USO DE ÁCIDO FOSFÓRICO OU SUPERFOSFATO TRIPLO COMO FONTE DE FÓSFORO PARA A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

CLAUDIMIR PEDRO PENATTI

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Antonio Roque Dechen

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

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Fevereiro - 1991

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

Penatti, Claudimir Pedro
P397u Uso de ácido fosfórico ou superfosfato triplo como fonte de fósforo para a cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba, 1991.
105p.

Diss. (Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Ácido fosfórico em cana-de-açúcar 2. Adubação fosfatada 3. Cana-de-açúcar - Adubação fosfatada - Efeito 4. Superfosfato triplo em cana-de-açúcar I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 633.61

USO DE ACIDO FOSFÓRICO OU SUPERFOSFATO TRIPLO COMO FONTE DE FÓSFORO PARA A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

CLAUDIMIR PEDRO PENATTI

Aprovado em: 01.04.1991

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Antonio Roque Dechen	ESALQ/USP
Prof. Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello	ESALQ/USP
Pesq. Cient. Dr. Heitor Cantarella	I.A.C.

Prof. Dr. Antonio Roque Dechen

Orientador

À minha querida esposa Renata e

queridas filhas Marcella e Roberta

DEDICO

Aos meus queridos pais Américo e Paulina

e irmãos João e Dimas

OFERECO

Ao Nosso Bom Deus

AGRADECO

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Antonio Roque Dechen pelo incentivo, apoio e orientação na realização deste trabalho.

- Ao Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndorfer e Engº Agrº Renato Chalita pelo incentivo e valiosas sugestões.

- À Copersucar pela oportunidade de aperfeiçoamento oferecida.

- Às Usinas Quatá, Maringá e Paredão e Destilaria Nova Andradina, nas pessoas dos seus responsáveis Engenheiros Agrônomos Armene José Conde, Sérgio Galvão Elias de Godoy Filho, Jomar Strabelli e José de Paula, pela cessão das áreas dos experimentos e preciosa colaboração prestada.

- Aos Técnicos Agrícolas da Copersucar: Paulo Sérgio Boni e José Anderson Forti pela dedicação na instalação, condução e colheita dos experimentos.

- Ao Prof. Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello e Engenheiros Agrônomos Neivaldo Tunes Caceres, Elias Melotto, Eloísa Marques Miotto Zotarelli e Harri José Lorenzi pela colaboração prestada.

- À Engenheira Agrônoma Sonia Maria Piedade pela orientação e realização das análises estatísticas.

- Às Secretárias Rosana Storer dos Santos e Irene de Lourdes Lopes Lima pela dedicação na digitação do trabalho.

- À todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMARIO

Página

RESUMO VIII

SUMMARY IX

1. INTRODUÇÃO 1

2. REVISÃO DE LITERATURA 3

2.1 Número de perfilhos e altura de plantas 3

2.2 Diagnose foliar 8

2.3 Sistema radicular 13

2.4 Produção de matéria seca e extrações de fósforo e cálcio 16

2.5 Produção de cana 21

2.6 Qualidade da matéria-prima 27

3. MATERIAL E MÉTODOS 34

3.1 Áreas experimentais 34

3.2 Variedades 42

3.3 Delineamento estatístico e tratamentos 42

3.4 Instalação 43

3.5 Avaliações realizadas e preparo das amostras colhidas 43

3.5.1 Número de perfilhos 43

3.5.2 Altura de plantas 44

3.5.3 Diagnose foliar 44

3.5.4 Produções de matéria seca de colmos e ponteiros 45

3.5.5 Sistema radicular 45

3.5.6 Teores de fósforo e cálcio no solo .. 46

3.5.7 Produção de cana 46

3.5.8 Qualidade da matéria-prima 47

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 48

4.1 Número de perfilhos 48

4.2 Altura de plantas 56

4.3 Diagnose foliar 58

4.4 Sistema radicular 63

4.5 Produção de matéria seca e extrações de fósforo e cálcio 67

4.6 Teores de fósforo e cálcio no solo 77

4.7 Produção de cana 81

4.8 Eficiência agronômica das fontes 85

4.9 Qualidade da matéria-prima 88

4.9.1 Pol % cana, açúcar teórico recuperável e produção de açúcar por hectare 88

4.9.2 Fósforo no caldo 90

5. CONCLUSÕES 95

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 96

USO DE ÁCIDO FOSFÓRICO OU SUPERFOSFATO TRIPLO COMO FONTE DE FÓSFORO PARA A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Autor: Claudimir Pedro Penatti

Orientador: Prof. Dr. Antonio Roque Dechen

RESUMO

Com o objetivo de se estudar os efeitos da aplicação do ácido fosfórico e do superfosfato triplo (fonte padrão) no número de perfilhos, altura de plantas, teores de P e Ca na folha +3, raiz, colmos e ponteiros, peso de raízes, produção de cana, concentração de P no caldo, pol % cana (PCC) e açúcar teórico recuperável (ATR), foram instalados 4 ensaios em solos Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa (2 ppm de P) com a variedade SP70-1143, Latossolo Vermelho Amarelo textura muito arenosa sobre arenosa (6 ppm de P) com a variedade SP71-1078, Podzólico Vermelho Amarelo textura muito arenosa sobre arenosa (21 ppm de P) com a variedade SP71-1406 e Areia Quartzosa (3 ppm de P) com a variedade SP70-1143.

O delineamento estatístico foi o de blocos ao acaso com 6 tratamentos e 5 repetições. Os tratamentos constaram de doses: 0, 60, 120 e 180 kg P_2O_5/ha, aplicados como superfosfato triplo, e 60 e 120 kg P_2O_5/ha como ácido fosfórico.

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- houve aumento significativo no número de perfilhos por metro e altura das plantas, em função das doses de fósforo aplicadas.

- a produção de cana apresentou aumento linear com as doses de P, ao nível de 1% de probabilidade, nos solos LV ar, LV mt ar/ar e AQ, e no solo PV mt ar/ar a probabilidade foi 10%.

- apenas no solo LV ar (SP70-1143) houve resposta crescente para a pol % cana, para ambas as fontes fosfatadas e aumento significativo na produção de açúcar por tonelada de cana (ATR), em função apenas das doses de ácido fosfórico.

- o teor de fósforo no caldo aumentou significativamente com as doses aplicadas nos solos LV ar e LV mt ar/ar, mas não o suficiente para se ter uma boa clarificação do caldo.

- o ácido fosfórico apresentou comportamento agronômico semelhante ao do superfosfato triplo, tornando-se uma alternativa agronomicamente viável para a adubação de cana-de-açúcar.

USE OF PHOSPHORIC ACID OR TRIPLE SUPERPHOSPHATE AS PHOSPHORUS SOURCE FOR SUGARCANE CROP

Author: Claudimir Pedro Penatti

Adviser: Prof. Dr. Antonio Roque Dechen

SUMMARY

Four field experiments were carried out in sandy soils with three sugarcane varieties, to study the effect of phosphoric acid applications on tillering, plant height, root weight, cane yield, P and Ca content on leaves, stalk and shoots apex, P and sugar content on cane juice.

A randomized complete block design with 5 replications and 6 P_2O_5 rates was adopted in all trials. The standard P source was triple superphosphate.

The results obtained allow to derive the following conclusions:

- the plant height and tillering increased proportionally with the P_2O_5 rates independently of the P source.

- the sugarcane yield increased linearly with the prates at the 1% level of probability on the yellow red latosol and sand and quartz sands soils, and at the 10% on the yellow red podzolic soil.

- the phosphoric acid presented the same agronomic behaviour as the standard P source, wihich may be considered a viable alternative to P fertilizer for sugarcane.

- the P content on the cane juice increased with the P_2O_5 rates on the yellow red latosol and sandy soils, but not sufficiently to promote a good juice clarification.

- increased response of pol % cane with both P sources, was observed only on the yellow red latosol soil.

1 INTRODUÇÃO

O ácido fosfórico é uma fonte solúvel de fósforo, obtido na indústria de fertilizantes a partir da reação do ácido sulfúrico e do concentrado fosfático, através de dois processos: "via úmida" (mais usado) e "via seca".

Diversos tipos de ácido fosfórico podem ser produzidos dependendo das concentrações de P_2O_5, água e da matéria-prima. Neste trabalho, utilizou-se o ácido ortofosfórico (H_3PO_4), apresentando a concentração de 52% de P_2O_5.

O ácido ortofosfórico é a principal fonte de fósforo utilizada atualmente pelas fábricas de adubos fluidos em formulações. Em 1986, o consumo de ácido fosfórico em 11 fábricas de adubos fluidos foi de 4.700 toneladas (CACERES & KORNDORFER, 1988). As principais vantagens de sua utilização podem ser: menor custo por unidade de P_2O_5, devido à alta concentração; facilidade de armazenamento e manuseio e flexibilidde nas formulações.

Segundo BITTENCOURT (1988), o ácido fosfórico é a matéria-prima mais indicada para produção de

adubos fluidos, porque, além de fornecer fósforo, atua como agente de solubilização da rocha fosfatada.

Nos Estados Unidos é comum o uso do ácido fosfórico puro em diversas culturas (ACHORN & BALAY, 1973). Este é muito utilizado em sistema de irrigação tipo gotejamento, uma vez que o abaixamento do pH causado pelo ácido não permite a precipitação de sais na tubulação e bicos, especialmente em zonas onde o teor de cálcio na água de irrigação é elevado. No solo, a movimentação do fósforo da zona de aplicação, através de irrigação por gotejamento, para zonas mais afastadas é maior quando aplicado na forma de ácido fosfórico comparado ao superfosfato triplo (O'NEILL et alii, 1979).

Em cana-de-açúcar, nas condições brasileiras, são poucos os trabalhos referentes ao comportamento agronômico do ácido fosfórico. Este trabalho foi realizado com o objetivo de se conhecer melhor os efeitos desta fonte fosfatada aplicada no sulco de plantio em comparação com o superfosfato triplo (fonte padrão), quanto ao número de perfilhos, altura de plantas, teores de P e Ca na folha +3, raiz, colmos e ponteiros, peso de raízes, produção de cana, concentração de P no caldo, pol % cana (PCC) e açúcar teórico recuperável (ATR).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Número de perfilhos e altura de plantas

Perfilhamento é uma fase pelo qual cada gema desenvolve-se em colmo primário, que por sua vez dá origem a colmos secundários, dos quais brotam colmos terciários, e assim sucessivamente, formando touceiras. O perfilhamento da cana-de-açúcar é influenciado por vários fatores: água, luz, temperatura, adubação, época de plantio, pragas, doenças, espaçamento e profundidade de plantio (BACCHI, 1983).

A deficiência de fósforo limita o perfilhamento, resultando em baixo "stand" da cultura da cana, reduzindo o diâmetro do colmo e provocando o encurtamento dos internódios (SILVA & CASAGRANDE, 1983).

Segundo HUSZ (1972), a deficiência de fósforo causa diminuição no número de perfilhos, diminui o crescimento, reduz o desenvolvimento dos colmos secundários e terciários, e promove um fechamento da entrelinha da cana mais tardiamente, podendo acarretar um aumento sensível da infestação de plantas daninhas.

Segundo KORNDORFER et alii (1989b), o fósforo promoveu estímulo significativo ao perfilhamento da cana-planta e efeito semelhante entre as fontes fosfatadas aplicadas em solo Podzólico Vermelho Amarelo, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Número de perfilhos/m de plantas de cana-de-açúcar em 5 épocas, em função das doses e fontes de fósforo.

Tratamento	kg P_2O_5/ha	Dias após o plantio				
		82	144	204	309	404
Testemunha	0	12,4	13,5	10,9	8,9	9,4
Superfosfato triplo	50	14,0	14,3	10,9	9,2	9,8
Superfosfato triplo	100	15,5	15,3	10,9	9,4	10,0
Superfosfato simples	100	14,8	15,0	10,9	9,4	10,1
Ácido fosfórico	100	14,8	15,0	10,7	9,4	9,9

Fonte: KORNDORFER et alii (1989b)

Do mesmo modo, PENATTI (1989)* e FERREIRA et alii (1989) obtiveram resultados semelhantes, aumento significativo no número de perfilhos/m de plantas de cana-de-açúcar, conforme a Tabela 2.

---

* PENATTI, C.P. Calibração de adubação fosfatada. COPERSUCAR, Piracicaba, 1989. (Relatório interno)

Tabela 2 - Número de perfilhos/m de plantas de cana-de-açúcar em 2 tipos de solos, em função das doses de superfosfato triplo.

kg P_2O_5/ha	LV ar	PV ar	LV ar	LV ar
0	14,0	9,2	9,3	14,3
60	15,4	9,7	10,4	23,4
120	15,7	11,0	10,9	25,6
180	16,0	10,5	11,8	26,4
240	-	11,0	11,2	27,6

Fonte: PENATTI (1989) e FERREIRA et alii (1989)

LV ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

PV ar: Podzólico Vermelho Amarelo textura arenosa

No mesmo trabalho, KORNDORFER et alii (1989b), realizando medições de altura de plantas, observaram valores semelhantes em função das fontes fosfatadas, porém diferentes da testemunha (Tabela 3).

Tabela 3 - Altura (cm) de plantas de cana-de-açúcar medidas em 4 diferentes épocas.

Tratamento	kg P_2O_5/ha	Dias após o plantio			
		144	204	309	404
Testemunha	0	120	153	183	261
Superfosfato triplo	50	123	152	184	263
Superfosfato triplo	100	127	159	191	274
Superfosfato simples	100	130	161	192	276
Ácido fosfórico	100	126	154	185	268

Fonte: KORNDORFER et alii (1989b)

Os estudos realizados por PRIMAVESI et alii (1988)*, sobre o perfil de 5 variedades de cana-de-açúcar, nos solos Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa (Lençóis Paulista-SP), Latossolo Vermelho Escuro (Araras-SP) e Latossolo Roxo (Sertãozinho-SP), apresentam na Tabela 4 o número de perfilhos.

---

* PRIMAVESI, O.M.A.S.P.R.B.; DEUBER, R; KONRDORFER, G.H.; IDE, B.Y. Perfil de variedades, cana-planta 1985/86. COPERSUCAR, Piracicaba. 1988. (Relatório interno)

Tabela 4 - Número de perfilhos/m avaliados em 3 tipos de solos e 5 diferentes variedades de cana-de-açúcar.

Variedade	Solo		
	LV ar	LE	LR
NA56-79	8,7	13,0	7,7
SP70-1143	9,7	13,0	9,7
SP71-799	9,7	12,5	8,2
SP71-6163	9,9	13,0	11,2
RB725828	10,3	13,5	10,0

Fonte: PRIMAVESI et alii (1988)

Lv ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

LE: Latossolo Vermelho Escuro

LR: Latossolo Roxo

As diferenças entre os locais foram resultantes basicamente da distribuição de chuvas, que nos dois primeiros locais foi bastante regular, ao passo que no terceiro local houve intenso déficit hídrico. Nesse mesmo trabalho, as avaliações de altura de plantas apresentaram curvas de crescimento iguais nos três locais, mas com períodos de crescimento diferentes. No solo LV ar, o crescimento mais intenso foi no período de junho a julho de 1986, já no LE de março a julho e no LR de junho a outubro (Tabela 5).

Tabela 5 - Altura (cm) de plantas medidas em 3 épocas após o plantio, em 5 diferentes variedades de cana-de-açúcar.

Solo	Meses	Variedade				
		NA56-79	SP70-1143	SP71-799	SP71-6163	RB725828
LV ar	6	45	41	34	33	35
	10	139	133	139	122	122
	14	238	209	255	216	225
LE	6	71	38	35	38	47
	10	118	81	88	70	90
	14	237	176	217	184	215
LR	6	22	23	18	18	23
	10	181	150	149	143	157
	14	305	231	272	238	263

Fonte: PRIMAVESI et alii (1988)

LV ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

LE: Latossolo Vermelho Escuro

LR: Latossolo Roxo

2.2 Diagnose foliar

GALLO et alii (1968), baseando-se nos resultados analíticos de amostras de folhas de duas variedades de cana-planta (CB41-76 e Co419) com 4 e 9 meses

de idade, observaram as faixas de concentrações de alguns nutrientes (Tabela 6).

Tabela 6 - Faixas de concentrações (%) de N, P, K, Ca e Mg em folhas de cana-de-açúcar amostradas em 2 épocas após o plantio.

Idade	N	P	K	Ca	Mg
4 meses	1,6-1,8	0,12-0,14	1,2-1,4	0,7-0,8	0,20-0,25
9 meses	1,6-1,8	0,12-0,14	1,4-1,6	0,4-0,5	0,15-0,20

Fonte: GALLO et alii (1968)

HUMBERT (1974), estudando o estado nutricional da cultura de cana-de-açúcar, mostrou que as faixas de concentrações nas folhas foram as apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Faixas de concentrações (%) N, P e K em folhas de cana-de-açúcar.

Classes de teores	N	P	K
Muito baixo	< 1,25	< 0,14	< 1,00
Baixo	1,25-1,50	0,14-0,18	1,00-1,25
Médio	1,50-1,75	0,18-0,22	1,25-1,75
Alto	1,75-2,00	0,22-0,26	1,75-2,00
Muito alto	> 2,00	> 0,26	> 2,00

Fonte: HUMBERT (1974)

MALAVOLTA et alii (1974) apresentaram como faixas de concentrações (%) foliares adequadas de N, P, K e Ca, considerando a porção mediana (excluindo a nervura central) das folhas +3 e +4, como sendo, respectivamente, de 2,00 a 2,50; 0,18 a 0,20; 1,00 a 1,25 e 0,75 a 1,00.

MARINHO & ALBUQUERQUE (1979), analisando a folha +3, sem a nervura central, consideraram como nível crítico o teor de 0,17% de P, correspondente à 95% de produção relativa. JÁ LIMA Fº et alii (1982) encontraram 0,30% de P na folha +3, incluindo a nervura central. KORNDORFER et alii (1989a), para a dose de 100 kg de P_2O_5/ha como superfosfato triplo, conseguiram 0,30% de P e 0,67% de Ca de concentração na folha +3, aos 4 meses de idade. Já de acordo com FERREIRA et alii (1989), a dose de 100 kg de P_2O_5/ha proporcionou a concentração de 0,23% de P e 0,32% de Ca na folha +3, aos 4 meses de idade.

HALAIS (1950), estudando folhas inteiras F+2, F+3, F+4 e F+5, obteve maiores concentrações de P e K, e menores de N nas folhas mais jovens, ao passo que comparando-se os nutrientes N, P e K na nervura, lâmina e folha inteira das folhas +3, os maiores teores foram obtidos na lâmina, exceto para K, onde os maiores teores foram na nervura.

Quanto a escolha da época de amostragem, experimentos têm mostrado que aos 3 meses é a melhor época para indicar a necessidade nutricional da cana-planta, com

tempo para reaplicação de fertilizantes se necessário, dependendo das chuvas. BOSSHART & HAGIHARA (1981) citam como épocas ideais 4 e 8-9 meses de idade da cana-planta.

GOMEZ-ALVAREZ (1971) estudou o efeito da hora em que era realizada a amostragem, nos resultados da análise foliar, das 6 às 14 h, encontrando variação não significativa dos teores de N, P e K no decorrer das horas.

ORLANDO Fº & HAAG (1976), estudando o estado nutricional de cana-planta e cana-soca com base na folha +3, cultivadas em 4 grandes grupos de solos da Região Centro-Sul, observaram que houve influência significativa nos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S, encontrando os teores (%) de P de 0,26 e 0,20 para o solo LR, 0,25 e 0,15 para o LE, 0,22 e 0,18 para a TE e 0,35 e 0,26 para o PVls.

ORLANDO Fº (1978), estudando o crescimento da variedade CB41-76 (produção de matéria seca), absorção de macronutrientes por colmos, folhas e "colmos + folhas" e a concentração de macronutrientes na folha +3, em 3 grandes grupos de solos do Estado de São Paulo (Latossolo Roxo; Latossolo Vermelho Escuro - orto e Podzólico Vermelho Amarelo variação Laras) em função da idade (4 a 16 meses), obteve teores de P e Ca na folha +3, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Teores (%) de P e Ca em folha +3 de cana-de-açúcar em 3 diferentes épocas em 3 tipos de solos.

Solo	6 meses		10 meses		12 meses	
	P	Ca	P	Ca	P	Ca
LR	0,15	0,69	0,17	0,62	0,20	0,57
LE	0,14	0,80	0,14	0,80	0,17	0,59
PVls	0,17	0,73	0,19	0,73	0,22	0,44

Fonte: ORLANDO Fº (1978)

LR: Latossolo Roxo

LE: Latossolo Vermelho Escuro

PVls: Podzólico Vermelho Amarelo variação laras

ORLANDO Fº et alii (1980), consideram os seguintes valores de P nas folhas da cana-de-açúcar como altos, médios e baixos, respectivamente: > 0,24%; 0,20 a 0,24% e < 0,20%.

Ensaios com doses crescentes de fósforo, conduzidos por PENATTI (1989)*, em solos apresentando baixos teores de fósforo (extraído pela resina), mostram as concentrações de P e Ca na folha +3, conforme a Tabela 9.

---

* PENATTI, C.P. Calibração de adubação fosfatada. COPERSUCAR, Piracicaba, 1989. (Relatório interno)

Tabela 9 - Concentrações (%) de P e Ca em folha +3 de cana-de-açúcar em 2 diferentes épocas em função das doses de superfosfato triplo.

kg P_2O_5/ha	4 meses		9 meses	
	P	Ca	P	Ca
0	0,09	0,22	0,10	0,30
60	0,11	0,23	0,12	0,34
120	0,11	0,21	0,13	0,35
180	0,12	0,21	0,14	0,37
240	0,13	0,21	0,14	0,36

Fonte: PENATTI (1989)

2.3 Sistema radicular

Estudos sobre distribuição do sistema radicular da cana, citados em DILLEWIJN (1952), mostraram três tipos básicos de raízes na cana-de-açúcar: raízes superficiais, ramificadas e absorventes; raízes de fixação, mais profundas, e raízes-cordão que podem atingir até 6 metros de profundidade. A proporção de cada tipo de raiz é dependente da variedade, características químicas e físicas do solo, e da umidade. Em média, 60% do volume do sistema radicular encontra-se até a 40 cm de profundidade.

IDE (1981)* observou que a variedade SP70-1143 apresentou uma relação de peso de matéria seca das raízes sobre peso de matéria seca da parte aérea até 2,5 vezes maior que as outras variedades estudadas (SP70-1284 e IAC 52/150).

KORNDORFER et alii (1989a), estudando a distribuição das raízes da cana-planta com 11 meses de idade, variedades SP70-1143, SP71-799, SP71-6163, NA56-79 e RB725828 em solo Latossolo Vermelho Amarelo, com teores de 4 ppm de P (extraído pela resina) e 0,37 meq de Ca/100 cm^3, verificaram que de 89 a 92% das raízes se situavam nos primeiros 30 cm. A relação peso de matéria seca de raízes sobre peso de matéria seca da parte aérea foi maior para a SP70-1143 (10,2%) e menor para a SP71-799 (4,2%). A primeira também apresentou a maior produção de matéria seca total (21,8 t/ha). Não foram observadas diferenças varietais quanto à distribuição de matéria seca radicular ao longo do perfil do solo. Os teores de nutrientes (P e Ca) e a quantidade de matéria seca das raízes são apresentados na Tabela 10.

---

* IDE, B.Y. Sistema radicular. COPERSUCAR, Piracicaba, 1981. (Relatório interno)

Tabela 10 - Teores de P e Ca e peso de matéria seca das raízes em 5 variedades de cana-de-açúcar.

Variedade	P %	Ca %	Matéria Seca (t/ha)
NA56-79	0,03	0,10	1,17
SP70-1143	0,03	0,15	1,57
SP71-799	0,03	0,11	0,91
SP71-6163	0,03	0,13	1,49
RB725828	0,03	0,11	1,19

Fonte: KORNDORFER et alii (1989a)

Média de 2 repetições

Neste mesmo estudo, ressaltaram que a maior concentração de raízes na camada superficial pode ser explicada em parte pelos baixos teores de Ca desse solo. Em um solo arenoso (Latossolo Vermelho Amarelo), SALATTA et alii (1986) também observaram maior percentagem de raízes na camada superficial. Trabalhando com calcário e gesso, MORELLI et alii (1987) sugerem que o crescimento de raízes em profundidade depende da disponibilidade de Ca.

2.4 Produção de matéria seca e extrações de fósforo e cálcio

A forma iônica $H_2PO_4^-$ é geralmente a principal absorvida pelas plantas.

O desenvolvimento do sistema radicular é de fundamental importância na absorção do elemento, praticamente todo o fósforo absorvido entra em contato com a raiz através do processo de difusão, que permite aos íons fosfato migrar da superfície da fase sólida do solo até a superfície das raízes. Existem diferenças entre as espécies vegetais em aproveitar o elemento do solo, principalmente devido ao sistema radicular desenvolver-se diferentemente em plantas de ciclo curto e ciclo longo (RAIJ, 1981).

A extração de alguns nutrientes, relatado por SILVA & CASAGRANDE (1983), decresce na seguinte ordem: K > N > Ca > Mg > P. Embora utilizem-se pesadas aplicações de fertilizantes fosfatados em cana-de-açúcar, a extração do fósforo é a menor entre os macronutrientes essenciais.

AYRES (1936), estudando a variação no teor de P e Ca da variedade H109 (Havaí), obteve variações na matéria seca dos colmos e folhas verdes, de acordo com a idade (Tabela 11).

Tabela 11 - Teores de P e Ca nos colmos e folhas verdes de cana-de-açúcar, amostrados em 7 diferentes épocas.

		Idade (meses)						
		2	4	6	8	10	12	14
Colmos	% P	0,85	0,37	0,22	0,15	0,14	0,14	0,14
	% Ca	0,46	0,16	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04
Folhas	% P	0,33	0,31	0,31	0,25	0,22	0,19	0,24
verdes	% Ca	0,36	0,26	0,26	0,25	0,20	0,16	0,16

Fonte: AYRES (1936)

Verificou também que no início do desenvolvimento da planta, a parte aérea é constituída basicamente de folhas verdes e que os teores dos elementos são maiores nesta parte, diminuindo com o decorrer da idade.

DILLEWIJN (1952) observou que a remoção de nutrientes pela cana-de-açúcar varia com as condições em que a cultura se desenvolve (solo, clima, adubação, idade e produção). Observou que houve uma absorção de 0,20 kg de P e 0,30 kg de Ca por tonelada de cana industrial, já na parte aérea, encontrou 0,34 kg de P e 1,63 kg de Ca por tonelada.

Estudando a absorção dos macronutrientes pela variedade Co419 em função da idade, cana-planta, CATANI et alii (1959) observaram que as concentrações de P e Ca foram maiores nas folhas no período entre o 6º ao 15º mês de

idade. Obtiveram 0,09 kg de P e 0,26 kg de Ca por tonelada de colmos, absorvidos por 4 touceiras de cana (folhas + colmos).

Em solos orgânicos da Flórida, pesquisando em 4 safras consecutivas as extrações de nutrientes por 4 variedades, ANDREIS (1975) encontrou as concentrações de 0,14 kg de P e 0,37 kg de Ca por tonelada de colmos industriais.

ORLANDO Fº & ZAMBELLO (1980a) citam que, dependendo do tipo de solo e variedade a exportação de fósforo em cana-de-açúcar pode variar de 12 a 36 kg de P_2O_5/100 t de colmos. ORLANDO Fº (1978) cita como extrações (kg/ha) de P e Ca, nas diferentes partes da planta aos 12 meses de idade, como as apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Extrações (kg/ha) de P e Ca pelos colmos, folhas e colmos + folhas de cana-de-açúcar aos 12 meses de idade.

Solo	Partes da planta	P	Ca
LR	Colmos	6,44	35,75
	Folhas	9,52	45,01
	Colmos + folhas	15,96	80,76
LE	Colmos	3,84	34,92
	Folhas	8,80	51.30
	Colmos + folhas	12,64	86,22
PVls	Colmos	11,75	39,39
	Folhas	12,64	41,98
	Colmos + folhas	24,39	81,37

Fonte: ORLANDO Fº (1978)

LR: Latossolo Roxo

LE: Latossolo Vermelho Escuro

PVls: Podzólico Vermelho Amarelo variação laras

No trabalho de KORNDORFER et alii (1989a), onde as variedades receberam o mesmo nível de adubação, as concentrações dos nutrientes P e Ca extraídos do solo Latossolo Vermelho Amarelo, apresentando 4 ppm de P e 0,37 meq de Ca/100 cm^3 de solo, são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Concentrações e extrações de P e Ca pelos colmos, pontas + folhas verdes, por 5 variedades de cana-de-açúcar aos 11 meses de idade.

Variedade	Colmos %		Pontas + Folhas Verdes %		Total extraído kg/ha	
	P	Ca	P	Ca	P	Ca
NA56-79	0,01	0,03	0,10	0,14	4,68	8,48
SP70-1143	0,01	0,03	0,10	0,16	5,47	10,49
SP71-799	0,01	0,02	0,12	0,14	6,30	8,68
SP71-6163	0,01	0,02	0,11	0,13	5,52	7,27
RB725828	0,01	0,02	0,11	0,12	5,36	7,21

Fonte: KORNDORFER et alii (1989a)

Em um outro trabalho, estudando fontes e doses de fósforo em solo Podzólico Vermelho Amarelo, KORNDORFER et alii (1989b) mostraram produções de matéria seca e quantidade de nutrientes extraída pela cana-planta (SP71-1406) aos 7 meses de idade, conforme a Tabela 14.

Tabela 14 - Peso de matéria seca e extrações de P e Ca pela parte aérea da variedade SP71-1406 aos 7 meses de idade.

Tratamentos	kg/ha	Matéria seca t/ha	P kg/ha	Ca kg/ha
Testemunha	0	19,7	10,3	38,9
Superfosfato triplo	50	21,4	11,1	41,6
Superfosfato triplo	100	22,3	14,4	45,3
Superfosfato simples	100	22,6	13,6	46,4
Ácido fosfórico	100	21,8	12,5	41,3

Fonte: KORNDORFER et alii (1989b)

FERREIRA et alii (1989), avaliando fontes de fósforo, observaram que as doses 0, 50, 100 e 150 kg de P_2O_5/ha proporcionaram à parte aérea da variedade SP71-1406 de 15 meses de idade extrair: 10,96; 14,86; 15,01 e 17,94 kg de P/ha, respectivamente.

2.5 Produção de cana

RAIJ (1984) lembra que em muitas regiões brasileiras o fósforo é o nutriente que usado na adubação proporciona maiores retornos na produção.

A calibração da adubação, através dos resultados das análises químicas dos solos, é a prática mais

utilizada nos ecossistemas agronômicos. Na cana-de-açúcar, dentre as práticas culturais, a aplicação de fósforo em cana-planta, que normalmente requer quantidades elevadas de fertilizantes fosfatados, é a que mostra geralmente maiores incrementos em produção agrícola, quando o solo apresenta níveis insatisfatórios desse nutriente. A deficiência desse elemento no solo chega até impedir o estabelecimento da cultura (RODELLA & MARTINS, 1988).

A análise de solo, muito utilizada para o emprego da recomendação de adubação, tem se mostrado bastante útil na avaliação das exigências em fósforo pela cultura da cana-de-açúcar. BITTENCOURT et alii (1978), empregando o H_2SO_4 0,5 N como extrator, verificaram que houve resposta expressivo à doses superiores a 150 kg P_2O_5/ha, quando os solos apresentavam teores abaixo de 10 ppm de P. Em solos com teores acima de 25 ppm de P (extração H_2SO_4 0,05 N), ZAMBELLO JR. et alii (1981) observaram pequenas respostas ou mesmo nenhuma reação. Alguns autores, como ALVAREZ & PACHECO (1963) e ESPIRONELO & OLIVEIRA (1972) observaram que a resposta da cana-de-açúcar à adubação fosfatada geralmente é mais frequente nos solos em que se cultiva pela primeira vez.

Trabalhando com diferentes fontes de fósforo, ALBUQUERQUE et alii (1980) conseguiram aumentos de produção de cana em solos com teores acima de 9 ppm de fósforo, e em solos com teores abaixo de 5 ppm a aplicação de 150 kg de

P_2O_5/ha, na forma solúvel, proporcionou resposta significativa ao nível de 1% de probabilidade nas 6 áreas experimentais instaladas nos solos de tabuleiro. O fósforo foi extraído pelo extrator H_2SO_4 0,05 N.

SERRA (1973) concluiu que a produção de cana não foi afetada pelas doses de superfosfato simples aplicadas no sulco de plantio, nos 3 tipos de solos estudados, Podzólico Vermelho Amarelo apresentando o teor de 4 ppm de P, Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada, ambos com 16 ppm de P (extração H_2SO_4 0,05 N).

Comparando as fontes: superfosfato triplo e multifosfato magnesiano (contém: N, P_2O_5, K_2O, Ca, Mg, S e Zn) e doses de fósforo no plantio da variedade SP71-1406, solo Latossolo Vermelho Escuro apresentando 8 ppm de P (extraído pela resina) e 2,91 meq de Ca/100 cm^3, FERREIRA et alii (1989) concluíram que a produção de cana apresentou resposta quadrática em relação às doses, verificando que 120 kg de P_2O_5/ha foi suficiente para atingir altos níveis de produção e estímulo ao perfilhamento. As fontes fosfatadas apresentaram resultados semelhantes.

A eficiência agronômica de 4 fontes fosfatadas para cana-planta (SP71-1406), em solo Podzólico Vermelho Amarelo apresentando 7 ppm de P (extraído pela resina) e 0,82 meq de Ca/100 cm^3, de acordo com KORNDORFER et alii (1989b), diminuiu na seguinte ordem: superfosfato simples > superfosfato triplo > ácido fosfórico > ácido fosfórico +

rocha fosfática. Nesse mesmo trabalho foi observado que a cana respondeu até a dose máxima (100 kg de P_2O_5/ha) e que houve uma correlação linear do número de colmos por metro com a produção de cana. LIMA et alii (1982) também mostraram diferenças entre as fontes e doses de fósforo, sendo que as fontes solúveis proporcionaram maiores aumentos para produção de cana até a dose de 150 kg de P_2O_5/ha.

ORLANDO Fº & ZAMBELLO JR. (1980a), testando doses de superfosfato simples nos solos Latossolo Roxo distrófico (LRd), Latossolo Vermelho Escuro (LE), Latossolo Vermelho Amarelo álico (LVa) e Podzólico Vermelho Amarelo variação Laras (PVls), que apresentavam 14, 3, 6 e 29 ppm de P (extração H_2SO_4 0,05 N) respectivamente, encontraram produções em toneladas de cana por hectare para a variedade Co740, como mostra a Tabela 15.

Tabela 15 - Produções de colmos (t/ha) pela variedade Co740 em 4 tipos de solos em função das doses de fósforo.

N	P_2O_5	K_2O	LRd	LE	LVa	PVls
	kg/ha					
0	0	0	74	96	133	74
180	0	180	97	115	156	96
180	60	180	101	125	152	95
180	120	180	104	135	165	94
180	180	180	105	131	165	94
180	240	180	105	134	152	96
180	S*	180	121	159	180	102

Fonte: ORLANDO Fº & ZAMBELLO JR. (1980a)

LRd: Latossolo Roxo distrófico (S* = 2.300 kg P_2O_5/ha)

LE: Latossolo Vermelho Escuro (S* = 2.000 kg P_2O_5/ha)

LVa: Latos. Verm. Amar. text. are. (S* = 1.000 kg P_2O_5/ha)

PVls: Podzól. Verm. Amar. var. laras (S* = 700 kg P_2O_5/ha)

Fonte: N - sulfato de amônio e K_2O - cloreto de potássio

PENATTI (1989)*, baseando-se em resultados de ensaios, observou aumentos significativos de produção de cana (Tabela 16) com a aplicação de doses crescentes de fósforo como superfosfato triplo, em solos apresentando

---

* PENATTI, C.P. Calibração de adubação fosfatada. COPERSUCAR, Piracicaba, 1989. (Relatório interno)

teores baixos e muito baixos de fósforo (extraído pela resina).

Tabela 16 - Produções de colmos (t/ha) de cana-de-açúcar em 2 tipos de solos em função das doses de superfosfato triplo.

N	P_2O_5	K_2O	PV ar (14 ppm P)	LV ar (8 ppm P)	LV ar (5 ppm P)
	kg/ha				
70	0	140	89	85	49
70	60	140	87	99	79
70	120	140	99	114	85
70	180	140	102	115	88
70	240	140	100	116	96

Fonte: PENATTI (1989)

Pv ar: Podzólico Vermelho Amarelo textura arenosa

LV ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

Segundo dados obtidos em estudo de calibração de adubação pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC-ESPIRONELO, 1985) e pela Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo Ltda. (COPERSUCAR, 1988a), de acordo com as classes de fertilidade do solo, recomendam a adubação fosfatada para cana-planta, conforme a Tabela 17.

Tabela 17 - Classes de teores de fósforo no solo e recomendação de adubação fosfatada para a cana-planta.

Classes de teores	P resina (ppm)	Doses de P_2O_5 (kg/ha)
Muito baixa	0 - 6	120
Baixa	7 - 15	100
Média	16 - 40	80
Alta	>40	60

Fonte: COPERSUCAR (1988a) e ESPIRONELO (1985)

2.6 Qualidade da matéria-prima

A qualidade tecnológica da cana-de-açúcar como matéria-prima depende da interação de vários fatores, tais como: variedade, tipo de solo, ciclo da cultura, adubação e condições climáticas.

O fósforo tem papel importante na formação de sacarose quando o composto glucose-1-fosfato junta-se com a frutose para formar a sacarose (ALEXANDER, 1973).

Segundo FERNANDES (1986), a cana-de-açúcar como matéria-prima para a indústria é constituída pelos colmos maduros e estes de caldo e fibra (sólidos insolúveis em água). O caldo é uma mistura de água e sólidos solúveis que são formados pelos açúcares e não açúcares (Figura 1).

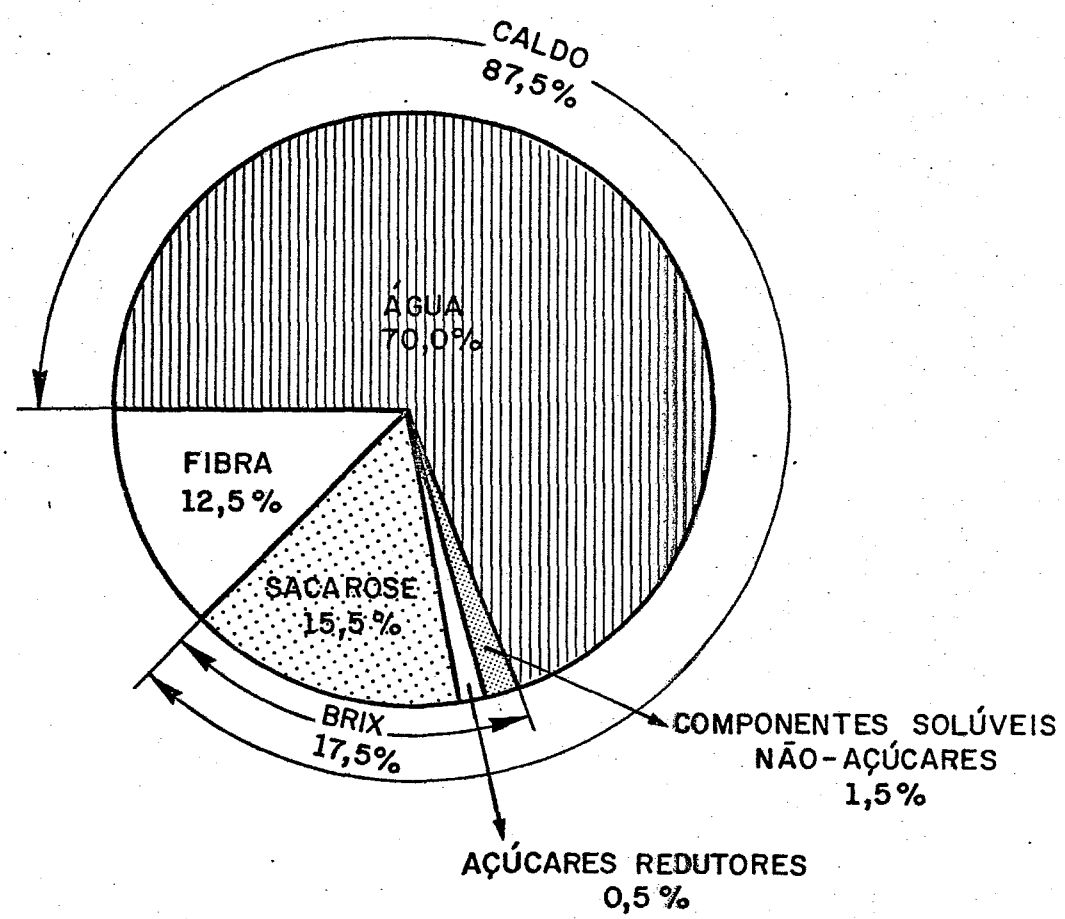

Figura 1 - Composição tecnológica do colmo da cana-de-açúcar madura, limpa e sadia (FERNANDES, 1986).

O caldo de cana contém muitas impurezas formadas por compostos solúveis, coloidais e insolúveis, que devem ser removidas tanto quanto possível. O processo de clarificação do caldo remove estas impurezas (bagacinho, argila, clorofila, etc.), consistindo basicamente na coagulação ou floculação do caldo através da adição de produtos químicos e aquecimento.

O fósforo presente no caldo ou aquele adicionado na indústria tem efeito positivo na clarificação. Praticamente todo o fósforo contido no caldo está na forma inorgânica e sua quantidade na clarificação é determinante para o rendimento da mesma, pois afeta diretamente a formação dos fosfatos de cálcio, que ao precipitarem, arrastam as impurezas na decantação. De acordo com DELGADO et alii (1973), o P_2O_5 influi na qualidade do açúcar produzido, na sua estabilidade de cor durante o armazenamento e possibilita uma melhor eficiência no processo de refinação do açúcar.

Baseando-se em vários estudos, SILVA JR. (1976) estabeleceu como teor mínimo 200 a 300 mg de P_2O_5/l de caldo para que haja uma boa clarificação. JÁ DELGADO et alii (1973) sugerem valores entre 250 a 350 mg de P_2O_5/l de caldo.

Segundo a COPERSUCAR (1988b), deve-se ter um teor mínimo de 200 mg de P_2O_5/l de caldo para que haja uma boa clarificação do caldo e quando for inferior, deve-se

proceder a uma complementação através da adição de um fosfato solúvel ao caldo em processo.

MARINHO & OLIVEIRA (1980) verificaram que a aplicação de fósforo ao solo aumentou o teor do elemento no caldo de cana. Ressaltaram também que a adição deste na clarificação na indústria é mais viável economicamente, desde que não exista efeito na produtividade de cana. Houve uma correlação positiva entre o teor de P nativo do solo e o P_2O_5 do caldo. Caldos obtidos de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solos com teores de P nativo abaixo de 8 ppm apresentaram teores de P_2O_5 muito baixos (média de 102 mg/l de caldo), mesmo nos tratamentos com doses mais elevadas de fósforo (225 kg P_2O_5/ha). Porém, nos demais solos foram suficientes para elevar as produções de açúcar/ha.

MARINHO et alii (1976) constataram que o uso de doses acima de 100 kg P_2O_5/ha diminuíram a produção de cana, pol % cana e pureza, principalmente nas soqueiras e em solos não deficientes do nutriente. Em solos que apresentam deficiência em fósforo houve efeito positivo na pol % cana e na pureza para doses baixas e médias do nutriente (50 e 120 kg P_2O_5/ha).

Em vários experimentos com doses variando entre zero e 200 kg de P_2O_5/ha, CHWAN-CHAU (1976) concluiu que não houve efeito significativo da adubação fosfatada na qualidade industrial dos colmos de cana.

INNES (1960) verificou, nas condições da Jamaica, que o fósforo teve efeito variado na qualidade tecnológica do caldo extraído. Notou que para cada 22,7 kg de P_2O_5 aplicados no solo poderia haver uma redução na faixa de 0,02 a 0,06% na quantidade de sacarose dos colmos de cana-de-açúcar.

Estudando diferentes doses de fósforo, ORLANDO Fº & ZAMBELLO JR. (1980b) não obtiveram efeito na pol % cana. Neste mesmo trabalho, dos 4 tipos de solos (TE, PVls, LRd e LVa) estudados, apenas nos solos PVls e LVa, os teores de fósforo no caldo aumentaram com a aplicação de doses crescentes do superfosfato triplo.

SILVA et alii (1976), estudando o efeito da adubação na variedade IAC52/150 não encontraram respostas quanto à produtividade dos colmos e no acúmulo de sacarose. Já HUMBERT (1955) obteve aumentos significativos para produção de cana e teor de sacarose com aplicação de superfosfato. Da mesma maneira, LIMA et alii (1982) encontraram aumentos na pol % cana e no teor de fósforo do caldo em função da adubação fosfatada, mas não atingindo o teor adequado para boa clarificação, ficando os teores abaixo de 85 ppm.

GUIMARÃES & SILVA (1976), avaliando um grupo de 15 variedades de cana, concluíram que estas são fatores importantes a se considerar na clarificação do caldo, com

relação ao fósforo presente. O teor de fósforo inorgânico obtido variou entre 87 e 263 mg P_2O_5/l de caldo.

SERRA (1973), estudando o efeito de doses crescentes de superfosfato simples (0, 50, 100, 150 e 200 kg de P_2O_5/ha), nas características agro-industriais da variedade CB41-76, em três tipos de solos, verificou que, exceto no Latossolo Roxo, o fósforo não afetou a qualidade da matéria-prima nos demais solos (Podzólico Vermelho Amarelo variação Piracicaba e Terra Roxa Estruturada). O teor de fósforo inorgânico e total no caldo de cana aumentou apenas no solo Latossolo Roxo (média 200 ppm). Concluiu também que a aplicação de formas prontamente solúveis como adubos fosfatados, apresenta condições de produzir os melhores resultados quanto à elevação do teor de fósforo no caldo.

HARTT (1958) constatou que 83% das variações do teor do fósforo na planta são devidas à variação desse elemento no solo. Acrescentou também neste mesmo estudo de absorção, que o suprimento do fósforo solúvel é de fundamental importância para a absorção da planta, assim como as concentrações dos nutrientes nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio disponíveis no solo. HONIG (1969) relata existir correlação positiva entre o teor de fósforo no caldo da cana com a quantidade do mesmo no solo.

Analisando o caldo durante o ciclo da variedade CB41-76, SERRA et alii (1972) observaram que o

teor de fósforo total apresentou tendência crescente até o mês de setembro, com resultados variando de 77 a 164 mg de P_2O_5/l de caldo. Outras duas variedades variaram de 67 a 151 mg/l.

PRIMAVESI et alii (1988)*, trabalhando com 5 variedades de cana-de-açúcar, encontraram as concentrações de fósforo no caldo, conforme a Tabela 18.

Tabela 18 - Concentrações de fósforo no caldo (ppm) de 5 variedades de cana-de-açúcar cultivadas em 3 tipos de solos.

Variedade	LV ar	LE	LR	
	Novembro	Setembro	Setembro	Outubro
NA56-79	54	72	190	60
SP70-1143	30	95	220	95
SP71-799	54	68	225	100
SP71-6163	54	90	220	120
RB725828	60	68	200	80

Fonte: PRIMAVESI et alii (1988)

Lv ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

LE: Latossolo Vermelho Escuro

LR: Latossolo Roxo

---

* PRIMAVESI, O.M.A.S.P.R.B.; DEUBER, R.; KORNDORFER, G.H.; IDE, B.Y. Perfil de variedades, cana-planta 1985/86. COPERSUCAR, Piracicaba, 1988. (Relatório interno)

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Áreas experimentais

Os ensaios foram conduzidos em quatro regiões: Usina Maringá (Araraquara-SP) em solo do tipo Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa (LV ar); Usina Quatá (Quatá-SP) em Latossolo Vermelho Amarelo textura muito arenosa sobre arenosa (LV mt ar/ar); Usina Paredão (Oriente-SP) em Podzólico Vermelho Amarelo textura muito arenosa sobre arenosa (PV mt ar/ar) e; Destilaria Nova Andradina (Nova Andradina-MS) em um solo Areia Quartzosa (AQ). Os solos foram classificados pela Equipe Técnica de Pedologia do Centro de Tecnologia Copersucar.

A recomendação de calagem foi baseada no método descrito por ESPIRONELO (1985). As amostras de solos foram retiradas durante as instalações dos ensaios, portanto após à aplicação do calcário.

Os resultados das análises químicas e texturais dos solos apresentavam teores baixos de fósforo, exceto no solo PV mt ar/ar onde o teor foi médio, possibilitando prever-se um efeito positivo da adubação

fosfatada (Tabela 19). O extrator de fósforo foi a resina trocadora de íons.

Tabela 19 - Características químicas e texturais dos solos das áreas experimentais.

LV ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

Profund. (cm)	pH H_2O	M.O. %	P ppm	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	H^+	Al^{+++}	S	CTC	V %	Areia total	Limo	Argila
				meq/100 cm^3									%	
0-25	5,3	2,45	2	0,08	0,39	0,26	2,35	0,45	0,73	3,53	21	76	3	21
25-50	5,5	2,16	1	0,05	0,58	0,40	2,42	0,35	1,03	3,80	27	77	3	20

LV mt ar/ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura muito arenosa sobre arenosa

0-25	4,9	0,90	6	0,09	0,46	0,26	1,64	0,64	0,81	3,09	26	81	4	15
25-50	4,5	0,85	3	0,06	0,31	0,19	1,54	1,06	0,56	3,16	18	74	6	20

PV mt ar/ar: Podzálico Vermelho Amarelo textura muito arenosa sobre arenosa

0-25	6,1	1,93	21	0,16	1,02	0,58	1,13	0,05	1,76	2,94	60	91	4	5
25-50	6,0	1,41	22	0,12	0,83	0,51	1,30	0,06	1,46	2,82	52	90	4	6

AQ: Areia Quartzosa

0-25	6,1	2,45	3	0,05	0,64	0,61	1,25	0,14	1,30	2,69	48	89	2	9
25-50	5,6	1,93	2	0,02	0,02	0,05	1,27	0,45	0,10	1,82	5	88	2	9

A Tabela 20 apresenta o organograma das áreas experimentais.

Tabela 20 - Organograma dos experimentos.

Usina/ Destilaria	Variedade	Solo	Data instalação	Data colheita
Maringá	SP70-1143	LV ar	08/05/86	27/07/87
Quatá	SP71-1078	LV mt ar/ar	24/04/86	08/07/87
Paredão	SP71-1406	PV mt ar/ar	06/04/86	07/10/87
N.Andradina	SP70-1143	AQ	23/05/86	13/08/87

LV ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

LV mt ar/ar: Latos. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

PV mt ar/ar: Podz. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

AQ: Areia Quartzosa

Com a coleta dos dados climáticos de cada região, realizou-se o balanço hídrico, utilizando-se o método de THORNTHWAITE & MATHER (1955), visualizado nas Figuras 2, 3, 4 e 5. Este método consiste em contabilizar a água no sistema solo-atmosfera, considerando uma vegetação padrão (grama baixa). Originalmente, o método é de precisão mensal, entretanto, adaptou-se o sistema para decendial, possibilitando detectar períodos secos em meses que a chuva é concentrada.

O período de desenvolvimento da cana-de-açúcar nas áreas experimentais, pode ser considerado normal em relação à precipitação pluviométrica. Nos solos LV ar, LV mt ar/ar e PV mt ar/ar, obteve-se aproximadamente a média de

1.500 mm de chuva para cada um dos anos de 1986 e 1987. No solo AQ a média foi inferior, aproximadamente 1.350 mm.

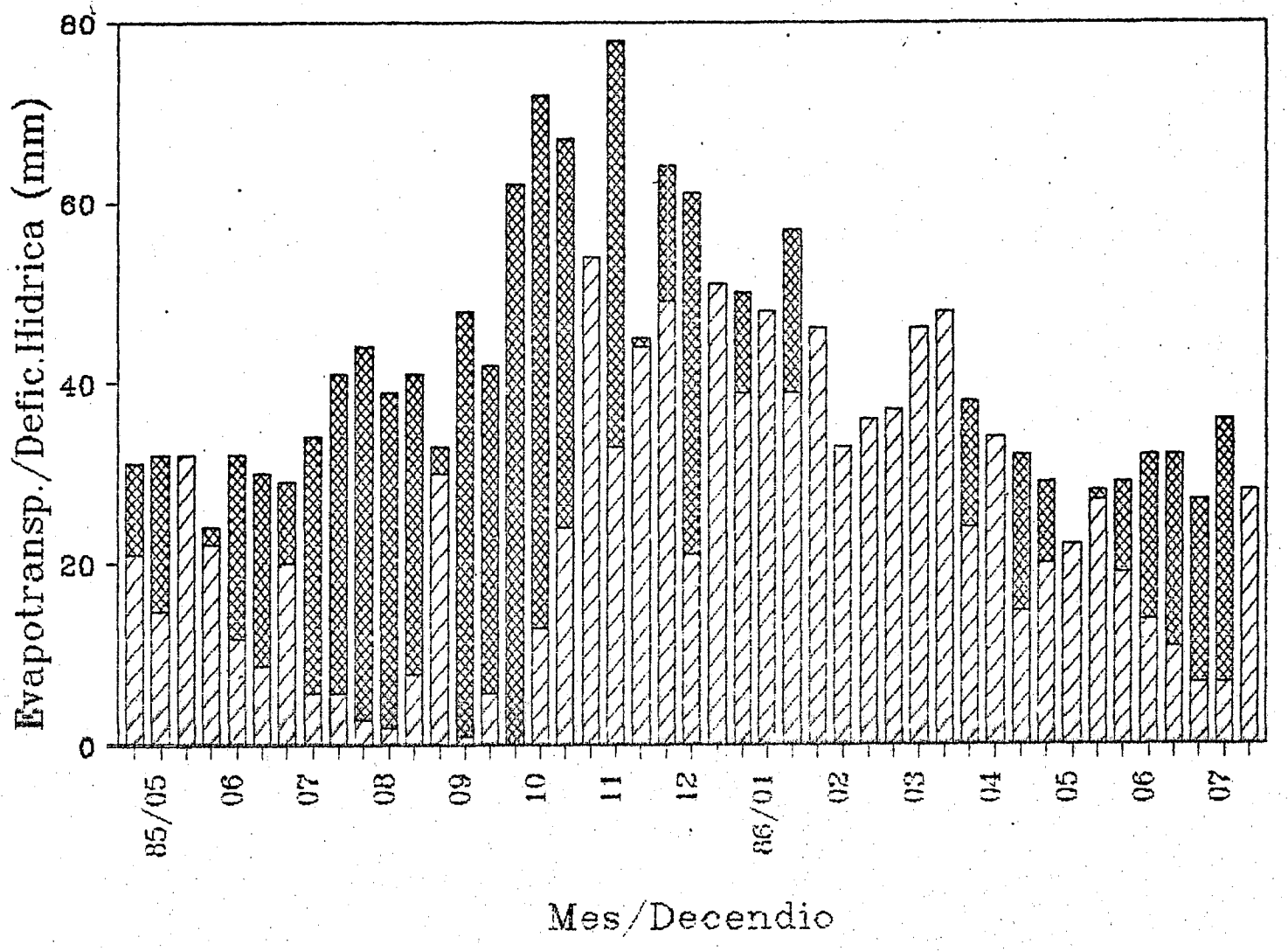

Figura 2 - Balanço hídrico decendial do período de maio de 1985 à julho de 1986 da Usina Maringá.

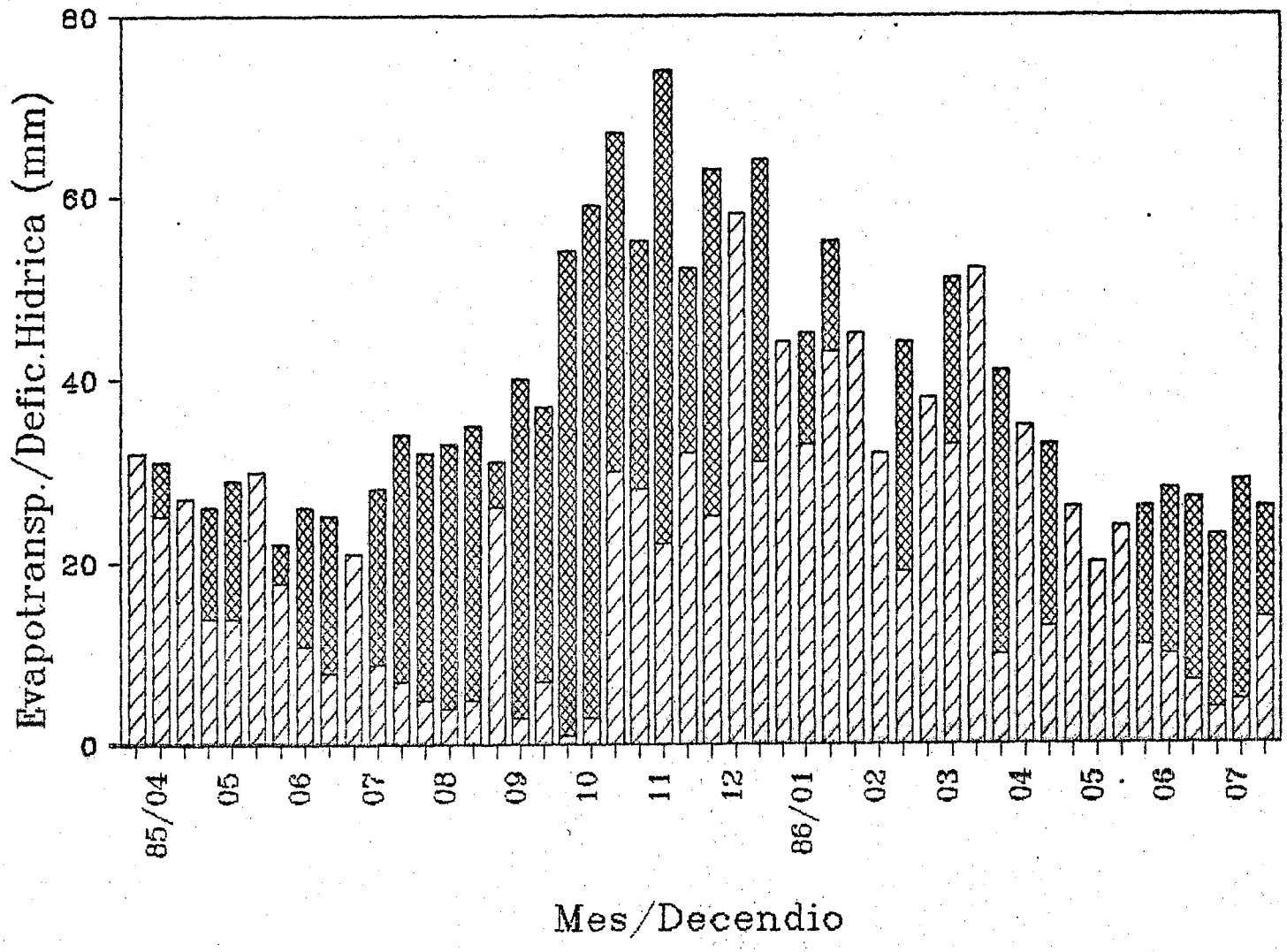

Figura 3 - Balanço hídrico decendial do período de abril de 1985 à julho de 1986 da Usina Quatá.

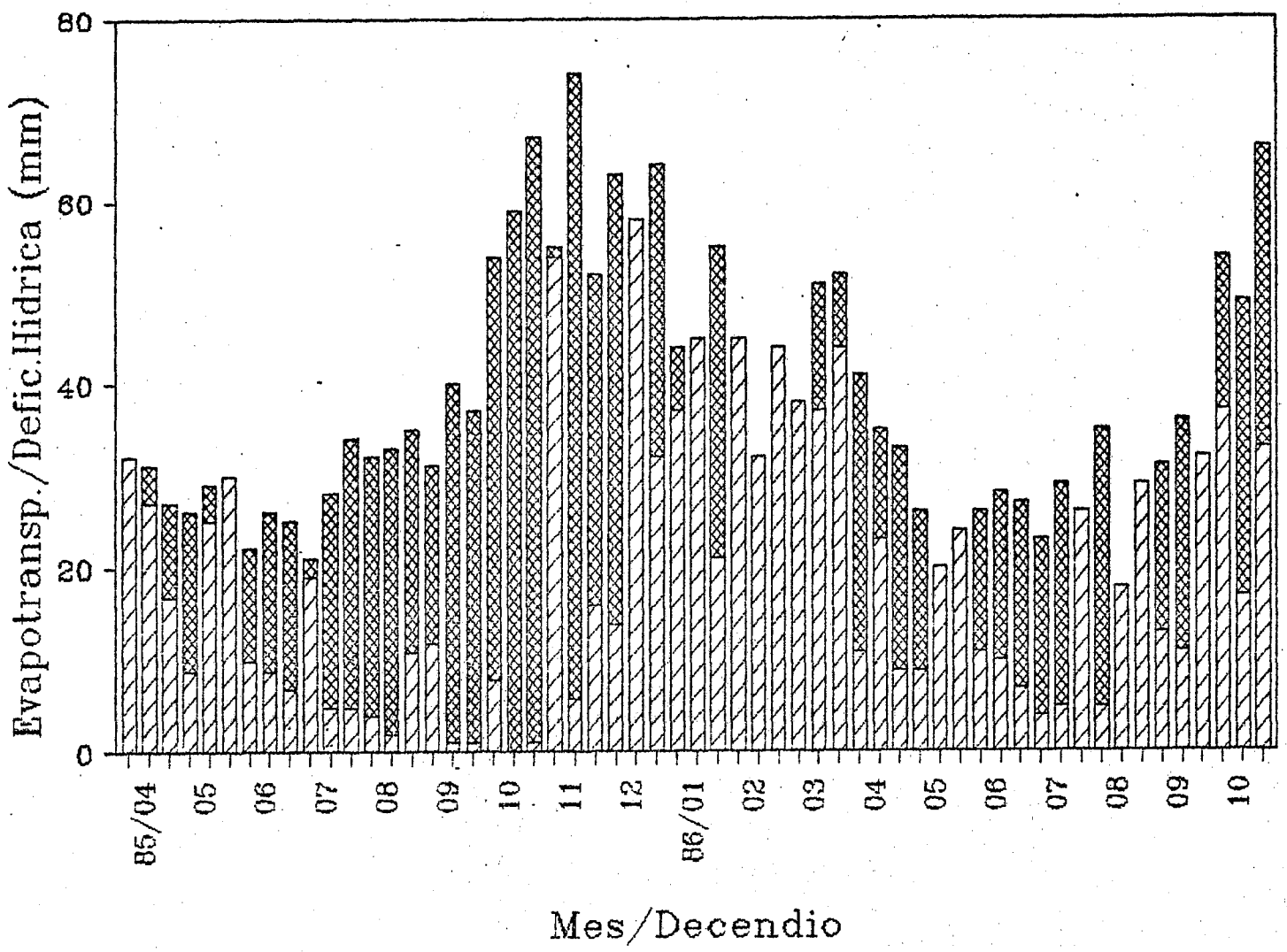

Figura 4 - Balanço hídrico decendial do período de abril de 1985 à outubro de 1986 da Usina Paredão.

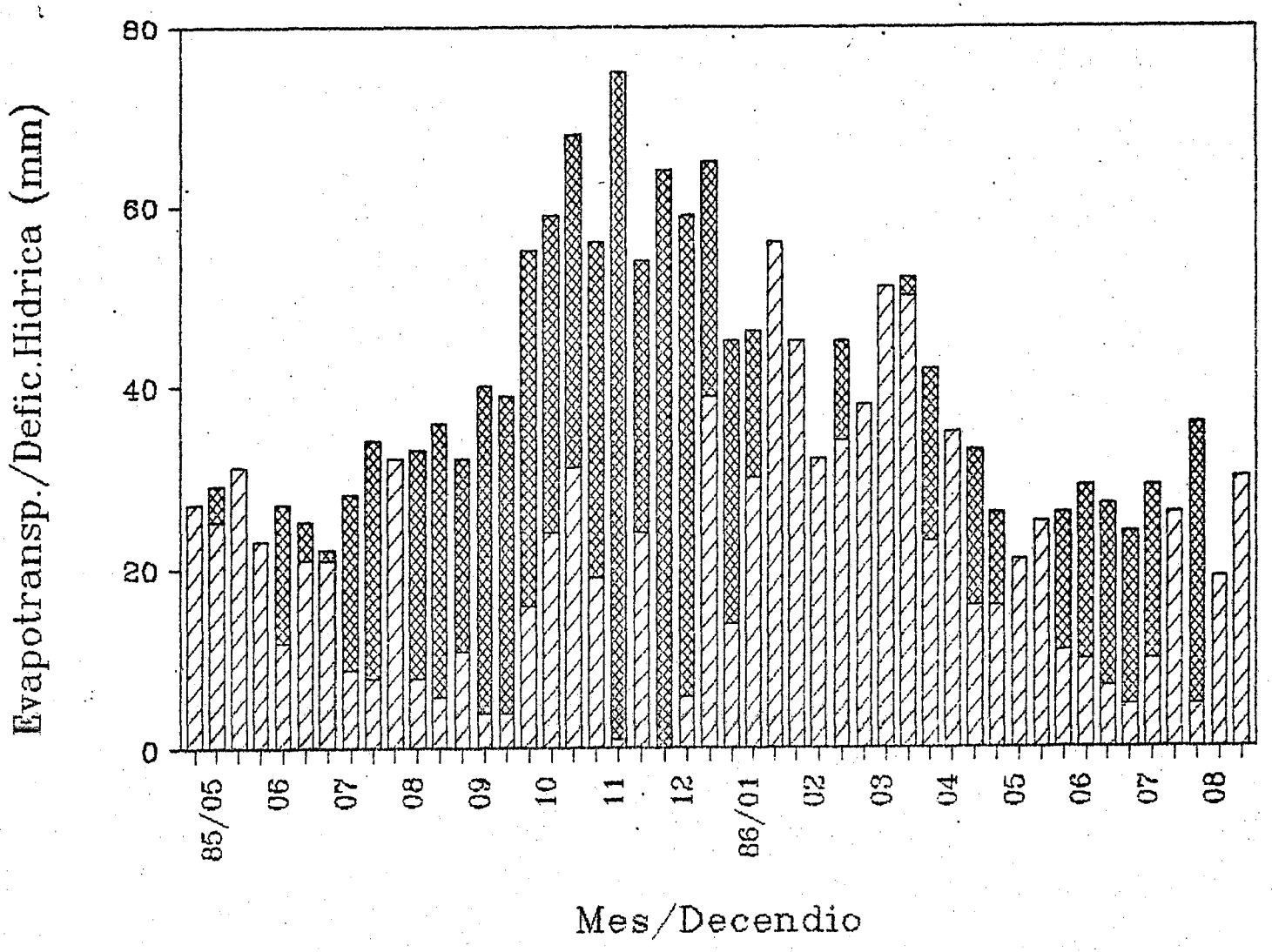

Figura 5 - Balanço hídrico decendial do período de maio de 1985 à agosto de 1986 da Destilaria Nova Andradina.

3.2 Variedades

Utilizou-se variedades obtidas na própria Usina, provenientes de talhões sob controle fitossanitário de doenças.

3.3 Delineamento estatístico e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com 6 tratamentos e 5 repetições, aplicando-se a análise de variância e comparando-se as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey. Como os tratamentos foram doses de fertilizantes (tratamentos quantitativos), calculou-se as equações de regressão para avaliar os resultados obtidos durante a condução e na colheita dos ensaios, considerando o grau de significância até 10% de probabilidade para o teste F.

Os tratamentos foram: zero, 60, 120 e 180 kg P_2O_5/ha como superfosfato triplo (padrão) e 60 e 120 kg P_2O_5/ha como ácido fosfórico (52% P_2O_5). Cada parcela constou de 10 linhas de cana por 10 m de comprimento e espaçadas de 1,40 m. Para a colheita, utilizou-se as 6 linhas centrais.

3.4 Instalação

Os fertilizantes fosfatados foram aplicados manualmente no fundo do sulco de plantio. Diluiu-se o ácido fosfórico em água para homogeneização da aplicação. A adubação nitrogenada e potássica, à base de 100 e 150 kg/ha de N e K_2O, respectivamente, foi realizada aos 45 dias após o plantio, aproximadamente a 20 cm de profundidade, lateralmente às linhas de cana e coberta manualmente com enxada.

As mudas de cana foram selecionadas, utilizando-se toletes com 3 gemas sadias, plantando-se 15 gemas/m. Antes do fechamento do sulco, aplicou-se o inseticida heptacloro 40% CE (2 l/ha) para o controle de pragas do solo.

3.5 Avaliações realizadas e preparo das amostras colhidas

3.5.1 Número de perfilhos

A contagem do número de perfilhos foi realizada no início, meio e final do ciclo da cultura, inclusive na colheita, pela facilidade da avaliação com a cana queimada, utilizando-se as 3 linhas centrais de cada parcela.

3.5.2 Altura de plantas

Os colmos avaliados foram marcados aleatoriamente nas 5 linhas centrais de cada parcela, com o uso de fita plástica vermelha. As 5 plantas foram medidas sempre da última lígula inteiramente visível até a superfície do solo. Os colmos escolhidos eram primários, localizados aproximadamente a 3 m do início de cada parcela.

3.5.3 Diagnose foliar

A folha + 3 é identificada como sendo aquela a partir da primeira lígula inteiramente visível (GALLO et alii, 1968).

A amostragem de folhas +3 ocorreu em 3 épocas, coletando-se 20 folhas por parcela, no período da manhã. Utilizou-se para análise química apenas o terço médio da lâmina, com a nervura central. O material coletado foi colocado a secar em estufa a 65°C até peso constante, e em seguida moído e enviado ao laboratório da COPERSUCAR para análise dos teores de de P e Ca, segundo método de SARRUGE & HAAG (1974).

3.5.4 Produções de matéria seca de colmos e de ponteiros

Cerca de 12 meses após o plantio foram coletados 1,10 m de cana de uma das linhas centrais de cada parcela. No solo LV mt ar/ar coletou-se de duas linhas. O ponteiro (palmito + folhas verdes) foi cuidadosamente separado do colmo e pesado para obtenção do peso de material fresco. Após a pesagem foram passados separadamente, colmos e ponteiros, em desintegrador tipo "forrageira" e depois de bem homogeneizados, tomou-se 300 g de cada um para determinar a umidade, secando-se em estufa a 65°C até obter-se peso constante; procedeu-se então à moagem e envio ao laboratório. Foram determinados os teores de P e Ca segundo o método de SARRUGE & HAAG (1974) e calculou-se a quantidade de nutrientes extraídos (kg/ha).

3.5.5 Sistema radicular

Após a colheita da cana, fez-se a avaliação do sistema radicular utilizando-se o método de SALATA et alii (1986), com algumas modificações. Devido ao trabalho ser muito difícil e demorado, optou-se pela escavação de trincheiras sob a linha de cana, considerando um volume de solo de 0,12 m^3, sendo 0,60 m de comprimento na linha por 0,50 m de largura e 0,40 m de profundidade. O solo retirado

foi peneirado, as raízes separadas e posteriormente lavadas em água corrente, pesadas e depois secas em estufa a 65°C até peso constante, em seguida moídas, e uma amostra enviada ao laboratório para determinação dos nutrientes P e Ca. O método foi adotado apenas para os solos LV ar e LV mt ar/ar, sendo que nos dois outros solos procedeu-se ao arranquio de uma touceira por parcela.

3.5.6 Teores de fósforo e cálcio no solo

Com trado, retirou-se 15 subamostras de solo na linha de cana de cada parcela, na profundidade de 0-30 cm, após a colheita. As amostras foram secadas, peneiradas e determinados os teores de P e Ca segundo método de RAIJ & ZULLO (1977).

3.5.7 Produção de cana

A produção da cana foi obtida colhendo-se as 6 linhas centrais de cada parcela. Os colmos foram despontados, exceto no solo LV mt ar/ar, onde pesou-se o conjunto colmos + ponteiros.

3.5.8 Qualidade da matéria-prima

Antes de se proceder a queima do canavial, coletou-se 10 colmos seguidos no sulco central de cada parcela, para a análise tecnológica da matéria-prima, determinando-se a: pol % cana, brix, pureza, fibra (segundo FERNANDES, 1986) e teor de fósforo no caldo (segundo SARRUGE & HAAG, 1974). Calculou-se o açúcar teórico recuperável e a produção de açúcar em toneladas por hectare.

A extração do caldo foi feita usando-se o método da prensa citado por FERNANDES (1986), a partir de 500 g de colmos desintegrados. O bagaço foi submetido a duas pesagens: a primeira após a prensagem e a segunda após secagem em estufa a 110°C durante 24 horas. Para a análise do P no caldo, retirou-se uma alíquota do caldo. No solo A0 não foi possível realizar a análise tecnológica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Número de perfilhos

A quantidade de colmos por área é avaliada, normalmente, por meio da contagem dos perfilhos emitidos em um determinado comprimento de linha. Sendo uma gramínea a cana-de-açúcar emite um número grande de perfilhos no início do ciclo, como os encontrados neste trabalho e os citados por FERREIRA et alii (1989), KORNDORFER et alii (1989b) e PRIMAVESI et alii (1988)*. Com o crescimento dos perfilhos primários e secundários, uma parte dos perfilhos que nascem mais tarde, morrem em decorrência do fechamento da linha pelos mais desenvolvidos, até que se alcance um equilíbrio.

O número de perfilhos avaliados em três épocas diferentes foi máximo no período entre 4 a 6 meses após o plantio, sendo que ocorreu a estabilização do "stand" do canavial aproximadamente aos 11 meses. As pequenas variações entre as quatro áreas foram atribuídas as épocas

---

* PRIMAVESI, O.M.S.D.P.R.B.; DEUBER, R.; KORNDORFER, G.H.; IDE, B.Y. Perfil de variedades, cana-planta 1985/86. COPERSUCAR, Piracicaba, 1988. (Relatório técnico)

de plantio terem sido de abril e maio e também devido ao fator varietal (Figuras 6 e 7). Pode-se verificar que as diferenças obtidas foram apenas em relação a testemunha, sendo os resultados semelhantes para as fontes fosfatadas.

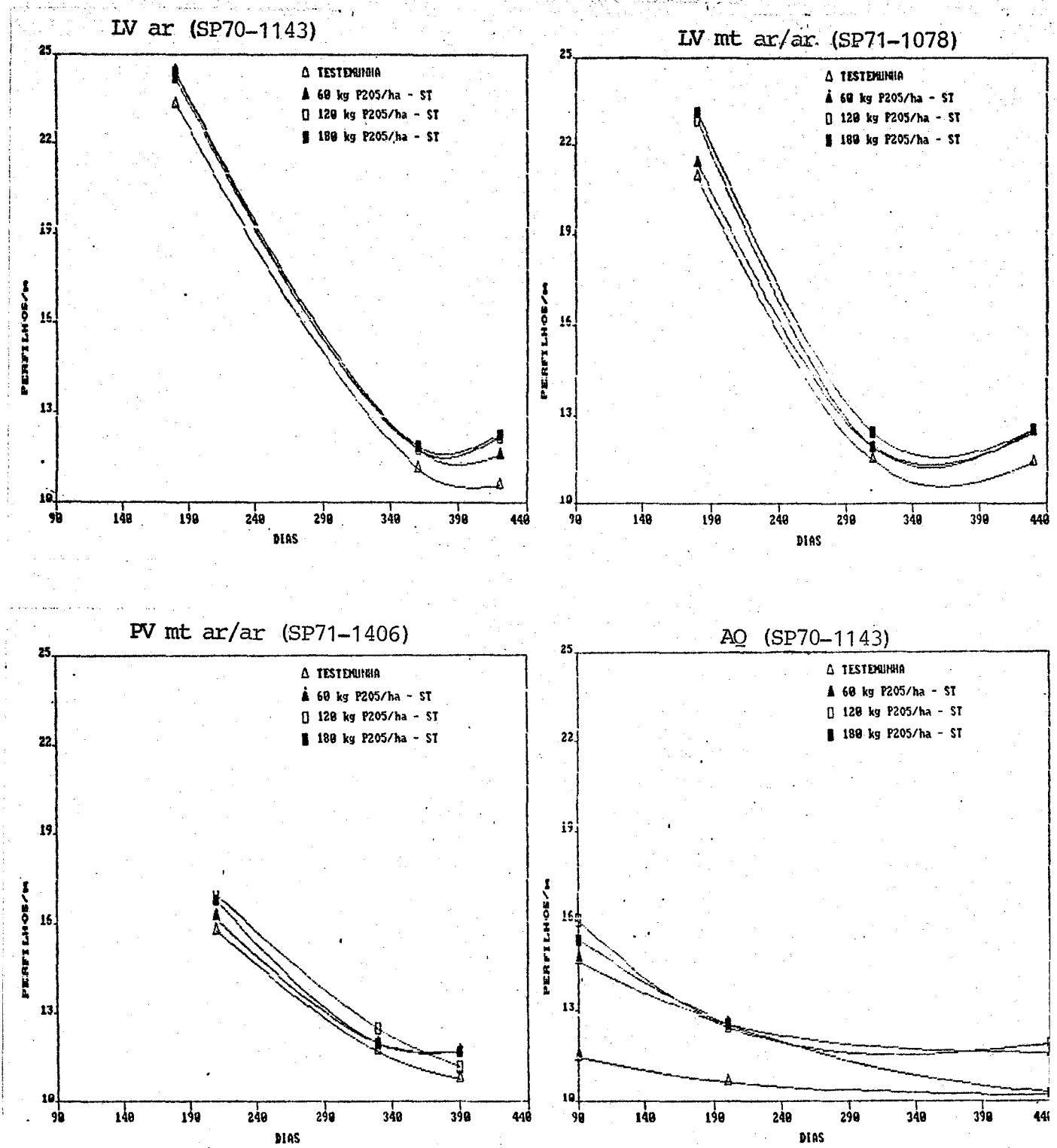

Figura 6 - Número de perfilhos de cana-de-açúcar/m avaliados em 3 diferentes épocas, em função das doses crescentes de superfosfato triplo.

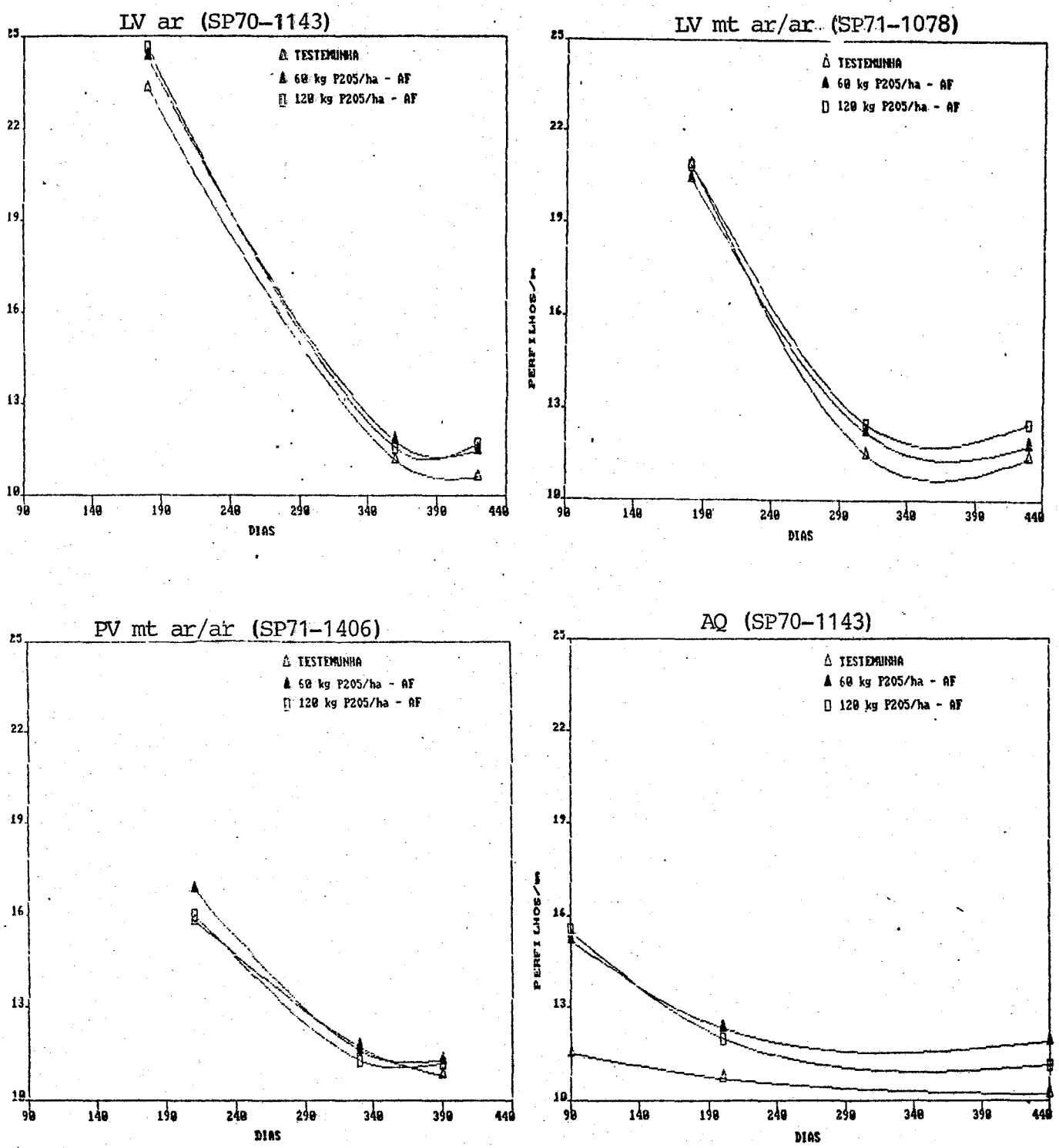

Figura 7 - Número de perfilhos de cana-de-açúcar/m avaliados em 3 diferentes épocas, em função das doses crescentes de ácido fosfórico.

A análise de regressão indicou que o número de perfilhos na colheita variou linearmente com significância ao nível de 1% e 5% de probabilidade em função das doses de superfosfato triplo e ácido fosfórico, respectivamente nos solos LV ar e LV mt ar/ar. Na AQ a regressão foi quadrática, com significância de 5% para as doses de superfosfato triplo e linear a 10% para o ácido fosfórico. No solo PV mt ar/ar não ocorreram diferenças significativas entre as fontes e doses de fósforo (Tabelas 21 e 22).

Tabela 21 - Número de perfilhos/m das variedades de cana-de-açúcar obtidos na colheita em função das doses de superfosfato triplo (ST) e ácido fosfórico (AF).

kg P_2O_5/ha	SP70-1143 LV ar	SP71-1078 LV mt ar/ar	SP71-1406 PV mt ar/ar	SP70-1143 AQ
0	10,7	11,4	10,9	10,2
60 ST	11,6	12,5	11,6	11,6
120 ST	12,2	12,6	11,2	11,9
180 ST	12,3	12,6	11,6	11,3
60 AF	11,5	11,8	11,3	11,9
120 AF	11,8	12,5	11,2	11,1

LV ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

LV mt ar/ar: Latos. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

PV mt ar/ar: Podz. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

AQ: Areia Quartzosa

Tabela 22 - Equações representativas e coeficientes de determinação do número de perfilhos/m das variedades de cana-de-açúcar obtidos na colheita.

Variedade	Superfosfato triplo		Ácido fosfórico	
	Equação	r^2	Equação	r^2
SP70-1143	$y = 10,8400 + 0,00950x$	0,91	$y = 10,7433 + 0,00917x$	0,94
SP71-1078	$y = 11,7100 + 0,00600x$	0,64	$y = 11,3533 + 0,00900x$	0,99
SP70-1143	$y = 10,2100 + 0,03000x - 0,00013x^2$	0,99	$y = 10,2833 + 0,00783x$	0,91

O fósforo estimulou o perfilhamento da cana, concordando com os resultados citados por PENATTI (1989)*, FERREIRA et alii (1989) e KORNDORFER et alii (1989b).

As pequenas diferenças no número de perfilhos por metro encontradas na época da colheita tornam-se altamente significativas quando expressas em número de perfilhos por hectare, consequentemente, tendo-se uma maior produção de cana. Exceto no solo PV mt ar/ar, onde os tratamentos com fósforo diferiram apenas da testemunha, houve correlação significativa entre o número de perfilhos e a produção em t cana/ha (Figura 8). Resultados semelhantes foram obtidos por KORNDORFER et alii (1989b).

---

* PENATTI, C.P. Calibração de adubação fosfatada. COPERSUCAR, Piracicaba, 1989. (Relatório interno)

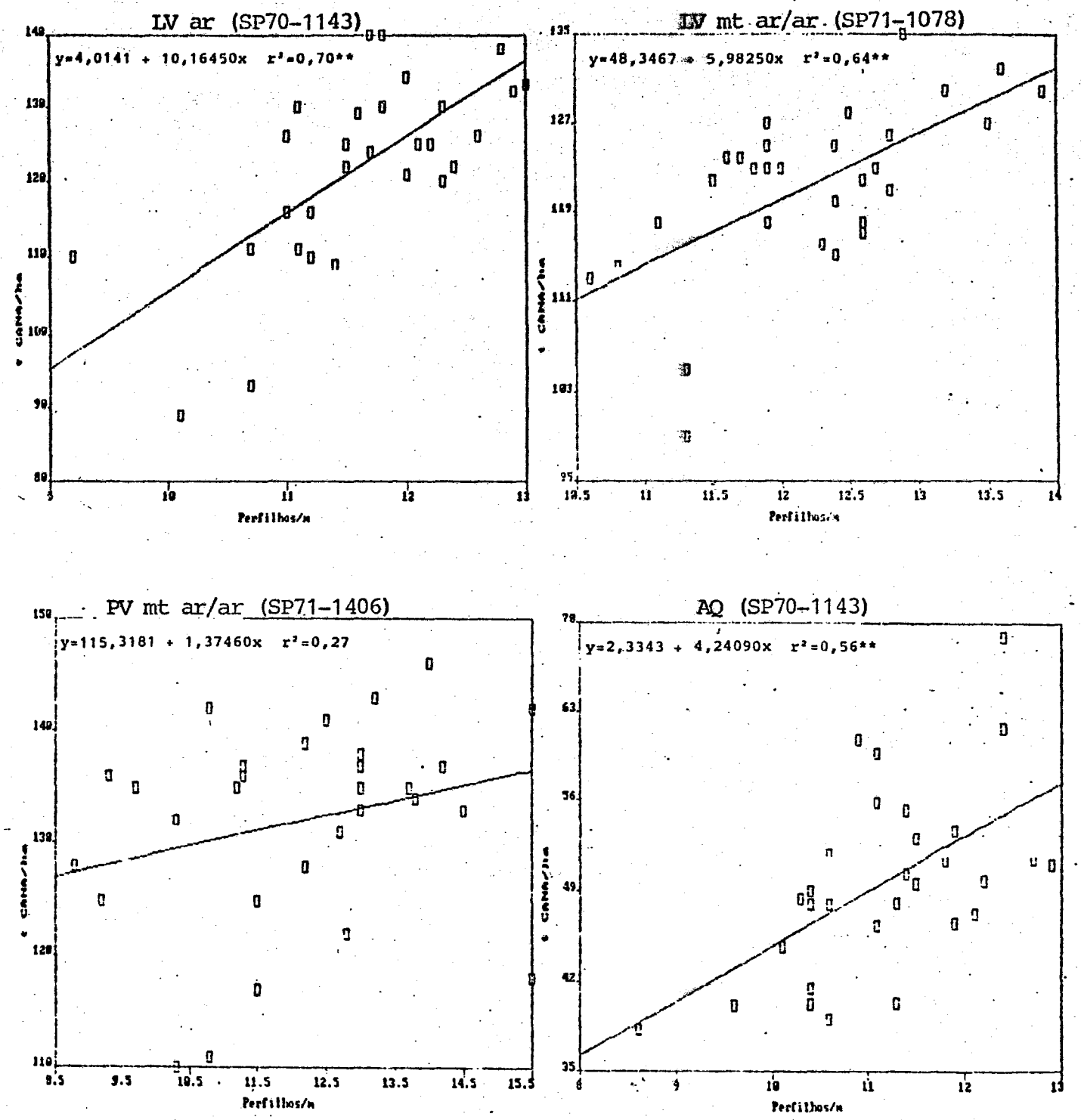

Figura 8 - Correlação entre o número de perfilhos/m e produção de cana na colheita, em função das fontes e doses de fósforo.

4.2 Altura de plantas

A altura das plantas, avaliada em diferentes épocas, mostrou o efeito das doses de fósforo quando relacionadas à testemunha. Observou-se que as fontes não diferiram entre si (Tabela 23). O crescimento em altura não deve ser considerado isoladamente, mas em conjunto com o crescimento ou acúmulo de matéria fresca e seca. De qualquer forma, já oferece uma boa base para a avaliação do comportamento varietal e o estudo em questão.

No trabalho de PRIMAVESI et alii (1989), foi verificado que o crescimento das variedades estudadas intensificou-se após o período mais quente e chuvoso, correspondendo ao período entre março a julho, junho a julho e junho a outubro, respectivamente nos diferentes locais de estudo. Pela Tabela 23, pode-se notar que nos solos LV mt ar/ar (SP71-1078) e PV mt ar/ar (SP71-1406) houve crescimento no período (novembro a março) preconizado como de maior desenvolvimento da cultura, não concordando com os resultados obtidos por PRIMAVESI et alii (1988)*, bem como os citados por KORNDORFER et alii (1989b).

---

* PRIMAVESI, O.M.A.S.P.R.B.; DEUBER, R.; KORNDORFER, G.H.; IDE, B.Y. Perfil de variedades, cana-planta 1985/86. COPERSUCAR, Piracicaba, 1988. (Relatório interno)

Tabela 23 - Altura (cm) de plantas de cana-de-açúcar medidas em meses após o plantio (média de 5 plantas por parcela), em função das doses de superfosfato triplo (ST) e ácido fosfórico (AF).

kg P_2O_5/ha	SP70-1143 (LV ar)		SP71-1078 (LV mt ar/ar)			SP71-1406 (PV mt ar/ar)			SP70-1143 (AQ)	
	6	8	6	8	10	6	9	11	6	8
0	33	137	41	127	211	59	171	226	89	127
60 ST	39	156	43	140	213	65	175	236	105	143
120 ST	36	156	45	145	217	63	174	234	111	153
180 ST	42	165	50	149	217	66	181	238	109	150
60 AF	37	148	39	134	210	63	174	238	101	141
120 AF	41	157	44	137	217	66	176	236	107	147

Os resultados das alturas das plantas no solo LV ar (SP70-1143) apresentaram regressões lineares com doses de P, para ambas as fontes fosfatadas; também no solo LV mt ar/ar (SP71-1078), exceto na primeira amostragem, para o ácido fosfórico e na terceira, para ambas as fontes, adaptou-se também regressão linear. No solo PV mt ar/ar (SP71-1406), apenas para o tratamento com o superfosfato triplo o efeito foi linear para as três épocas de medições. Na AQ (SP70-1143) houve efeito significativo para as épocas e as fontes (Tabela 24).

Tabela 24 - Equações representativas e coeficientes de determinação da altura de plantas de cana-de-açúcar em diferentes épocas após o plantio, com doses de P.

Variedade	Meses	Superfosfato triplo		Ácido fosfórico	
		Equação	r^2	Equação	r^2
SP70-1143	6	y = 0,3374 + 0,00041x	0,67	y = 0,3273 + 0,00070x	0,99
	8	y = 1,4070 + 0,00143x	0,84	y = 1,3690 + 0,00172x	0,99
SP71-1078	6	y = 40,1800 + 0,04967x	0,97		
	8	y = 129,9600 + 0,11600x	0,92	y = 126,2333 + 0,16500x	0,96
	10				
SP71-1406	6	y = 60,3600 + 0,03267x	0,69	y = 58,4000 + 0,05667x	0,91
	9				
	11	y = 228,7600 + 0,05433x	0,66	y = 229,5000 + 0,07833x	0,43
SP70-1143	6	y = 93,7000 + 0,10833x	0,71	y = 90,3333 + 0,14667x	0,95
	8	y = 131,1600 + 0,13433x	0,78	y = 128,0333 + 0,17167x	0,96

4.3 Diagnose foliar

Os teores de fósforo e cálcio na folha +3 apresentaram oscilações durante o ciclo, sendo os maiores valores encontrados aproximadamente aos 6 meses de idade (Tabelas 25, 26, 27 e 28), ocorrendo um decréscimo ou estabilização nos meses seguintes. Fato semelhante foi observado por ORLANDO Fo (1978), onde os teores de fósforo decresceram até o 8º mês, seguido de elevação e uma estabilização nos meses finais do ciclo. Já para o cálcio, os maiores valores foram encontrados em amostras de folhas coletadas aos 6 meses no solo arenoso (PV1s).

A análise de variância mostrou que os teores de fósforo e cálcio não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos estudados. Estes valores são semelhantes aos citados por PENATTI (1989)*. De acordo com HUMBERT (1974) e ORLANDO Fº et alii (1980), os teores de fósforo são classificados como baixos. Em GALLO et alii (1968), os valores de fósforo são iguais e, os de cálcio, apenas aos 6 meses foram iguais, o restante sendo sempre abaixo. Os teores de ambos os nutrientes, em qualquer período de avaliação, foram sempre inferiores aos obtidos por ORLANDO Fº (1978), ORLANDO Fº & HAAG (1976), KORNDORFER et alii (1989b) e LIMA et alii (1982). Apenas no solo PV mt ar/ar, os teores de fósforo foram semelhantes ao valor de 0,17% de P citado por MARINHO & ALBUQUERQUE (1979), devido provavelmente às características varietais e ao maior teor de P no solo desta área. Já em FERREIRA et alii (1989), os valores de cálcio mostraram-se semelhantes e os de fósforo inferiores.

---

* PENATTI, C.P. Calibração de adubação fosfatada. COPERSUCAR, Piracicaba, 1989. (Relatório interno)

Tabela 25 - Teores (%) de fósforo e cálcio na folha +3 de cana-de-açúcar, variedade SP70-1143, no solo LV ar, em diferentes estágios de desenvolvimento.

kg P_2O_5/ha	6 meses		10 meses		12 meses	
	P	Ca	P	Ca	P	Ca
0	0,12	0,50	0,10	0,33	0,11	0,36
60 ST	0,12	0,49	0,11	0,33	0,11	0,35
120 ST	0,12	0,46	0,10	0,30	0,11	0,32
180 ST	0,12	0,47	0,11	0,28	0,11	0,34
60 AF	0,12	0,42	0,11	0,30	0,11	0,36
120 AF	0,12	0,45	0,11	0,29	0,11	0,37

ST: Superfosfato triplo

AF: Ácido fosfórico

LV ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

Tabela 26 - Teores (%) de fósforo e cálcio na folha +3 de cana-de-açúcar, variedades SP70-1078, no solo LV mt ar/ar, em diferentes estágios de desenvolvimento.

kg P_2O_5/ha	3 meses		6 meses		13 meses	
	P	Ca	P	Ca	P	Ca
0	0,10	0,31	0,13	0,32	0,10	0,18
60 ST	0,10	0,39	0,13	0,31	0,12	0,20
120 ST	0,10	0,27	0,14	0,31	0,11	0,19
180 ST	0,10	0,31	0,13	0,33	0,12	0,21
60 AF	0,09	0,30	0,13	0,31	0,11	0,19
120 AF	0,10	0,27	0,14	0,31	0,12	0,20

ST: Superfosfato triplo

AF: Ácido fosfórico

LV mt ar/ar: Latos. Verm. Amar. muito are. sobre are.

Tabela 27 - Teores (%) de fósforo e cálcio na folha +3 de cana-de-açúcar, variedade SP71-1406, no solo PV mt ar/ar, em diferentes épocas de desenvolvimento.

kg P_2O_5/ha	6 meses		9 meses		11 meses	
	P	Ca	P	Ca	P	Ca
0	0,17	0,17	0,16	0,27	0,14	0,30
60 ST	0,16	0,16	0,17	0,35	0,14	0,33
120 ST	0,17	0,17	0,16	0,33	0,14	0,33
180 ST	0,17	0,17	0,17	0,35	0,14	0,35
60 AF	0,15	0,16	0,18	0,34	0,14	0,34
120 AF	0,16	0,16	0,16	0,33	0,14	0,33

ST: Superfosfato triplo

AF: Ácido fosfórico

PV mt ar/ar: Podz. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

Tabela 28 - Teores (%) de fósforo e cálcio na folha +3 de cana-de-açúcar, variedade SP70-1143, no solo AQ, diferentes estágios de desenvolvimento.

kg P_2O_5/ha	6 meses		10 meses		13 meses	
	P	Ca	P	Ca	P	Ca
0	0,11	0,14	0,13	0,17	0,13	0,27
60 ST	0,12	0,15	0,14	0,18	0,13	0,31
120 ST	0,12	0,15	0,14	0,17	0,13	0,32
180 ST	0,13	0,15	0,15	0,20	0,14	0,34
60 AF	0,12	0,14	0,14	0,17	0,13	0,28
120 AF	0,12	0,14	0,15	0,16	0,12	0,26

ST: Superfosfato triplo

AF: Ácido fosfórico

AQ: Areia Quartzosa

4.4 Sistema radicular

A avaliação da concentração de raízes, apesar de não seguir na íntegra o método citado por SALATA et alii (1986), apresentou maior concentração na camada superficial, semelhante ao citado por DILLEWIJN (1952), SOUZA (1976) e IDE (1981)*.

---

* IDE, B.Y. Sistema radicular. COPERSUCAR, Piracicaba, 1981. (Relatório interno)

A concentração superficial nas duas áreas avaliadas, pode ser explicada pela deficiência de cálcio em profundidade. SALATA et alii (1986) também encontraram resultados semelhantes, trabalhando com um solo semelhante. MORELLI et alii (1987), estudando aplicações de calcário e gesso agrícola, citam que o aprofundamento das raízes depende da concentração e disponibilidade de cálcio na camada subsuperficial do solo. A COPERSUCAR (1988) considera um mínimo de 1 meq de Ca/100 cm^3 como o teor adequado no solo para a cultura da cana-de-açúcar.

Quanto maior o desenvolvimento e melhor a distribuição do sistema radicular, tanto maior será o crescimento da planta, devido a uma maior capacidade em explorar nutrientes e água do solo. Portanto, esta característica é de fundamental importância em solos que apresentam baixa fertilidade e maior déficit hídrico.

Verifica-se pela Tabela 29 que a média dos tratamentos apresentou as relações peso de matéria seca de raízes/peso de matéria seca da parte aérea 6,08% para a variedade SP70-1143 e 5,91% para a SP71-1078, abaixo da relação citada por KORNDORFER et alii (1989a) de 10,2% para SP70-1143. As fontes de fósforo não apresentaram diferenças significativas.

Tabela 29 - Produção de matéria seca de raízes (t/ha) após a colheita, da parte aérea aos 12 meses e relação peso do material seco das raízes e peso do material seco da parte aérea das variedades SP70-1143 e SP71-1078.

kg P_2O_5/ha	(SP70-1143)			(SP71-1078)		
	Parte aérea	Raízes	R/PA (%)	Parte aérea	Raízes	R/PA (%)
0	39,2	2,0	5,10	25,4	1,4	5,51
60 ST	37,7	2,1	5,57	27,2	1,4	5,15
120 ST	38,2	2,4	6,28	26,5	2,4	9,06
180 ST	38,4	2,3	6,00	29,2	1,6	5,48
60 AF	38,0	2,9	7,63	26,7	1,4	5,24
120 AF	42,6	2,5	5,87	28,0	1,4	5,00
Média			6,08			5,91

ST: Superfosfato triplo

AF: Ácido fosfórico

Parte aérea: Colmos + folhas

R/PA: Peso do material seco das raízes/peso do material seco da parte aérea

A variedade SP71-1406 (solo PV mt ar/ar) apresentou maior concentração de fósforo nas raízes em relação às variedades SP70-1143 e SP71-1078, de acordo com as doses dos fertilizantes (Tabela 30), o que pode indicar

uma maior exigência desta variedade em relação ao elemento, ou então devido ao maior teor de fósforo e cálcio no solo. Observa-se também a importância do cálcio no desenvolvimento radicular, devido à alta concentração obtida, sendo mais evidente nos solos PV mt ar/ar e AQ, que apresentavam maior teor deste no solo quando da instalação dos experimentos (Tabela 19).

As concentrações de fósforo e cálcio não apresentaram diferenças significativas entre o superfosfato triplo e o ácido fosfórico (Tabela 30). KORNDORFER et alii (1989a) obtiveram teores de 0,03% de P e 0,15% de Ca nas raízes da SP70-1143, assim como em outras variedades estudadas.

Tabela 30 - Teores percentuais de fósforo e cálcio na matéria seca das raízes das variedades, avaliadas após a colheita.

kg P_2O_5/ha	SP70-1143 (LV ar)		SP71-1078 (LV mt ar/ar)		SP71-1406 (PV mt ar/ar)		SP70-1143 (AQ)	
	P	Ca	P	Ca	P	Ca	P	Ca
0	0,040	0,08	0,036	0,12	0,054	0,14	0,040	0,16
60 ST	0,043	0,07	0,040	0,11	0,058	0,13	0,040	0,14
120 ST	0,045	0,07	0,045	0,12	0,054	0,14	0,040	0,16
180 ST	0,040	0,07	0,042	0,11	0,064	0,14	0,050	0,21
60 AF	0,045	0,04	0,040	0,10	0,062	0,14	0,040	0,16
120 AF	0,043	0,07	0,042	0,12	0,060	0,13	0,040	0,15

ST: Superfosfato triplo

AF: Ácido fosfórico

LV ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

LV mt ar/ar: Latos. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

PV mt ar/ar: Podz. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

AQ: Areia Quartzosa

4.5 Produção de matéria seca e extrações de fósforo e cálcio

A avaliação realizada aos 12 meses, quanto à produção de matéria seca e extrações dos nutrientes P e Ca, mostraram que o efeito do fósforo foi maior para produções

de matéria seca de colmos e ponteiros (palmito + folhas) nos solos LV mt ar/ar e AQ principalmente na dose de 180 kg de P_2O_5/ha (Tabela 31). Não ocorreram diferenças significativas entre as fontes testadas. Resultados relatados por KORNDORFER et alii (1989b) mostram efeitos semelhantes para o ácido fosfórico e superfosfato triplo para produção de matéria seca da variedade SP71-1406.

Tabela 31 - Produções de matéria seca (t/ha) dos colmos (C) e ponteiros (PO) de cana-de-açúcar avaliadas aos 12 meses, em função das doses de superfosfato triplo (ST) e ácido fosfórico (AF).

kg P_2O_5/ha	SP70-1143 (LV ar)			SP71-1078 (LV mt ar/ar)			SP71-1406 (PV mt ar/ar)			SP70-1143 (AQ)
	C	PO	C+PO	C	P	C+PO	C	PO	C+PO	C+PO
0	33,1	6,1	39,2	23,6	1,8	25,4	33,6	2,7	36,3	14,5
60 ST	32,5	5,2	37,7	25,1	2,1	27,2	29,2	3,0	32,2	15,1
120 ST	33,0	5,2	38,2	24,6	1,9	26,5	32,1	3,4	35,5	14,7
180 ST	33,1	5,3	38,4	27,1	2,1	29,2	34,6	3,4	38,0	16,6
60 AF	32,5	5,5	38,0	24,9	1,8	26,7	33,5	3,0	38,5	14,0
120 AF	36,9	5,7	42,6	26,5	1,5	28,0	30,5	2,7	33,2	15,3

LV ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

LV mt ar/ar: Latos. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

PV mt ar/ar: Podz. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

AQ: Areia Quartzosa

A determinação da matéria seca produzida em função das doses de fósforo, juntamente com a análise química do material, possibilitou avaliar a quantidade total extraída de fósforo e cálcio, assim como suas percentagens presentes na parte aérea da cultura (Tabelas 32 a 37). Pode-se observar pela produção de massa verde que houve variação, mostrando efeito das amostragens, sendo que na avaliação realizada no solo LV mt ar/ar, onde se coletou 2,20 m de linha de cana, portanto 1,10 m a mais que nos outros solos, apresentaram melhor efeito dos tratamentos aplicados (Tabelas 32, 33, 34 e 35). Nestas mesmas Tabelas, nota-se o efeito dos tratamentos em relação ao teores de fósforo nos colmos e ponteiros. Em média, os ponteiros apresentaram teores de fósforo e cálcio mais elevados que os colmos. Não ocorreram diferenças significativas entre as fontes fosfatadas quanto aos teores de fósforo, entretanto, para cálcio, sua percentagem no ponteiro mostrou tendência de aumento deste nutriente presente no superfosfato triplo (Tabelas 32, 33 e 34).

Em relação aos colmos, os resultados obtidos para fósforo são menores que os citados por AYRES (1936) e ORLANDO Fº (1978) e maiores do que os relatados por KORNDORFER et alii (1989b). Nos ponteiros o teor de fósforo foi semelhante aos de ORLANDO Fº (1978) e KORNDORFER et alii (1989b). O teor de cálcio nos colmos foi semelhante aos

citados pela literatura. Embora houvesse uma tendência de aumento nos teores de P e Ca nos colmos e ponteiros, a análise estatística não mostrou diferenças significativas entre os tratamentos aplicados.

Tabela 32 - Produções de massa verde e concentrações de fósforo e cálcio nos colmos (C) e ponteiros (PO) da variedade SP70-1143, avaliados em 1,10 m de linha de cana aos 12 meses no solo Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa.

kg P_2O_5/ha	C	PO	C+PO	C		PO	
				P	Ca	P	Ca
	t/ha			%			
0	133	28	161	0,020	0,042	0,106	0,300
60 ST	132	24	156	0,020	0,038	0,104	0,268
120 ST	132	23	155	0,024	0,038	0,108	0,298
180 ST	129	21	150	0,022	0,038	0,108	0,298
60 AF	132	25	157	0,020	0,038	0,100	0,276
120 AF	144	26	166	0,020	0,045	0,103	0,277

ST: Superfosfato triplo

AF: Ácido fosfórico

Tabela 33 - Produções de massa verde e concentrações de fósforo e cálcio no colmos (C) e ponteiros (PO) da variedade SP71-1078, avaliados em 2,20 m de linha de cana aos 11 meses no solo LV mt ar/ar.

kg P_2O_5/ha	C	PO	C+PO	C		PO	
				P	Ca	P	Ca
	t/ha			%			
0	99	25	124	0,028	0,035	0,106	0,198
60 ST	107	26	133	0,026	0,038	0,110	0,208
120 ST	106	27	133	0,034	0,032	0,116	0,206
180 ST	115	27	142	0,037	0,046	0,124	0,228
60 AF	103	24	127	0,030	0,040	0,114	0,204
120 AF	113	20	133	0,030	0,040	0,116	0,210

ST: Superfosfato triplo

AF: Ácido fosfórico

LV mt ar/ar: Latos. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

Tabela 34 - Produções de massa verde e concentrações de fósforo e cálcio nos colmos (C) e ponteiros (PO) da variedade SP71-1406, avaliados em 1,10 m de linha de cana aos 13 meses no solo PV mt ar/ar.

kg P_2O_5/ha	C	PO	C+PO	C		PO	
				P	Ca	P	Ca
	t/ha			%			
0	123	15	138	0,038	0,036	0,102	0,220
60 ST	107	17	124	0,046	0,042	0,100	0,222
120 ST	117	17	134	0,046	0,042	0,100	0,236
180 ST	127	20	147	0,046	0,040	0,102	0,240
60 AF	125	17	142	0,046	0,044	0,108	0,238
120 AF	116	16	132	0,048	0,036	0,098	0,206

ST: Superfosfato triplo

AF: Acido fosfórico

PV mt ar/ar: Podz. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

Tabela 35 - Produções de massa verde e concentrações de fósforo e cálcio nos colmos e ponteiros da variedade SP70-1143, avaliados em 1,10 m de linha de cana aos 13 meses no solo Areia Quartzosa.

kg P_2O_5/ha	Colmos + ponteiros		
	t/ha	P	Ca
		%	
0	63	0,048	0,050
60 ST	71	0,054	0,050
120 ST	65	0,052	0,060
180 ST	67	0,063	0,076
60 AF	61	0,048	0,052
120 AF	67	0,052	0,050

ST: Superfosfato triplo

AF: Ácido fosfórico

As extrações de fósforo pelos colmos, ponteiros e colmos + ponteiros foram crescentes em função das doses de P_2O_5, exceto no solo LV ar (Tabelas 36, 37 e 38). Observa-se que o ácido fosfórico proporcionou extração semelhante ao superfosfato triplo nas doses correspondentes.

A extração de fósforo pelos colmos + ponteiros obtidos neste trabalho foi inferior aos citados por ORLANDO Fº (1978) para o solo PVls, já para o LE e LR foram

semelhantes aos solos LV ar e PV mt ar/ar e inferiores nos solos LV mt ar/ar e AQ. A extração de cálcio pelos colmos + ponteiros em todas as áreas entretanto, foi inferior. KORNDORFER et alii (1989a) obtiveram valores (kg/ha) de fósforo e cálcio inferiores. Já em outro trabalho com diferentes fontes fosfatadas, os resultados encontrados por KORNDORFER et alii (1989b) para fósforo foram inferiores aos observados em plantas cultivadas no solo PV mt ar/ar e semelhantes para os outros solos. Quando comparados com FERREIRA et alii (1989), apenas no solo PV mt ar/ar houve semelhança para a quantidade extraída de fósforo, sendo inferiores nos outros solos. As extrações de P e Ca pelos colmos e ponteiros variaram em função principalmente da produção de matéria fresca e seca destes (Tabelas 31, 32, 33, 34, 35).

Verifica-se que a extração de fósforo do solo PV mt ar/ar (Tabela 38) foi a mais elevada em relação aos outros solos, devido, provavelmente, às características químicas do solo, com maiores teores de fósforo e cálcio disponíveis. ORLANDO Fº & HAAG (1976) observaram que os teores de fósforo na folha +3 eram sempre superiores nas plantas cultivadas em solo PVls, devido à maior disponibilidade do nutriente no solo.

A exportação de nutrientes pelos colmos industriais, que é efetivamente a parte da planta que exporta, uma vez que o ponteiro é cortado e permanece no

campo, apresentou neste trabalho valores inferiores aos 0,20 kg de P/t de cana e 0,30 kg de Ca/t de cana citados por DILLEWIJN (1952), da mesma forma que para os valores de CATANI et alii (1959) e ANDREIS (1975). No PV mt ar/ar a remoção de fósforo foi superior à citada por CATANI et alii (1959).

A quantidade de fósforo recomendada para cana-planta (COPERSUCAR, 1988 e ESPIRONELO, 1985) em geral foi superior à quantidade absorvida por hectare, provavelmente devido à fixação do nutriente no solo.

Tabela 36 - Extrações (kg/ha) de fósforo e cálcio pelos colmos e ponteiros (palmito + folhas) da variedade SP70-1143, aos 12 meses no solo Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa.

kg P_2O_5/ha	Colmos		Ponteiros		Colmos + Ponteiros	
	P	Ca	P	Ca	P	Ca
0	6,6	13,2	6,5	18,3	13,1	31,7
60 ST	6,5	12,4	5,4	14,0	11,9	26,4
120 ST	7,9	12,5	5,6	15,6	13,5	28,1
180 ST	6,8	11,7	5,1	14,1	11,9	25,8
60 AF	6,5	12,4	5,5	15,4	12,0	27,8
120 AF	7,4	12,9	5,9	16,0	13,3	28,9

ST: Superfosfato triplo

AF: Acido fosfórico

Tabela 37 - Extrações (kg/ha) de fósforo e cálcio pelos colmos e ponteiros (palmito + folhas) da variedade SP71-1078, aos 11 meses no solo Latossolo Vermelho Amarelo textura muito arenosa sobre arenosa.

kg P_2O_5/ha	Colmos		Ponteiros		Colmos + Ponteiros	
	P	Ca	P	Ca	P	Ca
0	6,6	8,3	1,9	3,6	8,5	11,9
60 ST	6,5	9,5	2,3	4,4	8,8	13,9
120 ST	8,4	7,9	2,2	3,9	10,6	11,8
180 ST	10,0	12,5	2,6	4,8	12,6	17,3
60 AF	7,5	10,0	2,1	3,7	9,6	13,7
120 AF	8,0	10,6	1,7	3,2	9,7	13,8

ST: Superfosfato triplo

AF: Acido fosfórico

Tabela 38 - Extrações (kg/ha) de fósforo e cálcio pelos colmos e ponteiros (palmito + folhas) das variedades SP71-1406 (PV mt ar/ar) e SP70-1143 (AQ), aos 13 meses de idade.

kg P_2O_5/ha	SP71-1406						SP70-1143	
	Colmos		Ponteiros		Colmos + ponteiros		Colmos + ponteiros	
	P	Ca	P	Ca	P	Ca	P	Ca
0	12,8	12,1	2,7	5,9	15,5	18,0	7,0	7,3
60 ST	13,4	12,3	3,0	6,6	16,4	18,9	8,2	7,6
120 ST	14,8	13,5	3,4	8,0	18,2	21,5	7,6	8,8
180 ST	15,9	13,8	3,5	8,2	19,4	22,0	10,5	12,6
60 AF	15,4	14,7	3,3	7,2	18,7	21,9	6,7	7,3
120 AF	14,6	10,9	2,7	5,6	17,3	16,5	8,0	7,7

ST: Superfosfato triplo

AF: Ácido fosfórico

AQ: Areia Quartzosa

PV mt ar/ar: Podz. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

4.6 Teores de fósforo e cálcio no solo

Os teores de fósforo e cálcio no solo aumentaram em função das doses aplicadas (Tabelas 39 e 40). O cálcio também aumentou com a aplicação de superfosfato triplo, o qual contém uma pequena percentagem do elemento em

sua composição. Este cálcio adicionado não teve influência na produção de cana, uma vez que não houve diferença entre as fontes testadas (Tabela 41) e a extração desse nutriente pela planta (Tabelas 36 e 38), que foi igual nos solos LV ar e PV mt ar/ar, embora os solos apresentassem teores iniciais diferentes (Tabela 19).

Os valores de fósforo extraído pela resina dos solos amostrados na linha de cana, foram semelhantes aos encontrados por RAIJ (1981), onde o teor de 16 ppm de P é considerado como médio (limite superior) para cana-de-açúcar. Apenas no solo PV mt ar/ar, onde, embora tenha havido aumento de fósforo no solo com as doses aplicadas, para teores acima de 25 ppm de P no solo, não ocorreu aumento de produção de cana acima das doses de 60 kg de P_2O_5/ha (Tabela 41).

Nos tratamentos onde se usou ácido fosfórico, houve um maior contato do fósforo com o solo, devido à diluição em água para facilitar a aplicação na instalação dos experimentos, desta fonte fosfatada totalmente solúvel, quando relacionado com o fosfato solúvel granulado (superfosfato triplo), podendo portanto, reagir mais intensamente com o solo, conforme citam KORNDORFER et alii (1989b). Neste caso, as reações de "fixação" tornam-se mais intensas, sobrando menos fósforo disponível para as plantas. Esta observação não foi verificada neste trabalho, pois os resultados analíticos do solo mostraram que os teores de

fósforo das duas fontes, na mesma dose, são iguais, diferindo apenas para o cálcio (Tabelas 39 e 40).

Segundo DYNIA (1977), a intensidade das reações de fixação de fósforo pelos solos depende do pH, teor de argila e principalmente da capacidade de retenção de carga dos solos, ou seja, das características dos solos utilizados.

Tabela 39 - Teores de fósforo (ppm) e cálcio (meq/100 cm^3) no solo, extraídos pela resina, em amostras retiradas na linha de cana (0-30 cm), logo após a colheita de cada área experimental.

kg P_2O_5/ha	LV ar		LV mt ar/ar		PV mt ar/ar		AQ	
	P	Ca	P	Ca	P	Ca	P	Ca
0	10	0,61	5	0,42	13	0,65	3	0,30
60 ST	30	0,70	15	0,51	25	0,91	20	0,20
120 ST	44	0,79	25	0,58	47	0,94	45	0,23
180 ST	100	0,85	45	0,68	50	1,07	76	0,28
60 AF	29	0,52	16	0,35	25	0,84	15	0,23
120 AF	45	0,54	29	0,38	39	0,73	32	0,29

ST: Superfosfato triplo

AF: Ácido fosfórico

LV ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

LV mt ar/ar: Latos. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

PV mt ar/ar: Podz. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

AQ: Areia Quartzosa

Tabela 40 - Equações representativas e coeficientes de determinação dos teores de fósforo e cálcio no solo, amostrado na profundidade de 0 a 30 cm na linha de cana após a colheita.

Solo	Nutriente	Superfosfato triplo		Ácido fosfórico	
		Equação	r^2	Equação	r^2
LV ar	P	y = 3,3800 + 0,47300x	0,90	y = 10,8667 + 0,28667x	0,99
	Ca	y = 0,6204 + 0,00131x	0,99		
LV mt ar/ar	P	y = 2,8600 + 0,22100x	0,96	y = 4,7000 + 0,20167x	0,99
	Ca	y = 0,4220 + 0,00140x	0,91		
PV mt ar/ar	P	y = 13,5200 + 0,22533x	0,93	y = 13,2333 + 0,10167x	0,97
	Ca	y = 0,6990 + 0,00220x	0,89		
AQ	P	y = -0,3600 + 0,40733x	0,98	y = 2,4000 + 0,23667x	0,98
	Ca	y = 0,3438 + 0,00083x	0,58		

LV ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

LV mt ar/ar: Latos. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

PV mt ar/ar: Podz. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

AQ: Areia Quartzosa

4.7 Produção de cana

Neste trabalho, embora a aplicação de calcário tenha sido efetuada antes da instalação dos experimentos, pode-se observar pelos teores de cálcio no solo, que apenas no solo PV mt ar/ar (Tabela 19) atingiu o padrão adequado de fertilidade para a cultura da cana-de-açúcar, de acordo com as classes de fertilidade citadas pela COPERSUCAR (1988) e ESPIRONELO (1985).

As produções de colmos das áreas são comparadas na Tabela 41. São nítidas as diferenças de produtividade entre as áreas, fato esperado em função das características dos solos e das variedades estudadas.

A análise de variância das produtividades de cana das áreas experimentais indicam significância estatística ao nível de 1% de probabilidade de existir diferenças entre os tratamentos, nos solos LV ar, LV mt ar/ar e AQ (Tabela 41), já no solo PV mt ar/ar a probabilidade mínima foi de 20%. Observou-se comportamento semelhante entre as fontes fosfatadas, principalmente para a dose de 120 kg P_2O_5/ha.

Tabela 41 - Produções de cana (t/ha) obtidas nas quatro áreas experimentais, em função das doses de superfosfato triplo (ST) e ácido fosfórico (AF).

kg P_2O_5/ha	LV ar SP70-1143	LV mt ar/ar SP71-1078	PV mt ar/ar SP71-1406	AQ SP70-1143
0	106 b	113 b	125 a	42 b
60 ST	124 ab	123 ab	133 a	50 ab
120 ST	128 a	124 a	134 a	54 a
180 ST	133 a	126 a	134 a	54 a
60 AF	119 ab	119 ab	135 a	48 ab
120 AF	125 a	124 a	133 a	50 ab
Coeficiente de variação	6,16%	4,40%	4,92%	8,68%

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey.

LV ar: Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa

LV mt ar/ar: Latos. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

PV mt ar/ar: Podz. Verm. Amar. text. muito are. sobre are.

AQ: Areia Quartzosa

A análise de regressão confirmou a influência dos tratamentos, apresentando respostas crescentes e lineares ao nível de 1% de probabilidade para as fontes de fósforo nos solos LV ar, LV mt ar/ar e AQ (Figura 9). Este tipo de comportamento mostra que a produção poderia ser maior, utilizando-se doses mais elevadas de fósforo. No solo

PV mt ar/ar houve resposta linear com 10% de significância, embora não tenham ocorrido diferenças entre as fontes.

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por BITTENCOURT et alii (1978) e por ALBUQUERQUE et alii (1980), que indicam resposta para dose acima de 150 kg P_2O_5/ha em solos com teores abaixo de 10 ppm de P. ZAMBELLO JR. et alii (1981) observaram pequenas respostas em solos apresentando teores acima de 25 ppm de P, semelhantes aos obtidos no solo PV mt ar/ar. Comparando-se aos resultados citados por ORLANDO Fº & ZAMBELLO JR. (1980a), verifica-se semelhança, onde os autores conseguiram também maiores diferenças de produção de cana em solos apresentando teores de 3 e 6 ppm de P e menores diferenças em solos com 14 e 29 ppm de P.

FERREIRA et alii (1989) encontraram resposta quadrática para doses de fósforo, indicando 120 kg P_2O_5/ha como a dose adequada. SERRA (1973) relata que a produção de cana não foi afetada pela adubação fosfatada em 3 tipos de solos, mas observando-se os resultados, verificou-se que no solo PVp (4 ppm de P), ocorreu tendência de resposta linear ao nível de 16% de probabilidade.

Resultados semelhantes são também descritos por PENATTI (1989)* em solos com a mesma classificação dos citados neste trabalho.

4.8 Eficiência agronômica das fontes

Para avaliar a eficiência agronômica das fontes de fósforo, utilizou-se o conceito da equivalência em superfosfato triplo (Eq.ST), descrito por GOEDERT et alii (1986). O cálculo do Eq.ST representa a relação percentual entre a dose de P na forma de superfosfato triplo e a dose de P da fonte testada, que corresponde à mesma produção. Este índice pode ser assim expresso:

$$\text{Eq.ST (\%)} = \frac{x_1}{x_2} \cdot 100$$

x_1 = dose de P total na forma de superfosfato triplo necessária para se obter a produção y.

x_2 = dose de P total da fonte em teste necessária para se obter a mesma produção y.

---

* PENATTI, C.P. Calibração de adubação fosfatada. COPERSUCAR, Piracicaba, 1989. (Relatório interno)

Para calcular este índice é necessário que se conheça a curva de resposta da fonte de referência. Com base na Figura 9 observa-se no solo LV ar que para atingir a mesma produção de cana na dose de 120 kg P_2O_5/ha na forma de ácido fosfórico, são necessários apenas 106 kg P_2O_5/ha de superfosfato triplo. Portanto, para o solo LV ar, o Eq.ST de ácido fosfórico baseando-se na Figura 9 foi 88% e 100% para as doses de 120 e 60 kg P_2O_5/ha, respectivamente. Para o solo LV mt ar/ar os valores foram de 100% e 86% (Figura 9), na AQ 75% e 100% (Figura 9) e no solo PV mt ar/ar as produções de cana foram semelhantes para as fontes estudadas, devido ao tipo de solo apresentar baixa probabilidade de resposta ao fósforo, independentemente da fonte, já que para qualquer dose testada as produções foram próximas ao teto máximo.

De acordo com KORNDORFER et alii (1989b), o cálculo de Eq.ST para fontes fosfatadas indica o valor de 82% para o ácido fosfórico, ou seja, 82 kg de P_2O_5/ha do superfosfato triplo correspondem a 100 kg de P_2O_5/ha do ácido fosfórico, para a mesma produção de cana.

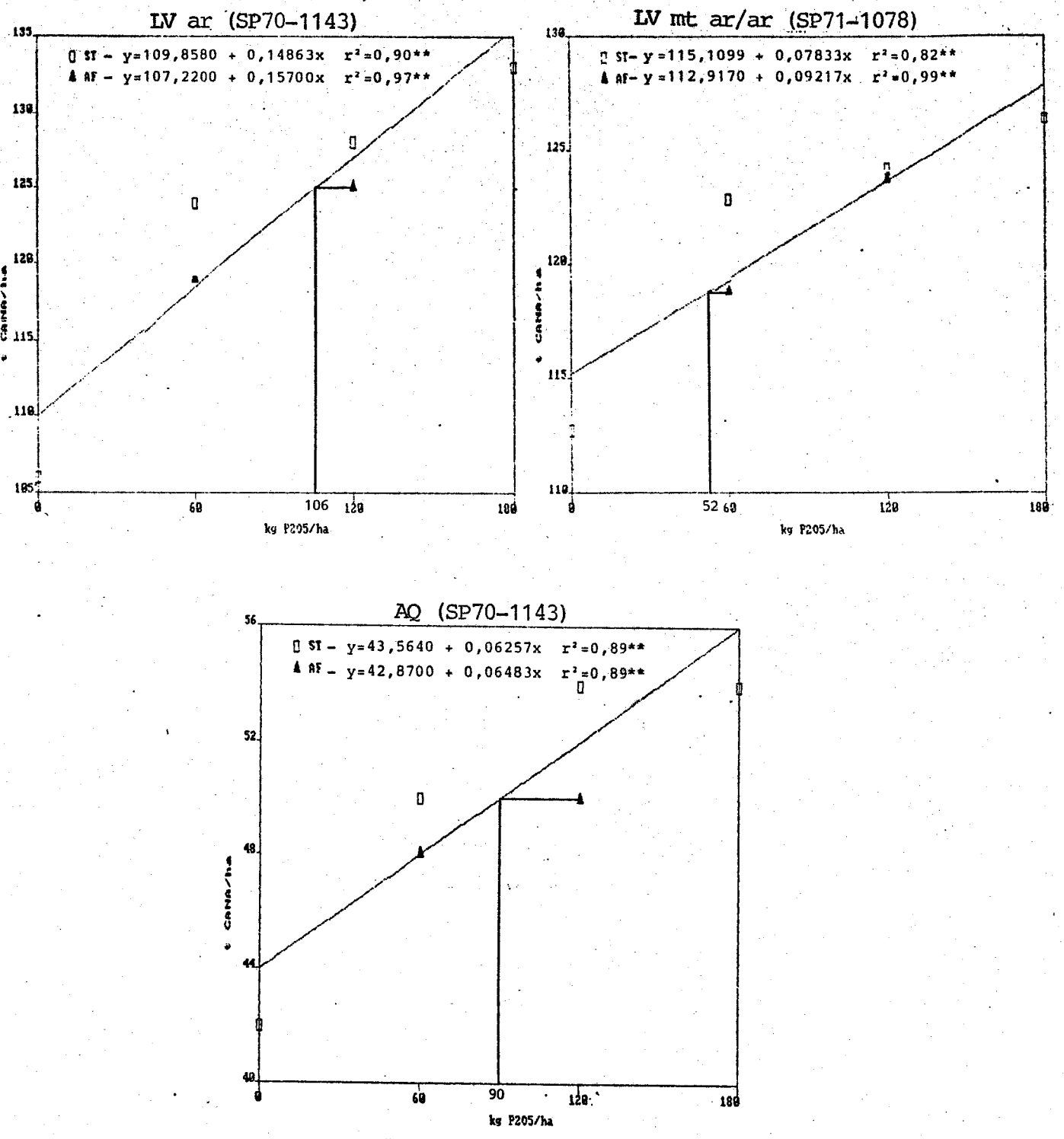

Figura 9 - Produção de cana (t/ha) obtida com o uso do superfosfato triplo (ST) e do ácido fosfórico (AF) e os respectivos Eq.ST, calculados com base na equação de regressão.

4.9 Qualidade da matéria-prima

4.9.1 Pol % cana, açúcar teórico recuperável e produção de açúcar por hectare

Os componentes do caldo, como brix % cana, pol % cana, açúcares redutores e outros são de grande importância no julgamento da qualidade do caldo e na maturação da cana, influindo diretamente no rendimento industrial.

A análise de variância dos resultados da análise tecnológica da cana produzida nas três áreas experimentais revelou que não houve efeito significativo dos tratamentos (Tabela 42). Entretanto para a variedade SP70-1143 no solo LV ar, a análise de regressão da pol % cana indicou efeito linear para o superfosfato triplo ao nível de 10% de probabilidade ($y=13,1096 + 0,00349x$ $r^2=0,96$), e para o ácido fosfórico ao nível de 5% ($y=13,3090 + 0,00482x$ $r^2=0,55$). O açúcar teórico recuperável (ATR-kg açúcar/t cana) respondeu linearmente, com significância de 5%, apenas para as doses de ácido fosfórico ($y=105,8333 + 0,06833x$ $r^2=0,79$), o que interfere diretamente na produção de açúcar (t de açúcar/ha). No solo LV ar (SP70-1143), os resultados concordam com os obtidos por LIMA et alii (1982) e os citados por MARINHO et alii (1975) em solos deficientes em fósforo.

Nas variedades SP71-1078 e SP71-1406 a pol % cana e o açúcar teórico recuperável não mostraram significância para análise de regressão. A variação na produção de açúcar são devidas principalmente à variação na produção de cana (Tabela 41), podendo-se observar que as fontes de fósforo proporcionaram resultados semelhantes. CHWAN-CHAU (1976), ORLANDO & ZAMBELLO JR (1980b) , SILVA et alii (1976), KORNDORFER et alii (1989b) e FERREIRA et alii (1989) não encontraram efeito da adubação fosfatada sobre a pol % cana. MARINHO et alii (1976) observaram uma redução na pol % cana nos solos sem deficiência em fósforo e onde se aplicou doses acima de 100 kg de P_2O_5/ha.

Tabela 42 - Resultados da pol % cana (PCC), kg de açúcar/t de cana (ATR) e t de açúcar/ha (TAH), em função das doses de superfosfato triplo (ST) e ácido fosfórico (AF).

kg P_2O_5/ha	Variedade								
	SP70-1143			SP71-1078			SP71-1406		
	PCC	ATR	TAH	PCC	ATR	TAH	PCC	ATR	TAH
0	13,16	105	11,1	15,18	131	14,0	17,50	148	18,5
60 ST	13,26	104	12,9	15,78	133	15,6	17,30	146	19,4
120 ST	13,50	107	13,7	15,56	133	15,7	17,36	146	19,4
180 ST	13,78	109	14,5	15,49	130	15,6	17,14	144	19,3
60 AF	13,90	112	13,3	15,59	127	14,4	17,14	146	19,7
120 AF	13,74	113	14,1	15,48	131	15,6	16,70	139	18,5
Coeficiente variação (%)	3,55	5,70		4,18	4,35		4,90	6,39	

4.9.2 Fósforo no caldo

No trabalho em questão, a presença do fósforo no caldo é referente ao total. É sabido que o teor deste elemento no caldo é de fundamental importância no processo de clarificação, tendo influência na qualidade do açúcar e melhorando a eficiência do processo de refinação (DELGADO et alii, 1973).

Os dados obtidos, quando submetidos à análise estatística, mostraram uma regressão linear significativa ao nível de 10% com aplicação do superfosfato triplo para a variedade SP70-1143 ($y=80,6000 + 0,11833x$ $r^2=0,89$). Para a variedade SP71-1078 ocorreu uma regressão quadrática, significativa ao nível de 1% de probabilidade para o superfosfato triplo ($y=38,5000 + 0,39167x - 0,00208x^2$ $r^2=0,83$) e para o ácido fosfórico ao nível de 10% ($y=40,0000 + 0,61667x - 0,00472x^2$ $r^2=1,00$). A variedade SP71-1406 não apresentou diferença estatística.

O maior teor de fósforo no caldo obtido pela variedade SP71-1406 (Tabela 43), provavelmente, tenha sido consequência do fator varietal, pois foi a variedade que apresentou o maior valor do elemento em relação às outras variedades, SP70-1143 e SP71-1078, ou devido ao teor deste presente no solo. MARINHO & OLIVEIRA (1980) e HARTT (1958) destacam a importância da concentração de P nativo no solo, na variação do teor do mesmo no caldo da cana. HONIG (1969) obteve correlação do P no solo com o mesmo no caldo.

Tabela 43 - Teor de fósforo (ppm de P_2O_5) presente no caldo da cana cultivada em diferentes tipos de solos em função das doses de superfosfato triplo (ST) e ácido fosfórico (AF).

kg P_2O_5/ha	Variedade		
	SP70-1143	SP71-1078	SP71-1406
0	79	40	358
60 ST	88	50	324
120 ST	99	60	390
180 ST	99	40	348
60 AF	86	60	418
120 AF	90	46	357
Coeficiente de variação	18,24%	26,56%	20,53%

PRIMAVESI et alii (1988)* destacaram a variação das variedades quanto ao teor de fósforo no caldo, não atingindo valores adequados. Em apenas uma área a concentração de P atingiu valores ideais em setembro, mas em outubro caiu pela metade a concentração, devido à ocorrência de um déficit hídrico, coincidindo com os resultados de SERRA et alii (1972) e SERRA (1973), que constataram um teor

---

* PRIMAVESI, O.M.A.S.P.R.B.; DEUBER, R.; KORNDORFER, G.H.; IDE, B.Y. Perfil de variedades, cana-planta 1985/86. Piracicaba, COPERSUCAR, 1988. (Relatório interno)

máximo de fósforo inorgânico e total no mês de setembro. GUIMARÃES & SILVA (1976) conseguiram a variação entre 87 a 263 mg de P_2O_5/l de caldo em 15 variedades.

SILVA (1976), DELGADO et alii (1973) e a COPERSUCAR (1988) relatam valores entre 200 a 300 mg de P_2O_5/l de caldo como sendo adequados para promover uma boa clarificação. No presente trabalho apenas a variedade SP71-1406 apresentou valor adequado. FERREIRA et alii (1989) citam uma correlação linear do fósforo no caldo com a produção de cana. Já LIMA et alii (1982) encontraram aumentos de P no caldo, mas não a níveis adequados (<85 ppm de P_2O_5). SERRA (1973) apresenta valores médios de 200 mg de P_2O_5/l de caldo no solo Latossolo Roxo.

Em relação ao que foi discutido sobre o fósforo no caldo, além da importância da concentração deste elemento original no solo, AYRES (1936) destaca a aplicação de formas solúveis de fósforo para atender às necessidades imediatas da cana. LIMA et alii (1982) verificaram que os fosfatos solúveis proporcionaram maiores aumentos na produção de cana.

No trabalho em questão, os solos estudados apresentam menor poder de fixação de fósforo que os solos mais argilosos e aplicou-se formas prontamente disponíveis do elemento através dos fertilizantes, mas em apenas uma área foi obtido teor adequado no caldo, tendo como o solo e a variedade os fatores de contribuição para atingir tais

valores, concordando com os valores obtidos por KORNDORFER et alii (1989b), trabalhando com a mesma variedade (SP71-1406).

Há grande interesse das Usinas Açucareiras pelos aumentos de fósforo inorgânico no caldo da cana, pois as mesmas adicionam ao caldo, no processo de clarificação, aproximadamente 15 mg de P_2O_5/l de caldo, de acordo com levantamento realizado pela COPERSUCAR em várias Unidades do Estado de São Paulo. MARINHO & OLIVEIRA (1980) ressaltam que a utilização de fosfato na indústria é mais viável economicamente, desde que não haja aumento de produção de cana, mas isto não significa que aumentando a produção, há aumento no teor de P no caldo.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- houve aumento significativo no número de perfilhos por metro e altura das plantas, em função das doses de fósforo aplicadas.

- a produção de cana apresentou aumento linear com as doses de P, ao nível de 1% de probabilidade, nos solos LV ar, LV mt ar/ar e AQ, e no solo PV mt ar/ar a probabilidade foi 10%.

- apenas no solo LV ar (SP70-1143) houve resposta crescente para a pol % cana, para ambas as fontes fosfatadas e aumento significativo na produção de açúcar por tonelada de cana (ATR), em função apenas das doses de ácido fosfórico.

- o teor de fósforo no caldo aumentou significativamente com as doses aplicadas nos solos LV ar (SP70-1143) e LV mt ar/ar (SP71-1078), mas não o suficiente para se ter uma boa clarificação do caldo.

- o ácido fosfórico apresentou comportamento agronômico semelhante ao do superfosfato triplo, tornando-se uma alternativa agronomicamente viável para a adubação de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHORN, F.P. & BALAY, H.L. Phosphoric acid: shipment, storage and use in fertilizers. **Fertilizer Solutions Magazine**, v.2, **11**(3):33-9, set./out. 1973. 110 p.

ALBUQUERQUE, G.A.C.; MARINHO, M.L.; ARAÚJO Fº, J. T. Competição de fontes de fósforo em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 1., Maceió, 1979. **Anais**. Alagoas, STAB, 1980. v.2, p.334-5.

ALEXANDER, A.G. **Sugarcane physiology**: a comprehensive study of the *Saccharum* source-to-sink system. Amsterdam, Elsevier, 1973. 752p.

ALVAREZ, R. & PACHECO, J.A.C. Adubação da cana-de-açúcar. 7. Ensaio preliminar de adubação NPK no arenito de Bauru. **Bragantia**, Campinas, **22**(17):193-200, 1963.

ANDREIS, H.J. Macro and micro nutrient content of millable Florida sugar cane. **The Sugar Journal**, New Orleans, **37**(8):10-2, 1975.

AYRES, A. Effect of age upon the absorption of mineral nutrients by sugar cane under field conditions. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, **28**(11):871-86, 1936.

BACCHI, O.O.S. Botânica da cana-de-açúcar. In: ORLANDO Fº, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. p.25-37.

BITTENCOURT, V.C. Fósforo: um desafio nos adubos fluidos. **Revista ADEALQ**. Piracicaba, (19):18-9, 1988.

BITTENCOURT, V.C.; ORLANDO Fº, J.; ZAMBELLO JR., E. Determination of available P for sugarcane in tropical soil extracted with H_2SO_4 0,5N. In: **CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS**, 16., São Paulo, 1977. Proceedings. São Paulo, ISSCT, 1978. v.2, p.1175-86.

BOSSHART, R.P. & HAGIHARA, H.H. Critical levels of nutrients in sugarcane tissue and soils. **Agronomy Report** 43, Experimental Station, HSPA, 1981.

CACERES, N.T. & KORNDORFER, G.H. Situação da adubação fluida das usinas cooperadas. **Boletim Técnico COPERSUCAR**, São Paulo (42):31-7. mai. 1988.

CATANI, R.A.; ARRUDA, H.C.; PELEGRINO, D.; BERGAMIN Fº, H. A absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre pela cana-de-açúcar, Co419, e o seu crescimento em função da idade. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, **16**:167-90, 1959.

CHWAN-CHAU, W. The effect of fertilizer aplication on sucrose content of sugarcane. **Taiwan Sugar**, Taiwan, **23**(4):167-71, 1976.

COOPERATIVA DE PRODUTORES DE CANA, AÇOCAR E ALCOOL DO ESTADO SÃO PAULO LTDA-COPERSUCAR. Centro de Tecnologia Copersucar. **Recomendação de adubação para a cultura da cana-de-açúcar. Cadernos Copersucar.** São Paulo, Série Agronômica nº 17, 1988a. 8p.

COOPERATIVA DE PRODUTORES DE CANA, AÇOCAR E ALCOOL DO ESTADO SÃO PAULO LTDA-COPERSUCAR. Centro de Tecnologia Copersucar. Clarificação. Piracicaba, 1988b. 58p. (Relatório interno).

DELGADO, A.A.; FERREIRA, J.L.; BARBIN, D. Estudos sobre o comportamento do fósforo na clarificação do caldo de cana. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, **82**(1):55-75, jul. 1973.

DILLEWIJN, C. van. Botany of sugarcane. *Waltham*, Mass. The Chronica Botanica, 1952. 371p.

DYNIA, J.F. Efeito do pH e da capacidade de retenção de fósforo dos solos na eficiência de adubos fosfatados. Porto Alegre, 1977. 79p. (Mestrado - Univesidade Federal Rural do Rio de Janeiro).

ESPIRONELO, A. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. van; SILVA, N.M. da; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JR, R.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas, Instituto Agronômico, 1985. 107p. (IAC - Boletim, 100).

ESPIRONELO, A. & OLIVEIRA, H. **Orientação geral para adubação da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.** Campinas, Instituto Agronômico, 1972. 16p (IAC - Boletim, 201).

FERNANDES, A.C. **Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.** Piracicaba, COPERSUCAR, 1986. 92p.

FERREIRA, E. da S.; CACERES, N.T.; KORNDORFER, G.H.; MARTINS, J.; MATHIESEN, L.A. Uso do multifosfato magnesiano na adubação de plantio da cana-de-açúcar. **Boletim Técnico COPERSUCAR**, São Paulo (46):6-11. abr. 1989.

GALLO, J.R.; HIROC, E.R.; ALVAREZ, R. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo, pela análise foliar. **Bragantia**, Campinas, **27**:365-81, 1968.

GOEDERT, W.; SOUZA, D.M.G.; REIN, A.T. **Principais metodologias para avaliação agronômica de fontes de fósforo.** Planaltina, EMBRAPA/CPAC, 1986. 33p. (Documento, 22).

GOMEZ-ALVAREZ, F.G. Effect of time of sampling in sugarcane on foliar analysis in Venezuela. In: **CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS**, 14., Louisiana, 1971. p.702-7.

GUIMARÃES, E. & SILVA, G.M.A. Estudo de variedades de cana-de-açúcar quanto ao teor de fósforo no caldo-ensaio preliminar. In: **SEMINÁRIO COPERSUCAR DA AGROINDÚSTRIA AÇUCAREIRA**, 4., Águas de Lindóia, 1976. **Anais.** São Paulo, COPERSUCAR, 1977. p.41-3.

HALAIS, P. Foliar diagnosis, a new guide to fertilization of sugarcane in Mauritius. In: **CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS**, 7., Brisbane, 1950. Proceedings. Austrália, ISSCT, 1951. p.218-33.

HARTT, C.E. Total phosphorus in internodes 8-10 as a guide to the phosphorus fertilization of sugar cane. **Hawaiian Planters Record**, Honolulu, **55**(33):243, 1958.

HONIG, P. No-azucares inorganicos. In: HONIG, P., ed. **Princípios de tecnologia azucarera.** México, Continental, 1969. v.1, cap. 9, p.265-322.

HUMBERT, R.P. Nutrient balance in sugar cane nutrition. **Hawaiian Planters Record**, Honolulu, **55**(1):47-54, 1955.

HUMBERT, R.P. **El cultivo de caña de azúcar.** México, Continental, 1974. 719p.

HUSZ, G.S.; **Sugar cane**, ruhr-stuckstoff, A.G. Bochum, W. Germany. 1972. 116p.

INNES, R.F. The nitrogen, phosphorus and potassium requirements of sugarcane. **Journal of the Science Food and Agriculture**, Essex, **11**:299-309, 1960.

KORNDORFER, G.H.; PRIMAVESI, O.; DEUBER, R. Crescimento e distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em solo LVA. **Boletim Técnico COPERSUCAR**, São Paulo (47)32-6. jul. 1989a

KORNDORFER, G. H.; VIEIRA, G.G.; MARTINS, J.; MATHIESEN, L.A. Resposta da cana-planta a diferentes fontes de fósforo. **Boletim Técnico COPERSUCAR**, São Paulo (45):31-7. jan. 1989b.

LIMA Fº, S.A. de; ZAMBELLO Jr., E.; ORLANDO Fº, J. Doses e fontes de fosfatos em cana-planta no Estado de São Paulo. **Saccharum** APC, São Paulo, **5**(21):37-43, jul. 1982.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas.** São Paulo, Pioneira, 1974. 752p.

MARINHO, M.L. & ALBUQUERQUE, G.A.C. Resposta da cana-de-açúcar a níveis de P e correlação com análises foliares. In: **CONGRESSO DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL**, 1., Maceió,1979. **Anais**, Alagoas, STAB, 1980. v.2, p.330-43.

MARINHO, M.L. & OLIVEIRA, C.C. Efeito do P nativo e aplicado no solo na decantação do caldo de cana-de-açúcar. In: **CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL**, 1., Maceió 1979. **Anais**, Alagoas, STAB, 1980. v.2, p.334-45.

MARINHO, M.L.; CAVALCANTI, G.A.; AMORIM, L.C. Influência do nitrogênio, fósforo e potássio no rendimento dos canaviais de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1975. **Anais**, São Paulo, 1976. p.193-201.

MORELLI, J.L.; NELLI; E.J.; DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, 6(2):24-31, 1987.

O'NEILL, M.K.; GARDNER, B.R.; ROTH, R.L. Ortho phosphoric acid as a phosphorus fertilizer in trickle irrigation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 43:283-6, 1979.

ORLANDO Fº, J. Absorção dos macronutrientes pela cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) variedade CB41-76 em três grandes grupos de solos no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1978. 154p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

ORLANDO Fº, J. & HAAG, H.P. **Influência varietal e do solo no estado nutricional da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) pela análise foliar.** Araras, IAA/PLANALSUCAR, 1976. 52p. (Boletim Técnico, 2).

ORLANDO Fº, J. & ZAMBELLO JR., E. Efeitos da adubação fosfatada em cana-planta. **Saccharum**, São Paulo, 3(9):38-42, 1980a.

ORLANDO Fº, J. & ZAMBELLO JR., E. Influência da adubação NPK nas qualidades tecnológicas da cana-planta, variedade CB41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, 96(9):37-44, 1980b.

ORLANDO Fº, J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JR., E. **Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em função da idade, em solos do Estado de São Paulo.** Araras, IAA/PLANALSUCAR, 1980. 128p. (Boletim Técnico, 2).

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

RAIJ, B. van. & ZULLO, M.A.T. **Métodos de análise de solo.** Campinas, Instituto Agronômico, 1977. 16 p.

RODELLA, A.A. & MARTINS, M. Efeitos de fontes e formas de aplicação de fósforo na produtividade da cana-de-açúcar, em cana-planta. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, 8(45):26-32, 1988.

SALATA, J.C.; CONDE, A.J.; DEMATTÊ, J.L.I. Influence of the type of furrow opener on the development of the root system and on sugar cane yield. In: **CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 19.**, Jacarta, 1986. Proceedings. Indonésia, ISSCT, 1986. v.1, p.203-12.

SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. **Análise química em plantas.** Piracicaba, ESALQ, USP, 1974. 56 p.

SERRA, G.E. Efeitos da adubação fosfatada sobre algumas características agro-industriais do caldo de cana-de-açúcar, variedade CB41-76. Piracicaba, 1973. 104p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

SERRA, G.E. CÉSAR, M.A.A.; OLIVEIRA, A.J. de; GODOY, D. Comportamento de variedades de cana-de-açúcar no período de industrialização. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, **79**(4):27-40, 1972.

SILVA, G.M.A; ALONSO, D.; MORAES, R.S. Influência da adubação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DA AGROINDÚSTRIA AÇUCAREIRA, 4., Águas de Lindóia, 1976. **Anais.** São Paulo, COPERSUCAR, 1976. p.27-35.

SILVA, L.C.F. da & CASAGRANDE, J.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (Macronutrientes). In: ORLANDO Fº, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil.** Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. p.77-119.

SILVA JR., J.F. Efeito da aplicação de fontes de fosfato na clarificação do caldo de cana. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DA AGROINDÚSTRIA AÇUCAREIRA, 4., Águas de Lindóia, 1976. **Anais.** São Paulo, COPERSUCAR, 1976. p.339-53.

SOUZA, J.A.G.C. Efeito da tensão de água do solo na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). Limeira, 1976. 163p. (Doutorado - Faculdade de Engenharia de Limeira/UNICAMP).

THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. **The water balance.** Centerton, Drexel Institute of Tecnology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v. 8, nº 1).

ZAMBELLO JR., E; ORLANDO Fº, J.; RODELLA, A.A. Recomendação de adubação fosfatada para cana-de-açúcar através da análise química de solo. **Brasil Açucareiro,** Rio de Janeiro, **97**(3):38-43, mar. 1981.