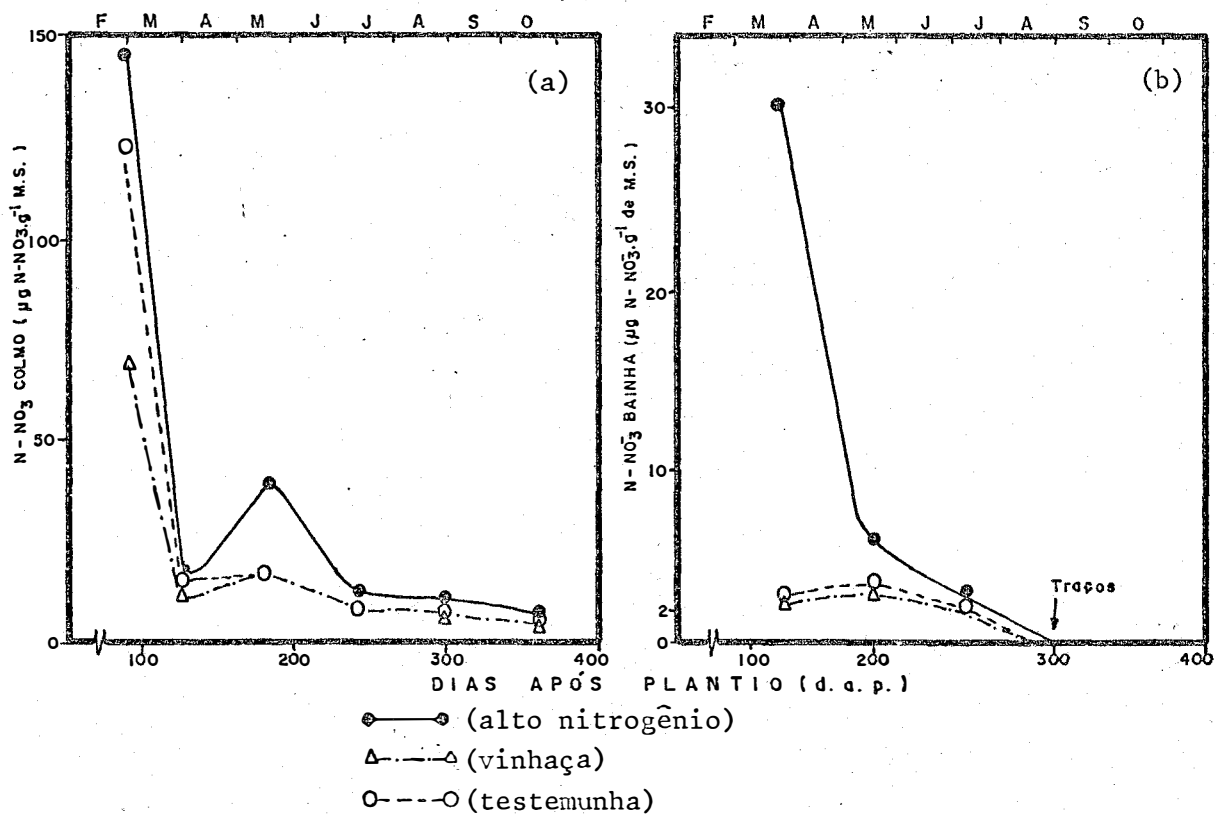


FIGURA 14 - Concentração de NO_3^- no colmo (a), na balsa (b), na folha (c) e concentração de N-NH_2 solúvel na folha (d) de cana-de-açúcar, em diferentes épocas e nos três tratamentos.

4.7. Concentração de N-total, N- α NH₂ solúvel e proteínas solúveis em folhas, bainha e colmo, em diferentes estádios do crescimento

A concentração de N-total (%N), N- α NH₂ solúvel e proteínas solúveis em folhas, bainha e colmo, nos três tratamentos e em diferentes estádios de crescimento de cana-de-açúcar, encontram-se nas Figuras 10, 14 e 15 e Tabelas 18, 19, 20 e 21.

A %N na folha + 3, nos três tratamentos e em diferentes estádios do crescimento é mostrada na Figura 15-a e Tabela 18. O padrão de variação da %N em função da idade é praticamente igual nos três tratamentos, diferindo apenas na maior concentração aos 120 dap no tratamento N, o que modifica ligeiramente a curva em relação aos outros dois tratamentos. O tratamento N apresenta um aumento na %N dos 90 aos 120 dap e um decréscimo suave dos 120 aos 360 dap, enquanto os tratamentos T e V não apresentam esse acréscimo inicial, apresentando, contudo, um pequeno aumento dos 120 aos 180 dap e um decréscimo suave após esse período. O tratamento N apresenta %N mais baixa aos 90 dap e maior concentração aos 120 dap: 2,24% contra 1,97% e 1,94% dos tratamentos T e V, respectivamente. Os tratamentos T e V não diferem entre si em nenhuma época de amostragem.

A %N no colmo, para os três tratamentos (Figura 15-b e Tabela 18) apresenta um padrão diferente daquele das folhas, apresentando um decréscimo contínuo, em função da idade, num modelo tipo exponencial. As diferenças entre o tratamento N e os outros dois são

mais evidentes no colmo, observando-se uma diferença de aproximadamente 100% aos 120 dap, com o tratamento N apresentando 0,66% contra 0,37% e 0,38% dos tratamentos T e V, respectivamente. O tratamento N apresenta maiores concentrações aos 120 e 180 dap. A %N na bainha apresenta um comportamento semelhante ao do colmo (Figura 14-d e Tabela 19) com o tratamento N apresentando maiores concentrações aos 120, 180, 240 e 300 dap. O padrão de variação da %N na bainha é diferente daqueles observados no colmo e nas folhas.

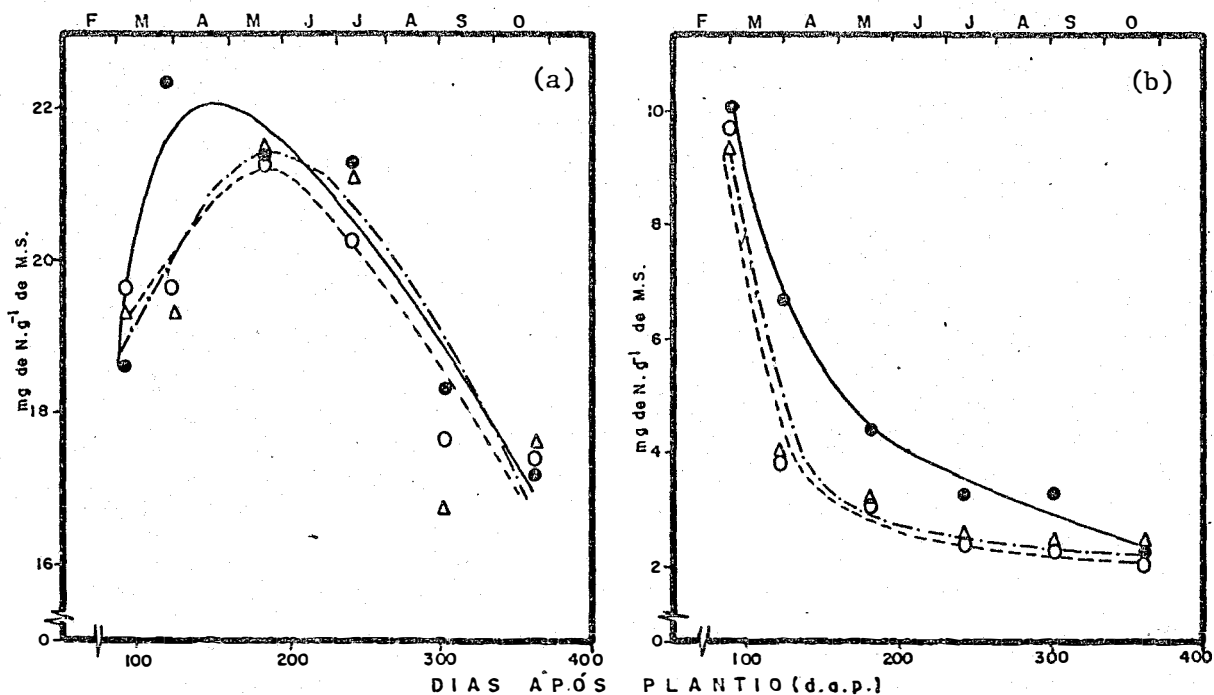
As Figuras 10-b, 10-c e 14-d e Tabelas 20 e 21 mostram a variação da concentração de $N-\alpha NH_2$ solúvel nas folhas, bainha e colmo dos três tratamentos. Nas folhas, o padrão de variação é idêntico nos três tratamentos, com um aumento acentuado na concentração dos 90 aos 120 dap e um decréscimo progressivo até os 300 dap e um grande aumento entre os 300 e 360 dap. Apesar do tratamento V apresentar menores concentrações aos 120 e 360 dap, estatisticamente significativa ao nível de 5% de probabilidade, não se observa uma diferença nítida entre os tratamentos.

Na bainha (Figura 10-c), o comportamento do nitrogênio solúvel é diferente em relação ao observado nas folhas, tanto a variação da concentração nos diferentes estádios de crescimento, como a variação entre os três tratamentos. O tratamento N apresenta um decréscimo brusco no nível de N-solúvel dos 120 aos 240 dap, permanecendo constante a concentração dos 240 aos 360 dap. Nos tratamentos T e V observam-se valores praticamente constantes entre os 120 e 180 dap, um decréscimo acentuado dos 180 aos 240 dap e valores praticamente iguais

dos 240 aos 360 dap. O tratamento N apresenta concentração de $N-\alpha NH_2$ solúvel maior que as dos tratamentos T e V, aos 120 dap: 420,90 contra 269,92 e 333,97, respectivamente, expresso em μg de N/g de M.S. Nos demais períodos não se observam diferenças significativas entre os tratamentos.

No colmo (Figura 10-b e Tabela 21) a variação é idêntica para os três tratamentos, observando-se um aumento acentuado dos 90 aos 120 dap, um aumento suave dos 120 aos 180 dap, valores praticamente constantes dos 180 aos 240 dap, um grande decréscimo dos 240 aos 300 dap e um aumento acentuado dos 300 aos 360 dap. É importante observar que o colmo apresenta concentrações de $N-\alpha NH_2$ solúvel muito baixas em relação às bainhas e folhas. Os valores máximos de concentração foram: colmo = 132; bainha = 420 e folhas = 1070 μg de N/g de M.S.

A variação na concentração de proteínas solúveis nas folhas e bainha, nos três tratamentos e nos diferentes estádios de crescimento é mostrada nas Figuras 10-a e 15-c e Tabelas 18 e 20. Nas folhas, o padrão de variação é idêntico nos três tratamentos e muito semelhante ao observado para %N. Pode ser observado um aumento dos 90 aos 120 dap, valores praticamente inalterados dos 120 aos 180 dap e um decréscimo acentuado até os 360 dap. Entre os tratamentos, não se observa nenhuma diferença significativa em nenhuma época de amostragem. Na bainha, o padrão é idêntico ao da variação do N-total, com o tratamento N apresentando maior concentração de proteínas solúveis aos 120 e 180 dap. Na primeira época de amostragem (120 dap) a diferença é maior no tratamento N: 3,20% contra 2,25% e 2,22% nos tratamentos T e V, respectivamente.



●—● N (alto nitrogênio)
 ▲---▲ V (vinhaça)
 ○---○ T (testemunha)

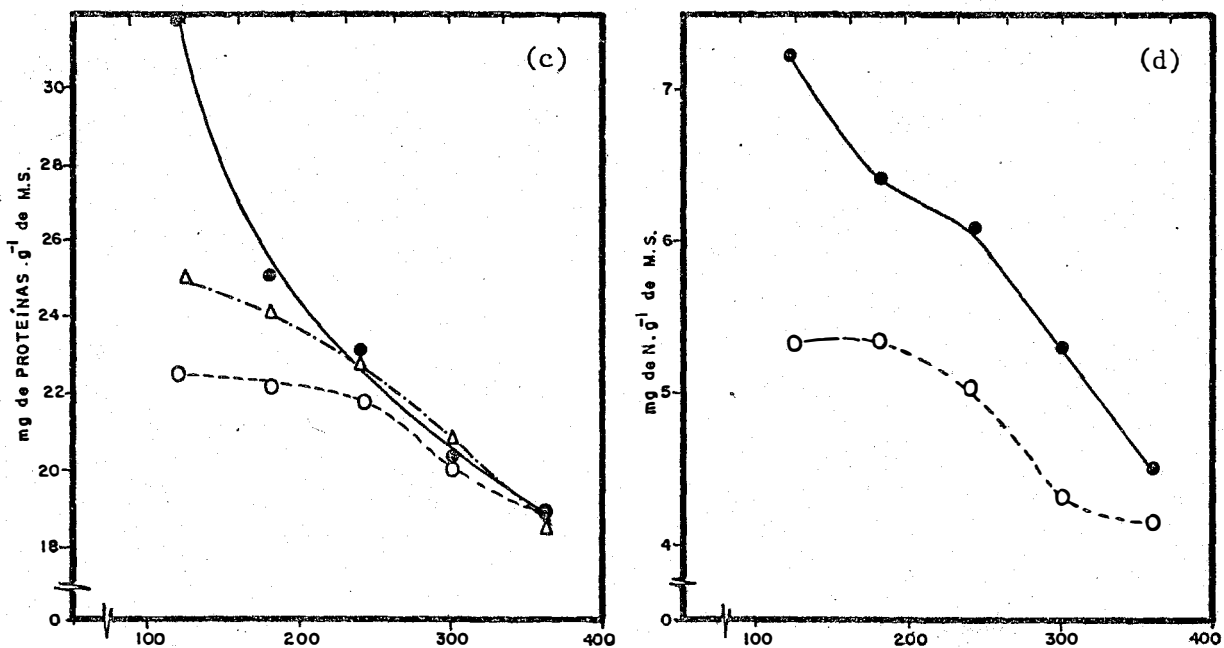


FIGURA 15 - Concentração de N-total nas folhas (a), no colmo (b), proteínas solúveis na bainha (c) e N-total na bainha (d) de cana-de-açúcar em diferentes épocas e nos três tratamentos. (Em "d", os valores foram determinados somente para os tratamentos N e T).

4.8. Concentração de aminoácidos, amônia livre e proteínas em colmo e bainha aos 120 dap e atividade de Redutase de Nitrato e proteínas em folhas de diferentes idades.

A Tabela 18 contém os valores relativos às concentrações dos aminoácidos lisina, histidina, arginina, aspártico, glutâmico, treonina e serina no colmo e bainha dos três tratamentos, aos 120 dap, enquanto a Figura 9-a mostra a variação da atividade de Redutase de Nitrato, proteínas solúveis e % de N em folhas com diferentes idades, a partir de cana-de-açúcar com 300 dap.

Os resultados revelam que o tratamento N apresenta um grande acúmulo de proteínas no colmo e na bainha, aos 120 dap, em relação aos tratamentos T e V. A soma das concentrações dos aminoácidos analisados é maior no tratamento N, em relação aos outros dois tratamentos, sendo as diferenças mais evidentes no colmo. Os aminoácidos Lys, Arg, Asp, Glu, Thr e Ser apresentam concentrações muito maiores no tratamento N (no colmo) que nos tratamentos T e V. A concentração de Lys é cerca de 5 vezes maior, a de Arg 4 vezes e a de Glu e Asp cerca de 2 vezes, no tratamento N em relação à média dos tratamentos T e V. Na bainha, os aminoácidos que apresentam maiores concentrações no tratamento N, em relação aos tratamentos T e V, são His, Arg e Asp, porém, em proporções muito menores que no colmo.

A concentração de amônia detectada no analisador de aminoácidos, após hidrólise ácida (a 110°C), é maior no tratamento N, principalmente no colmo, que nos tratamentos T e V. Por outro lado,

a concentração de amônia livre no colmo e bainha é muito baixa (traços) nos três tratamentos, sugerindo concentrações elevadas de glutamina e asparagina no tratamento N. A proporção em torno de 1:1 nas concentrações de Asp e Glu na bainha indica que asparagina pode estar em elevadas concentrações nesse sítio de cana-de-açúcar. As concentrações de proteínas no tratamento N são praticamente idênticas no colmo e bainha, enquanto a soma das concentrações dos aminoácidos analisados é maior no colmo, indicando que esses aminoácidos podem estar envolvidos com o armazenamento de nitrogênio no colmo, nesse estágio de crescimento da cultura de cana-de-açúcar.

A atividade de Redutase de Nitrato, concentração de proteínas solúveis e % de N (Figura 9-a), em função da idade fisiológica das folhas, apresentam o mesmo padrão de variação em plantas de cana-de-açúcar na fase de maturação. Os valores relativos (% do valor máximo) aumentam bruscamente das folhas 0 (folhas do topo, em início de expansão) para as folhas +2 (folhas maduras com expansão completa), diminuindo suavemente nas folhas +4 e nas +6 (folhas totalmente maduras) e diminuindo mais acentuadamente nas folhas +8 e +10 (folhas velhas em início de senescência), sugerindo curvas tipo parabólicas. A variação dos valores de peso da matéria seca das lâminas das folhas (dados não computados), em função da idade, é semelhante aos observados para atividade de Redutase de Nitrato, concentração de proteínas solúveis e % de N.

5. DISCUSSÃO

5.1. Absorção de nitrogênio pela cultura de cana-de-açúcar

As curvas apresentadas para o acúmulo de nitrogênio pela cultura de cana-de-açúcar, nos três tratamentos, são do tipo sigmóide (Figura 7-a), semelhantes às aquelas apresentadas para acúmulo de matéria seca. Esse tipo de comportamento é observado em outras culturas (PEARSON e MURHEAD, 1984; BROADBENT, 1984; GREENWOOD *et alii*, 1984) e também em cana-de-açúcar (ORLANDO Fº, 1978; ORLANDO Fº *et alii*, 1980). É interessante observar que a fase de maior velocidade de absorção de nitrogênio, representada pela Taxa de Acúmulo de Nitrogênio (TAN) (Figura 8-d) antecede, no tempo, a fase de maior acúmulo de matéria seca (Figura 6-c). Dessa maneira, a taxa dN/dt é superior à taxa dP/dt (incremento na matéria seca) nas fases iniciais do crescimento, invertendo-se essa relação ao longo do período de crescimento.

O descompasso observado entre as velocidades de absorção de nitrogênio e de acúmulo de matéria seca indicam que a cultura de cana-de-açúcar apresenta uma fase inicial de intensa absorção e armaze-

namento de nitrogênio e uma fase posterior de baixíssimas velocidades de absorção e intensa atividade de redistribuição do elemento. Essas observações são evidenciadas pelo decréscimo exponencial da %N na parte aérea, em função da idade, conforme Figura 17-b. Esses resultados são semelhantes aos observados em outras culturas (RAPER Jr. et alii, 1977b; HESKETH e JAMES, 1980; PEARSON e MURHEAD, 1984).

A análise dos resultados revela que a aplicação de elevada dose de nitrogênio (450 Kg de N/ha), no tratamento N, aos 100 dap, provoca uma mais intensa absorção de N neste tratamento em relação aos tratamentos T e V, inclusive observando-se uma interação positiva com a absorção de K, P, Ca e Mg. A mais intensa absorção de nitrogênio no tratamento N deve estar diretamente relacionada com a elevada concentração de NO_3^- no solo no período de 100-150 dap (Figura 3-c) e com a elevada atividade de absorção radicular nesse período, além das concentrações adequadas de P e K no solo.

Os resultados acima estão de acordo com o esperado, já que as condições de fertilidade do solo (níveis de N, P, K, Ca, Mg, pH e Al) no tratamento N, no período de maior absorção (Figuras 2 e 3), estão dentro da faixa adequada para cana-de-açúcar (RODELLA et alii, 1981; RAIJ, 1981; ORLANDO Fº e RODELLA, 1983). Além disso, a disponibilidade de água no solo, naquele período, é excelente, levando-se em conta as elevadas quantidades de chuvas (Figura 1) e as excelentes propriedades físicas do solo. É provável que o período de intensa absorção de nitrogênio esteja diretamente relacionado com elevadas taxas de evapotranspiração, com base nos resultados apresentados por LIBARDI et alii (1984).

Com relação à interação entre a absorção de N e a de P, K, Ca, Mg, os resultados estão de acordo com CLEMENTS (1980) e BARBER (1984).

O decréscimo brusco na taxa de acúmulo de nitrogênio após os 150 dias (Figura 8-d), inclusive no tratamento N, não pode ser explicado em termos de limitações provocadas pelos fatores ambientais, já que a disponibilidade de nitrogênio, outros nutrientes, água, calor e radiação pode ser considerada adequada no período 120-180 dias (meses de março e abril, Figuras 1, 2 e 3). Essas observações sugerem que o processo de absorção de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar está sob forte controle fisiológico e possivelmente ao nível genético. É possível que o processo de redistribuição exerça algum controle sobre a absorção, estando de acordo com proposições apresentadas por PEARSON e MURHEAD (1984). Com relação ao controle ao nível genético, vários autores propõem essas idéias (CLARK, 1983; SHERRARD et alii, 1984).

É importante observar que a maior absorção de nitrogênio no tratamento N está diretamente relacionada com um maior acúmulo do nutriente no colmo (Figura 13-b) e um maior crescimento das folhas (Figura 6-b), sugerindo que a cultura apresenta uma baixa potencialidade genética para utilizar o nitrogênio absorvido no crescimento de colmo. É possível que essas observações possam estar relacionadas com a pequena resposta ao nitrogênio apresentada por cana-planta nas condições do Sudeste do Brasil, conforme observado em vários trabalhos de campo (AZEREDO e BOLSANELO, 1980; ORLANDO Fº e ZAMBELLO Jr., 1981; ZAMBELLO e AZEREDO, 1983).

A intensa absorção de nitrogênio no tratamento N, no período de 100 - 150 dap, está relacionada com um grande acúmulo do elemento, principalmente no colmo, e um acentuado decréscimo na concentração de açúcares solúveis totais e açúcares redutores da bainha e principalmente do colmo (Figuras 11-a, 11-b, 11-c e 11-d). Os dados sugerem que nesse período e sob condições de elevado nível de nitrogênio, as proteínas são as formas de nitrogênio predominantes no colmo, tendo em vista as baixas concentrações de NO_3^- e $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel. Esses resultados estão de acordo com os relatados em ANN. REP. HAWAIIAN SUG. PLANTER'S (.. 1963) e TAKASHI (1965). Por outro lado, trabalhos conduzidos com a mesma variedade, porém cultivada em solução nutritiva, têm demonstrado concentrações de NO_3^- e $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel várias vezes superiores aos observados neste trabalho (SILVEIRA, 1980; TEIXEIRA, 1980).

O tratamento V apresenta maior acúmulo de nitrogênio na parte aérea em relação ao tratamento T (Figura 8-d), apresentando, contudo, taxas de acúmulo apenas ligeiramente superiores no período de maior absorção (100 - 150 dap). Essas observações sugerem que a aplicação da elevada dose de vinhaça ($200 \text{ m}^3/\text{ha}$) proporcionou condições favoráveis à fotossíntese e ao crescimento radicular, possibilitando uma maior absorção de nutrientes do solo. A menor concentração de NO_3^- no solo aos 15 dap (Figura 3-c) e no colmo aos 90 dap (Figura 14-a) no tratamento V, sugerem que a provável imobilização do nitrato e/ou desnitrificação ocorrida e já observada em outros trabalhos (CALDAS, 1960; LIMA, 1980; ALMEIDA et alii, 1982), não deve ter acarretado problemas significativos na nutrição da cultura, apesar das menores concentrações de Mg

e Ca observadas principalmente no colmo (Figuras 5-a, 5-b, 5-c e 5-d).

A diminuição na concentração de açúcares redutores na bainha e no colmo das plantas do tratamento V deve estar relacionada com a maior absorção de K^+ e redução do NO_3^- através de um incremento na oxidação de açúcares até a formação de ácidos orgânicos. Dessa maneira, o "pool" de açúcares redutores seria mobilizado para aumento do "pool" de ânions orgânicos. Essa idéia está de acordo com observações realizadas em diversas espécies de plantas (MENGEL e KIRKBY, 1982), na mesma cultivar de cana-de-açúcar cultivada em condições controladas, com níveis crescentes de K^+ na solução nutritiva (SUZUKI et alii, 1984a; SUZUKI et alii, 1984b) e nessa cultura cultivada nas mesmas condições de campo (ciclo de cana-soca), com igual dose de vinhaça, onde se observa uma maior concentração de ácidos orgânicos no caldo, principalmente aconítico, succinico e málico (GUTIERREZ, comunicação pessoal).

O decréscimo brusco na concentração de nitrato no colmo das plantas dos três tratamentos, no período de 90-120 dap (Figura 14-a) sugere que NO_3^- é intensamente acumulado no colmo nos estádios iniciais do crescimento de cana-de-açúcar, como foi observado por OCHOA e CROCOMO (1982), em NA 56 - 79, cultivada em solução nutritiva até 60 dap. O fato do tratamento N apresentar idêntica concentração de nitrato no colmo, aos 120 dap, em relação aos tratamentos T e V e concentração várias vezes maior na bainha (Figura 14-b) neste mesmo período, sugere uma intensa mobilização deste ânion do colmo até a bainha, estando esse processo possivelmente relacionado com a maior atividade de Redutase de Nitrato na lâmina das folhas. O decréscimo na concentração de NO_3^-

na bainha aos 180 dap, no tratamento N, coincide com um grande acréscimo de concentração de nitrato no colmo, em relação aos tratamentos T e V, e com o período de intenso decréscimo da taxa de absorção de nitrogênio e de atividade de Redutase de Nitrato. Essas inter-relações são discutidas a seguir.

5.2. Assimilação do nitrogênio

A assimilação do nitrogênio em plantas, apesar de ser um processo bioquímico complexo, com o envolvimento dos sistemas enzimáticos Redutase de Nitrato, Redutase de Nitrito, Glutamina Sintetase, Sintetase de Glutamina e Glutamato Desidrogenase, neste trabalho é estimada através da atividade de Redutase de Nitrato e variações nas concentrações de NO_3^- , $\text{N-}\alpha\text{NH}_2$ solúvel, NH_4^+ -livre, proteínas solúveis e aminoácidos totais. Este procedimento é justificado pelo contexto no qual está inserida a presente discussão, que se propõe a dar enfoque fisiológico para a assimilação do nitrogênio em uma cultura de cana-de-açúcar.

Os resultados referentes à atividade de Redutase de Nitrato (aRN) nas folhas são bastante coerentes, em termos fisiológicos, com as taxas de acúmulo de nitrogênio, concentração de NO_3^- e acúmulo de proteínas solúveis (Figuras 8-b, 8-d, 14-a e 10-a), sugerindo ser possível discutir e estabelecer relações entre absorção e assimilação do nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar a partir desses dados. A aRN decresce acentuadamente dos 120 aos 180 dap, independentemente dos trata-

mentos, de maneira semelhante à Taxa de Acúmulo Relativo de Nitrogênio (TAR_N) (Figuras 8-b e 8-c). A Figura 16-c mostra a existência de uma estreita correlação (linear, $r=0,96^{**}$) entre aRN e TAR_N . Esses dados estão dentro do esperado, já que diversos trabalhos têm demonstrado existir uma estreita correlação entre a taxa de absorção, acumulação de NO_3^- e aRN (HUFFAKER e RAINS, 1978; SCHRADER e THOMAS, 1981) e entre a concentração de NO_3^- no solo, na planta e aRN (FERNANDES e FERREIRA, 1978; FERNANDES, 1983). Em cana-de-açúcar, SILVEIRA e CROCOMO (1981) encontraram uma estreita correlação entre a concentração de NO_3^- na solução nutritiva e no colmo e aRN, enquanto ROSÁRIO *et alii* (1977) e VILLALOBOS e CARVAJAL (1977) encontraram maior aRN nos tratamentos com maiores doses de fertilizantes nitrogenados.

A diminuição acentuada na aRN após os 120 dap (Figura 8-b) nos três tratamentos, sugere um forte controle genético-fisiológico na indução da redução do nitrato tendo em vista que os fatores ambientais no período são favoráveis à indução da síntese e atividade da enzima, principalmente com relação à disponibilidade de nitrato e água no solo e de luz e temperatura. É interessante observar que a aRN aumenta aos 270 dap em relação ao período anterior (240 dap), tornando a apresentar níveis baixos aos 300 e 330 dap, dando uma "forma de ombro" nas curvas obtidas. Esse comportamento é observado nos três tratamentos, eliminando praticamente a possibilidade de erro analítico. Essa retomada na aRN é difícil de ser explicada, tendo em vista as condições ambientais desfavoráveis aos 270 dap (final do mês de julho), com menor disponibilidade de água no solo, radiação e calor (temperatura),

além da cultura apresentar baixíssima taxa de absorção de nitrogênio e baixíssima taxa de crescimento.

ALEXANDER (1973) relata um comportamento semelhante ao discutido acima para a taxa de fotossíntese mensurada mensalmente em cana-de-açúcar durante o ciclo de algumas variedades. O autor também descarta a possibilidade de erro analítico. FAHL e CAZELLI (1984), trabalhando com a variedade NA 56-79, observaram uma estreita relação entre a taxa de fotossíntese e aRN em folhas de diferentes idades. Os resultados são concordantes com os obtidos neste trabalho (Figura 9-a) que indicam uma maior aRN nas folhas em término de expansão. OLIVEIRA (1985), trabalhando com a mesma variedade, também encontrou resultados semelhantes. É possível, portanto, que as folhas +3 amostradas aos 270 dap para mensuração de aRN apresentem idade fisiológica diferente daquelas amostradas aos 240 e 300 dap, já que as condições ambientais, na época, foram mais desfavoráveis ao crescimento vegetativo. AJAKAYE (1981) observou que o padrão de aRN durante a ontogênese de híbridos de sorgo varia com as condições ambientais.

A análise dos resultados revela que aRN (Figura 8-b) está mais relacionada com a concentração de NO_3^- na bainha e no colmo (Figuras 14-a e 14-b) do que com as concentrações de nitrato na folha (Figura 14-c) e no solo (Figura 3-c). É importante observar que as concentrações de NO_3^- na planta são bastante baixas, principalmente após 90 dap. As concentrações são maiores no colmo e muito baixas na bainha e folhas. Os dados sugerem que até os 90 dap ocorre um acúmulo de NO_3^- no colmo, um decréscimo pronunciado dos 90 aos 120 dap e concentrações decrescentes

até a maturação da cultura.

As considerações acima sugerem duas alternativas para explicar o mecanismo de interação à longa distância entre NO_3^- e aRN na cultura de cana-de-açúcar: (1) o nitrato seria absorvido intensamente nos estádios iniciais do crescimento, acumulado nos vacúolos do colmo e mobilizado gradativamente para as folhas, passando pelas bainhas que poderiam atuar circunstancialmente como sítios de acúmulo; a redução ocorreria nas bainhas e nas lâminas das folhas; (2) o nitrato seria absorvido continuamente, com decréscimo na taxa de absorção, em função da idade, e o seu fluxo no xilema até as bainhas e folhas controlariam a concentração e a atividade de Redutase de Nitrato.

As duas alternativas acima não são excludentes. É provável que cana-de-açúcar seja capaz de acumular e mobilizar nitrato para síntese de proteínas e outros compostos nitrogenados, como já observado em outras espécies (FERRARI *et alii*, 1973; SHANER e BOYER, 1976; SCHARREDER e THOMAS, 1981; SCHARREDER, 1984). Essa hipótese foi lançada por SILVEIRA e CROCOMO (1981) e SILVEIRA *et alii* (1984b). Recentemente, OLIVEIRA (1985), trabalhando com a mesma variedade de cana-de-açúcar, observou que a aRN está diretamente relacionada com a taxa de transpiração, sugerindo que o fluxo de nitrato até as folhas, via xilema, deve desempenhar papel importante na indução e manutenção da aRN. De maneira semelhante ao observado por SILVEIRA (1980) e SILVEIRA e CROCOMO (1981), o autor verificou que a concentração de NO_3^- nas folhas é extremamente baixa e que a aRN é praticamente inexistente na ausência do substrato no meio de indução.

A questão da capacidade para armazenar e mobilizar o nitrato para síntese de proteínas é complexa, mas abre boas perspectivas nos programas de melhoramento genético no sentido da seleção de variedades com elevada eficiência de utilização do nitrogênio absorvido. A metodologia de sua mensuração, entretanto, apresenta dificuldades.

A análise dos resultados da aRN entre os três tratamentos revela que o tratamento N, apesar de apresentar concentrações de NO_3^- bem mais elevadas, no solo, no colmo e na bainha, em relação ao tratamento V, não apresenta aRN significativamente maior, inclusive nos períodos de maior absorção de nitrogênio (120 e 150 dap). Por outro lado, o tratamento V apresenta aRN superiores às do tratamento T, apesar do primeiro tratamento apresentar menor concentração de NO_3^- no colmo aos 90 dap e menor concentração na bainha aos 120 dap. Esses dados sugerem que a medida da concentração de nitrato isoladamente e pelos métodos convencionais não é suficiente para avaliar o estado nutricional da cultura. Além disso, as interações entre os diversos processos fisiológicos são por demais complexos para se estabelecer relações simples. Assim, as plantas do tratamento V, ao apresentarem um crescimento mais harmonioso, em função da interação positiva entre fatores do solo (K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , etc) e fatores da atmosfera (luz, temperatura), possuem maior capacidade para utilizarem mais eficientemente o nitrogênio.

Os resultados relativos à taxa de acúmulo de nitrogênio (g de N/dia) e de aRN, durante o ciclo da cultura, estão de acordo com o preconizado para o cultivo da cana-de-açúcar. As recomendações usuais de aplicação do fertilizante nitrogenado são orientadas para os estádios i-

niciais de crescimento da cultura (CLEMENTS, 1980; MALAVOLTA, 1982; SILVA, 1983; ZAMBELLO e AZEREDO, 1983). Realmente, se os resultados aqui obtidos forem representativos do comportamento fisiológico de variedades de cana-de-açúcar, em relação à utilização do nitrogênio, é de se esperar uma otimização no uso do elemento a partir de pesquisas com abordagens fisiológicas e genéticas já que os dados evidenciam um forte controle genético-fisiológico para a absorção e assimilação do nitrogênio.

As concentrações de $N-\alpha NH_2$ solúvel na bainha, aos 120 dap, entre os três tratamentos (Figura 10-c), apresentam boa correlação com a taxa de acúmulo de nitrogênio e aRN, o mesmo não sendo observado nas folhas e colmo. Esses dados sugerem que no período de intensa assimilação do nitrogênio, uma fração permanece nas folhas constituindo o "pool" de aminoácidos solúveis, outra permanece temporariamente nas bainhas e o restante do nitrogênio é armazenado no colmo jovem nas formas de $N-\alpha NH_2$ solúvel e principalmente proteínas. O tratamento N apresenta maior concentração de $N-\alpha NH_2$ solúvel na bainha e maior concentração de proteínas no colmo, apresentando elevadas concentrações dos aminoácidos lisina, arginina, aspártico, glutâmico, treonina e serina, sugerindo o envolvimento das proteínas do colmo como reserva de nitrogênio. Alguns desses resultados estão de acordo com os obtidos por FERNANDES e FREIRE (1976) e FERNANDES e FERREIRA (1978), trabalhando com Brachiaria sp., enquanto OCHOA e CROCOMO (1982) encontraram maiores concentrações de aspártico e possivelmente asparaginá em plantas jovens de cana-de-açúcar cultivadas em meio amoniacal.

É provável que o excesso de nitrogênio no tratamento N

N.º 40420
E. S. A. "LUIZ DE QUEIROZ"
DIVISÃO DE BIBLIOTECA
E DOCUMENTAÇÃO

tenha provocado maior intensidade na síntese das amidas glutamina e asparagina como um mecanismo de desintoxicação de NH_3 e armazenamento de nitrogênio, tendo em vista as elevadas concentrações de glutâmico e aspártico e as baixíssimas (traços) concentrações de NH_4^+ - livre observadas. Ensaio anteriores com a mesma variedade cultivada em condições de estresse por excesso de nitrogênio reduzido, demonstraram a presença de acúmulo de NH_3 - livre (OCHOA e CROCOMO, 1982; SILVEIRA e CROCOMO, 1983). Esses resultados estão de acordo com o relatado para outras espécies (GOYAL e HUFFAKER, 1984). A relação Glu/Asp, nos três tratamentos, é maior no colmo em relação à bainha (Tabela 22), enquanto a concentração de Asp na bainha é maior no tratamento N, sugerindo que asparagina pode desempenhar papel importante na assimilação e transporte em condições de excesso de nitrogênio e glutâmico/glutamina no armazenamento de nitrogênio no colmo de plantas jovens. Esses resultados estão de acordo com aqueles obtidos por OCHOA e CROCOMO (1982), os quais detectaram elevadas concentrações de aspártico em plantas jovens cultivadas em meio amoniacal, enquanto BULL e GLASZIOU (1975) relatam que asparagina é a forma de nitrogênio encontrada em maior concentração no colmo de algumas variedades de cana-de-açúcar.

A análise dos resultados sugere que a vinhaça aplicada ao solo (Tratamento V) não provocou alterações significativas na assimilação do nitrogênio, apesar das concentrações mais baixas de NO_3^- no colmo aos 90 dap e na bainha aos 120 dap. É possível que nos estádios iniciais do crescimento (em torno de 40 dap) a absorção de nitrato seja menor devido à possível imobilização por microorganismos. Entretanto, em plan

tas jovens a atividade de absorção de nitrato pelas raízes é muito alta, não sendo necessário concentrações elevadas desde que exista boa disponibilidade de água no solo. Essas considerações são baseadas nos trabalhos de WILD e BREEZE (1981), que desenvolveram o conceito de "fluxo mínimo" do nutriente, o qual incorpora parâmetros fisiológicos e morfológicos como taxa de crescimento, comprimento radicular, raio radicular e observaram que as plantas jovens absorvem nitrato em quantidades superiores às suas necessidades fisiológicas.

5.3. Nitrogênio e crescimento

A análise de crescimento revela que o tratamento N apresenta maior acúmulo de matéria seca na parte aérea das plantas em relação ao tratamento T, porém, praticamente igual ao do tratamento V (Figura 6-a). O tratamento N, por outro lado, apresenta maior Índice de Área Foliar (IAF) (Figura 6-b) que o tratamento V, a partir dos 150 dap. Esses resultados demonstram que a maior absorção de nitrogênio no tratamento N provoca, principalmente, maior crescimento das folhas. Portanto, a cultura não é capaz, em termos fisiológicos, para utilizar eficientemente o nitrogênio armazenado na produção de açúcares e matéria seca do colmo. Pelo contrário, os dados revelam que a maior absorção de nitrogênio provoca acentuada diminuição no acúmulo de açúcares redutores e açúcares solúveis totais. Esses resultados estão de acordo com vários trabalhos citados por NOVOA e LOOMIS (1981) e com outros realizados com cana-de-açúcar (NICKELL, 1975; SILVA, 1983).

As análises de regressão apresentadas através das Figuras 16-a e 17-a demonstram a estreita relação entre o acúmulo de nitrogênio e o crescimento das folhas. Os dados sugerem que a absorção do elemento está diretamente relacionada com a Taxa de Assimilação Líquida (TAL) e com a área foliar. Dessa maneira, uma maior absorção pelas raízes proporcionaria um maior crescimento foliar e uma maior disponibilidade de açúcares provenientes da maior capacidade fotossintética. É provável que uma apreciável fração desses açúcares seja mobilizada para o processo de absorção e assimilação do nitrato e síntese de proteínas. Assim, o maior crescimento das folhas nessa cultura, no tratamento N, não proporcionaria maior acúmulo de açúcares nos colmos. Essas considerações estão de acordo com diversos modelos fisiológicos para outras culturas (BALDWIN, 1976; RAPER Jr. et alii, 1977a; RAPER Jr. et alii, 1978; HESKETH e JAMES, 1980; NOVOA e LOOMIS, 1981).

A Taxa de Crescimento da Cultura (TCC) (Figura 6-c) é o índice fisiológico que apresenta valores mais elevados no tratamento N em relação ao tratamento T, enquanto os tratamentos N e V apresentam pequenas diferenças. Com relação aos valores de Taxa de Crescimento Relativo (TCR) e Taxa de Assimilação Líquida (TAL) (Figuras 8-a e 6-d), os três tratamentos praticamente não apresentam diferenças durante o ciclo da cultura. Esses dados evidenciam a capacidade de ajustamento da cultura às condições ambientais, inclusive no tratamento T, com prováveis limitações de disponibilidade de P e K no solo. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por RAPER Jr. et alii (1977b), trabalhando com plantas de fumo com diversos níveis de nutrientes na solução nutritiva. Em

cana-de-açúcar, os estudos utilizando análise de crescimento têm se concentrado mais na comparação do crescimento de variedades como os realizados por CASTRO et alii (1977) e MACHADO et alii (1982).

Os valores de IAF, TCC, TCR e TAL, calculados nos três tratamentos, ao longo do ciclo da cultura, estão dentro das taxas encontradas em trabalhos com cana-de-açúcar (BULL, 1971; NICKELL, 1975; BULL e GLASZIOU, 1975; IRVINE, 1980; MACHADO et alii, 1982; MACHADO et alii, 1983). Com relação à variação dos índices ao longo do ciclo da cultura, os resultados são semelhantes aos obtidos por MACHADO et alii (1983), trabalhando com a mesma variedade, mesmo local e igual ciclo de crescimento. Os valores de IAF são semelhantes aos obtidos por LEME et alii (1984), trabalhando no mesmo local.

O tratamento N apresenta menores valores de Taxa de Utilização Específica de Nitrogênio (TUE_N) (Figura 7-b), enquanto o tratamento T apresenta valores ligeiramente superiores ao tratamento V. Esses resultados sugerem que a cultura de cana-de-açúcar apresenta uma limitada eficiência fisiológica de utilização do nitrogênio, principalmente em relação à produção de açúcares e matéria seca do colmo. O acúmulo de açúcares, quando expressa por unidade de nitrogênio absorvido, é várias vezes menor no tratamento N (Figura 7-c), principalmente nos períodos de maior absorção, tendendo a normalizar no final do ciclo. Esses dados estão de acordo com os obtidos por PEARMAN et alii (1977) e THOMAS et alii (1978) trabalhando com trigo em solos com diferentes níveis de nitrogênio.

A análise dos resultados referentes ao efeito do nitrogênio na concentração de açúcares revela que a intensa absorção de nitrogênio no tratamento N provoca uma maior diminuição nas concentrações de açúcares redutores e açúcares solúveis totais no colmo e em menor intensidade na bainha. O efeito no colmo é observado até os 180 dap, enquanto na bainha se observa somente até os 120 dap. Essas observações sugerem que os açúcares do colmo são mais intensamente utilizados, sendo o "pool" de açúcares redutores o mais prontamente disponível para utilização como fonte de energia e esqueletos carbônicos. A bainha se comporta nitidamente como um sítio intermediário entre as folhas e os colmos. Essas considerações explicam, pelo menos em parte, resultados contraditórios com relação ao efeito do nitrogênio na qualidade do caldo. De um modo geral, aplicações de elevadas doses de nitrogênio ou aplicações tardias provocam diminuição na concentração de sacarose (AZEREDO et alii, 1979; CLEMENTS, 1980; SILVA, 1983). Entretanto, outros experimentos demonstram não haver efeito do nitrogênio sobre o teor de sacarose (ORLANDO et alii, 1977; VALDIVIA, 1980).

As Figuras 16-b e 16-d mostram a análise de regressão entre a TAL (Taxa de Assimilação Líquida) e a TAN (Taxa de Acúmulo de Nitrogênio) e a aRN (atividade de Redutase de Nitrato). Assumindo-se que TAL é uma estimativa da taxa de fotossíntese líquida, TAN uma estimativa da taxa de absorção de nitrogênio e aRN uma estimativa da taxa de assimilação do nitrogênio, pode ser inferido que nos períodos de maior absorção e assimilação do nitrogênio a taxa de fotossíntese líquida é pouco afetada por esses dois processos. Para valores baixos de TAN e aRN, que

coincidem com a fase de maturação e baixas taxas de crescimento, a regressão deve ser analisada com cautelas, já que a mesma pode não refletir eventos (interações) fisiológicos.

As considerações acima estão de acordo com observações anteriores. Os valores máximos de taxas de acúmulo de nitrogênio e atividade de redutase de nitrato antecedem, no tempo, os valores máximos de taxas de crescimento da cultura que, por sua vez, são dependentes principalmente do IAF e da TAL. Desse modo, haveria um descompasso entre o fluxo de carbono ou de matéria seca e o fluxo de nitrogênio para a planta, o qual poderia ser representado simplificadamente através da diminuição na % de N na parte aérea e o aumento recíproco na % de matéria seca, ao longo do ciclo de crescimento da cultura. Essas observações estão de acordo com alguns modelos teóricos propostos para interações entre carbono e nitrogênio (THORNLEY, 1976; HESKETH e JAMES, 1980; PATE e LAYZELL, 1981). Em cana-de-açúcar, já foram propostos alguns modelos para crescimento e fatores ambientais (BULL e TOVEY, 1974; PEREIRA e MACHADO, 1983), sem, contudo, incluírem nitrogênio ou outro nutriente.

A partir das discussões anteriores, é possível apresentar um modelo fisiológico descritivo e preliminar, envolvendo algumas interações entre a absorção e a assimilação de nitrogênio nítrico e o crescimento da cultura de cana-de-açúcar, representado pelo acúmulo de matéria seca e área foliar. O modelo se propõe a responder à seguinte questão: de que maneira (geral) a absorção e a assimilação do nitrato estão relacionadas com o acúmulo de matéria seca e açúcares na cultura de cana-de-açúcar?

De forma sumarizada, o modelo conta com as seguintes informações gerais:

1) Aumentos na concentração de NO_3^- na solução do solo provocam aumentos na taxa de absorção de nitrogênio.

2) As maiores taxas de absorção de nitrogênio ocorrem nas fases jovens da cultura, decrescendo bruscamente após 150 dap.

3) O nitrato é acumulado no colmo até 90 dap, tendo sua concentração diminuída acentuadamente após esse período até o final do ciclo.

4) A atividade de Redutase de Nitrato está linearmente relacionada com a taxa de absorção de nitrogênio.

5) O nitrato acumulado no colmo, juntamente com o fluxo deste ânion proveniente do xilema, é capaz de ser mobilizado até as bainhas e lâminas das folhas para induzir a síntese e manter o nível de atividade de Redutase de Nitrato.

6) As taxas de absorção de nitrogênio e de redução do NO_3^- antecedem, no tempo, as taxas de fotossíntese e de acúmulo de matéria seca.

7) Os processos de absorção e assimilação do nitrogênio provocam acentuada diminuição nos níveis de açúcares do colmo e, em menor extensão, na bainha.

8) A absorção e a assimilação do nitrogênio estão sob

controle genético.

9) Aumentos na absorção e assimilação do nitrogênio estão diretamente relacionados com aumentos na área foliar.

10) A % de N e a % de C na parte aérea variam de forma recíproca; a primeira decrescente e a segunda crescente em função da idade da cultura.

11) A bainha é um sítio biológico repositório de reações bioquímicas responsáveis pela "passagem" de solutos; os açúcares migram no sentido folha-colmo e o nitrato no sentido colmo-folha.

Essas informações estão esquematizadas através da Figura 18, a qual é um diagrama em fluxo para as interações acima abordadas.

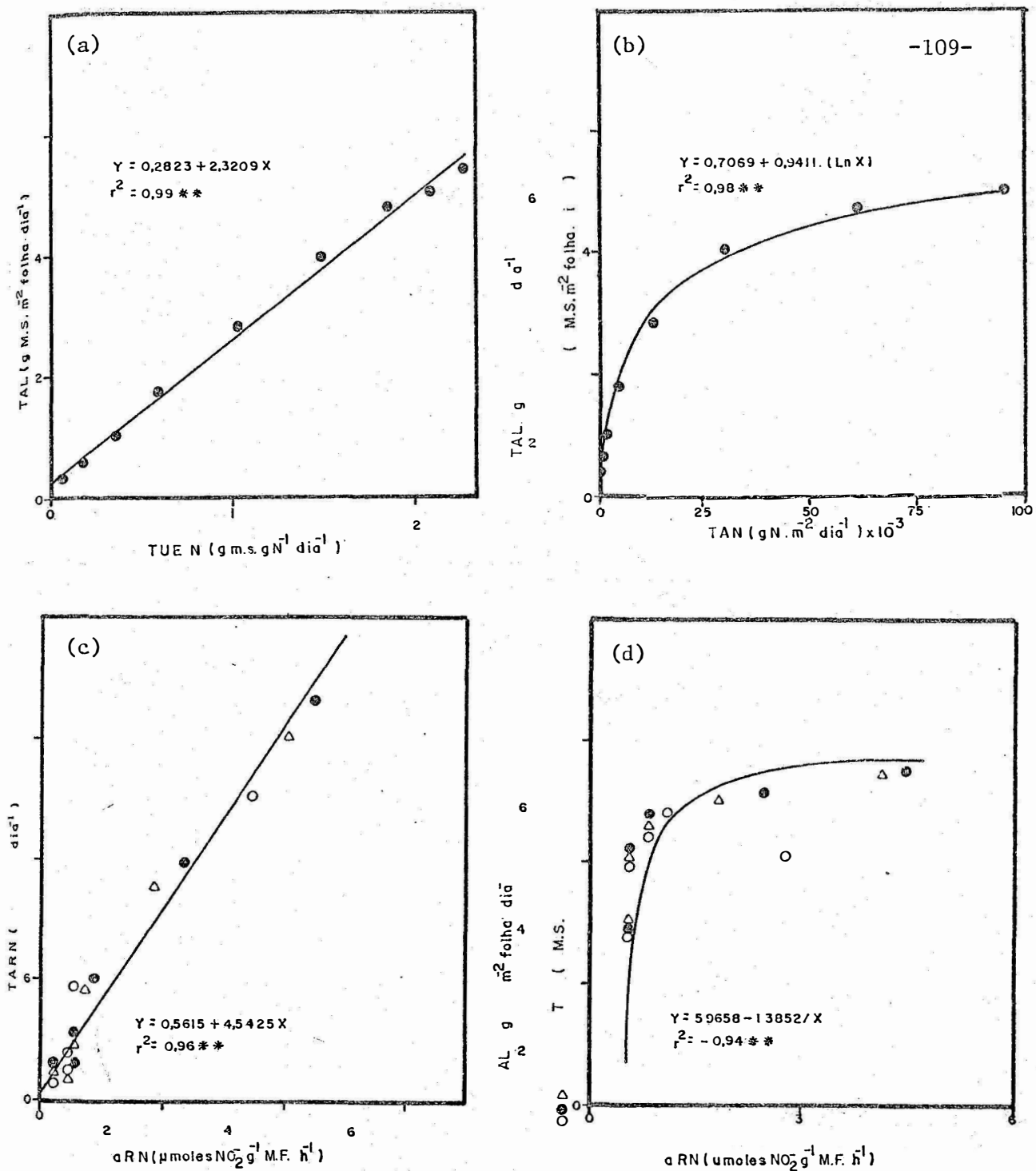


FIGURA 16 - Análise de regressão entre TAL (taxa de assimilação líquida) e TUE_N (taxa de utilização específica de nitrogênio) (a), entre TAL e TAN (taxa de acúmulo de nitrogênio - (b), entre TAR_N (taxa de acúmulo relativo de nitrogênio) e aRN (atividade de redutase nitrato) - (c), e entre TAL e aRN (d) para diferentes épocas após o plantio. Os valores de TAL, TAN e TAR_N foram obtidos a partir das funções ajustadas enquanto os de aRN são valores experimentais.

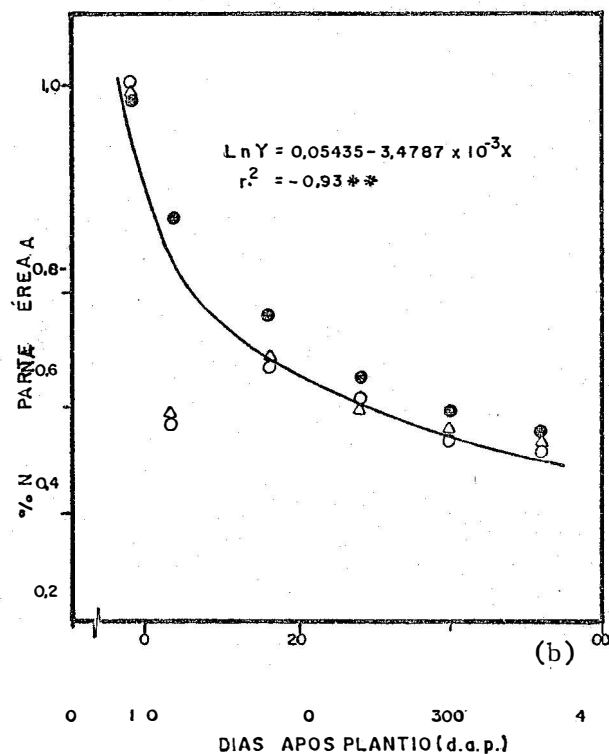
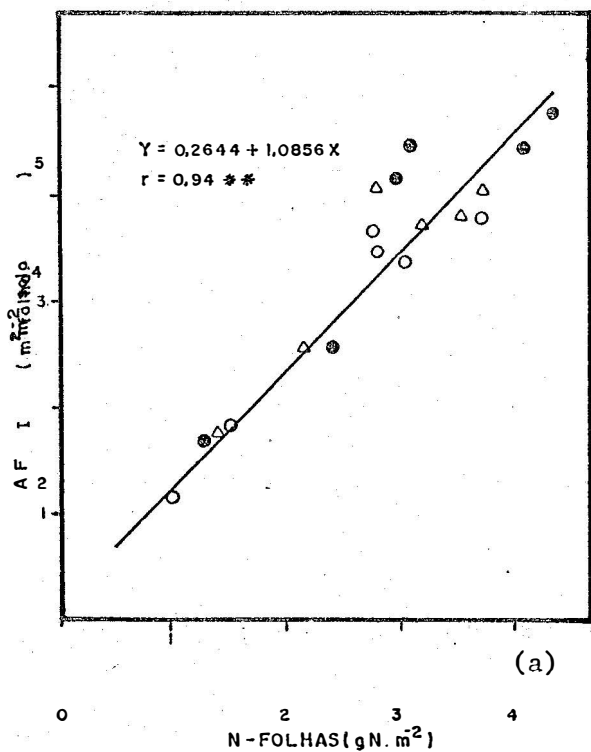
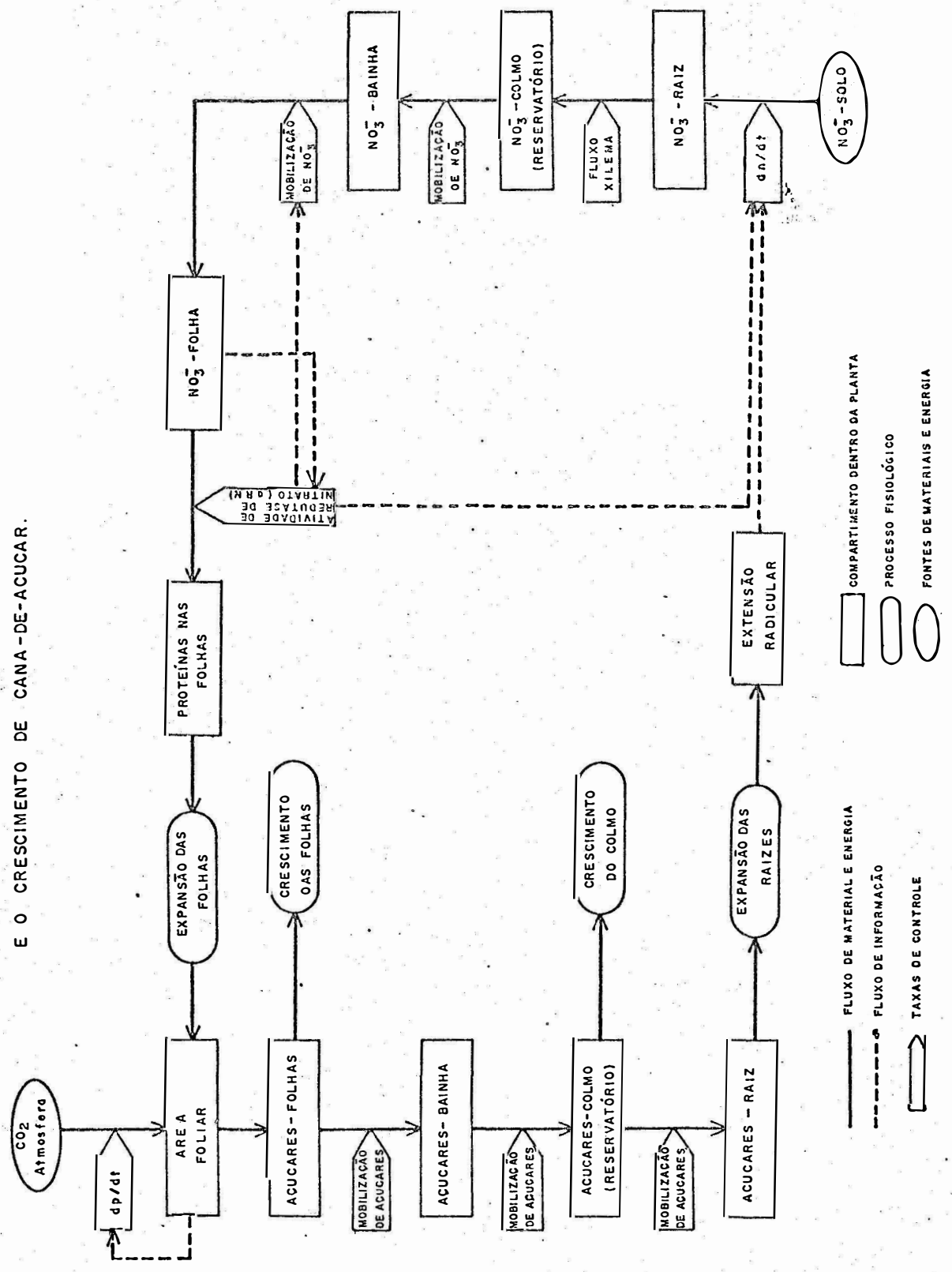


FIGURA 17 - Análise de regressão entre IAF (índice de área foliar) e nitrogênio acumulado nas folhas (a) e entre % de N na parte aérea e valores de tempo após o plantio (b), a partir de valores experimentais dos três tratamentos.

Figura 18 - DIAGRAMA EM FLUXO PARA ALGUMAS INTER-RELAÇÕES ENTRE ABSORÇÃO E REDUÇÃO DO NO_3^- E O CRESCIMENTO DE CANA-DE-ACUCAR.



6. CONCLUSÕES

Levando-se em consideração as limitações impostas pela complexidade dos fenômenos biológicos, associada a fatores climáticos, genéticos e do solo, a análise dos dados do presente trabalho permite as conclusões que se seguem.

As maiores taxas de absorção de nitrogênio e de atividade de Redutase de Nitrato na cultura de cana-de-açúcar ocorrem nos estádios iniciais do crescimento, decrescendo bruscamente com o aumento da idade. Existe uma correlação estreita e linear entre a taxa de absorção de nitrogênio e a atividade de Redutase de Nitrato.

Os valores máximos de taxa de absorção de nitrogênio e de atividade de Redutase de Nitrato antecedem, no tempo, os valores máximos de Taxa de Assimilação Líquida e Taxa de Crescimento da Cultura, explicando o decréscimo exponencial da % de N na parte aérea de cana-de-açúcar.

Elevados níveis de nitrogênio no solo provocam aumentos

nas taxas de absorção de nitrogênio e na atividade de Redutase de Nitrato, acarretando grande diminuição nas concentrações de açúcares redutores e açúcares solúveis totais do colmo e bainha durante um período de terminado do crescimento. Plantas de cana-de-açúcar contendo elevadas concentrações de nitrogênio (%N) apresentam maior área foliar / planta, maior número de perfilhos e menor eficiência fisiológica de utilização de nitrogênio.

A vinhaça no solo provoca diminuição na concentração de açúcares redutores do colmo e bainha, sem afetar, contudo, a absorção de nitrogênio nem a atividade de Redutase de Nitrato. A concentração de proteínas solúveis, NO_3^- e N-OH_2 solúvel, aminoácidos e valores dos índices fisiológicos de crescimento indicam que o crescimento e o metabolismo do nitrogênio não são afetados significativamente pela presença de vinhaça no solo.

7. LITERATURA CITADA

AJAKAYE, C.O., 1981. Influence of soil applications of nitrogen on nitrate reductase activity, leaf and grain protein content in sorghum. Plant and Soil, 60: 423-434.

ALEXANDER, A.G., 1961. 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., 47(3): 165-229.

ALEXANDER, A.G., 1965. 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., 69(2): 153-171.

ALEXANDER, A.G., 1973. Sugar cane physiology. Elsevier, Amsterdam. 752 p.

ALMEIDA, M.T.; R.L. VICTORIA e C.C. CERRI, 1982. Destino do

nitrogênio aplicado ($^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ como complementação à vinhaça em um solo ácido de Piracicaba, São Paulo. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO. Anais. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 254 p.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; A.C.V. VELLOSO; J.R. LEAL e R.O.P. ROSSIELLO, 1983. Denitrificação e imobilização de nitrogênio em solo tratado com vinhaça. R. bras. Ci. Solo, 7: 442-483.

ANN. REP. HAWAIIAN SUG. PLANTERS' ASSOC., 1963. How fast does the cane plant take up nitrogen? A comparison of nitrate and ammonium. p. 20-21.

ASLAM, M.; A. OAKS e R.C. HUFFAKER, 1976. Effect of light and glucose on the induction of nitrate reductase and on distribution of nitrate in etiolated barley leaves. Plant Physiol., 58: 588-591.

AZEREDO, D.F.; C. PARAZZI e H. CAMPOS, 1979. Efeitos da adubação nitrogenada na maturação da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL. Anais. Maceió, Volume 2, p. 346-349.

AZEREDO, D.F. e J. BOLSANELO, 1980. Efeitos da adubação nitrogenada em cana-planta na Zona da Mata de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL. Anais. Maceió, p. 350-352.

- BACCHI, O.O.S., 1983. Botânica da cana-de-açúcar. In: ORLANDO Fº, J.,
Coord., Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil.
Piracicaba, Coleção Planalsucar nº 2, p. 25-37.
- BALDWIN, J.P., 1976. Competition for plant nutrients in the soil:
a theoretical approach. Journal of Agricultural Science, 87:
341-356.
- BARBER, S.A., 1984. Nutrient balance and nitrogen use. In: HAUCK,
R.D., Ed., Nitrogen in crop production. Madison, Wisconsin, USA,
p. 88-95.
- BEEVERS, L. e R.H. HAGEMAN, 1980. Nitrate and nitrite reduction.
In: MIFLIN, B.J., Ed., The biochemistry of plants: a comprehensive
treatise. Academic Press, Volume 5, p. 115-168.
- BLACK, E.C.; R.H. BROWN e R.C. MOORE, 1978. Plant photosynthesis.
In: DOBEREINER, J. et alii, Eds., Limitations and potentials for
biological nitrogen fixation in the tropics. New York, Plenum
Press, p. 95-110.
- BOCK, B.R., 1984. Efficient use of nitrogen in cropping systems.
In: HAUCK, R.D., Ed., Nitrogen in crop production. Madison,
Wisconsin, USA, p. 273-293.
- BOLTON, J.K. e R.H. BROWN, 1980. Photosynthesis of grass species

differing in carbon dioxide fixation pathways V. Response of Panicum maximum, Panicum milioides and tallfescue (Festuca arundinacea) to nitrogen nutrition. Plant Physiol., 66: 97-100.

BROADBENT, F.E., 1984. Plant use of soil nitrogen. In: HAUCK, R.D., Ed., Nitrogen in crop production. Madison, Wisconsin, USA, p. 171-182.

BROWN, R.H., 1978. A difference in N use efficiency in C₃ and C₄ plants and its implications in adaptation and evolution. Crop Science, 18: 93-98.

BROWN, R.H. e J.R. WILSON, 1983. Nitrogen response of Panicum species differing in CO₂ fixation pathways. II. CO₂ exchange characteristics. Crop Science, 23: 1154-1159.

BULL, T.A., 1971. The C₄ pathway related to growth rates in sugar cane. In: HATCH, M.D. et alii, Eds., Photosynthesis and photorespiration. Canberra, Australia, John Wiley, Inc., p. 68-75.

BULL, T.A. e D.A. TOVEY, 1974. Aspects modelling sugarcane growth by computer simulation. Proc. Int. Sug. Cane Technol., 15(2): 1021-1032.

BULL, T.A. e K.T. GLASZIOU, 1975. Sugar cane. In: EVANS, L.T., Ed.,

Crop physiology: some case histories. Cambridge University Press, p. 51-72.

CAMARGO, R., 1954. O desenvolvimento da flora microbiana nos solos tratados com vinhaça. Piracicaba, Instituto Zimotécnico, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Boletim Técnico). 44 p.

CHANTAROTWONG, W.; R.C. HUFFAKER; B.L. MILLER e R.C. GRANSTEDT, 1976. "In vivo" nitrate reduction in relation to nitrate uptake, nitrate content and "in vitro" nitrate reductase activity in intact barley seedlings. Plant Physiol., 57: 519-522.

CALDAS, H.E., 1960. Os fenômenos microbiológicos nos solos tratados com calda de destilaria. Recife, Instituto Agrônômico do Nordeste (Boletim Técnico). p. 42-81.

CLARK, R.B., 1983. Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for plant growth. Plant and Soil, 72: 175-196.

CLEMENTS, H.F., 1980. Sugarcane crop logging and crop control: principles and practices. Univ. Press of Hawaii, Honolulu, 520 p.

CASTRO, R.C.; A.A. LUCCHESI; E. ALVES e S.B. PARANHOS, 1977. Análise de crescimento da cana-de-açúcar. Brasil Açucareiro, 6: 26-30.

CROCOMO, O.J.; J.A.G. SILVEIRA e N.A. OCHOA, 1981. Formas nitrogenadas e metabolismo de açúcares e crescimento de cana-de-açúcar (Saccharum spp). In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TECNOLOGIA AÇUCAREIRA DO BRASIL, 2º. Anais. Rio de Janeiro.

CROCOMO, O.J., 1983. Assimilação do nitrogênio pelas plantas. In: FERRI, M.G., Coord., Fisiologia vegetal. São Paulo, EDUSP, 2ª. Edição, Volume 1, p. 179-207.

CROCOMO, O.J. e J.A.G. SILVEIRA, 1983. O sistema fonte-reservatório e a produtividade de cana-de-açúcar. Agricultura. Boletim nº 1/2 da Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba. 12 p.

DILLEWIJH, C. van, 1952. Botany of sugarcane. Waltham, The Chronica Botanica Co. 371 p.

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.

FAHL, J.I. e M.L.C. CARELLI, 1984. Fotossíntese e redutase de nitrato em plantas de cana-de-açúcar. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 36a. Resumos, 36(7): 9-10.

FERNANDES, M.S. e L.R. FREIRE, 1976. Efeitos de nitrogênio nítrico

aplicado ao solo na atividade de nitrato-redutase e na acumulação de N-solúvel em Brachiaria sp. Turrialba, 26(3): 268-273.

FERNANDES, M.S. e M.B.A. FERREIRA, 1978. Efeitos da interação de N-NO_3^- e NH_4^+ na atividade da nitrato redutase e acumulação de N-proteico em Brachiaria sp. Turrialba, 28(3): 187-191.

FERNANDES, M.S., 1983. N-carriers, light and temperature influence on the free amino acid pool composition of rice plants. Turrialba, 33(3): 297-301.

FERRARI, T.E.; O.C. YODER e P. FILMER, 1973. Anaerobic nitrite production by plant cells and tissues: evidence for two nitrate pools. Plant Physiol., 51: 423-431.

FRIEDRICH, J.M. e L.E. SCHRADER, 1979. N deprivation in maize during grain-filling. II. Remobilization of ^{15}N and ^{35}S and relationship between N and S accumulation. Agron. J., 71: 466-472.

FRIEDRICH, J.M.; L.E. SCHRADER e E.V. NORDHEIN, 1979. N deprivation in maize during grain-filling. I. Accumulation of dry matter, nitrate-N and sulfate-S. Agron. J., 71: 461-465.

GINÉ, M.F., 1979. Determinação espectrofotométrica simultânea de nitrato e nitrito em águas e solos por injeção em fluxo contínuo. Piracicaba, ESALQ/USP, 70 p. (Dissertação de Mestrado).

GINÉ, M.F.; B.F. REIS; E.A.G. ZAGATTO; F.J. KRUG e A.O. JACINTHO, 1983.

A simple procedure for standard additions in flow injection analysis.

Anal. Chim. Acta, 155: 131-138.

GLASZIOU, K.T. e T.A. BULL, 1971. Feedback control of photosynthesis

in sugarcane. In: HATCH, M.D. et alii, Eds., Photosynthesis and

photorespiration. John Wiley, Inc. p. 82-88.

GLORIA, N.A. e J. ORLANDO Fº, 1983. Aplicação da vinhaça como

fertilizante. Piracicaba, Boletim Técnico PLANALSUCAR. 38 p.

GLOVER, J., 1972. Practical and theoretical assessments of sugarcane

yield potential in Natal. Proc. S. Afric. Sug. Technol. Assoc.

46: 138-141.

GOODMAN, P.J., 1979. Genetic control of inorganic nitrogen

assimilation of crop plants. In: HEWITT, E.J. e C.V. CUTTING,

Eds., Nitrogen assimilation of plants. London, Academic Press,

p. 335-358.

GOYAL, S.S. e R.C. HUFFAKER, 1984. Nitrogen toxicity in plants.

In: HAUCK, R.D., Ed., Nitrogen in crop production. Madison,

Wisconsin, USA, p. 97-118.

GRAY, V.M. e C.F. CRESSWELL, 1984. The effect of inhibitors of

photosynthetic and respiratory electron transport on reduction

and nitrite accumulation in excised Z. mays L. leaves. J. Exp. Bot., 157(35): 1166-1176.

GREENWOOD, D.J.; J.J. NIEETESON e A. DRAYCOTT, 1985. Response of potatoes to N fertilizer: quantitative relations for components of growth. Plant and Soil, 85: 163-183.

HAGEMAN, R.H., 1984. Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants. In: HAUCK, R.D., Ed., Nitrogen in crop production. Madison, Wisconsin, USA, p. 67-85.

HAGEMAN, R.H. e D. FLESHER, 1960. Nitrate reductase activity in corn seedlings as affected by light and nitrate content of nutrient media. Plant Physiol., 35: 700-708.

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

HART, C.E. e G.O. BURR, 1965. Factors affecting photosynthesis in sugarcane. Proc. Intern. Soc. Sugar Cane Technol., Puerto Rico.

HESKETH, J.D. e J.W. JAMES, 1980. Integrating traditional grower analysis techniques with recent modeling of carbon and nitrogen metabolism. In: HESKETH, J.D. e J.W. JAMES, Eds., Predicting photosynthesis for ecosystem models. Boca Raton, CRC Press, p. 51-92.

- HEWITT, E.J., 1975. Assimilatory nitrate-nitrite reduction. Ann. Rev. Plant Physiol., 26: 73-100.
- HUFFAKER, R.C. e D.W. RAINS, 1978. Factor influencing nitrate acquisition by plants; assimilation and fate of reduced nitrogen. In: NIELSEN, D.R. e J.G. MacDONALD, Eds., Nitrogen in the environment. London, Academic Press, Volume 2, p. 1-43.
- HUNT, R., 1981. Plant growth analysis. Edward Arnold, 2nd. Edition, Studies in Biology nº 96. 67 p.
- IRVINE, J.E., 1980. Sugarcane. In: SYMPOSIUM ON POTENTIAL PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTS. International Rice Research Institute.
- JØRGENSEN, S.S., 1977. Guia analítico. Metodologia utilizada para análise de rotina. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA). 23 p.
- JONES, J.W.; J.D. HESKETH; E.J. KAMPRATH e H.D. BOWEN, 1974. Development of a nitrogen balance for cotton growth models: A first approximation. Crop Science, 14: 541-546.
- KABAT, E.A. e M.M. MAYER, 1967. Ninhydrin method. In: THOMAS, C. C., Eds., Experimental immunochemistry. Spring Field, 2nd. Edition, p. 560-563.

KEMP, D.R., 1980. The growth rate of successive leaves of wheat plants in relation to sugar and protein concentrations in the extension zone. J. Exp. Bot., 31: 1399-1411.

KUZNETSOV, V.V., 1984. Effect of hormonal and substrate induction of nitrate reductase in isolated corn cockle embryos. Sov. Plant Physiol., 31(32): 408-414.

LEAL, J.R.; N.M.B. AMARAL SOBRINHO; A.C.X. VELLOSO e R.O.P. ROSSIELLO, 1983. Potencial redox e pH: variações em um solo tratado com vinhaça. R. bras. Ci. Solo, 7: 257-261.

LEE, T.S.G., 1984. Efeito do plantio de cana inteira na germinação, no desenvolvimento e na produção de cana-de-açúcar. Piracicaba, Cad. PLANALSUCAR, 3(1): 1-23.

LEME, E.J.A.; M.A. MANIERO e J.C. GUIDOLIN, 1984. Estimativa da área foliar de cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade. Piracicaba, Cad. PLANALSUCAR, 3(2): 3-22.

LIBARDI, P.L.; L.R. ANGELOCCI e N.A. VILLA NOVA, 1983. Relações hídricas em cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA, 2º, Piracicaba. Anais. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz.

LIMA, I.T., 1980. Efeitos da aplicação da vinhaça sobre a microflora

do solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 100 p.
(Dissertação de Mestrado).

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.

MACHADO, E.C.; A.R. PEREIRA; J.I. FAHL; H.V. ARRUDA e J. CIONE, 1982. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. Pesq. Agropec. bras., 17(9): 1323-1329.

MACHADO, E.C.; B.G. SANTOS Fº; M.B.P. CAMARGO; W. BARBIERI e A.C.N. MAGALHÃES, 1983. Análise de crescimento de duas variedades de cana-de-açúcar com e sem irrigação. In: REUNION LATINOAMERICANA DE FISILOGIA VEGETAL, 9a. Resumos. Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

MACHADO, E.C., 1984. Análise de crescimento da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA, 2º. Anais. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MAGALHÃES, A.C.N., 1983. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G., Coord., Fisiologia vegetal. São Paulo, EDUSP, 2a. Edição, Volume 1, p. 331-350.

MALAVOLTA, E., 1982. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar.

Série Divulgação Técnica ULTRAFÉRTIL. 80 p.

MARETZKI, A. e A. DE LA CRUZ, 1967. Nitrate reductase in sugarcane tissues. Plant & Cell Physiol., 8: 605-611.

MENGEL, K. e E.A. KIRBY, 1982. Principles of plant nutrition. 3rd. Edition, International Potash Institute, Berna, Suíça. 655 p.

MENGEL, K., 1983. Responses of various crop species and cultivars to fertilizer application. Plant and Soil, 72: 305-319.

METIVIER, J.R., 1983. Citocininas. In: FERRI, M.G., Coord., Fisiologia Vegetal. São Paulo, EDUSP, 2a. Edição, Volume 2, p. 129-162.

MOORE, R. e C.C. BLACK Jr., 1979. Nitrogen assimilation pathways in leaf mesophyll and bundle sheath cells of C₄ photosynthesis plants formulated from comparative studies with Digitaria sanguinalis (L.). Plant Physiol., 64: 309-313.

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

NICKELL, L.G., 1975. Ecophysiology of sugar cane. In: ALVIM, P.T., Ed., Ecophysiology of tropical crops. Manaus, CEPLAC, p. 1-52.

NOVOA, R. e R.S. LOOMIS, 1981. Nitrogen and plant production.

Plant and Soil, 58: 177-204.

NUNES, M.R.; A.C.X. VELLOSO e J.R. LEAL, 1981. Efeito da vinhaça nos cátions trocáveis e outros elementos químicos do solo. Pesq. agropec. bras., 16: 171-176.

NYE, P.H. e P.B. TINKER, 1977. Solute movement in the soil root system. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Endburg.

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.

OCHOA, N.A., 1980. Efeito do nitrogênio nítrico, amoniacal e de uréia sobre o crescimento, carboidratos e compostos nitrogenados em cana-de-açúcar (Saccharum spp) cv. NA 56-79 cultivada em solução nutritiva. Piracicaba, ESALQ/USP, 116 p. (Dissertação de Mestrado).

OCHOA, N.A. e O.J. CROCOMO, 1982. Biochemical and physiological aspects of sugarcane (Saccharum spp). III. Influence of nitrate ammonium and urea on the metabolism of nitrogen compounds in. Energ. Nucl. Agric., 4(1): 3-20.

OLIVEIRA, L.E.M., 1985. Comportamento fisiológico de plantas de

cana-de-açúcar (Saccharum sp) sob condições de deficiência hídrica: alterações na assimilação do nitrato e mobilização de açúcares. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 126 p. (Tese de Doutorado).

OLIVEIRA, J.B.; J.R.F. MENK; J.L. BARBIERI; C.L. ROTTA e W. TREMOCOLDI, 1982. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras. Bol. Tecn. Inst. Agron. Campinas, nº 71.

ORLANDO Fº, J.; E. ZAMBELLO Jr. e J.A.G.C. SOUSA, 1977. Adubação nitrogenada em quatro variedades de cana-planta em solo Latossol Vermelho-Escuro-orto. Brasil Açucareiro, 4: 6-14.

ORLANDO Fº, J. e E. ZAMBELLO Jr., 1981. Adubação nitrogenada em cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 2º. Anais. Rio de Janeiro, p. 190-202.

ORLANDO Fº, J., 1978. Absorção dos macronutrientes pela cana-de-açúcar (Saccharum spp) variedade CB 41-76 em três grandes grupos de solos no Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 154 p. (Tese de Doutorado).

ORLANDO Fº, J.; H.P. HAAG e E. ZAMBELLO Jr., 1980. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, em função da idade, em solos do Estado de São Paulo.

Piracicaba, Boletim Técnico PLANALSUCAR. 128 p.

ORLANDO Fº, J. e E. ZAMBELLO Jr., 1980. Viagem de estudos realizada à África do Sul, Filipinas, Havaí e Louisiana. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR. 49 p.

ORLANDO Fº, J. e E. ZAMBELLO Jr., 1983. Diagnose foliar. In: ORLANDO Fº, J., Coord. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, Coleção PLANALSUCAR nº 2, p. 125-152.

ORLANDO Fº, J. e A.A. RODELLA, 1983. Análise química do solo e recomendação de adubação. In: ORLANDO Fº, J., Coord. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, Coleção PLANALSUCAR nº 2, p. 155-178.

PARTHASARATHI, K., 1967. Contributions to a biochemical study of sugar cane: 3. Nitrate reductase activity and potential nitrate and their use in determining the relative field capacity of cane varieties. Proc. Ind. Acad. Sci., 59B, p. 91-95.

PATE, J.S. e D.B. LAYZELL, 1981. Carbon and nitrogen partitioning in the whole plant - A thesis based on empirical modeling. In: BEWLEY, J.D., Ed. Nitrogen and carbon metabolism (Proc. of a Symposium on the Physiology and Biochemistry of Plant Productivity). Martinus Nijhoff/Dr. W. Lunk Publishers, p. 95-134.

PEARMAN, I.; S.M. THOMAS e G.N. THORNE, 1977. Effects of nitrogen fertilizer on the growth and field of spring wheat. Ann. Bot., 41: 93-108.

PEARMAN, I.; S.M. THOMAS e G.M. THORNE, 1978. Effects of nitrogen

fertilizer on the distribution of photosynthate during growth of spring wheat. Ann. Bot., 42: 91-99.

PEARSON, C.J. e W.A. MUIRHEAD, 1984. Nitrogen uptake. In: PEARSON, C.J., Ed., Control of crop productivity. Academic Press, 315 p.

PEREIRA, A.R. e E.C. MACHADO, 1983. SIMCANA: um simulador dinâmico do crescimento de cana-de-açúcar. In: REUNIÃO SOCIEDAD LATINO AMERICANA DE FISIOLOGIA VEGETAL. Resumos. Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

PRAMER, D. e E.L. SCHMIDT, 1965. Experimental soil microbiology. Burgess Publishing Company. 107 p.

RAIJ, B.V., 1981. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa-Fosfato e Instituto Internacional da Potassa. 142 p.

RAPER Jr., C.D.; W.W. WEEKS e M. WANN, 1976. Temperatures in early past-transplant growth: influence on carbohydrate and nitrogen utilization and distribution in tobacco. Crop Science, 16: 753-757.

RAPER Jr., C.D.; L.R. PARSONS; D.T. PATTERSON e P.J. KRAMER, 1977a. Relationship between growth and nitrogen accumulation for vegetative cotton and soybean plants. Bot. Gaz., 138: 129-137.

RAPER Jr., C.D.; D.T. PATTERSON; L.R. PARSON e P.J. KRAMER, 1977b.

Relative growth and nutrient accumulation rates for tobacco.

Plant and Soil, 46: 473-486.

RAPER Jr., C.D. e G.F. PEEDIN, 1978. Photosynthetic rate during

steady-state growth as influenced by carbon dioxide concentration.

Bot. Gaz., 139: 147-149.

RAPER Jr., C.D.; D.L. OSMOND; M. WANN e W.W. WEEKS, 1978.

Interdependence of root and shoot activities in determining

nitrogen uptake rate of roots. Bot. Gaz., 139(3): 289.

ROBINSON, D. e I.H. RORISON, 1985. A quantitative analysis of the

relationships between root distribution and nitrogen uptake from

soil by two grass species. Journal of Soil Science, 36: 71-85.

RODELLA, A.A.; E. ZAMBELLO Jr. e J. ORLANDO Fº, 1981. Calibração das

análises de fósforo e potássio no solo em cana-de-açúcar, 2a.

aproximação. Araras, SP, IAA/PLANALSUCAR. 13 p.

RODELLA, A.A., 1983. Métodos de análise de solo, tecido vegetal,

vinhaça e torta de filtro. In: ORLANDO Fº, J., Coord., Nutrição

e adubação de cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, Coleção

PLANALSUCAR nº 2, p. 351-368.

ROSÁRIO, E.L. e K. SOOKSATHAN, 1977. Influence of fertilizer levels

on nitrate reductase activity and its significance to sugar yield. Intern. Soc. of Sugar Cane Technol. Proc. XVI Congress, Vol. 2, p. 1825-1841.

RUSCHEL, A.P., 1975. Fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar. Piracicaba, ESALQ/USP, 73 p. (Dissertação de Mestrado).

RUSCHEL, A.P.; J. ORLANDO Fº; E. ZAMBELLO Jr. e S. HENIS, 1977a. Aerobic and anaerobic nitrogen-fixing bacteria on sugar cane roots. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS. Proc. XVI Congress, Vol. 2, São Paulo, Brasil, p. 1923-1930.

RUSCHEL, A.P.; J. ORLANDO Fº e E. ZAMBELLO Jr., 1977b. The effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization and irrigation on nitrogenase activity and yield of sugar cane. Preliminary note. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS. Proc. XVI Congress, Vol. 2, São Paulo, Brasil, p. 1903-1912.

RUSCHEL, A.P. e P.B. VOSE, 1982. Nitrogen cycling in sugarcane. Plant and Soil, 67: 139-146.

SCHRADER, L.E. e R.J. THOMAS, 1981. Nitrate uptake, reduction and transport in the whole plant. In: BEWLEY, J.D., Ed., Nitrogen and carbon metabolism (Proc. of a Symposium on the Physiology and Biochemistry of Plant Productivity). Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, p. 49-93.

- SCRADER, L.E., 1984. Functions and transformations of nitrogen in higher plants. In: HAUCK, R.D., Ed., Nitrogen in crop production. Madison, Wisconsin, USA, p. 55-65.
- SHANER, D.L. e J.S. BOYER, 1976. Nitrate reductase activity in maize leaves. Regulation by nitrate flux. Plant Physiol., 58: 499-504.
- SHERRARD, J.H.; R.J. LAMBERT; M.J. MESSMER; F.E. BELLOW e R.H. HAGEMAN, 1984. Plant breeding for efficient plant use of nitrogen. In: HAUCK, R.D., Ed., Nitrogen in crop production. Madison, Wisconsin, USA, p. 365-378.
- SILVA, W.M., 1976. Termoterapia em gemas isoladas assegura o controle do raquitismo. Boletim Técnico COPERSUCAR, (1): 10-13.
- SILVA, G.M.A. e M.N.A. GURGEL, 1981. Aplicação de vinhaça como fertilizante em cana-de-açúcar em solo L.E., fase arenosa. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 29. Anais. Rio de Janeiro.
- SILVA, G.M.A. e J. ORLANDO Fº, 1981. Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça do Brasil. Piracicaba, Boletim Técnico PLANALSUCAR. 32 p.
- SILVA, G.M.A., 1983. Influência da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: ORLANDO Fº, J., Coord., Nutrição e adubação da cana-

de-açúcar no Brasil. Piracicaba, Coleção PLANALSUCAR nº 2, p. 317-332.

SILVA, L.C.F. e J.C. CASAGRANDE, 1983. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: ORLANDO Fº, J., Coord., Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, Coleção PLANALSUCAR nº 2, p. 77-99.

SILVEIRA, J.A.G., 1980. Aspectos bioquímicos e fisiológicos da relação K/N em cana-de-açúcar cv. NA 56-79 cultivada em solução nutritiva. Piracicaba, ESALQ/USP, 127 p. (Dissertação de Mestrado).

SILVEIRA, J.A.G.; O.J. CROCOMO e T. YAMADA, 1980. Metabolismo de açúcares e nitrogênio em cana-de-açúcar relacionado com a concentração de potássio. In: IX REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE BIOQUÍMICA. Resumos. Caxambu, Minas Gerais.

SILVEIRA, J.A.G. e O.J. CROCOMO, 1981. 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., 3(1): 19-33.

SILVEIRA, J.A.G. e O.J. CROCOMO, 1983. Deficiência de potássio e alterações no metabolismo do nitrogênio. In: IX REUNIÓN SOCIEDADE LATINO AMERICANA DE FISILOGIA VEGETAL, 9a. Resumos. Viçosa, Brasil.

SILVEIRA, J.A.G.; N.A. OCHOA e O.J. CROCOMO, 1984a. Fisiologia e bioquímica da nutrição da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA, 29. Anais. Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz.

SILVEIRA, J.A.G.; H. CARRER e O.J. CROCOMO, 1984b. Sugarcane growth and maturity related to nitrate reductase and soil fertility. In: CONGRESSO ASOCIACIÓN PANAMERICANA DE SOCIEDADES DE BIOQUÍMICA. Buenos Aires, Argentina.

SOUSA, J.A.G.C., 1976. Recomendações para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Araras, PLANALSUCAR, 24 p. (Boletim Técnico, nº 1).

STANFORD, G. e J.O. LEGG, 1984. Nitrogen and feld potential. In: HAUCK, R.D., Ed., Nitrogen in crop production. Madison, Wisconsin, USA, p. 264-272.

STEVES, W.L., 1951. Asyntotic regression. Biometrics, 7: 244-267.

SUZUKI, J., 1982. Biossíntese e acúmulo de sacarose em cana-de-açúcar (Saccharum spp): influência do íon potássio durante diferentes estádios de crescimento em solução nutritiva. Piracicaba, ESALQ/USP, 96 p. (Tese de Doutorado).

SUZUKI, J.; J.A.G. SILVEIRA e O.J. CROCOMO, 1984. Sugarcane maturity

in relation to invertases, sucrose synthetase and potassium level.

In: CONGRESSO ASSOCIAÇÃO PANAMERICANA DE SOCIEDADES DE BIOQUÍMICA.
Buenos Aires, Argentina.

SUZUKI, J.; I.M.S. VIEIRA; J.A.G. SILVEIRA e O.J. CROCOMO, 1984.

Mecanismos reguladores do sistema fonte/reservatório de cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA. Anais.
Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz.

TAKASHI, D., 1965. Nitrate in sugarcane. In: Annual Report Exp.

Station of the Hawaiian Sugar Planter's Association. Hawaii. 34 p.

TEIXEIRA, N.T., 1980. Comportamento do nitrogênio "solúvel" em

cana-soca em condições de campo e em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva. Piracicaba, ESALQ/USP, 83 p.
(Tese de Doutorado).

THOMAS, S.M.; G.N. THORNE e I. PEARMAN, 1978. Effect of nitrogen

on growth, yield and photorespiratory activity in spring wheat.
Ann. Bot., 42: 827-837.

THORNLEY, J.H.M., 1976. Mathematical models in plant physiology.

Academic Press, New York.

VALDIVIA, V.S.; C.J. PINNA e A.H. TELLO, 1980. Efecto de la aplicacion

tardia del nitrógeno en el cultivar de cana H32-8560. III. Acción

de la misma com relacion a la aplicaci3n temprana, en la calidad y nutrientes en la planta. Turrialba, 30: 3-8.

VALDIVIA, V.S., 1982. Nitrogen gains and losses in sugarcane (Saccharum sp) agro-ecosystems on the coast of Plant and Soil, 67: 147-156.

VELLOSO, A.C.X.; M.R. NUNES e R.J. LEAL, 1982. Efeito da vinhaça na lixiviaç3o de nutrientes do solo. I. Nitrato e am3nio. Pesq. agropec. bras., 17: 51-55.

VILLALOBOS, E. e J.F. CARVAJAL, 1977. La actividad da reductasa del nitrato como guia de la fertilizacion nitrogenada de cinco esp3cies agr3colas. Agron. Cost., 1(1): 57-63.

WALDRON, J.C.; K.T. GLASZIOU e T.A. BULL, 1967. The physiology of sugar cane. IX. Factors affecting photosynthesis and sugar storage. Aust. J. Biol. Sci., 20: 1043-1052.

WANN, M. e C.D. RAPER Jr., 1979. A dynamic model for plant growth: adaptation for vegetative growth of soybeans. Crop Science, 19: 461-467.

WEATHERBURN, M. W., 1967. Phenol hipochlorite reaction for determination of ammonia. Anal. Chem., 39: 971-974.

WILD, A. e V.G. BREEZE, 1981. Nutrient uptake in relation to growth.

In: JOHNSON, C.B., Ed., Physiological processes limiting plant productivity. London, Boston, p. 331-344.

WILSON, J.R. e R.H. BROWN, 1983. Nitrogen response of Panicum species differing in CO₂ fixation pathways. I. Growth analysis and carbohydrate accumulation. Crop Science, 23: 1148-1153.

ZAMBELLO, Jr., E. e D.F. AZEREDO, 1983. Adubação na região Centro-Sul.

In: ORLANDO Fº, J., Coord., Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, Coleção PLANALSUCAR nº 2, p. 289-313.

A P Ê N D I C E

TABELA 2 - % K na folha+3 e no colmo de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	% K - Folha			% K - Colmo		
	N	T	V	N	T	V
90	1,63b	1,67b	1,81a	2,65b	2,39c	3,22a
120	1,50a	1,27b	1,54a	2,07a	1,33b	1,90a
180	1,38a	1,23b	1,42a	1,04b	0,82c	1,28a
240	1,32	1,29	1,45	0,69b	0,64b	1,17a
300	1,23a	1,04b	1,24a	0,37b	0,25c	0,52a
360	0,90b	0,90b	1,15a	0,24b	0,22b	0,42a

a,b,c = diferença significativa entre tratamento dentro das épocas
(Tukey, 5%)

F (tratamento) = 23,81**

F (época) = 71,10**

CV = 7,48%

F (tratamento) = 152,63**

F (época) = 1161,81**

CV = 8,03%

TABELA 3 - % P na folha+3 e no colmo de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	% P - Folha			% P - Colmo		
	N	T	V	N	T	V
90	0,24	0,26	0,26	0,16	0,17	0,18
120	0,21	0,22	0,26	0,11a	0,08b	0,07b
180	0,26	0,22	0,25	0,05	0,05	0,06
240	0,25	0,23	0,19	0,03	0,03	0,04
300	0,14	0,11	0,12	0,03	0,02	0,02
360	0,15	0,15	0,15	0,02	0,02	0,02

a,b,c = diferença significativa entre tratamentos dentro das épocas
(Tukey, 5%)

F (tratamento) = 1,83 n.s.

F (época) = 179,92**

CV = 6,53%

F (tratamento) = 2,36*

F (época) = 374,14**

CV = 15,24%

TABELA 4 - % Mg na folha + 3 e no colmo de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	% Mg - Folha			% Mg - Colmo		
	N	T	V	N	T	V
90	0,13b	0,17a	0,15a	0,20b	0,23a	0,19b
120	0,12b	0,15a	0,15a	0,17a	0,14b	0,11c
180	0,12	0,14	0,13	0,11a	0,12a	0,09b
240	0,15a	0,15a	0,11b	0,09	0,08	0,07
300	0,10	0,08	0,07	0,07a	0,07a	0,05b
360	0,12	0,14	0,12	0,08a	0,08a	0,06b

a,b,c = diferença significativa entre tratamentos dentro das épocas
(Tukey, 5%)

F (tratamento) = 12,86**

F (épocas) = 41,45**

CV = 9,37%

F (tratamento) = 36,70**

F (épocas) = 262,09**

CV = 10,00%

TABELA 5 - % Ca na folha + 3 e no colmo de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	% Ca - Folha			% Ca - Colmo		
	N	T	V	N	T	V
90	0,44	0,53	0,48	0,55	0,59	0,54
120	0,46	0,52	0,56	0,42a	0,32b	0,28b
180	0,73	0,69	0,64	0,24	0,24	0,23
240	1,17a	1,21a	0,62b	0,15	0,14	0,12
300	0,66a	0,54b	0,49b	0,11a	0,12a	0,08b
360	0,59	0,65	0,49	0,14a	0,15a	0,11b

a,b = diferença significativa entre tratamentos dentro das épocas
(Tukey, 5%)

F (tratamento) = 31,35**

F (épocas) = 90,15**

CV = 10,89%

F (tratamento) = 8,46**

F (épocas) = 245,48**

CV = 14,98%

TABELA 6 - Matéria seca (Kg.m^{-2}) e nitrogênio acumulados na parte aérea (g.m^{-2}) de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	Matéria Seca			Nitrogênio		
	N	T	V	N	T	V
90	0,30a	0,19b	0,31a	2,90a	1,88b	2,85a
120	0,80a	0,56b	0,89a	6,12a	2,93c	4,64b
180	2,02a	1,47b	1,86a	11,56a	7,36c	8,89b
240	2,74a	2,06b	2,51a	12,71a	8,69c	10,61b
300	3,41a	2,52c	3,14b	13,77a	9,01c	11,43b
360	3,49a	2,88b	3,46a	13,32a	8,88c	11,25b

a,b,c = diferença significativa entre tratamentos dentro das épocas
(Tukey, 5%)

F (tratamento) = 136,85**

F (tratamento) = 210,17**

F (época) = 1374,43**

F (época) = 458,87**

CV = 6,03%

CV = 7,22%

TABELA 7 - Índice de Área Foliar ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) e matéria seca de colmo de cana de açúcar (Kg.m^{-2}), em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	Índice de Área Foliar			Matéria Seca - Colmo		
	N	T	V	N	T	V
90	1,71a	1,15b	1,71a	0,13a	0,08b	0,14a
120	2,53a	1,77b	2,56a	0,56a	0,38b	0,64a
180	4,47a	3,39c	3,80b	1,57a	1,13b	1,42a
240	4,67a	3,74c	4,06b	2,27a	1,69b	2,11a
300	4,35a	3,69b	3,94a	3,02a	2,06b	2,76a
360	4,16a	3,47b	4,04a	3,09a	2,58b	3,04a

a,b,c = diferença significativa entre tratamentos dentro das épocas
(Tukey, 5%)

F (tratamento) = 32,31**

F (tratamento) = 134,21**

F (época) = 126,83**

F (época) = 1451,02**

CV = 10,30%

CV = 6,41%

TABELA 8 - Taxa de Crescimento da Cultura - TCC - ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e Taxa de Acúmulo de Nitrogênio - TAN - ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), em cana-de-açúcar, estimadas através da manipulação da função logística ajustada (*), em 10 épocas e três tratamentos.

Época (dap)	TCC ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)			TAN ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) x 10 ³		
	N	T	V	N	T	V
90	8,27	5,76	7,95	73,35	42,54	52,66
120	13,42	9,45	12,45	103,02	65,03	70,53
150	18,66	13,52	16,86	96,39	66,95	71,84
180	21,00	15,93	18,77	61,54	45,93	55,36
210	18,65	14,97	16,84	30,52	23,65	34,30
240	13,42	11,37	12,44	13,30	10,45	18,51
270	8,27	7,33	7,94	5,47	4,30	9,26
300	4,63	4,24	4,61	2,20	1,73	4,46
330	2,45	2,31	2,53	0,87	0,68	2,11
360	1,26	1,21	1,35	0,34	0,27	0,99

(*) Valores dos parâmetros das funções:

<u>Tratamento N</u>	<u>Tratamento T</u>	<u>Tratamento V</u>
$M_{\max} = 3629,40$	$M_{\max} = 2825,20$	$M_{\max} = 3397,60$
$A = 4,1651$	$A = 4,2417$	$A = 3,97083$
$B = -0,02314$	$B = -0,02269$	$A = -0,02211$
$N_{\max} = 13,67$	$N_{\max} = 8,96$	$N_{\max} = 11,58$
$A = 4,0269$	$A = 4,26506$	$A = 3,49256$
$B = -0,03091$	$B = -0,03112$	$B = -0,02551$

TABELA 9 - Taxa de Crescimento Relativo - TCR - ($\text{g M.S. g}^{-1} \text{M.S. dia}^{-1}$) e Taxa de Assimilação Líquida - TAL - ($\text{g M.S. m}^{-2} \cdot \text{folha} \cdot \text{dia}^{-1}$), em cana-de-açúcar, estimadas através da manipulação da função logística ajustada em 10 épocas e três tratamentos.

Época (dap)	TCR ($\text{g M.S. g}^{-1} \text{m.s. dia}^{-1}$) $\times 10^3$			TAL ($\text{g M.S. m}^{-2} \cdot \text{folha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$)		
	N	T	V	N	T	V
90	20,58	20,43	19,43	4,92	5,01	4,73
120	18,52	18,62	17,46	5,37	5,33	4,98
150	15,43	15,83	14,57	5,04	5,20	5,10
180	11,57	12,23	11,04	4,76	4,81	4,94
210	7,71	8,44	7,50	4,03	4,15	4,21
240	4,62	5,23	4,63	2,85	3,04	3,04
270	2,56	2,99	2,65	1,79	1,96	1,94
300	1,35	1,62	1,45	1,03	1,16	1,14
330	0,69	0,85	0,77	0,57	0,65	0,64
360	0,35	0,44	0,40	0,31	0,35	0,35

TABELA 10 - Taxa de Acúmulo Relativo de Nitrogênio - TAR_N ($\text{gN} \cdot \text{gN}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$) na parte aérea e Taxa de Utilização Específica de Nitrogênio - TUE_N ($\text{g de M.S. g de N}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$), em cana-de-açúcar, estimadas através da manipulação da função logística ajustada, em 10 épocas e três tratamentos.

Época (dap)	TAR_N ($\text{gN} \cdot \text{gN}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$) $\times 10^3$			TUE_N ($\text{g M.S. gN}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$)		
	N	T	V	N	T	V
90	24,00	25,27	19,59	2,70	3,42	2,95
120	17,89	19,59	15,46	2,33	2,84	2,73
150	10,88	12,46	10,64	2,10	2,51	2,48
180	5,47	6,47	6,37	1,86	2,24	2,16
210	2,42	2,91	3,42	1,48	1,84	1,68
240	1,00	1,21	1,71	1,01	1,32	1,15
270	0,41	0,49	0,83	0,61	0,83	0,70
300	0,16	0,19	0,39	0,34	0,48	0,40
330	0,06	0,07	0,18	0,18	0,26	0,22
360	0,02	0,03	0,08	0,09	0,13	0,11

TABELA 11 - % açúcares solúveis totais (g glucose/100 g de M.S.) no colmo e folha + 3 de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	% AST - Colmo			% AST - Folha		
	N	T	V	N	T	V
90	3,65	2,54	2,77	3,56	3,80	3,44
120	2,03b	7,66a	5,50a	3,98	3,94	3,72
180	20,37b	27,09a	27,51a	2,41	2,50	2,14
240	36,96	39,06	36,96	3,84	3,94	4,03
300	34,86	35,03	34,44	4,44	4,04	4,45
360	32,08	33,60	32,76	3,04	3,48	3,42

a,b = diferença significativa entre tratamentos dentro das épocas
(Tukey, 5%)

F (tratamento) = 6,82**

F (época) = 704,76**

CV = 8,65%

F (tratamento) = 2,09 n.s.

F (época) = 229,56**

CV = 4,38%

TABELA 12 - % açúcares solúveis totais e % açúcares redutores (g glucose/100 g de M.S.) na bainha de cana-de-açúcar, em cinco épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	% Açúcares Solúveis Totais			% Açúcares Redutores		
	N	T	V	N	T	V
120	5,71b	7,07a	5,58b	5,74b	7,80a	6,21b
180	4,66a	4,72a	3,85b	4,16a	4,53a	3,60b
240	4,51a	4,64a	3,54b	1,96b	2,62a	1,75b
300	6,95a	6,76a	5,60b	3,55a	4,11a	2,98b
360	5,85	5,73	6,06	4,58	4,94	5,19

a,b = diferenças significativas entre tratamentos dentro das épocas
(Tukey, 5%)

F (tratamento) = 46,80**

F (época) = 150,95**

CV = 5,31%

TABELA 13- % de açúcares redutores (g glucose/100 g de M.S.) e POL% (g sacarose/100 ml de caldo) no colmo de cana-de-açúcar, em seis épocas e nos três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	% Açúcares Redutores			POL %		
	N	T	V	N	T	V
90	1,08a	0,41b	0,51b	N.D.	N.D.	N.D.
120	0,76b	6,46a	5,46b	0,95c	1,17b	1,91a
180	8,04b	10,65a	8,18b	6,30b	6,62b	7,07a
240	7,88a	7,20a	5,35b	11,16	10,56	11,28
300	7,98b	9,57a	8,36b	16,41	16,18	16,84
330	N.D.	N.D.	N.D.	18,33	18,56	18,45
360	9,78a	10,14a	8,64b	17,19	17,36	17,35

a,b = diferença significativa entre tratamentos dentro das épocas
(Tukey, 5%)

F (tratamento) = 25,97**

F (época) = 230,60**

CV = 12,12%

F (tratamento) = 8,21**

F (época) = 2411,90**

CV = 3,62%

TABELA 14- Nitrato (mg.m^{-2}) e açúcares solúveis totais (AST) por unidade de nitrogênio (g de glucose.g⁻¹ de N), acumulados no colmo de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	NO ₃ ⁻ acumulado - colmo			Açúcares Solúveis Totais / N		
	N	T	V	N	T	V
90	19,46a	9,41b	10,33b	1,65a	1,03b	1,09b
120	9,16a	6,02b	8,18a	1,84b	9,96a	7,56a
180	62,80a	18,82c	26,44b	27,69b	42,14a	44,06a
240	27,98a	15,48b	18,99b	65,39b	75,59a	73,39a
300	29,61a	17,28b	23,31b	76,53b	80,11a	82,14a
360	23,57a	15,75b	18,14b	74,47b	90,99a	86,46a

a,b,c = diferença significativa entre tratamentos dentro das épocas
(Tukey, 5%)

F (tratamento) = 535,48**

F (época) = 407,45**

CV = 8,30%

F (tratamento) = 50,38**

F (época) = 1562,26**

CV = 6,94%

TABELA 15 - Nitrogênio acumulado nas folhas e colmos (g.m^{-2}) de cana-de-açúcar, em sete épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	N acumulado - folhas			N acumulado - colmo		
	N	T	V	N	T	V
90	1,59a	1,14b	1,62a	1,31a	0,74b	1,23a
120	2,42a	1,52b	2,15a	3,71a	1,41c	2,49b
180	5,11a	3,35b	3,80b	6,55a	3,98c	5,06b
240	4,96a	3,34b	3,74b	7,72a	5,35c	6,62b
300	3,50	2,89	2,75	10,27a	5,80c	8,68b
360	2,97	2,80	2,96	10,35a	6,27c	8,30b

a,b,c = diferença significativa entre tratamentos dentro das épocas
(Tukey, 5%)

F (tratamento) = 20,87**

F (época) = 104,94**

CV = 11,80%

F (tratamento) = 387,10**

F (época) = 880,22**

CV = 6,27%

TABELA 16 - Atividade de redutase nitrato ($\mu\text{mol NO}_2^- \cdot \text{g}^{-1}$ de M.F.h⁻¹) na folha + 3 e concentração de nitrato ($\mu\text{g N-NO}_3^- \cdot \text{g}^{-1}$ de M.S.) no colmo de cana-de-açúcar, em dez épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	Atividade de RN			N - NO ₃ ⁻ - Colmo		
	N	T	V	N	T	V
90	N.D.	N.D.	N.D.	148,27a	122,95b	68,65c
120	4,55a	3,51b	4,11a	16,30	15,75	12,80
150	2,45a	1,11b	1,87a	N.D.	N.D.	N.D.
180	0,89a	0,55b	0,74a	40,00a	16,62b	18,65b
210	0,65	0,49	0,62	N.D.	N.D.	N.D.
240	0,59	0,52	0,57	12,27	9,10	8,97
270	1,43	1,30	1,34	N.D.	N.D.	N.D.
300	0,29	0,24	0,37	9,87	8,37	8,07
330	0,44	0,34	0,49	N.D.	N.D.	N.D.
360	N.D.	N.D.	N.D.	7,62	6,03	6,02

F (tratamento) = 7,40**

F (tratamento) = 86,74**

F (época) = 98,64**

F (época) = 867,37**

CV = 25,35%

CV = 16,35%

a,b,c = diferença significativa entre tratamentos dentro das épocas
(Tukey, 5%)

TABELA 17 - Concentração de nitrato ($\mu\text{g N-NO}_3^- \cdot \text{g}^{-1}$ de M.S.) na folha+3 e bainha de cana-de-açúcar, em seis épocas e três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	NO_3^- - Folha			NO_3^- - Bainha		
	N	T	V	N	T	V
90	5,70	4,02	4,25	N.D.	N.D.	N.D.
120	1,92	1,79	1,75	30,35a	5,60b	2,68c
180	traços	traços	traços	2,67	3,60	1,90
240	traços	traços	traços	2,55	3,17	1,90
300	traços	traços	traços	traços	traços	traços
360	traços	traços	traços	traços	traços	traços

a,b = diferença significativa entre tratamentos dentro das épocas
(Tukey, 5%)

F (tratamento) = 0,20 n.s.

F (época) = 270,05**

CV = 13,02%

F (tratamento) = 463,89**

F (época) = 348,27

CV = 15,75%

TABELA 18 - % de N na folha+3 e no colmo de cana-de-açúcar em seis épocas e nos três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	% N - Folha + 3			% N - Colmo		
	N	T	V	N	T	V
90	1,86b	1,97a	1,94a	1,00a	0,98a	0,94b
120	2,24a	1,97b	1,94b	0,66a	0,37b	0,38b
180	2,14	2,14	2,15	0,42a	0,33b	0,33b
240	2,13	2,05	2,11	0,34	0,29	0,30
300	1,83	1,76	1,77	0,34	0,27	0,29
360	1,72	1,74	1,75	0,35	0,24	0,27

a,b = diferença significativa entre os tratamentos dentro das épocas
(Tukey, 5%)

F (tratamento) = 8,81**

F (época) = 134,00**

CV = 2,67%

F (tratamento) = 70,16**

F (época) = 929,20**

CV = 6,91%

TABELA 19- % de N e % de proteínas solúveis (g/100 g M.S.) na bainha de cana-de-açúcar em cinco épocas, nos três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	% N - Bainha			% Proteínas Solúveis - Bainha		
	N	T	V	N	T	V
120	0,72a	0,53b	0,50b	3,20a	2,25b	2,22b
180	0,64a	0,53b	0,52b	2,53a	2,22b	2,30b
240	0,61a	0,50b	0,53b	2,36	2,19	2,26
300	0,53a	0,43b	0,45b	2,05	2,02	2,07
360	0,45	0,41	0,43	1,92	1,92	1,94

a,b = diferença significativa entre os tratamentos dentro das épocas (Tukey, 5%)

F (tratamento) = 60,30**

F (época) = 98,40**

CV = 6,30%

F (tratamento) = 12,30**

F (época) = 7,30**

CV = 4,50%

TABELA 20- % proteínas solúveis (g/100 g M.S.) e concentração de N- α NH₂ solúvel (μ g N/g M.S.) na folha + 3 de cana-de-açúcar, em seis épocas e nos três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	% Proteínas Solúveis			N- α NH ₂ Solúvel		
	N	T	V	N	T	V
90	6,70	6,85	6,78	196,72	205,87	196,70
120	6,91	7,25	7,04	841,80a	786,90a	640,50b
180	7,04	7,21	7,17	361,42	434,62	425,48
240	5,96	5,75	5,92	247,05	242,47	251,62
300	5,60	5,55	5,57	279,07	279,07	288,22
360	5,25	5,23	5,10	974,47b	1070,55a	846,37c

a,b,c = diferença significativa entre os tratamentos dentro das épocas (Tukey, 5%)

F (tratamento) = 0,14 n.s.

F (época) = 138,2**

CV = 5,65%

F (tratamento) = 9,77**

F (época) = 479,46**

CV = 10,37%

TABELA 21- Concentração de N- α NH₂ solúvel (μ g N/ g M.S.) no colmo e bainha de cana-de-açúcar, em seis épocas e nos três tratamentos. Média de quatro repetições.

Época (dap)	N- α NH ₂ Solúvel - Colmo			N- α NH ₂ Solúvel - Bainha		
	N	T	V	N	T	V
90	77,77	86,92	82,35	N.D.*	N.D.	N.D.
120	118,95 _b	137,25 _a	137,25 _a	420,90 _a	269,92 _c	333,97 _b
180	132,67	118,95	137,25	343,12	329,35	338,56
240	132,67	123,52	128,10	247,05	219,60	228,75
300	73,20	77,77	86,92	233,32	242,47	237,90
360	114,37	137,25	132,67	237,90	242,47	251,62

F (tratamento) = 6,35**

F (época) = 94,34**

CV = 7,90%

F (tratamento) = 17,04**

F (época) = 99,70**

CV = 6,94%

*N.D. = não determinado

TABELA 22 - Concentração de aminoácidos ($\mu\text{moles.g}^{-1}$ de M.S.), proteínas totais⁽¹⁾ e proteínas solúveis⁽²⁾ (mg.g^{-1} de M.S.), em colmo e bainha de cana-de-açúcar, aos 120 dias após o plantio, nos três tratamentos.

Aminoácido	Colmo			Bainha		
	N	T	V	N	T	V
Lisina	10,48	2,11	2,85	11,43	12,80	11,56
Histidina	3,08	2,44	2,44	3,30	2,50	2,46
Arginina	4,22	1,25	0,90	6,22	4,50	4,82
Aspártico	45,03	22,77	21,53	34,92	21,10	24,93
Glutâmico	72,62	41,84	35,96	31,37	27,60	27,50
Treonina	19,49	6,39	7,88	14,01	11,40	11,56
Serina	16,87	7,98	5,01	19,94	17,00	17,74
Total	171,79	84,78	76,17	121,19	96,90	100,57
NH ₃ ^(*)	65,71	31,75	32,97	58,42	35,70	32,21
NH ₃ - livre	traços	traços	traços	traços	traços	traços
Proteínas Solúveis	30,10	17,00	16,90	32,00	22,50	25,20
Proteínas Totais	41,30	23,00	24,20	44,30	33,70	33,10

(1) Proteínas solúveis extraídas com NaOH 0,1N, em temperatura ambiente.

(2) Proteínas totais estimadas pela relação %N x 6,25.

(*) Amônia resultante de NH₃ livre + NH₃ formada a partir da hidrólise de glutamina e asparagina.