

# EXCESSO HÍDRICO NA CULTURA DO MILHO EM GLEISSOLO COM SISTEMA DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA<sup>1</sup>

VELOSO, M.E.C.<sup>2</sup>; DUARTE, S.N.<sup>3</sup>; MIRANDA, J.H.<sup>4</sup>; DOURADO NETO, D.<sup>5</sup>; CRUCIANI, D.E.<sup>6</sup>; SOUSA, V.F.<sup>7</sup>

**RESUMO:** O excesso de água no solo, o déficit hídrico e a deficiência nutricional, reduzem o rendimento das culturas. As áreas de várzeas, encontram-se próximas aos corpos de água, tendo grande influência nas flutuações do nível do lençol freático (LF), interferindo na concentração de O<sub>2</sub> nos macro e microporos do solo. O objetivo deste trabalho foi quantificar o efeito das oscilações do lençol freático no rendimento da cultura do milho, levando-se em conta o índice de estresse hídrico SEW<sub>30</sub> em solos de várzea. O experimento foi conduzido em uma área com sistema de drenagem subterrânea. Utilizou-se um delineamento experimental de blocos casualizados com cinco tratamentos e três repetições. Cada parcela possuía um dreno subterrâneo e um poço de observação instalado. A produtividade relativa (%) do milho em função do índice SEW<sub>30</sub> apresentou um modelo de regressão linear crescente ( $P<0,05$ ) e o rendimento da cultura não foi comprometido pelo excesso de água no solo. Concluiu-se que as produtividades relativas de grãos de milho responderam de forma linear e crescente ao índice SEW<sub>30</sub> e que as ascensões do lençol freático foram benéficas à produção da cultura.

**Palavras-chave:** *Zea mays*; Lençol freático; Excesso de água

## CORN CROP SUBMITTED TO HIDRIC EXCESS AT GLEYSSOLS WITH SUBSURFACE DRAINAGE SYSTEMS

**ABSTRACT:** The excess of soil water content, water deficit and nutritional deficiency, decreases the crop yield. The low land areas are close to water bodies, having great influences on the water table (WT) fluctuation, interfering in the concentration of oxygen in to the soil porosity. This work was carried out with the objective to quantify the effect of water table fluctuation in the maize crop yield considering the SEW<sub>30</sub> index stress at low lands. The experiment was installed out in an area with subsurface drainage system. The experiment was in complete randomized blocks design, with five treatments and three replications. Each treatment had a subsurface drain and an observation system installed. The relative corn yield (%) as a function of the SEW<sub>30</sub> index presented a linear regression growing model ( $P<0,05$ ), the crop yield was not influenced by the excess of soil water content. It was concluded that relative grain yield responds in a increase lineal way to the SEW<sub>30</sub> stress index; water table elevations contributed to the response in an increase lineal in the relative grain yield; the water table fluctuation as a functions of rain fall contributed positively to the corn crop yield.

**Keywords:** *Zea mays*; Water table; Water excess

<sup>1</sup> Extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Embrapa Meio-Norte, Av. Duque de Caxias, 5650, Cx.P 01, Cep: 64006-220, Teresina, PI, Fone: (86)3225-1141, e-mail: marcos@cpamn.embrapa.br

<sup>3</sup> Professor Associado do Departamento de Engenharia Rural - ESALQ/USP, e-mail: sduarte@esalq.usp.br

<sup>4</sup> Professor Doutor do Departamento de Ciências Exatas – ESALQ/USP, e-mail: jhmirand@esalq.usp.br

<sup>5</sup> Professor Titular do Departamento de Produção Vegetal - ESALQ/USP, e-mail: dourado@esalq.usp.br

<sup>6</sup> Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural - ESALQ/USP, e-mail: cruciani@esalq.usp.br

<sup>7</sup> Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, e-mail: vfsousa@cpamn.embrapa.br

Recebido pela Comissão Editorial em: 30.03.07

Aprovado pela Comissão Editorial em: 24.08.07

## INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L), em função de seu uso tanto na alimentação humana, quanto animal e como biocombustível, e de um elevado potencial produtivo, associado a sua composição química e valor nutritivo, constitui-se num dos mais importantes cereais cultivados e comercializados no mundo, cujos maiores produtores mundiais, no ano agrícola 2004/05, foram os Estados Unidos (41,88%), China (18,10%) e Brasil (6,49%) (FNP COMERCIAL & CONSULTORIA, 2005).

As áreas de várzeas no Brasil abrangem, aproximadamente, um total de 30 milhões de hectares (LAMSTER, 1980), as quais são encontradas, geralmente, nas planícies de rios e de lagoas, caracterizando-se por apresentar problemas de drenagem, possuir solos de média a alta fertilidade, grandes variações espaciais de solo (morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas e consequentemente, na aptidão de uso) e possuir grande potencial para a produção de alimentos (PINTO et al., 1999). A exploração racional dessas áreas requer, geralmente, a implantação de um sistema de drenagem e um manejo adequado do sistema solo-água-planta-atmosfera.

Os sistemas de drenagem são instalados para remover o excesso de água do solo em regiões úmidas e controlar a salinidade do solo nas regiões áridas ou semi-áridas. Historicamente, esses sistemas têm sido utilizados, geralmente, para o controle do lençol freático (LF) em função da taxa de percolação da irrigação, chuva e/ou do "seepage" proveniente de canais ou encostas (GUITJENS et al., 1997).

A drenagem interna inadequada é um problema em regiões úmidas, especialmente em áreas com solos de textura argilosa, pois em condições de solos encharcados ocorre uma diminuição da respiração das raízes das plantas impedindo o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular, e, consequentemente, reduzindo a produtividade e a qualidade da produção das culturas.

A finalidade da drenagem em regiões úmidas consiste em garantir condições de aeração na zona radicular favoráveis ao desenvolvimento de culturas. Considerando que essa finalidade está intimamente correlacionada ao controle da profundidade do LF, a qual pode ser facilmente monitorada nos experimentos, foram desenvolvidos vários índices no intuito de correlacionar a oscilação sazonal do lençol com a produtividade das culturas (SMEDEMA, 1988). Um desses índices é o  $SEW_{30}$ , definido como o somatório durante o período de crescimento e desenvolvimento da cultura da altura do lençol freático, em centímetros, acima de um plano localizado a 30 cm de profundidade (FEDDES, 1988). Esse índice permite avaliar a produtividade das culturas sob condições em que o LF atinge a zona radicular (MIRANDA, 1997).

O índice  $SEW_{30}$  pode ser considerado como um método aproximado para avaliar a qualidade da drenagem. Considera-se adequada, para a cultura do milho, a drenagem que proporciona um  $SEW_{30}$  menor do que 100 cm por dia durante o ciclo da cultura (SKAGGS, 1981).

Do exposto, considera-se relevante o desenvolvimento de uma pesquisa sobre o comportamento do estresse hídrico em área de várzea de clima sub-úmido, cultivada com milho. Neste contexto estabeleceu-se a hipótese de que a altura das oscilações do lençol freático afeta a produtividade relativa do milho. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi quantificar o efeito das flutuações do lençol freático na produtividade da cultura do milho, levando em conta o índice  $SEW_{30}$  em solo de várzea.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi desenvolvido em uma várzea localizada no Campo Experimental de Drenagem pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Piracicaba, SP, no período de novembro de 2004 a março de 2005, situado nas coordenadas geográficas de 22°42'30" de latitude S e 47°36'00" de longitude W e altitude média de 546 m.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo CWa, tropical úmido, ocorrendo chuvas de verão e secas de inverno, apresentando temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C. A precipitação pluviométrica média anual é de 1250 mm, com maior concentração nos meses de novembro a fevereiro, principalmente com chuvas de alta intensidade e curta duração (SENTELHAS, 1998).

Antes da instalação do experimento foi retirada uma amostra de solo na camada de 0 a 0,20 m, e as suas características química e granulométrica foram determinadas: pH ( $CaCl_2$ ) = 6,4; M.O = 32 g dm<sup>-3</sup>; P (resina) = 30 mg dm<sup>-3</sup>; S = 13 mg dm<sup>-3</sup>; K = 1,3 mmolc dm<sup>-3</sup>; Ca = 240 mmolc dm<sup>-3</sup>; Mg = 160 mmolc dm<sup>-3</sup>; Al = 0 mmolc dm<sup>-3</sup>; H+Al = 25 mmolc dm<sup>-3</sup>; SB = 401,3 mmolc dm<sup>-3</sup>; T = 426,3 mmolc dm<sup>-3</sup>; V = 94 %; m = 0 %; B = 0,45 mg dm<sup>-3</sup>; Cu = 5,3 mg dm<sup>-3</sup>; Fe = 67 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 24,9 mg dm<sup>-3</sup>; Zn = 2,3 mg dm<sup>-3</sup>; areia = 180 g kg<sup>-1</sup>; silte = 280 g kg<sup>-1</sup>; argila = 540 g kg<sup>-1</sup>.

Trata-se de uma área sistematizada, com dimensão de 8.100 m<sup>2</sup> (180 m x 45 m), situada entre uma encosta e o rio Piracicaba, em solo classificado como Gleissolo eutrófico, horizonte 'A' moderado, textura argilosa com inclusões de vertissolos, que apresenta uma camada impermeável a aproximadamente quatro metros de profundidade (segundo mapeamento de solos da ESALQ/USP). O sistema de drenagem subterrânea, já implantado, é constituído por 19 tubos de drenos

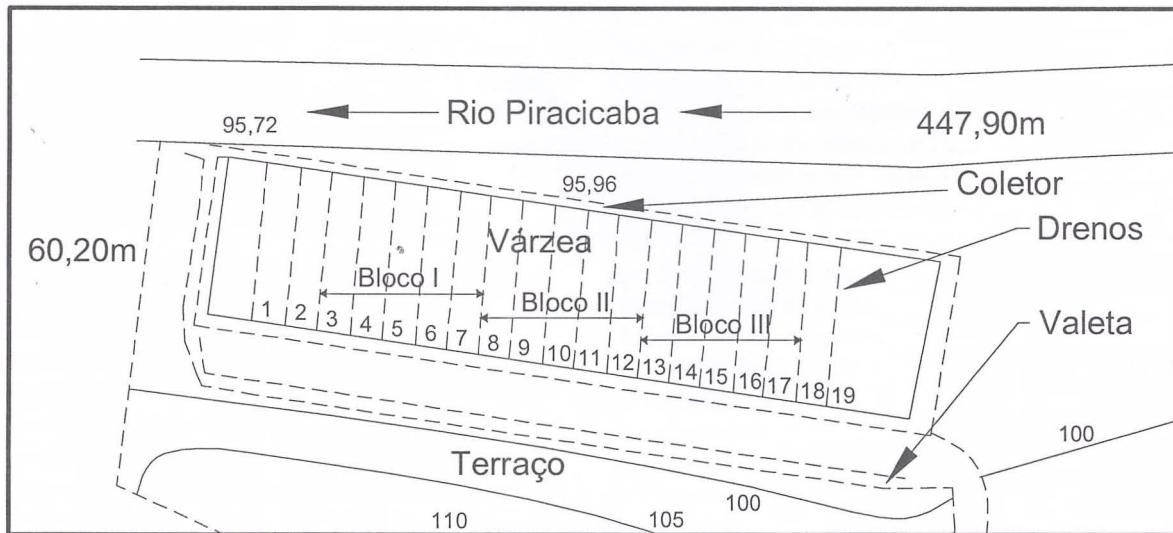


Figura 1 - Levantamento planialtimétrico do campo experimental de drenagem, localizada na ESALQ/USP

corrugados de PVC flexível de 45,0 m de comprimento e 0,10 m de diâmetro. Os drenos subterrâneos paralelos descarregam a água de drenagem em um coletor aberto, sendo que o dreno de nº 19 não estava operando, pelo fato de se encontrar colmatado.

O espaçamento entre drenos foi de 10,0 m, instalados na profundidade de 1,0 m, com declividade de 3‰. Utilizou-se como envelope de recobrimento dos drenos, uma manta de poliéster (bidim tipo OP-20 da Rodhia). O canal coletor está a uma profundidade de 1,40 m com declividade de 2‰, com um desnível de aproximadamente 0,4 m entre a saída dos drenos tubulares e o fundo do canal coletor (COSTA, 1994; DUARTE, 1997). A área experimental encontrava-se em pousio, tendo sido cultivada pela última vez com a cultura do milho no ano agrícola de 1994/95 (Figura 1).

Utilizou-se um delineamento experimental composto de 15 parcelas amostrais distribuídas em três blocos. Os cinco tratamentos constaram da oscilação diferenciada do lençol freático causada pela própria variabilidade espacial natural do solo da área e foram instalados nos drenos de números três ao 17, ocupando um total de 15 drenos. A área da parcela foi 302,4 m<sup>2</sup> (9,0 m x 33,6 m). Em cada parcela experimental havia um dreno subterrâneo na sua parte central. Entre as parcelas, ao longo dos drenos, foram construídas valas feitas com um sulcador, utilizando-se um cultivador de cana-de-açúcar e camalhões construídos manualmente na parte superior, seguindo a orientação dos drenos subterrâneos, separando-se as parcelas. As valas possuíam 0,6 m de largura, aproximadamente, e tiveram como finalidade diminuir a influência do escoamento superficial entre os tratamentos.

O preparo do solo foi feito no dia 21/10/04 mediante duas passagens de grade aradora pesada. No dia 04/11/04, um dia antes da semeadura do milho, passou-se uma grade niveladora para controle de algumas ervas

daninhas, surgidas nesse intervalo de tempo, bem como para destorramento e melhor nivelamento ao solo.

A adubação foi definida em função da análise do solo usando as recomendações para uma produtividade esperada de 8 a 10 Mg ha<sup>-1</sup>, segundo Raij et al. (1997). A adubação de semeadura foi realizada com o auxílio de uma adubadeira mecânica acoplada a um microtrator. Na semeadura, todas as parcelas receberam 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 40 kg ha<sup>-1</sup> de S, na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio. O S estava contido no superfosfato simples, na concentração de 12%, aproximadamente. Posteriormente, aplicou-se manualmente em sulcos feitos com enxadas a 0,05 m e 0,10 m de profundidade, 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia.

A adubação nitrogenada em cobertura, foi realizada com uréia aplicada manualmente na superfície do solo, quando as plantas de milho estavam com seis a sete folhas expandidas, aos 31 dias após a emergência (DAE).

Foram semeadas longitudinalmente 48 fileiras de milho, espaçadas de 0,7m e com 170 m de comprimento, ocupando uma área de 5.712 m<sup>2</sup> (170 x 33,6 m). A semeadura foi realizada no dia 05/11/04, utilizando-se sementes do híbrido simples 30P70, de ciclo precoce da Pioneer, utilizando-se uma semeadora-adubadora, na densidade de cinco a seis sementes por metro linear de sulco. A emergência das plantas de milho ocorreu aos 11 dias após a semeadura, no dia 15/11/04, recebendo essa data a classificação de 1º dia após a emergência (DAE). Todos os eventos e estádios da cultura foram classificados por DAE.

A colheita foi realizada manualmente aos 132 DAE. A área útil constou de 20 amostragens de 3,0 m de comprimento, totalizando uma área de 42 m<sup>2</sup> (20 amostras x 0,7 m espaçoamento x 3 m), coletadas aleatoriamente ao longo da área plantada com milho referente a cada tratamento. Eliminou-se uma fileira nas extremidades da área e, no mínimo, duas plantas de milho nas laterais.

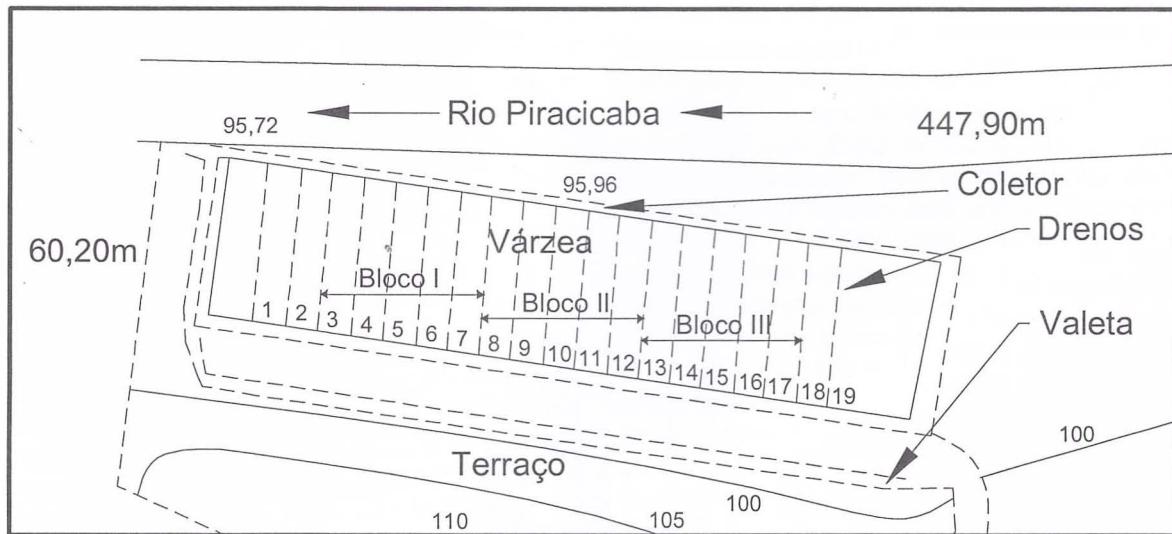


Figura 1 - Levantamento planialtimétrico do campo experimental de drenagem, localizada na ESALQ/USP

corrugados de PVC flexível de 45,0 m de comprimento e 0,10 m de diâmetro. Os drenos subterrâneos paralelos descarregam a água de drenagem em um coletor aberto, sendo que o dreno de nº 19 não estava operando, pelo fato de se encontrar colmatado.

O espaçamento entre drenos foi de 10,0 m, instalados na profundidade de 1,0 m, com declividade de 3 ‰. Utilizou-se como envelope de recobrimento dos drenos, uma manta de poliéster (bidim tipo OP-20 da Rodhia). O canal coletor está a uma profundidade de 1,40 m com declividade de 2 ‰, com um desnível de aproximadamente 0,4 m entre a saída dos drenos tubulares e o fundo do canal coletor (COSTA, 1994; DUARTE, 1997). A área experimental encontrava-se em pousio, tendo sido cultivada pela última vez com a cultura do milho no ano agrícola de 1994/95 (Figura 1).

Utilizou-se um delineamento experimental composto de 15 parcelas amostrais distribuídas em três blocos. Os cinco tratamentos constaram da oscilação diferenciada do lençol freático causada pela própria variabilidade espacial natural do solo da área e foram instalados nos drenos de números três ao 17, ocupando um total de 15 drenos. A área da parcela foi 302,4 m<sup>2</sup> (9,0 m x 33,6 m). Em cada parcela experimental havia um dreno subterrâneo na sua parte central. Entre as parcelas, ao longo dos drenos, foram construídas valas feitas com um sulcador, utilizando-se um cultivador de cana-de-açúcar e camalhões construídos manualmente na parte superior, seguindo a orientação dos drenos subterrâneos, separando-se as parcelas. As valas possuíam 0,6 m de largura, aproximadamente, e tiveram como finalidade diminuir a influência do escoamento superficial entre os tratamentos.

O preparo do solo foi feito no dia 21/10/04 mediante duas passagens de grade aradora pesada. No dia 04/11/04, um dia antes da semeadura do milho, passou-se uma grade niveladora para controle de algumas ervas

daninhas, surgidas nesse intervalo de tempo, bem como para destorramento e melhor nivelamento ao solo.

A adubação foi definida em função da análise do solo usando as recomendações para uma produtividade esperada de 8 a 10 Mg ha<sup>-1</sup>, segundo Raij et al. (1997). A adubação de semeadura foi realizada com o auxílio de uma adubadeira mecânica acoplada a um microtrator. Na semeadura, todas as parcelas receberam 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 40 kg ha<sup>-1</sup> de S, na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio. O S estava contido no superfosfato simples, na concentração de 12%, aproximadamente. Posteriormente, aplicou-se manualmente em sulcos feitos com enxadas a 0,05 m e 0,10 m de profundidade, 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia.

A adubação nitrogenada em cobertura, foi realizada com uréia aplicada manualmente na superfície do solo, quando as plantas de milho estavam com seis a sete folhas expandidas, aos 31 dias após a emergência (DAE).

Foram semeadas longitudinalmente 48 fileiras de milho, espaçadas de 0,7m e com 170 m de comprimento, ocupando uma área de 5.712 m<sup>2</sup> (170 x 33,6 m). A semeadura foi realizada no dia 05/11/04, utilizando-se sementes do híbrido simples 30P70, de ciclo precoce da Pioneer, utilizando-se uma semeadora-adubadora, na densidade de cinco a seis sementes por metro linear de sulco. A emergência das plantas de milho ocorreu aos 11 dias após a semeadura, no dia 15/11/04, recebendo essa data a classificação de 1º dia após a emergência (DAE). Todos os eventos e estádios da cultura foram classificados por DAE.

A colheita foi realizada manualmente aos 132 DAE. A área útil constou de 20 amostragens de 3,0 m de comprimento, totalizando uma área de 42 m<sup>2</sup> (20 amostras x 0,7 m espaçoamento x 3 m), coletadas aleatoriamente ao longo da área plantada com milho referente a cada tratamento. Eliminou-se uma fileira nas extremidades da área e, no mínimo, duas plantas de milho nas laterais.

Os dados climáticos relativos à precipitação pluviométrica foram obtidos de uma estação climatológica, localizada à aproximadamente 500 m da área experimental, até o 16º DAE. Nesta data, instalou-se um pluviômetro com diâmetro de boca de 0,21 m, localizado a 1,5 m acima do nível do solo dentro da área experimental, com a finalidade de melhor avaliar essa variável. As leituras foram feitas diariamente entre 8:00 h e 8:30 h.

A profundidade de instalação dos poços de observação foi a mínima necessária para que atingisse o lençol freático. Os poços de observação foram abertos com o auxílio de um trado tipo holandês, de 0,075 m de diâmetro e uma profundidade de 1,2 m, aproximadamente e revestidos com tubos de PVC com diâmetro nominal de 50 mm, PN 80, com 1,5 m de comprimento. Para a entrada de água foram realizados furos com uma broca de oito milímetros de diâmetro distanciados de cinco centímetros, aproximadamente, até completar 0,5 m, em uma das extremidades dos tubos. Em seguida furou-se novamente, de forma transversal e alternada, em relação aos furos anteriores até a mesma altura.

Em cada tubo, correspondente a um poço de observação, foram colocados dois círculos feitos de borracha de câmara de ar com 0,2 m de diâmetro, aproximadamente, localizados a 0,6 m e 1,2 m de altura, ficando este último na superfície do solo, com a finalidade de evitar infiltrações preferenciais para o lençol freático.

Após sete dias da semeadura do milho, foram instalados os tubos, de maneira cuidadosa dentro dos poços de observação, previamente implantados, para que as borrachas localizadas a 0,6 m, não se deslocassem; em seguida, adicionou-se solo até à superfície, local onde foi colocada a segunda borracha, a 1,2 m de altura, deixando-se 0,3 m do tubo acima da superfície do solo livre, mas cobertos com uma tampa. Colocou-se um poço por tratamento, localizado a 15 m do coletor e a dois metros ao lado do dreno subterrâneo de PVC corrugado, totalizando-se quinze poços. Essas estruturas foram utilizadas para o monitoramento no tempo da profundidade do lençol freático, sendo que as leituras realizadas diariamente entre 7:00 h e 8:30 h, utilizando-se um medidor de nível freático.

Os dados de profundidade do LF permitiram quantificar, para cada tratamento, o índice de estresse  $SEW_{30}$ , o qual é calculado por:

$$SEW_{30} = \sum_{i=1}^n (30 - y(i)) \quad (1)$$

sendo que  $y(i)$  é a profundidade do LF abaixo da superfície do solo no dia "i" (cm) e "n" é o número de dias na estação de crescimento. Os termos negativos do somatório são desprezados, conforme preconiza o modelo.

As produtividades absolutas do milho foram convertidas para produtividades relativas, considerando-se a razão entre a produtividade obtida para cada parcela e a produtividade potencial, sendo esta considerada como

a produtividade mais alta. Na análise da dinâmica do LF em relação ao rendimento da cultura, foi realizada análise de ajuste de equações relacionando a produtividade relativa com a profundidade média do lençol freático e a produtividade relativa com o índice  $SEW_{30}$ .

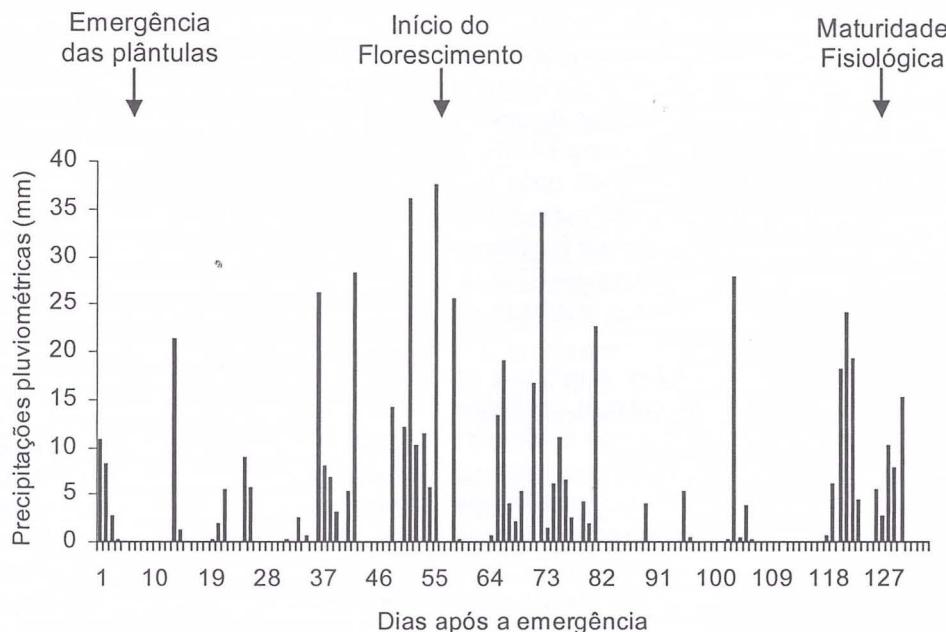
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, do período da emergência das plântulas de milho à colheita, houve uma boa distribuição das chuvas, atendendo as necessidades hídricas da cultura do milho, especialmente no estádio de floração e enchimento dos grãos (Figura 2). Nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março houve uma precipitação pluviométrica mensal de 117 mm, 103 mm, 275 mm, 70 mm e 114 mm, respectivamente, com um total no período de 562 mm, sendo que 99,3% deste total ocorreu no período da semeadura à colheita do milho. A necessidade hídrica do milho, para se obter produtividade máxima, está entre 500 a 800 mm de água, dependendo do clima (DOORENBOS; KASSAM, 1994). Esse dado mostra que a época de semeadura para o milho de sequeiro nos meses de outubro e novembro é adequada para a região de Piracicaba, concordando com as recomendações de Pereira Filho e Cruz (2003).

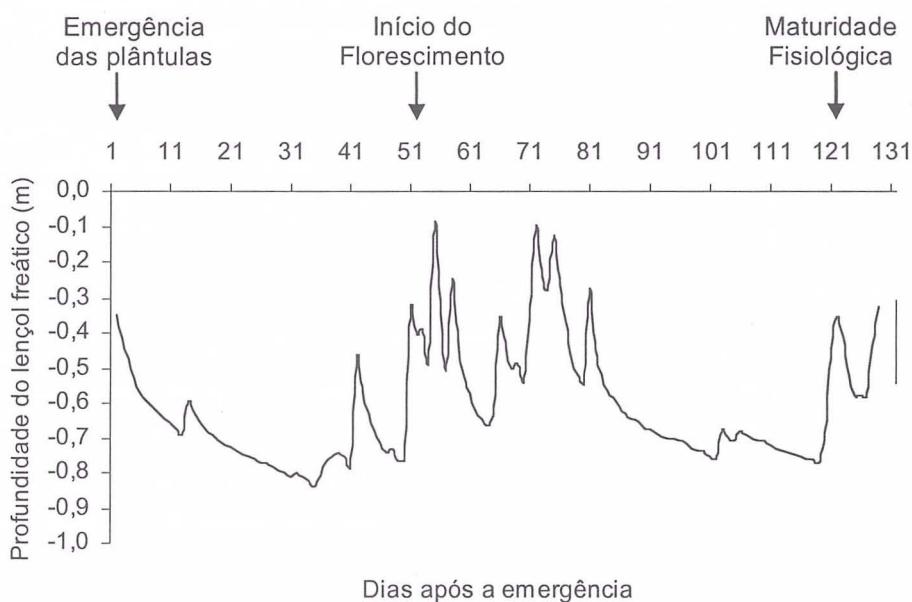
As descargas anuais nos drenos subterrâneos são extremamente variadas de um ano para o outro, em função principalmente das chuvas da região. JAYNES et al. (2004) obtiveram em parcelas individuais uma faixa de variação entre 136 e 617 mm em 2001, 196 a 504 mm em 2002 e 112 mm a 530 mm em 2003; entretanto não houve diferença significativa entre os tratamentos testados neste trabalho.

A profundidade do nível freático acompanha os valores das precipitações pluviométricas, ou seja, nos períodos de maior concentração de chuvas, o lençol freático ficava mais próximo da superfície do solo, reduzindo a aeração da camada superficial do solo. Esse processo foi controlado por causa da existência da drenagem subterrânea e superficial que controlavam a altura do LF, não permitindo a existência de longos períodos com o solo inundado e/ou encharcado, o que poderia prejudicar a difusão de oxigênio no solo e impedir o crescimento e desenvolvimento normal do sistema radicular do milho. Nos períodos de veranicos, verificou-se maior profundidade do LF, entretanto sempre houve descargas nos drenos subterrâneos do inicio ao fim do trabalho.

No período de 1 a 49 DAE, o LF variou entre 0,4 m a 0,84 m de profundidade, sendo que o menor valor ocorreu aos 34 DAE, apresentando um valor médio de 0,69 m. Nesse período, as chuvas que ocorreram, provavelmente, só dariam para reabastecer a água do solo, não tendo muita influência na altura do LF, mantendo-o sempre mais profundo (Figura 3).



**Figura 2** - Valores das precipitações pluviométricas (mm) ocorridas no período da emergência à colheita do milho



**Figura 3** - Valores médios da profundidade do lençol freático ocorrido no período da emergência à colheita do milho

No período de 48 a 55 DAE houve um total de precipitação de 126,8 mm, sendo que aos 48 e 50 DAE choveu 14,2 e 12 mm, quantidade de água suficiente para reabastecer o solo, de forma que os demais eventos de chuva passaram a ter maior influencia em aumentar o LF nesse período, variando de 0,32 a 0,47 m, com um valor mínimo de 0,08 m aos 54 DAE e apresentando uma média de 0,34 m.

No período de 56 a 69 DAE houve um rebaixamento do LF, variando de 0,25 m a 0,66 m, com um valor médio de 0,51 m; entretanto nesse período houve uma

precipitação pluviométrica total de 69,7 mm, sendo que 36,4% ocorreu aos 58 DAE e 45,91% aos dias 65 e 66 DAE, quantidade de água suficiente para reabastecer a água disponível do solo, a qual foi perdida, provavelmente, em maior quantidade para a atmosfera por meio da evaporação do solo e transpiração das plantas de milho e plantas invasoras.

No período de 70 a 76 DAE, o LF voltou a diminuir sua profundidade, em função das chuvas que ocorreram no período, totalizando 76,4 mm. O LF variou de 0,09 m a 0,36 m, com um valor médio de 0,25 m. No período de

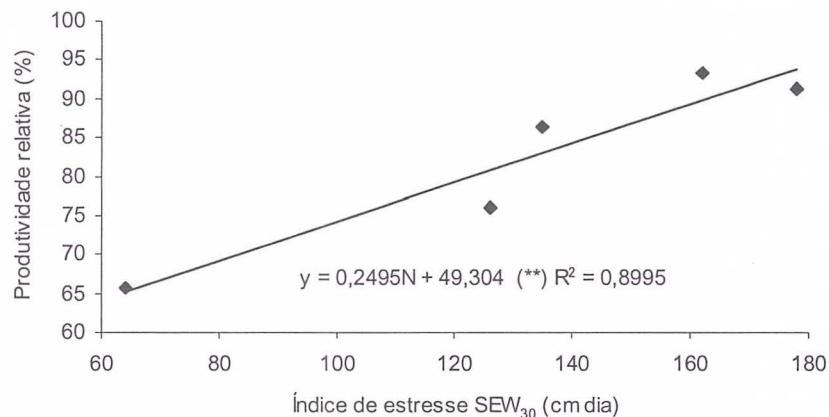
76 a 132 DAE houve um rebaixamento do LF mantendo-se em um valor médio de 0,68 m, sem apresentar grandes variações de profundidade do LF que viesse a comprometer a zona do sistema radicular do milho. Resultados semelhantes foram encontrados por DUARTE et al. (2005) utilizando modelo SISDRENA após sua calibração com os dados locais, sendo o de maior relevância a lâmina de "seepage" que é um fenômeno que ocorre na área experimental de várzea da ESALQ/USP, em função da encosta adjacente e ausência de drenos de encosta.

As recargas do LF efetivadas em base às precipitações pluviométricas não permitiram, conforme se visualiza nos hidrógrafas do LF ao longo do ciclo da cultura, determinar profundidades que limitasse o rendimento da cultura no estádio vegetativo, estádio este que a cultura do milho apresentavam maior valor para o índice de sensibilidade ao excesso de água, (C5).

Verifica-se que a produtividade relativa em função do índice de estresse  $SEW_{30}$  apresentou-se segundo um modelo de regressão linear crescente. Após ter sido submetido ao teste F foi significativo ao nível de 1%, rejeitando-se assim a hipótese de nulidade e aceitando-se como comprovado que ocorreu diferenças reais, não

casuais, entre as médias dos tratamentos; portanto essa equação de regressão explica de forma significativa a variável dependente 'produtividade relativa', em nível de 1% de probabilidade. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 89,9% indica que a variação da variável 'produtividade relativa' é explicada pelo modelo de regressão.

O rendimento da cultura não foi comprometido pelo excesso do teor de água no solo no período da emergência das plântulas à colheita. Isto ocorreu, provavelmente, em função dos baixos valores do índice de estresse  $SEW_{30}$ , que variaram de 64 a 178 cm dia. COSTA (1994) verificou resultado semelhante utilizando o cultivar de milho Piranão VD2, de porte baixo, e trabalhando com o índice  $SEW_{20}$ . Skaggs et al. (1981) citam que a produtividade relativa começa a cair gradativamente para valores maiores que 100 ou 200 cm dia para plantas susceptíveis ou tolerantes respectivamente, à conteúdo de água excessiva do solo durante o ciclo da cultura. Observando-se os dois últimos e maiores pontos, do gráfico, percebe-se que o penúltimo ponto foi superior ao último, onde se pode notar que há uma tendência de encontrar um ponto de máximo e o inicio da redução da produtividade do milho, caso o conteúdo de água no solo aumentasse (Figura 4).



**Figura 4** - Produtividade relativa (%) para a cultura do milho cultivado em várzea em função dos diferentes índices  $SEW_{30}$

Kanwar et al. (1988) avaliaram o excesso de água no solo na cultura do milho por três anos, utilizando as relações entre a produtividade relativa e o índice de estresse  $SEW_{30}$  e concluíram que o modelo linear foi o que melhor se ajustou. Hardjoamidjojo et al. (1982) também verificaram melhor ajuste para o modelo linear, para a produtividade relativa em função do estresse diário.

crescente ao índice de estresse  $SEW_{30}$ , ou seja, as elevações do lençol freático que ocorreram em função das precipitações pluviométricas foram benéficas à produção da cultura.

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, nas condições do experimento, pode-se concluir que: a produtividade relativa do milho respondeu de forma linear

## REFERÊNCIAS

- COSTA, R.N.T. Espaçamento econômico de drenos laterais e a dinâmica do lençol freático sobre o rendimento da cultura de milho (*Zea mays*, L.). 1994. 88 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H.; **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de H.R Gheyi et al. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).
- DUARTE, S.N. **Modelo para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem subterrânea e cálculo de espaçamento de drenos**. 1997. 143 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- DUARTE, S.N.; VELOSO, M.E.C.; MIRANDA, J.H., BÉRGAMO, L.R. Calibração e validação de modelo de simulação de desempenho de sistemas de drenagem. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15., 2005, Teresina. **Anais ...** Teresina: ABID, 2005. 1 CD-ROM.
- FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agriannual 2005**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2005. 536 p.
- FEDDES, R.A. Effects of drainage on crops and farm management. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 14, n. 1, p. 3-18, 1988.
- GUITJENS, J.C.; AYARS, J.E.; GRISMER, M.E.; WILLARDSON, L.S. Drainage design for water quality management. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering - ASCE**, New York, v. 123, n. 3, p. 148-153, 1997.
- HARDJOAMIDJOJO, S.; SKAGGS, R.W.; SCHWAB, B.O. Corn yield response to excessive soil water conditions. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 25, n. 4, p. 922-927, 1982.
- JAYNES, D.B.; KASPAR, T.C.; MOORMAN, T.B.; PARKIN, T.B. Potential methods for reducing nitrate losses in artificially drained fields. In: INTERNATIONAL DRAINAGE SYMPOSIUM, 8., 2004, Sacramento. **Proceedings ...** St. Joseph: ASAE, 2004. p. 59-69.
- KANWAR, R.S.; BAKER, J.L.; JUKHTAR, S. Excessive soil water effects at various stages of development on the growth and yield of corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 31, n. 1, p. 133- 141, 1988.
- LAMSTER, E.C. Programa nacional de aproveitamento racional de várzeas: provárzeas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 6, n. 65, p. 3-8, 1980.
- MIRANDA, J.H. **Modelo para simulação da dinâmica da água em sistemas de drenagem subterrânea e cálculo do espaçamento econômico entre drenos**. 1997. 89 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.
- PEREIRA FILHO, I.A.; CRUZ, J.C. Produção de milho em sistema irrigado. In: RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; COUTO, L. **A cultura do milho irrigado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 205-238.
- PINTO, L.F.S.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SOUSA, R.O. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A.S.; PAULETTO, E.A. (Ed.). **Manejo de solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 11-36.
- SENTELHAS, P.C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. 1998. 97 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- SKAGGS, R.W. **DRAINMOD: reference report: methods for design and evaluation of drainage-water management systems for soils with high water tables**. Raleigh: USDA, SCS, 1981. 329 p.
- SMEDEMA, L.K. Water table control indices for drainage of agricultural land in humid climates. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 14, n. 1, p. 69-77, 1988.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).