

VALDEVAN ROSENDO DOS SANTOS

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES
FONTES DE FÓSFORO**



UFAL

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO EM AGRONOMIA
RIO LARGO, ESTADO DE ALAGOAS**

FEVEREIRO DE 2006



CECA

VALDEVAN ROSENDO DOS SANTOS

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES
FONTES DE FÓSFORO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre, pelo Curso de Mestrado em Agronomia (Área de Concentração “Produção Vegetal”) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas.

Orientação: Prof. Dr. Gilson Moura Filho

**RIO LARGO, ESTADO DE ALAGOAS
FEVEREIRO DE 2006**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

S237c Santos, Valdevan Roseno dos.
Crescimento e produção de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo /
Valdevan Roseno dos Santos. – Rio Largo, 2006.
xiv, 88f. : il. tabs., grafs.

Orientador: Gilson Moura Filho.
Dissertação (mestrado em Agronomia : Produção Vegetal) – Universidade
Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2006.

Bibliografia: f. [72]-88.

1. Cana-de-açúcar – Adubação. 2. Fertilizantes fosfatados. 3. Adubação
fosfatada. 4. *Saccharum* spp. I. Título.

CDU: 633.61

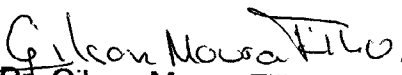
TERMO DE APROVAÇÃO

VALDEVAN ROSENDO DOS SANTOS

2004M21D017S-7

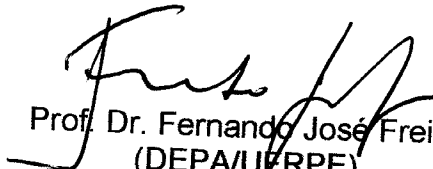
**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES
FONTES DE FÓSFORO**

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Produção Vegetal da Universidade Federal de Alagoas, pela Banca Examinadora formada pelos professores:


Prof. Dr. Gilson Moura Filho

Dep. de Solos, Engenharia e Economia Rural (SER-CECA/UFAL)

Orientador


Prof. Dr. Fernando José Freire
(DEPAU/RPE)


Prof. Dr. Abel Washington de Albuquerque

Dep. de Solos, Engenharia e Economia Rural (SER-CECA/UFAL)


Prof. Dr. José Paulo Vieira da Costa

Dep. de Solos, Engenharia e Economia Rural (SER-CECA/UFAL)

RIO LARGO, ESTADO DE ALAGOAS

23 de Fevereiro de 2006

A minha mãe Ivonete Rosendo dos Santos de Almeida, por ser fonte de inspiração e força.

Aos meus sobrinhos Carlos Gabriel, Edivânio Rosendo, Erivan Rosendo e Luzalaneide Rosendo símbolos de superação e esperança,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS por me dar a vida de presente e por jamais me abandonar nessa caminhada.

À Universidade Federal de Alagoas – Centro de Ciências Agrárias e ao Curso de Mestrado em Produção Vegetal pela oportunidade de realizar este curso.

À Usina Guaxuma por permitir a implantação desse trabalho e por fornecer os recursos materiais e humanos indispensáveis para a concretização do mesmo.

Ao amigo Professor Doutor Gilson Moura Filho pela orientação, apoio, paciência, ensinamentos e pela forma especial que me acolheu.

Aos professores Abel Washington de Albuquerque, José Paulo Vieira da Costa, Geraldo Veríssimo, Vilma Marques Ferreira, Laurício Endres, José Leonaldo Souza e Carlos Brancídes por me enriquecer de novos conhecimentos.

À Coordenação do Curso de Mestrado em Produção Vegetal nas pessoas da Professora Doutora Edna Peixoto da Rocha Amorim e Eurico Eduardo Pinto de Lemos pela presteza com que sempre nos tratou e pela forma dedicada que vem conduzindo o curso.

Aos demais professores do Mestrado em Produção Vegetal pela contribuição dada ao mesmo para mantê-lo funcionando e continuar recebendo turma nova a cada ano.

Aos Professores Mauro Wagner de Oliveira e Cícero Alexandre pela contribuição nas análises das amostras foliares.

Ao amigo João Ribeiro da Silva Neto e aos técnicos do laboratório de solo e adubação por realizarem as análises das amostras de solo.

A Israel de Andrade Lyra Filho pelo apoio dado na fase inicial desse trabalho.

Ao Mestre em Produção Vegetal (Agrônomo da Usina Guaxuma) Gean Everaldo Gerônimo da Silva pela valiosa contribuição dada desde a sua idealização até a conclusão desse trabalho.

Ao Engenheiro-Agrônomo Luiz Antonio Ferreira Lopes Silva pela importante colaboração para a execução desse trabalho.

Aos técnicos agrícolas da Usina Guaxuma e aos trabalhadores de campo por nos auxiliar na execução deste trabalho, sem os quais a sua conclusão não seria possível.

À Alda Cristina Inácio dos Santos por fazer parte desse projeto como aluna de iniciação científica e por dividir os trabalhos de campo, análise e elaboração de relatórios.

Aos secretários Luciano Ribeiro dos Santos e em especial a Geraldo de Lima por tão bem desempenhar suas funções e por estar sempre à disposição para contribuir para melhoria do curso e desenvolvimento dos alunos.

A equipe do Laboratório de Solos, Água e energia: Cícero Gomes dos Santos, Leila Cruz da Silva, Alda Cristina Inácio dos Santos, Adriane dos Santos Pinto, Valdelane Tenório da Silva, Thelmo de Albuquerque Moraes, Marcelo Eduardo Rodrigues da Silva e José Carlos Martins (Técnico do Laboratório) pela saudável convivência em grupo, companheirismo e aprendizagem.

Aos colegas da turma 2003/2004 José Wilson Nascimento Porto Sobrinho, Antonio Tarciso Ciríaco da Silva e Filipe José Cardoso Tenório pela amizade e pela forma carinhosa com que me receberam.

Aos amigos das turmas 2002/2003 e 2003/2004 com os quais convivi em ambiente de aprendizagem e harmonia em especial a Alonso Pereira de Farias, Eliene de Araújo, Cícero Adriano Vieira dos Santos (Havião), Lígia Helena de Andrade, Andréa Felix Listik, André Luiz Beserra Galvão, Alex Brito Rocha Pereira, Ricardo Manoel dos Santos Silva, Lívia Maria de Oliveira Góes, Esther Maria Gonzaga Amorim, Eve Mary Pedrosa de Oliveira Souza .

Aos amigos da turma 2004/2005 Ângerson de Góes Araújo Casado, Maria Celeste Campello Diniz, Danielle dos Santos Tavares Pereira, Daniela Cavalcante de Medeiros Furtado, Ernestina Severo Rocha, Izael Oliveira Silva, Juliana Paiva Carnaúba, Kirley Michelly Marques da Silva, José Manzil dos Santos, Marcelo Eduardo Rodrigues da Silva, Marcos Nunes de Oliveira, Muciana Aracely da Silva Cunha, Paulo Pedro da Silva, Patrese Winter Barros Calheiros, Sarah Jacqueline Cavalcanti da Silva, Vanderley Borges dos Santos e José Wilson da Silva pela oportunidade de compartilhar o mesmo ambiente de estudo e aprendizagem.

Aos amigos Divaci Aureliano e José Antonio da Silva Madalena pela força e apoio desde os tempos da Residência Universitária.

A minha mãe Ivonete Rosendo que apesar de não ter aprendido a ler fez todos os esforços para que eu alcançasse o conhecimento e me ensinou a trilhar pelos caminhos da moral e da ética.

A Tatiane Luciano Balliano, pelo companheirismo, estímulo, apóio, confiança e por está sempre ao meu lado, principalmente nos momentos mais difíceis.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a materialização desse trabalho.

SUMÁRIO

	Página
Lista de Quadros-----	x
Lista de Figuras-----	xii
RESUMO -----	xiii
ABSTRACT -----	xiv
INTRODUÇÃO -----	1
REVISÃO DE LITERATURA -----	5
1 Cana-de-açúcar -----	5
1.1 Crescimento da parte aérea-----	8
1.2 Aspectos do perfilhamento-----	11
2 Fósforo-----	15
2.1 Importância-----	15
2.2 Dinâmica e formas no solo-----	17
3 Adubação fosfatada na cana-de-açúcar-----	19
4 Fontes de fósforo-----	26
METODOLOGIA -----	33
1 Localização e características da área experimental-----	33
2 Tratamentos avaliados-----	33
3 Delineamento estatístico adotado-----	36
4 Análise de crescimento e desenvolvimento da cultura-----	37
4.1 Necessidades térmicas da cultura-----	37
4.2 Número de plantas-----	39
4.3 Altura de plantas-----	39
4.4 Diâmetro do colmo-----	39
4.5 Área e índice de área foliar-----	39
4.6 Fitomassa da parte aérea das plantas-----	40
5 Rendimento agrícola e industrial-----	40
6 Fósforo disponível no solo-----	40
7 Análise foliar-----	41
8 Dados Climatológicos-----	41

RESULTADOS -----	44
1 População de perfilhos-----	44
2 Altura de plantas-----	45
3 Diâmetro do colmo-----	50
4 Área e índice de área foliar-----	51
5 Fitomassa da parte aérea-----	55
6 Rendimento agrícola e industrial-----	65
7 Fósforo no solo e na folha-----	67
CONCLUSÕES -----	71
REFERÊNCIAS -----	72

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1: Análise química e granulométrica do solo utilizado antes da instalação do experimento -----	35
Quadro 2: Composição das fontes de fósforo e zinco man utilizados no experimento -----	35
Quadro 3: Esquema de distribuição dos fertilizantes usados no experimento -----	36
Quadro 4: População de perfilhos por metro linear nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação -----	44
Quadro 5: Altura de plantas nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação-----	47
Quadro 6: Funções logísticas utilizadas para determinação da altura do colmo da cana-planta em função de dias após o plantio (DAP) em diferentes tratamentos e períodos analisados-----	48
Quadro 7: Diâmetro de colmo nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação -----	50
Quadro 8: Área foliar por planta nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação-----	52
Quadro 9: Índice de área foliar de planta nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação -----	53
Quadro 10: Massa do colmo nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação -----	56
Quadro 11: Funções logísticas utilizadas para determinação da massa do colmo da cana-planta em função de dias após o plantio (DAP) em diferentes tratamentos e períodos analisados -----	58

Quadro 12: Massa da folha nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação-----	61
Quadro 13: Massa do palmito nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação-----	62
Quadro 14: Fitomassa total nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação -----	64
Quadro 15: Rendimento agrícola e industrial nos diferentes tratamentos analisados-----	66
Quadro 16: Fósforo no solo e na folha nos diferentes tratamentos-----	68

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Precipitação e temperatura média decendial para o período de dezembro de 2003 a dezembro de 2004, Usina Guaxuma, Coruripe – Alagoas-----	42
Figura 2: Graus-dia acumulado por decêndio para o período de dezembro de 2003 a dezembro de 2004, Usina Guaxuma, Coruripe – Alagoas-----	42
Figura 3: Extrato do balanço hídrico decendial para o período de dezembro de 2003 a dezembro de 2004, Usina Guaxuma, Coruripe – Alagoas-----	43
Figura 4: Taxa de alongação do colmo (TEC) da cana-planta em diferentes tratamentos e períodos analisados ----	49
Figura 5: Contribuição percentual do diâmetro do colmo nos diferentes tratamentos e períodos analisados-----	51
Figura 6: Índice de área foliar em função de dias após plantio (DAP) nos diferentes tratamentos analisados-----	54
Figura 7: Contribuição percentual da produção de colmo nos diferentes tratamentos e períodos analisados-----	57
Figura 8: Taxa de produção da matéria fresca (TPMF) do colmo da cana-planta em diferentes tratamentos e períodos analisados-----	59
Figura 9: Taxa de crescimento relativo (TCR) da matéria fresca do colmo da cana-planta em diferentes tratamentos e períodos analisados-----	60

RESUMO

O fósforo fornecido para as culturas está presente nos fertilizantes sob diferentes formas químicas, as quais apresentam diferentes comportamentos agrônômicos, exercendo influência no crescimento e desenvolvimento da cultura. Para avaliar a influência de fontes de fósforo e a redução da dose total desse nutriente no crescimento e produção de cana-de-açúcar através da análise de crescimento foi conduzido um experimento de campo no município de Coruripe – AL, com 10 tratamentos: T1 (Testemunha), T2 (NK), T3 (super simples), T4 (super triplo), T5 (Fosmag), T6 (Foscana), T7 (MAP), T8 (Fórmula 06-26-24), T9 (Composto - torta de filtro, bagaço e cinzas) e T10 (super simples - parcelado) em blocos ao acaso com quatro repetições. A variedade utilizada foi a RB75126. Utilizaram-se como indicadores de crescimento os seguintes índices biométricos: população de perfilhos, altura de plantas, diâmetro do colmo, área foliar e índice de área foliar, fitomassa da parte aérea, taxa de alongação do colmo, taxa de produção de matéria fresca do colmo e taxa de crescimento relativo. Aos quatro e oito meses coletou-se material para análise foliar. Aos oito meses coletou-se amostra de solo para determinação do P disponível. O rendimento agrícola e industrial foi avaliado na colheita aos doze meses. As fontes de fósforo exerceram influência na altura de plantas aos dez meses, massa de folhas aos dois, seis, dez e doze meses, nos teores foliares aos quatro meses e na produtividade final. As maiores taxas de alongação do colmo e produção de matéria fresca do colmo ocorreram entre 120 e 180 dias após o plantio, período que apresentou os maiores índices de área foliar e maior disponibilidade hídrica. Os níveis de fósforo disponíveis no solo foram suficientes para proporcionar produtividades médias superiores a 80 t ha^{-1} . O composto mostrou-se eficiente no suprimento total de P para a cana-de-açúcar e na disponibilidade do nutriente no solo. A redução da dose total de fósforo não comprometeu o desenvolvimento e a produção da cana-planta. O super triplo foi superior ao super simples, Fosmag e a Fórmula no rendimento agrícola e industrial e ao composto na concentração foliar de fósforo. Para o suprimento do fósforo pode-se fazer uso de qualquer uma das fontes estudadas, devendo-se considerar o preço, disponibilidade do produto no mercado, facilidade de aplicação e efeitos secundários.

Palavras-chave: saccharum spp, cana-planta, adubação fosfatada.

ABSTRACT

The phosphorus supplied to the cultures is present in fertilizers under different chemical forms and presents different behaviors in the soil, exerting influence in the growth and development of the plants. To evaluate the influence of phosphorus sources and the reduction of the total dosage of this nutrient to the growth and production of sugar cane was carried out a field experiment in Coruripe – Alagoas, with 10 fertilizers treatments: T1 (control), T2 (NK), T3 (super simple phosphate), T4 (super triple phosphate), T5 (Fosmag), T6 (Foscana), T7 (MAP), T8 (NPK 06-26-24), T9 (Compost – sugar cane filtrate, sugar cane residue and ash) e T10 (super simple phosphate - parceled). The experiment was design in random blocks with four replicates and it was used the sugar cane variety RB75126. The following biometrics indexes had been used for growth estimation: shoots number, height of plants, diameter of culms, leaf area, leaf area index, biomass of the aerial part, rate of culms growth, rate of biomass production of the culms and relative rate growth. After four and eight months, were collected leaf samples for P analysis. After eight months, were collected soil samples to evaluate the P available. The field and industrial production was evaluated after twelve months. The P sources showed to influence the height of plants after ten months, the leaf biomass after two months, the leaf contents after four months and the final productivity. The major growth rate of the culms and their fresh matter production occurred between 120 and 180 days after the plantation, just when they presented the biggest leaf area index and water availability. The available P levels in the soil were in a adequate amount to provide an yield higher 80 t ha⁻¹. The compost added proved to be sufficient to supply the total amount of P required by the sugar cane in the soil. The reduction in the total P dosage did not jeopardize both the development and the yield of the sugar cane. The super triple phosphate was superior to super simple phosphate, Fosmag and NPK to improve the field and industrial income. It also presented higher levels of P in the leaves as compared to the compost. All sources of P used in this work were appropriate to supply the sugar cane RB75126 requirements. Therefore, the price, the availability of the P source and ease of its application should also be considered.

Key-words: *saccharum* spp, plant-cane, phosphate fertilization.

INTRODUÇÃO

A grande importância da cana-de-açúcar no Brasil é devido à contribuição econômica, social e ambiental que desempenha para o país, caracterizando-se como a segunda cultura mais importante para o agronegócio brasileiro. Com aproximadamente 370 unidades sucroalcooleiras, gera emprego para cerca de 1,2 milhões de pessoas (VITTI e MAZZA, 2002), movimentando no Brasil cerca de 15,7 bilhões de reais por ano, contribuindo com 2,5% do Produto Interno Bruto do país (BRASIL, 2004).

Atualmente o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de açúcar e álcool, com uma área cultivada de cerca de 6,5 milhões de hectares, produzindo mais de 420 milhões de toneladas de cana por ano, com produtividade média da ordem de 73 t ha^{-1} , destacando-se como principais estados produtores São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Alagoas (IBGE, 2006). Em Alagoas é a cultura de maior expressão econômica, estando presente em mais de 50 dos seus 102 municípios, sendo responsável por grande parte da geração de emprego e renda do Estado. Ocupando atualmente o posto de maior produtor do Nordeste e quarto do país, destaca-se por apresentar alto nível tecnológico no processo de produção de açúcar e álcool, possuindo uma área cultivada de cerca de 400 mil hectares, produção da ordem de 25 milhões de toneladas e produtividade média inferior a 60 t ha^{-1} , apresentando áreas com produtividades superiores a 100 t ha^{-1} .

A cana-de-açúcar concentra-se, principalmente em Latossolos e Argissolos Amarelo, distribuídos na Zona da Mata e nos Tabuleiros Costeiros do Estado, caracterizados por serem ácidos e apresentarem baixa capacidade de troca de cátions e soma de bases, baixo teor de ferro e presença na fração argila de caulinita e goethita (JACOMINE, 2001), com alta capacidade de adsorção de fosfato, deixando baixos teores disponíveis para as plantas, exigindo grandes volumes do nutriente em adubações para a obtenção e manutenção de altas produtividades. Devido a isso é comum à aplicação de altas doses de fosfato podendo chegar a dosagem de 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Esta recomendação é a mais utilizada nas regiões canavieiras, onde se aplica todo o fósforo recomendado no fundo do sulco de plantio, visando atender as necessidades da cana-planta e das soqueiras subseqüentes (ORLANDO FILHO et al., 1994).

O fósforo fornecido para as plantas está presente nos fertilizantes sob diferentes formas químicas, as quais apresentam diferentes comportamentos agrônômicos, exercendo influência no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar. Pesquisas de campo mostraram que a cultura apresentou melhor reação com os fosfatos solúveis, com retornos econômicos bem superiores aos fosfatos de baixa solubilidade (ALBUQUERQUE et al., 1980; ALBUQUERQUE e MARINHO, 1980; LIMA et al., 1982; KORNDORFER et al., 1989; WEBER et al., 1993). Ao contrário das fontes solúveis, as de baixa solubilidade não conseguem manter níveis adequados de fósforo para as plantas em virtude de sua baixa velocidade inicial de dissolução (GOEDERT, 1983; GOEDERT e LOBATO, 1984), o que acarretaria em prejuízo para o rendimento da cultura.

Por outro lado, fontes orgânicas como o composto de usina (mistura de bagaço, torta de filtro e cinzas) poderá substituir todo fósforo requerido pela cana-de-açúcar com dosagem da ordem de 20 t ha^{-1} (massa fresca), podendo proporcionar alterações significativas nos

atributos químicos do solo aumentando a disponibilidade de cálcio, nitrogênio e fósforo e os teores de carbono orgânico do mesmo, contribuindo ainda para a melhoria física do solo, aumentando a sua capacidade de retenção de água (KORNDORFER, 2004). O volume desse material produzido por safra em uma única unidade industrial pode ser suficiente para se plantar de 1000 a 1500 ha. Admitindo-se um nível de adubação de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 , isso equivaleria a uma redução em torno de 120 a 180 t de P_2O_5 por ano; além da economia com o nitrogênio da cana-planta, pois a dosagem de 20 t de composto por hectare fornece uma quantidade superior a 60 kg ha^{-1} desse nutriente.

Face ao significativo efeito residual a resposta da cana-de-açúcar ao fósforo em solos cultivados e adubados continuamente com cana-de-açúcar é baixa ou não existe. As quantidades aplicadas visam atender as quantidades exportadas pela cultura, verificando-se déficit entre as quantidades aplicadas e as exportadas pela cultura e retida pelo solo (DEMATTÊ, 2004). Nesse sentido, o fracionamento do fósforo em socarias tem sido uma alternativa utilizada por algumas Empresas na razão de 30 a 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Acredita-se que a aplicação parcelada do P juntamente com a operação tríplice (tratos culturais, adubação e escarificação) que ocorre nas socarias favorecerá um maior desenvolvimento do sistema radicular em profundidade e lateral (aplicação ao lado da linha de cana e em profundidade), maior área de aplicação do P no solo, maior disponibilidade de P para as plantas com uma maior eficiência do P aplicado e de outros nutrientes, principalmente do nitrogênio; redução do antagonismo entre o fósforo e zinco, menor desembolso aplicado com adubação fosfatada por ocasião do plantio e maior estabilidade na produtividade das socarias.

Nos trabalhos realizados com cana-de-açúcar pela Seção de Fertilidade de Solos do IAA/Planalsucar nas décadas de 70 e 80 eram considerados apenas dados de produtividades finais sem nenhum detalhamento do crescimento e desenvolvimento da cultura. Nesse

sentido a análise de crescimento de planta torna-se uma ferramenta importante porque se fundamenta na medição seqüencial do acúmulo de matéria orgânica nas diferentes fases da cultura (LUCCHESI, 1984). Desta forma, considerando-se a importância da adubação fosfatada para a cana-de-açúcar e a escassez de informações sobre seu crescimento, faz-se necessário o uso da análise de crescimento para avaliar os efeitos do uso de fontes de fósforo e da redução da dose total do nutriente durante o ciclo da planta, a fim de fornecer informações necessárias para um manejo mais eficiente dessa adubação.

Este trabalho teve como objetivo verificar a influência de fontes de fósforo e da redução da dose total do nutriente no crescimento e produção final da cana-planta em áreas sob cultivo comercial no município de Coruripe, Estado de Alagoas.

1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), pertence à família *Gramineae* (Poaceae) e provavelmente tenha sido originária da região da Nova Guiné, Índia e China. Ocupa lugar de destaque por sua importância econômica, social e ambiental, sendo cultivada comercialmente em mais de 70 países e territórios, localizados entre os paralelos 35° N e 35° S (LUCCHESI, 2001), apresentando ampla faixa de adaptação.

O processo produtivo da cana-de-açúcar visa três objetivos: alta produção de fitomassa por unidade de área, riqueza em açúcar dos colmos industrializáveis e manutenção ao longo do tempo da produtividade e qualidade da matéria-prima obtida no sistema produtivo (CÂMARA, 1993). Para tanto a máxima produtividade fundamenta-se na perfeita integração dos fatores genéticos da planta, nas condições de clima e solo do local considerado e no manejo antrópico (DIAS et al., 1999).

De acordo com MAGALHÃES (1987), o número de colmos por planta, altura e diâmetro do colmo, comprimento e largura das folhas e arquitetura da parte aérea são características governadas geneticamente variando entre variedade, sendo largamente influenciada pelos fatores climáticos, edáficos e práticas de manejo empregadas. WILLADINO et al. (1988) observaram que houve diferença entre variedades na absorção de

P, indicando que além dos teores encontrados no solo, a absorção desse nutriente é influenciada por características genéticas. Verificaram que variedades que apresentaram maior comprimento do sistema radicular foram as que mais absorveram P. O maior volume de raízes permite um maior aproveitamento da reserva hídrica do solo e conseqüentemente do fósforo, visto que a concentração do elemento na solução do solo é baixa e que o mesmo movimenta-se por difusão até as raízes.

Dentre os fatores climáticos para a produção de cana-de-açúcar MAGALHÃES (1987), destaca que a temperatura é, provavelmente o de maior importância. Devido à necessidade de alta produção de sacarose, a planta precisa encontrar condições de temperatura e umidade adequadas para permitir o desenvolvimento suficiente durante a fase vegetativa, seguida de um período com restrição hídrica e/ou térmica para forçar o repouso vegetativo e o enriquecimento em sacarose na época do corte (ALFONSI et al., 1987). A produção de cana-de-açúcar aumenta quando a evapotranspiração real se aproxima da potencial, ou quando a deficiência hídrica anual é diminuída em conseqüência do aumento, ou melhor distribuição das precipitações e, em menor proporção, pela alta capacidade de retenção de umidade dos solos (RIBEIRO et al., 1984; DIAS et al., 1999).

A influência do solo no rendimento agrícola da cana-de-açúcar é bastante evidente. Para a região produtora de São Paulo, DIAS et al. (1999), verificaram um desenvolvimento bastante diferenciado quando se considerou a precipitação, déficit hídrico, o solo e as variedades. Verificaram que para precipitações e déficits hídricos semelhantes, obtiveram-se produtividades de 171 t ha⁻¹ no Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e 85 t ha⁻¹ para o Neossolo Quartzarênico álico. O déficit hídrico foi bastante elevado, em torno de 700 mm. Atribuíram a maior produtividade ao fato da condição extremamente favorável em V% e SB elevadas no horizonte B do Argissolo em detrimento do Neossolo. Os maiores rendimentos estiveram relacionados com os atributos

químicos do horizonte B, principalmente com o cálcio. RIBEIRO et al. (1984), também verificaram que a CTC e, principalmente, a soma de bases são as características que melhor indicam o nível de fertilidade natural dos solos. A soma de bases em profundidade, principalmente o cálcio e a ausência de alumínio, promove um melhor desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, permitirá a planta fazer um melhor aproveitamento da reserva hídrica e química do solo.

Nas últimas décadas tem havido aumentos significativos na produtividade da cana-de-açúcar, decorrentes do uso de cultivares mais produtivas, desenvolvidas pelos programas de melhoramento, manejo da irrigação e do solo, principalmente através de adubações mais equilibradas. A expansão da cultura se deu impulsionada pelo Programa Nacional do Álcool e se disseminou por todos os estados brasileiros, tendo sido estabelecida sobre os mais diferentes tipos de solos, algumas vezes com características bastante distintas dos padrões ideais, prejudicando gradativamente a economicidade de sua produção agroindustrial à medida que se afasta das ideais (KOFFLER e DONZELI, 1987). Desta forma, os ganhos de produtividade vão dependendo cada vez mais de alto aporte de fertilizantes. Nas condições tropicais a maior preocupação é com a adubação fosfatada em virtude da elevada acidez, pobreza natural de fósforo e da alta capacidade de adsorção dos seus solos.

Assim, apesar da cultura exigir quantidades relativamente baixas, doses da ordem de 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 são utilizadas (ORLANDO FILHO et al., 1994) em virtude do efeito dreno apresentado por esses solos, competindo com a planta pelo P aplicado via fertilizante (NOVAIS e SMITH, 1999). Por essa razão, o percentual de aproveitamento do fósforo aplicado nas adubações de plantio é baixo, variando entre 5 e 20% (MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985; ALCARDE e PROCHNOW, 2004), embora em cana-planta tenha sido observado aproveitamento de 35% do P aplicado (KORNDORFER e ALCARDE, 1992b). Desta forma,

essa adubação deve ser feita com base no nível de produtividade desejada, sendo a dosagem, recomendada em função do estoque de nutriente do solo e da quantidade exportada pela cultura (ZAMBELLO JÚNIOR e ORLANDO FILHO, 1981), levando-se em consideração as perdas do nutriente (VITTI e MAZZA, 2002; DEMATTÊ, 2004).

1.1 Crescimento da parte aérea

O crescimento da parte aérea das plantas é caracterizado pelo índice de área foliar e pelo acúmulo de matéria seca. A curva de crescimento da cana-de-açúcar em função do tempo apresenta como característica a forma sigmóide (MACHADO, 1987; ALVAREZ e CASTRO, 1999; GAVA et al., 2001). Segundo MACHADO et al. (1982) pode ser dividida em três fases: fase inicial, em que o crescimento é lento (até 200 dias após o plantio); fase de crescimento rápido (entre 200 e 400 dias após o plantio), onde 75% de toda matéria seca é acumulada; fase final (entre 400 e 500 dias após o plantio) em que o crescimento é novamente lento, acumulando 11% de toda fitomassa. KORNDORFER e ALCARDE (1992b) observaram que aos 195 dias de idade, a cana-de-açúcar produziu uma quantidade de matéria seca equivalente a mais de 50% do total acumulado até a colheita.

O aumento de matéria seca pela folha apresentou comportamento semelhante ao anterior sendo também dividido em três fases: crescimento lento (até 100 dias após o plantio); crescimento rápido (entre 100 e 250 dias), correspondendo a 75% do máximo atingido e uma fase final de crescimento lento, iniciando-se aos 250 dias, estabilizando-se aos 300 dias após o plantio (MACHADO et al., 1982). Afirmam que essas fases são semelhantes para diversas variedades de cana-de-açúcar, variando apenas a duração de cada fase, as quais dependem das condições climáticas, sendo que em condições adversas de chuva e/ou

temperatura que se seguem, forçam a cultura a entrar em repouso preparatório para o início das chuvas.

As folhas constituem-se no órgão assimilador da cana-de-açúcar, e surgem a partir do meristema apical de cada colmo (CASTRO, 2000b). O número de folhas por colmo é pequeno em plantas jovens e aumenta à medida que o colmo cresce, atingindo um número máximo de 10 ou mais folhas por colmo, dependendo da variedade e condições de crescimento, coincidindo com o período de maior desenvolvimento da cultura (MACHADO et al., 1982; SUGUITANI, 2001). Para LEME et al. (1984), a produção da cultura da cana-de-açúcar está diretamente relacionada ao desenvolvimento da área foliar, altura e quantidade de colmos por unidade de área.

O desenvolvimento das folhas determina a área de interceptação da radiação solar e a dimensão do sistema fotossintetizante, ou seja, quanto mais rapidamente crescem as folhas e maior for o período em que permanecerem ativas, maior deverá ser a produtividade da cultura (MACHADO, 1987) e, conseqüentemente, apresentará maior índice de área foliar. O índice de área foliar (IAF), determina a relação entre a área foliar da planta e a área de solo disponível à mesma (LEME et al., 1984; LUCCHESI, 1987; PEREIRA e MACHADO, 1987), geralmente expresso em $m^2 m^{-2}$. Para os diferentes estádios fenológicos das culturas há um IAF correspondente. Um aumento no IAF proporciona aumento de produção de biomassa, mas devido ao auto-sombreamento das folhas, a taxa fotossintética média por unidade de área foliar decresce, pois à medida que o IAF aumenta, as folhas inferiores são mais sombreadas e, conseqüentemente, a taxa fotossintética média de toda área foliar é diminuída (LUCCHESI, 1987).

O índice de área foliar é um ótimo indicativo de crescimento e produtividade da cana-de-açúcar. As curvas de crescimento do IAF da cultura têm comportamento bastante parecido, apresentando uma fase inicial de crescimento lento, seguida de uma fase de crescimento rápido,

outra fase de crescimento lento ou estabilização e, finalmente, uma fase final de decrescimento (LEME et al., 1984; TERUEL, 1995; TOLEDO FILHO, 2001; SILVA et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2004), sendo os valores absolutos obtidos característicos de cada cultivar, condições ambientais local e sistema de manejo adotado. Como a fotossíntese depende da área foliar, o rendimento da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa (PEREIRA e MACHADO, 1987).

SILVA et al. (2002), avaliando modelos de crescimento de cana-de-açúcar observaram vigor vegetativo mais elevado com IAF atingindo 7,5 a 9,5. Observaram que o IAF da cana-de-açúcar apresentou um crescimento lento até 50 dias após o plantio, rápido no período de 50 a 100 dias, chegando a um ponto máximo entre 100 e 110 dias, estabilização até 130 a 140 dias após o plantio e uma fase final de decrescimento. No modelo analisado, notou-se também decaimento mais rápido do IAF até atingir 4, tornando-se depois menos acentuado.

Valores máximos de 3,7 foram encontrados por MACHADO et al. (1982), não decrescendo mais a partir deste ponto. Em cana soca e ressoca TOLEDO FILHO (2001) encontrou valores máximos da ordem de 8,75. Estudando o crescimento e desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar OLIVEIRA et al. (2004), encontraram valores máximos variando entre 4 e 6. De acordo com MACHADO (1987), para essa cultura o IAF de aproximadamente 4, é suficiente para interceptar 95% da radiação solar incidente. Esses valores variados de IAF refletem a heterogeneidade entre variedades, condições edafoclimáticas e de manejo próprias de cada local.

CHANG (1968), afirma que o índice de área foliar ótimo não é necessariamente o máximo índice registrado, mas aquele no qual as folhas inferiores fotossinteticamente ativas sejam mantidas ligeiramente acima do ponto de compensação. Por outro lado, se o IAF for menor que o valor ótimo, parte da radiação solar será desperdiçada, e a

produtividade cairá abaixo da potencial (TERUEL, 1995). A variação sazonal de IAF tem um peso fundamental na decisão da data de plantio. É ideal que o IAF máximo ocorra quando as condições climáticas forem mais favoráveis à fotossíntese, ou seja, na época de maior disponibilidade de radiação solar (CHANG, 1968) e, também, que haja disponibilidade de nutrientes e água, principalmente em regiões onde o regime hídrico é limitante para a produção.

LEME et al (1984), estimando a área foliar de cana-de-açúcar em três ciclos consecutivos, observaram que os maiores índices de área foliar durante o ciclo da cultura, corresponderam a maior produção final de colmos e açúcar por hectare e que o tratamento que não recebeu irrigação apresentou índices de área foliar inferiores aos demais tratamentos. Os resultados obtidos por esses autores mostraram uma produção média de fitomassa do colmo equivalente a 69,8 t ha⁻¹, no tratamento sem irrigação.

1.2 Aspectos do Perfilhamento

Perfilhamento é o processo de emissão de colmos por uma mesma planta, os quais por sua vez recebem a denominação de perfilhos e ocorrem a partir da porção subterrânea do colmo primário, variando de acordo com a variedade, condições ambientais e nível de manejo adotado (SUGUITANI, 2001). Das muitas variáveis envolvidas na produção de sacarose da cana-de-açúcar, o fator provavelmente mais significativamente relacionado com o processo é o número de colmos por unidade de área na colheita (TOKESHI, 1986; KORNDORFER et al., 1989; CÂMARA, 1993).

De acordo com CÂMARA (1993), a fenologia da cana-de-açúcar apresenta quatro estádios fenológicos: 1º) Brotação e emergência dos colmos (colmos primários); 2º) Perfilhamento e estabelecimento da cultura (da emergência dos brotos ao final do perfilhamento); 3º) Período

de grande crescimento (do final do perfilhamento ao início da acumulação de sacarose); 4º) Maturação (intensa acumulação de sacarose no colmo). Garantidas as condições ideais para os acontecimentos desses estádios, o perfilhamento assume papel principal no processo produtivo da cana-de-açúcar. Segundo CÂMARA (1993), é o 2º estágio fenológico (perfilhamento) que permitirá o estabelecimento da cultura em condições de campo e fornecerá às touceiras o número de colmos adequados à produção.

O processo de perfilhamento é regulado pelo hormônio de crescimento auxina, o qual exerce dupla função – alongamento do colmo e inibição do desenvolvimento de gemas laterais. Com o desenvolvimento da brotação, as auxinas sintetizadas na gema apical, com transporte polar basípeto, induzem a alongação dos tecidos (entrenós), podendo inibir a emergência das gemas laterais através da dominância apical – processo pelo qual o complexo de hormônios no ápice promoveria um carregamento preferencial de carboidratos para essa região em detrimento às gemas laterais (CÂMARA, 1993; CASTRO, 2000a).

Condições fotoperiódicas, que aumentam a síntese de auxina endógena, podem diminuir o perfilhamento. Alta luminosidade pode promover a foto-oxidação de auxina do ápice, reduzindo o alongamento e aumentando o número de perfilhos. Por outro lado, condições de baixa luminosidade reduzem o perfilhamento, agravando provavelmente o efeito da competição (CÂMARA, 1993; CASTRO 2000a).

A capacidade de perfilhamento da cana-de-açúcar é uma característica genética e, portanto varia com a variedade, com as condições ambientais e de manejo. Segundo CÂMARA (1993), o perfilhamento intensivo da cana-de-açúcar é uma característica varietal desejável devido aos seguintes benefícios: a) maior proteção ao solo; b) maior sombreamento; c) redução do período de matocompetição; d)

redução de custos; e) maior nível de tolerância ao carvão e outras doenças e pragas que interferem no número de colmos industrializáveis.

De acordo com CASTRO (2000a), o perfilhamento pode ocorrer até quatro meses após o plantio. Ocorre uma fase de perfilhamento intenso das touceiras, quando atingem o máximo da produção de novos perfilhos, chegando algumas variedades a produzir 20 ou mais perfilhos por touceira. A partir do ponto de máximo perfilhamento, a competição entre perfilhos pelos fatores de crescimento (luz, espaço, água e nutrientes) torna-se elevada de maneira que se constata a redução do perfilhamento através da diminuição e paralisação desse processo, além da morte dos perfilhos mais jovens. Os colmos que sobreviveram a forte competição da fase de perfilhamento intenso continuam seus processos de crescimento e desenvolvimento, acumulando cada vez mais sacarose em seus internódios, à medida que estes vão amadurecendo (CÂMARA, 1993).

Em condições de campo MACHADO et al. (1982), ROCHA (1984) e PRADO (1988), observaram que durante o ciclo da cana-de-açúcar ocorre queda no número de colmos com o máximo obtido nos meses de setembro, outubro e novembro, apresentando queda brusca em janeiro, continuando em ritmo menor até a colheita. Expressivo perfilhamento foi encontrado por ORLANDO FILHO e RODELLA (1995) já no segundo mês após o plantio, atingindo o máximo aos quatro meses. Esses autores verificaram queda na população de colmos até os oito meses, sendo superior a encontrada na colheita, indicando que os processos competitivos ainda atuam nesse intervalo. Dados de TOKESHI (1986) mostram que o máximo de perfilhos por metro linear ocorre entre o quarto e o sexto mês após o plantio com número superior a 30 em algumas variedades. Estudando o crescimento e desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar, OLIVEIRA et al. (2004), observaram máximo perfilhamento ocorrido entre o sexto e oitavo mês após o plantio.

A formação e crescimento dos perfilhos, diâmetro e número de entrenós são favorecidos pelo aumento da temperatura até o máximo de 30°C, sendo considerada depois da luz o fator climático mais importante para o perfilhamento (CÂMARA, 1993). Temperaturas abaixo de 20°C podem promover a paralisação do crescimento dos perfilhos. De acordo com CÂMARA (1993), para absorção de nutrientes a temperatura de 27°C é considerada ótima, sendo que aos 19°C a absorção de fósforo é reduzida a um terço e a de nitrogênio a metade.

Essas observações são importantes uma vez que a disponibilidade de nitrogênio e fósforo para a planta promove melhor perfilhamento da cana-de-açúcar (MALAVOLTA et al., 1967; CLEMENTS, 1980; CESAR et al., 1987; CASTRO, 2000a) e, principalmente, o fósforo por promover o desenvolvimento de raízes para absorção de água e nutrientes, sendo importante considerar que o número de colmo por metro linear apresenta relação direta com o aumento da produção final de açúcar (TOKESHI, 1986; KORNDORFER et al., 1989; CÂMARA, 1993).

Um outro fator a ser considerado é a condição de umidade do solo. O problema mais comum, principalmente na região Nordeste é a ocorrência de períodos de déficit hídrico, ocorrendo de setembro a março em Alagoas (TOLEDO FILHO, 2001). Relacionando o rendimento da cana-de-açúcar com as características das terras da microrregião da Mata Norte de Pernambuco, RIBEIRO et al. (1984), verificaram que a deficiência hídrica foi o fator limitante de maior influência na produtividade da cultura, contribuindo com cerca de 44% da variação do rendimento na região. Isso se deve, entre outros fatores, a menor absorção de P pelas plantas devido à difusão ser dificultada pela baixa umidade do solo. O efeito depressivo da menor disponibilidade de água no solo sobre a difusão de P será mais drástica nos solos mais argilosos e mais intemperizados, com grande capacidade de retenção do elemento (VILLANI et al., 1993).

Em regiões sob déficit hídrico, a data de plantio também interfere na produtividade final da cultura. Plantios tardios, em função do menor desenvolvimento vegetativo, expõem a cultura a uma menor perda evapotranspirativa, visto que, em função do seu pequeno porte não desenvolve colmos ao longo dos meses secos do ano. Por outro lado, o estabelecimento precoce da cultura permite que ela desenvolva elevados índices de área foliar, iniciando o desenvolvimento de colmos (DIAS et al., 1999). Quanto mais prolongado for o período de estiagem, maior será a formação de nós e entrenós muito curtos e próximos entre si, diminuindo drasticamente o volume de parênquima para armazenamento de sacarose, além do que esses colmos mais fibrosos tornam-se facilmente quebradiços e passíveis de acamar com os ventos (CÂMARA, 1993), inviabilizando a colheita mecanizada, além de elevar os custos da colheita manual pelo baixo rendimento por homem/dia.

2 Fósforo

2.1 Importância

O fósforo é considerado como o elemento mais limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo um nutriente essencial para o seu metabolismo, principalmente para a fase de reprodução e fertilização (GOEDERT e SOUSA, 1984). Nas plantas, o fósforo faz parte da estrutura de ésteres de carboidratos, fosfolipídeos, coenzimas e ácidos nucleicos, auxiliando nos processos de absorção iônica, fotossíntese, respiração, sínteses, multiplicação e diferenciação celular, armazenamento e transferência de energia, transferência de gene, reprodução e na fixação biológica de nitrogênio (MALAVOLTA et al., 1997; LOPES, 1998; CASTRO, 2000a; KORNDORFER, 2004; STAUFFER e SULEWSKI, 2004).

Por promover um bom desenvolvimento do sistema radicular o fósforo permite aumentar a eficiência das plantas no uso da água, promovendo menor perda, absorção e a utilização de outros nutrientes, além de servir como mecanismo de defesa da planta aos estresses provocados por doenças e fatores climáticos (LOPES, 1998; STAUFFER e SULEWSKI, 2004).

Pelo fato de está tão fortemente ligado aos processos metabólicos da planta, o fósforo da mesma forma que o nitrogênio, é móvel nos tecidos da planta, ficando concentrado nas regiões de crescimento mais ativo. Desta forma, o conteúdo de fósforo em folhas secas é consideravelmente menor do que o encontrado em folhas verdes, o que caracteriza a translocação deste elemento de tecidos maduros para os mais jovens (MALAVOLTA et al., 1997; LOPES, 1998; STAUFFER e SULEWSKI, 2004).

De acordo com MEYER (1980), embora o fósforo seja encontrado em menores quantidades em colmos de cana-de-açúcar (13 kg ha^{-1}) quando comparado com o nitrogênio (93 kg ha^{-1}) e o potássio (98 kg ha^{-1}), exerce função chave no metabolismo da planta, particularmente na formação de proteínas, no processo de divisão celular e na fotossíntese. Desempenha papel importante no perfilhamento, desenvolvimento de raízes e internódios mais desenvolvidos (MALAVOLTA, 1967; CLEMENTS, 1980; CESAR et al., 1987), formação de sacarose (KORNDORFER, 2004) e, conseqüentemente, no maior rendimento e produtividade final da cultura, sendo que o maior conteúdo do elemento ocorre nos centros de maior atividade, como a região de crescimento e assimilação de carbono (MEYER, 1980; CESNIK e MIOCQUE, 2004).

A falta desse nutriente causa distúrbios severos e imediatos no metabolismo e desenvolvimento das plantas (CESAR et al., 1987; LOPES, 1998; STAUFFER e SULEWSKI, 2004). Os sintomas na cana-de-açúcar aparecem inicialmente nas folhas mais velhas, apresentando-se mais finas, estreitas, curtas e arroxeadas. Ocorre também redução na

brotação e no perfilhamento, na altura das plantas, e no diâmetro do colmo, além do encurtamento dos entrenós; raízes curtas e atrofiadas (HAAG et al., 1987; ORLANDO FILHO, 1994; KORNDORFER, 2004), principalmente as secundárias, acarretando redução na produtividade devido ao inadequado suprimento de água e nutrientes (MEYER, 1980).

2.2 Dinâmica e formas no solo

O fósforo é o nutriente de planta que tem merecido maior estudo no que diz respeito à fertilidade do solo e seu papel na agricultura. Pode ser considerado como um elemento problema para os solos das regiões tropicais, nos quais apresenta um comportamento bastante contraditório. É relativamente abundante na natureza, entre os macronutrientes é o exigido em quantidades relativamente pequenas pelas plantas, perde-se muito pouco por lixiviação, e na maioria dos casos, os solos tropicais se apresentam como muito pobres ou deficientes em fósforo disponível para as plantas. No Cerrado, estudos têm confirmado que 65% dos solos são fortemente deficientes em P e 26,6% o são ainda medianamente (ROCHE et al., 1980), sendo constante o uso de grandes quantidades de fertilizantes fosfatados em adubações para proporcionar maiores produtividades.

Sua baixa disponibilidade nos solos cultivados é uma das maiores limitações aos ganhos em produtividade das culturas, especialmente em Latossolos do Brasil (GOEDERT, 1985). Embora muito pouco lixiviado, o P aplicado no solo sofre reações químicas com a fase mineral, resultando em formas pouco disponíveis às culturas. Como regra geral, as culturas sempre respondem a adubações fosfatadas de plantio, e as quantidades de P exportadas do campo com as colheitas são pequenas em relação ao P aplicado na seqüência de cultivos.

No solo, a mobilidade do P é mínima e, conseqüentemente, suas perdas por lixiviação são desprezíveis. Sua baixa mobilidade causa um

grande acúmulo do nutriente no solo ao longo de alguns anos de cultivo como uma consequência do residual ou do que sobra do aplicado no ano anterior e não utilizado pela planta. O P apresenta reações típicas de adsorção e precipitação com minerais da fração argila do solo, principalmente (adsorção) e com íons na solução do solo (precipitação), que levam à sua imobilidade e conseqüentemente ao seu característico efeito residual. KAMPRATH (1977) considera que a fixação do fósforo adicionado sob a forma de fertilizantes, nos solos altamente intemperizados dos trópicos úmidos, ocorre predominantemente por reações com compostos de ferro e alumínio.

Encontra-se desigualmente distribuído em cinco compartimentos: precipitado com Al, Fe ou Ca (P precipitado), adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila (P adsorvido), em solução (P solução), na forma orgânica (P orgânica) ou fazendo parte dos compostos marcadamente insolúveis (P mineralogicamente estável). Esses compartimentos exibem diferentes capacidades de “fixação” (retenção) e, portanto, de liberação do P como nutriente disponível às raízes das plantas na solução do solo. Em quaisquer deles, em função do pH, o fósforo ocorre nas formas iônicas H_2PO_4^- (fosfato diácido), HPO_4^{2-} (fosfato monoácido) ou PO_4^{3-} (fosfato) (KAMPRATH, 1977; VOLKWEISS e RAIJ, 1977; RAIJ, 1991). A disponibilidade máxima do fósforo acontece quando o pH está ao redor de 6,5. Valores mais baixos de pH favorecem a formação de fosfatos de Fe e de Al de baixa solubilidade, enquanto a sua elevação conduz à precipitação do P (solução) como fosfatos de cálcio de menor disponibilidade. Além do pH, a importância relativa dos compostos no solo é condicionada pelo tipo e quantidade de minerais existentes na fração argila (MALAVOTA, 1980).

O “P solução” ou (fator intensidade) representa o P dissolvido (H_2PO_4^-) e prontamente disponível como nutriente às plantas, em concentrações muito baixas (NOVAIS e SMITH, 1999). Da solução, os ânions H_2PO_4^- movimentam-se por difusão até a superfície das raízes

onde são absorvidos, sendo esse processo dependente entre outros fatores do conteúdo de água no solo (SILVEIRA e MOREIRA, 1990; VILLANI et al., 1993; LOPES, 1998). Há, Portanto, uma diminuição do “P solução”, que é compensada com a adubação fosfatada ou pela liberação das formas “P precipitado” e “P adsorvido” (VOLKSWEISS e RAIJ, 1977; NOVAIS e SMITH, 1999). Estas formas capazes de manter um equilíbrio mais ou menos rápido de ressuprimento do “P solução”, foram denominadas “P lábil” (fator quantidade) por LARSEN (1967). O restante do P entra em equilíbrio com “P solução” muito lentamente, sendo chamada de “P não lábil” (NOVAIS e SMITH, 1999). CAMPELLO et al. (1994) verificaram que a reversibilidade de fósforo não-lábil para lábil em solos com diferentes características foi muito pequena.

O P da matéria orgânica de solos cultivados que necessita ser mineralizado através da decomposição microbiana é considerado como não lábil (VOLKWEISS e RAIJ, 1977). Entretanto, a contribuição do “P orgânico” como forma não lábil vai depender do teor de matéria orgânica e, mais importante, da relação C/P da matéria orgânica.

3 Adubação fosfatada na cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar ocupa áreas deficientes em P, tendo na adubação fosfatada o suporte para obtenção e manutenção de altas produtividades. Devido a pouca mobilidade no solo, o grande poder residual e de fixação, aliado a não perda por lixiviação, o fósforo vem desde os primeiros trabalhos feitos pelo Instituto Agrônomo de Campinas, sendo aplicado no sulco de plantio da cana-de-açúcar com excelentes resultados, pois nessa posição o elemento se encontra mais próximo da maior concentração de raízes, importantes para o início do desenvolvimento e estabelecimento da cultura (ESPIRONELO, 1989), sendo verificado que aos 6,5 meses de idade a cana-planta absorveu de

82 a 87% do total de P acumulado durante todo ciclo da cultura (KORNDORFER e ALCARDE, 1992b).

ZAMBELLO JÚNIOR e AZEREDO (1983) sugerem que uma maior aplicação desse elemento por ocasião do plantio da cana-de-açúcar, visando nutrir a cana-planta e as soqueiras subseqüentes pode ser interessante devido a uma série de fatores, como o maior efeito residual dos adubos fosfatados, baixa mobilidade do fósforo no solo e a pequena extração do nutriente pela cultura (cerca de $0,13 \text{ kg t}^{-1}$ de colmo produzido). ORLANDO FILHO (1993), destaca que a melhor localização do adubo é no fundo do sulco de plantio, em doses adequadas para suprir a cultura nos ciclos de cana-planta e soqueiras subseqüentes.

ZAMBELLO JÚNIOR e AZEREDO (1983) evidenciaram que a resposta ao fósforo tem sido baixa em solos tradicionalmente cultivados com cana-de-açúcar e naqueles com elevados teores naturais de P. Analisando dados de dez ensaios do IAA/Planalsucar os autores verificaram que maiores respostas ocorreram da dose de 0 a 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 , afirmando que a dose econômica provavelmente estaria entre 80 e 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

MARINHO et al. (1976) e HAAG et al. (1987), observaram efeito depressivo do P quando usado em níveis superiores a 100 kg ha^{-1} , principalmente nas socas e em solos não deficientes em P. Usado em doses baixas e médias (50 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5) em solos carentes, o P teve efeito crescente na pol da cana e na pureza. Segundo MARINHO et al. (1976), o efeito depressivo do fósforo, em níveis altos na qualidade do caldo da cana, juntamente com a pequena reação desses níveis altos na produção de açúcar nas socas, é de grande importância na economia com adubação na região. Verificando efeito de níveis e do resíduo do fósforo em cana-de-açúcar, PEREIRA et al. (1995), observaram que a pol da cana não variou com níveis crescentes de fósforo aplicados no solo até 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 , sendo o rendimento de açúcar por hectare determinado pela melhoria na produtividade.

MARINHO (1974), estudando os níveis mais econômicos de P_2O_5 , em Alagoas, com base na produção de cana em $t\ ha^{-1}$, encontrou doses em torno de $135\ kg\ ha^{-1}$ para cana-planta, nos solos mais deficientes no elemento e nas socarias, cerca de 1/3 a 2/3 desse valor. Segundo o autor, a resposta da cana-de-açúcar ao fósforo é normalmente pequena em doses de P_2O_5 superiores a $100\ kg\ ha^{-1}$. Além disso, essas doses tendem a influir negativamente na qualidade do caldo sendo recomendado por MARINHO et al. (1976), a utilização de doses médias variando de 50 a $120\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 para cana-planta e socarias.

O teor de P nativo do solo pode afetar a concentração de P_2O_5 no caldo, ou seja, quanto maior o teor de P extraível do solo maior a quantidade de P_2O_5 no caldo. Embora não seja a forma mais eficiente e econômica, a adubação fosfatada contribui de maneira significativa para aumentar o teor de P_2O_5 do caldo e, com isto, melhorar o processo de clarificação (ORLANDO FILHO e ZAMBELLO JÚNIOR, 1980; KORNDÖRFER e MARTINS, 1992; PEREIRA et al., 1995). O fósforo funciona como um agente floculador, carreando as impurezas do caldo para o fundo do decantador, daí a sua importância no processo industrial.

ALBUQUERQUE et al. (1980) e ALBUQUERQUE e MARINHO (1980), em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em Alagoas, verificaram que, a resposta da cana à adubação fosfatada dependia da disponibilidade de fósforo no solo e que não houve resposta da cana a adubação fosfatada quando os teores foram iguais ou superiores a $9\ mg\ dm^{-3}$. Segundo ALBUQUERQUE e MARINHO (1983), a perspectiva de resposta a adubação fosfatada em solos com teores superiores a $16\ mg\ dm^{-3}$ é muito pequena. Em ampla revisão sobre adubação fosfatada nessa cultura, ESPIRONELO (1989), verificou que as respostas a doses de fósforo só foram observadas em solos pobres no nutriente ou naqueles que não foram adubados antes. Em solos cultivados e que receberam adubações continuadas as respostas foram pequenas ou não existiram.

A resposta à adubação fosfatada em cana soca é variável. No estado de São Paulo, KORNDORFER (2004), destaca que existem algumas unidades de produção que durante muitos anos suprimiram o P em soqueira sem observar o declínio da produtividade. No entanto, o autor afirma que é possível observar resposta positiva a adubação com fósforo na soqueira, principalmente quando o solo recebeu calagem e onde o cálcio no solo não é limitante.

O uso contínuo de adubações fosfatadas por ocasião do plantio tem levado esses solos a apresentarem um significativo efeito residual, sendo o mesmo avaliado pelo rendimento da cana-soca. PEREIRA et al. (1995), ao compararem tratamentos com e sem aplicação de fósforo em socaria verificaram que os tratamentos que receberam apenas adubação de plantio variaram de 45 a 79% dos rendimentos obtidos pelo tratamento que recebeu 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Destacam um efeito residual relativamente alto do fósforo aplicado no estabelecimento da cultura, principalmente para níveis acima de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Observaram que houve menor produtividade da soca nos tratamentos que receberam 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 em relação à cana-planta, sendo atribuídos a fatores como características da variedade, do solo, do clima e da idade da planta.

KORNDÖRFER e ALCARDE (1992a) observaram que depois de 34,5 meses mais de 30% do aumento nos teores de P disponível do solo oriundos da adubação de plantio ainda permaneciam no solo. Destacam que o efeito residual do fósforo no solo oriundo de fertilizantes tende a ser maior na cana-de-açúcar do que em culturas anuais devido à localização no fundo do sulco de plantio e ausência de movimentação do solo durante quatro anos ou mais, período de vida útil dos canaviais.

Em experimentos realizados em áreas canavieiras de Pernambuco e Paraíba FIGUEIREDO FILHO et al. (1996), constataram forte efeito residual do fósforo nas socas, principalmente nas áreas mais carentes em P disponível. Em áreas mais deficientes esses autores concluíram

que o efeito residual do fósforo aplicado no plantio não foi suficiente para proporcionar as maiores produções, havendo indicativos de necessidade de aplicação desse nutriente nas socarias.

KORNDORFER e ALCARDE (1992a) observaram que a aplicação de fósforo em socaria aumentou o perfilhamento, produção de matéria verde e seca, obtendo resultados semelhantes para produção de colmos e açúcar em soca e ressoca. O aumento médio de produção foi de 11 t ha⁻¹ com a aplicação de apenas 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na cana soca. O efeito residual dos 50 kg ha⁻¹, aplicados logo após o primeiro corte foi suficiente para aumentar a produção de colmos de 74 t ha⁻¹ para 81 t ha⁻¹ na ressoca. Observou-se que as maiores diferenças de produção entre a testemunha e o tratamento que recebeu 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na socaria, ocorreu quando não foi feita adubação fosfatada na cana-planta. Esses resultados mostram a importância de se aplicar fósforo em socaria, reforçando a recomendação de RAIJ et al. (1996) e MOURA FILHO (2002).

Trabalhos verificando o efeito da aplicação de fósforo em fundação ou em cobertura foram feitos por alguns autores. SOBRAL et al. (1989), analisando o efeito de sistema de fertilização em solos arenosos cultivados com cana-de-açúcar nos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, observaram que não houve diferença na produtividade e pol % de cana, quando se aplicou nitrogênio, fósforo e potássio todo em fundação ou em cobertura. No caso particular do fósforo, observaram que independente da forma de localização do fertilizante (fundo do sulco ou em cobertura aos 2 meses), a cana-de-açúcar teve seu suprimento inalterado, não afetando a sua produção. Observaram-se diferenças na magnitude de movimentação de fósforo extraído do solo pela análise química até a profundidade de 80 cm. Nos primeiros 30 cm, o teor de P extraído foi superior para a adubação em cobertura, ocorrendo a inversão a partir dos 40 cm devido ao P em

fundação ter sido colocado no fundo do sulco a profundidade de cerca de 30 cm.

ALBUQUERQUE e MARINHO (1982), em experimentos instalados em dois tipos de solos de tabuleiros de Alagoas, observaram que a aplicação de fósforo todo em fundação ou em cobertura aos dois meses, não proporcionou qualquer diferença nos resultados em toneladas de cana e açúcar ha^{-1} , pol% e pureza, embora sua ausência tenha provocado uma queda em produção de cana e açúcar em Latossolo Vermelho Amarelo, o qual apresentava teores baixos do elemento.

Nesses trabalhos verificou-se apenas a forma de localização, ou seja, se toda a dose de P deveria ser colocada em fundação ou em cobertura aos dois meses. No entanto, vários autores têm demonstrado que a resposta à aplicação de fósforo em solos cultivados continuamente com cana-de-açúcar é baixa ou praticamente nula (ALBUQUERQUE e MARINHO, 1980; ALBUQUERQUE et al., 1980; LIMA FILHO et al., 1982; ALBUQUERQUE e MARINHO, 1983; ZAMBELLO JÚNIOR e AZEREDO, 1983; ESPIRONELO, 1989; SOBRAL et al., 1989; WEBER et al., 1993; FIGUEIREDO FILHO, 2002). Isso é função da seqüência de adubações fosfatadas irem saturando a superfície adsorvente, promovendo uma redução na energia de ligação entre o fósforo e a mesma, disponibilizando o elemento para a cultura, uma vez que o mesmo não se perde por volatilização ou lixiviação no solo. Nessas condições, o uso de altas dosagens por ocasião do plantio visando maior efeito residual poderia prejudicar a utilização de micronutrientes como o zinco (LONERAGAN et al., 1979) e a disponibilidade de cálcio, dependendo da fonte e dos teores do nutriente no solo (ADAMS, 1982).

Considere-se ainda a importante interação existente entre o fósforo e o nitrogênio (LOPES, 1998; STAUFFER e SULEWSKI, 2004), sendo bastante favorecida quando aplicados juntos de forma localizada (MILLER, 1974), tendo como suas causas o estímulo ao crescimento de raízes no local em que o nitrogênio se encontra em maior concentração

(NOVAIS e SMITH, 1999). Assim o parcelamento do P em fundação e em socaria manteria níveis adequados de N e P, promovendo um melhor desenvolvimento do sistema radicular, principalmente em solos com elevada soma de bases em profundidade, particularmente de cálcio e a ausência de alumínio (RIBEIRO et al., 1984; DIAS et al., 1999), o que contribuiria para uma maior estabilidade da produtividade, considerando-se que as socarias representam mais de 70% de toda cana moída na safra. Esse parcelamento é geralmente realizado através da tríplice operação, com os propósitos de descompactação, adubação química e controle de ervas daninhas (PAULINO et al., 2004), sendo o adubo colocado ao lado da linha da cana e em profundidade, disponibilizando o elemento em contato com um maior volume de raízes.

Caracterizando os solos das subestações de seleção e experimentação de cana-de-açúcar em Alagoas, ARAÚJO (2003), verificou grande diferença nos teores de fósforo em profundidade nos perfis, variando de menos de 10 a 70 mg kg⁻¹ na profundidade de 0-20 cm. Observou que no perfil da subestação onde o fósforo é manejado em fundação e nas socarias, os teores do nutriente se encontraram em torno de 40 mg kg⁻¹ na profundidade de 50 cm, enquanto nas subestações onde a aplicação é feita apenas no fundo do sulco por ocasião do plantio, os teores ficaram próximos de zero já aos 30 cm de profundidade.

A cana-de-açúcar, em geral, exporta quantidades pequenas de P em comparação com o nitrogênio e o potássio. Dados de ORLANDO FILHO (1993), mostram que para a produção de 100 toneladas de massa de colmos (peso verde) são exportados pela parte aérea da cana-planta 154 kg de N, 18 kg de P e 153 kg de K. Observa-se que a exportação de P pela cultura é cerca de 8 vezes menor que a de N e K, podendo variar em função da variedade e do tipo de solo em que está sendo cultivada (GOMES, 2003). No entanto, devido às reações que o elemento sofre com a fase sólida do solo, quantidades bem superiores às demandadas

pela cultura são aplicadas nas adubações, devendo ser determinadas em função da produtividade esperada.

Desta forma, ZAMBELLO JÚNIOR e ORLANDO FILHO (1981), citam que a quantidade de nutriente a ser fornecida pela adubação será igual à quantidade necessária do nutriente para a máxima produção econômica menos o estoque de nutriente disponibilizado pelo solo. VITTI e MAZZA (2002) acrescentam a esta equação um fator “f”, que seria o fator de aproveitamento do fertilizante pelas raízes da planta (absorção). O mesmo visa corrigir as perdas sofridas nos processos que ocorrem entre a aplicação do fertilizante e absorção dos nutrientes pelas plantas. No caso particular do fósforo, refere-se à retenção do elemento no solo, visto que o mesmo só é perdido por erosão e exportado pelas culturas. Considerando-se uma eficiência variando de 20 a 30%, os autores apresentaram “f” variando de 3,0 a 5,0.

Nesse contexto DEMATTÊ (2004), exemplifica uma aplicação em sulco de plantio com 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 em solo argiloso, com baixo teor de fósforo, fixação de 30% e uma extração pela cultura de $0,43 \text{ kg t}^{-1}$ de massa verde, considerando-se uma produtividade no ciclo da cultura equivalente a 400 toneladas. Para esse nível de produtividade seriam necessários 172 kg ha^{-1} de P_2O_5 , menos os 30% retidos no solo, teríamos 105 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Havia então, um déficit de 67 kg ha^{-1} de P_2O_5 que deveria ser repostado nas socas subseqüentes, pelo menos para suprir a cultura. Para tanto, se o solo estiver muito ácido (V% abaixo de 40%) é necessário aplicação de calcário para haver resposta ao fósforo adicional.

4 Fontes de fósforo

As principais fontes de fósforo utilizadas na agricultura são obtidas industrialmente pelo tratamento de rochas fosfáticas com ácidos. De acordo com PROCHNOW et al. (2004), podem ser divididas em: i)

fosfatos naturais (rocha fosfatada moída, com eficiência agrônômica variável, dependendo da mineralogia); ii) termofosfatos (processo térmico com consumo de elevada quantidade de energia); iii) fosfatos totalmente acidulados (acidulação total); e iv) fosfatos alternativos (parcialmente acidulados, compactados entre outros). Os principais fosfatos totalmente acidulados pertencem ao grupo dos superfosfatos, constituído pelo superfosfato simples e pelo superfosfato triplo e pelos fosfatos amoniados, constituído pelo fosfato monoamônico (MAP) e pelo fosfato diamônico (DAP) (PROCHNOW et al., 2004). Entre estes, o MAP, superfosfato simples e superfosfato triplo são os fertilizantes fosfatados mais utilizados na agricultura para aumentar a quantidade de P disponível para as plantas (LOPES et al., 2004).

A garantia desses produtos fertilizantes é sempre feita com base na quantidade de P_2O_5 solúvel em soluções extratoras como: água (H_2O), ácido cítrico (AC) e citrato neutro de amônio (CNA) (GOEDERT e SOUSA, 1984; ALCARDE e PROCHNOW, 2004; PROCHNOW et al., 2004; SOUSA e LOBATO, 2004) de tal forma que contenham elevada fração de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O também solúvel em água (84% a 92%) de acordo com as garantias mínimas previstas na legislação brasileira (PROCHNOW et al., 2004).

Segundo LEHR (1980)¹ citado por BIASIOLI (2003), quando rochas fosfáticas de elevada qualidade e baixa concentração de impurezas catiônicas são utilizadas para a fabricação de fertilizantes totalmente acidulados, obtêm-se formas de P que apresentam elevada solubilidade em água, as quais são prontamente disponíveis à absorção pelas plantas. No entanto, observa-se que as rochas fosfáticas brasileiras apresentam altos índices de contaminantes, sendo estes principalmente óxidos de Fe e Al, os quais diminuem a solubilidade em água desses fertilizantes (ALCARDE e PROCHNOW, 2004). Devido a estes

¹ LEHR, J.R. Phosphate raw materials and fertilizers, part I – a look ahead. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.81-120.

contaminantes, uma quantidade mais elevada de rocha fosfática terá que ser utilizada na fabricação de fertilizantes fosfatados totalmente acidulados, aumentando os custos para as indústrias, além do maior gasto energético para a purificação das mesmas (BIASIOLI, 2003).

A característica mais importante da fonte é a sua eficiência agrônômica, a qual expressa sua capacidade de promover o maior acréscimo de rendimento por unidade de fósforo aplicado (GOEDERT e SOUSA, 1984; SOUSA e LOBATO, 2004). Um produto com baixa solubilidade em ácido cítrico e citrato neutro de amônio, apresenta poucas chances de apresentar uma eficiência agrônômica aceitável (GOEDERT e SOUSA, 1984). QUISPE (2004) verificou que a eficiência agrônômica relativa das fontes com menor solubilidade em água foi maior no solo de mais elevada capacidade de fixação de fósforo quando da aplicação de doses mais baixas de fósforo.

Em geral, a eficiência dos fosfatos industriais solúveis em água é maior a curto prazo, enquanto a eficiência dos fosfatos naturais aumenta com o tempo decorrido da sua aplicação ao solo, sendo que alguns fosfatos naturais têm demonstrado eficiência semelhante aos das fontes mais solúveis. A eficiência dos fosfatos naturais relaciona-se, principalmente, com sua origem, com o tamanho de suas partículas, com as propriedades do solo, com a cultura a ser implantada e com o tempo decorrido da sua aplicação (HOROWITZ e MEURER, 2004). É importante que haja reação completa entre o fertilizante e o solo, ocorrendo, em algum tempo, a dissolução completa do produto original adicionado. Se a reação for muito rápida há o risco de parte substancial do fósforo ser imobilizada (forma não lábil); mas por outro lado, se a reação for muito lenta, a velocidade de reposição de P em solução não seria adequada para o crescimento normal das plantas (GOEDERT e SOUSA, 1984).

Os experimentos têm demonstrado que, apesar da cana-de-açúcar ser considerada cultura semiperene, os fosfatos solúveis apresentam

melhor reação, com rentabilidade bastante superior aos fosfatos de baixa solubilidade (ZAMBELLO JÚNIOR e ORLANDO FILHO, 1981).

ALBUQUERQUE et al. (1980), estudando a competição entre fontes de fósforo solúvel e insolúvel em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em Alagoas, observaram que os resultados com o tratamento sem fósforo foram compatíveis com os teores do elemento no solo. Verificaram que nos solos com teores iguais ou superiores a 9 mg dm^{-3} , a adubação fosfatada não proporcionou nenhuma resposta na produção de cana e açúcar ha^{-1} , pol% e pureza. Nos solos com teores inferiores a 5 mg dm^{-3} , a aplicação de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de fosfato solúvel (super simples, super triplo, fosfato diamônico e fosfato bicálcico) foram superiores ao hiperfosfato, proporcionando resposta significativa na produção da cana. Devido a sua insolubilidade, o hiperfosfato não foi capaz de promover um melhor desenvolvimento da cultura. Esta incapacidade para nutrir a planta foi confirmada aos 5 meses, quando se determinou o teor do elemento na folha em torno de 0,07%, valor considerado muito baixo (MARINHO e ALBUQUERQUE, 1980). O estudo econômico feito com os dados da análise conjunta para cana mostrou que houve um retorno de 4, 12, 12, 16 e 9 unidades para cada unidade monetária investida para hiperfosfato, super simples, super triplo, fosfato diamônico (DAP) e fosfato bicálcico, respectivamente.

Os fosfatos totalmente acidulados têm mais de 90% do P total solúvel em CNA, dissolvem-se rapidamente no solo e são praticamente equivalentes quanto à capacidade de fornecimento de P às plantas. São utilizados principalmente na forma de grânulos, com a finalidade de diminuir o volume de solo com o qual reagem, reduzindo o processo de insolubilização, além de facilitar o manuseio e a aplicação (SOUSA e LOBATO, 2004). Segundo GOEDERT e SOUSA (1984), é importante considerar também, os efeitos secundários positivos como a composição do fertilizante em termos de outros nutrientes ou compostos que induzem

efeitos positivos no solo, isoladamente ou em interação com outros fertilizantes ou corretivos.

LIMA FILHO et al. (1982), estudando doses, fontes e sistema de aplicação de fósforo em cana-planta, encontraram respostas significativas para tonelada de cana e açúcar ha^{-1} e pol% de cana, atribuídos ao baixo teor do elemento no solo. Os maiores acréscimos nas produções foram obtidos com a aplicação de fosfatos solúveis. Na dose de 75 kg ha^{-1} , o fospal apresentou 55% da eficiência da mesma quantidade de fosfatos solúveis, enquanto o hiperfosfato e o Yoorin apresentaram 81% e 91%, respectivamente. Verificaram, ainda, que a dose de 50 kg ha^{-1} aplicada no sulco de plantio na forma de super triplo produziu 80 t ha^{-1} , mostrando ser mais importante que quando aplicado em área total. Altas doses de fosfatos solúveis no fundo do sulco e em área total mostraram decréscimo da pol % de cana.

KORNDORFER et al. (1989), estudando a eficiência de fontes de fósforo na produtividade da cana, verificaram essa ordem de importância superfosfato simples, superfosfato triplo, ácido fosfórico, ácido mais rocha fosfatada. Os autores atribuem a maior eficiência do super simples às quantidades de cálcio adicionadas ao solo por essa fonte, enquanto que a menor eficiência apresentada pela mistura está associada à baixa solubilidade do fosfato de araxá e a sua localização no fundo do sulco. O ácido fosfórico, por estar na forma fluida, reage com maior volume de solo, intensificando a sua fixação, deixando menos fósforo disponível para as plantas, o qual dependerá diretamente das características do solo onde for aplicado.

WEBER et al. (1993), estudando a eficiência de fosfatos solúveis, fosfatos naturais e fosfatos naturais parcialmente acidulados durante 5 anos, verificaram que as respostas obtidas foram proporcionais às quantidades de fósforo solúvel fornecida e que o fósforo liberado pelas fontes menos solúveis não restabeleceu o potencial de produção das culturas, sendo que os fosfatos naturais apresentaram eficiência

agronômica de no máximo 45%. Resultados mais consistentes foram obtidos em área onde o teor de fósforo nativo encontrava-se abaixo de 9 mg dm⁻³.

ALBUQUERQUE e MARINHO (1980), estudando a resposta da cana-de-açúcar a combinações de DAP e hiperfosfato concluíram que na mesma dosagem (150 kg ha⁻¹) na forma de hiperfosfato em solos com menos de 5 mg dm⁻³ não foi suficiente para o desenvolvimento normal da cultura. Os resultados da análise foliar aos 5 meses demonstram que os teores foliares aumentaram com o menor teor de P no solo e com o maior percentual de DAP em associação com hiperfosfato, sendo os maiores valores alcançados quando todo fósforo foi aplicado na forma de DAP. Verificaram ainda que a associação entre DAP e hiperfosfato como fornecedores de fósforo, não mostrou bons resultados até com 80% do elemento sob a forma de DAP.

Em trabalho semelhante, CANTARELLA et al. (2002), utilizando misturas em diferentes proporções de superfosfato triplo e fosfato natural reativo de Daoui, não observaram efeito da mistura de fosfato reativo de Daoui e de fosfato solúvel em água, nas diferentes proporções, na produção de colmos ou de açúcar, concluindo que o fosfato natural de Daoui foi uma fonte eficiente para o fornecimento de P para a cultura da cana-de-açúcar.

ROSSETO et al. (2002), comparando o fosfato natural de Djebel-Onkna e o super triplo na cultura da cana-de-açúcar, aplicados no sulco e em área total, na dosagem de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, observaram rendimentos semelhantes, embora o super triplo tenha proporcionado maior produtividade quando utilizado em área total. Esse melhor desempenho foi atribuído pelos autores ao fato do solo ser arenoso e por esse motivo não ter havido fixação do P, o que aconteceria em solo argiloso.

FIGUEIREDO FILHO (2002), avaliando a adubação fosfatada da cana-de-açúcar com hiperfosfato natural reativo de gafsa verificou que

não houve resposta em solos com teores de P superiores a 15 mg dm^{-3} . Observou que em dose total o gafsa apresentou rendimento superior ao MAP e ao super simples. Em associação (70% de hiperfosfato e 30% de MAP ou super simples) observou-se melhor desempenho do hiperfosfato de gafsa com MAP nos solos com altos teores de P e com super simples em solos com baixos teores do elemento, demonstrando a capacidade do fosfato de gafsa em fornecer P à cultura.

Objetivando avaliar a influência do termofosfato aplicado a lanço e no sulco, na produtividade e nas propriedades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade cultivado com cana-de-açúcar, MORELLI et al. (1991), concluíram que houve aumento na saturação por bases e nos níveis de fósforo, cálcio e magnésio já aos oito meses após a aplicação. Verificaram que os dois sistemas de aplicação de fósforo no solo proporcionaram aumento na produção de cana, entretanto os tratamentos economicamente mais vantajosos foram constituídos da associação de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 a lanço com 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 no sulco.

Avaliando a produtividade e atributos de crescimento da cana-de-açúcar com adubação convencional em área com e sem torta de filtro, ALEONI et al. (1995), observaram que houve melhoria nas condições químicas do solo, com aumento de pH e teores de todos os nutrientes, sendo mais acentuados para os de fósforo e cálcio. Verificaram que a produtividade da cana-planta foi 26% superior nas áreas onde a torta de filtro foi aplicada, sendo esta superioridade devido a um maior número de perfilhos e maior altura de planta, pois o peso da cana foi igual. Destacaram que a superioridade das áreas que receberam torta de filtro, na maioria dos parâmetros avaliados, foi mais evidenciada nos períodos secos, onde a retenção de água foi, em média, 21% maior que nas áreas sem torta.

METODOLOGIA

1 Localização e características da área experimental

O experimento foi conduzido em área de cultivo comercial de cana-de-açúcar na Usina Guaxuma, município de Coruripe-AL, entre as coordenadas geográficas 10°01'16" de latitude Sul e 36° 08'40" de longitude Oeste, com altitude de 80 m. O solo do local é classificado como Argissolo Amarelo distrófico, com características químicas e granulométricas apresentadas no Quadro 1.

Antes da instalação do experimento o solo foi corrigido com a aplicação de 2,0 t ha⁻¹ de calcário, para atingir a saturação por base ideal para a cultura (60%). Adotou-se o método da saturação por bases.

2 Tratamentos avaliados

O experimento constou de 10 tratamentos, envolvendo testemunhas e fontes de fósforo. O tratamento 10 (super simples parcelado) teve a dose total de P₂O₅ fracionada, recebendo apenas 50 kg ha⁻¹ na cana-planta. A composição das fontes de fósforo e do zincoman podem ser observadas no Quadro 2. As quantidades e o esquema de distribuição dos fertilizantes estão apresentadas no Quadro 3. As recomendações de adubação para a área onde se instalou o experimento foi de 66, 120, 132 e 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), fósforo

(P_2O_5), potássio (K_2O) e zincoman, respectivamente. A adubação de cobertura foi feita aos 90 dias com uréia e cloreto de potássio. O plantio foi realizado em 26 de dezembro de 2003 e colhido no dia 17 de dezembro de 2004. A variedade utilizada foi a RB75126.

Quadro 1. Análise química e granulométrica do solo utilizado antes da instalação do experimento

Prof (cm)	pH (H ₂ O)	P	K	Ca	Mg	Al	H+ Al	S	T	V	m	M.O	AR	SIL	ARG
		--mg kg ⁻¹ --	-----mmolc dm ⁻³ -----					-----%-----			-----g kg ⁻¹ -----				
0-20	5,3	13	1,1	17	4	1,4	42	22	64	34,4	6	15,2	850	50	100
20-40	5,7	3	0,07	16	5	0,1	19	22	41	53,3	0,5	0,90	760	20	220

Quadro 2. Composição das fontes de fósforo e zincoman utilizados no experimento

Fontes	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	MO	Fe	Mn	Zn	Cu	Mo	B
-----%-----							-----mg kg ⁻¹ -----						
SS	-	18	-	19	-	12	-	-	-	-	-	-	-
ST	-	45	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosmag	-	16	16	10	2,5	7	-	-	3000	2500	2500	100	2000
Foscana	-	16	-	-	-	-	-	-	3000	2500	2000	-	1200
MAP	10	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fórmula	6	26	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Composto	0,895	1,58	0,11	0,825	0,285	-	21,25	712	36	51	5	-	-
SSP	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zincoman	-	-	-	-	-	-	-	-	150000	70000	70000	-	-

Quadro 3. Esquema de distribuição dos fertilizantes usados no experimento.

Tratamentos	Distribuição			
	Fundação (kg ha ⁻¹)		Cobertura (kg ha ⁻¹)	
	Fertilizante	Zincoman	Ureia	KCl
T1 - Testemunha absoluta	-	-	-	-
T2 - NK	-	30	150	220
T3 - Super simples	670	30	150	220
T4 - Super triplo	265	30	150	220
T5 - Fosmag 530 M6	750	-	150	20
T6 - Foscana P160 + MC	750	-	150	220
T7 - MAP	250	30	90	220
T8 - Fórmula 06-26-24	460	30	85	36
T9 - Composto (Torta, bagaço e cinzas)	7.570*	-	-	207
T10 - Super simples parcelado	280	30	150	220

*Considerando-se em base de massa seca.

3 Delineamento estatístico adotado

O delineamento estatístico utilizado foi em blocos casualizados, com 10 tratamentos e quatro repetições. Cada parcela experimental foi constituída de 7 linhas de cana de 20 metros de comprimento, com espaçamento de 1 metro entre elas. Considerou-se como área útil de cada parcela aquela constituída pelas cinco linhas centrais com 5 metros de comprimento para as variáveis número de planta, altura de planta, diâmetro do colmo, área foliar e material para análise foliar, ocupando uma área útil por parcela de 25 m². A coleta de material para análise de fitomassa foi feita fora da área útil para não interferir nos resultados das variáveis analisadas na mesma.

O crescimento quantitativo da altura e acúmulo de matéria fresca do colmo durante o período experimental foi determinado com o auxílio do programa computacional Table Curve utilizando a seguinte função logística:

$$Y = A/(1 + (DAP/B)^{-C}),$$

em que:

Y = altura (cm) ou massa fresca ($t\ ha^{-1}$) do colmo;

A = altura ou matéria fresca máxima do colmo no período de 360 dias;

DAP = dias após o plantio;

B e C = constantes.

Desta forma, foram obtidas 20 equações que descrevem a variação no tempo, do crescimento em altura e da matéria fresca do colmo dos 60 aos 360 dias após o plantio. Os índices fisiológicos crescimento em altura do colmo, produção de matéria fresca do colmo e taxa de crescimento relativo do colmo, utilizados para verificar prováveis diferenças entre tratamentos foram obtidos com base nos propósitos de BENINCASA (2003).

4 Análise de crescimento e desenvolvimento da cultura

4.1 Necessidades térmicas da cultura

Os graus-dia diários e acumulados foram determinados baseados na metodologia proposta por Liu et al. (1998), considerando os valores da temperatura média do ar, da temperatura-base e nas temperaturas ótima, sub-ótimas e supra-ótimas, para a cana-de-açúcar, de acordo com as seguintes considerações:

$$GD_j = GDg_j - GDa_j - Tb \quad (1)$$

$$GD_t = \sum_{j=1}^n GD_j \quad (2)$$

em que:

GD_j = graus-dia para cada j dia considerado ($^{\circ}C\ d$);

GDg_j = graus-dia nas condições de temperaturas sub-ótimas, para cada j dia considerado ($^{\circ}C$);

GDa_j = efeito adverso da alta temperatura no desenvolvimento da cultura, no dia j considerado ($^{\circ}\text{C}$);

Tb = temperatura-base, para cada fase fenológica considerado ($^{\circ}\text{C}$)

GD_t = graus-dia para completar o ciclo total ($^{\circ}\text{C d}$);

n = número de dias do período considerado.

$Tmin_j$ = temperatura mínima do ar do dia ($^{\circ}\text{C}$);

$Tmax_j$ = temperatura máxima do ar do dia ($^{\circ}\text{C}$);

Ts = temperatura de saturação (40°C).

To = temperatura ótima para o desenvolvimento da cana (30°C)

$$GDg_j = \begin{cases} \frac{T \min_j + T \max_j}{2}, & Tb \leq T \min_j \\ \frac{T \min_j + T \max_j}{2} + \frac{(Tb - T \min_j)^2}{2(T \max_j - T \min_j)}, & T \min_j < Tb < T \max_j \\ Tb, & Tb \geq T \max_j \end{cases}$$

$$GDq = \begin{cases} 0, & Tmax_j < To \\ \frac{(Ts - Tb)(Tmax_j - To)^2}{2(Ts - To)(Tmax_j - Tmin_j)}, & To > Tmin_j, Tmax_j < Ts \\ \frac{Tmax_j(Tmax_j - 2Tb) - To(Ts - Tb) + TsTb}{2(Ts - To)}, & To > Tmin_j, Tmax_j \geq Ts \\ \frac{(Ts - Tb)(Tmax_j + Tmin_j - 2To)}{2(Tmax_j - Tmin_j)}, & To \leq Tmin_j < Ts, Tmax_j < Ts \\ \frac{Tmax_j + Tmin_j}{2} - Tb - \frac{(To - Tb)(Ts - Tmin_j)^2}{2(Ts - To)(Tmax_j - Tmin_j)}, & To \leq Tmin_j < Ts, Tmax_j \geq Ts \\ \frac{Tmax_j + Tmin_j}{2} - Tb, & Tmin_j > Ts \end{cases}$$

utilizando-se o programa GD Cana (Moura Filho et al., 2002).

4.2 Número de plantas

A contagem do número de plantas foi efetuada mensalmente até os quatro meses após o plantio (fase de perfilhamento, onde ocorre aumento acelerado na população de plantas) e a partir daí (início da fase de alongamento do colmo, com população de plantas mais estabilizada) a cada dois meses, contando-se a quantidade de plantas existentes em cada linha de sulco na área demarcada em cada parcela (5 linhas de 5 m cada) para então estimar o número de colmos por metro linear e por hectare.

4.3 Altura de plantas

Nessa mesma área a cada dois meses foram realizadas medições da altura de 24 plantas aleatórias, medindo-se sua altura desde a base do colmo até a última região auricular visível (colarinho) na folha +1. Com essas medições determinou-se a altura média das plantas.

4.4 Diâmetro do colmo

Determinou-se na área demarcada o diâmetro do colmo de 24 plantas aleatórias na altura correspondente a 1/3, a partir de sua base.

4.5 Área e índice de área foliar

Também na área demarcada a área foliar foi calculada a cada dois meses através da amostragem da folha + 2 (MORAIS, 2004) de 12 plantas aleatórias. Para encontrar a área de cada folha, multiplica-se sua maior largura pelo comprimento, multiplicando-se em seguida essa área pelo coeficiente de 0,75. A área foliar da folha + 2 de cada planta

multiplicada pelo número de folhas representa a área foliar de cada planta. A área foliar por planta em cada parcela é obtida através da média das 12 plantas aleatórias. A obtenção do índice de área foliar (IAF) é feita através da área foliar por planta multiplicado pelo número de plantas encontradas em um hectare, dividido pela área ocupada pelas mesmas no solo (10.000 m²).

4.6 Fitomassa da parte aérea das plantas

Análise de fitomassa foi feita a cada dois meses, através de coleta destrutiva, separando-se a planta em três partes: colmo, folha e palmito. Foram cortadas doze plantas aleatórias e feitas pesagens para determinação da produtividade dessas partes por hectare. Somaram-se também as partes para determinar a produção total de fitomassa por hectare. Essas doze plantas foram extraídas fora da área demarcada para determinação das outras variáveis, evitando-se assim interferência nos resultados obtidos para as mesmas.

5 Rendimento agrícola e industrial

O rendimento agrícola foi analisado na ocasião da colheita aos 12 meses pesando-se a fitomassa do colmo contido em toda área da parcela. O rendimento industrial foi determinado no laboratório de análise agroindustrial da Usina Guaxuma.

6 Fósforo disponível no solo

Aos oito meses foi feita amostragem de solo para determinação do fósforo disponível retirando-se duas amostras simples por linha nas cinco

linhas centrais de cada parcela, considerando toda sua extensão, somando-se dez amostras simples para formar uma amostra composta na profundidade de 0-20 cm localizadas na linha de plantio da cana. O material foi colocado para secar ao ar (TFSA), sendo posteriormente peneirado para o procedimento de determinação do fósforo disponível no solo, usando o extrator Mehlich 1 (EMBRAPA, 1999).

7 Análise foliar

Aos quatro e oito meses após o plantio foi feita a coleta de material de 15 plantas aleatórias, na área útil demarcada (5 linhas de 5 m), eliminando-se a nervura principal para determinação dos teores foliares de fósforo. Essa amostragem foi feita retirando-se 20 cm na porção central da folha + 3. Em seguida o material foi colocado para secar em estufa a 70 °C durante 7 dias, sendo moído posteriormente e analisado no Laboratório de fertilidade de Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas. As determinações de fósforo nas folhas foram feitas por colorimetria no extrato nitro-perclórico seguindo metodologia proposta por DEFELIPO e RIBEIRO (1991).

8 Dados Climatológicos

Os dados decendiais do período compreendido entre dezembro de 2003 a dezembro de 2004 relacionados com precipitação pluvial, temperaturas médias, graus-dia acumulado e extrato de balanço hídrico da Usina Guaxuma são apresentados nas figuras 1, 2 e 3.

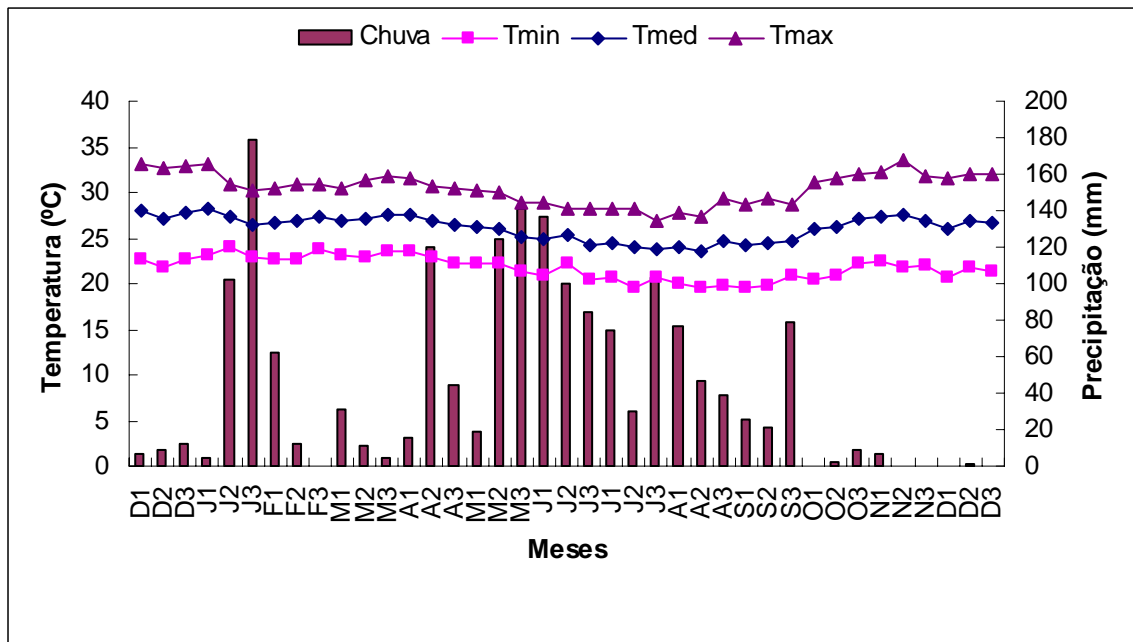


Figura 1. Temperatura e precipitação decendial para o período de dezembro de 2003 a dezembro de 2004, Usina Guaxuma, Coruripe – Alagoas.

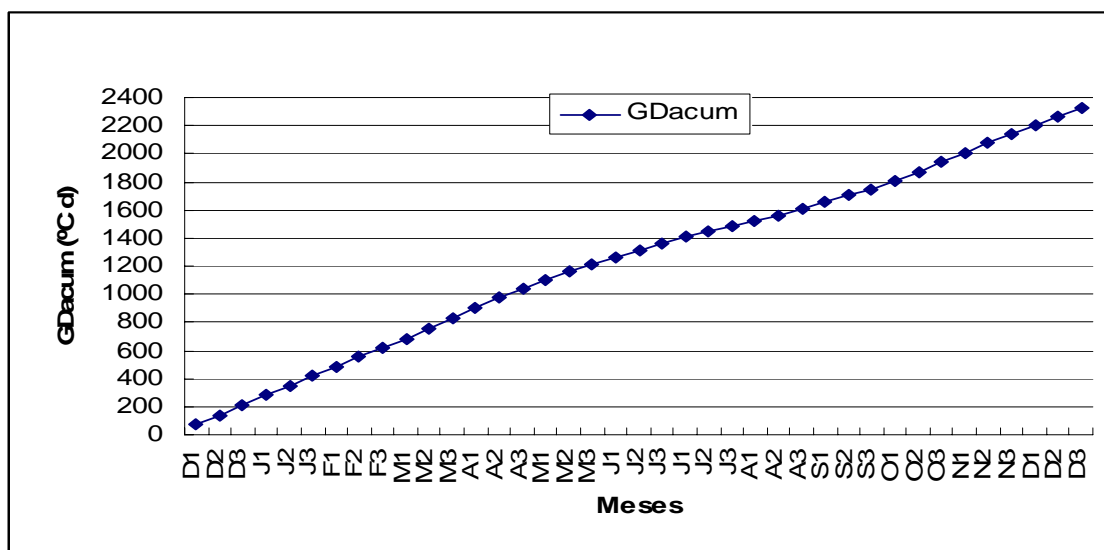


Figura 2. Graus-dia acumulados por decêndio para o período de dezembro de 2003 a dezembro de 2004, Usina Guaxuma, Coruripe – Alagoas

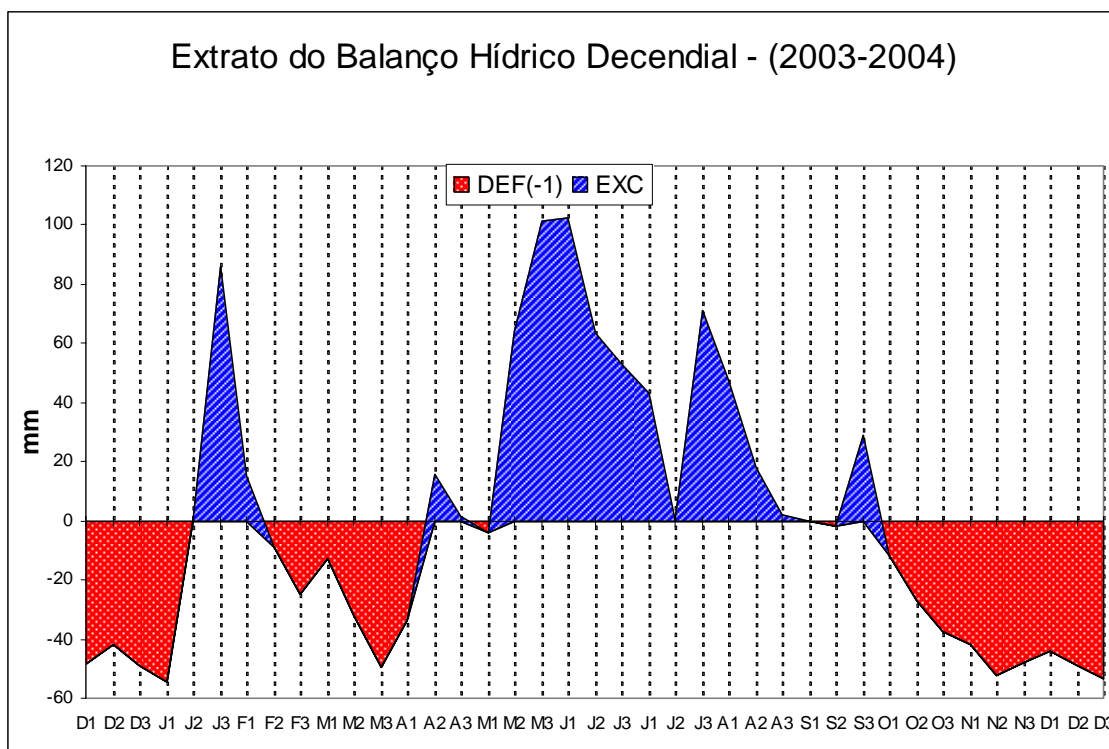


Figura 3. Extrato do balanço hídrico decendial para o período de dezembro de 2003 a dezembro de 2004, Usina Guaxuma, Coruripe – Alagoas.

RESULTADOS

1 População de perfilhos

Os resultados da população de perfilhos por metro linear nos diferentes tratamentos e períodos analisados estão apresentados no Quadro 4. Verifica-se que as diferentes fontes e a redução da dose total de fósforo não exerceram influências significativas na população de perfilhos da cana-planta durante o período avaliado. Analisando-se o comportamento geral dessa variável observa-se aumento no número de perfilhos até os quatro meses após o plantio, quando se atingiu valores máximos (Quadro 4). Nesse período, o foscana e o MAP apresentaram os menores e maiores valores, com 22,7 e 26,9 perfilhos por metro linear, respectivamente. Os resultados obtidos concordam com MACHADO et al. (1982) e ORLANDO FILHO e RODELLA (1995), que observaram pico de perfilhamento aos quatro meses após o plantio, com posterior redução no número de plantas até a colheita, devido a competição populacional. Por outro lado, TOKESHI (1986), PRADO (1988), obtiveram o máximo perfilhamento entre o quarto e o sexto mês após o plantio. Estudando o crescimento e desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar, OLIVEIRA et al. (2004), observam máximo perfilhamento ocorrido entre o sexto e oitavo mês após o plantio. Essa variação pode ser resultado da combinação de temperaturas elevadas e

precipitações pluviais ocorrerem mais cedo ou mais tardiamente (SUGUITANI, 2001).

O pico na população de perfilho indica o fim da fase de perfilhamento, que coincidiu com altura média de planta em torno de 48 cm (Quadro 5). Essa altura relativamente baixa é devido a esse estágio fenológico ser responsável pelo estabelecimento da cultura em condições de campo, fornecendo a touceira o número de colmos adequados à produção (CÂMARA, 1993), aproveitando as condições ambientais favoráveis, principalmente a luminosidade (responsável pela foto-oxidação da auxina endógena, permitindo assim a brotação lateral ou perfilhamento).

Quadro 4. População de perfilhos por metro linear nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação

Tratamentos	Número de planta							
	1 mês	2 meses	3 meses	4 meses	6 meses	8 meses	10 meses	12 meses
	Jan	Fev	Mar	Abr	Jun	Ago	Out	Dez
Testemunha	5,4	7,8	13,8	23,5	13,1	10,0	9,3	8,2
NK	6,2	9,1	14,7	24,2	13,9	10,5	9,5	8,2
SS	5,2	8,7	13,9	24,3	14,0	11,1	9,8	8,5
ST	5,5	8,6	13,5	23,6	13,3	10,5	9,1	8,1
Fosmag	5,6	8,6	14,4	25,4	13,9	11,5	9,9	8,6
Foscana	6,0	9,0	15,0	22,7	13,8	10,6	9,5	8,3
MAP	5,4	8,6	14,3	26,9	13,8	10,6	9,5	8,4
Fórmula	6,1	8,9	15,7	23,6	13,7	10,9	9,6	8,5
Composto	6,1	9,2	15,7	26,2	13,9	11,1	9,9	8,6
SSP	5,8	9,6	15,1	24,2	13,7	11,5	9,5	8,7
Efeitos	Quadrados médios							
Blocos	1,3329ns	0,8980ns	5,6767ns	9,1636ns	0,3682ns	0,1590ns	0,9929*	0,3923ns
Tratamento	0,5358ns	8,0290ns	20,760ns	6,7485ns	0,3264ns	0,9577	0,2384ns	0,1907ns
Resíduo	1,2829	50,777	116,991	7,7373	0,7188	0,4105	0,2750	0,1797
CV (%)	19,8	15,5	14,2	11,4	6,2	5,9	5,5	5,1

* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. ns - não - significativos até 5% de probabilidade, pelo teste F. Épocas de avaliação com valores sem acompanhamento de letras, significam que não houve efeitos significativos entre os mesmos. NK (nitrogênio e potássio), SS (super simples), ST (super triplo), MAP (fosfato monoamônico), Fórmula (06-26-24), Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas) SSP (super simples parcelado).

Do quarto para o sexto mês verifica-se uma grande mortalidade na população de perfilhos, ocasionada pela competição populacional pelos fatores de crescimento (luz, espaço, água e nutrientes), continuando em ritmo menor até a colheita, quando ocorreu uma redução média de 66%. OLIVEIRA et al. (2004), estudando três cultivares de cana-de-açúcar verificaram redução de 27% na RB72454, 52% na RB855113 e 57% na RB855536 do máximo perfilhamento até a colheita. Estudando a emergência, perfilhamento e produção de colmos da cana-de-açúcar no estado de São Paulo ROCHA (1984), observou comportamento semelhante. A partir do quarto mês tem início a fase de grande crescimento da cultura ou alongamento do colmo, onde a população já estabelecida inicia um rápido crescimento em altura e acúmulo de fitomassa (Quadros 5 e 11).

Apesar de não haver diferenças estatísticas, no final do ciclo da cultura o super simples parcelado apresentou maior número de perfilhos por metro linear (8,7), acompanhado do composto e do Fosmag, ambos com 8,6. O super triplo apresentou o menor valor (8,1), ficando abaixo das testemunhas (8,2) (Quadro 4). Essas pequenas diferenças entre os tratamentos são importantes quando se extrapola os dados para toneladas de cana por hectare. KORNDORFER et al. (1989), estudando a resposta da cana-planta a diferentes fontes de fósforo observaram que o número final de colmo por metro linear por ocasião da colheita apresentou alta correlação com a produção. A falta de resposta das fontes pode está relacionada com o alto efeito residual apresentado pelo solo onde foi instalado o experimento (Quadro 16) e também a fatores ambientais e a características genéticas próprias da variedade.

2 Altura de plantas

Ocorreu efeito das fontes de fósforo para altura de plantas, apenas aos dez meses após o plantio, entre o super triplo e o composto. Este comportamento não continuou no mês seguinte (Quadro 5). O mesmo comportamento foi observado em relação à testemunha. O maior crescimento em altura é verificado entre o quarto e oitavo mês, período que corresponde aos maiores valores de IAF (Figura 6). OLIVEIRA et al. (2004) também

constataram que o período de maior alongação do colmo coincidiu com as épocas de maiores valores de IAF.

Apesar de não haver diferenças estatísticas, observa-se que o super triplo apresentou valores superiores as demais fontes a partir do oitavo mês após o plantio, chegando na colheita com 242 cm contra 231,6 cm do foscana (Quadro 5). Os resultados encontrados concordam com SILVA (2005), sendo semelhantes aos encontrados por TOLEDO FILHO (2001), o qual observou menor altura do colmo em virtude de se tratar de cana soca e ressoça, além do maior déficit hídrico. Há indícios de que as fontes que permitiram maior perfilhamento no final do ciclo da cultura, acabaram utilizando boa parte dos nutrientes absorvidos e dos compostos produzidos através da fotossíntese, no perfilhamento, prejudicando assim, o seu desenvolvimento vegetativo. A falta de resposta das fontes testadas indica que os níveis de fósforo disponíveis no solo (Quadro 16) não prejudicaram o crescimento em altura das plantas.

Quadro 5. Altura de plantas nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação

Tratamentos	Altura de plantas					
	2 meses Fev	4 meses Abr	6 meses Jun	8 meses Ago	10 meses Out	12 meses Dez
	-----cm-----					
Testemunha	15,7	52,3	107,2	163,5	194,0 b	231,2
NK	16,9	47,2	138,2	185,5	199,3 ab	241,1
SS	12,2	45,6	118,4	171,4	197,8 ab	236,8
ST	14,3	51,2	129,2	186,2	213,4 a	242,0
Fosmag	12,5	48,4	119,4	175,4	201,1 ab	235,9
Foscana	13,0	40,7	123,1	172,0	199,3 ab	231,6
MAP	14,8	50,9	123,2	180,4	200,7 ab	238,7
Fórmula	15,8	49,6	124,9	185,4	201,6 ab	234,0
Composto	14,1	46,0	113,9	172,5	195,6 b	235,0
SSP	13,4	53,8	128,1	182,7	205,0 ab	240,7
Efeitos	-----Quadrados médios-----					
Blocos	9,4020ns	54,5176ns	77,9569ns	229,2370ns	7,7249ns	0,9449ns
Tratamento	9,5190ns	59,5913ns	294,4803ns	236,0927ns	116,7805*	60,1435ns
Resíduo	4,6548	33,0572	155,8232	111,1708	45,9744	62,3733
CV(%)	15,1	11,8	10,2	5,9	3,4	3,3

* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. ns - não - significativos até 5% de probabilidade, pelo teste F. Épocas de avaliação com valores sem acompanhamento de letras, significam que não houve efeitos significativos entre os mesmos. NK (nitrogênio e potássio), SS (super simples), ST (super triplo), MAP (fosfato monoamônico), Fórmula (06-26-24), Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas) SSP (super simples parcelado). Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem a 5%, pelo teste de Tukey.

Para o cálculo da altura do colmo nos diferentes estádios de crescimento utilizou-se função logística (Quadro 6). A partir dessas equações estimou-se a taxa de variação da alongação do colmo no tempo (Figura 4). Verifica-se que as maiores taxas de alongação foram observadas no período entre 120 e 180 dias após o plantio para todos os tratamentos. As máximas variaram de 0,91 cm dia⁻¹ na testemunha, aos 160 dias após o plantio a 1,25 cm dia⁻¹ no tratamento NK, aos 150 dias após o plantio, havendo a partir das taxas máximas uma redução, principalmente na fase de maturação da cultura. Essas taxas máximas estão associadas à queda no número de perfilhos à metade do quarto para o sexto mês (Quadro 4) e ao adequado suprimento de nutrientes e água, uma vez que até abril a cultura vinha enfrentando déficit hídrico (Figura 3), prejudicando a absorção de nutrientes, principalmente do fósforo, o qual

movimenta-se por difusão até as raízes, dependendo diretamente do conteúdo de água, da concentração de P na solução do solo, da textura e de sua mineralogia (VILLANI et al., 1993).

Os resultados obtidos concordam com OLIVEIRA et al. (2005), que estudando o crescimento de cultivares de cana-de-açúcar no Paraná, observaram durante o período de grande crescimento da cultura taxas de alongação do colmo de 1,6 cm dia⁻¹ na RB855113, 1,8 cm dia⁻¹ na RB855536 e 2 cm dia⁻¹ na RB72454. Esses autores atribuem o efeito na redução da taxa de alongação ao aumento do auto-sombreamento durante o período de maturação.

Quadro 6. Funções logísticas utilizadas para determinação da altura do colmo da cana-planta em função de dias após o plantio (DAP) em diferentes tratamentos e períodos analisados

Tratamentos	Equação	R ²
Testemunha	$y = 328,495/(1 + (DAP/247,446)^{-2,238})$	0,998
NK	$y = 256,769/(1 + (DAP/179,116)^{-3,155})$	0,985
SS	$y = 283,073/(1 + (DAP/208,198)^{-2,746})$	0,995
ST	$y = 273,369/(1 + (DAP/188,896)^{-3,012})$	0,997
Fosmag	$y = 277,101/(1 + (DAP/201,374)^{-2,811})$	0,997
Foscana	$y = 257,171/(1 + (DAP/191,426)^{-3,15})$	0,994
MAP	$y = 278,794/(1 + (DAP/198,439)^{-2,754})$	0,994
Fórmula	$y = 258,778/(1 + (DAP/184,701)^{-3,085})$	0,994
Composto	$y = 284,965/(1 + (DAP/211,253)^{-2,703})$	0,995
SSP	$y = 277,159/(1 + (DAP/193,225)^{-2,789})$	0,996

NK (nitrogênio e potássio), SS (super simples), ST (super triplo), MAP (fosfato monoamônico), Fórmula (06-26-24), Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas) SSP (super simples parcelado).

Observa-se que o comportamento da testemunha é semelhante aos demais tratamentos no período com déficit hídrico (Figuras 3 e 4). No período de suprimento hídrico adequado, essa testemunha apresenta taxa de crescimento bem inferior. Isso ocorre devido a ausência de N e K, pois o solo apresenta níveis satisfatórios de P e a difusão do mesmo foi facilitada pelos níveis de umidade adequados. WEBER et al. (1993), estudando doses e fontes de fósforo atribuíram a falta de resposta da cana a adubação fosfatada as condições climáticas favoráveis, o que favoreceria o aumento da eficiência do

fósforo nativo do solo, superando assim o efeito da fonte. Em regiões com déficit hídrico, a disponibilidade de água apresenta-se como fator de grande importância para o maior rendimento da cana-de-açúcar. Na microrregião da Mata Norte de Pernambuco RIBEIRO et al. (1984), verificaram que a deficiência hídrica foi responsável pela variação de 44% dos rendimentos da região.

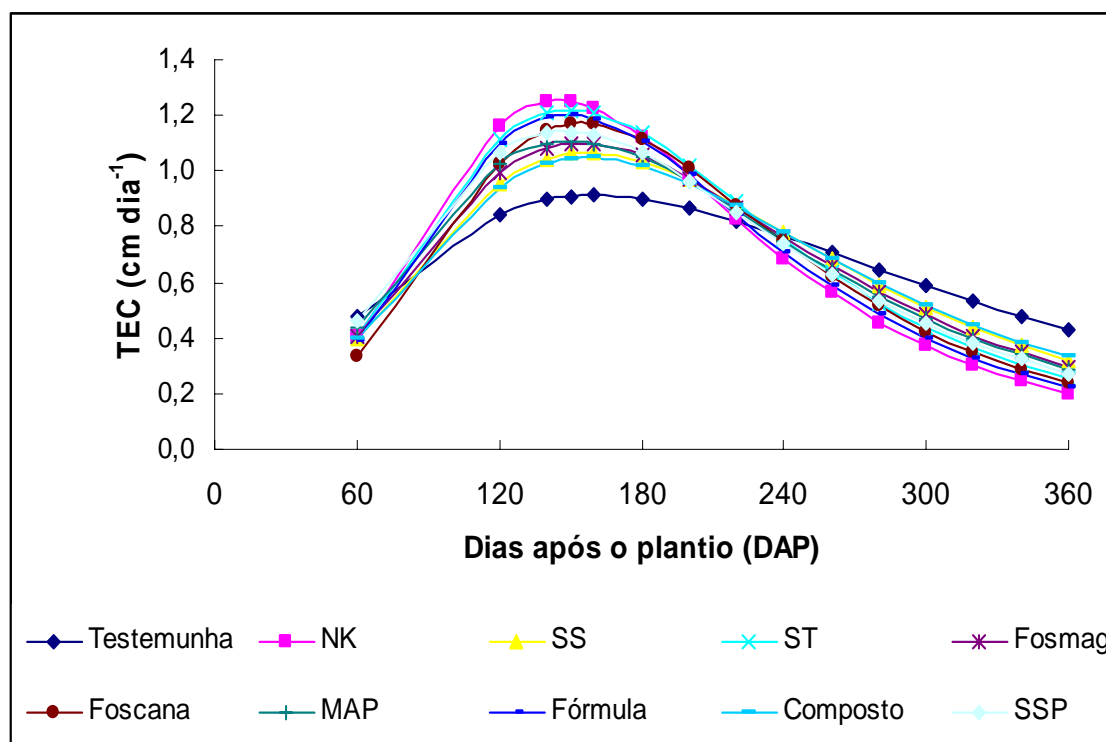


Figura 4. Taxa de alongação do colmo (TEC) da cana-planta em diferentes tratamentos e períodos analisados.

O período de ocorrência das maiores taxas de crescimento (abril a agosto) coincide com o período de maior disponibilidade hídrica. Estudando a interação entre variedades de cana-de-açúcar e doses de fósforo em São Paulo, SUGUITANI (2001), observou que houve maior incremento em altura de planta nos períodos de temperaturas altas e maior precipitação, ocorrendo entre novembro e abril. Para nossa região, esse período ocorre entre abril e agosto (TOLEDO FILHO, 2001) com temperaturas menores, mas que não são limitantes para o bom desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar (CÂMARA, 1993). MACHADO et al. (1982), SORDI e BRAGA (1996) e OLIVEIRA et al. (2005), encontraram resultados semelhantes.

3 Diâmetro do colmo

As fontes de fósforo e a redução da dose total do nutriente não exerceram influência estatística significativa no diâmetro do colmo durante todo ciclo da cana-planta (Quadro 7). De acordo com os resultados encontrados aos doze meses houve diferença estatística apenas entre o tratamento NK e o tratamento representado pela fórmula.

Quadro 7. Diâmetro de colmo nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação

Tratamentos	Diâmetro do colmo					
	2 meses Fev	4 meses Abr	6 meses Jun	8 meses Ago	10 meses Out	12 meses Dez
	-----mm-----					
Testemunha	9,9	16,0	21,2	23,0	25,1	25,7 ab
NK	9,3	15,7	21,2	23,2	25,7	26,3 a
SS	9,1	14,0	19,7	22,7	25,0	25,6 ab
ST	8,7	14,4	21,4	23,0	25,1	25,9 ab
Fosmag	9,3	14,0	20,4	22,2	25,0	25,4 ab
Foscana	9,4	14,3	18,7	23,1	25,7	26,0 ab
MAP	9,6	15,8	21,1	23,6	25,2	25,5 ab
Fórmula	10,1	14,3	20,4	23,7	25,0	25,2 b
Composto	8,6	14,7	19,1	23,1	25,2	25,5 ab
SSP	9,2	13,7	21,3	23,7	25,2	25,5 ab
Efeitos	-----Quadrados médios-----					

Blocos	0,2270ns	4,9769ns	4,0923ns	1,5889ns	0,7169ns	0,3697ns
Tratamento	0,9454ns	2,8245ns	3,7712ns	0,8585ns	0,2739ns	0,4643*
Resíduo	0,6848	1,6888	3,8138	0,7571	0,2801	0,2019
CV(%)	8,8	8,8	9,5	3,8	2,1	1,8

* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. ns - não - significativos até 5% de probabilidade, pelo teste F. Épocas de avaliação com valores sem acompanhamento de letras, significam que não houve efeitos significativos entre os mesmos. NK (nitrogênio e potássio), SS (super simples), ST (super triplo), MAP (fosfato monoamônico), Fórmula (06-26-24), Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas) SSP (super simples parcelado). Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem a 5%, pelo teste de Tukey.

Os resultados do diâmetro do colmo no período estudado mostram não haver nenhuma tendência quanto as diferentes fontes de fósforo utilizadas. A partir dos dez meses o colmo apresenta diâmetro estabilizado em torno de

25 mm (Quadro 7). Esses valores são semelhantes aos encontrados por PAES et al. (1997) e um pouco inferiores aos encontrados por ROCHA (1984), o qual verificou que o melhor resultado para diâmetro do colmo foi obtido com tolete de 3 gemas, variando entre variedades e diferentes épocas de plantio. Resultados semelhantes foram observados por ALVAREZ e CASTRO (1999) e OLIVEIRA et al. (2004). O maior incremento no diâmetro do colmo é alcançado até os seis meses após o plantio (Quadro 7), onde é formado mais de 70% do diâmetro total no super simples, foscana e composto e mais de 80% nas demais fontes (Figura 5). O déficit hídrico ocorrido entre os meses de fevereiro e abril (Figura 3) parece não ter influenciado o desenvolvimento do diâmetro do colmo.

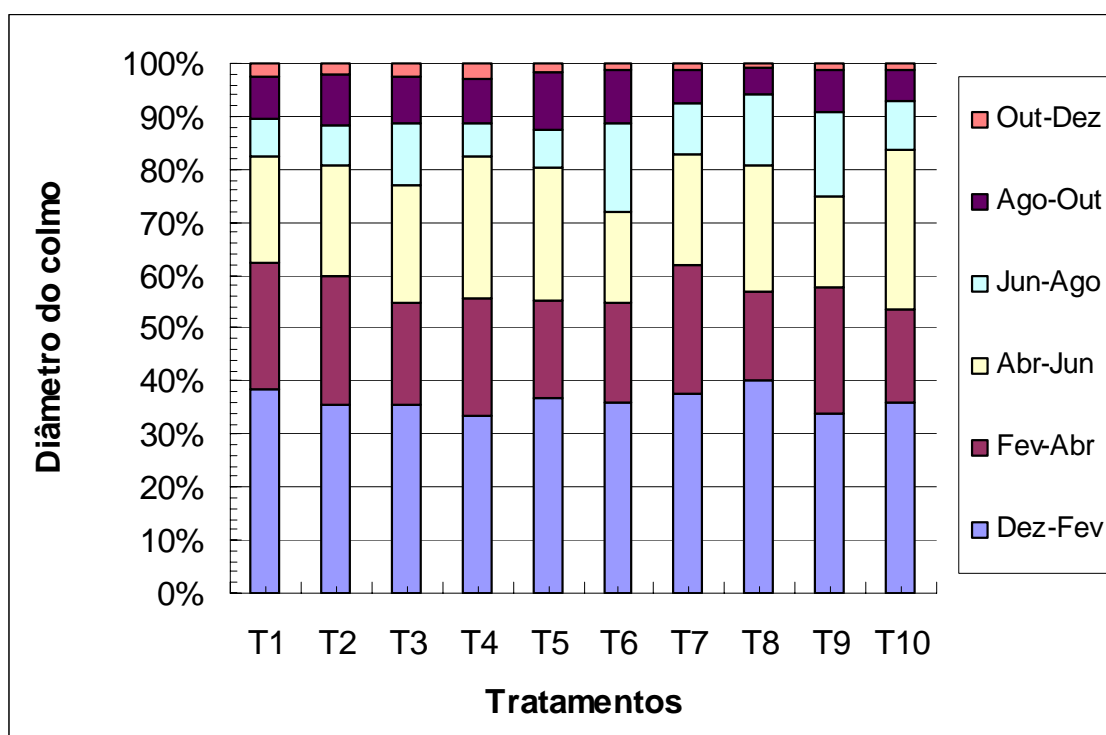


Figura 5. Contribuição percentual do diâmetro do colmo nos diferentes tratamentos e períodos analisados.

4 Área e índice de área foliar

A área foliar apresentou crescimento até o oitavo mês após o plantio (Quadro 8). Aos dez meses verificou-se uma tendência de decréscimo, indicando o início da fase de maturação. Não houve diferença entre os

diferentes tratamentos, mostrando que as fontes e a redução da dose total de fósforo não influenciaram a área foliar por planta. Até o quarto mês, os fotoassimilados são utilizados para o estabelecimento da população responsável pela produção. A partir daí há a necessidade de crescimento e acúmulo de material orgânico, começando de forma rápida a expansão das folhas em comprimento, largura e número para formar maior área de captação de energia, justificando o fato do maior incremento ter sido alcançado entre o quarto e oitavo mês após o plantio (Quadro 8). O período de maior crescimento da área foliar coincide com o período de maior disponibilidade hídrica (Figura 3) e, portanto, com o maior desenvolvimento da cultura, onde ocorre a fase de estabilização do índice de área foliar (IAF), com valores superiores a 3 (Figura 6) e forma-se cerca de 70% da fitomassa total do colmo (Figura 7).

Quadro 8. Área foliar por planta nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação

Tratamentos	Área foliar					
	2 meses Fev	4 meses Abr	6 meses Jun	8 meses Ago	10 meses Out	12 meses Dez
	-----cm ² -----					
Testemunha	567,5	1557,4	2518,6	3479,8	3208,5	2129,7
NK	469,5	1830,4	2628,7	3426,9	3752,6	2188,1
SS	360,5	1539,0	2535,7	3532,3	3406,2	1889,4
ST	439,1	2065,1	2739,7	3414,4	3562,3	2073,8
Fosmag	499,9	1650,8	2575,6	3500,4	3439,0	1806,8
Foscana	471,5	1448,5	2489,9	3531,3	3305,9	2123,8
MAP	489,3	1679,5	2594,9	3510,2	3557,7	2220,5
Fórmula	517,5	1579,9	2516,1	3452,2	3343,5	2373,8
Composto	449,3	1578,3	2596,7	3615,1	3545,8	2244,5
SSP	454,3	1800,3	2767,3	3734,1	3314,2	2000,1
Efeitos	-----Quadrados médios-----					
Blocos	23714,12 ns	106377,6ns	42558,06ns	49373,55ns	9012,419ns	78180,83ns
Tratamento	11826,73ns	130918,3ns	34992,55ns	36302,84ns	104662,6ns	115681,1ns
Resíduo	13373,27	93772,13	38855,39	51398,98	76512,97	92055,15
CV(%)	24,5	18,3	7,6	6,4	8,0	14,4

ns - não - significativos até 5% de probabilidade, pelo teste F. Épocas de avaliação com valores sem acompanhamento de letras, significam que não houve efeitos significativos entre os mesmos. NK (nitrogênio e potássio), SS (super simples), ST (super triplo), MAP (fosfato monoamônico), Fórmula (06-26-24), Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas) SSP (super simples parcelado).

Os valores do IAF, ao longo do ciclo da cultura são apresentados no Quadro 9. Os dados mostram que as diferentes fontes de fósforo e a redução da dose total não influenciaram o IAF durante o período estudado. Apenas no oitavo mês houve uma superioridade do super simples parcelado em relação à testemunha (sem NPK), que não se repetiu nos meses seguintes.

Quadro 9. Índice de área foliar de planta nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação

Tratamentos	Índice de área foliar					
	2 meses Fev	4 meses Abr	6 meses Jun	8 meses Ago	10 meses Out	12 meses Dez
	-----m ² m ⁻² -----					
Testemunha	0,5	3,6	3,3	3,4 b	3,0	1,8
NK	0,4	4,4	3,6	3,6 ab	3,6	1,8
SS	0,3	3,7	3,5	3,9 ab	3,3	1,6
ST	0,4	4,9	3,6	3,6 ab	3,2	1,7
Fosmag	0,4	4,2	3,6	4,1 ab	3,4	1,6
Foscana	0,4	3,2	3,4	3,7 ab	3,2	1,8
MAP	0,4	4,5	3,6	3,7 ab	3,4	1,9
Fórmula	0,5	3,7	3,5	3,7 ab	3,2	2,0
Composto	0,4	4,1	3,6	4,0 ab	3,5	2,0
SSP	0,4	4,3	3,8	4,3 a	3,1	1,7
Efeitos	-----Quadrados médios-----					
Blocos	0,01958ns	0,5509ns	0,0936ns	0,0510ns	0,0617ns	0,04092ns
Tratamento	0,00736ns	0,9536ns	0,0700ns	0,2704*	0,1321ns	0,08458ns
Resíduo	0,0140	0,6150	0,08321	0,1167	0,1276	0,0655
CV(%)	28,7	19,3	8,1	9,0	10,8	14,5

* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. ns - não - significativos até 5% de probabilidade, pelo teste F. Épocas de avaliação com valores sem acompanhamento de letras, significam que não houve efeitos significativos entre os mesmos. NK (nitrogênio e potássio), SS (super simples), ST (super triplo), MAP (fosfato monoamônico), Fórmula (06-26-24), Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas) SSP (super simples parcelado). Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem a 5%, pelo teste de Tukey.

Mesmo não havendo diferenças estatísticas, o IAF cresceu rapidamente até o quarto mês, apresentando valores que variaram de 3,2 no foscana a 4,9 no super triplo e em seguida, caiu ligeiramente até o décimo mês (início da fase de maturação) com IAF de 3,0 na testemunha e 3,6 no tratamento com N K. No final do ciclo da cultura, esse índice variou de 1,6 nos tratamentos com super simples e fosmag a 2,0 nos tratamentos que tiveram como fontes de fósforo a fórmula e o composto. Esses baixos valores de IAF foram proporcionados pela

redução da área foliar ocorrida nesse período, causada pela redução na população de perfilhos (Quadro 4) e pela senescência das folhas, ocasionada pelo déficit hídrico e/ou na fase de maturação da cultura, quando ocorre intensa concentração de sacarose. Resultados com valores semelhantes foram encontrados por LEME et al. (1984) e SUGUITANI (2001). O super triplo, fosmag, MAP, composto e super simples parcelado foram as fontes que apresentaram os maiores valores de IAF no período de maior atividade fotossintética da cultura (do quarto ao décimo mês após o plantio), assemelhando-se ao tratamento NK. O super simples e o foscana apresentaram-se de forma intermediária a testemunha e aos demais tratamentos.

Na figura 6 é apresentado o comportamento do IAF em função de dias após o plantio.

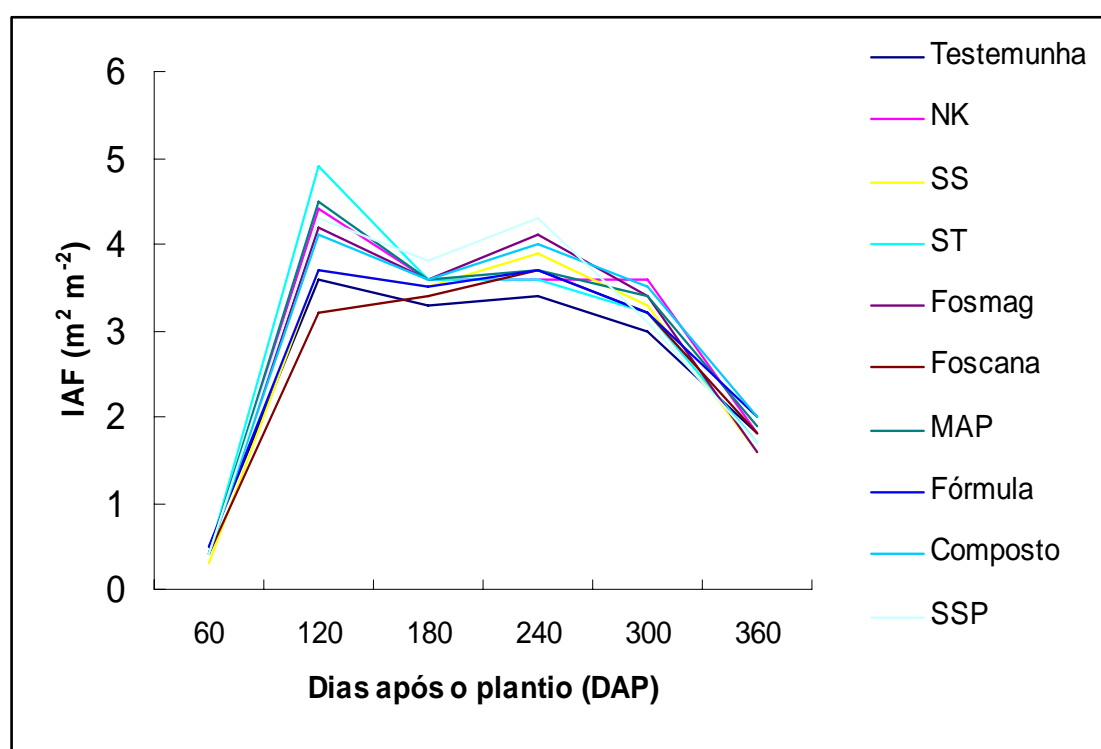


Figura 6. Índice de área foliar em função de dias após plantio (DAP) nos diferentes tratamentos analisados.

Verifica-se que houve um período de crescimento lento até os 60 dias, período de crescimento rápido dos 60 aos 120 dias, quando atingiu valores máximos, período de estabilização, ocorrendo dos 120 até os 300 dias após o plantio e, finalmente, um período de decréscimo a partir dos 300 dias,

indicando o processo de maturação e concentração de sacarose. Esse tipo de comportamento também foi observado por LEME et al. (1984), TERUEL (1995), TOLEDO FILHO (2001), SILVA et al. (2002) e OLIVEIRA et al. (2004).

Observando-se a figura 6, verifica-se que no período de maior desenvolvimento da cultura (fase de alongamento do colmo) o IAF apresentou valores superiores a 3, o que garantiu maior incremento em fitomassa. Os valores encontrados no presente estudo concordam com os obtidos por LEME et al. (1984) em experimento com cana não irrigada e OLIVEIRA et al. (2004) estudando o crescimento e o desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar e discordam dos valores encontrados por MACHADO et al. (1982), TERUEL (1995), TOLEDO FILHO (2001) e SILVA et al. (2002), podendo ser atribuídos às características da variedade, condições ambientais local e sistema de manejo adotado.

5 Fitomassa da parte aérea

Os resultados referentes à produção de fitomassa do colmo nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação são apresentados no Quadro 10. A massa do colmo da cana-planta não foi influenciada pelas fontes de fósforo e pela redução da dose total desse nutriente (Quadro 10). Apenas no último mês, ocorreu diferenças significativas entre a testemunha e algumas fontes (super simples, super triplo, fosmag, fórmula, composto e super simples parcelado). Verifica-se maior incremento a partir do quarto mês para todos os tratamentos estudados. Até o sexto mês, não se verifica nenhuma tendência com relação ao comportamento das fontes. Mesmo sem apresentar diferenças estatísticas, a partir do oitavo mês, o super simples, super triplo, fosmag, fórmula, composto e super simples parcelado assumem posição de destaque. O foscana e o MAP apresentaram-se como fontes intermediárias, com produção de colmo superior apenas a testemunha (Quadro 10).

O foscana apresentou bom desempenho na produção de fitomassa do colmo, sendo inferior ao MAP apenas aos quatro meses após o plantio. FIGUEIREDO FILHO (2002), verificou que o fosfato de gafsa (produto similar ao foscana) apresentou rendimento superior ao MAP e ao super simples,

destacando a capacidade dessa fonte em fornecer P à cultura. O composto apresentou-se como fonte promissora, mostrando que pode substituir os fertilizantes solúveis com equivalente eficiência. O fracionamento da dose total de fósforo em fundação e socaria promoveu produção de massa do colmo idêntico à fonte que promoveu maior rendimento (super triplo). Em solos com considerável efeito residual, o fracionamento da dose total pode ser o diferencial na estabilidade da produtividade das socarias. Esse fato se reveste de importância devido ao fato das socarias representarem 70 a 80% da moagem.

Quadro 10. Massa do colmo nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação

Tratamentos	Massa do colmo					
	2 meses Fev	4 meses Abr	6 meses Jun	8 meses Ago	10 meses Out	12 meses Dez
	----- t ha ⁻¹ -----					
Testemunha	1,1	16,5	59,6	75,7	77,5	79,5 b
NK	2,2	15,0	61,4	77,6	83,9	87,7 ab
SS	2,1	11,4	59,3	85,1	90,8	94,4 a
ST	2,0	13,6	65,3	86,2	93,2	96,4 a
Fosmag	1,1	18,5	63,2	88,5	92,3	95,6 a
Foscana	2,2	14,7	70,0	82,5	84,6	85,5 ab
MAP	1,7	20,7	68,3	79,9	82,7	85,0 ab
Fórmula	1,9	18,3	65,1	84,4	89,4	94,2 a
Composto	1,4	18,8	65,0	91,1	93,0	94,6 a
SSP	1,6	18,3	70,6	85,9	92,3	96,0 a
Efeitos	----- Quadrados médios -----					
Blocos	0,1183ns	25,0609ns	53,2069ns	48,0363ns	210,8437*	19,0993ns
Tratamento	0,7082	32,6985ns	64,3829ns	92,0047ns	117,9615ns	141,7521**
Resíduo	0,2530	20,8517	45,6199	81,8518	53,6486	34,9384
CV(%)	28,8	27,5	10,4	10,8	8,3	6,5

* e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. ns - não - significativos até 5% de probabilidade, pelo teste F. Épocas de avaliação com valores sem acompanhamento de letras, significam que não houve efeitos significativos entre os mesmos. NK (nitrogênio e potássio), SS (super simples), ST (super triplo), MAP (fosfato monoamônico), Fórmula (06-26-24), Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas) SSP (super simples parcelado). Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem a 5%, pelo teste de Tukey.

Na figura 7 são apresentadas as contribuições percentuais da fitomassa do colmo ($t\ ha^{-1}$) durante todo ciclo da cana-planta. Observa-se que as maiores contribuições na produção do colmo ocorreu no período de abril a junho de 2004, com cerca de 50%, em média da fitomassa total do colmo. O foscana e o foscana apresentaram a menor e maior contribuição, com 47% e 65%, respectivamente.

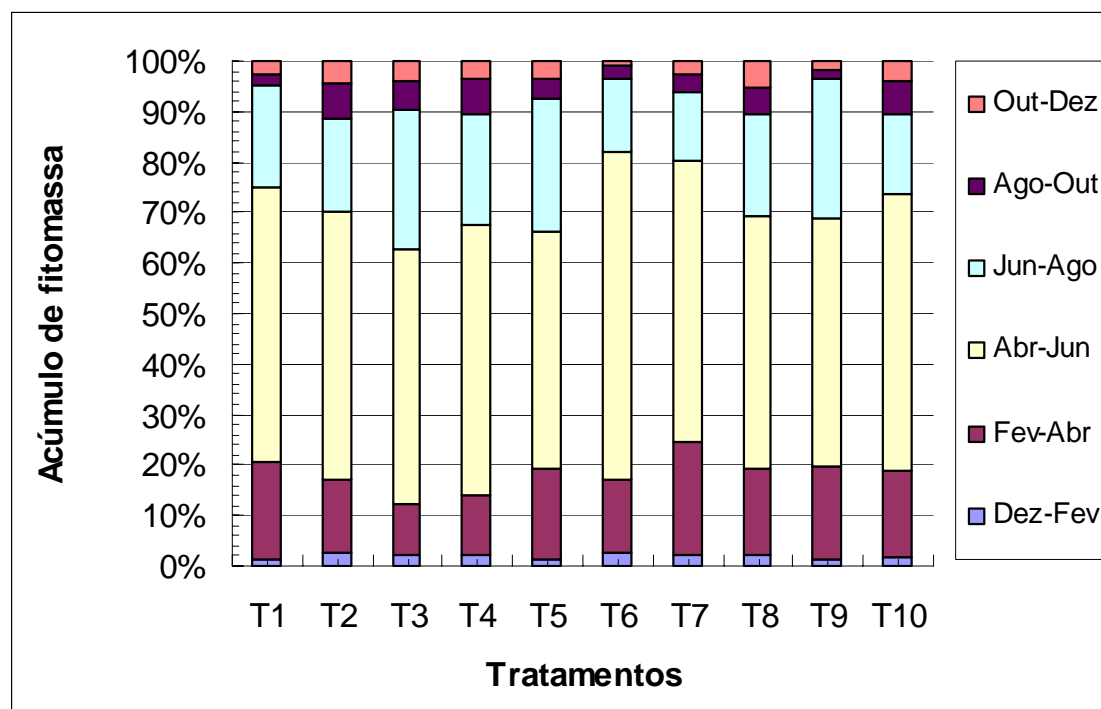


Figura 7. Contribuição percentual da produção de colmo nos diferentes tratamentos e períodos analisados.

Considerando-se o período abril-agosto, verifica-se que para todos os tratamentos houve incremento igual ou superior a 70%, sendo o MAP, a fórmula e o super simples parcelado as fontes que apresentaram os menores percentuais de incremento. O maior incremento foi obtido pelo foscana, com cerca de 80%. O incremento da testemunha foi equivalente a $58,8\ t\ ha^{-1}$ e o do MAP, fonte que apresentou menor massa do colmo ($85\ t\ ha^{-1}$) igual a $59,5\ t\ ha^{-1}$, enquanto o incremento do foscana corresponde a $68,7\ t\ ha^{-1}$. Desta forma, todos os tratamentos apresentaram incremento na massa do colmo ($t\ ha^{-1}$) superior a testemunha.

Resultados semelhantes foram encontrados por SUGITANI (2001), na região de São Paulo, onde encontrou no primeiro período (julho a dezembro)

acúmulo de cerca de 20% da fitomassa total do colmo, no segundo período (dezembro a março) cerca de 60%, o maior incremento, coincidindo com o período de maior precipitação e temperaturas elevadas e no último período (março a agosto), cerca de 25% da fitomassa total do colmo. Resultados com comportamento semelhante foram encontrados por SILVA (2005), verificando que o período de maior contribuição percentual para a fitomassa total do colmo coincidiu com o período de maior precipitação (abril-junho).

No Quadro 11 são apresentadas as funções logísticas para calcular o acúmulo de matéria fresca do colmo. Os altos coeficientes de determinação indicam um bom ajuste dessas equações. A partir dessas equações determinaram-se as taxas de produção de matéria fresca do colmo e a taxa de crescimento relativo do colmo (Figuras 8 e 9). A curva que descreve a taxa de produção de matéria fresca do colmo apresentou formato de sino. No início do ciclo da cultura, foi baixa, aumentando rapidamente até atingir valores máximos, decrescendo em seguida, quando se estabiliza por volta dos 240 dias após o plantio. Esse mesmo comportamento foi observado por GAVA et al. (2001), estudando o crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar, para a taxa de produção de matéria seca.

Quadro 11. Funções logísticas utilizadas para determinação da massa do colmo da cana-planta em função de dias após o plantio (DAP) em diferentes tratamentos e períodos analisados

Tratamentos	Equação	R ²
Testemunha	$y = 79,529/(1 + (DAP/149,884)^{-6,028})$	0,999
NK	$y = 86,526/(1 + (DAP/155,884)^{-5,722})$	0,998
SS	$y = 94,283/(1 + (DAP/165,269)^{-6,028})$	0,999
ST	$y = 95,623/(1 + (DAP/159,835)^{-6,041})$	0,999
Fosmag	$y = 96,765/(1 + (DAP/158,574)^{-5,252})$	0,999
Foscana	$y = 85,086/(1 + (DAP/147,325)^{-7,593})$	0,999
MAP	$y = 84,090/(1 + (DAP/143,216)^{-6,247})$	0,999
Fórmula	$y = 93,515/(1 + (DAP/155,262)^{-5,346})$	0,999
Composto	$y = 96,412/(1 + (DAP/156,106)^{-5,552})$	0,999
SSP	$y = 94,433/(1 + (DAP/151,594)^{-5,900})$	0,998

NK (nitrogênio e potássio), SS (super simples), ST (super triplo), MAP (fosfato monoamônico), Fórmula (06-26-24), Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas) SSP (super simples parcelado).

As maiores taxas de produção de matéria fresca do colmo estão dentro do período compreendido entre 120 e 180 dias após o plantio, chegando a valores máximos de $1,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ no foscana. É nesse período que se concentra o maior volume de chuvas (Figura 1), havendo excedente hídrico (Figura 3). Aos 120 dias após o plantio cessa a fase de perfilhamento e a população já estabelecida aproveita as condições ambientais favoráveis para crescer e acumular fitomassa (Quadros 5 e 10). Dos 120 para os 180 dias após o plantio há a redução do número perfilhos por metro linear a metade (Quadro 4), o índice de área foliar atinge valores máximos e a disponibilidade de nutriente é favorecida pela umidade do solo, principalmente a de fósforo.

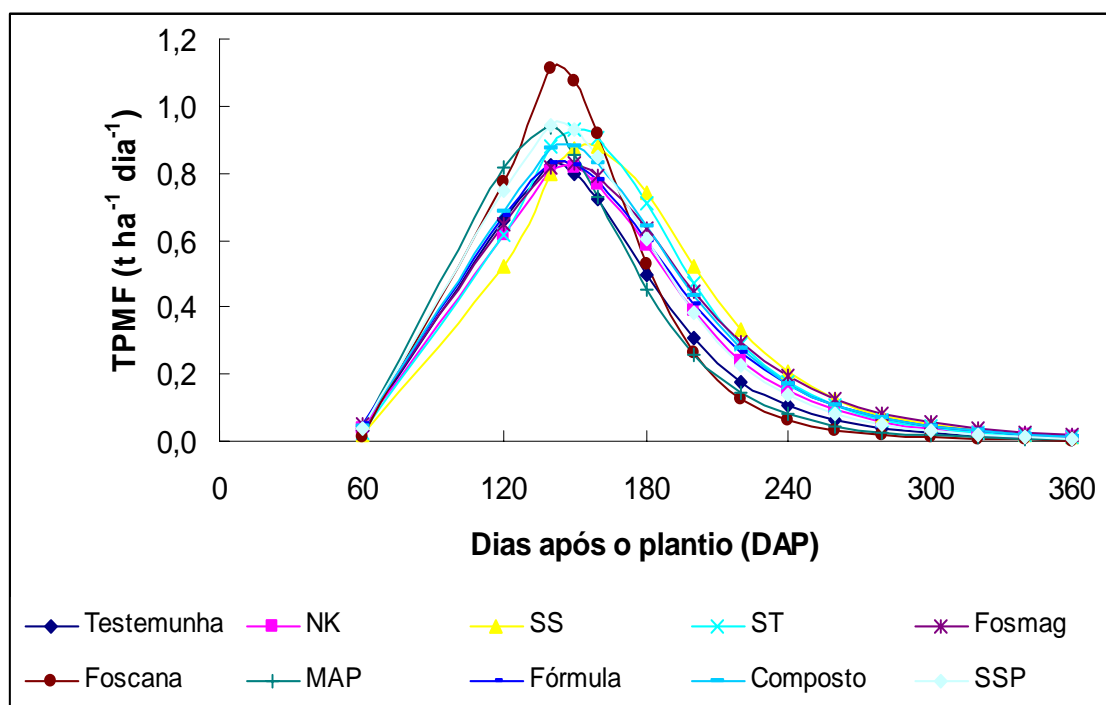


Figura 8. Taxa de produção da matéria fresca (TPMF) do colmo da cana-planta em diferentes tratamentos e períodos analisados.

A taxa de crescimento relativo (TCR) da matéria fresca do colmo apresentou aspecto de função exponencial negativa (Figura 9), com valores máximos obtidos aos 120 dias após o plantio para todos os tratamentos. Durante todo ciclo da cana-planta, as menores e maiores taxas foram apresentadas pelo super simples e pelo fosmag, com $0,028 \text{ t t}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $0,047 \text{ t t}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. Verificou-se que à medida que a planta cresceu houve diminuição da TCR tendendo a zero na fase de maturação, sendo atribuído

dentre outros fatores ao aumento da competição intraespecífica pelos principais fatores ambientais responsáveis pelo crescimento vegetal, tais como: luz, nutrientes, difusão de CO₂ dentro do stand (GAVA et al., 2001). Estudando três cultivares de cana-de-açúcar, OLIVEIRA et al. (2005) observaram TCR máxima aos 135 após o plantio, ocorrendo posteriormente um decréscimo gradual até a colheita.

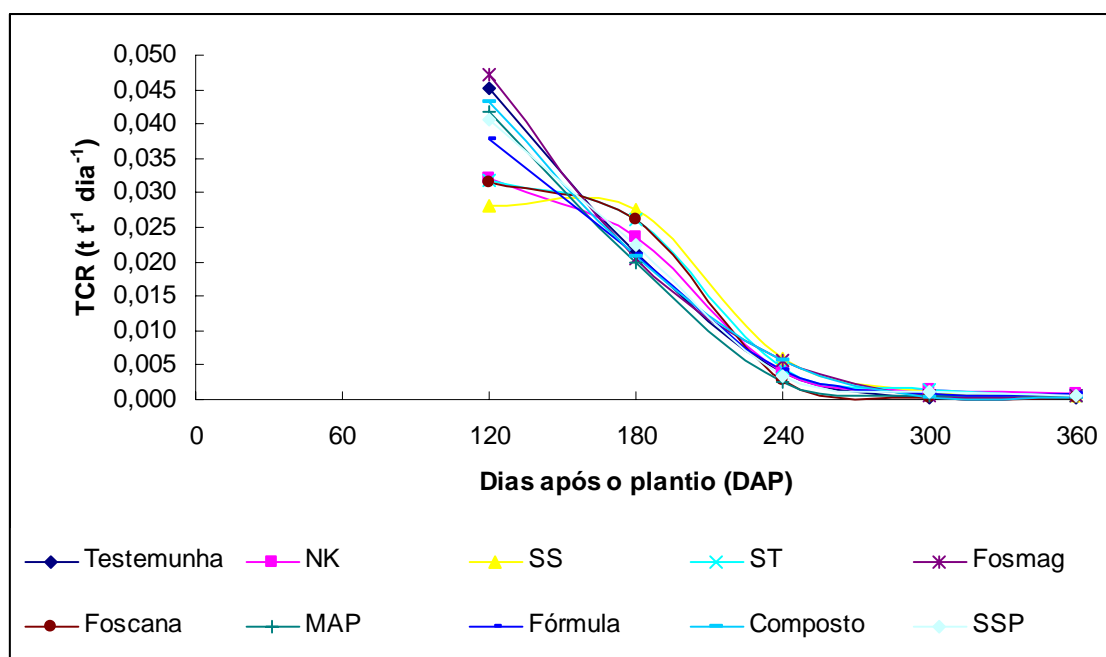


Figura 9. Taxa de crescimento relativo (TCR) da matéria fresca do colmo da cana-planta em diferentes tratamentos e períodos analisados.

Houve crescimento na fitomassa da folha até os seis meses após o plantio (Quadro 12). Aos oito meses houve queda e novamente aumento e estabilização a partir dos dez meses. As fontes de fósforo e a redução da dose total do nutriente apresentaram influência significativa na massa da folha da cana-planta aos dois, seis, dez e doze meses após o plantio.

Aos dois meses, o super triplo apresentou resultados semelhantes ao super simples, foscana, fórmula e super simples parcelado, diferindo estatisticamente do fosmag, MAP e composto, os quais apresentaram comportamento semelhantes a testemunha. Aos seis meses a fórmula apresentou resultados semelhantes a testemunha, fosmag e foscana, diferindo estatisticamente das demais fontes, as quais foram semelhantes ao tratamento NK. Aos dez e doze meses o composto apresentou o melhor resultado, sendo

semelhante ao super simples, fosmag, fórmula e super simples parcelado, diferindo das demais fontes e das testemunhas.

De forma geral, analisando-se todo ciclo da cultura observa-se não haver tendência de domínio no desempenho de fontes solúveis, reativa e orgânica. A exceção é o melhor desempenho do composto e da fórmula a partir dos dez meses, chegando o composto a uma produção de fitomassa da folha igual a $9,4 \text{ t ha}^{-1}$ (Quadro 12). O super triplo que aos dois meses, apresenta-se como a melhor fonte, comporta-se a partir dos quatro meses com resultados iguais ou inferiores às testemunhas. O foscana apresenta valores de produção de fitomassa superiores ao super simples e super triplo dos quatro aos oito meses após o plantio, invertendo-se a partir dos dez meses. Com exceção da amostragem feita aos seis meses, o super simples parcelado apresentou valores de fitomassa estatisticamente iguais às fontes de melhor desempenho.

Quadro 12. Massa da folha nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação

Tratamentos	Massa de folha					
	2 meses Fev	4 meses Abr	6 meses Jun	8 meses Ago	10 meses Out	12 meses Dez
	----- t ha ⁻¹ -----					
Testemunha	0,4 b	4,4	8,5 abc	5,0	5,9 c	6,1 b
NK	0,6 ab	5,1	7,7 c	5,1	6,4 bc	6,7 b
SS	0,7 ab	3,9	8,3 bc	5,4	7,3 abc	7,5 ab
ST	0,9 a	4,7	8,2 bc	5,2	6,2 bc	6,8 b
Fosmag	0,5 b	5,5	10,4 ab	6,4	7,4 abc	7,4 ab
Foscana	0,7 ab	4,9	9,6 abc	6,1	5,5 c	6,4 b
MAP	0,4 b	5,9	8,1 c	5,4	6,1 bc	6,2 b
Fórmula	0,6 ab	5,4	10,6 a	5,9	8,5 ab	8,4 ab
Composto	0,4 b	4,9	7,9 c	6,8	8,9 a	9,4 a
SSP	0,6 ab	4,7	7,4 c	6,6	7,3 abc	7,6 ab
Efeitos	-----Quadrados médios-----					
Blocos	0,0403ns	1,1962ns	1,6340ns	0,5927ns	0,6569ns	0,4590ns
Tratamento	0,1035**	1,2661ns	5,1654**	1,2521ns	5,0528**	4,3104**
Resíduo	0,0241	0,7627	0,8286	0,8954	1,0067	0,8796
CV(%)	26,4	17,6	10,5	16,5	14,5	12,9

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. ns - não - significativos até 5% de probabilidade, pelo teste F. Épocas de avaliação com valores sem acompanhamento de letras, significam que não houve efeitos significativos entre os mesmos. NK (nitrogênio e potássio), SS (super simples), ST (super triplo), MAP (fosfato monoamônico), Fórmula (06-26-24), Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas) SSP (super simples parcelado). Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem a 5%, pelo teste de Tukey.

Os dados referentes a produção de fitomassa do palmito são apresentados no Quadro 13. Verifica-se crescimento da fitomassa do palmito até os oito meses após o plantio, com exceção do super triplo, foscana, MAP e super simples parcelado. O comportamento dessa variável não foi influenciado pelas fontes e redução da dose total de fósforo. Observa-se que o maior incremento foi alcançado entre os dois e quatro meses após o plantio. Aos oito meses a máxima e mínima produção da fitomassa do palmito foram obtidas pela testemunha e pelo super triplo 19,6 t ha⁻¹ e 15,3 t ha⁻¹, respectivamente (Quadro 13).

Quadro 13. Massa do palmito nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação

Tratamentos	Massa do palmito					
	2 meses Fev	4 meses Abr	6 meses Jun	8 meses Ago	10 meses Out	12 meses Dez
	----- t ha ⁻¹ -----					
Testemunha	2,1	13,8	15,8	19,6	11,0	9,3 c
NK	3,0	13,7	15,7	15,9	14,3	13,9 a
SS	2,8	12,1	16,1	17,4	13,0	12,5 ab
ST	3,0	13,0	17,1	15,3	13,1	11,8 abc
Fosmag	2,6	15,1	16,4	17,2	11,8	10,7 bc
Foscana	3,1	11,9	17,2	16,8	13,4	11,8 abc
MAP	2,8	15,3	16,4	16,0	12,6	11,5 abc
Fórmula	3,3	12,2	15,1	18,4	13,7	12,0 abc
Composto	3,2	16,1	17,3	18,8	14,7	12,9 ab
SSP	3,1	14,2	17,5	15,4	14,4	12,9 ab
Efeitos	----- Quadrados médios-----					
Blocos	0,06025ns	0,0389ns	0,7222ns	3,4753ns	1,7829ns	1,7513ns
Tratamento	0,4969ns	8,3724ns	2,5551ns	8,9146ns	5,5030ns	6,6238**
Resíduo	0,3695	5,4935	3,3900	5,6363	2,5538	1,3332ns
CV(%)	20,8	17,1	11,2	13,9	12,1	9,7

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. ns - não - significativos até 5% de probabilidade, pelo teste F. Épocas de avaliação com valores sem acompanhamento de letras, significam que não houve efeitos significativos entre os mesmos. NK (nitrogênio e potássio), SS (super simples), ST (super triplo), MAP (fosfato monoamônico), Fórmula (06-26-24), Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas) SSP (super simples parcelado). Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem a 5%, pelo teste de Tukey.

Considerando-se todo período estudado, o composto mostrou-se superior às demais fontes. Apresentou crescimento de $3,2 \text{ t ha}^{-1}$ aos dois meses até $18,8 \text{ t ha}^{-1}$ aos oito meses, havendo a partir daí, início da fase de maturação, uma redução para $12,9 \text{ t ha}^{-1}$ aos doze meses. O super simples e super triplo, fontes solúveis utilizadas em larga escala para o fornecimento de fósforo às culturas apresentaram em algumas épocas de avaliação valores iguais ou inferiores às testemunhas (Quadro 13). O tratamento com NK só foi superado por essas fontes aos seis meses e aos oito meses apenas pelo super simples. Isso indica que o fósforo não foi limitante para a cultura e que a adição de nitrogênio e potássio foi suficiente para se obter produtividades equivalentes às fontes solúveis (Quadro 13) comumente usadas em adubações da cana-de-açúcar.

O super simples parcelado apresentou bom desempenho quando comparado com as demais fontes, principalmente com as mais solúveis e comumente utilizadas para fornecer P à cultura. Proporcionou rendimento na massa do palmito inferior apenas a fórmula e ao composto aos dois meses, fosmag, MAP e composto aos quatro meses, inferior apenas ao composto aos dez meses. Foi superior a todos os tratamentos aos seis meses, com $17,5 \text{ t ha}^{-1}$. Apresentou pior desempenho aos oito meses quando foi superior apenas ao super triplo (Quadro 13). Em comparação às testemunhas foi inferior apenas aos oito e doze meses após o plantio.

No Quadro 14 são apresentados os dados da produção de fitomassa total da parte aérea nos diferentes tratamentos e épocas de amostragens. Observando-se os resultados das análises estatísticas verifica-se que a fitomassa total não foi influenciada pelas fontes de fósforo e redução da dose total do nutriente.

As diferenças observadas estatisticamente é apenas em relação a testemunha (Quadro 14). Com exceção da testemunha, fosmag e foscana verificou-se aumento na fitomassa total até a colheita. Aos dois meses após o plantio a fitomassa total é constituída em 50% a 60% pela fitomassa do palmito, 10% pela fitomassa das folhas e 30 a 40% da fitomassa do colmo.

Aos quatro meses, quando termina a fase de perfilhamento e inicia-se o alongamento dos colmos, a contribuição percentual da fitomassa do palmito para a fitomassa total cai para 40%, das folhas sobe a 15% e a do colmo vai a

45% do total da fitomassa. Verifica-se aos seis meses um grande incremento na fitomassa do colmo (Quadro 10) contribuindo com cerca de 70% da fitomassa total contra 20 e 10% do palmito e folha, respectivamente. A partir do oitavo mês a contribuição da fitomassa do colmo para fitomassa total se estabiliza em torno de 80%, indo até a colheita. A contribuição da massa das folhas, também apresenta certa estabilidade nesse período, apesar de ter havido um ligeiro aumento em sua produção (Quadro 12), pois o equilíbrio é dado pelo crescimento continuado do colmo (Quadro 10). A maior inversão de contribuição para fitomassa total é observada entre a fitomassa do palmito (Quadro 13), que começa com maior contribuição e a fitomassa do colmo (Quadro 10), que finaliza com cerca de 80% da fitomassa total contra 10% do palmito.

Quadro 14. Fitomassa total nos diferentes tratamentos e épocas de avaliação

Tratamentos	Massa total					
	2 meses Fev	4 meses Abr	6 meses Jun	8 meses Ago	10 meses Out	12 meses Dez
	-----t ha ⁻¹ -----					
Testemunha	3,7	34,8	83,9	100,3	94,4 b	94,8 b
NK	5,9	33,8	84,8	98,6	104,6 ab	108,3 ab
SS	5,7	27,4	83,8	108,0	111,0 ab	114,4 a
ST	6,0	31,3	90,6	106,8	112,5 ab	114,9 a
Fosmag	4,2	39,0	90,0	112,1	111,5 ab	113,6 a
Foscana	6,0	31,5	96,7	105,4	103,5 ab	103,7 ab
MAP	5,0	42,0	92,8	101,3	101,4 ab	102,7 ab
Fórmula	5,8	35,9	90,1	108,7	111,6 ab	114,6 a
Composto	5,0	39,7	90,3	115,9	116,6 a	117,0 a
SSP	5,4	37,2	95,5	107,9	114,0 ab	116,5 a
Efeitos	-----Quadrados médios-----					
Blocos	0,3210ns	36,4162ns	82,1767ns	80,8369ns	272,3247*	32,5522ns
Tratamento	2,5393ns	78,8739ns	83,6448ns	114,4997ns	188,3323*	245,0235**
Resíduo	1,4327	47,9883	73,5522	110,3482	80,9100	51,3408
CV(%)	22,8	19,6	9,5	9,9	8,3	6,5

* e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. ns - não significativos até 5% de probabilidade, pelo teste F. Épocas de avaliação com valores sem acompanhamento de letras, significam que não houve efeitos significativos entre os mesmos. NK (nitrogênio e potássio), SS (super simples), ST (super triplo), MAP (fosfato monoamônico), Fórmula (06-26-24), Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas) SSP (super simples parcelado). Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem a 5%, pelo teste de Tukey.

Comportamento semelhante foi observado por MACHADO et al. (1982). Verificaram que até os 100 dias após o plantio, a matéria seca das folhas representava mais de 70% da matéria seca total da parte aérea. A partir daí a quantidade da matéria seca das folhas decresceu progressivamente, representando aos 400 dias apenas 9% da matéria seca total da parte aérea contra 91% do colmo, evidenciando que a dimensão do sistema fotossintético se estabelece nos estádios iniciais do desenvolvimento da cultura, visando maior captação de energia solar disponível.

6 Rendimento agrícola e industrial

Os resultados de toneladas de cana por hectare, pol corrigida e toneladas de pol por hectare são apresentados no Quadro 15. A produtividade final da cana-de-açúcar foi influenciada pelas diferentes fontes de fósforo. Verifica-se que o super triplo apresentou rendimento superior ao super simples, fosmag e a fórmula, não diferindo estatisticamente das demais fontes e nem do tratamento com NK. Destacada a superioridade do super triplo, as demais fontes apresentaram comportamento semelhantes quando comparadas pelo teste de Tukey a 5%. A testemunha apresentou o pior resultado (Quadro 15). Enquanto isso, o tratamento com NK proporcionou rendimento agrícola estatisticamente idêntico ao super triplo, fonte de melhor desempenho.

Quadro 15. Rendimento agrícola e industrial nos diferentes tratamentos analisados

Tratamentos	TCH -----t ha ⁻¹ -----	PC -----%-----	TPH -----t ha ⁻¹ -----
Testemunha	71,3 c	13,5	9,6 c
NK	82,3 ab	13,6	11,2 ab
SS	81,2 bc	13,4	10,8 bc
ST	91,5 a	13,5	12,4 a
Fosmag	79,5 bc	13,4	10,6 bc
Foscana	82,9 ab	13,3	11,0 abc
MAP	87,7 ab	13,3	11,7 ab
Fórmula	79,3 bc	13,4	10,7 bc
Composto	85,7 ab	13,4	11,5 ab
SSP	87,1 ab	13,4	11,6 ab
Efeitos	-----Quadrados médios-----		
Blocos	19,1177ns	0,2086*	0,7488ns
Tratamento	126,6210**	0,0425ns	2,2568**
Resíduo	16,3510	0,0597	0,3329
CV(%)	4,9	1,9	5,2

* e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. ns - não - significativos até 5% de probabilidade, pelo teste F. Épocas de avaliação com valores sem acompanhamento de letras, significam que não houve efeitos significativos entre os mesmos. NK (nitrogênio e potássio), SS (super simples), ST (super triplo), MAP (fosfato monoamônico), Fórmula (06-26-24), Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas) SSP (super simples parcelado). Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem a 5%, pelo teste de Tukey.

Em relação ao PC não houve influência das fontes de fósforo e da redução da dose total, estando a TPH relacionada com o rendimento de cana por hectare. Isso indica que a riqueza em açúcar de uma variedade associada ao seu maior potencial produtivo promove maior rendimento final de açúcar por hectare. ROSSETO et al. (2002), não observaram influência da adubação fosfatada nas características tecnológicas da cana-de-açúcar. Estudando a adubação fosfatada em fundação ou em cobertura aos dois meses ALBUQUERQUE e MARINHO (1982) e SOBRAL et al. (1989) não observaram diferença na produtividade, pureza e pol % de cana. PEREIRA et al. (1995), não observou influência de níveis crescentes de fósforo na pol % de cana.

7 Fósforo no solo e na folha

Os resultados da análise foliar aos quatro e oito meses e do fósforo disponível no solo aos oito meses encontram-se no Quadro 16. Aos 4 meses as fontes de fósforo exerceram influência significativa nos teores de fósforo na folha. Os teores foliares variaram de 2,5 g kg⁻¹ a 4,0 g kg⁻¹. Dentre as fontes, a única diferença foi observada entre o super triplo e o composto. As demais fontes apresentaram comportamento semelhantes ao super triplo, não diferindo do composto. O tratamento NK apresentou resultado idêntico ao super triplo, sendo também superior ao composto, indicando que o fósforo não foi limitante para a cultura.

KORNDÖRFER e ALCARDE (1992b), estudando o acúmulo e teor de fósforo em cana-de-açúcar, verificaram que não houve diferença entre as fontes super triplo, super simples, ácido fosfórico e ácido fosfórico + fosfato natural, encontrando valores de 2,8 g kg⁻¹ a 3,0 g kg⁻¹, considerando-se a nervura central. MALAVOLTA et al. (1997), mostraram valores de 16 variedades de cana-de-açúcar, variando de 2,0 a 2,6 g kg⁻¹. Os resultados encontrados nesse trabalho concordam com MARINHO e ALBUQUERQUE (1980), os quais observaram teores variando de 2,0 a 3,3 g kg⁻¹, não havendo diferença entre fontes solúveis e insolúveis em solos com P disponível acima de 16 mg dm⁻³.

Na amostragem realizada aos 8 meses, não houve influência das fontes. Observaram-se teores variando de 2,3 g kg⁻¹ a 3,0 g kg⁻¹ (Quadro 16). Teores de 2,0 g kg⁻¹ são considerados como adequados por MARINHO e ALBUQUERQUE (1980). Os teores observados nas folhas refletem os níveis de P do solo e demonstra que a cultura teve suprimento adequado do nutriente durante o ciclo.

Quadro 16. Fósforo no solo e na folha nos diferentes tratamentos

Tratamentos	P na folha		P no solo
	4 meses	8 meses	8 meses
	-----g kg ⁻¹ -----		-----mg dm ⁻³ -----
Testemunha	3,3 ab	2,8	18,0 c
NK	4,0 a	2,3	22,5 bc
SS	3,3 ab	2,5	70,2 abc
ST	4,0 a	3,0	71,0 abc
Fosmag	3,8 ab	2,5	100,0 ab
Foscana	3,0 ab	2,3	61,0 abc
MAP	3,0 ab	2,3	81,2 abc
Fórmula	3,0 ab	2,8	52,5 abc
Composto	2,5 b	2,5	118,5 a
SSP	3,0 ab	2,8	77,2 abc
Efeitos	-----Quadrados médios-----		
Blocos	1,1583ns	0,1667ns	563,0250ns
Tratamento	0,9694*	0,2667ns	3867,9690**
Resíduo	0,3620	0,2593	1079,4870
CV(%)	18,4	20,0	48,9

* e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. ns - não - significativos até 5% de probabilidade, pelo teste F. Épocas de avaliação com valores sem acompanhamento de letras, significam que não houve efeitos significativos entre os mesmos. NK (nitrogênio e potássio), SS (super simples), ST (super triplo), MAP (fosfato monoamônico), Fórmula (06-26-24), Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas) SSP (super simples parcelado). Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem a 5%, pelo teste de Tukey.

No caso do P disponível as diferenças são apenas em relação às testemunhas, observando-se uma variação de 18 mg dm⁻³ na testemunha a 118,5 mg dm⁻³ no composto. Valores mais elevados de P disponíveis no solo apresentado pelo composto pode está relacionado com extrator utilizado, no caso, o duplo ácido (Mehlich 1). ROSSETO et al. (2002), verificaram que aos 4 meses após plantio os teores de P disponíveis no solo na camada de 0-20 cm se situavam ao redor de 60 mg dm⁻³ no tratamento com super triplo no fundo do sulco, sendo que 2 anos após a aplicação, o teor nessa profundidade já estava quase próximo ao tratamento que não recebeu fósforo.

Destaque é dado para o composto orgânico, o qual apresentou valores de 118,5 mg dm⁻³, demonstrando a capacidade do mesmo no fornecimento de P disponível às plantas, manutenção de boas produtividades, menor custo, pois se trata de um subproduto do processo industrial da produção de açúcar e

álcool, além de contribuir para a melhoria das propriedades físico-químicas e microorganismos do solo. ALEONI et al. (1995), observaram que a aplicação de torta de filtro promoveu melhoria nas condições químicas do solo, com aumentos mais acentuados para o fósforo e o cálcio. Os níveis de P no solo e nas folhas (Quadro 16) e a produtividade das testemunhas (Quadro 15), demonstram que o fósforo não foi fator limitante para a cultura, pois a adição de N e K foi suficiente para promover boa produtividade.

Nos tratamentos correspondentes às testemunhas foram encontrados altos teores do elemento disponíveis no solo (MALAVOLTA et al., 1997), suficientes para proporcionar produtividades de 80 t ha⁻¹. Esses altos teores, encontrados nos tratamentos referentes às testemunhas, podem ser caracterizados como efeito residual proveniente de uma seqüência de adubações, pois se trata de área de cultivo contínuo com cana-de-açúcar e, portanto, não responde a adubação fosfatada de plantio como deve responder áreas carentes do elemento.

KORNDORFER e ALCARDE (1992a), em experimentos com cana-de-açúcar, observaram que depois de 34,5 meses mais de 30% do aumento nos teores de P disponível do solo oriundos da adubação de plantio ainda permaneciam no solo. ALBUQUERQUE e MARINHO (1982), estudando o efeito do parcelamento e épocas de adubação em cana-de-açúcar em Alagoas, verificaram que a resposta à adubação fosfatada ocorreu apenas em solos carente em P. ALBUQUERQUE e MARINHO (1980), verificaram que em solos com teores de fósforo iguais ou superior a 9 mg dm⁻³, não houve nenhuma resposta a adubação fosfatada para a produção de cana e açúcar por hectare, pol% na cana e pureza, enquanto que em solos com teores inferiores a 5 mg dm⁻³, aplicações de 150 kg ha⁻¹ foi suficiente para proporcionar resposta significativa para as variáveis citadas.

Vários trabalhos têm verificado a falta de resposta da cana-planta a adubação fosfatada. CESAR et al. (1987), também não observaram resposta da cana-de-açúcar ao uso do super triplo e vários fosfatos naturais nas dosagens de 100, 200 e 400 kg ha⁻¹. SUGUITANI (2001), estudando variedades e doses de fósforo na região canavieira de São Paulo não encontrou resposta a adubação fosfatada em doses de até 240 kg ha⁻¹ em solos com teores de fósforo igual ou superior a 7 mg dm⁻³. ORLANDO FILHO e

ZAMBELO JÚNIOR (1980), SOBRAL et al. (1989), WEBER et al. (1993) e FIGUEIREDO FILHO (2002) também encontraram resultados compatíveis com os obtidos nesse estudo.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para as condições do presente estudo permitem tirar as seguintes conclusões:

As fontes de fósforo só exerceram influência na altura de plantas aos dez meses, massa de folhas aos dois, seis, dez e doze meses, nos teores foliares aos quatro meses e na produtividade final.

As maiores taxas de alongação do colmo e produção de matéria fresca do colmo ocorreram entre 120 e 180 dias após o plantio.

Os níveis de fósforo disponíveis no solo foram suficientes para proporcionar produtividades médias superiores a 80 toneladas por hectare.

O composto mostrou-se eficiente no suprimento total de P para a cana-de-açúcar e na disponibilidade do nutriente no solo.

A redução da dose total de fósforo não comprometeu o desenvolvimento e a produção da cana-planta.

O super triplo foi superior ao super simples, fosmag e a fórmula no rendimento agrícola e industrial e ao composto na concentração foliar de fósforo.

Para o suprimento do fósforo pode-se fazer uso de qualquer uma das fontes estudadas, devendo-se considerar o preço, disponibilidade do produto no mercado, facilidade de aplicação e efeitos secundários.

REFERÊNCIAS

ADAMS, F. A comparison of the effects of monocalcium phosphate and diammonium phosphate on phosphorus and calcium availabilities. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.46, n.4, p.769-771, 1982.

ALBUQUERQUE, G.A.C., MARINHO, M.L., ARAÚJO FILHO, J.T. Competição de fontes de fósforo em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL. 1979, Maceió. **Anais...** Maceió-AL: STAB, 1980. v.2, p.319-322.

ALBUQUERQUE, G.A.C., MARINHO, M.L. Adubação na Região Norte-Nordeste. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983, p.265-286.

ALBUQUERQUE, G.A.C., MARINHO, M.L. Efeitos do parcelamento e épocas de adubação da cana-de-açúcar em Alagoas. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.100, n. 2, p.17-23, 1982.

ALBUQUERQUE, G.A.C., MARINHO, M.L. Resposta da cana-de-açúcar a combinações de DAP e hiperfosfato. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO

BRASIL, 1. , 1979, Maceió. **Anais...** Maceió-AL: STAB, 1980. v.2, p.323-327.

ALCARDE, J.C., PROCHNOW, L.I. Metodologias de extração química para avaliação da eficiência de fertilizantes fosfatados. In: YAMADA, T., ABDALLA, S.R.S (ed.). SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004, São Pedro-SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p.589-603.

ALEONI, L.R.F., BEAUCLAIR, E.G.F., BITTENCOURT, V.C. Produtividade e atributos de crescimento da RB735275, em áreas com e sem torta de filtro. **Stab**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.14, n.2, p.21-24, 1995.

ALFONSI, R.R., PEDRO JÚNIOR, M.J., BRUNINI, O., BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (coord.), **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.42-55.

ALVAREZ, I.A., CASTRO, P.R.C. Crescimento da parte aérea de cana crua e queimada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.1069-1079, 1999 (Suplemento).

ARAÚJO, J.K.S. **Caracterização dos solos das subestações de seleção e experimentação de clones RB de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas**. Rio Largo: UFAL, 2003. 71p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: FUNEP, 2003.

BIASIOLI, G.M. **Influência do pH e da fração iônica na liberação de fósforo de compostos do tipo Fe-K-P presentes em superfosfatos.** Piracicaba: ESALQ, 2003. 76p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pesca e Abastecimento. Secretaria de Produção e Comercialização. **Estatísticas:** agronegócio brasileiro. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br.htm>>. Acesso em: 12 mar. 2004.

CÂMARA, G.M.S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S., OLIVEIRA, E.A.M (eds.). **Produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba: FEALQ, 1993. p.31-64.

CAMPELLO, M.R., NOVAIS, R.F., FERNANDEZ R., I.E., FONTES, M.P.F., BARROS, N.F. Avaliação da reversibilidade de fósforo não lábil para lábil em solos com diferentes características. **R. bras. Ci. Solo,** Viçosa, v.18, n.2, p.157-165, 1994.

CANTARELLA, H., ROSSETO, R., LANDELL, M.G.A., BIDÓIA, M.A.P., VASCONCELOS, A.C.M. Mistura em diferentes proporções de fosfato natural reativo e fosfato solúvel em água para a cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife-PE: STAB, 2002. p.218-224.

CASTRO, P.R.C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. 2000a. Piracicaba-SP: **Anais...** STAB, 2000. p.1-9 (Material preliminar).

CASTRO, P.R.C. Utilização de reguladores vegetais no sistema de produção de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. 2000b. Piracicaba-SP: **Anais... STAB**, 2000. p.1-10 (Material preliminar).

CESAR, M.A.A., DELGADO, A.A., CAMARGO, A.P., BISSOLI, B.M.A., SILVA, F.C. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo de industrial. **Stab**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.5, n.5/6, p.32-38, 1987.

CESNIK, R., MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: EMBRAPA, 2004. 307p.

CHANG, J. **Climate and agriculture: an ecological survey**. Chicago: Aldine, 1968. 304p.

CLEMENTS, H.F. **Sugarcane crop logging and crop control: principles and practice**. Hawaii: The University of Hawaii Press. 1980. 520p.

DEFELIPO, B.V., RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo (metodologia)**. Boletim de Extensão. Viçosa: UFV, 1991. 14p.

DEMATTÊ, J.L.I. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. **Visão Agrícola**, v.1, p. 48-59, 2004.

DIAS, F.L.F., MAZZA, J.A., MATSUOKA, S., PERECIN, D., MAULE, R.F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.627-634, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.

ESPIRONELO, A. Contribuição do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) para a nutrição e adubação da cana-de-açúcar. II. Fósforo em cana-planta. **Stab**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.8, n.2, p.14-21, 1989.

FIGUEIREDO FILHO, C.P. Avaliação da adubação fosfatada da cana-de-açúcar com hiperfosfato natural reativo. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife-PE: STAB, 2002. p.259-263.

FIGUEIREDO FILHO, C.P., MARINHO, M.L., BARBOSA, G.V.S. Efeitos de doses de fósforo sobre a produção da cana-planta e socas em solos da mata norte de Pernambuco e litoral sul da Paraíba. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6., 1996, Maceió. **Anais...** Maceió-AL: STAB, 1996. p.469-476.

GAVA, G.J.C., TRIVELIN, P.C.O., OLIVEIRA, M.V., PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.11, p.1347-1354, 2001.

GOEDERT, W.J. Efeito residual de fosfatos naturais em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.5, p.499-506, 1983.

GOEDERT, W.J., LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.8, n.1, p.97-102, 1984.

GOEDERT, W.J. **Solos de Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Brasília: EMBRAPA – Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1985. 422p.

GOEDERT, W.J., SOUSA, D.M.G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: ESPINOZA, W., OLIVEIRA, A.J (ed.). SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1984. p.255-289.

GOMES. J.F.V. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)**. Piracicaba: ESALQ, 2003. 65p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

HAAG, H.P., DECHEN, A.R., CARMELLO, Q.A.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. v.1, Campinas-SP: Fundação Cargill, 1987, p.88-162.

HOROWITZ, N., MEURER, E.J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T., ABDALLA, S.R.S (ed.). SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004, São Pedro-SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p.665-687.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 jul. 2006.

JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.19-46.

KÄMPRATH, E.J. Phosphorus fixation and availability in weathered soils. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4, 1976, Brasília. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1977. p.333-347.

KOFFLER, N.F., DONZELI, P.L. Avaliação dos solos brasileiros para a cultura da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (coord.), **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.19-41.

KORNDORFER, G.H., ALCARDE, J.C. Aplicação de fósforo e rendimento de cana soca e ressoca. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.16, n.2, p.183-186, 1992a.

KORNDORFER, G.H., ALCARDE, J.C. Acúmulo e teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.16, n.2, p.217-222, 1992b.

KORNDÖRFER, G.H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T., ABDALLA, S.R.S (ed.). SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004, São Pedro-SP. **Anais...** São Paulo:

Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p.291-305.

KORNDÖRFER, G.H., MARTINS, M. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. **STAB**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.3, n.10, 1992. p.26-31.

KORNDÖRFER, G.H., VIEIRA, G.G., MARTINS, J., MATHIESEN, L.A. Resposta da cana-planta a diferentes fontes de fósforo. In: **Boletim Técnico Copersucar**, n.45, 1989, p.31-37.

LARSEN, S. Soil Phosphorus. In: NORMAN, A.G. **Advances in agronomy**. v.19, New York: Academic Press, 1967, p.151-206.

LEME, E.J.A., MANIERO, M.A., GUIDOLIN, J.C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade. **Caderno PLANALSUCAR**. Piracicaba, v.2, p.3-22, 1984.

LIMA FILHO, S.A., ZAMBELLO JÚNIOR, E., ORLANDO FILHO, J. Doses e fontes de fósforo em cana-planta no Estado de São Paulo. **Saccharum**, São Paulo, v.5, n.21, p.37-43, 1982.

LIU, D. L., KINGSTON, G., BULL, T. A. A new technique for determining the thermal parameters of phenological development in sugarcane, including sub optimum and supra-optimum temperature regimes. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.90, p.119-139, 1998.

LONERAGAN, J.F., GROVE, T.S., ROBSON, A.D., SNOWBALL, K. Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interactions in plants. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.43, n.5, p.966-972, 1979.

LOPES, A.S (Tradutor). **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998.

LOPES, A.S., SILVA, C.A.P., BASTOS, A.R.R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In: YAMADA, T., ABDALLA, S.R.S (ed.). **SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA**, 2004, São Pedro-SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p.13-34.

LUCCHESI, A.A. Cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). In: CASTRO, P.R.C., KLUGE, R.A. (Coords.). **Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendezeiro e oliveira**. Cosmópolis-SP: Stoller do Brasil, 2001, p.13-45.

LUCCHESI, A.A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P.R.C., FERREIRA, S.O., YAMADA, T. (eds.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p.1-11.

LUCCHESI, A.A. **Utilização prática da análise de crescimento vegetal**. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, v.41, p.181-201, 1984.

MACHADO, E.C. Fisiologia da produção da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (coord.), **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.56-87.

MACHADO, E.C., PEREIRA, A.R., FAHL, J.I., ARRUDA, J.V., CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 9, p.1323-1329, 1982.

MAGALHÃES, A.C.N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P.R.C., FERREIRA, S.O., YAMADA, T. (eds.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p.113-118.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E., KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: POTAFOS, 1985. 136p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: Ceres, 1967. 606p.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARINHO, M.L., ALBUQUERQUE, G.A.C. Resposta da cana-de-açúcar a níveis de P e correlação com análise foliar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 1. , 1979, Maceió. **Anais...** Maceió-AL: STAB, 1980. v.2, p.328-333.

MARINHO, M.L., CAVALCANTI, G.A., AMORIM, A.L.C. Influência do nitrogênio, fósforo e potássio no rendimento industrial dos canaviais de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, 1976. **Anais...** Campinas: SBCS, 1976. p.195-201.

MARINHO, M.L. **Aspectos agrônômicos e econômicos da adubação da cana em Alagoas**. Rio Largo: EECAA, 1974. 60p.

MEYER, J.H. The role of phosphorus in the production of sugarcane in South Africa. **Phosphorus in Agriculture**, n.78, p.23-32, 1980.

MILLER, M.H. Effects of nitrogen on phosphorus absorption by plants. In: CARSON, E.W. The plant root and its environment. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p.643-668.

MORAIS, J.F.B. **Estimativa da área foliar de quatro variedades de cana-de-açúcar**. Rio Largo: UFAL, 2004. 28p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Alagoas.

MORELLI, J.L., NELLI, E.J., BAPTISTELLA, J.R., DEMATTÊ, J.L.I. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas propriedades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.15, n.1, p.57-61, 1991.

MOURA FILHO, G. Manejo de fósforo na cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO REGIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL SOBRE CANA-DE-AÇÚCAR, 7., 2002, Recife. **Palestra**. Recife: STAB, 2002.

MOURA FILHO, G., SARMENTO, C.A.V., SOUZA, J.L. **GDCana: cálculo de graus-dia em cana-de-açúcar**. Rio Largo: CECA/UFAL, 2002. (Software).

NOVAIS, R.F., SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

OLIVEIRA, R.A., DAROS, E., ZAMBON, J.L.C., WEBER, H., IDO, O.T., ZUFFELLATO-RIBAS, K.C., KOEHLER, H.S., SILVA, D.K.T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em

cana-planta, no estado do Paraná. **Scientia Agrária**, Curitiba, v.5, n.1-2, p.87-94, 2004.

OLIVEIRA, R.A., DAROS, E., ZAMBON, J.L.C., WEBER, H., IDO, O.T., ZUFFELLATO-RIBAS, K.C., KOEHLER, H.S., SILVA, D.K.T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: taxas de crescimento. **Scientia Agrária**, Curitiba, v.6, n.1-2, p.85-89, 2005.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S., OLIVEIRA, E.A.M (eds.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p.133-146.

ORLANDO FILHO, J., MACEDO, N., TOKESHI, H. Seja o doutor do seu canavial. **Arquivo do agrônomo**, n.6, POTAFOS, 1994.

ORLANDO FILHO, J. RODELLA, A.A. Adubação nitrogenada em cana-planta: perfilhamento e produtividade agrícola. **Stab**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.13, n.3, p.16-18, 1995.

ORLANDO FILHO, J., ZAMBELLO JÚNIOR, E. Influência da adubação NPK nas qualidades tecnológicas da cana-planta, variedade CB 41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.96, n.3, p.37-44, 1980.

PAES, J.M.V., MARCIANO, N., BRITO, C.H., CARDOSO, A.A., MARTINEZ, H.H.P., MENDES, A. Estudo de espaçamentos e doses de nitrogênio na produção e em algumas características biométricas de três variedades de cana-de-açúcar. **Stab**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.16, n.6, p.18-20, 1997.

PAULINO, A.F., MEDINA, C.C., AZEVEDO, M.C.B., SILVEIRA, K.R.P., TREVISAN, A.A., MURATA, I.M. Escarificação de um latossolo vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.28, n.5, p.911-917, 2004.

PEREIRA, A.R., MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Campinas: Instituto Agronômico, 1987, 37p. (Boletim técnico, 114).

PEREIRA, J.R., FARIA, C.M.B., MORGADO, L.B. Efeito de níveis e do resíduo de fósforo sobre a produtividade da cana-de-açúcar em vertissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.1, p.43-48, 1995.

PRADO, A.P.A. **Perfilhamento e produção da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em função da densidade de plantio**. Piracicaba: ESALQ, 1988. 66p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

PROCHNOW, L.I., ALCARDE, J.C., CHIEN, S.H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S (ed.). SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004, São Pedro-SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p.605-663.

QUISPE, J.F.S. **Eficiência agronômica de fosfatos com solubilidade variável em água em solos distintos quanto a capacidade de fixação de fósforo**. Piracicaba: ESALQ, 2004. 57p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

RAIJ, B.van, CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLAN, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. p.237-239 (Boletim técnico nº 100).

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p.

RIBEIRO, M.R., HALSTEAD, E.H., DE JONG, E. Rendimento da cana-de-açúcar e características das terras da microrregião da Mata Norte de Pernambuco. **R. bras. Ci. Solo**, v.8, n.2, p. 209-213, 1984.

ROCHA, A.C.M. **Emergência, perfilhamento e produção de colmos da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em função das épocas de plantio no estado de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ, 1984. 154p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

ROCHE, R., GRIÈRE, L., BARBE, S.A., CALBA, H., FALLAVIER, R. **O fósforo nos solos tropicais: apreciação dos níveis de carência e das necessidades de fósforo**. Paris: Institut Mondial du Phosphate, 1980. 48 p.

ROSSETTO, R., FARHAT, M., FURLAN, R., GIL, M.A., SILVA, S.F. Eficiência agrônômica do fosfato natural na cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife-PE: STAB, 2002. p.276-282.

SILVA, F.C., BERGAMASCO, A.S., VENDITE, L.L., CESAR, M.A.A., SILVA, A.F.S. Avaliação de modelos de crescimento da cana-de-açúcar

sob adubação de composto de lixo urbano. **Stab.** Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.20, n.4, p.34-38, 2002.

SILVA, L.C. **Fenologia de quatro variedades de cana-de-açúcar, sob irrigação por gotejamento.** Rio Largo: UFAL, 2005. 21p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Alagoas.

SILVEIRA, P.M., MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo e lâminas de água de irrigação. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.63-67, 1990.

SOBRAL, A.F., NASCIMENTO, H.P., GUIMARÃES, V.O.S. Efeitos de sistemas de fertilização em solos arenosos cultivados com a cana-de-açúcar na Região Nordeste. **Stab.** Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.8, n.2, p.22-26, 1989.

SORDI, R.A., BRAGA Jr., R.S.L.C. Comportamento de cultivares de cana-de-açúcar durante a safra, em cana-planta e soca em relação ao ganho de peso, florescimento e isoporização. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6. , 1996, Maceió. **Anais...** Maceió-AL: STAB, 1996. p.238-244.

SOUSA, D.M.G., LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T., ABDALLA, S.R.S (ed.). **SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA**, 2004, São Pedro-SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p.157-200.

STAUFFER, M.D., SULEWSKI, G. Fósforo: essencial para a vida. In: YAMADA, T., ABDALLA, S.R.S (ed.). **SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA**

AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004, São Pedro-SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p.1-12.

SUGUITANI, C. **Fenologia da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sob efeito do fósforo**. Piracicaba: ESALQ, 2001. 79p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

TERUEL, D.A. **Modelagem do índice de área foliar da cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos**. Piracicaba: ESALQ, 1995. 93p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

TOKESHI, H. Perfilamento e perdas pelo carvão da cana-de-açúcar. **Stab**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.4, n.5, p.33-44, 1986.

TOLEDO FILHO, M.R. **Estudo micrometeorológico de um cultivo de cana-de-açúcar em Alagoas**. Porto Alegre, 2001. 150p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VILLANI, E.M.A., NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., FONTES, L.E.F., NEVES, J.C.L. Difusão de fósforo em solos com diferentes texturas e níveis de umidade. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.17, p.343-347, 1993.

VITTI, G.C., MAZZA, J.A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, n. 97, p.1-16, 2002.

VOLKWEISS, S.J., RAIJ, B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, BASES PARA

UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4, 1976, Brasília. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1977, p.317-332.

WEBER, H., BOLSANELLO, J., AZEREDO, D.F. Doses e fontes de fósforo em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5., 1993, Águas de São Pedro. **Anais...** Piracicaba-SP: STAB, 1993. p. 70-75.

WILLADINO, L., SAMPAIO, E.V.S.B., SALCEDO, I.H. Comparação de dez variedades de cana-de-açúcar quanto à absorção de fósforo na fase inicial de crescimento. **Stab**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.6, n.3, p.20-22, 1988.

ZAMBELLO JÚNIOR, E., AZEREDO, D.F. Adubação na região Centro-Sul. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983, p.289-313.

ZAMBELLO JÚNIOR, E., ORLANDO FILHO, J. Adubação da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. **Boletim Técnico Planalsucar**, v.3, n.3, p.5-26, 1981.