

ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E DE NITROGÊNIO EM MILHO CULTIVADO NO PERÍODO DE INVERNO COM APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO SOLO E VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO¹

LUÍS HENRIQUE BASSO² e KLAUS REICHARDT³

RESUMO - Em Piracicaba, SP, durante o período de inverno e em terra roxa estruturada latossólica, o acúmulo de matéria seca e de N no milho foi analisado em função da aplicação de 120 kg/ha de N, na forma de uréia-amônio-nitrato (URAN) no solo, aos 13 e 47 dias após a emergência das plântulas (dae), com doses de 40 e 80 kg/ha de N, respectivamente, e via água de irrigação (fertirrigação), aos 34, 49, 64, 82 e 101 dae, nas doses de 4, 6, 45, 30 e 35 kg/ha de N, respectivamente. Observou-se que as plantas fertirrigadas apresentaram maior diferenciação aos 95 dae, com maior teor de N na matéria seca e, conseqüentemente, a quantidade de N permaneceu maior até a colheita (150 dae). As aplicações de N em estádios mais avançados do desenvolvimento do milho proporcionaram maior acúmulo de matéria seca e de N na parte aérea, maior translocação de N para os grãos e maior produção de grãos (5.072 kg/ha), nas plantas fertirrigadas, em comparação com as plantas fertilizadas no solo (4.516 kg/ha).

Termos para indexação: *Zea mays*, fertirrigação, acúmulo de nitrogênio.

DRY MATTER AND NITROGEN ACCUMULATION BY CORN CULTIVATED DURING WINTER SEASON WITH SIDEDRESSING AND IRRIGATION WATER NITROGEN APPLICATION

ABSTRACT - A field experiment was carried out in a Kanduidalfic Eutrudox soil at Piracicaba, SP, Brazil (22° 43' S, 47° 25' W) during the winter season to evaluate the dry matter and N accumulation by corn plants as a function of 120 kg/ha of N urea-ammonium-nitrate (UAN) applied in band at 13 and 47 days after emergence (dae) at rates of 40 and 80 kg/ha of N, respectively, and by sprinkler irrigation system (fertirrigation) at 34, 49, 64, 82 and 101 dae with respective quantities of 4, 6, 45, 30, and 35 kg/ha of N. A clearer differentiation in N percentage in the fertirrigated plants occurred after 95 dae and consequently plants presented a greater N accumulation until harvest (150 dae). Later N applications provided greater dry matter and N accumulations in shoot, greater N translocation to the grains and greater grain production (5,072 kg/ha) in the fertirrigated crop compared to the band fertilized crop (4,516 kg/ha).

Index terms : *Zea mays*, fertirrigation, nitrogen accumulation

INTRODUÇÃO

As pesquisas no Brasil sobre a fertirrigação são recentes e não têm acompanhado o crescimento do

número de produtores que dela se utilizam, deixando muitas dúvidas ainda sem um melhor esclarecimento.

O cultivo do milho durante o inverno em São Paulo tem sido uma alternativa de renda para esse período, pois é produzido durante a entressafra, o que pode resultar em uma boa rentabilidade para o produtor agrícola, apesar da necessidade da irrigação em muitas regiões do estado, para o êxito dessa atividade.

O nitrogênio é um dos mais importantes fatores de produção responsáveis pelo aumento da produtividade do milho, sendo por isso intensamente

¹ Aceito para publicação em 5 de outubro de 1995.

Extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP).

² Eng. Agr., Dr., EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23 CEP 56300-000, Petrolina, PE.

³ Eng. Agr., Ph.D., Prof. Titular, ESALQ/USP, Dep. Física e Meteorol., Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq.

pesquisado quanto à fonte de nutriente, forma e época de aplicação.

Novais et al. (1974) verificaram maiores produções de milho quando foram aplicados dois terços (7.797 kg/ha), toda a dose (7.589 kg/ha), metade (7.003 kg/ha) e um quarto da dose total (6.772 kg/ha) de 120 kg/ha de N, na forma de sulfato de amônio, aos 45 dias após a semeadura. O parcelamento em três ou quatro vezes mostrou-se menos eficiente, apesar de a aplicação aos 65 dias ter propiciado a correção da deficiência de N no milho. Com 60 kg/ha de N, as maiores produções foram obtidas quando se aplicou um terço (6.261 kg/ha), metade (6.150 kg/ha) e dois terços (5.941 kg/ha) da dose total aos 45 dias.

Neptune (1977) obteve menor produção de grãos de milho ao incorporar ao solo 100 kg/ha de N antes da semeadura, na forma de sulfato de amônio (5.843 kg/ha), e maiores produções quando toda a dose de N foi aplicada aos 40 dias após a semeadura (7.154 kg/ha), em faixa na semeadura (7.155 kg/ha) e em três vezes – um terço da dose incorporado, um terço aplicado em faixa na semeadura e um terço aplicado lateralmente aos 40 dias após a semeadura (7.128 kg/ha).

Segundo Neptune & Campanelli (1980), as plantas de milho em um cultivo de verão continuaram a absorver o ^{15}N proveniente do sulfato de amônio quando do aparecimento da inflorescência masculina e feminina (73 e 87 dias após a semeadura, respectivamente). Não houve diferenças estatísticas na produção devidas à aplicação de 80 kg/ha de N aos 63 dias (4.106 kg/ha), 35 dias (4.318 kg/ha) e na semeadura (3.924 kg/ha com N incorporado, 4.255 kg/ha com N em faixa e 4.469 kg/ha com N e P na mesma faixa). O mesmo não ocorreu com a aplicação aos 73 dias (3.631 kg/ha) e 83 dias (3.348 kg/ha).

Grove et al. (1980) verificaram, em um latossolo vermelho-escuro, textura argilosa, sob cerrado e cultivado com milho no período chuvoso, que a aplicação, em cobertura, de 80 kg/ha de N na forma de uréia, parcelada em duas vezes (40 kg/ha de N aos 20 e aos 60 dias após a semeadura), não resultou em aumentos na produção de grãos e de matéria seca total, quando comparada à adubação em cobertura de toda a dose aos 30 dias após a semeadura.

Segundo Alves et al. (1991), em um latossolo vermelho-escuro fase cerrado, a aplicação de 60 ou 120 kg/ha de N no solo, na forma de uréia e no estágio de 8-10 folhas no milho, resultou em uma produção de grãos média das duas doses de 7.591 kg/ha, não diferindo estatisticamente da aplicação via água de irrigação em três (6.720 kg/ha), quatro (6.719 kg/ha) e seis vezes (6.975 kg/ha) devido à falta de resposta de N, já que os níveis desse nutriente na folha estiveram acima do nível crítico de 2,3 a 2,7%. O método de aplicação afetou o acúmulo de matéria seca na parte aérea, com a menor quantidade na aplicação no solo, e a maior, via água de irrigação em seis vezes, onde também foi maior o conteúdo de N na planta.

Alves et al. (1992) afirmam que os métodos de aplicação (no solo, via água de irrigação e no solo + via água de irrigação) e o parcelamento de N (duas, quatro e seis vezes) não influenciaram significativamente na produção de grãos de milho e na concentração N nos grãos, em um latossolo vermelho-escuro distrófico, textura argilosa, e em um latossolo vermelho-amarelo distrófico, textura média, durante o período de inverno e no de verão, em Minas Gerais.

Karlen et al. (1987a, 1987b) e Karlen et al. (1988), utilizando a técnica de interpolação “clamped cubic spline”, observaram dois picos distintos na taxa de acúmulo de matéria seca e de N em plantas de milho fertirrigadas. O primeiro ocorreu no período vegetativo (pendoamento), quando o tamanho da espiga e o número de grãos estão sendo estabelecidos e reservas fotossintetizadas estão sendo acumuladas no colmo e nas folhas; o segundo, durante o enchimento dos grãos, quando o número final de grãos e seus tamanhos são determinados.

Bassoi (1990) verificou, em um cultivo de milho no período de verão, sob irrigação e com aplicação no solo de 150 kg/ha de N na forma de sulfato de amônio, que o ponto máximo de acúmulo de matéria seca e de N ocorreu aos 105 dias após a emergência (dae), e o ponto de inflexão, aos 75 e 67 dae, respectivamente.

Ulloa et al. (1982) determinaram que entre 75 e 90 dias após a germinação do milho ocorreram as maiores quantidades absorvidas e taxa de absorção de ^{15}N proveniente da uréia pelo grão, o que indicaria que, nessa época, é maior a eficiência de utilização do N do fertilizante. Porém, essa aplicação do fertilizante, na prática, seria difícil, devido ao grande desenvolvimento da cultura.

De acordo com Villas Bôas (1990), a recuperação de ^{15}N proveniente da uréia no final do ciclo do milho, durante o verão, e num latossolo vermelho-escuro, fase arenosa, foi maior em 2,4 vezes para a aplicação em cobertura de 45 kg/ha de N aos 70 dias após a semeadura (das), que em relação à realizada aos 45 das. A adubação nitrogenada deveria também considerar aplicações próximas aos 70 das, mas a distribuição tardia de N é dificultada pelo porte da cultura nessa época, inviabilizando, na maioria dos casos, a aplicação mecanizada do fertilizante.

A fertirrigação permite a aplicação de nutrientes em estádios mais avançados da cultura do milho, quando a aplicação mecanizada no solo torna-se impraticável, em face aos danos físicos que causariam às plantas. Assim supõe-se que a fertirrigação, nesses estádios tardios, com base nas necessidades nutricionais das plantas de milho e no manejo de água no solo, pode proporcionar um aumento na assimilação de N pelas plantas, com um acréscimo na produtividade de grãos.

O objetivo deste trabalho foi o de verificar o acúmulo de matéria seca e de N pelo milho irrigado, cultivado no período de inverno em Piracicaba, SP, em função da aplicação do fertilizante nitrogenado no solo, em estádios iniciais, e via água de irrigação (fertirrigação), em estádios de desenvolvimento mais avançados.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma terra roxa estruturada latossólica, de textura argilosa (Torrado & Sparovek, 1993). A Tabela 1 apresenta a análise química do solo para fins de verificação da necessidade de adubação. As determinações dos teores de P, Ca, Mg e K foram feitas por meio de resina trocadora de íons; as de Al + H, pela solução tampão SMP; e de matéria orgânica, pelo método colorimétrico (Raij & Quaggio, 1983). Anteriormente à aplicação do fertilizante nitrogenado, procedeu-se à determinação do N total no solo através do método micro-Kjeldahl (Bremner, 1965), cujos resultados estão na Tabela 2.

O preparo do solo consistiu de uma subsolagem, aração e gradagem, em maio de 1992. A semeadura manual realizou-se em 9 de junho, em uma área total de 1000 m², utilizando-se sementes de milho híbrido duplo AG-519, adaptado ao cultivo de inverno, com espaçamento, entre linhas, de 1 m. A emergência das plântulas iniciou-se sete dias após a semeadura, e o desbaste ocorreu 30 dias após a

semeadura, deixando-se um estande inicial de 63.000 plantas/ha. A adubação na semeadura constituiu-se de 30 kg/ha de P_2O_5 , na forma de superfosfato simples, e de 20 kg/ha de K_2O , na forma de cloreto de potássio, em conformidade com a análise química do solo. A adubação de 120 kg/ha de N, na forma de uran, foi realizada aplicando-se o fertilizante: 1. no solo, aos 13 e 47 dae, na dose de 40 e 80 kg/ha de N, respectivamente (tratamento convencional); 2. via água de irrigação, aos 34, 49, 64, 82 e 101 dae, nas doses de 4, 6, 45, 30 e 35 kg/ha de N, respectivamente (tratamento fertirrigação). Cada um desses tratamentos se compunha de 12 linhas de plantas, com 10 m de comprimento, com espaços, entre si, de 18 m, para evitar que jatos de água de um atingissem o outro. A adição de fertilizante no tratamento fertirrigação foi feita através de uma bomba injetora de acionamento hidráulico, conectada à tubulação condutora de água.

As datas de aplicação de N no solo (tratamento convencional) foram estipuladas de acordo com a recomendação de Malavolta (1980). Quanto ao tratamento fertirrigação, as aplicações de N foram realizadas procurando-se fornecê-lo nas épocas de maior absorção, de acordo com a curva de acúmulo desse nutriente no milho irrigado no período de verão, determinadas por Bassoi (1990), e na necessidade de irrigação em função da umidade do solo.

Foram instaladas, nas entrelinhas de cada tratamento, quatro baterias com tensiômetros a 10, 20, 35, 50, 65, 75, 85, 100 e 115 cm de profundidade para o manejo da água do solo. A irrigação foi efetuada para elevar a umidade do solo na camada superficial à capacidade de campo, quando o potencial matricial da água no solo atingisse um valor ao redor de -500 cm de coluna de água a 20 cm, no início do desenvolvimento da cultura (irrigações realizadas a 34, 41, 48-49 e 56-57 dae) e a 35 cm de profundidade (irrigações realizadas a 63-64 e 81-82 dae), à medida que o sistema radicular se desenvolveu.

Em teste de distribuição de água realizado no local do experimento, o sistema de irrigação por aspersão convencional, com aspersores a 2 m de altura, espaçados em 12 x 12 m e com velocidade do vento de 4 km/h, apresentou uma lâmina média de 3,3 mm/h, com um coeficiente de uniformidade de Christiansen de 82%.

Amostras de plantas de milho foram coletadas em número de quatro por tratamento aos 27, 43, 63, 77, 95, 111 e 150 dae, correspondentes aos estádios de 4, 8, 12, 16 folhas, pendoamento, grãos leitosos e grãos maduros, respectivamente; foram secadas em estufa a 65 °C, para a determinação da quantidade de matéria seca. O N total foi determinado pelo método micro-Kjeldahl (Bremner, 1965), nos diferentes órgãos das plantas, à medida que elas se desenvolveram, ou seja, nas folhas + caule (1ª amostragem),

TABELA 1. Análise química do solo terra roxa estruturada latossólica.

Prof. cm	pH CaCl ₂	pH H ₂ O	M.O. %	P µg/cm ³	Ca	Mg meq/100cm ³	K	Al + H	V %
0 - 20	5,18	6,31	2,52	53	6,26	1,47	0,45	3,2	72
20 - 40	5,32	6,30	1,53	34	4,94	0,84	0,34	2,7	69

TABELA 2. Quantidade de N total no solo anteriormente à adubação nitrogenada nos tratamentos convencional (c) e fertirrigação (f).

Tratamentos	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
Nc g/kg	1,2	0,9	0,7	0,5	0,5
Nf g/kg	1,3	1,2	0,9	0,6	0,5

nas folhas e no caule + pendão (2ª a 7ª amostragens), na espiga com palha (5ª e 6ª amostragens) e nos grãos e no sabugo + palha (6ª e 7ª amostragens).

Para a análise estatística da quantidade de matéria seca e de N, foram considerados dois experimentos: um, na condição de aplicação de N no solo, e outro, na condição de aplicação de N via água de irrigação, com o delineamento em blocos ao acaso, com sete épocas de coleta de plantas e quatro blocos.

Aos 150 dae, efetuou-se a colheita em três linhas de 10 m lineares por repetição nos tratamentos, e determinaram-se, em quatro repetições de dez plantas por tratamento, os seguintes parâmetros quantitativos: altura da planta, altura da espiga, diâmetro do colmo no colo e na inserção da espiga, número total de internódios, internódio de inserção da espiga, peso da espiga com e sem palha, diâmetro e comprimento da espiga, número de fileiras de grãos e de grãos por espiga, peso de 100 grãos, e peso de grãos a 13 % de umidade por espiga. Para a comparação das médias, utilizou-se o teste t de Student. Posteriormente, procedeu-se à classificação dos grãos por peneiras de furos circulares de tamanho 18, 20, 22 e 24, após a eliminação dos grãos redondos através da passagem em peneira de tamanho 16 com furo oblongo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As temperaturas de 10, 30 e 40 °C são consideradas como a mínima, ótima e máxima, respectivamente, para o crescimento das plantas de milho (Ferraz, 1966). Como esse experimento caracteriza-se por ser um cultivo de inverno, as temperaturas nessa época do ano estão mais próximas dos valores mínimos limitantes (Fig. 1), o que torna o ciclo mais longo.

A interação entre os tratamentos e as épocas de amostragem foi significativa a 10% de probabilidade pelo teste F quanto ao acúmulo de matéria seca em

toda a parte aérea, nas folhas, no caule + pendão, na espiga com palha e nos grãos. Em relação ao sabugo + palha, não houve significância nesse nível de probabilidade. As equações polinomiais para o acúmulo de matéria seca na parte aérea do milho, ajustadas pelo teste F no nível de significância menor que 10 % (Tabela 3), foram de 2º grau. Foi observada também certa linearidade em todo o intervalo de amostragem no tocante ao acúmulo de matéria seca total, nas folhas, no caule + pendão e para a espiga com palha, o que pode estar relacionado com o fato do cultivo ter sido realizado em uma época com temperaturas crescentes (Fig. 1).

Inicialmente, quanto ao acúmulo de matéria seca nas folhas e no caule + pendão, as plantas de ambos os tratamentos apresentaram um comportamento semelhante. As diferenças entre os tratamentos tornaram-se mais evidentes aos 111 dae, quando as plantas se encontravam no estágio de grãos na fase leitosa. As quantidades acumuladas nas folhas (Fig. 2) apresentaram certa constância a partir de 111 dae, fato não observado no caule + pendão, que apresentou um crescimento contínuo (Fig. 3). Na espiga com palha, e nos grãos, o acúmulo também foi sempre contínuo para os respectivos períodos de amostragens (Figs. 4 e 5, respectivamente).

Pelo teste t, as porcentagens médias do N na matéria seca (Tabela 4) diferiram entre os tratamentos, a 10 % de probabilidade, aos 27 (total), aos 63 (total e caule + pendão), aos 95 (caule + pendão) e aos 150 dae (total e caule + pendão).

Pelas Fig. 6 e 7, observa-se que as porcentagens

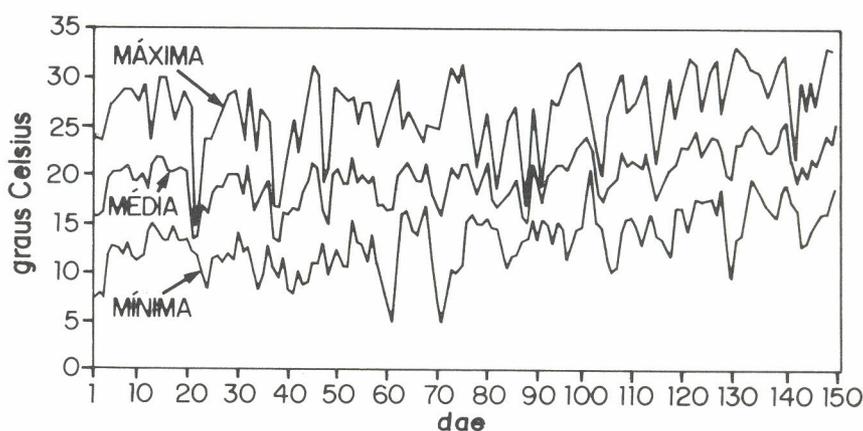


FIG. 1. Temperaturas máximas, médias e mínimas do ar durante o ciclo do milho.

TABELA 3. Equações polinomiais para o acúmulo de matéria seca (Y, em g/planta) na parte aérea do milho, nos tratamentos convencional (c) e fertirrigação (f), em função dos dias após a emergência (x, em dae).

Parâmetro	Equação	Valor de r
Total	c : $Y = 0,007 x^2 + 1,294 x - 47,034$	0,993
	f : $Y = 0,019 x^2 + 0,072 x - 19,348$	0,998
Folhas	c : $Y = - 0,012 x^2 + 2,774 x - 87,190$	0,996
	f : $Y = - 0,010 x^2 + 2,555 x - 80,898$	0,982
Caule + pendão	c : $Y = - 0,007 x^2 + 2,135 x - 82,316$	0,960
	f : $Y = - 0,005 x^2 + 1,925 x - 78,312$	0,985
Espiga com palha	c : $Y = 0,030 x^2 - 4,473 x + 175,211$	0,999
	f : $Y = 0,038 x^2 - 5,399 x + 196,662$	0,998
Grãos	c : $Y = 2,876 x - 309,968$	1,000
	f : $Y = 3,920 x - 425,179$	1,000
Sabugo + palha	Média c e f : $Y = 0,324 x + 12,882$	1,000

do nutriente foram sempre decrescentes no tratamento convencional, mas no tratamento fertirrigação, aos 77 dae, após a terceira aplicação de N realizada aos 64 dae (45 kg/ha de N), as porcentagens médias nas folhas e no caule + pendão aumentaram em relação à amostragem feita aos 63 dae, quando as plantas tinham recebido apenas 10 kg/ha de N. Em relação às folhas, entre 111 e 150 dae, observou-se uma grande redução, provavelmente devido à translocação de N para os grãos. Quanto ao caule + pendão, suas maiores reduções em ambos os tratamentos ocorreram nos primeiros estádios. Após a amostragem aos 77 dae, os valores do tratamento fertirrigação superaram os do convencional em relação às folhas e ao

caule + pendão. Observa-se também que sua queda de 111 a 150 dae foi maior no convencional. Na espiga com palha (Fig. 8), os valores do tratamento fertirrigação foram sempre superiores aos do convencional, e em ambos os tratamentos esses apresentaram-se praticamente constantes entre 77 e 95 dae, seguidos por uma queda até 111 dae, e outra vez praticamente constante até 150 dae, com um pequeno aumento nas plantas fertirrigadas. Os valores nos grãos foram decrescentes, mas sempre maiores no tratamento fertirrigação.

No tocante à quantidade acumulada de N na parte aérea do milho, a análise de variância mostrou que a interação dos tratamentos com as épocas de

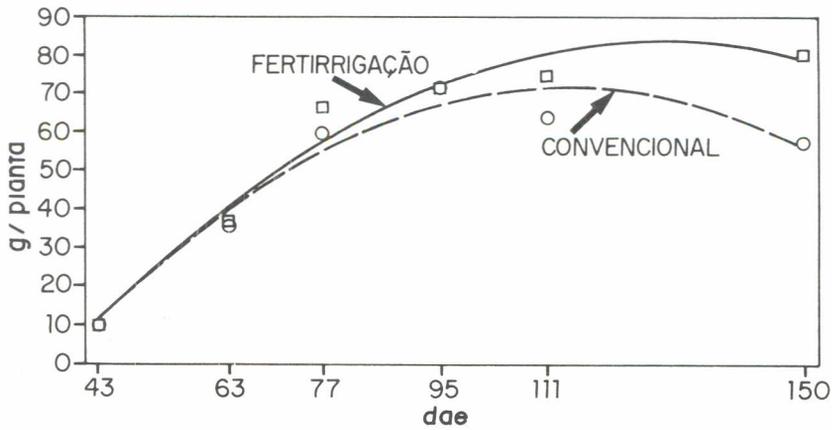


FIG. 2. Acúmulo de matéria seca nas folhas (equações de regressão apresentadas na Tabela 3).

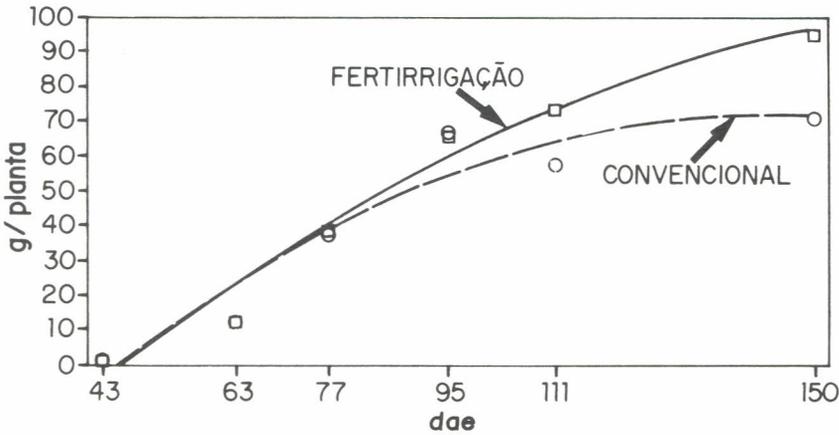


FIG. 3. Acúmulo de matéria seca no caule + pendão (equações de regressão apresentadas na Tabela 3).

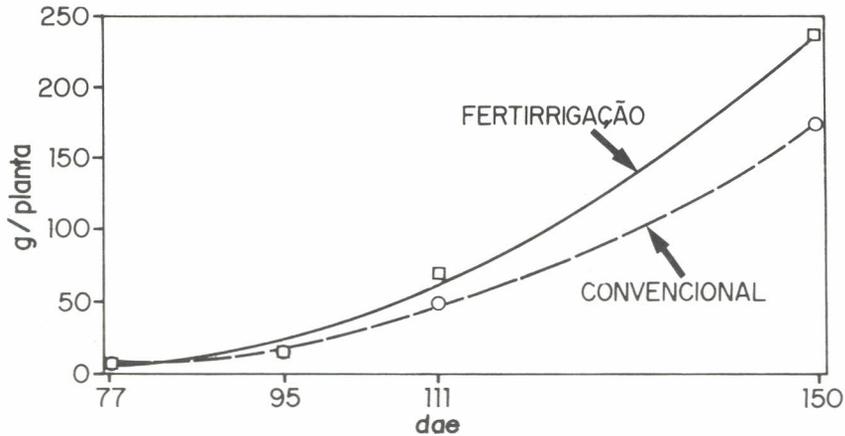


FIG. 4. Acúmulo de matéria seca na espiga com palha (equações de regressão na Tabela 3).

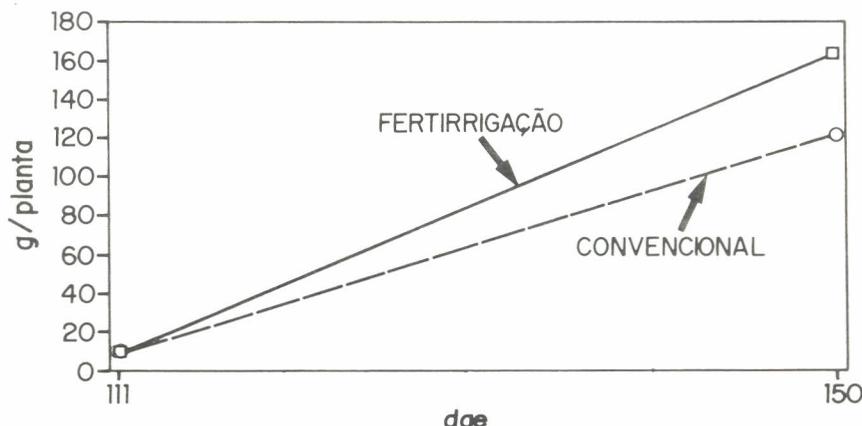


FIG. 5. Acúmulo de matéria seca nos grãos (equações de regressão apresentadas na Tabela 3).

TABELA 4. Valores do teste t para a comparação das porcentagens médias de N na matéria seca total, nas folhas, no caule + pendão, na espiga com palha, nos grãos e no sabugo+palha, nos tratamentos convencional e fertirrigação.

dae	Total	Folhas	Caule + pendão	Espiga com palha	Grãos	Sabugo + palha
27	1,70 *					
43	1,19 ns	0,20 ns	1,26 ns			
63	4,25 *	0,60 ns	4,27 *			
77	0,43 ns	0,03 ns	0,98 ns	0,45 ns		
95	1,36 ns	0,07 ns	1,96 *	0,60 ns		
111	0,60 ns	0,10 ns	1,19 ns	0,15 ns	1,78 ns	1,11 ns
150	1,87 *	0,46 ns	1,96 *	1,06 ns	1,33 ns	0,32 ns

* Significativo pelo teste t a 10 % de probabilidade.

ns = não-significativo pelo teste t a 10 % de probabilidade.

amostragem foi significativa pelo teste F a 10% de probabilidade para o total, folhas, caule + pendão, espiga com palha, grãos e sabugo + palha. As equações polinomiais do 2º grau para o acúmulo de N foram ajustadas pelo teste F ao nível de significância menor que 10% de probabilidade (Tabela 5).

Em conseqüência das considerações feitas à acumulação de matéria seca e da porcentagem de N na mesma, o acúmulo desse nutriente nas folhas e no caule + pendão (Figs. 9 e 10, respectivamente) no tratamento fertirrigação apresentou-se inicialmente inferior ao tratamento convencional, e, devido às aplicações de fertilizante nitrogenado em estádios mais adiantados da cultura através da água de irrigação, esse comportamento inverteu-se, de forma mais evidente, na amostragem aos 111 dae, no estágio de grãos na fase leitosa, resultando no maior acúmulo de N nas plantas fertirrigadas. O decréscimo da quan-

tidade de N nas folhas foi mais acentuado no tratamento convencional, e, entre 95 e 111 dae, os valores médios no tratamento fertirrigação aumentaram. Comportamento semelhante foi notado em relação ao caule + pendão, no qual a redução na quantidade de N foi menor na fertirrigação entre 95 e 150 dae. Na espiga com palha (Fig. 11), o acúmulo de N foi sempre crescente entre 111 e 150 dae, com o aumento superior nas plantas fertirrigadas. Essas alterações nas quantidades de N nas diversas partes aéreas da planta de milho evidenciam a translocação do nutriente das folhas e do caule + pendão para os grãos, sendo esse movimento maior no tratamento fertirrigado (Fig. 12).

Durante a condução do experimento, foram observadas algumas diferenças entre os tratamentos em relação ao desenvolvimento da cultura. Aos 64 dae (estádio de 12 folhas), quando da fertirrigação

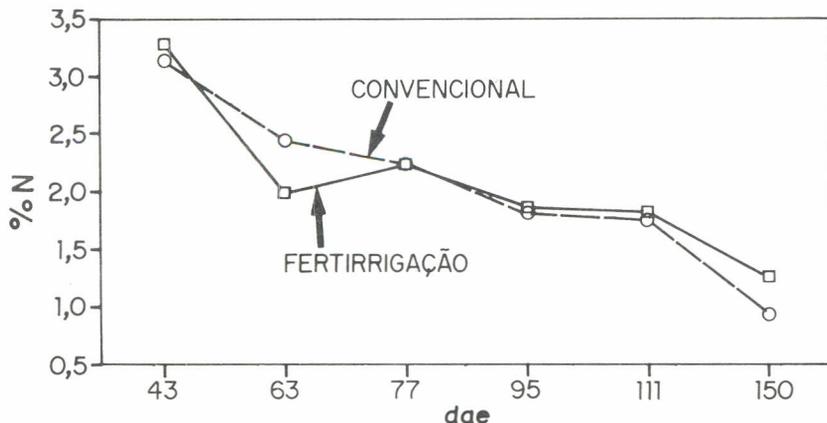


FIG. 6. Porcentagem média de N na matéria seca das folhas.

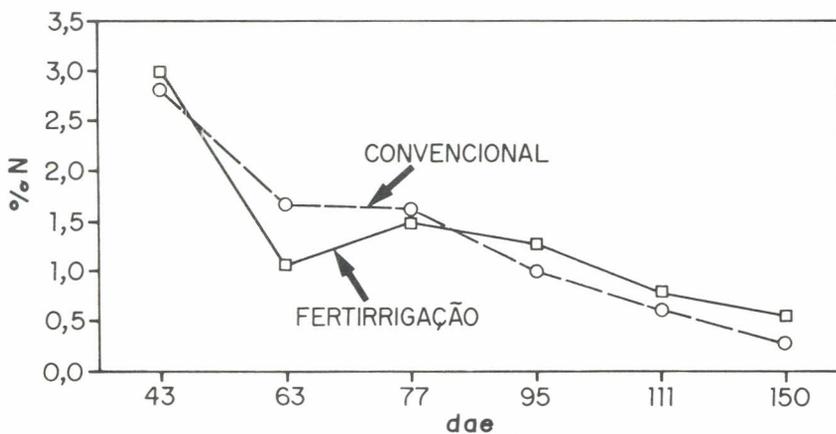


FIG. 7. Porcentagem média de N na matéria seca do caule + pendão.

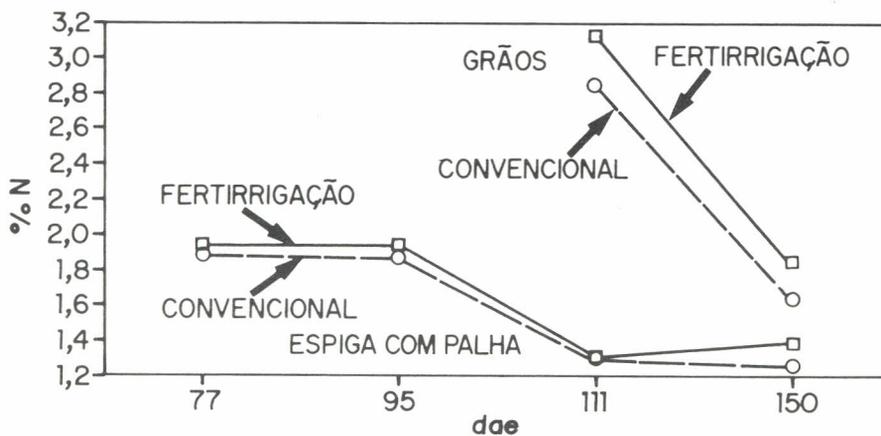
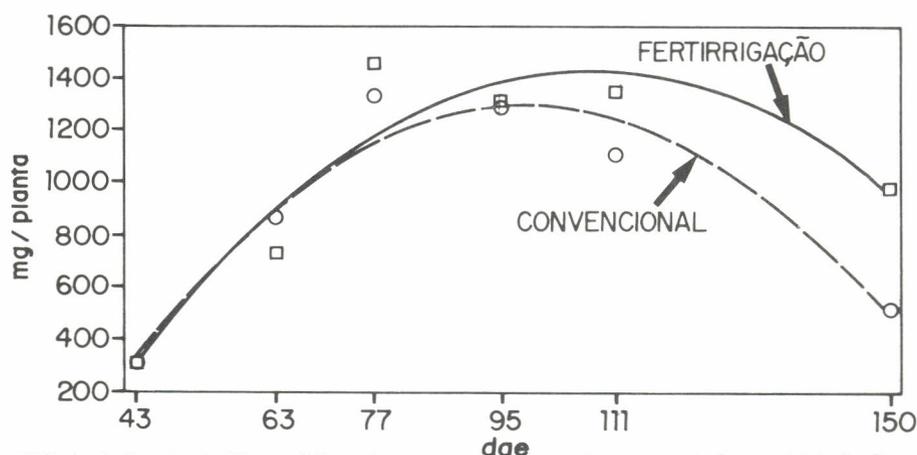


FIG. 8. Porcentagem média de N na matéria seca da espiga com palha e dos grãos.

TABELA 5. Equações polinomiais para o acúmulo de nitrogênio (Z, em mg/planta) na parte aérea do milho nos tratamentos convencional (c) e fertirrigação (f), em função dos dias após a emergência (x, em dae).

Parâmetro	Equação	Valor de r
Total	c : $Z = -0,151 x^2 + 49,887 x - 1292,275$	0,967
	f : $Z = 0,058 x^2 + 28,563 x - 850,294$	0,987
Folhas	c : $Z = -0,307 x^2 + 60,562 x - 1692,263$	0,967
	f : $Z = -0,266 x^2 + 57,415 x - 1668,939$	0,937
Caulo + pendão	c : $Z = -0,160 x^2 + 32,247 x - 1073,754$	0,853
	f : $Z = -0,150 x^2 + 34,254 x - 1239,223$	0,893
Espiga com palha	c : $Z = 0,363 x^2 - 55,038 x + 2236,006$	0,999
	f : $Z = 0,559 x^2 - 83,895 x + 3279,051$	0,999
Grãos	c : $Z = 43,701 x - 4590,094$	1,000
	f : $Z = 69,109 x - 7362,251$	1,000
Sabugo + palha	c : $Z = -4,684 x + 874,933$	1,000
	f : $Z = -8,434 x + 1517,372$	1,000

**FIG. 9.** Acúmulo de N nas folhas (equações de regressão apresentadas na Tabela 5).

com 45 kg/ha de N, a coloração das plantas fertirrigadas era mais clara que as do tratamento convencional; aos 69 dae, observou-se uma tonalidade mais escura no tratamento fertirrigação, mas ainda mais clara que as plantas adubadas no solo. Essa diferença visual não foi mais observada no campo aos 73 dae, um pouco antes do estágio de 16 folhas. Ressalta-se que, aos 77 dae, as porcentagens médias de N nas folhas em ambos os tratamentos foram praticamente iguais, mas anteriormente a isso os teores no tratamento convencional foram superiores aos da fertirrigação (Fig. 6), o que explica as

diferenças de coloração nas folhas. Aos 104 dae, a senescência das plantas do tratamento convencional encontrava-se em fase mais adiantada, com as folhas basais apresentando coloração amarelada mais intensa que as fertirrigadas, e em maior quantidade. Nessa ocasião, as plantas encontravam-se no início da fase de grãos leitosos, com coloração amarelo-esbranquiçada. Aos 125 dae, na fase conhecida como ponto de milho verde, as folhas basais das plantas fertirrigadas ainda apresentavam-se com coloração verde mais intensa que as adubadas no solo. Tal observação é concordante com o menor decréscimo

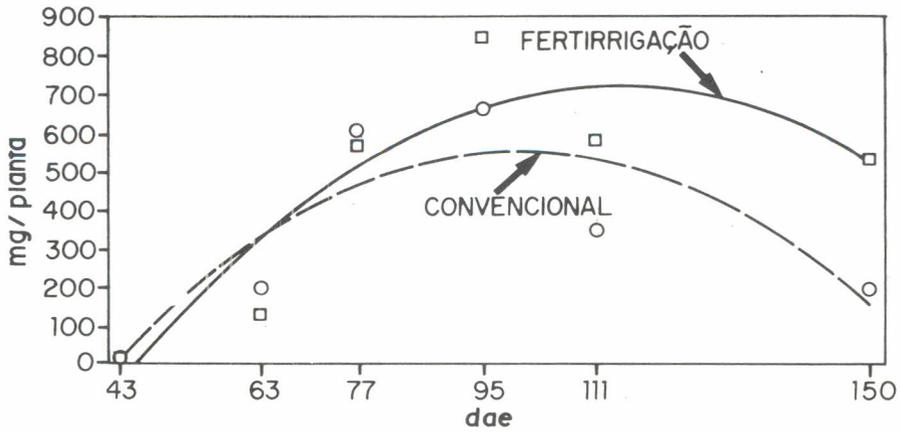


FIG. 10. Acúmulo de N no caule + pendão (equações de regressão apresentadas na Tabela 5).

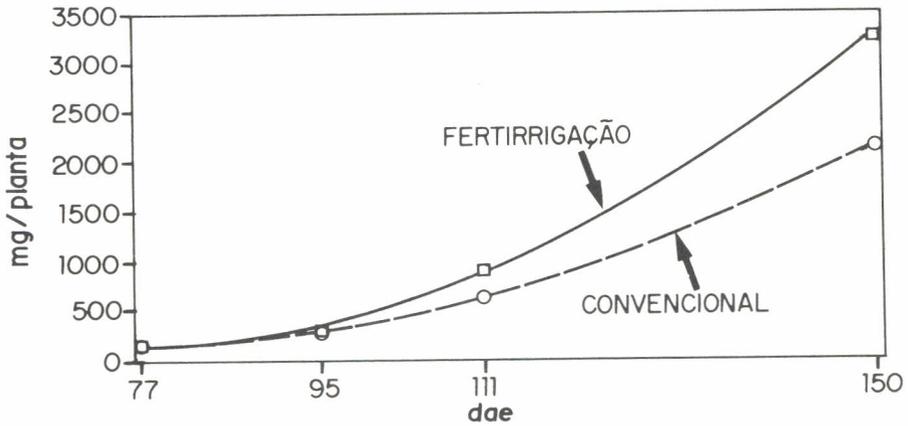


FIG. 11. Acúmulo de N na espiga com palha (equações de regressão apresentadas na Tabela 5).

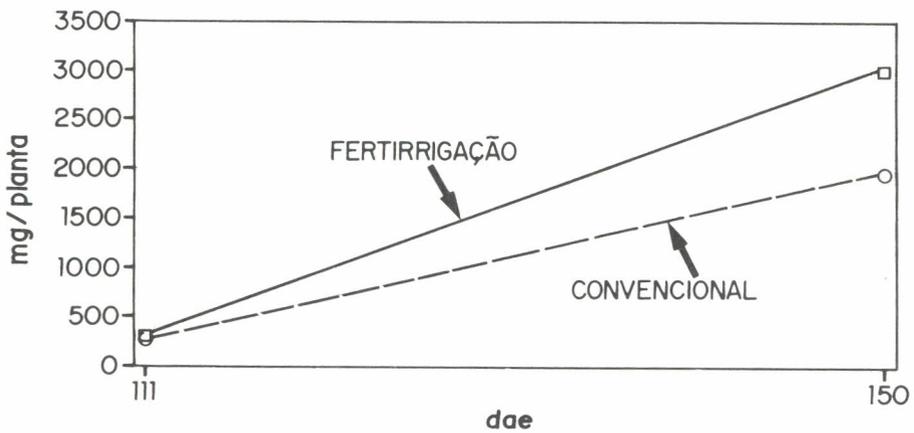


FIG. 12. Acúmulo de N nos grãos (equações de regressão apresentadas na Tabela 5).

cimo de acúmulo de matéria seca (Fig. 2) e de N (Fig. 9) nas folhas do tratamento fertirrigação, em relação ao tratamento convencional.

Pela Tabela 6, observa-se, aos 150 dae (colheita), que, no tratamento fertirrigação, os pesos da espiga com palha e da espiga, diâmetro e comprimento da espiga, peso total dos grãos, de cem unidades e dos grãos por espiga foram superiores aos do tratamento convencional, mas somente o comprimento e o diâmetro da espiga e o peso de 100 grãos foram estatisticamente diferentes, pelo teste t a 10% de probabilidade. Nota-se, na Tabela 7, que a altura das plantas não apresentou diferenças estatísticas, apesar de ligeiramente superior nas plantas fertirrigadas, mas o diâmetro do colo e da inserção da espiga no caule diferiram significativamente. O maior diâmetro do colo no tratamento convencional é consequência da aplicação da dose total do fertilizante nitrogenado até 47 dae, pois pelas equações de regressão, o acúmulo de matéria seca (Tabela 3) e de N (Tabela 5) no caule + pendão foi ligeiramente superior à fertirrigação até 79 e 62 dae, respectivamente.

A produção de grãos no tratamento fertirrigação foi de 5.072 kg/ha, superior à do tratamento convencional, de 4.516 kg/ha, para um estande final de 50.000

plantas/ha, sendo que tais médias diferiram entre si pelo teste t a 10% de probabilidade. Tal resultado é consequência das aplicações de N em estádios mais avançados do ciclo milho no período de inverno, que apresentaram maior desenvolvimento em função do aumento da temperatura do ar (Fig. 1), proporcionando assim maior tempo de vida das folhas, as quais provavelmente produziram maior quantidade de carboidratos, principalmente durante a formação dos grãos. Segundo Hanway (1962), o acúmulo mineral contínuo pelas plantas em estádios mais avançados é essencial para prevenir perdas excessivas através da translocação de N das folhas para os grãos, que podem resultar em morte prematura de algumas delas. As perdas de N podem resultar em cloroses e necroses das folhas, culminando com o amarelecimento das mais baixas, embora a translocação de nutrientes para os grãos não seja prejudicial à produção, desde que não resulte em morte prematura das folhas.

Na classificação dos grãos, verificou-se que no tratamento fertirrigação houve uma redução da porcentagem na peneira 18, 20 e 22 e um aumento no valor da peneira 24, em relação ao tratamento convencional (Tabela 8). Tal fato pode estar relacionado

TABELA 6. Parâmetros quantitativos das espigas de milho aos 150 dae (colheita) nos tratamentos convencional (c) e fertirrigação (f).

Tratamento	Espiga com palha g	Espiga g	Diâmetro da espiga cm	Comprimento da espiga cm	Fileiras de grãos	Número de grãos	Peso de 100 grãos g	Peso grãos/espiga 13% umidade g
c	300	250	4,76	17,7	14	424	41	81
f	316	273	4,96	19,6	14	449	43	87
Teste t	1,04 ns	1,76 ns	3,98 *	4,07 *	0 ns	1,07 ns	3,28 *	1,09 ns

* Significativo a 10 % de probabilidade pelo teste t.

ns = não-significativo a 10 % de probabilidade pelo teste t.

TABELA 7. Parâmetros quantitativos das plantas de milho aos 150 dae (colheita) nos tratamentos convencional (c) e fertirrigação (f).

Tratamento	Altura das plantas m	Inserção da espiga m	Número de internódios	Internódio da espiga	Diâmetro do colo cm	Diâmetro da inserção cm
c	2,76	1,47	15	9	2,6	1,5
f	2,80	1,47	15	9	2,4	1,7
Teste t	0,94 ns	0 ns	0 ns	0 ns	7,1 *	4,0 *

* Significativo a 10 % de probabilidade pelo teste t.

ns = não-significativo a 10 % de probabilidade pelo teste t.

TABELA 8. Distribuição percentual dos tamanhos de grãos de milho nos tratamentos convencional (c) e fertirrigação (f).

Tratamento	Peneira 18	Peneira 20	Peneira 22	Peneira 24	Fundo
c	9,6	27,9	38,5	22,1	2,0
f	7,3	24,6	37,8	28,8	1,5

com a maior translocação de N para os grãos nas plantas fertirrigadas. Segundo Silva & Marcos Filho (1982), há muita controvérsia sobre a influência do tamanho e do peso das sementes na emergência das plântulas e na produção dos grãos. Entretanto, Cameron et al. (1962) observaram superioridade das sementes grandes quando as condições de clima foram adversas.

CONCLUSÕES

1. Durante o período de inverno em São Paulo, plantas de milho fertirrigadas com 120 kg/ha de N em estádios mais avançados do desenvolvimento da cultura apresentaram maior acúmulo de matéria seca e de N nas partes aéreas, em relação a plantas irrigadas e adubadas no solo com a mesma dose de nutriente e em estádios fenológicos iniciais.

2. O maior acúmulo de matéria seca e de N em plantas fertirrigadas proporcionou maior produção de grãos em relação a plantas irrigadas e adubadas no solo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo auxílio financeiro, e às empresas Adubos Trevo, Ipiranga Serrana Fertilizantes, Isratec e Agroceres, pelo auxílio material.

REFERÊNCIAS

- ALVES, V. M. C.; FRANÇA, G. E.; RESENDE, M. Aplicação de fertilizantes nitrogenados via água de irrigação. **Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa de Milho e Sorgo 1985-1987**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1991. p.56-57.
- ALVES, V. M. C.; FRANÇA, G. E.; RESENDE, M.; COELHO, A. M. de; SANTOS, N. C. do; LEITE, C. E. do P. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1988-1991**, Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1992. p.32-34.
- BASSOI, L.H. **Lixiviação e acumulação de macronutrientes pelo milho (*Zea mays* L.) com e sem irrigação suplementar**. Botucatu: FCA/UNESP, 1990. 102p. Tese de Mestrado.
- BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C. P. (Ed.) **Methods of soil analysis, Part 2**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.1149-1178. (Agronomy,9).
- CAMERON, J.W.; COLE JUNIOR, D.A.; MAREN, A. van. Seed size effects on hybrid sweet corn in Coachella Valley. **California Agriculture**, Berkeley, v.16, n.6, p.6-7, 1962.
- FERRAZ, E. C. Fisiologia. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE POTASSA **Cultura e adubação do milho**. São Paulo, 1966. cap. 12, p.369-379.
- GROVE, T. L.; RITCHEY, K. D.; NARDEMAN JUNIOR., G. C. Nitrogen fertilization of maize on an oxisol of the Cerrado of Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, n.2, p.261-265, 1980.
- HANWAY, J. J. Corn growth and composition in relation to soil fertility: II. Uptake of N, P, and K and their distribution in different plant parts during the growing season. **Agronomy Journal**, Madison, v.54, n.3, p.217-222, 1962.
- KARLEN, D. L.; FLANNERY, R. L.; SADLER, E. J. Nutrient and dry matter accumulation rates for high yielding maize. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, n.9/16, p. 1409-1417, 1987a.
- KARLEN, D. L.; SADLER, E. J.; CAMP, C. R. Dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on norfolk loamy sand. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, n.4, p.649-656, 1987b.
- KARLEN, D. L.; FLANNERY, R. L.; SADLER, E. J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, n.2, p. 232-242, 1988.

- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do milho**. São Paulo: ULTRA-FÉRTIL, 1980. 12p. (Divulgação Técnica, 8).
- NEPTUNE, A. M. L. Efeito de diferentes épocas e modos de aplicação do nitrogênio na produção do milho, na quantidade de proteína, na eficiência do fertilizante, e na diagnose foliar, utilizando o sulfato de amônio - ^{15}N . **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v.34, n.1, p.515-539, 1977.
- NEPTUNE, A. M. L.; CAMPANELLI, A. Efeitos de épocas e de modos de aplicação do sulfato de amônio - ^{15}N e interação nitrogênio - ^{15}N fósforo - ^{32}P , na quantidade e teores de N, P e K na planta e na folha do milho, na produção, na quantidade de proteína e eficiência do nitrogênio do fertilizante convertido em proteína. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v.37, n.2, p.1105-1143, 1980.
- NOVAIS, M. V. de; NOVAIS, R. F. de; BRAGA, J. M. Efeito da adubação nitrogenada e de seu parcelamento sobre a cultura do milho, em Patos de Minas. **Revista Ceres**, Viçosa, v.21, n.115, p.193-202, 1974.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: IAC. 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).
- SILVA, W. R.; MARCOS FILHO, F. Z. Influência do peso e do tamanho das sementes de milho sobre o desempenho no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n. 12, p. 1743-1750, 1982.
- TORRADO, P. V.; SPAROVEK, G. **Mapa pedológico detalhado do campus Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993. (escala 1:10000).
- ULLOA, A. M. C.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. **Utilização do nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1982. 66p.
- VILLAS BÔAS, R. L. **Alternativa para aumento da recuperação do nitrogênio da uréia pelo milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba: CENA/USP, 1990. 78p. Tese de Mestrado.