DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA, NO VALE DO RIBEIRA

EMILIO SAKAI

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. NILSON A. VILLA NOVA

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Univer-
sidade de São Paulo, para obtenção do
título de Doutor em Agronomia, área de
concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Fevereiro - 1996

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Sakai, Emilio

Desenvolvimento da cultura do milho em diferentes condições de drenagem
subterrânea, no Vale do Ribeira / Emilio Sakai. - - Piracicaba, 1996.
102p. : il.

Tese (doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996.
Bibliografia.

1. Drenagem - Rio Ribeira (Vale) 2. Milho - Produtividade - Rio Ribeira (Vale)

1. Título

z CDD 633.15

DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO EM
DIFERENTES CONDIÇÕES DE DRENAGEM
SUBTERRÂNEA, NO VALE DO RIBEIRA

EMILIO SAKAI

Aprovado em: 28.06.1996

Comissão julgadora:

Prof. Dr. NILSON AUGUSTO VILLA NOVA	ESALQ/USP
Prof. Dr. VALTER BARBIERI	ESALQ/USP
Prof. Dr. MARCOS VINICIUS FOLEGATTI	ESALQ/USP
Prof. Dr. JOSÉ RENATO ZANINI	FCAVJ/UNESP
Dr. FLÁVIO BUSSMEYER ARRUDA	IAC

Prof. Dr. NILSON A. VILLA NOVA

Orientador

Aos meus pais

GORO e TAKECA (in memoriam)

pelo exemplo de vida e incentivo

À minha esposa SÔNIA

e aos meus filhos

GISELE, VIVIEN E RAFAEL

pelo amor e compreensão

dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Nilson Augusto Villa Nova, pela orientação precisa e apoio irrestrito durante todas as fases deste trabalho;

Ao Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo (IAC), pela liberação concedida para a realização deste curso;

Ao Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, pela possibilidade em realizar o curso;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo;

À Estação Experimental de Pariquera Açú do Instituto Agrônômico, pelas infraestrutura e facilidades oferecidas;

À Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agrônômico, pela concessão de dados meteorológicos;

À ZENECA Sementes Ltda, pela doação de sementes de milho;

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pelos ensinamentos;

Ao pesquisador Eduardo Sawazaki, pelo apoio e cooperação durante a realização deste trabalho;

Aos pesquisadores Luis Alberto Sáes, Mauro Sakai, Flávio Bussmayer Arruda, Mamor Fujiwara, Rinaldo de Oliveira Calheiros, Regina Célia de Matos Pires, pelo excelente ambiente de trabalho, amizade, estímulo e colaboração;

Aos funcionários da Seção de Irrigação e Drenagem e da Estação Experimental de Pariquera Açu do Instituto Agrônômico, em especial a Leonice, Carmelina e Antonio, pela cooperação nos trabalhos de campo e laboratório;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
SUMMARY	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Drenagem agrícola	4
2.2. Aspectos do lençol freático e sua importância agrícola	7
2.3. Desenvolvimento do sistema radicular	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Local, clima e solo	20
3.2. Condutividade hidráulica do solo	27
3.3. Sistema de drenagem subterrânea	28
3.4. Poços de observação e tensiômetros	29
3.5. Parcelas experimentais	34
3.6. Cultivo	34
3.7. Crescimento da cultura	36
3.7.1. Índice de área foliar	37
3.7.2. Partição da matéria seca	38
3.7.3. Taxa de crescimento da cultura	39
3.7.4. Eficiência na conversão de matéria seca em grãos	39
3.7.5. Resistência estomática à difusão de vapor d'água	40
3.7.6. Profundidade efetiva do sistema radicular	41
3.8. Análise de produção	42

	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1. Nível do lençol freático	43
4.1.1. Determinação do lençol freático: Método do poço vs Método proposto	45
4.2. Crescimento da cultura	48
4.2.1. Altura e recobrimento do solo pelas plantas	48
4.2.2. Índice de área foliar	50
4.2.3. Desenvolvimento da matéria seca	54
4.2.3.1. Folha	54
4.2.3.2. Colmo	54
4.2.3.3. Brácteas, Ráquis e Grãos	56
4.2.3.4. Peso da matéria seca total	59
4.2.4. Eficiência na conversão de matéria seca em grãos	68
4.3. Índice de Estresse de Água	71
4.4. Sistema Radicular	74
4.4.1. Densidade de comprimento	74
4.4.2. Profundidade efetiva	85
5. CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

**DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO EM
DIFERENTES CONDIÇÕES DE DRENAGEM
SUBTERRÂNEA, NO VALE DO RIBEIRA**

Autor: **EMILIO SAKAI**

Orientador: **Prof.Dr. NILSON A. VILLA NOVA**

RESUMO

As extensas terras de baixada do Vale do Rio Ribeira possivelmente apresentarão boas condições de cultivo, se forem devidamente saneadas e drenadas. Com o intuito de se conhecer melhor essa potencialidade e obter-se informações para uso em projetos, foi conduzido um ensaio de campo com a cultura do milho na E.E. de Pariquera Açu do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo (IAC).

Numa área de solo orgânico, foram estabelecidos os sistemas de drenagem subterrânea compostos de tubos corrugados envoltos em material filtrante instalados na profundidade de 1,00m, com declive de $0,002 \text{ m.m}^{-1}$, nos

espaçamentos de 3, 6, 9, 12 e 18m, que constituíram os tratamentos do presente estudo.

O método do tensiômetro proposto para o monitoramento do lençol freático mostrou-se confiável e adequado ao uso em experimentação agrícola. As maiores diferenças entre tratamentos foram da ordem de 15cm na profundidade do lençol freático.

A utilização do conceito de "Somatório de Excesso de Água", SEW_{30} , para quantificar o efeito do lençol freático acima da profundidade crítica de 30cm, produziu uma relação hiperbólica decrescente com a produção final. Relação similar foi obtida com o Índice Diário de Estresse, SDI, porém a significância estatística foi menor que a obtida para SEW_{30} .

O melhor desempenho foi observado no tratamento com drenos espaçados a 3m, atingindo a $7,3 \text{ t.ha}^{-1}$ de produção final. O aumento no espaçamento entre drenos resultou em pequena redução nos parâmetros de crescimento e produção da cultura. Porém, as maiores diferenças foram da ordem de 10%, como na produção final de grãos.

A profundidade efetiva máxima da cultura do milho foi de 39cm nos tratamentos de 3, 6 e 9m e diminuiu em torno de 20% nos de maiores distâncias.

GROWTH OF MAIZE UNDER SEVERAL DRAINED FIELD CONDITIONS, IN THE RIBEIRA VALLEY

Author: **EMILIO SAKAI**

Adviser: **Prof. Dr. NILSON A. VILLA NOVA**

SUMMARY

Large underdeveloped low land area is still available in the Ribeira Valley, which might present good conditions for an intensive agriculture if properly drained. This work had the purpose to know the production level and preliminary information for using in drainage projects.

A field experiment with maize was conducted during the rainy season of 1994, at the Experimental Station of Pariquera Açu of the Agronomic Institute (IAC) of São Paulo State, Brazil.

A subsurface drainage system was established in an area of organic-mineral soil at 1.0m deep and slope of 0.002m.m^{-1} , with five treatments of drain spacing: 3.0, 6.0, 9.0, 12.0, and 18.0m.

A proposed tensiometric method for evaluating the water table depth showed to be adequate for using in field experimentation. The largest differences of water table depth among treatments were, in average, 0.15 m.

The crop performance was best on the treatment with 3.0 m of drain spacing, with a 7.3 t/ha of final grain yield, considered very high for the regional standard. Increasing the drain distance resulted in a small reduction on plant development and productivity. The largest difference was around 10%, measured on final grain yield.

The concept of Sum of Excess of Water, SEW_{30} , was used to quantify the effect of water table above 30 cm depth. It produced a decreasing hyperbolic relation with final yield. Similar relation was obtained with Stress Day Index, SDI, except that its significance was slightly smaller than the former.

The maximum effective root depth of maize reached to 0.39 m in the 3.0, 6.0 and 9.0 m treatments, and it was reduced about 20% as the drain spacing was increased.

1 . INTRODUÇÃO

A região paulista do Vale do Rio Ribeira de Iguape compreende uma área de 1.709.000 ha de terra com topografia predominantemente montanhosa, englobando cerca de 200.000 ha de várzea.

Nessa região, os solos de várzeas na sua maioria desenvolveram-se a partir de sedimentos fluviais holocênicos, variavelmente argilosos, silto-argilosos e areno-argilosos, e por depósitos orgânicos ou turfas (LEPSCH et al., 1990), caracterizando-se por apresentar uma grande variabilidade espacial.

A ampliação de fronteiras agrícolas com o avanço sobre essas terras de difícil manejo tem levado a frustrações. Muitos desses casos são empreendimentos que poderiam ser viáveis, visto que os solos apresentam algumas características que os tornam adequados à prática de agricultura de alta produtividade. A proximidade de água, condição essencial para a própria existência da várzea, faz com que mesmo sem irrigação suas áreas sejam mais úmidas do

que as partes mais altas. Esse fator elimina por um lado os problemas de déficit hídricos causados por veranicos e estiagem por período prolongado. Por outro lado, o excesso de água no solo devido aos altos níveis estacionais ou periódicos do lençol freático, nas estações das chuvas, provoca o encharcamento da zona radicular, diminuindo a aeração do solo e a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas causada pela falta de oxigênio tornando-o mais prejudicial que o estresse causado pela falta de água.

Alguns critérios têm sido mencionados na literatura para a obtenção de coeficientes utilizáveis em projetos de drenagem. Mas invariavelmente eles se baseiam em condições artificiais de homogeneidade de solo e de lençol freático constante por um determinado período. Essas hipóteses não representam as condições existentes na prática, portanto, não confiáveis.

Em vista da grande variabilidade espacial dos solos de várzea observada nas planícies aluvionais do Vale do Ribeira devido a processos tanto sedimentológicos como pedogenéticos (BERG et al., 1987) é conveniente, para fins de desenvolvimento de métodos de manejo de solos, estudá-los em diversos lugares ou evitar o delineamento de sistemas de drenagem com base somente em parâmetros hidrodinâmicos do solo, substituindo-os por outros tão

importantes quanto a produção de componentes da planta em experimentos de campo, sob condições naturais de flutuações de lençol freático.

Há inúmeros trabalhos de pesquisa conduzidos com o objetivo de determinar a resposta da planta às condições de excesso de água. Observaram-se reduções significativas na produtividade do milho, quando o encharcamento ocorria principalmente durante o estágio vegetativo (RITTER & BEER, 1969; CHAUDHARY et al, 1975; KANWAR et al, 1988; EVANS et al, 1990).

A presente pesquisa tem por objetivo fornecer parâmetros que indiquem o espaçamento ideal para um sistema de drenagem agrícola e determinar a profundidade efetiva do sistema radicular do milho. Ela foi conduzida em condições de campo, assumindo as seguintes hipóteses:

- os parâmetros produtivos da cultura podem indicar o espaçamento adequado para a instalação de drenos subterrâneos em várzeas ;
- o uso de tensiômetros com líquido manométrico de densidade pouco superior ao da água (de 1,5 a 2,0) é adequado para o monitoramento do lençol freático em várzeas;
- a drenagem eficiente possibilita a utilização das várzeas no período das chuvas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A região do Vale do Rio Ribeira de Iguape caracteriza-se pelo clima bastante úmido e pela grande diversidade de terras, quanto ao potencial para as atividades agrícolas.

Segundo o macrozoneamento da região realizada por LEPSCH et al. (1990) cerca de 33% das terras são aptas para lavoura perene e/ou anuais, ressaltando que 70% das mesmas tem apenas aptidão regular nos níveis de manejo médio e/ou alto de tecnologia ou capital, sendo de aptidão restrita quando pressupõe baixo nível de emprego de tecnologia. O potencial agrícola dos solos situados nas várzeas está condicionado principalmente aos riscos de inundação ou à possibilidade de drenagem.

2.1. Drenagem agrícola

A drenagem em áreas de várzea é complexa, onerosa e muitas vezes não obtém resultados satisfatórios se as

características físicas do solo e do terreno não forem avaliadas cuidadosamente antes de ser instalado um sistema de drenagem. Nessas áreas, para melhor aproveitamento do terreno, facilidade de operações com implementos agrícolas e possibilidade de irrigação "in situ", o método recomendado e mais utilizado no Japão é o sistema de drenagem subterrânea (TABUCHI, 1985).

Para o bom funcionamento de um dreno subterrâneo é necessário que ele esteja conectado a um sistema coletor aberto ou subterrâneo e estes, ligados ao sistema principal de drenagem; a sua eficiência depende do nivelamento, da permeabilidade do material envoltório e do período de drenagem.

De acordo com MOHAMMAD & SHAGGS (1984), os tubos plásticos devem ter no mínimo $38,5 \text{ cm}^2$ de área perfurada por metro de tubo para que tenham boa eficiência. Quando esta área é dobrada, há um aumento na capacidade de absorção da água do solo equivalente ao efeito de um envelope de 5cm de cascalho.

Um método simples e vantajoso é o dreno tipo torpedo, embora o seu principal objetivo não é o abaixamento do lençol freático, e sim eliminar o excesso de água da superfície do solo através das frestas produzidas pela haste do implemento. Infelizmente, esse sistema não pode ser operado em condições do Vale do Rio Ribeira pela

grande incidência de madeiras na subsuperfície do solo, depositadas durante a época da sedimentação e formação do solo.

NASSEHZADEH-TABRIZI & WILLARDSON (1981) verificaram que utilizando-se de um sistema de torpedo com haste vibratória produziram fissuras menores, mas estáveis, evitando o colapso precoce dos drenos aumentando a sua vida útil. Esses mesmos autores constataram que com a diminuição da umidade do solo, o torpedo produziu fendas maiores e em maior número, a menos de 24% de umidade o excesso de rachaduras provocou a interrupção dos drenos. Unhanand e Triamsangien (1975) citados por MILLAR (1978) em estudo comparativo para avaliar o sistema combinado de drenagem, constataram que o rebaixamento do lençol freático foi aproximadamente duas vezes maior que no sistema de drenagem por tubos, tendo um rebaixamento maior de 18 a 23cm, após 5 dias.

Embora alguns autores cite que a durabilidade dos drenos torpedos alcancem até 10 anos, HARRIS (1984) verificou que sua vida útil é bastante reduzida (menos de 3 anos) daí a necessidade de que sejam periodicamente refeitos.

Na sistematização de terrenos situados em várzeas, normalmente planos, é imprescindível o uso de

drenos superficiais, preferencialmente, como canais condutores e coletores dos drenos subterrâneos.

No Japão, em tabuleiros de arroz, 70% da água superficial é retirada pelos drenos abertos após dois dias de descarga, o remanescente 30% são retidos na desuniformidade do terreno (TABUCHI, 1985).

Segundo WILLARDSON (1982), o coeficiente de drenagem, parâmetro usado no cálculo do espaçamento da drenagem superficial, deve ser desenvolvido no local da experimentação ou através do balanço da água no solo, caso contrário ele não será preciso.

2.2. Aspectos do lençol freático e sua importância agrícola

Uma das principais limitações à produção agrícola em solos de várzeas é o excesso de umidade por um período prolongado. Essas limitações não correspondem, necessariamente, à presença direta do lençol freático ou da umidade excessiva causada pela franja capilar, mas sim, à deficiência de oxigênio no solo ou dissolvido na água, comprometendo ao próprio transporte da solução de nutrientes através do sistema radicular e tornando a planta estressada, suceptível à doenças e à deficiências

nutricionais. Os encharcamentos temporários, comuns em condições de várzeas, resultados de chuvas intensas, determinam ao sistema radicular das plantas a submeterem-se à respiração anaeróbica, produzindo, conseqüentemente, apenas uma fração de energia, insuficiente para o metabolismo normal, resultando em mortes prematuras das células das raízes. Segundo SCHILFGAARDE & WILLIAMSON (1965), as plantas respondem preferencialmente ao nível de aeração na zona radicular e à disponibilidade de água, que ao próprio nível do lençol freático, e enfatizam que informações sobre a variação na concentração de oxigênio no solo e o fluxo da água através da zona radicular constituem medidas necessárias para o estabelecimento de critério para projetos de drenagem. A movimentação da água no perfil permite que ocorram as trocas gasosas do solo, sendo o seu principal mecanismo.

GOINS et al. (1966) constataram que em três solos cujas texturas variavam de areia fina franca a franco argilo siltoso, a produção de colmos de milho aumentou significativamente quando a profundidade do lençol freático aumentou de 15 para 80 cm. A produtividade máxima de milho doce foi obtida quando a profundidade do lençol freático era 80 cm.

De acordo com WILLIAMSON & KRIS (1970), as máximas produtividades das culturas estão associadas a uma

profundidade ótima do lençol freático, e isso depende do tipo de solo, da cultura, do clima e da irrigação.

HILER et al. (1971) indicaram que o nível ótimo do lençol freático em solo franco arenoso para o sorgo foi de 90 cm, no qual obtiveram a máxima produtividade e ótimo teor proteico. Quando o lençol freático foi mantido estático a 30 cm ou a 60 cm obtiveram reduções drásticas na produtividade e na qualidade dos produtos. Essas reduções foram atribuídas ao estresse causado pela baixa difusão de oxigênio no sistema radicular, $20 \times 10^{-8} \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ e na faixa de 40 a 90 $\times 10^{-8} \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$, respectivamente, para os níveis de 30 e 60 cm do lençol freático. No entanto, os níveis de difusão obtidos no tratamento 60 cm parecem ser suficientemente altos para um crescimento adequado da cultura, de acordo com KRAMER (1969).

SINGH & GHILDYAL (1980) constataram que durante os primeiros estádios de desenvolvimento do milho, uma inundação por 72h reduziu significativamente a assimilação de N e K ao contrário de P, não afetando a assimilação de Ca e Mg. A taxa de difusão de oxigênio que girava em torno de $83 \times 10^{-8} \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ decresceu para $3,5 \times 10^{-8} \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ após 72h de inundação. Esses mesmos autores observaram uma redução do pH do solo de 7,0 para 6,5 após 24h de inundação, certamente, pelo aumento da concentração de CO_2 . RITTER & BEER (1969) também constataram que

maiores prejuízos na cultura do milho são causados quando a inundação ocorre nos primeiros estádios de desenvolvimento. Após 72h de inundação no estágio de 15 cm de altura, a produção foi reduzida em 33% e no de 76 dias após a emergência a diminuição foi de apenas 21%.

Segundo PLANEMAC (1988), o período de 3 dias gastos para o abaixamento do lençol freático a 50 cm em área de drenagem subterrânea com drenos espaçados de 20 m reduziu a produção de milho e trigo. Quando para o preenchimento da vala do dreno subterrâneo utilizou-se de material filtrante, o encharcamento desapareceu em dois dias evitando a diminuição na produção. Já, CAVAZZA & ROSSI PISA (1988) constataram que quando mantem o lençol freático elevado a componente produção de grãos é a mais afetada do que a de palha.

KITAGAWA et al. (1988) verificaram que o intervalo de drenos subterrâneos espaçados de 2m resultaram no nível freático a 40-50 cm de profundidade e quando aumentava esse intervalo para 6m, elevava-se para 30-40 cm, obtendo-se a máxima produtividade de trigo e soja nesse espaçamento. Repetindo essa experimentação, com cenoura, observou a incidência de danos da ordem de 75, 61 e 15% nas raízes, nas áreas: sem drenagem subterrânea (testemunha), 6m e 2m de intervalo entre drenos, respectivamente.

KALITA & KANWAR (1992) pesquisaram o efeito do manejo do lençol freático sobre o processo fotossintético e sobre a produtividade do milho, e constataram um aumento significativo nesta com o incremento em profundidade do lençol freático, desde 0,3 a 0,9m. Uma profundidade de 0,2 a 0,3m reduziu significativamente a produtividade do milho na estação úmida. As relações entre taxas fotossintéticas e produtividade variaram para estações secas e úmidas e não foram conclusivas.

Em um solo Gley húmico, ANDRADE & REIS (1992), utilizando-se de um método similar ao "line source", onde em uma área delimitada por dois drenos superficiais, espaçados de 15m, um cheio de água e outro vazio, estabeleceu-se um gradiente freático. Verificaram que os maiores rendimentos de milho foram obtidos onde o lençol freático manteve-se entre 60 a 70cm de profundidade

TIMSINA et al. (1994) utilizaram-se da técnica de irrigação por aspersão "line-source" para a diferenciação no teor de água do solo em tabuleiros de arroz, e, constataram que o encharcamento do solo afetou adversamente a taxa de acúmulo de matéria seca, a altura da planta, a taxa de crescimento da cultura e o índice de área foliar de 20 a 50%, 7 a 10% 20 a 50% e 20 a 30%, respectivamente.

2.3. Desenvolvimento do sistema radicular

O crescimento do sistema radicular das culturas anuais raramente continua em todo o ciclo de desenvolvimento. Existem vários trabalhos na literatura mostrando que, no caso dos cereais, esse crescimento continua até a floração e depois cessa (MENGEL & BARBER, 1974; EVANS & WARDLAW, 1976). Por outro lado, McCLURE & HARVEY (1962) e HURD (1968) relatam que, sob condições favoráveis, o crescimento das raízes continua até o estágio de maturação.

As dificuldades em medir a distribuição das raízes ativas no solo é um dos obstáculos nos estudos dos sistemas radiculares em condições de campo. Em geral, admite-se que correspondem a aquelas de diâmetro inferior a 1,0 mm, o que não deixa de ser um parâmetro arbitrário.

A distribuição de raízes no solo resulta de uma série de processos complexos e dinâmicos, os quais incluem as interações entre o ambiente, o solo e as plantas em pleno crescimento. Uma vez que a água e os nutrientes são absorvidos pelas raízes, sua concentração, distribuição e atividade (taxa de crescimento e longevidade) dentro do perfil do solo, é em grande parte que determinará a produção das culturas (BROWN & SCOTT, 1984).

A conformação do sistema radicular de uma planta depende em primeiro lugar da sua constituição genética. Em condições favoráveis, ela pode desenvolvê-lo plenamente, porém, em condições adversas, haverá sensíveis alterações na maneira de distribuição das raízes.

HARDY (1974) definiu o espaço radicular como o volume de solo que possui características convenientes para o desenvolvimento e funcionamento do sistema radicular das plantas, delimitado pelo espaçamento entre plantas no plano horizontal e verticalmente pelos impedimentos dos solos.

O desenvolvimento das raízes e sua atuação como superfície absorvente depende de muitos fatores relativos ao solo que as circundam, especialmente, os que afetam a resistência mecânica, a umidade, a aeração e a fertilidade do solo (KRAMER, 1969; BROWN & SCOTT, 1984).

Em função dos processos pedogenéticos ou decorrentes do seu manejo inadequado, num perfil de solo podem aparecer camadas com diferentes graus de compactidade, chegando ao ponto de limitar a penetração e desenvolvimento das raízes ou restringir o fluxo de água e ar. Em amostras de Latossolo Roxo e Podzólico Vermelho compactados artificialmente e cultivados com arroz, GROHMANN & QUEIROZ NETO (1966) verificaram que não houve desenvolvimento do sistema radicular quando a densidade do solo era de 1,42 e 1,38 g.cm⁻³, respectivamente. Já, SHARMA & SINGH (1969)

utilizando-se do mesmo procedimento com um solo de textura franco argilo arenoso, constataram que o máximo impedimento ao desenvolvimento radicular do milho foi quando a densidade do solo atingiu $1,8 \text{ g.cm}^{-3}$.

BACCHI (1976), em um trabalho em que o solo foi compactado artificialmente, concluiu que as camadas dentro do perfil causam mais distúrbios ao crescimento de raízes, do que perfis homogêneos com maior densidade. A camada compactada provocou a concentração das raízes na superfície, mas como as condições de umidade do solo e fertilidade eram satisfatórias, as restrições ao crescimento das raízes não tiveram efeito na produção, o que demonstra que nem sempre existe uma relação direta entre produção e crescimento de raízes.

A aeração do solo é outro fator importante no desenvolvimento do sistema radicular e por consequência, da planta. Na ausência de oxigênio predominam as reações anaeróbicas com formação de compostos reduzidos, interferindo no pH e na disponibilidade de nutrientes no solo (PONAMPERUMA, 1955).

No entanto, alguns trabalhos têm evidenciado que a diminuição da penetração de raízes está relacionada, principalmente, com a resistência que o solo compactado oferece a ser deslocado pelas raízes, e não às diferenças na sua densidade, conteúdo de água ou de ar (BLACK, 1975;

TACKETT & PEARSON, 1964). Segundo esses últimos autores, em certos casos, a aeração pode chegar a níveis tão baixos e a resistência tão alta, que quaisquer destes fatores, em separado, podem impedir a penetração.

De acordo com KRAMER (1969), existem muitas informações contraditórias em relação aos níveis de O_2 e CO_2 que resultem em limitações para o crescimento de raízes, visto que, as diferentes espécies de plantas não respondem uniformemente às variações do meio, tão pouco tem o mesmo comportamento ao longo do ciclo. No entanto, de um modo geral, valores superiores a $40 \times 10^{-8} \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ de coeficientes de difusão de oxigênio são suficientemente altos para o crescimento adequado.

O conteúdo de água no solo é um dos fatores que mais afeta o crescimento radicular. Considera-se que a taxa de crescimento é máxima no teor de água volumétrica da capacidade de campo (33 kPa), e cessa o crescimento no ponto de murcha (1500 kPa) (MACKAY & BARBER, 1985). Segundo esses mesmos autores, quando a água disponível era de 60% da capacidade de campo, a taxa de crescimento de raízes foi de 70% do máximo e quando a umidade era maior nas camadas profundas, também foi maior o crescimento das raízes nessas camadas.

Tem sido mostrado que o teor de água no solo é o principal fator que afeta a taxa de crescimento de raízes

(BARBER et al., 1988). De acordo com KRAMER (1969), a água não afeta diretamente as raízes como mostra o seu vigoroso crescimento em soluções nutritivas bem aeradas, porém, um excesso de água no solo desloca o ar do espaço poroso não capilar e produz uma deficiência de oxigênio levando muitas raízes à morte.

FOLLETT et al.(1974) pesquisando a distribuição das raízes de milho no perfil de um solo arenoso sob condições de lençol freático em declínio, variando de 1,33 a 2,64m, observaram que o crescimento foi máximo para a profundidade intermediária.

ROSSI & MUNDSTOCK (1980), ao estudarem o desenvolvimento de raízes de milho em função de níveis de drenagem no solo, observaram que, com a elevação do lençol freático até a superfície, portanto, com severas restrições de aeração, 90% do peso e 85% do comprimento das raízes se concentraram na profundidade 0 - 15 cm.

Em experimentação de campo em solo aluvial, ALVINO & ZERBI (1986) verificaram o efeito do lençol freático sobre parâmetros de produção de milho, sob condições de precipitações naturais e irrigação. Constataram que, mesmo com lençol freático a 60cm de profundidade, a cultura respondeu a irrigações com o aumento na produtividade pelo maior número de sementes por espiga e diminuição na senescência precoce das folhas.

Se por um lado o abaixamento do lençol freático propicia melhores condições de aeração do solo, por outro, aumenta o risco a suscetibilidade à seca pelas plantas quando excessivo.

REICOSKY et al.(1976) trabalhando com plantas de milho em um solo areno-argiloso, subsolado até a profundidade de 38cm e comparando com as cultivadas convencionalmente, verificaram que, com um lençol freático a 80 cm da superfície, a subsolagem resultou em maior profundidade de enraizamento, provocando, conseqüentemente, maior habilidade para a planta na utilização de água capilar acima do lençol freático.

CRUCIANI (1981) verificou que para a cultura do milho e trigo o estágio crítico às inundações é o florescimento, tendo havido um decréscimo na produtividade em relação às testemunhas de 32,6, 39,2 e 43,5% para o trigo e de 43,0, 60,6 e 68,9% para o milho, com respectivamente 3, 6 e 9 dias de inundação. Sugere, ainda, o autor que o tempo de drenagem da zona radicular dessas culturas deve ser inferior a três dias.

TIMSINA et al. (1994) constataram que mantendo o solo saturado a densidade do sistema radicular estavam concentrados nos primeiros 0,10m durante o estágio vegetativo do feijão caupi, provavelmente, devido ao déficit na taxa de oxigênio em profundidade.

QUAGGIO et al. (1991) observaram em um Cambissolo álico que, nas áreas tratadas quatro anos antes com doses de calcário superiores a 9 t.ha^{-1} as raízes de milho atingiram até 100 cm de profundidade, ao passo que nas parcelas sem calcário o sistema radicular ficou restrito aos 20 cm superficiais, onde a presença de maiores teores de matéria orgânica reduziram o efeito tóxico do alumínio.

KLEPKER & ANGHINONI (1995), em experimentação conduzida em vaso, sob condições controlada de casa de vegetação, constataram que o rendimento de matéria seca, a concentração de fósforo no tecido do milho e a relação parte aérea/raiz aumentaram com o nível de fósforo extraível do solo.

No Brasil, os primeiros trabalhos para a determinação do sistema radicular de plantas cultivadas foram conduzidos pelo Dr. Romeu Inforzato, do IAC, tendo publicados inúmeros artigos até os anos 70. Uma compilação desses dados é apresentado por ARRUDA (1987), que mostra uma forte concentração de raízes nos primeiros 30 ou 40 cm de profundidade, para solos do Estado de São Paulo.

Segundo BOHM (1979), a pesquisa sobre o sistema radicular de plantas está na fase inicial da ciência, e acrescenta que a razão disso é basicamente por causa da metodologia. Os métodos conhecidos, diz o autor, são tediosos, consomem muito tempo e a exatidão de seus

resultados, com frequência, não é muito grande, levando a muitos pesquisadores a não realizar tal tipo de estudo.

De um modo geral, pode-se dizer que os métodos mais precisos são mais trabalhosos. Para a seleção do melhor método de estudo em um caso particular é preciso além de estar familiarizado, saber quanto tempo e trabalho serão necessários para obter os resultados desejados.

Por fim, para modificar a zona de raízes, visando a melhorar o suprimento e a disponibilidade de nutrientes para as plantas, pode-se lançar mão de diversos meios: 1) aplicação de calagem e fertilizantes nas suas diversas formas; 2) seleção de culturas, visando maior penetração de raízes, espécies e cultivares mais adaptados, rotação e cultivos múltiplos; e 3) através do uso de equipamentos, com método convencional, subsolador, plantio direto ou cultivo mínimo (SUMNER & BOSWELL, 1981). Nesta empreitada, investiu-se na drenagem subterrânea de várzea e em metodologia prática de acompanhamento do lençol freático.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local, clima e solo

A experimentação foi desenvolvida em condições de campo na várzea "polderizada" da Estação Experimental de Pariquera Açú, pertencente ao Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo (IAC), no período de março de 1993 a março de 1995, cujas coordenadas geográficas são 24°35' de latitude Sul e 47°50' de longitude Oeste de Greenwich e altitude de 14 metros.

O clima da região conforme classificação de Koppen é do tipo "Cfa", definido como tropical úmido, sem estação seca, sendo a temperatura do mês mais quente superior a 22°C e o total de chuvas do mês mais seco superior a 30 mm. A precipitação pluvial anual é de 1587 mm e a evapotranspiração potencial de 1140 mm, excedente hídrico de 447 mm e deficiência hídrica nula. A temperatura média do verão é 25,6°C e do inverno, 19,1 °C. As informações meteorológicas foram fornecidas pela Seção

de Climatologia Agrícola do IAC e coletadas no Posto Agrometeorológico localizado na Estação Experimental de Pariquera Açu, Tabela 1.

A formação geomorfológica da área em estudo é composta de sedimentos holocênicos e dado às características fisiográficas de várzea originou os solos classificados por SAKAI & LEPSCH (1984) como sendo Orgânico, álico. A composição granulométrica expressa em relação a solo isento de matéria orgânica, porosidade e densidade global dos solos são apresentados na Tabela 2, extraídos do perfil representativo da área e complementados com as determinações realizadas em amostras indeformadas tomadas em trincheiras até a profundidade de 60cm. A caracterização da curva de retenção de água fez-se através da correlação entre a umidade observada e a pressão aplicada através da Câmara de Richards em amostras indeformadas de solo, Figura 1.

Ao implantar o sistema de drenagem subterrânea, as análises químicas indicavam baixa saturação por bases trocáveis e elevada acidez do solo. A necessidade de calagem determinada pelo método de índice de saturação por bases para o cultivo do milho (RAIJ et al. 1985) era de 6,0 t.ha⁻¹. No entanto, mesmo com essa incorporação ao solo, as análises químicas de amostras coletadas logo após a retirada da cultura e apresentadas na Tabela 3, indicam que

não foram suficientes para a elevação da saturação por bases a níveis desejados, ficando os valores em torno de 52% na camada superficial (0-20cm) e de 42% na subsuperficial (20-40cm). Embora medianamente providos por bases, apresentou uma relação desfavorável para potássio. A acidez, como era de se esperar para solos com altos teores de matéria orgânica, manteve-se alta.

TABELA 1. Dados meteorológicos da Estação Experimental de Pariquera Açu, período de Outubro de 1994 a Fevereiro de 1995.

Período		Elementos Climáticos						
Mês	Decêndio	T.Máx.	T.Média	T.Mínima	Chuva	E.C.A.	Insolação	ETP
		 °C			 mm		h	mm
Outubro	1°	26,6	21,7	16,8	7,7	34,1	40,8	28,0
	2°	29,2	24,0	18,9	30,2	43,0	27,5	37,0
	3°	25,2	22,1	18,9	88,7	43,5	13,6	33,0
Novembro	1°	30,1	25,0	20,0	49,5	41,3	33,7	42,0
	2°	29,8	25,1	20,4	50,7	46,5	36,5	43,0
	3°	27,3	21,9	16,6	69,3	45,2	76,1	31,0
Dezembro	1°	30,8	25,1	19,5	30,8	46,3	47,2	44,0
	2°	33,6	27,7	21,8	19,2	37,5	60,3	55,0
	3°	31,0	26,1	21,2	46,0	30,5	39,2	54,0
Janeiro	1°	32,1	27,6	23,1	141,8	30,0	14,1	54,0
	2°	32,8	27,4	21,9	86,8	49,0	53,8	53,0
	3°	32,0	26,9	21,9	85,2	52,5	49,2	56,0
Fevereiro	1°	27,8	24,5	21,3	91,0	16,8	10,6	40,0
	2°	30,6	25,9	21,3	94,2	21,0	34,7	45,0
	3°	33,6	27,9	22,1	40,4	41,0	60,3	41,0

TABELA 2 - Características físicas do solo da área experimental, Pariquera Açu, 94/95

Prof.	Composição granulométrica			Densidade	
	Argila	Silte	Areia	Global	Partícula
cm	%	%	%	g.cm ⁻³	g.cm ⁻³
0-10	57	28	15	...	...
10-32	68	27	5	0,56	1,9
32-68	70	21	9	0,46	2,0
68-110	75	19	6	0,45	2,4

Porosidade Total	Umidade volumétrica	Porosidade drenável
(%)	à tensão de -0,3KPa	(%)
61	44	17
61	44	17
66	45	21
76	...	...

FIGURA 1 -Curvas características de umidade no solo da área experimental, Pariquera Açu, 94/95.

TABELA 3. Características químicas do solo da área experimental após a colheita do milho, média $\pm$ erro padrão da média. Pariquera Açu, 94/95.

Prof. (cm)	pH-CaCl ₂	M.O. (%)	P (ppm)			
0 - 20	4,5±0,2	9,3±0,1	45±17			
20 - 40	4,4±0,1	9,5±0,5	27±4			
Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	S*	CTC**	V (%)***
..... e.mg/100g solo						%
10,9±4,8	2,1±0,6	0,11±0,01	9,8±1,5	13,2±5,4	23,0±4,6	52±10
6,0±1,0	1,6±0,2	0,12±0,01	11,1±1,6	7,8±1,2	18,7±0,5	42±7

* S= Soma de bases trocáveis

** CTC= Capacidade de Troca Catiônica

*** V% = S/CTC*100

3.2. Condutividade hidráulica do solo

Antes da instalação do sistema de drenagem subterrânea, realizaram-se testes de condutividade hidráulica do solo saturado (K_o), utilizando-se do método tradicional "auger-hole", para estudos de drenagem subterrânea. Para a caracterização detalhada da área, foram avaliados 25 locais, abrangendo toda a extensão do terreno.

No cálculo de K_o , utilizou-se o método de Ernst (1950) apresentada por MILLAR (1978), para condição em que a distância entre o fundo do poço e a camada impermeável é maior que a metade da distância entre o nível freático e o fundo do poço, conforme a expressão:

$$K_o = \frac{4000}{(H/r + 20)(2 - Y/H)} \times \frac{r \cdot \Delta Y}{Y \cdot \Delta t} \quad (1)$$

onde:

K_o - condutividade hidráulica do solo saturado, ($m \cdot dia^{-1}$);

H - profundidade do poço, abaixo do nível freático, (cm);

Y - distância entre o nível freático e o ponto médio

dos níveis de água no intervalo de tempo Δt , (cm);

r - raio da perfuração feito pelo trado, (cm);

ΔY - intervalo de altura no tempo Δt , (cm);

Δt - intervalo de tempo entre duas leituras, (dia).

Como era de se esperar para solos de várzea, os resultados dos testes indicaram uma grande variabilidade espacial na condutividade hidráulica do solo saturado (K_0), cujo valores variaram entre 0,03 a 0,20 m.dia⁻¹.

3.3. Sistema de drenagem subterrânea

No planejamento do sistema de drenagem subterrânea, inicialmente, o critério adotado para definição dos tratamentos, o espaçamento entre drenos seria em função da velocidade de rebaixamento do nível freático após recarga, do tempo de tolerância e da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura. No entanto, após as determinações preliminares da condutividade hidráulica, na dificuldade de estabelecimento de espaçamentos cujo valores fossem múltiplos para fins de análise, optou-se por fazer cinco tratamentos com as seguintes medidas entre os drenos subterrâneos: 3, 6, 9, 12 e 18m. Devido ao planejamento da sistematização da área, o comprimento dos tubos foi de 100m.

Portanto, as quadras foram dimensionadas em 36 x 100m em função do maior espaçamento. Assim, para a instalação dos tratamentos propostos, foram necessários,

respectivamente, 12, 6, 4, 3 e 2 linhas de tubos corrugados enterrados em cada quadra. Essas áreas foram posteriormente subdivididas em parcelas, para avaliação da variabilidade dos resultados obtidos.

Assim, o sistema de drenagem subterrânea foi constituído de uma malha de tubos corrugados flexíveis de 0,06m de diâmetro, instalados a uma profundidade de 0,80 a 1,00m e envoltos numa manta de bidim OP-20, areia grossa e capim colônia, locada perpendicularmente ao dreno coletor superficial. O gradiente de instalação dos drenos foi de $0,002\text{m.m}^{-1}$. Na saída, os drenos subterrâneos foram conectados a registros de esfera de 0,06m através de tubos rígidos de PVC para fins de manejo do lençol freático.

3.4. Poços de observação e tensiômetros

Foram instaladas 3 linhas de poços de observação para cada tratamento entre dois drenos consecutivos para fins de configuração do nível freático, através de medidas de cargas hidráulicas em função do tempo. Para os tratamentos de espaçamento maiores (18 e 12m) foram instalados 5 poços por linha, e nos demais 3, sendo, um na

posição central entre dois drenos, 2 juntos aos drenos e os outros na posição lateral.

Os poços foram abertos do tipo australiano de 0,075m de diâmetro até a profundidade de 1,80m e internamente protegidos com tubo rígido 0,05m de diâmetro, fendilhados com serra e coberto com manta de bitum e areia grossa. Os tubos ficaram com 0,20m acima da superfície e nivelados, servindo como referencial para o nível do lençol.

Distante 1,00m e paralela à linha de poços de observação foram instalados tenos comuns, do tipo de coluna de mercúrio, com 1,00m de comprimento e suporte de leitura para até 2,00m de altura. No recipiente originalmente utilizado com o mercúrio foi substituído por um líquido para colunas manométricas de densidade $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$. Para que o equilíbrio entre o tensiômetro e o do lençol freático fosse rapidamente alcançado, os tensiômetros também foram instalados.

As leituras dos níveis de água nos poços de observação, assim como a do nível líquido manométrico nos tensiômetros instalados para o acompanhamento da flutuação do lençol freático foram realizadas em dias

¹ Para referência do leitor o líquido para colunas manométricas foi adquirido na firma SALVI CASAGRANDE-Medição e Automatização Ltda. Rua Florêncio, 605, São Paulo-SP

alternados. Quando ocorria uma recarga natural procedia-se leituras diárias.

O método proposto para determinação do lençol freático por tensiômetros, com leituras realizadas através de líquido manométrico de densidade $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$, baseia-se no equilíbrio entre a água do lençol freático/solo e a do tensiômetro (Figura 2).

Assim, em uma determinada profundidade x , o potencial matricial ou de pressão, em unidade de carga hidráulica, é:

$$\psi_m = -(13,6h - h - h_1 - h_2) \quad (2)$$

ou

$$\psi_m = -12,6h + h_1 + h_2 \quad (3)$$

onde:

h = leitura em cm de Hg;

h_1 = altura do manômetro em relação à superfície do solo;

h_2 = profundidade da cápsula porosa em relação à superfície do solo.

Substituindo o Hg por outro líquido manométrico de densidade de $1,5 \text{ kgf.dm}^{-3}$, e supondo que, sobre a cápsula porosa do tensiômetro há uma lâmina (h_2-H) do lençol freático (Figura 2), onde, nessas condições o potencial

matricial é nulo, e atua sobre a mesma uma pressão de mesma intensidade (h_2-H) , temos:

$$\psi_m = - (1,5 h^* - h^* - h_1 - h_2) - (h_2 - H) = 0 \quad (4)$$

ou

$$\psi_m = -0,5 h^* + h_1 + H = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

nessas condições,

$$H = 0,5 h^* - h_1 \quad \dots\dots\dots (6)$$

onde:

h^* = leitura em cm do líquido manométrico;

H = é a profundidade do lençol freático em cm.

Para lençol freático flutuando abaixo de 80 a 90 cm da superfície, necessita-se utilizar líquidos manométricos de densidades compatíveis.

FIGURA 2 - Esquema de tensiômetro utilizado para monitoramento do lençol freático

3.5. Parcelas experimentais

As parcelas experimentais, num total de vinte, foram locadas visando a coincidência com a maior elevação do lençol freático. Como a maioria das amostras de desenvolvimento da cultura era do tipo destrutivo, as dimensões das parcelas foram de 9,0m x 20,0m reservando-se uma área central de 4,5x5,0m para análise da produção final.

3.6. Cultivo

O milho utilizado foi o híbrido simples ZEN-8568, de ciclo intermediário (130 dias), tipo de endosperma normal com coloração amarelo forte, tipo de grãos semidentado e porte médio da planta de 2,10m e inserção da espiga à 1,20m. A produtividade média de onze locais deste material no Estado de São Paulo foi de 9492 kg.ha⁻¹ de espigas e de 8143 kg.ha⁻¹ de grãos (dados e sementes fornecidos pela empresa Zeneca Sementes Ltda). A escolha desta cultivar foi em função dos híbridos simples apresentarem grande homogeneidade das características fisiológicas entre plantas e de um bom desempenho em ensaios anteriores conduzidos pela Seção de Milho do IAC.

As semeaduras foram realizadas manualmente e paralelas aos drenos subterrâneos nos dias 18 e 19 de outubro de 1994, com espaçamento de 0,90m entre linhas e 0,20m entre plantas, colocando-se duas sementes por cova. As emergências das plantas ocorreram nos dias 25 e 26 de outubro. Aos 30 dias após a emergência (DAE) foi realizado um desbaste deixando apenas uma planta por cova, o que corresponde a uma população aproximada de 56.000 plantas por hectare.

A adubação básica foi realizada de acordo com a fertilidade do solo, e aplicada no sulco antes da semeadura, nas seguintes doses: 15kg.ha⁻¹ de N, 70kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e 60kg.ha⁻¹ de K₂O. A adubação de cobertura foi de 80kg.ha⁻¹ de N, realizada logo após o desbaste.

Para eliminar as plantas daninhas foi feita uma capina manual entre 7 a 14 DAE e uma aplicação de herbicida (Glamocil 50ml/20l H₂O + espalhante) aos 16 DAE.

O combate à pragas foi feita através de duas pulverizações e um polvilhamento de inseticida ao longo do ciclo da cultura. As pulverizações foram com DECIS para controle da lagarta rosca (14 DAE) e pulgões (64 DAE). O polvilhamento visou o controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e ocorreu aos 28 e 29 DAE, com SEVIN-10.

A colheita foi a 130 DAE, considerando-se como área útil para análise de produção, 5 linhas de 5,0m de comprimento das partes centrais das parcelas, ou seja, onde o lençol freático permaneceu mais elevado durante as precipitações pluviométricas.

3.7. Crescimento da cultura

Para a análise de crescimento das plantas cultivadas em área com 5 diferentes espaçamentos de drenos subterrâneos foram determinados os seguintes parâmetros biométricos e fisiológicos: altura da planta, porcentagem de recobrimento do solo, índice de área foliar, acúmulo de matéria seca, eficiência de conversão da matéria seca em grãos , taxa de crescimento da cultura e desenvolvimento efetivo do sistema radicular.

Para tanto, foram executadas medidas frequentes e sucessivas, em intervalos de tempo que variaram de 14 a 25 dias, da altura das plantas, da porcentagem de recobrimento do solo, da área foliar, do peso da matéria seca das diferentes partes aéreas e do sistema radicular da planta. As coletas das amostras foram realizadas aos 15, 30, 44, 59, 84 e 100 DAE.

A altura das plantas foi determinada medindo-se com uma trena, desde o solo até a altura média do dossel vegetativo até o lançamento do pendão, após a qual considerou-se como ponto de referência a inserção da última folha. A porcentagem de recobrimento do solo foi medida pelo método da intersecção de uma corda graduada de 0,10 em 0,10m esticada transversalmente às linhas de cultivo até as plantas atingirem a altura de 1,50m e depois, visualmente, através do grau de sombreamento do solo quando os raios do sol incidiam verticalmente sobre elas.

A área foliar e o acúmulo de matéria seca foram determinados colhendo-se as plantas existentes em 1,00m de linha de semeadura, com quatro repetições, representando assim 0,90m², tomada ao acaso. Após a colheita as plantas eram conduzidas ao laboratório, onde de cada parcela, determinavam-se a área foliar e os pesos da matéria seca das folhas, colmos, ráquis + brácteas e grãos.

3.7.1. Índice de área foliar

Inicialmente, estimou-se a área foliar (A.F.) de todas as plantas colhidas em cada parcela. Para isso, mediu-se, de cada folha, o comprimento (C) sobre a nervura

principal, desde o ponto de inserção do limbo com a bainha até o ápice da folha e, também, na direção da maior largura (L), perpendicularmente à nervura principal. Aplicou-se, em seguida, a expressão (McKEE, 1964):

$$A.F. = 0,75 \sum_{i=1}^n (C_i * L_i) \dots\dots\dots (7)$$

onde, n é o número total de folhas das plantas colhidas na parcela, em cada amostragem.

Posteriormente, essas medições foram facilitadas através do uso do aparelho integrador de área foliar (LI-3000, da Li-Cor, Inc., EUA). O aparelho previamente calibrado, fornecia a área acumulada das folhas de cada planta.

Determinou-se o índice de área foliar (I.A.F.) de cada parcela por ocasião da amostragem, dividindo-se o valor medido da área foliar pelo espaço ocupado (0,90m²).

3.7.2. Partição da matéria seca

Na determinação do peso da matéria seca total, fez-se a separação das diversas partes da planta (folhas, colmo, ráquis + brácteas e grãos) acondicionando-as em

sacos de papel perfurados e colocando-os em estufas de circulação forçada de ar a 60-65°C, até peso constante.

Os valores obtidos por pesagem foram convertidos em peso de matéria seca por unidade de área (g.m^{-2}).

3.7.3. Taxa de crescimento da cultura

A taxa de crescimento da cultura (T.C.C.), em g.dia^{-1} , foi obtida segundo a expressão (RADFORD, 1967):

$$\text{T.C.C.} = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1) \dots\dots\dots (8)$$

onde, W_1 e W_2 são, respectivamente, o peso médio da matéria seca nos tempos t_1 e t_2 .

3.7.4. Eficiência na conversão de matéria seca em grãos

Foram determinadas as relações entre o peso da matéria seca dos grãos e o peso da matéria seca de algumas partes da planta, ou seja, a eficiência da conversão da matéria seca em grãos.

- a. Peso mat.seca dos grãos / Peso mat.seca total;
- b. Peso mat.seca dos grãos / Peso mat.seca das espigas;
- c. Peso mat.seca dos grãos / Peso mat.seca(folhas + colmos)

Em cada coleta de dados, foram realizadas as análises de variância para testar as significâncias do índice de área foliar, do peso da matéria seca e da eficiência na conversão de matéria seca em grãos, entre os 5 tratamentos.

3.7.5. Resistência estomática à difusão de vapor d'água

A resistência estomática foi medida através de um porômetro de equilíbrio dinâmico (LI-1600 steady-state porometer), nos estádios de florescimento e de enchimento dos grãos.

O resultado da resistência estomática foi obtida diretamente, medindo-se a taxa de transpiração da folha dentro de uma mini câmara. Essas medidas foram feitas no limbo da terceira folha a partir do ápice da planta, em ambas as superfícies. Para garantir a representatividade dos dados, as medidas foram realizadas em dez plantas, tomadas ao acaso, por ocasião de cada medição.

3.7.6. Profundidade efetiva do sistema radicular

Concomitantemente às tomadas de medidas e amostragens de plantas realizou-se a coleta sistemática do sistema radicular do milho, segundo a metodologia de Gottingen e adaptada por FUJIWARA et al. (1994).

As amostras foram coletadas a 0,10 - 0,17m da linha de semeadura e tomadas de 0,10 em 0,10m até a profundidade de 0,70m. Nessas amostras foram adicionadas uma solução de 5% de álcool para conservação e auxílio na dispersão dos torrões para separação das raízes na lavagem. Após, essa operação em água corrente e peneira de malha de 0,1 mm, as raízes foram separadas manualmente de outros materiais orgânicos e secas em estufa a 60°C. Determinou-se o peso em balança analítica e estimou-se a densidade de comprimento das raízes pelo método da interseção de linhas (TENNANT, 1975).

Considerou-se como a profundidade efetiva do sistema radicular aquela em que concentravam 90% das raízes, através de interpolações entre a somatória dos valores de duas profundidades consecutivas.

3.8. Análise de produção

Após a maturação fisiológica das plantas, foi colhida, de cada parcela, a produção de grãos, e os resultados convertidos em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Para a padronização da umidade entre os tratamentos, inicialmente, determinou-se a umidade de cada parcela, em porcentagem, através da expressão:

$$U\% = 100(P-p)/P \dots\dots\dots (9)$$

onde: P é o peso úmido de uma amostra dos grãos (g);

p é o seu peso bruto final (g) após secagem em estufa a 105°C .

Assim, pode-se padronizar os dados de produção para mesma umidade, através da expressão:

$$P_c = P_i(100-U\%)/100-U_d\% \dots\dots\dots (10)$$

onde: P_c é a produção corrigida ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$);

P_i é a produção inicial ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$);

$U\%$ é a umidade determinada na amostra;

$U_d\%$ é a umidade desejada, no caso, de 13%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Nível do lençol freático

A recarga do lençol freático foi promovida exclusivamente por precipitações naturais. No entanto, devido a localização da área experimental ser em um "polder", e acima desta, a existência de uma bacia de contribuição de aproximadamente 250 ha, as flutuações do nível freático foram dependentes também de fatores externos, como por exemplo, da capacidade de escoamento das moto-bombas quando a cota do rio Jacupiranga estava acima do nível interno do polder, do represamento da água nas valas para facilidade na irrigação por inundação nos tabuleiros de arroz, entre outros.

Durante o ciclo da cultura, as precipitações pluviométricas acumuladas atingiram 917,0 mm, com totais mensais variando de 96,0 mm (fase de desenvolvimento vegetativo) a 313,8 mm (fase de enchimento dos grãos).

A Figura 3 mostra a distribuição das precipitações ocorridas durante o ciclo da cultura e o comportamento do lençol freático na posição central entre dois drenos subterrâneos de cada um dos tratamentos.

FIGURA 3- Distribuição das precipitações no ciclo da cultura (A) e nível do lençol freático nos tratamentos de drenagem subterrânea (B), Pariquera Açu, 94/95.

4.1.1. Determinação do lençol freático:

Método do poço vs Método Proposto

Os resultados do nível freático medidos diretamente nos poços de observações e os determinados pelo método do tensiômetro apresentaram-se semelhantes, Tabela 4.

A equação de regressão linear obtida entre ambos os métodos foi a seguinte:

$$Y = 1,512419 + 0,9747942 * X \quad (r=0,99^{**}, n=133)$$

onde, Y é a leitura observada no poço e X a determinada pelo tensiômetro, ambas em cm.

A análise mostrou-se altamente significativa e correlacionada, com inclinação muito próxima de 1:1, embora, com um pequeno deslocamento do coeficiente linear da reta, isto é, quando a determinação no poço é zero, corresponde a uma leitura de 1,5 cm para o tensiômetro. Isso indica um pequeno erro apenas para leituras mais superficiais.

Portanto, em condições de várzea, onde lençol freático flutua da superfície até 1,0m de profundidade, pode-se substituir com vantagens, a metodologia convencional pela proposta no trabalho. Uma das vantagens que se pode atribuir ao tensiômetro de manômetro com

líquido de densidade pouco superior a da água, é a visualização instantânea do comportamento geral de escoamento da área, através da drenagem subterrânea. Uma vez que pode-se colocar uma série de tensiômetros entre os drenos e feitas as leituras em um único manômetro.

Outra vantagem operacional importante, no acompanhamento diário, é a facilidade e rapidez nas leituras, onde o operador não necessita de nenhum material além da prancha de anotação.

TABELA 4- Níveis médios do lençol freático, em cm, observados em área com os tratamentos de drenos subterrâneos, Pariquera Açu, 94/95.

Época		3m				6m				9m				12m				18m				
Met.																						
DAE		L	C	L	L	L	C	L	L	L	C	L	L	I	C	I	L	L	I	C	I	L
115	p	50	49	52	47	46	48	47	44	45	43	41	40	38	43	42	39	38	39	42		
	t	50	51	53	49	45	49	47	43	46	45	43	40	40	42	41	38	38	40	43		
117	p	24	25	25	26	25	26	22	23	24	22	21	20	23	21	19	17	18	19	19		
	t	25	26	27	25	26	26	25	25	26	23	22	22	24	23	20	20	19	19	20		
118	p	33	32	34	30	29	31	27	26	28	23	22	22	23	24	21	20	19	20	22		
	t	34	33	34	32	31	34	27	26	29	25	24	23	25	26	22	20	20	19	21		
119	p	30	30	31	31	28	29	24	24	26	22	21	20	23	23	19	16	17	19	20		
	t	31	32	33	33	29	29	24	25	28	24	23	22	24	25	20	18	18	19	20		
120	p	37	36	38	32	32	34	31	29	31	26	23	25	24	27	24	21	21	22	23		
	t	36	35	37	35	33	34	32	28	32	27	25	24	25	28	25	22	21	22	23		
121	p	43	42	44	40	38	39	36	32	34	32	28	28	27	30	27	25	23	24	26		
	t	42	41	43	40	38	41	36	33	36	31	29	27	28	30	28	24	23	25	27		
122	p	43	44	45	41	42	41	39	35	37	35	33	31	29	33	31	27	25	26	31		
	t	45	43	46	43	41	43	39	36	40	36	32	30	32	34	31	26	24	26	32		
p= poço		t=tensiômetro				L=posição lateral				I= posição intermetiária				C=posição central								

4.2. Crescimento da cultura

4.2.1. Altura e recobrimento do solo pelas plantas

Através das Tabelas 5 e 6, observam-se em todas as fases de desenvolvimento da cultura após a emergência, que não houveram diferenças significativas entre os tratamentos de drenagem subterrânea para altura das plantas e a porcentagem de cobertura vegetal no solo. No presente experimento, embora tivesse ocorrido aos 35-36 DAE uma precipitação de 58,5 mm, esta não foi suficientemente elevada para provocar sintomas de injúrias às plantas ou que refletissem nesses parâmetros, provavelmente, por que nos dias anteriores e subsequentes não ocorreram precipitações elevadas. Resultados semelhantes foram obtidos por COSTA (1994). No entanto, CRUCIANI (1981) apresentam resultados divergentes, indicando susceptibilidade da altura da planta a qualquer grau de encharcamento.

Aos 59 DAE, com as plantas alcançando o seu pleno desenvolvimento em altura, a cobertura do solo apresentava-se total. A partir daí, mesmo em condições inadequadas em algum momento da fase reprodutiva, elas mantiveram-se aparentemente, vigorosas.

TABELA 6- Porcentagem de recobrimento do solo pelas plantas de milho e seu respectivo erro padrão da média obtidos em áreas com cinco espaçamentos de drenos subterrâneos, Pariquera Açú, 94/95, média de 20 determinações.

Trata- mento	DAE					
	15*	30	44	59	84	100
3m	13 ± 1	25 ± 2	94 ± 2	99 ± 1	99 ± 1	88 ± 1
6m	11 ± 1	26 ± 2	92 ± 1	99 ± 1	98 ± 1	88 ± 2
9m	12 ± 1	27 ± 2	93 ± 1	99 ± 1	97 ± 2	86 ± 3
12m	13 ± 1	28 ± 2	93 ± 3	99 ± 1	99 ± 1	87 ± 4
18m	12 ± 1	25 ± 2	93 ± 2	99 ± 1	98 ± 1	85 ± 3
15 DAE= 8.11.1994						

4.2.2. Índice de área foliar

Verifica-se através da Tabela 7 que, assim como para o crescimento da planta (altura) e à % de recobrimento do solo, não houve diferenças significativas entre os tratamentos extremos até os 100 DAE. No entanto, para os outros, nas amostragens de 44 e 59 DAE mostraram-se menos

desenvolvidas; provavelmente, em virtude do número pequeno de repetições e da variabilidade entre elas, e não devido ao efeito da umidade do solo.

Através da Figura 4, o índice de área foliar em função da idade, verifica-se que os IAF de todos os tratamentos foram crescentes da emergência até cerca de 60 DAE, para depois decrescerem. Este comportamento, aumento do IAF até um valor máximo no florescimento passando a declinar no período de enchimento dos grãos é típico da cultura do milho, conforme observou TOLLENAAR (1977), entre outros.

TABELA 7 - Índice de área foliar do milho e seu respectivo erro padrão da média, cultivado em área com cinco diferentes espaçamentos de drenos subterrâneos. Pariquera Açu, 94/95, média de 20 determinações.

Trata- mento	Dias após a emergência (DAE)				
	15*	30	44	59	84
3m	0,24 ± 0,04	1,14 ± 0,13	3,92 ± 0,25	4,57 ± 0,24	3,54 ± 0,29
6m	0,17 ± 0,04	1,13 ± 0,21	3,69 ± 0,24	4,18 ± 0,11	3,71 ± 0,57
9m	0,19 ± 0,04	1,18 ± 0,18	3,31 ± 0,29	4,08 ± 0,21	3,33 ± 0,35
12m	0,23 ± 0,07	1,27 ± 0,17	3,41 ± 0,38	3,98 ± 0,28	3,31 ± 0,27
18m	0,17 ± 0,04	1,28 ± 0,21	3,51 ± 0,44	4,39 ± 0,06	3,64 ± 0,34
15 DAE= 8.11.1994.

FIGURA 4 - Índice de área foliar (IAF) do milho cultivado em várzea sistematizada com cinco espaçamentos de drenos subterrâneos, Pariquera Açu, 94/95.

4.2.3. Acúmulo da matéria seca

4.2.3.1. Folha

Através do Tabela 8, verifica-se que desde a emergência até a fase final de enchimento dos grãos não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos quanto ao peso da matéria seca das folhas. Esse comportamento é similar ao que fora constatado no índice de área foliar, mostrando uma possível correlação entre ambas. Portanto, provavelmente, os estresses impostos pelos tratamentos não foram suficientemente altos para a diferenciação na absorção e assimilação dos nutrientes pelas plantas, e na manutenção da integridade da fonte de energia.

4.2.3.2. Colmo

Através da Tabela 9, observa-se que após a emergência até o final do fase de enchimento dos grãos não houve diferenciação entre os tratamentos para o peso médio da matéria seca de colmos por unidade de área de terreno.

TABELA 8 - Peso médio da matéria seca de folhas de milho por unidade de área de terreno (g.m^{-2}) e respectivo erro padrão da média, cultivado em área com cinco diferentes espaçamentos de drenos subterrâneos. Pariquera Açú, 94/95.

Trata- mento	Dias após a emergência (DAE)					
	15*	30	44	59	84	100
3m	6,4 ± 1,2	50,0 ± 5,9	172,6 ± 14,8	266,7 ± 22,7	227,7 ± 6,9	206,7 ± 15,2
6m	4,3 ± 1,3	47,0 ± 8,3	159,5 ± 11,3	237,7 ± 12,2	230,7 ± 26,0	201,2 ± 12,6
9m	5,0 ± 1,2	50,1 ± 6,2	147,8 ± 21,3	242,4 ± 28,7	214,4 ± 30,5	195,9 ± 26,4
12m	6,3 ± 1,6	55,5 ± 12,4	144,5 ± 16,9	231,9 ± 21,2	219,6 ± 10,1	191,1 ± 16,5
18m	4,4 ± 1,2	51,2 ± 8,8	159,9 ± 25,2	247,5 ± 3,3	227,1 ± 18,0	192,8 ± 14,4
15 DAE= 8.11.1994.						

4.2.3.3. Brácteas, Ráquis e Grãos

Os resultados obtidos no acúmulo de matéria seca nas brácteas + ráquis e grãos são apresentados nas Tabelas 10 e 11, respectivamente.

Nota-se pela Tabela 10 que aos 59 DAE, época em que iniciava o crescimento das espigas, os pesos de brácteas + ráquis não apresentavam diferenças estatísticas entre os tratamentos. Aos 84 DAE os tratamentos melhores drenados (3m e 6m) desenvolveram menor peso que outros tratamentos, no entanto, eles continuaram a desenvolver até a amostragem do 100 DAE, ultrapassando-os. Isso deve ter ocorrido em função da maior ou menor disponibilidade hídrica e do nível de estresse imposto pelo encharcamento (Figura 3).

Através da Tabela 11, verifica-se o mesmo comportamento no desenvolvimento dos grãos, ou seja, inicialmente, os tratamentos com drenagem menos intensa desenvolveram maior peso, sendo, posteriormente ultrapassados pelos tratamentos mais drenados.

TABELA 9 - Peso médio da matéria seca de colmos de milho por unidade de área (g.m^{-2}) e respectivo erro padrão da média, cultivado em área com cinco diferentes espaçamentos de drenos subterrâneos. Pariquera Açu, 94/95.

Trata- mento	Dias após a emergência (DAE)					
	15*	30	44	59	84	100
3m	2,6 ± 0,5	30,8 ± 3,1	157,0 ± 18,8	526,3 ± 58,3	391,3 ± 21,6	371,2 ± 23,4
6m	1,8 ± 0,5	28,6 ± 6,6	132,8 ± 15,0	458,8 ± 75,9	418,1 ± 56,0	405,7 ± 39,8
9m	2,0 ± 0,4	32,3 ± 4,7	115,3 ± 21,4	459,9 ± 80,0	387,1 ± 64,5	362,5 ± 44,8
12m	2,7 ± 0,8	34,8 ± 4,7	131,7 ± 23,4	412,9 ± 51,4	433,8 ± 45,1	401,6 ± 33,2
18m	1,8 ± 0,4	34,1 ± 7,4	143,4 ± 16,3	445,0 ± 51,0	381,9 ± 31,3	364,9 ± 29,9
15 DAE= 8.11.1994.						

TABELA 10- Peso médio da matéria seca de brácteas + ráquis de milho por unidade de área (g.m^{-2}) e respectivo erro padrão da média, cultivado em área com cinco espaçamentos de drenos subterrâneos. Pariquera Açu, 94/95.

Trata- mento	Dias após a emergência (DAE)			
	59*	84	100	130
3 m	18,2 $\pm$ 4,7	267,3 $\pm$ 16,5	364,4 $\pm$ 13,8	336,0 $\pm$ 17,7
6 m	14,9 $\pm$ 4,7	205,9 $\pm$ 25,7	372,8 $\pm$ 16,0	335,8 $\pm$ 15,9
9 m	18,5 $\pm$ 4,7	296,9 $\pm$ 14,1	313,7 $\pm$ 14,4	283,0 $\pm$ 16,4
12 m	16,9 $\pm$ 2,8	325,1 $\pm$ 24,2	323,0 $\pm$ 14,8	299,0 $\pm$ 18,6
18 m	17,5 $\pm$ 4,0	314,9 $\pm$ 15,9	304,2 $\pm$ 33,3	295,2 $\pm$ 21,8

59 DAE=22.12.1994.

TABELA 11- Peso médio da matéria seca de grãos de milho por unidade de área (g.m^{-2}) e respectivo erro padrão da média, cultivado em área com cinco espaçamentos de drenos subterrâneos. Pariquera Açu, 94/95.

Tratamento	Dias após a emergência (DAE)		
	84*	100	130
3m	370,9 $\pm$ 56,5	694,3 $\pm$ 29,6	730,7 $\pm$ 13,3
6m	282,1 $\pm$ 35,9	661,9 $\pm$ 42,1	683,3 $\pm$ 22,2
9m	399,8 $\pm$ 25,4	638,0 $\pm$ 27,0	671,3 $\pm$ 24,6
12m	397,3 $\pm$ 23,9	621,3 $\pm$ 36,7	665,4 $\pm$ 29,7
18m	436,2 $\pm$ 41,1	632,8 $\pm$ 33,9	652,6 $\pm$ 19,1

84 DAE= 16.01.1995.

4.2.3.4. Peso da matéria seca total

Os resultados obtidos no acúmulo de matéria seca total são apresentados na Tabela 12.

Através da Tabela 12, contrariamente aos resultados obtidos por GOINS et al. (1966), KANWAR et al. (1988), entre outros, nota-se que durante todo o ciclo não houve diferença significativas entre os tratamentos para o peso da matéria seca total, indicando que o número de

amostragens e repetições não foram suficientes para expressar significância estatística nas diferenças ocorridas, visíveis na Figura 5.

Os acúmulos de matéria seca total, típica curva de crescimento, com uma longa fase linear, representados na Figura 5, mostram que as produções biológicas máximas foram de 1636,6; 1647,6; 1510,0; 1540,9 e 1504,7 g.m⁻² para os tratamentos 3m, 6m, 9m, 12m e 18m, respectivamente.

FIGURA 5 - Acúmulo de matéria seca total do milho, cultivado sob cinco condições diferentes de drenagem. Pariquera Açu, 94/95.

TABELA 12- Peso médio da matéria seca total de milho por unidade de área de terreno, (g.m-2) e respectivo erro padrão da média, cultivado em várzea com cinco espaçamentos de drenos subterrâneos. Pariquera Açú, 94/95.

Trata- mento	Dias após a emergência (DAE)						
	15*	30	44	59	84	100	130
3m	9,1±1,6	80,8± 8,9	329,7±32,8	795,8±75,0	1010,3±48,6	1636,6±60,9	1582,7±64,5
6m	6,1±1,8	75,7±14,8	292,3±25,8	703,9±84,5	1067,0±137,9	1647,6±105,1	1565,1±84,4
9m	7,0±1,6	82,4±10,8	263,1±41,2	710,6±106,3	988,7±159,3	1510,0±93,6	1451,3±103,8
12m	9,0±3,0	90,3±11,8	276,2±40,3	661,8±59,4	1087,1±98,1	1540,9±59,1	1496,4±92,2
18m	6,3±1,6	85,3±16,2	303,3±41,3	703,6±49,9	990,9±78,0	1504,7±62,4	1444,8±79,9
15 DAE= 8.11.1994.							

A Tabela 13 apresenta as regressões polinomiais obtidas para o acúmulo da matéria seca total com seus respectivos coeficientes de correlação nos tratamentos de drenagem subterrânea em Pariquera Açú.

Tabela 13- Equações polinomiais que ajustam o acúmulo de matéria seca total nos tratamentos estudados de espaçamento de drenos em Pariquera Açú, 94/95.

Tratamento	Equação polinomial	r
3m	$Y = 56,428 - 11,079X + 0,516X^2 - 0,0026X^3$	0,985**
6m	$Y = 169,808 - 19,857X + 0,661X^2 - 0,0033X^3$	0,991**
9m	$Y = 110,329 - 14,887X + 0,559X^2 - 0,0028X^3$	0,990**
12m	$Y = 166,891 - 19,042X + 0,637X^2 - 0,0032X^3$	0,996**
18m	$Y = 81,984 - 12,563X + 0,522X^2 - 0,0026X^3$	0,991**
X= DAE Y= quantidade de matéria seca (g/m ²)		

O modelo de regressão que melhor representou a relação entre peso da matéria seca total (g.m⁻²) e DAE foi a equação cúbica. Tal fato é concordante com ULLOA et al. (1982) e BASSOI (1990). A queda no acúmulo de matéria seca no final do ciclo deve-se, principalmente à queda de folhas senescentes e sua rápida decomposição no ambiente.

A distribuição da matéria seca na planta em termos percentuais é apresentada na Figura 6. Os resultados foram semelhantes aos obtidos por Keplin para plantio realizado em outubro e apresentados por SÁ (1993) e mostraram-se pouco afetados pelos tratamentos de espaçamento de drenos ou excesso e déficit de água ao longo de todo o ciclo da cultura. Esse fato tem sido observado por outros autores. PENNING de VRIES et al. (1989), relatam que há pouca sensibilidade na distribuição da matéria seca em relação ao ambiente para plantas de crescimento determinado.

A partição da matéria seca da planta (Figura 6) em nada contribuiu para explicar as diferenças na produção final da cultura impostas pelos tratamentos.

FIGURA 6- Porcentagem de acúmulo da matéria seca nos componentes da planta de milho cultivada em várzea sistematizada com cinco espaçamentos de drenos subterrâneos, Pariquera Açu, 94/95.

A taxa de crescimento da cultura (T.C.C.), expressa em peso da matéria seca total (produção biológica) produzida por unidade de superfície de terreno e por unidade de tempo ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), Figura 7, foi pequena no início, em razão do pequeno valor do índice de área foliar. Com o desenvolvimento da planta a T.C.C. aumentou, em razão do maior aproveitamento da energia solar. No entanto, a T.C.C. que deveria apresentar a sua máxima expressão no florescimento, decresceu nesse período. A razão dessa queda pode ser explicada pela baixa incidência de luminosidade no período, como pode ser verificada na Tabela 14.

Já na fase de enchimento dos grãos, mesmo com baixa luminosidade, a T.C.C. aumentou, alcançando o máximo aos 100 DAE, para depois, decrescer rapidamente.

Foram calculadas as T.C.C. máxia média, ocorrida na fase linear de crescimento da cultura (44 a 100 DAE), por meio de regressão linear. As equações foram todas altamente significativas, com coeficientes de correlação variando entre 0,965 a 0,995 e reduziram possíveis problemas de amostragem de planta. Os resultados obtidos foram: 20,9; 22,6; 20,4; 21,7 e 19,8 $\text{g.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente para os tratamentos 3m, 6m, 9m, 12m e 18m. Esses resultados mostraram-se muito próximos entre eles e sem padrão definido em relação aos tratamentos.

Medições realizadas com o porômetro de equilíbrio dinâmico, às 14 horas em folhas maduras (3ª folha) e bem iluminadas, nos estádios do florescimento e do enchimento de grãos, mostraram que os estômatos das folhas, em todos os tratamentos apresentavam-se abertos e com taxas de transpiração semelhantes. As medições em 59 DAE resultaram nos seguintes valores de resistências estomáticas abaxial e adaxial: 0,98 e 2,0 s.cm⁻¹; 1,13 e 2,13 s.cm⁻¹; 0,91 e 1,44 s.cm⁻¹; 1,0 e 1,54 s.cm⁻¹; 1,18 e 1,89 s.cm⁻¹, respectivamente para os tratamentos 3m, 6m, 9m, 12m e 18m. Em 84 DAE foram: 0,98 e 2,66 s.cm⁻¹; 1,09 e 3,25 s.cm⁻¹; 1,04 e 3,78 s.cm⁻¹; 0,98 e 3,82 s.cm⁻¹; 1,08 e 3,57 s.cm⁻¹, respectivamente para os mesmos tratamentos. Portanto, indicando que o estresse que as plantas estavam submetidas era no máximo considerado moderado e de curta duração, tanto para déficit quanto para excesso hídrico temporário.

TABELA 14 - Somatória de horas de insolação, observado no posto metereológico da Estação Experimental de Pariquera Açu, no período do florescimento ao enchimento completo dos grãos de milho.

PERÍODO DAE	HORÁRIO												
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
52 - 67*	3,7	4,0	4,2	5,4	6,3	4,4	5,5	6,5	6,5	4,5	4,3	4,0	
68 - 82	0,2	2,3	2,4	2,4	3,8	4,2	4,0	5,2	4,2	2,2	0,9	0,5	
83 - 98	3,8	7,7	7,6	9,1	6,7	7,8	8,7	9,8	8,8	5,3	6,1	4,0	
99 -112	0,0	0,3	0,2	2,1	1,5	2,2	1,8	2,3	0,8	1,0	0,3	0,0	

52-67 DAE= Período de 16 a 31.12.94

4.2.4. Eficiência na conversão de matéria seca em grãos

A razão entre o peso dos grãos e o peso da matéria seca total que expressa a razão entre a produtividade econômica e biológica é também chamada de índice de colheita. Os resultados do índice de colheita no final do ciclo não apresentaram diferenças significativas para os diferentes tratamentos, Figura 8.

O mesmo ocorreu com a razão entre o peso da matéria seca de grãos e o peso da matéria seca da espiga, Figura 9.

A Figura 10 mostra que a razão entre o peso seco da matéria seca de grãos e o peso seco da somatória do peso seco de folhas e colmos, tiveram comportamento semelhantes

entre todos os tratamentos. Deve-se também considerar a susceptibilidade desse índice a erros no peso de folhas devido às perdas por senescência, reduzindo sua confiabilidade para análise de produção.

FIGURA 8- Eficiência na conversão da matéria seca total em grãos de milho, cultivado em várzea e submetido a cinco tratamentos de drenagem subterrânea. Pariquera Açu, 94/95.

FIGURA 9 - Eficiência na conversão de matéria seca da espiga de milho em grãos, cultivado em várzea e submetido a cinco tratamentos de drenagem subterrânea. Pariquera Açu, 94/95.

FIGURA 10 - Eficiência na conversão de matéria seca de folhas + colmo em grãos de milho, cultivado em várzea e submetido a cinco tratamentos de drenagem subterrânea. Pariquera Açu, 94/95.

4.3. Índice de Estresse de Água

Utilizando-se do conceito de Somatório dos Excedentes de Água acima da profundidade z (SEW_z) introduzido Sieben em 1964, foram avaliados os efeitos da

flutuação do lençol freático a partir do início do florescimento da planta.

O modelo que mais se ajustou aos tratamentos de espaçamento de drenos, relacionando à produção relativa e o índice SEW_{30} (SEW para a profundidade de 30cm) foi a equação hiperbólica, apresentado a seguir:

$$Y = 0,880 * SEW_{30} / (SEW_{30} - 3,334) \quad (r=-0,953; F= 29,9^{**})$$

Esses resultados estão coerentes com os obtidos por KANWAR et al. (1988) nos quais a relação que melhor se ajustaram para o período do florescimento e enchimento/maturação também foi a hiperbólica. Porém, foram discordantes em relação aos obtidos por COSTA (1994), onde se verificou uma tendência de aumento de produtividade com o aumento do índice.

Em vista das limitações do SEW_{30} no estudo da resposta das culturas à flutuação do lençol freático na qual considera aditivo o estresse imposto à cultura, testou-se, também, no presente experimento o Índice Diário de Stress (IDS) DE HILER et al. (1974) e HILEL (1969). Neste caso, são incorporados conceitos das necessidades de drenagem das culturas (KANWAR, 1988).

Considerando-se a produção grãos obtida no tratamento 3m como referência, ou seja, conduzido do

florescimento à colheita sem estresse por excesso hídrico, obteve-se os seguintes fatores de susceptibilidade da cultura: 0; 0,0649; 0,0813; 0,0894; 0,1069, respectivamente, para os tratamentos 3m, 6m, 9m, 12m e 18m. Assim, os IDS calculados para esses tratamentos são os seguintes: 0; 2,8; 6,3; 12,0 e 23,1.

O modelo que melhor representou a relação entre a produção relativa ao IDS (cm.dias) foi o hiperbólico decrescente. A equação obtida é a seguinte:

$$Y = 0,89596 * IDS / (IDS - 0,12457) \quad (r = -0,927; \quad F = 12,7^*)$$

Por outro lado, CARTER et al. (1990), MUKHTAR et al. (1990), EVANS et al. (1991), entre outros obtiveram uma relação linear entre a produção relativa do milho e o IDS.

Os resultados de SEW₃₀ e IDS servem como indicadores para simulação de resposta de culturas comerciais cultivadas com ou sem drenagem, parâmetros para dimensionamento de drenos, planejamento do uso da terra e estratégias de manejo de água. Porém, mais pesquisa é necessária para a adoção dessa metodologia nas condições de São Paulo.

Para condições de cultivo comercial, possivelmente, seja importante a combinação com outros índices que expressem a resposta da cultura aos vários

tipos de estresses. Conforme observado pela Figura 3, há um regime elevado de precipitação na região, com fornecimento hídrico natural nem sempre ideal, acarretando a ocorrência de lixiviação de nutrientes, e o favorecimento para o aparecimento de pragas e moléstias, além dos problemas de efeito direto do encharcamento do solo.

4.4. Sistema Radicular

4.4.1. Densidade de comprimento

De acordo com as Tabelas 15, 16, 17, 18 e 19, respectivamente aos 15, 30 , 44, 59 e 84 DAE, apresenta-se o desenvolvimento médio do sistema radicular de milho até a profundidade de 0,70m para os tratamentos de drenagem subterrânea na várzea da Estação Experimental de Pariquera Açu.

Verificou-se que as raízes se concentram mais nas camadas superficiais do solo, decrescendo com a profundidade. Segundo RUSSEL (1981) isso ocorre devido à estrutura de desenvolvimento dos sistemas radiculares. As ramificações laterais que se desenvolvem a partir das raízes principais crescem por um período em direção horizontal, embora posteriormente também cresçam para

baixo. Associa-se, também, à maior concentração de raízes na superfície, o fato de ocorrer nessa camada maior disponibilidade de nutrientes.

Observou-se que o desenvolvimento das raízes, quer na profundidade quer na densidade de comprimento, desde a primeira amostragem, foram significativamente diferentes entre os tratamentos. No entanto, essas diferenças não refletiram no desenvolvimento vegetativo, como se pode constatar anteriormente.

Aos 15 DAE, o tratamento de maior espaçamento (18m) teve o crescimento das raízes tanto em profundidade quanto lateralmente, prejudicado em relação aos demais espaçamentos. Enquanto todos apresentavam algumas raízes até a profundidade de 0,60m, nele, observou-se somente até a 0,50m, assim como a densidade de comprimento na profundidade de 0,10 a 0,20m foi menor que as demais.

Aos 30 DAE, apesar da grande variabilidade entre os tratamentos e repetições nas primeiras camadas, sobressai a densidade de comprimento de raízes em profundidade 0,50 a 0,70m, no tratamento com drenagem mais acentuada (3m). Apresentou-se maior em relação aos demais, possibilitando à planta, exploração de maior volume de solo, importante em solos de várzeas de fertilidade não adequada, principalmente para aqueles elementos bastante móveis como o potássio e mesmo o magnésio. Acrescentando à

relação de meios para modificar a zona de raízes (SUMNER & BOSWELL, 1981), pode-se afirmar que para condições de várzea, um meio eficiente é a utilização de sistemas de drenagem também eficientes.

Aos 44 e 59 DAE, a vantagem ressaltada aos 30 DAE do tratamento 3m aos demais não mais se nota entre os dois tratamentos melhores drenados 3m e 6m, mas continua desses em relação aos demais.

Aos 84 DAE, observou-se uma diferença significativa na densidade de raízes na profundidade 0,60 - 0,70m onde o tratamento menos drenado apresentou o menor desenvolvimento.

Por outro lado, de acordo com RUSSELL (1981), as plantas desenvolvem capacidade de crescimento compensatório, como pode-se observar nos resultados das amostragens, aos 59 e 84 DAE (Tabelas 18 e 19 e Figura 11). Nota-se um desenvolvimento significativo na profundidade 0,00 - 0,10 m do tratamento menos drenado em relação aos demais. KLEPPER et al. (1973) verificaram o mesmo fenômeno às condições inadequadas de desenvolvimento radicular em estudos do sistema radicular do algodão por meio do rizotrom. Verificaram que com um potencial matricial de -0,9 MPa, ocorreu um decréscimo na densidade de comprimento de raízes, na profundidade 0-30cm, de $2,7 \text{ cm.cm}^{-3}$ para $0,9 \text{ cm.cm}^{-3}$ indicando a morte anterior de raízes. Entretanto, houve um correspondente aumento na densidade de raízes a

1,8 m de profundidade, que foi de $0,3 \text{ cm.cm}^{-3}$ para $2,4 \text{ cm.cm}^{-3}$, indicando a ocorrência de crescimento compensatório.

Em resumo, observou-se o rápido desenvolvimento do sistema radicular no perfil de solo. O crescimento mais intenso se deu no período 30 a 44 DAE, especialmente para as camadas mais superficiais (0-30 cm). Além da questão da presença de água e da profundidade do lençol freático (Figura 3), não houve impedimento mecânico do solo para o desenvolvimento das raízes.

A distribuição porcentual média das raízes de milho, observada no estágio do florescimento e enchimento dos grãos é apresentada na Figura 11. Esses resultados indicam, que sob condições de boa drenagem, o sistema radicular do milho mostrou-se muito superficial quando comparado aos publicados de regiões temperada ou semi-áridas (por exemplo, FOLLETT et al., 1974 ou FOTH, 1962), mas semelhantes aos obtidos em terras altas no Estado de São Paulo (ARRUDA, 1987).

TABELA 15- Densidade do sistema radicular do milho aos 15 DAE, média $\pm$ erro padrão da média, (cm.cm⁻³) cultivado em várzea sistematizada com cinco espaçamentos de drenos subterrâneos, Pariquera Açú, 94/95.

Profundidade (m)	Tratamentos			
	3m	6m	9m	12m 18m
0,00 - 0,10	0,44 $\pm$ 0,09	0,30 $\pm$ 0,14	0,28 $\pm$ 0,24	0,53 $\pm$ 0,20 0,39 $\pm$ 0,06
0,10 - 0,20	0,16 $\pm$ 0,02	0,13 $\pm$ 0,03	0,27 $\pm$ 0,03	0,21 $\pm$ 0,14 0,07 $\pm$ 0,03
0,20 - 0,30	0,12 $\pm$ 0,07	0,06 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,02	0,10 $\pm$ 0,05 0,05 $\pm$ 0,02
0,30 - 0,40	0,09 $\pm$ 0,06	0,08 $\pm$ 0,03	0,03 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,02 0,02 $\pm$ 0,01
0,40 - 0,50	0,03 $\pm$ 0,00	0,03 $\pm$ 0,02	0,06 $\pm$ 0,03	0,01 $\pm$ 0,01 0,00 $\pm$ 0,00
0,50 - 0,60	0,06 $\pm$ 0,03	0,03 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,02	0,01 $\pm$ 0,01 *
0,60 - 0,70	*	*	*	* *

QUADRO 16- Densidade do sistema radicular do milho aos 30 DAE, média $\pm$ erro padrão da média, (cm.cm⁻³) cultivado em várzea sistematizada com cinco espaçamentos de drenos subterrâneos, Pariquera Açú, 94/95.

Profundidade (m)	Tratamentos			
	3m	6m	9m	12m
0,00 - 0,10	0,82 $\pm$ 0,11	0,79 $\pm$ 0,20	0,76 $\pm$ 0,14	0,99 $\pm$ 0,16
0,10 - 0,20	0,35 $\pm$ 0,13	0,49 $\pm$ 0,17	0,22 $\pm$ 0,02	0,64 $\pm$ 0,12
0,20 - 0,30	0,28 $\pm$ 0,03	0,20 $\pm$ 0,04	0,29 $\pm$ 0,09	0,19 $\pm$ 0,01
0,30 - 0,40	0,29 $\pm$ 0,07	0,18 $\pm$ 0,03	0,32 $\pm$ 0,10	0,21 $\pm$ 0,03
0,40 - 0,50	0,21 $\pm$ 0,00	0,12 $\pm$ 0,03	0,19 $\pm$ 0,08	0,15 $\pm$ 0,02
0,50 - 0,60	0,27 $\pm$ 0,10	0,08 $\pm$ 0,04	0,06 $\pm$ 0,02	0,12 $\pm$ 0,01
0,60 - 0,70	0,11 $\pm$ 0,05	0,02 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,03	0,02 $\pm$ 0,01

TABELA 17- Densidade do sistema radicular do milho aos 44 DAE, média $\pm$ erro padrão da média, (cm.cm^{-3}) cultivado em várzea sistematizada com cinco espaçamentos de drenos subterrâneos, Pariquera Açú, 94/95.

Profundidade (m)	Tratamentos			
	3m	6m	9m	12m 18m
0,00 - 0,10	2,50 $\pm$ 0,62	1,74 $\pm$ 0,11	1,92 $\pm$ 1,05	2,92 $\pm$ 0,99 2,59 $\pm$ 0,95
0,10 - 0,20	2,16 $\pm$ 0,43	2,01 $\pm$ 0,37	1,55 $\pm$ 0,72	2,08 $\pm$ 0,59 2,27 $\pm$ 0,82
0,20 - 0,30	1,98 $\pm$ 0,89	0,86 $\pm$ 0,24	1,55 $\pm$ 0,72	2,08 $\pm$ 0,59 2,27 $\pm$ 0,82
0,30 - 0,40	1,30 $\pm$ 0,70	0,43 $\pm$ 0,15	0,51 $\pm$ 0,24	0,55 $\pm$ 0,40 0,39 $\pm$ 0,22
0,40 - 0,50	0,46 $\pm$ 0,13	0,44 $\pm$ 0,28	0,21 $\pm$ 0,08	0,63 $\pm$ 0,22 0,16 $\pm$ 0,16
0,50 - 0,60	0,19 $\pm$ 0,00	0,25 $\pm$ 0,07	0,08 $\pm$ 0,03	0,14 $\pm$ 0,11 0,08 $\pm$ 0,07
0,60 - 0,70	0,14 $\pm$ 0,04	0,14 $\pm$ 0,07	0,06 $\pm$ 0,04	0,06 $\pm$ 0,04 0,03 $\pm$ 0,02

TABELA 18- Densidade do sistema radicular do milho aos 59 DAE, média $\pm$ erro padrão da média, (cm.cm⁻³) cultivado em várzea sistematizada com cinco espaçamentos de drenos subterrâneos, Pariquera Açú, 94/95.

Profundidade (m)	Tratamentos			
	3m	6m	9m	12m
0,00 - 0,10	2,05 $\pm$ 0,40	1,92 $\pm$ 0,95	1,98 $\pm$ 0,24	2,06 $\pm$ 0,56
0,10 - 0,20	2,30 $\pm$ 0,28	1,85 $\pm$ 0,29	1,97 $\pm$ 0,37	2,07 $\pm$ 0,31
0,20 - 0,30	1,97 $\pm$ 0,54	1,28 $\pm$ 0,06	1,38 $\pm$ 0,23	1,10 $\pm$ 0,34
0,30 - 0,40	1,65 $\pm$ 0,42	1,13 $\pm$ 0,12	1,02 $\pm$ 0,31	0,83 $\pm$ 0,21
0,40 - 0,50	0,55 $\pm$ 0,12	0,62 $\pm$ 0,09	0,49 $\pm$ 0,12	0,41 $\pm$ 0,13
0,50 - 0,60	0,22 $\pm$ 0,05	0,33 $\pm$ 0,07	0,16 $\pm$ 0,01	0,19 $\pm$ 0,08
0,60 - 0,70	0,33 $\pm$ 0,12	0,06 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,03

TABELA 19- Densidade do sistema radicular do milho aos 84 DAE, média $\pm$ erro padrão da média, (cm.cm⁻³) cultivado em várzea sistematizada com cinco espaçamentos de drenos subterrâneos, Pariquera Açú, 94/95.

Profundidade (m)	Tratamentos			
	3m	6m	9m	12m
0,00 - 0,10	1,83 $\pm$ 0,24	1,73 $\pm$ 0,30	1,64 $\pm$ 0,37	1,78 $\pm$ 0,24
0,10 - 0,20	1,88 $\pm$ 0,32	2,04 $\pm$ 0,86	1,94 $\pm$ 1,14	1,94 $\pm$ 0,37
0,20 - 0,30	1,87 $\pm$ 0,27	1,33 $\pm$ 0,37	1,42 $\pm$ 0,28	1,23 $\pm$ 0,31
0,30 - 0,40	1,36 $\pm$ 0,22	0,96 $\pm$ 0,26	1,18 $\pm$ 0,46	0,89 $\pm$ 0,20
0,40 - 0,50	0,70 $\pm$ 0,19	0,59 $\pm$ 0,15	0,62 $\pm$ 0,23	0,30 $\pm$ 0,05
0,50 - 0,60	0,28 $\pm$ 0,08	0,29 $\pm$ 0,08	0,23 $\pm$ 0,15	0,19 $\pm$ 0,02
0,60 - 0,70	0,18 $\pm$ 0,08	0,21 $\pm$ 0,07	0,17 $\pm$ 0,04	0,10 $\pm$ 0,03

TABELA 20- Profundidade efetiva do sistema radicular do milho (média $\pm$ erro padrão), em m, cultivado em várzea e submetido a cinco tratamentos de espaçamento de drenos subterrâneos. Pariquera Açu, 94/95.

Dias após a emergência	Tratamentos				
	3m	6m	9m	12m	18m
15	38 ± 6	38 ± 6	40 ± 4	24 ± 6	21 ± 2
30	52 ± 2	37 ± 2	41 ± 3	35 ± 4	34 ± 5
44	35 ± 5	33 ± 5	29 ± 2	34 ± 3	23 ± 4
59	37 ± 2	38 ± 3	35 ± 2	31 ± 3	30 ± 4
84	39 ± 1	39 ± 2	38 ± 4	33 ± 2	30 ± 4

FIGURA 11- Distribuição porcentual média do sistema radicular do milho cultivado em várzea sistematizada com cinco espaçamentos de drenos subterrâneos, no período de 59 a 84 DAE, Pariquera Açu, 94/95.

4.4.2. Profundidade efetiva

Com relação à profundidade efetiva do sistema radicular das plantas de milho, Tabela 20, nota-se que aos 15 DAE já se tem indicação de como a cultura se comportaria ao longo de seu desenvolvimento. Com base na densidade de 90% do peso total das raízes até 0,70m de profundidade, aos 15 DAE os tratamentos com drenos espaçados até 9m não variaram entre si, tendo aprofundados em média até 0,38m, enquanto que, o tratamento 12m aprofundou 0,24m e o de 18m somente 0,21m.

Aos 30 DAE, todos os tratamentos tiveram suas raízes com profundidade efetiva maior, mantendo-se a relação anteriormente observada mas com destaque para o tratamento 3m.

Aos 44 DAE, inversamente, todos os tratamentos tiveram uma diminuição na profundidade efetiva. Provavelmente, o sistema radicular desenvolve-se por fases; primeiramente, as raízes crescem em profundidade se o ambiente assim o permitir, e depois expandem-se lateralmente. Resultados semelhantes foram obtidos por FOTH (1962) em um estudo tentando associar o crescimento da raiz com o da parte aérea. Ele descreve que, inicialmente, o crescimento das raízes ocorre largamente em direção

diagonal, seguido por um crescimento lateral extensivo. O crescimento lateral foi completado uma a duas semanas antes da emergência da espiga e causou uma marcante uniformidade na densidade de raízes entre 30 e 45 cm de profundidade. O aparecimento de raízes grossas, de sustentação, ocorreu próximo ao crescimento completo das raízes laterais. O crescimento extensivo de raízes abaixo de 45 cm ocorreu próximo ao embonecamento, sendo que no estágio de espiga o crescimento de raízes foi completado.

Aos 59 e 84 DAE, já na fase reprodutiva, o sistema radicular manteve-se estabilizado, resultados semelhantes ao obtido por FOTH (1962), e a profundidade efetiva em torno de 0,38 a 0,40m para os tratamentos até 9m entre drenos e em torno de 0,30m para os tratamentos de 12 e 18m entre drenos (Figura 12).

Essas concentrações do sistema radicular em camadas superficiais, em geral ocorrem, segundo RUSSELL (1981), devido à estrutura de desenvolvimento dos sistemas radiculares. As ramificações laterais que se desenvolvem a partir das raízes principais crescem por um período em direção horizontal, embora posteriormente também cresçam para baixo. Essa concentração maior na superfície, ocorre mesmo quando os fatores do solo não restringem a sua extensão.

No entanto, REICHARDT (1981) analisando um grande número de trabalhos que tratam dos efeitos das condições do solo sobre o desenvolvimento de raízes, constatou que, uma conclusão geralmente aceita, é o problema do pequeno crescimento de raízes em solos extremamente intemperizados dos trópicos e subtrópicos.

FIGURA 12- Profundidade efetiva média do sistema radicular do milho, no período do florescimento, cultivado em várzea sistematizada com cinco espaçamentos de drenos subterrâneos, Pariquera Açu, 94/95.

5. CONCLUSÕES

Em face dos resultados obtidos com a cultura do milho cultivada em solo orgânico com vários espaçamentos de drenos subterrâneos, no Vale do Ribeira, para as condições do experimento pode-se concluir que:

O método do tensiômetro para monitoramento do lençol freático apresenta resultados semelhantes ao método convencional da leitura direta no poço. Apresenta a vantagem da rápida visualização do comportamento geral do terreno quanto ao escoamento da água, além da facilidade e rapidez nas leituras diárias.

Os espaçamentos entre drenos resultaram em uma diferença média de 15cm na profundidade do lençol freático entre os tratamentos de maior e menor distância. As diferenças observadas nas plantas quanto a altura, área foliar, matéria seca, índice de colheita e produção final foram pequenas, porém evidentes e favoráveis aos tratamentos com os drenos mais próximos entre si.

Utilizou-se do conceito de "Somatório de Excesso de Água", SEW_{30} , de Sieben (1964), para representar o efeito da duração e intensidade do encharcamento do solo quando o lençol freático era menor de 30cm de profundidade. SEW_{30} apresentou uma relação hiperbólica decrescente com a produção final dos tratamentos, similar à obtida por alguns autores e diferente da linear obtida por outros.

O uso do conceito de Índice Diário de Stress (IDS) de Hiler et al (1974), apesar de se mostrar mais informativo do que apenas SEW_{30} , apresentou também uma relação hiperbólica decrescente com a produção final, mas com grau de significância menor.

O sistema radicular da cultura do milho mostrou uma estreita relação entre profundidade efetiva e o nível do lençol freático imposto pelos espaçamentos entre drenos. Os espaçamentos de 18 e 12m resultaram na profundidade de 30 e 33cm, respectivamente. Espaçamentos menores (9 a 3m), propiciaram uma melhor remoção da água de drenagem, resultando em um sistema radicular similar de 39cm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVINO, A. & ZERBI, G. Water-table level effect on yield of irrigated and unirrigated grain maize. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **29**(4): 1086-9, 1986.
- ANDRADE, L. M. & REIS, A. E. G. Efeito da profundidade do lençol freático nas culturas de soja, de milho e de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, **27**(6):923-33, 1992.
- ARRUDA, F.B. Uso da água na produção agrícola. In: Simpósio sobre o manejo de água na agricultura, Campinas, 1987. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill, 1987, p.177-199.
- BACCHI, O. O. S. Efeitos da compactação sobre o sistema solo-planta em cultura de cana-de-açúcar. Piracicaba, 1976. 67p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz"/USP.
- BARBER, S. A.; MACKAY, A.D.; KUCHENBUCH, R.O.; BARRACLOUGH, P.B. Effects of soil temperature and water on maize root growth. **Plant Soil**, The Hague, **111**:267-9, 1988.

BASSOI, L.H. **Lixiviação e acumulação de macronutrientes pelo milho (Zea mays L.) com e sem irrigação suplementar**, Botucatu, 1990, 102p. (Mestrado-Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP).

BERG, M. van den; LEPSCH, I. F.; SAKAI, E. Solos de planícies aluviais do vale do rio Ribeira do Iguape, SP. I. Padrões de distribuição. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **11**:305-13, 1987.

BLACK, C. A. **Relaciones suelo - planta**. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1975. 444p.

BENGTSON, R. L.; CARTER, C. E.; McDANIEL, V.; HAVERSON, B. E. Corn silage response to subsurface drainage on alluvial soil. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **27**(5):1391-5, 1984.

BOHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlim, Springer-Verlag. 189p. 1979.

BROWN, D. A. & SCOTT, H. don. Dependence of crop growth and yield on root development and activity. In: BARBER, S.A. & BOULDIN, D. R., ed. **Roots, nutrient and water influx, and plant growth**. Madison, Soil Science Society of America, 1984. cap. 6, p.101-36.

- CARTER, C. C.; HALVERSON, B.; ROGERS, J. S.; MUSGRAVE, M.
Effects of excess soil water on sweet corn yield.
Transactions of the ASAE, St. Joseph, **33**(4):1203-7, 1990.
- CAVAZZA, L. & ROSSI PISA, P. Effect of water table depth
and waterlogging on crop yield. **Agricultural Water
Management**, Amesterdam, **14**:29-34. 1988.
- CHAUDHARY, T. N.; BHATNAGAR, V. K.; PHINAR, S.S. Corn yield
and nutrient uptake as affected by water table depth
and soil submergence. **Agronomy Journal**, Madison, **83**:
745-9, 1975.
- 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.). Piracicaba, 1994. 88p.
(Tese - Esc. Sup. de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- CRUCIANI, D. E. Caracterização de coeficientes de drenagem
com base nos parâmetros de produção de culturas.
Piracicaba, 1981. 99p. (Livre-Docencia - Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- DUNCAN, W. G. Maize. **In: EVANS, L. T. Crop physiology**.
Cambridge University Press. London. 23-50. 1977.

- EVANS, L. T. & WARDLAW, I. F. Aspects of the comparative physiology of grain yield in cereals. **Advances in Agronomy** New York, **28**:301-59, 1976.
- EVANS, R. O.; SKAGGS, R. W.; SNEED, R. E. Normalized crop susceptibility factors for corn and soybean to excess water stress. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **33**(4):1153-61, 1990.
- EVANS, R. O.; SKAGGS, R. W.; SNEED, R. E. Stress day index models to predict corn and soybean relative yield under high water table conditions. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **34**(5):1997-2005, 1991.
- FOLLETT, R. F.; DOERING, E.J.; REICHMAN, G. A.; BENZ, L. C. Effect of irrigation and water-table depth on crop yields. **Agronomy Journal**, Madison, **66**:304-8, 1974.
- FOTH, H. D. Root and top growth of corn. **Agronomy Journal**, Madison, **54**(1):49-52, 1962.
- FUJIWARA, M.; KURACHI, S. A. H.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. de M.; SAKAI, E. **A técnica de estudo de raízes pelo método do trado**. Campinas, Instituto Agronômico, 1994. 9p. (Boletim Técnico, 153).

- GOINS, T.; LUNIN, J.; WORLEY, H. L. Water table effects on growth of tomatoes, snap beans and sweet corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **9**(4):530-3, 1966.
- GROHMANN, F. & QUEIROZ NETO, J. A. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argiloso sobre a penetração das raízes de arroz. **Bragantia**, Campinas, **25**(38):421-31. 1966.
- HARDY, F. Root room. **Tropical Agriculture**. Trinidad, **51**(2):272-8, 1974.
- HARRIS, G. L. Effect of mole submergence on the life of mole channels. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, **8**:361-74, 1984.
- HILER, E. A. Quantitative evaluation of crop-drainage requirements. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **12**(4):499-505, 1969.
- HILER, E. A.; CLARK, R. N.; GLASS, L. J. Effects of water table height on soil aeration and crop response. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **14**:879-82, 1971.

- HURD, E. A. Growth of roots of seven varieties of spring wheat at high and low moisture levels. **Agronomy Journal**, Madison, **60**:201-5, 1968.
- IVANCKO, C. M. A. M.; PERES FILHO, A.; NOGUEIRA, F.de P.; DONZELI, P.L.; CHIARINI, J.V. **Distribuição espacial das várzeas no Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1985. 16p. 9 mapas. (Boletim Científico, 2).
- KALITA, P.K. & KANWAR, R.S. Shallow water table effects on photosynthesis and corn yield. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **35**(1):97-104, 1992.
- KANWAR, R.S.; BAKER, J.L.; MUKHTAR, S. Excessive soil water effects at various stages of development on the growth and yield of corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **31**(1):133-41, 1988.
- KITAGAWA, Y.; TANAKA, Y.; SORIN, T. Soil management in a drained paddy field for upland crop cultivations. II. Subsurface drainage combined with deep tillage and application of organic matter. **Bull. of the Nara Agricultural Experiment Station**, Nara, **19**:57-66. 1988.

KLEPPER, B.; TAYLOR, H. M.; HUCK, M. G.; FISCUS, E. L. Water relations and growth of cotton in drying soil. **Agronomy Journal**, Madison, **65**:307-10, 1973.

KLEPPER, D. & ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de fósforo no solo e da localização do adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **19**:403-8, 1995.

KRAMER, P. J. **Plant and soil water relationships**: A modern synthesis. New York, McGraw-Hill. 538p., 1969.

LEPSCH, I. F.; SARAIVA, I.R.; DONZELI, P.L.; MARINHO, M. de A.; SAKAI, E.; GUILLAUMON, J. R.; PFEIFER, R.M.; MATTOS, I. F. da A.; ANDRADE, W. J. de; SILVA, C. E. F. da. **Macrozoneamento das terras da região do Rio Ribeira de Iguape, SP**. Campinas, Instituto Agronômico, 1990. 181p. illus., 2 mapas. (Boletim Científico, 19).

MACKAY, A. D. & BARBER, S. A. Soil moisture effects on root growth and phosphorus uptake by corn. **Agronomy Journal**, Madison, **77**(4):519-23, 1985.

- McCLURE, J. W. & HARVEY, C. Use of radiophosphorus in measuring root growth of sorghums. **Agronomy Journal**, Madison, **54**:457-9, 1962.
- McKEE, G. W. A coefficient for computing leaf area in hibrid corn. **Agronomy Journal**, Madison, **56**:240-1. 1964.
- MENGEL, D. B. & BARBER, S. A. Development and distribution of the corn root system under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, **66**:341-4, 1974.
- MILLAR, A. D. **Drenagem de terras agrícolas: Bases agronômicas.** McGRAW-HILL do Brasil Ltda, 276p., 1978.
- MOHAMMAD, F. S. & SHAGGS, R. W. Effect of drain tube openings on drainage and subirrigation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **27**(6):1455-62, 1984.
- MUKTHAR, S.; BAKER, J. L.; KANWAR, R. S. Corn growth as affected by excess soil water. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, **32**(2):437-42, 1990.
- NASSEHZADEH-TABRIZI, A. & WILLARDSON, L. S. Effects of vibration and soil moisture on the draft of a model mole plow. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **24**(6):1490-5, 1981.

RAIJ, B. van; SILVA, N. M. da; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; DECHEN, A. R.; TRANI, P. E. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1985. 107p. (Boletim técnico, 100)

REICHARDT, K. Soil physico-chemical conditions and the development of roots. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM TO BRASILIAN AGRICULTURE, Londrina, 1980. **Proceedings**, Edited by R.S. Russell and others. Londrina, IAPAR, 1981. p.103-14.

REICOSKY, D. C.; CAMPBELL, R. B.; DOTY, C. W. Corn plant water stress as influenced by chiseling, irrigation, and water-table depth. **Agronomy Journal**, Madison, **68**: 499-503, 1976.

RITTER, W. F. & BEER, C. E. Yield reduction by controlled flooding of corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **12**:46-50, 1969.

ROSSI, G. & MUNDSTOCK, C. M. Desenvolvimento do sistema radicular, rendimento e componentes do rendimento do milho (*Zea mays L.*) sob diferentes níveis de drenagem do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **4**(1):1-4, 1980.

TOLLENAAR, M. Sink-source relationships during reproductive development in maize. A review *Maydica*, 12:48-75. 1977.

ULLOA, A.M.C.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. **Utilização do nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho.** Campinas, Fundação Cargill, 1982. 66p.

WILLARDSON, L. S. Drainage coefficients. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **25**(5):1251-3, 1257. 1982.

WILLIAMSON, R. E. & KRIZ, G. J. Response of agricultural crops to flooding, depth of water table and gaseous composition. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **13**(1): 216-20, 1970.