VARIABILIDADE ESPACIAL DOS COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO
EM UMA CULTURA DE MILHO (*Zea mays*. L.)

ZILDENE PEDROSA DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do Título
de Mestre em Agronomia, Área de
Concentração: Agrometeorologia.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Novembro - 1991

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

Oliveira, Zildene Pedrosa de
048v Variabilidade espacial dos componentes do balanço hídrico
em uma cultura de milho (Zea mays L.). Piracicaba,
1991.
96p. ilustr.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Balanço hídrico 2. Milho - Balanço hídrico - Efeito
da variabilidade espacial 3. Milho - Evapotranspiração I.
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 633.15

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO
EM UMA CULTURA DE MILHO (*Zea mays*.L.)

ZILDENE PEDROSA DE OLIVEIRA

Meteorologista

Orientador: Prof. Dr. KLAUS REICHARDT

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do Título
de Mestre em Agronomia, Área de
Concentração: Agrometeorologia.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Novembro - 1991

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO
EM UMA CULTURA DE MILHO (*Zea mays*. L.)

ZILDENE PEDROSA DE OLIVEIRA

Aprovado em 28/11/1991

Comissão Julgadora:

Dr. Klaus Reichardt	ESALQ/USP
Dr. Antônio Roberto Pereira	ESALQ/USP
Dr. Osny Oliveira Santos Bacchi	CENA/USP

Dr. Klaus Reichardt

Orientador

Fiz ranger as folhas de jornais
abrindo-lhes as pálpebras piscantes
E logo, de cada fronteira distante
subiu um cheiro de pólvora
perseguido-me até em casa.
Nestes últimos vinte anos nada de
novo há no rurgir das tempestades.
Não estamos alegres, é certo, mas
também por que razão haveríamos
de ficar tristes?
O mar da história é agitado.
As ameaças e as guerras havemos
de atravessá-las, rompê-las ao meio,
cortando-as como uma quilha
corta as ondas.

As minhas irmãs ZELDA E ZELMA
pelo apoio, presença e carinho
de todos os momentos:

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Klaus Reichardt, pela orientação, amizade e colaboração durante o curso.

Ao Prof. Dr. Antônio Roberto Pereira pela colaboração e sugestões durante o trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de ajuda financeira.

A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, pela oportunidade concedida.

Ao Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMet), pelas facilidades colocadas à disposição para execução deste trabalho.

Aos colegas e amigos do Curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia, especialmente a Irene Trebejo Varillas, Mauro Januário e Artur G. Müller, pelo prazer e carinho da amizade desfrutada.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia e aos funcionários do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, em especial, a Ana Maria S.M. Michelin, Ivan J. Moretti e Francisco B. Dias pelo apreço e amizade dedicada.

Ao Eng. Agrônomo Antônio R. da Cunha e a Cássio Luis C. Razera, pela amizade e colaboração.

Aos meus pais, a Deus, e a todos que direta ou indiretamente colaboraram na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

v

RESUMO.....	vii
SUMMARY.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Balanço hídrico.....	3
2.2. Considerações sobre a variabilidade espacial.....	13
3. MATERIAL E MÉTODO.....	19
3.1. Campo experimental.....	19
3.1.1. Localização.....	19
3.1.2. Clima.....	19
3.1.3. Solos.....	20
3.1.4. Cultura.....	20
3.1.5. Sistema de plantio.....	20
3.2. Determinações.....	23
3.2.1. Evapotranspiração real (ET).....	23
3.2.1.1. Balanço hídrico de campo.....	23
3.2.2. Evapotranspiração potencial (ETP).....	28
3.3.3. Coeficiente de cultura (kc).....	28
3.3.4. Variabilidade espacial.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1. Balanço hídrico.....	30
4.1.1. Primeiro período.....	31

	vi
4.1.2. Segundo período.....	34
4.1.3. Terceiro período.....	39
4.1.4. Quarto período.....	42
4.1.5. Quinto período.....	46
4.1.6. Sexto período.....	49
4.1.7. Sétimo período.....	53
4.2. Coeficiente de cultura (kc).....	56
5. CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
APÊNDICES.....	73

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO
EM UMA CULTURA DE MILHO (*Zea mays* L.)

Autor : Zildene Pedrosa de Oliveira

Orientador : Prof. Dr. Klaus Reichardt

RESUMO

O presente trabalho foi conduzido objetivando determinar a influência da variabilidade espacial nos resultados dos componentes do balanço hídrico para 25 parcelas experimentais principalmente, na estimativa da evapotranspiração real e na avaliação do comportamento do coeficiente de cultura (k_c).

O estudo foi desenvolvido com a cultura do milho (*Zea mays* L.), durante os meses de Setembro/1989 a Janeiro/1990, tomando-se 7 períodos de contabilização dentro do ciclo da cultura.

O experimento localizou-se na área experimental do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, SP, Brasil, com solo classificado como Terra roxa estruturada. Constatou-se uma transeção de 25 pontos ou parcelas, espaçadas a 5

metros uma da outra, na qual foram instalados tubos de acesso da sonda de nêutrons para a estimativa do armazenamento de água no solo, e tensiômetros a 135 e 165 cm de profundidade para obtenção do potencial mátrico e do gradiente do potencial a 150 cm de profundidade para a estimativa dos fluxos de água no limite inferior do solo na camada estudada.

A variabilidade espacial foi avaliada através de valores médios, variâncias, coeficientes de variação indicando resultados elevados, alguns com coeficientes maiores que 100%, como no caso da variação ocorrida para a diferença do armazenamento de água no solo e do fluxo de drenagem profunda.

A evapotranspiração real é o termo que sofreu proporcionalmente a menor influência da variabilidade espacial e, em consequência disso, a taxa evapotranspirativa da cultura do milho em todos os estádios de desenvolvimento apresentou-se de acordo com o esperado.

WATER BALANCE COMPONENTS SPATIAL VARIABILITY FOR

A CORN CROP (*Zea mays* L.)

Author : Zildene Pedrosa de Oliveira

Adviser : Prof. Dr. Klaus Reichardt

SUMMARY

The objective of the present study was to evaluate the importance of the spatial variability of water balance components on the estimation of evapotranspiration and crop coefficients.

The study was performed on a corn crop (*Zea mays* L.) during the period Sep/89 to Jan/90. Experimental plots were located at Piracicaba, SP, Brazil, on a dark red latosol. A transect of 25 plots, 5 x 5 m² each, was used to estimate water balance components. Each plot had a neutron probe access tube for the measurement of soil water storages, and two tensiometers, at depths of 135 and 165 cm, to measure soil water potential and soil water potential gradients at 150 cm, the depth chosen as the lower boundary for the balance.

Spatial variability of the components was

estimated through average values, variances and coefficients of variation, which were, in several cases very high, greater than 100%. The largest CVs were observed for changes in water storage and soil water fluxes at the lower boundary (150 cm depth).

Actual evapotranspiration was less affected by spatial variability, showing CVs of less than 50%. It was possible to estimate crop coefficients, and their variability, for several stages of growth of the corn crop.

1. INTRODUÇÃO

A água é fator fundamental em todas as fases de uma cultura. Sua falta ou excesso, poderá influenciar no desenvolvimento e crescimento comprometendo a produtividade agrícola.

O controle da água é então importante, e este é apenas possível com um conhecimento das relações hídricas da cultura através do uso de técnicas apropriadas.

O balanço hídrico é um método empregado para contabilização da entrada e saída de água no solo, considerado relativamente simples em sua execução. Porém, as medidas de seus componentes estão sujeitas a variabilidade em seus resultados que podem ou não estar atribuídas ao acaso com relação a sua distribuição espacial no campo.

Em estudos agronômicos, o solo geralmente é tido como homogêneo e em muitos casos, sem um critério bem definido de homogeneidade pois, variações naturalmente existem, e estas são devido às variáveis taxas nas quais atuaram os processos de sua formação e às diversas atuações do homem durante o seu cultivo. Nas plantas, a distribuição radicular e da parte aérea são dependentes das propriedades do solo, das operações de plantio, de pragas e de doenças.

Em parâmetros do solo e da planta essas variações vem expressas em suas medidas, apresentando dificuldades nas observações e irregularidades nos dados e impedindo que o valor médio obtido caracterize verdadeiramente o que foi medido.

Essa variabilidade é um dos fatores que é refletido diretamente na produção da cultura e que pode tornar variável os resultados de pesquisas, a eficiência de projetos de irrigação e o manejo do solo.

Diante da possibilidade de ampliar os conhecimentos sobre os métodos e técnicas essenciais utilizados para o manejo dos recursos hídricos e edáficos de maneira racional e produtiva, neste trabalho foi feito o balanço hídrico do solo através da determinação direta de seus elementos, utilizando-se a técnica de moderação de neutrons para estimativa do armazenamento de água pelo solo e tensiômetros para estimativa da drenagem profunda, em 25 parcelas justapostas ao longo de uma transeção

Foram tomados 7 (sete) períodos de contabilização durante o desenvolvimento da cultura, objetivando determinar a influência da variabilidade espacial nos resultados de cada balanço hídrico para cada parcela através de técnicas de análise estatística principalmente, na estimativa da evapotranspiração e na avaliação do comportamento do coeficiente de cultura no milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. BALANÇO HÍDRICO

O consumo de água pelas comunidades vegetais é um parâmetro importante a ser considerado nos estudos de regionalização agrícola ou na avaliação da produtividade dos vegetais. Uma maneira pela qual esse consumo hídrico (evapotranspiração) pode ser determinado é através do balanço hídrico.

O Balanço hídrico vem a ser a contabilização da quantidade de água em um determinado volume de solo (vegetado ou não). Este volume é determinado pela superfície do solo e por um plano paralelo a esta superfície, a uma profundidade relacionada com o sistema radicular da cobertura vegetal (ZAKIA, 1987).

O processo de contabilidade hídrica mais usado para fins climatológicos é o método de THORNTHWAITE & MATHER (1955), que consiste na contabilização da precipitação pluviométrica e da evapotranspiração, considerando-se uma determinada capacidade de retenção de água pelo solo, bem como em função do tipo de cobertura vegetal (CORTOLANI & CAMARGO, 1987). Outro método bastante utilizado para determinar a disponibilidade de água na agricultura é o balanço hídrico de campo. Esse método consiste na

determinação dos componentes do balanço hídrico através de medidas diretas da variação do armazenamento, utilizando-se o método gravimétrico ou equipamentos como tensiômetros ou ainda a técnica de moderação de nêutrons. Tal método tem a virtude de levar em conta as características do solo e da planta em estudo.

A metodologia do balanço hídrico num volume de controle de solo tem sido apresentada por vários autores (ROSE & STERN, 1966; SLATYER, 1967; BARRADA, 1971; REICHARDT, 1985), sendo seus componentes (precipitação, irrigação, evapotranspiração, deflúvio superficial, drenagem profunda/ascensão capilar e variação do armazenamento de água no solo) apresentados numa forma integral ou diferencial em uma equação geral de balanço de massa. A determinação desses componentes é feita por técnicas e meios diferentes.

A precipitação é medida com considerável precisão através de leituras de pluviômetros ou pluviógrafos. O principal problema consiste na representatividade de dados coletados em uma estação meteorológica. Sua distância à cultura onde se realiza o balanço hídrico é de fundamental importância, sendo recomendável que a medida da chuva seja feita nas proximidades do local do balanço.

Com a irrigação, os problemas são vários. Na irrigação por aspersão, por exemplo, cada aspersor tem sua distribuição de água e, assim, a quantidade de água que efetivamente é recebida na superfície do solo depende do

tipo de aspersor, número de linhas de aspersores, espaçamento de aspersores, vento, pressão das bombas, etc. A técnica mais comum é medir a distribuição de água através de "pluviômetros" espalhados ao acaso ou em malha, na área a ser irrigada, sendo de qualquer forma difícil de avaliar a representatividade de um valor médio.

Nos estudos atuais de balanço hídrico, ênfase é dada à disponibilidade de água no solo, e sua relação com elementos climáticos e com o desenvolvimento vegetal. A disponibilidade de água no solo, não se baseia apenas em dados de precipitação pluvial; também é necessário levar em conta as perdas de água no solo para a atmosfera, que se verificam normalmente pela perda de água por evaporação do solo mais a transpiração vegetal, processo denominado evapotranspiração (ANDREATTA, 1990).

A evapotranspiração (consumo de água) pode se processar na forma potencial, máxima e real, dependendo das condições da superfície e da disponibilidade de água.

O termo evapotranspiração potencial foi utilizado primeiramente por Thornthwaite em 1948, para designar o valor máximo da água perdida por uma cultura qualquer em estágio de mais intenso crescimento vegetativo, em grande extensão e tendo o solo o potencial matricial próximo a 0,06 atm (capacidade de campo).

FAO (1975), citada por VILLA NOVA (1982), definiu evapotranspiração de referência (ou potencial) como aquela ocorrente em uma superfície vegetada com grama batatais

(Paspalum notatum), bem provida de umidade, em fase de desenvolvimento ativo e com borbadura adequada. É sinônimo do conceito de Thornthwaite, mas referindo-se exclusivamente à grama na evapotranspiração de referência; evapotranspiração máxima (ou ideal), quando se refere à quantidade máxima de perda d'água por uma cultura qualquer em condições de nenhuma restrição de água em qualquer estágio de desenvolvimento; e, evapotranspiração atual (ou real), como sendo a perda d'água por uma cultura qualquer com ou sem restrição de água, num instante qualquer, independente do seu estágio vegetativo e do meio que a envolve e que expressa realmente o débito de água que houve.

O estudo do efeito do clima sobre o consumo de água durante as fases do ciclo da cultura pode ser feito através da determinação da razão entre a evapotranspiração máxima (ETM) ou real (ET) em uma dada fase de plantio e o valor da evapotranspiração potencial no mesmo período. Essa razão é conhecida como coeficiente de cultura (k_c) e tem sido bastante usada no manejo da irrigação e na determinação das necessidades de água pelas culturas (DOORENBOS & PRUITT, 1984).

Existem fatores que alteram esses coeficientes, tais como: características da própria cultura, época de semeadura, taxa de crescimento relativo, duração da estação de crescimento, condições climáticas predominantes no início do desenvolvimento, frequência de chuva e irrigação.

Sendo o milho uma cultura anual e dependendo do

estádio de desenvolvimento, podem ocorrer grandes variações na taxa de evapotranspiração. A evapotranspiração na cultura do milho, tem sido determinada por diversos pesquisadores. JENSEN (1973), para vários locais e períodos, cita valores de evapotranspiração para cultura do milho que variam de 373 a 640 mm. Segundo DOORENBOS & KASSAN (1979), as necessidades hídricas para a cultura estão entre 500 - 800 mm para uma produtividade de 7 a 9 ton/ha em regimes sub-tropicais, com temperatura média acima de 20 °C.

Estudos realizados por DALE (1968), mostram que em relação ao consumo de água pela cultura do milho, há íntima relação da evapotranspiração real com a umidade do solo e a facilidade com que a água disponível pode ser extraída.

A evapotranspiração real das culturas pode ser determinada através do balanço hídrico no campo (PEREIRA et alii, 1974; REICHARDT et alii, 1974; CASTRO, 1979), parecendo ser a menos afetada espacialmente, principalmente quando a cultura cobre totalmente o solo. Sua medida direta é difícil, daí, a existência de inúmeros métodos baseados em parâmetros da atmosfera, das plantas e do solo. O próprio balanço hídrico é utilizado para a estimativa da ET, desde que todos os outros componentes sejam conhecidos.

No solo, é conveniente a determinação da variação da água armazenada através da técnica de moderação de nêutrons, introduzida por BELCHER et alii (1950), para medida da umidade no solo.

Várias proposições tem sido feitas sobre a

evapotranspiração real e sua relação com a evapotranspiração potencial e a umidade do solo. Segundo SAXTON et alii (1974), quando a umidade do solo está próxima da capacidade de campo, a evapotranspiração é mantida na razão potencial (ETP) e determinada pelas condições climáticas predominantes. Na medida em que o solo perde água, a evapotranspiração real (ET), apresentará valores abaixo do valor da evapotranspiração potencial, a partir de um valor crítico (limite) de umidade do solo.

Os mesmos autores ainda comentam que se os fatores relacionados com a planta são constantes o decréscimo da relação ET/ETP com o decréscimo da umidade do solo pode ser resultado do acréscimo da tensão com que a água está retida no solo ou do baixo valor da condutividade hidráulica no solo e nos tecidos das raízes, comparados com a maior demanda evaporativa da atmosfera. EAGLEMAN (1971), confirma que o valor da ET/ETP aproxima-se da unidade quando a umidade do solo é alta e apresenta um decréscimo acentuado à medida que decresce a umidade do solo.

Outro elemento do balanço hídrico é o deflúvio superficial ou "run-off". Segundo ROSE (1966), a medida do deflúvio superficial é feita através de técnicas e estruturas apropriadas, mas em algumas ocasiões as medidas diretas se tornam difíceis devido, particularmente, ao volume de água envolvido, à variação com a declividade.

O estado de umidade do solo, na superfície, no momento da chuva é muito importante. Além disso, a

variabilidade espacial das propriedades físicas do solo afetam significativamente a quantidade do deflúvio superficial.

A água que é perdida devido a movimentos descendentes dentro do perfil do solo, saindo da zona explorada pelo sistema radicular, é chamada drenagem profunda. Dependendo do tipo de solo, de suas condições de umidade e da precipitação pluvial, as perdas por drenagem profunda podem ser consideráveis. Em certos períodos pode chegar até a 60% - 70% da precipitação, mas muitas vezes é desprezível.

Os fluxos de água no solo na profundidade considerada (L) e a variação de armazenamento de água numa camada de profundidade 0-L, são fatores tipicamente de solo. Variam de solo para solo, dependem da heterogeneidade do perfil e são consequência de todos os outros componentes do balanço hídrico.

O fluxo de drenagem profunda ou ascensão capilar é o elemento mais difícil em sua determinação, motivo pelo qual tem sido frequentemente desprezado e incluído como parte do armazenamento ou da evapotranspiração (ROSE, 1966). No entanto, pelos trabalhos de VAUCHAUD et alii (1973), STONE et alii (1973) e outros, esse elemento não é sempre desprezível podendo constituir 30% ou mais do balanço hídrico total, principalmente quando feito em regiões de clima tropical.

Segundo BRUNINI et alii (1981), a componente de

drenagem é um fator importante em estudos de balanço hídrico em arroz, pois em alguns períodos chegou a mais de 90% da variação total do armazenamento de água no solo, e CASTRO (1979) conclui ainda, que os percentuais mais elevados de perdas de água por drenagem profunda ocorrem quando a armazenagem de água no perfil do solo apresentava valores mais elevados.

O armazenamento de água no solo para o estabelecimento do balanço hídrico de uma cultura deve tomar em consideração uma camada que envolve todo volume explorado pelo sistema radicular da cultura. Em função da profundidade considerada (L), e para uma dada profundidade, ele varia em função do tempo devido aos processos de ganho de água (chuva e/ou irrigação) e de perdas (evapotranspiração e/ou drenagem profunda).

Existe uma certa quantidade de água que o solo pode armazenar. Assim, o armazenamento máximo ocorre quando a água no solo entra em equilíbrio, isto é, na condição em que o gradiente de potencial gravitacional e o gradiente de potencial matricial se igualam e o perfil não absorve mais o excesso de água. Um perfil nessa condição é denominado de perfil na capacidade de campo (TURRATI, 1990).

O armazenamento de água pelo solo pode ser determinado a partir da integração do perfis de umidade do solo. Esses podem ser obtidos gravimetricamente (VAN BAVEL et alii, 1956), pela moderação de nêutrons (BARROS FERRAZ, 1976; CRUCIANI, 1972; REICHARDT et alii, 1974), ou pela

combinação dos dois (STONE et alii, 1973; SAXTON et alii, 1974), ou utilizando equipamentos como tensiômetros, entre outros. O erro que pode ocorrer nas medidas de umidade está ao redor de 10%, devido às determinações da densidade do solo (Taylor, 1961, citado em DOWNEY, 1972).

GARDNER (1987); REICHARDT (1985) apresentam vários métodos para a determinação do teor de água no solo, e GARDNER (1987) afirma, em recente simpósio sobre metodologia da medida do estado da água no solo, que as sondas de nêutrons são instrumentos recomendados para medida de umidade do solo por apresentar uma série de vantagens em certas condições.

O método de moderação de nêutrons tem sido aplicado com sucesso na determinação da umidade do solo (θ), pois variações de θ que ocorrem em um perfil em função da evaporação, drenagem, etc, podem ser medidas com boa precisão apesar dessa técnica apresentar algumas dificuldades como por exemplo, a difícil calibração.

A grande vantagem dessa técnica é a possibilidade de se medir θ no tempo e no espaço, em condições de campo, com pouca interferência no sistema solo-planta. Uma vez instalados os tubos de acesso da sonda de nêutrons, medidas periódicas podem ser feitas sem a perturbação do sistema (REICHARDT, 1985), pois a única perturbação feita no solo é a introdução do tubo de acesso, e após isso, medidas podem ser feitas em profundidades pré-fixadas, ao longo do tempo, tendo-se a certeza de que, toda vez, o instrumento

"amostra", praticamente o mesmo volume de solo, evitando assim, a variabilidade apresentada pelo mesmo.

Apesar do método de moderação de nêutrons já estar em uso por mais de três décadas, não foi possível, até hoje, estabelecer critérios satisfatórios para sua calibração, sendo esta uma das desvantagens do método. São relatados que vários fatores, como densidade do solo, mineralogia, pH, porosidade e matéria orgânica afetam largamente a calibração das sondas de nêutrons (HOLMES & JENKINSON, 1959; HOLMES, 1966; COUCHAT, 1967; McHENRY & GILL, 1967; LAL, 1974; TURATTI et alii, 1990).

Alguns autores como Haverkamp et alii (1984); Carneiro & De Jong (1985); Chawla & Tripathi (1987); Costa & Faria (1989), citados por TURATTI (1990), mostram as dificuldades para a calibração da sonda de nêutrons, verificando coeficientes de regressão não muito bons, porém, indicando que estes aparelhos são instrumentos que podem ser utilizados para determinação do teor de água no solo e salientam ainda que as principais vantagens destes, são as possibilidades de se ter várias medições tanto no espaço como no tempo.

TURATTI et alii (1990) verificaram que a variabilidade do solo foi o principal fator que afetou a calibração da sonda, devido, principalmente, à umidade, à porosidade e à densidade global, apresentando para seu caso um coeficiente de regressão igual a 0,86.

PEREIRA (1986) calculou o balanço hídrico

utilizando a técnica de moderação de nêutrons, em um solo Podzolizado de Lins e Marília cultivado com cafeeiro, até 2,4 metros de profundidade e verificou que o armazenamento médio daquele solo na época das chuvas intensas oscilou em torno de 500 mm e que a drenagem profunda praticamente inexistiu quando o cafeeiro se apresentava em pleno crescimento e a evaporação foi da ordem de 5-6 mm/dia.

2.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A VARIABILIDADE ESPACIAL

Em pesquisas agrônômicas, normalmente considera-se o solo em condições de campo como homogêneo, esquecendo-se que o solo é um sistema complexo, onde as reações ocorrem espontaneamente ou induzidas pela ação do homem, através da adição de adubos, preparo de solo, serviços de terraplanagem e irrigação.

A participação do homem é apenas uma das variáveis que podem induzir variabilidade nos solos, sendo que diferenças no material de origem, estágio de desenvolvimento, posição na paisagem, fatores de formação e a interação entre eles e com a planta (uma vez que a distribuição radicular e da parte aérea das plantas depende das propriedades do solo), as operações de plantio, de pragas e de doenças, são as principais causas da variabilidade espacial tanto horizontal como vertical das propriedades e características do solo.

Diante disso, a variabilidade espacial vem sendo

abordada em assuntos específicos de real interesse e importância nas mais diversas áreas da ciência do solo que incluem: umidade, textura, densidade (do solo e de partícula), disponibilidade de água às plantas, condutividade hidráulica, velocidade de infiltração, precipitação e temperatura.

Segundo REICHARDT (1985), medidas de parâmetros do solo e da planta, muitas vezes apresentam irregularidades e variações que podem ou não estar atribuídas ao acaso em relação à sua distribuição espacial no campo. É, portanto, importante estabelecer critérios para definir espaçamento entre medidas a serem feitas, para definir a frequência de observações e para definir o número necessário de observações para que o valor médio obtido represente verdadeiramente o local em termos do parâmetro considerado.

Para alcançar esses objetivos tem-se utilizado as mais diversas técnicas estatísticas aplicadas sobre dados obtidos sem levar em conta sua distribuição espacial no campo. Entretanto, a técnica denominada Geoestatística ou teoria das variáveis regionalizadas, vem sendo aplicada ao estudo da distribuição dos valores, em função do seu arranjo espacial e temporal, sendo considerada como uma nova ferramenta na utilização de procedimentos estatísticos adicionais que consideram e refletem sobre as variações ocorridas.

SILVA (1988) afirma que essas metodologias

(Estatística clássica e Geoestatística) diferem basicamente na forma de avaliar a variação dos dados. Enquanto, a estatística clássica pressupõe não haver relação entre a variação e a distância entre pontos de amostragem, isto é, as variações são aleatórias no espaço, sendo os valores da variável independentes e possuidores de distribuição normal. A geoestatística considera existir uma dependência da variação com o espaço de amostragem e que, em parte, essas variações são sistemáticas. Mas, em ambos os casos, a média e a variância podem ser calculadas.

REICHARDT (1985) considera que a técnica clássica ou "casual" e a técnica geoestatística ou "espacial" se complementam. Uma não exclui a outra, e perguntas respondidas por uma, muitas vezes não podem ser respondidas pela outra.

Os métodos estatísticos mais usados na estatística clássica, são aqueles baseados na dispersão dos dados em relação à média, ou seja: variância, desvio padrão e coeficiente de variação.

O coeficiente de variação é de utilização restrita, pois expressa o grau de variabilidade de parâmetros não refletindo o seu significado físico (GROSSI SAD, 1986). O coeficiente de variação apresenta a vantagem de possibilitar a comparação entre propriedades diferentes (WILDING, 1985).

Ao trabalhar com os métodos da estatística clássica, sempre se depara com uma situação onde a

variabilidade do parâmetro medido é muito grande, encara-se isto como uma dificuldade e normalmente, muitos dados deixam de ser publicados por se achar essa variabilidade um erro, mas vários trabalhos foram desenvolvidos dando ênfase à a variabilidade espacial intrínseca do solo na procura de resultados mais precisos e seguros.

Um dos primeiros intentos acerca da variabilidade espacial dos solos foi apresentado por BECKETT & WEBSTER (1971), que mostraram como as variações e coeficientes de variação de diferentes propriedades do solo aumenta à medida que aumenta o tamanho de área amostrada.

A condutividade hidráulica saturada de um solo tem sido medida em condições de campo, tradicionalmente pelo método dos anéis. Trata-se de um método adequado para a maioria das situações, fornecendo, porém, resultados que representam a condutividade do solo contida no permeâmetro. NIELSEN et alii (1973) verificaram a variabilidade espacial desse parâmetro, indicando formas seguras para obtenção de médias representativas de grandes áreas. Esses autores mostram que, dentro de uma área de 150 ha, constituída de solo homogêneo do ponto de vista de classificação, os valores da condutividade hidráulica podem variar de fatores maiores que 100 vezes. Outros parâmetros apresentam também uma variabilidade espacial marcante.

OLIVEIRA et alii (1982), em um levantamento pedológico semi-detalhado, mostram dados para o pH e outras características químicas e físicas do solo. Entre esses

dados, vários têm um coeficiente de variação bem maior que 100%, indicando a necessidade de melhor compreensão das causas da variabilidade.

VAUCLIN et alii (1982) estudaram a variabilidade espacial da temperatura do solo e sua relação com as demais propriedades. MARKOC et alii (1985) também fizeram o mesmo tipo de estudo e fazendo medidas regionalizadas e simultâneas de umidade e temperatura do solo, apresentam uma metodologia para estimar uma em função da outra.

REICHARDT et alii (1984), revelam como a variabilidade espacial da umidade do solo pode ser utilizada com vantagem para estudar a influência da umidade do solo sobre parâmetros de uma cultura agrícola, como a absorção de nutrientes, produtividade e fixação biológica do nitrogênio. Tal trabalho está entre os primeiros que mostram a variabilidade espacial de parâmetros de planta, como uma consequência da variabilidade do solo. Os autores mostram ainda que, na área em questão, sempre considerada como homogênea em experimentos anteriores, o uso de apenas quatro a seis repetições por tratamento é insuficiente para delineamentos estatísticos tradicionais.

VACHAUD et alii (1985), com medidas de umidade do solo, apresentam um estudo da estabilidade temporal da variabilidade espacial das medidas de umidade do solo que determinados pontos de observação de umidade sempre apresentam um desvio mínimo do valor médio do campo experimental, independentemente da época do ano e das

condições de cultura.

Com respeito a medidas de potencial matricial da água no solo pelo uso de tensiômetros, GREMINGER et alii (1985) evidenciam a importância da variabilidade nas leituras e indicam conseqüentes problemas no estabelecimento de curvas características de água no solo obtidos em condições de campo com o auxílio de sonda de nêutrons.

Diversos estudos têm mostrado que a variabilidade de parâmetros físicos e químicos do solo influencia diretamente a produção das culturas, e de acordo com REICHARDT et alii (1986), a variabilidade do solo não é um problema recente, já tendo sido analisada sob vários ângulos distintos. A recente ênfase que lhe foi dada está, principalmente, em ser possível tirar proveito dela, e também pela aplicação de técnicas de análise estatísticas que levam em conta a distribuição espacial permitindo compreender melhor os processos que ocorrem no solo.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Campo experimental

3.1.1. Localização

O experimento foi instalado em uma área com 100x150 m localizada na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", próxima ao Posto Agrometeorológico, do Departamento de Física e Meteorologia, cujas coordenadas geográficas são:

Latitude: 22°42' 30''S

Longitude: 47°38' 00''W

Altitude: 580 m

3.1.2. Clima

Segundo a classificação de Koppen, é do tipo Cwa (Tropical de altitude com estiagem no inverno), com as seguintes médias anuais (OMETTO, 1991):

- Precipitação: 1257 mm, com maior índice no verão (de Novembro a Fevereiro) principalmente com chuvas de alta intensidade e curta duração;

- Temperatura: 21,1°C registrando a mínima na ordem de 16,8°C em Junho e a máxima de 24,7°C em Fevereiro.

- Umidade Relativa: 74 %;

- Velocidade do Vento: 2,2 m/s com direção E/SE predominante.

3.1.3. Solos

O solo da área em estudo, a nível de grande grupo, é classificado como Terra Roxa Estruturada série "Luiz de Queiroz", de acordo com RANZANI et alii (1986). Segundo REICHARDT et alii (1976) esse solo apresenta-se com perfil homogêneo, bastante permeável com lençol freático localizado a vários metros de profundidade, tem topografia ondulada, mas na área de localização da parcela aqui estudada é considerada praticamente plana.

3.1.4. Cultura

A cultura utilizada foi de milho, que é uma monocotiledônea do gênero Zea. O híbrido usado foi o Cargill-510, com espaçamento no solo de 1,0 x 0,2 m.

3.1.5. Sistema de Plantio

O sistema foi do tipo convencional com preparo do solo, semeadura e cultivo. Inicialmente, foi feita uma aração e gradagem e depois um sulcamento mecânico de aproximadamente 5 cm de profundidade. O plantio iniciou-se em 22 de Setembro de 1989.

3.1.6. Instalação dos equipamentos

No campo experimental foi escolhida uma transeção com 25 pontos (parcelas), espaçados de 5 metros, justapostas em linha, totalizando 125 m (Figura 1). Nesses pontos foram instalados, tubos de alumínio para acesso da sonda de nêutrons, até a profundidade de 1,70 m. Para instalação desses tubos foi usado um trado holandês de diâmetro um pouco maior que o do tubo de alumínio.

Para determinação do armazenamento de água foi utilizada a sonda de nêutrons pertencente à Seção de Física de Solos, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP), de fabricação francesa, tipo Solo 25, com fonte Am-Be e atividade 1,48 GBq.

As medidas com a sonda de nêutrons foram feitas nas profundidades de 25, 50, 75, 100, 125, 150 cm a partir da superfície do solo, a cada 15 dias aproximadamente, durante o período de 06 de Setembro/89 a 04 de Janeiro/90. Esses dados permitiram determinar a umidade θ (cm^3/cm^3) no solo através da curva de calibração apresentada por TURATTI et alii (1990):

$$y = - 0,1708 + 0,743656 \cdot CR \quad (1)$$

onde, CR é a contagem relativa ($= CS/CA$); CS é a taxa de contagem no solo; CA é a taxa de contagem na água (constante).

Ao longo da linha dos tubos de acesso para medida com a sonda de nêutrons, foram instalados 25 tensiômetros para medidas em 135 cm de profundidade e outros 25 para 165 cm e distantes horizontalmente a 25 e 50 cm de cada tubo

POSTO METEOROLÓGICO

FIGURA 1 - Área experimental e detalhes da transeção com os tubos de acesso da sonda de nêutrons e dos tensiômetros.

de alumínio. A partir das médias dos potenciais matriciais nestas profundidades foi calculado o gradiente do potencial total de água a 150 cm, durante o mesmo período de tempo que foram feitas as leituras com sonda de neutrons, apenas com intervalos menores, isto é, de 3 a 7 dias.

3.2. Determinações

3.2.1. Evapotranspiração real (ET)

3.2.1.1. Balanço hídrico no campo

Para a determinação da evapotranspiração real, foi utilizado o método do balanço hídrico.

Considerando uma determinada área do solo vegetado, o balanço hídrico em um volume de solo limitado por sua superfície e profundidade (L) do sistema radicular da cultura, durante um intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$ é governado pela lei de conservação das massas. Nessas condições, a equação do balanço hídrico, integrada ao longo de Δt (dias), pode ser escrita:

$$ET = P + I \pm Q_L - R \pm \Delta A_L \quad (2)$$

onde, P é a precipitação pluvial; I é a irrigação; Q_L é o fluxo de água no solo em $Z = L$ (cm); R é o deflúvio superficial ou "run-off"; ΔA_L é a variação do armazenamento de água no solo; e, ET é a evapotranspiração real.

A precipitação (P), representa a quantidade de água por unidade de área, que chega à superfície do solo

(Z=0), a precipitação foi obtida diretamente através da contabilização feita dos dados colhidos por pluviômetro no Posto Agrometeorológico. A irrigação (I), foi estimada através da vazão da bomba e do tempo.

O termo Q_L , representa a integral no período Δt das quantidades de água, por unidade de área, que passam através do limite inferior do volume do solo na profundidade $Z = L$, é denominada de drenagem profunda (DP), quando negativa, e ascensão capilar (AC), quando positiva, e é obtida através da equação de Darcy, que envolve a condutividade hidráulica não saturada do solo e o gradiente de potencial total de água. Portanto, para determinação da drenagem profunda ou da ascensão capilar a 150 cm de profundidade foi utilizada a equação de Darcy, na forma:

$$q = - K(\theta) \frac{\partial \Psi}{\partial Z} \quad (3)$$

onde, q representa a densidade de fluxo de água; $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica; Ψ é a soma dos potenciais matricial e gravitacional, e Z é a coordenada vertical de posição.

Primeiramente, fez-se uso da equação dos tensiômetros para determinação do potencial matricial a 135 e a 165 cm. Os tensiômetros usados foram os do tipo com manômetro de mercúrio.

A expressão simplificada que fornece a tensão da água no ponto (profundidade), ou potencial matricial (Ψ_M), é a seguinte:

$$\Psi_M = -12,6 \times h(\text{Hg}) + h_c + Z \quad (\text{cmH}_2\text{O}) \quad (4)$$

onde, $h(\text{Hg})$ é a altura da coluna do mercúrio; h_c é a altura do nível da cuba de mercúrio em relação à superfície do solo, no caso 30 cm; e, Z é a profundidade (135 cm ou 165 cm).

A partir dos dados do potencial matricial a 135 cm e a 165 cm, calculou-se o potencial mátricial médio pela equação abaixo:

$$\overline{\Psi_M} = \frac{\Psi_M(135) - \Psi_M(165)}{2} \quad (5)$$

Para a determinação do gradiente de potencial total de água a 150 cm, utilizou-se as equações:

$$\text{grad } \Psi_T = \text{grad } \Psi_M + \text{grad } \Psi_0 \quad (6)$$

ou,
$$\text{grad } \Psi_T = \frac{\partial \Psi}{\partial Z} \quad (7)$$

$$\text{grad } \Psi_M = \frac{\partial \Psi_M}{\partial \Psi_Z} = \frac{\Psi_M(135) - \Psi_M(165)}{30} \quad (8)$$

$$\text{grad } \Psi_0 = \frac{\partial \Psi_0}{\partial \Psi_Z} = \frac{\Psi_0(135) - \Psi_0(165)}{30} \quad (9)$$

Para estimar a condutividade hidráulica do solo na profundidade L , como uma função da umidade do solo (θ), foi utilizado o método proposto por LIBARDI et alii (1980), através de dados médios da variação da umidade volumétrica (θ em cm^3/cm^3), e do potencial matricial (Ψ_M , em cmH_2O) em função de tempo, em experimento de

drenagem interna com solo coberto de plástico. PAULETTO (1986), obteve através da regressão linear de $\ln K$ versus $\ln \bar{\Psi}_M$, uma relação para $K(\bar{\Psi}_M)$ dada por:

$$K = 27\ 590\ 994,74 \times \bar{\Psi}_M^{-3,999} \text{ (mm)} \quad (10)$$

que foi utilizada no presente trabalho, no mesmo tipo de solo.

Com os dados de K e do gradiente, em cada data, foram calculadas as densidades de fluxo (q) segundo a equação de Darcy. Como usou-se o potencial em módulo, o critério adotado para o sentido do fluxo foi o seguinte: gradiente negativo, fluxo descendente, resulta em drenagem profunda e gradiente positivo, fluxo ascendente, resulta em ascensão capilar.

A drenagem profunda ou a ascensão capilar obtida através do cálculo de Q_L , foi estimada por integração aproximada, multiplicando-se o fluxo médio pelo número de dias no intervalo de cada período.

$$Q_L = \int_{t_1}^{t_2} q \, dt = \bar{q} \cdot \Delta t \text{ (mm)} \quad (11)$$

O deflúvio superficial ou "run-off" (R) não foi medido, sendo apenas estimado no último período de estudo deixando-o como incógnita na equação do balanço. Para isso, estimou-se a ET pela relação entre o coeficiente de cultura (k_c) e a evaporação do Tanque Classe A (ECA), admitindo-se um $k_c = 0,85$, pois o milho tem por coeficiente de cultura valores entre 0,8 a 0,9 de 120 a 140 dias (REICHARDT, 1990).

O armazenamento de água pelo solo foi determinado

a partir da integração de perfis de umidade do solo até a profundidade de 150 cm. Assim, o armazenamento da água (AL), é dado pela equação abaixo:

$$AL = \int_0^L \theta \, dz \quad \rightarrow \quad A_{150} = \int_0^{150} \theta \, dz \quad (12)$$

onde, θ é a umidade do solo e Z é a coordenada vertical ou profundidade. A integral da equação (12) é simplificada na forma:

$$AL = \bar{\theta} \times L \quad \rightarrow \quad \Delta A_{150} = \bar{\theta} \times 1500 \text{ (mm)} \quad (12a)$$

onde, $\bar{\theta}$ é o valor médio da umidade do solo no intervalo 0 - L. Dessa forma, quanto maior o número de dados entre 0 - L, tanto melhor o valor médio e mais verdadeiro.

A variação do armazenamento ΔAL , para cada período $\Delta t = t_2 - t_1$ foi calculada pela expressão:

$$\Delta AL = AL_F - AL_I \quad (13)$$

AL_F = Armazenamento final

AL_I = Armazenamento inicial

Para estimativa do balanço hídrico foram divididos 07 períodos no intervalo entre 06/SET/1989 a 04/JAN/1990, no qual foram feitas as coletas dos dados. As entradas de água no sistema solo (P + I e AC) foram consideradas como ganhos (+) e as saídas de água (ET e DP) foram consideradas perdas (-).

A evapotranspiração real (ET), foi estimada por diferença, através da equação (2).

3.2.2. Evapotranspiração potencial (ETP)

A estimativa da ETP foi feita para a determinação do coeficiente de cultura do milho, utilizando-se do método do Tanque de Classe A através da expressão:

$$ETP = k_p \cdot ECA \quad (14)$$

onde, ETP é a evapotranspiração potencial (mm/dia); ECA é a evaporação média do Tanque Classe A (mm/dia); k_p é o coeficiente de tanque, função da velocidade média do vento a 2.0 m de altura (Km/dia), umidade relativa média do ar (%) e tipo de exposição do tanque (adimensional). Valores retirados por tabela (DOORENBOS & PRUITT, 1984).

O tanque Classe A foi instalado dentro da área experimental com medidas feitas diariamente. Para a medida da velocidade do vento e umidade relativa do ar, foram utilizados o anemômetro de leitura direta instalado a 2.0 m acima da superfície do solo e o psicrômetro comum, instalado no interior do abrigo, respectivamente. Ambos os instrumentos estão localizados no Posto Agrometeorológico da ESALQ.

3.3.3. Coeficiente de cultura (k_c)

O coeficiente de cultura (k_c) foi obtido através da relação entre a evapotranspiração real (mm/dia) e a evapotranspiração potencial (mm/dia), isto é, $k_c = ET/ETP$.

O coeficiente de cultura, em termos práticos é o valor pelo qual se deve multiplicar a evapotranspiração

potencial para se obter a evapotranspiração máxima ou real da cultura, ou seja, a demanda ideal de água da cultura. O K_c depende do estágio de desenvolvimento da cultura e das condições de vento e umidade relativa do ar. Para a maioria das culturas, o valor de k_c aumenta desde um valor reduzido no momento da emergência, para um valor máximo durante o período em que a cultura alcança seu pleno desenvolvimento e, declina a medida em que amadurece a cultura.

3.3.4. Variabilidade espacial

A variabilidade espacial dos componentes do balanço hídrico e dos valores obtidos para o coeficiente de cultura durante todo o ciclo do milho para os períodos estudados, e nas 25 parcelas foi avaliada através de análises estatísticas clássicas, calculando valores médios, variâncias e coeficientes de variação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Balanço hídrico

Para os sete períodos contabilizados, foram feitas tabelas que apresentam os resultados obtidos dos diversos componentes do balanço hídrico, incluindo valores de parcela por parcela e valores médios. Nelas são indicados o armazenamento inicial (A_i), armazenamento final (A_f), variação do armazenamento (VAR AL ou ΔAL), drenagem profunda ou ascensão capilar no período (QL), evapotranspiração real por período e por dia (ETD). São também apresentados variâncias, desvios padrão e coeficiente de variação.

Os valores da umidade volumétrica para a determinação dos armazenamentos de água no solo, nas 25 parcelas e em seis profundidades, estão apresentados no apêndice 1 e, os valores do potencial matricial, gradientes, condutividade hidráulica e fluxo de água no solo na profundidade $Z = 150$ cm para as 25 parcelas, no período de 06 de Setembro de 1989 a 12 de Dezembro de 1990, estão apresentados no apêndice 2.

4.1.1. Primeiro período (06 a 28/Set/89)

A tabela 1 apresenta o balanço hídrico calculado para as 25 parcelas correspondente ao primeiro período, com $\Delta T = 22$ dias. Nesse período, a quantidade de precipitação foi de 36,1 mm, não tendo havido irrigação.

Observa-se que os armazenamentos inicial e final, são os termos que apresentam a mais baixa variabilidade em seus resultados, obtendo-se um coeficiente de variação (C.V.) de 2,65% e 2,54% respectivamente. Outro aspecto também pode ser observado na figura 2, onde as curvas dos armazenamentos mostram que a variabilidade espacial ocorrida é consistente no tempo, pois os gráficos são praticamente paralelos.

A diferença de armazenamento apresenta uma variabilidade elevada (C.V. = 85%) por ser uma diferença de dois valores grandes, cujos valores oscilam em torno de zero.

Como pode ser observado na figura 3, a maioria das parcelas perderam água, mas algumas ganharam água. A média foi negativa indicando perda de água no solo.

Em QL, ocorreu a maior variabilidade, o C.V. foi superior a 100% atribuindo-se o fato à dificuldade do uso da equação de Darcy para estimativas de fluxos de água em condições de campo. Nota-se que em duas parcelas (7 e 9) os resultados foram positivos indicando a ocorrência de ascensão capilar, enquanto nas parcelas restantes e na média total de QL no período, o fluxo resultante foi de drenagem

TABELA 1 - Balanço hídrico na cultura do milho em 25 parcelas experimentais, correspondente ao primeiro período de 06 a 28/Set/89. (Plantio do milho : 22/set; P + I = 36,1 mm; ΔT = 14 dias).

PARCELA	Ali mm	Alf mm	VAR Al mm	Q1 mm/dia	ET mm/per	ET mm/dia
1	465.0	457.5	-7.5	-0.0456	43.6	1.98
2	480.5	471.0	-9.5	-0.0287	45.6	2.07
3	461.3	455.8	-5.5	-0.0599	41.5	1.89
4	471.8	453.8	-18.0	-0.0333	54.1	2.46
5	457.3	451.0	-6.2	-0.0256	42.3	1.92
6	459.8	454.0	-5.8	-0.0163	41.8	1.90
7	464.0	453.8	-10.3	0.0529	46.4	2.11
8	465.3	458.5	-6.8	-0.0514	42.8	1.95
9	482.5	473.0	-9.5	0.1084	45.7	2.08
10	479.0	472.0	-7.0	-0.0416	43.1	1.96
11	465.3	455.3	-10.0	-0.0246	46.1	2.09
12	465.3	452.0	-13.2	-0.0422	49.3	2.24
13	467.5	457.5	-10.0	-0.0371	46.1	2.09
14	448.3	445.0	-3.2	-0.0227	39.3	1.79
15	458.0	459.3	1.2	-0.0537	34.8	1.58
16	470.0	471.3	1.2	-0.0435	34.8	1.58
17	460.0	459.5	-0.5	-0.0410	36.6	1.66
18	468.8	472.0	3.3	-0.0291	32.8	1.49
19	459.0	454.5	-4.5	-0.0219	40.6	1.84
20	420.3	418.0	-2.3	-0.0552	38.3	1.74
21	452.5	449.0	-3.5	-0.0183	39.6	1.80
22	454.3	454.8	0.5	-0.0362	35.6	1.62
23	455.8	450.3	-5.5	-0.0099	41.6	1.89
24	478.5	476.0	-2.5	-0.0254	38.6	1.75
25	459.5	453.3	-6.3	-0.0137	42.3	1.92
MEDIA	462.76	457.11	-5.65	-0.0246	41.73	1.90
DESV PADR	12.29	11.62	4.81	0.0346	4.82	0.22
VARIANCIA	150.95	135.02	23.12	0.0012	23.21	0.05
COEF VAR	2.65	2.54	85.11	140.54	11.55	11.55

FIGURA 2 - Distribuição espacial do armazenamento de água no solo na camada de 0-150 cm, nas 25 parcelas experimentais. Primeiro período (06 a 28/Set/89).

FIGURA 3 - Distribuição espacial da variação do armazenamento de água no solo na camada de 0-150 cm, nas 25 parcelas experimentais. Primeiro período (06 a 28/Set/89).

profunda, como pode ser visto na figura 4.

Na figura 5, observa-se que a média da ET no período foi de 1,90 mm/dia, sendo o valor máximo obtido de 2,46 mm/dia na parcela 4 e o valor mínimo de 1,49 mm/dia na parcela 18. Essa variabilidade, logicamente é um reflexo da variabilidade dos demais componentes discutidos acima. Apenas a chuva foi tomada como um único valor absoluto, assumindo-se que em uma distância de 125 m sua variabilidade é desprezível. Observa-se também que os valores de ET superiores a média vão desde a parcela 1 à parcela 13, e os inferiores desde a parcela 14 à parcela 25. Mesmo com essa variação, o cálculo final da ET apresenta um coeficiente de variação tolerável de 11,6%.

4.1.2. Segundo período (28/Set a 12/Out/89)

A tabela 2 apresenta os resultados do balanço hídrico correspondente ao segundo período, com $\Delta T = 14$ dias.

A precipitação nesse período foi de 4,2 mm e foram aplicados 50 mm de água (irrigada) por aspersão, estimados a partir da vazão média da bomba, na área experimental. O fato da irrigação não ter sido medida parcela por parcela implica em nova fonte de erro desconhecida que, indubitavelmente afeta os valores finais de ET.

A variabilidade espacial apresenta-se muito pronunciada nos resultados de ΔAL , Q_L e ET. Pode-se verificar claramente que são bastante distintos os valores

FIGURA 4 - Distribuição espacial do fluxo de água no solo na profundidade $Z = 150$ cm, nas 25 parcelas experimentais. Primeiro período (06 a 28/Set/89).

FIGURA 5 - Distribuição espacial da evapotranspiração real, nas 25 parcelas experimentais. Primeiro período (06 a 28/Set/89).

TABELA 2 - Balanço hídrico na cultura do milho em 25 parcelas experimentais, correspondente ao segundo período de 28/Set a 12/Out/89. ($P + I = 54,2$; $\Delta T = 14$ dias).

PARCELA	Ali mm	Alf mm	VAR Al mm	Ql mm/dia	ET mm/per	ET mm/dia
1	457.5	522.3	64.8	-0.1115	-10.7	-0.76
2	471.0	509.8	38.8	-0.0485	15.4	1.10
3	455.8	488.8	33.0	-0.0397	21.2	1.51
4	453.8	485.5	31.8	-0.0247	22.4	1.60
5	451.0	473.0	22.0	-0.0127	32.2	2.30
6	454.0	472.0	18.0	-0.0118	36.2	2.58
7	453.8	460.8	7.0	0.0117	47.2	3.37
8	458.5	495.0	36.5	-0.0313	17.7	1.26
9	473.0	476.0	3.0	0.0028	51.2	3.66
10	472.0	515.5	43.5	-0.1389	10.6	0.75
11	455.3	491.8	36.5	-0.0283	17.7	1.26
12	452.0	477.5	25.5	-0.0399	28.7	2.05
13	457.5	473.3	15.8	-0.0868	38.4	2.74
14	445.0	459.3	14.2	-0.0389	39.9	2.85
15	459.3	469.3	10.0	-0.0273	44.2	3.16
16	471.3	471.0	-0.3	-0.0263	54.4	3.89
17	459.5	456.5	-3.0	-0.0180	57.2	4.08
18	472.0	482.3	10.3	-0.1907	43.8	3.13
19	454.5	479.0	24.5	-0.0095	29.7	2.12
20	418.0	420.8	2.7	-0.0284	51.4	3.67
21	449.0	461.8	12.8	-0.0228	41.4	2.96
22	454.8	450.3	-4.5	-0.0184	58.7	4.19
23	450.3	455.0	4.7	-0.0347	49.4	3.53
24	476.0	477.3	1.2	-0.0129	52.9	3.78
25	453.3	454.3	1.0	-0.0102	53.2	3.80
MEDIA	457.11	475.10	17.99	-0.0399	36.17	2.58
DESV PADR	11.62	21.50	17.03	0.0450	17.05	1.22
VARIANCIA	135.02	462.45	290.17	0.0020	290.78	1.48
COEF VAR	2.54	4.53	94.69	112.84	47.14	47.14

obtidos para as parcelas distribuídas espacialmente com 5 metros de distância uma da outra e como é revelado nos coeficientes de variação. Um dos motivos que contribuiu para essa alta variabilidade está na aplicação de água por irrigação que é variável de aspersor para aspersor.

Na figura 6 observa-se a variabilidade ocorrida no armazenamento inicial e final na distribuição para as 25 parcelas. Vê-se que a maior variação de armazenamento reside nas primeiras parcelas (1 a 16) enquanto que, nas parcelas seguintes os dados estão razoavelmente próximos.

Nesse período, em média, o solo ganhou água, pois a média de ΔAL foi positiva de 18 mm, com uma variância de 290,17 mm², sendo o valor máximo obtido na primeira parcela e o mínimo na parcela 22. O C.V. foi 94%. Este fato já indica uma distribuição heterogênea da água de irrigação que deve ter descrecido ao longo da linha de aspersores que coincidiu com a linha da transeção.

A variação do armazenamento de água no solo apresenta irregularidades em seus valores, principalmente como foi observado na parcela 1, na qual pode ter havido um possível acúmulo de água. A figura 7 apresenta o gráfico da distribuição espacial de ΔAL .

A maior variabilidade continua sendo em Q_L (C.V. > 100%), persistindo o fluxo de drenagem profunda indicando assim a importância relativa dessa componente, pois de acordo com VAUCHAUD et alii (1973), ela nem sempre é desprezível podendo constituir 30% ou mais do balanço

FIGURA 6 - Distribuição espacial do armazenamento de água no solo na camada de 0-150 cm, nas 25 parcelas experimentais. Segundo período (28/Set a 12/Out/89).

FIGURA 7 - Distribuição espacial da variação do armazenamento de água no solo na camada de 0-150 cm, nas 25 parcelas experimentais. Segundo período (28/Set a 12/Out/89).

hídrico total. Na variação de Q_L (figura 8), as parcelas 7 e 9 continuaram com resultados positivos, implicando em fluxo de ascensão capilar.

Em função dos valores obtidos para ΔA_L e da irrigação, a ET neste período apresenta alguns resultados inviáveis. Há, como consequência, uma grande variabilidade nos valores de ET para as 25 parcelas com um coeficiente de variação de 47%. A figura 9 apresenta a distribuição espacial da evapotranspiração real.

4.1.3. Terceiro período (12 a 25/Out/89)

A tabela 3 apresenta os resultados do balanço hídrico correspondente ao terceiro período, com $\Delta T = 13$ dias. A precipitação foi de 3,1 mm e foram aplicados mais 60 mm de água por irrigação (aspersão) na área. As mesmas considerações feitas sobre a irrigação são aqui também válidas.

Os coeficientes de variação dos armazenamentos inicial e final foram 4,53% e 4,67%, respectivamente, o que pouca relativa variabilidade espacial dentro das 25 parcelas.

Na figura 10 é apresentado o comportamento das duas curvas. As tendências das curvas mostram segmentos bem parecidos no aumento e decréscimo do armazenamento conforme a distribuição da água no solo ocorrida com a irrigação. Da parcela 9 à 12 há uma semelhança mais acentuada nos valores

FIGURA 8 - Distribuição espacial do fluxo de água no solo na profundidade $Z = 150$ cm, nas 25 parcelas experimentais. Segundo período (28/Set a 12/Out/89).

FIGURA 9 - Distribuição espacial da evapotranspiração real, nas 25 parcelas experimentais. Segundo período (28/Set a 12/Out/89).

TABELA 3 - Balanço hídrico na cultura do milho em 25 parcelas experimentais, correspondente ao terceiro período de de 12 a 25/Out/89. (P + I = 63,1; ΔT = 13 dias).

PARCELA	Ali mm	Alf mm	VAR Al mm	Q1 mm/dia	ET mm/per	ET mm/dia
1	522.3	523.5	1.3	-0.4962	61.4	4.72
2	509.8	528.3	18.5	-0.9238	43.7	3.36
3	488.8	499.3	10.5	-0.3872	52.2	4.02
4	485.5	518.0	32.5	-0.0486	30.6	2.35
5	473.0	495.8	22.8	0.1217	40.5	3.11
6	472.0	498.8	26.8	-0.7573	35.6	2.74
7	460.8	470.5	9.8	-0.0132	53.3	4.10
8	495.0	531.3	36.3	-0.4087	26.4	2.03
9	476.0	476.8	0.8	-0.0176	62.3	4.79
10	515.5	510.0	-5.5	-0.3481	68.3	5.25
11	491.8	493.8	2.0	-0.0948	61.0	4.69
12	477.5	478.5	1.0	-0.0345	62.1	4.77
13	473.3	483.5	10.2	-0.1161	52.7	4.06
14	459.3	465.3	6.0	-0.2194	56.9	4.38
15	469.3	470.3	1.0	-0.0772	62.0	4.77
16	471.0	478.8	7.8	-0.0831	55.3	4.25
17	456.5	464.5	8.0	-0.0135	55.1	4.24
18	482.3	504.8	22.5	-0.3063	40.3	3.10
19	479.0	497.8	18.7	-0.0560	44.3	3.41
20	420.8	436.0	15.3	-0.0753	47.8	3.67
21	461.8	486.8	25.0	-0.0266	38.1	2.93
22	450.3	494.0	43.8	-0.1005	19.2	1.48
23	455.0	461.3	6.3	-0.1029	56.7	4.37
24	477.3	484.8	7.5	-0.0134	55.6	4.28
25	454.3	461.8	7.5	-0.0103	55.6	4.28
MEDIA	475.10	488.54	13.44	-0.1844	49.48	3.81
DESV PADR	21.50	22.81	12.20	0.2440	12.23	0.94
VARIANCIA	462.45	520.36	148.79	0.0595	149.68	0.89
COEF VAR	4.53	4.67	90.76	132.35	24.73	24.73

obtidos.

Nesse período o solo continuou ganhando água, a média total de ΔAL foi de 13,44 mm no período, mas a distribuição da água foi irregular conforme pode ser avaliado na figura 11, onde a dispersão dos dados em torno da média continua alta (desvio padrão = 12,2 mm), e C.V. 90,76%. É importante frisar as diferenças que ocorrem nos valores de ΔAL para as 25 parcelas que é alta. Enquanto na parcela 10 ocorreu perda de água de -5,5 mm, na parcela 22 houve um ganho de 43,8 mm.

Nesse período, os dados de Q_L e ET apresentam uma menor variabilidade espacial em relação ao período anterior. O fluxo médio de água no solo foi de drenagem profunda, ocorrendo apenas na parcela 5 fluxo de ascensão capilar. O C.V. é igual a 132,35%. A distribuição espacial de Q_L é representada na figura 12.

O cálculo final da ET apresenta um coeficiente de variação de aproximadamente 25% e a dispersão dos dados em relação a média é representada no gráfico da figura 13.

4.1.4. Quarto período (25/Out a 09/Nov/89)

A tabela 4 apresenta o balanço hídrico correspondente ao quarto período, com $\Delta T = 15$ dias. A precipitação ocorrida foi cerca de 39,4 mm e a irrigação de 30 mm.

Na figura 14 é apresentado o gráfico da

FIGURA 10- Distribuição espacial do armazenamento de água no solo na camada de 0-150 cm, nas 25 parcelas experimentais. Terceiro período (12 a 25/Out/89).

FIGURA 11- Distribuição espacial da variação do armazenamento de água no solo na camada de 0-150 cm, nas 25 parcelas experimentais. Terceiro período (12 a 25/Out/89).

FIGURA 12- Distribuição espacial do fluxo de água no solo na profundidade $Z = 150$ cm, nas 25 parcelas experimentais. Terceiro período (12 a 25/Out/89).

FIGURA 13- Distribuição espacial da evapotranspiração real, nas 25 parcelas experimentais. Terceiro período (12 a 25/Out/89).

TABELA 4 - Balanço hídrico na cultura do milho em 25 parcelas experimentais, correspondente ao quarto período de 25/Out a 09/Nov/89. (P + I = 69,4; ΔT = 15 dias).

PARCELA	Ali mm	Alf mm	VAR Al mm	Q1 mm/dia	ET mm/per	ET mm/dia
1	523.5	490.3	-33.3	-0.1688	102.5	6.83
2	528.3	505.5	-22.7	-1.4094	90.7	6.05
3	499.3	483.0	-16.3	-0.4167	85.2	5.68
4	518.0	465.5	-52.5	-0.0654	121.8	8.12
5	495.8	474.3	-21.5	-0.0631	90.8	6.06
6	498.8	468.5	-30.3	-0.7136	98.9	6.60
7	470.5	456.0	-14.5	-0.3402	83.6	5.57
8	531.3	490.0	-41.3	-0.3183	110.3	7.36
9	476.8	468.0	-8.8	-0.0070	78.1	5.21
10	510.0	496.5	-13.5	-0.5201	82.4	5.49
11	493.8	466.8	-27.0	-0.2217	96.2	6.41
12	478.5	458.8	-19.8	-0.0350	89.1	5.94
13	483.5	453.8	-29.7	-0.0168	99.1	6.61
14	465.3	449.5	-15.7	-0.2095	84.9	5.66
15	470.3	448.0	-22.2	-0.0880	91.6	6.10
16	478.8	468.3	-10.5	-0.1770	79.7	5.31
17	464.5	446.3	-18.2	-0.0247	87.6	5.84
18	504.8	471.8	-33.0	-0.1553	102.2	6.82
19	497.8	475.5	-22.2	-0.1341	91.5	6.10
20	436.0	421.0	-15.0	-0.1460	84.3	5.62
21	486.8	455.0	-31.8	-0.0595	101.1	6.74
22	494.0	478.3	-15.7	-0.1859	85.0	5.66
23	461.3	440.0	-21.3	-0.0898	90.6	6.04
24	484.8	473.3	-11.5	-0.0030	80.9	5.39
25	461.8	454.8	-7.0	-0.0135	76.4	5.09
MEDIA	488.54	466.33	-22.21	-0.2233	91.39	6.09
DESV PADR	22.81	18.53	10.48	0.2960	10.47	0.70
VARIANCIA	520.36	343.54	109.91	0.0876	109.69	0.49
COEF VAR	4.67	3.97	47.20	132.58	11.46	11.46

distribuição espacial dos armazenamentos inicial e final. Nota-se que de acordo com o C.V. obtido para o armazenamento final, a variabilidade é menor, porém em ambos os casos considera-se a variabilidade pequena.

A variação do armazenamento é apresentada na figura 15, os dados representados estão variando próximos a média, ocorrendo um maior afastamento nas parcelas 4 e 8. O C.V. foi de 47%.

Nesse período ocorreu perda de água no solo nas 25 parcelas por drenagem profunda e a variabilidade ocorrida foi alta (C.V. = 132,58%), como pode ser demonstrada através da figura 16 na qual o índice maior dessa variabilidade é evidenciado nas dez primeiras parcelas, principalmente na segunda parcela.

O coeficiente de variação da ET apresentou um resultado razoável (C.V. = 11%) mesmo diante da variabilidade ocorrida nos seus resultados nas 25 parcelas, como também, para os outros elementos do balanço hídrico. A distribuição espacial da ET é apresentada na figura 17.

4.1.5. Quinto período (09 a 23/Nov/89)

A tabela 5 apresenta os resultados do balanço hídrico correspondente ao quinto período, com $\Delta T = 14$ dias. A precipitação foi de 81,7 mm não havendo irrigação.

O fato de não ter havido irrigação, torna este período como sendo o melhor para a discussão das implicações

FIGURA 14- Distribuição espacial do armazenamento de água no solo na camada de 0-150 cm, nas 25 parcelas experimentais. Quarto período (25/Out a 09/Nov/89).

FIGURA 15- Distribuição espacial da variação do armazenamento de água no solo na camada de 0-150 cm, nas 25 parcelas experimentais. Quarto período (25/Out a 09/Nov/89).

FIGURA 16- Distribuição espacial do fluxo de água no solo na profundidade $Z = 150$ cm, nas 25 parcelas experimentais. Quarto período (25/Out a 09/Nov/89).

FIGURA 17- Distribuição espacial da evapotranspiração real, nas 25 parcelas experimentais. Quarto período (25/Out a 28/Set/89).

da variabilidade dos demais componentes do balanço hídrico, na estimativa de ET.

A variabilidade do armazenamento é baixa para as 25 parcelas. Os baixos valores de C.V. obtidos em todos os períodos até esse, são decorrentes do fato de que os armazenamentos estimados até 150 cm são uma média dos 25 valores obtidos ao longo da transeção nas seis profundidades estudadas. A figura 18 apresenta a distribuição espacial dos dados dos armazenamentos.

Nesse período a maior variabilidade espacial ocorreu nos valores de ΔAL . Pelo fato dos valores médios serem muito baixos, o C.V. está exageradamente alto. Nota-se valores positivos e negativos nas 25 parcelas, implicando numa média menor que zero. Isso indica a necessidade de um grande número de repetições ou parcelas de valores médios representativos. A figura 19 apresenta a distribuição espacial de ΔAL nas 25 parcelas.

O solo continuou a perder água por drenagem profunda e a variabilidade do fluxo foi grande (C.V. = 98,62%) nas 25 parcelas, conforme é apresentado na figura 20.

Em contradição com a variabilidade ocorrida nos outros elementos, a ET apresenta um C.V. razoável (C.V. = 9%). A distribuição espacial da ET é representada na figura 21 para as 25 parcelas.

TABELA 5 - Balanço hídrico na cultura do milho em 25 parcelas experimentais, correspondente ao quinto período de 09/Nov a 23/Nov/89. ($P + I = 81,7$; $\Delta T = 14$ dias).

PARCELA	Ali mm	Alf mm	VAR Al mm	Q1 mm/dia	ET mm/per	ET mm/dia
1	490.3	488.5	-1.7	-0.2031	83.2	5.95
2	505.5	504.3	-1.3	-0.6298	82.3	5.88
3	483.0	485.0	2.0	-0.2973	79.4	5.67
4	465.5	467.0	1.5	-0.0248	80.2	5.73
5	474.3	470.5	-3.8	-0.1589	85.3	6.09
6	468.5	475.0	6.5	-0.2816	74.9	5.35
7	456.0	452.3	-3.8	-0.1275	85.3	6.09
8	490.0	499.5	9.5	-0.2135	72.0	5.14
9	468.0	466.8	-1.3	-0.0039	82.9	5.92
10	496.5	492.5	-4.0	-0.3331	85.4	6.10
11	466.8	466.5	-0.2	-0.1867	81.8	5.84
12	458.8	481.0	22.3	-0.0150	59.4	4.25
13	453.8	458.5	4.7	-0.4870	76.5	5.46
14	449.5	458.3	8.7	-0.0718	72.9	5.21
15	448.0	454.3	6.2	-0.0550	75.4	5.39
16	468.3	464.0	-4.3	-0.1518	85.8	6.13
17	446.3	441.8	-4.5	-0.0320	86.2	6.15
18	471.8	468.0	-3.8	-0.0781	85.4	6.10
19	475.5	479.0	3.5	-0.1370	78.1	5.58
20	421.0	412.3	-8.8	-0.1436	90.3	6.45
21	455.0	455.5	0.5	-0.0782	81.1	5.79
22	478.3	465.5	-12.8	-0.1702	94.3	6.73
23	440.0	441.5	1.5	-0.0667	80.1	5.72
24	473.3	466.0	-7.3	-0.0026	88.9	6.35
25	454.8	444.5	-10.3	0.0546	92.0	6.57
MEDIA	466.33	466.31	-0.02	-0.1558	81.56	5.83
DESV PADR	18.53	19.75	7.17	0.1536	7.18	0.51
VARIANCIA	343.54	390.04	51.45	0.0236	51.57	0.26
COEF VAR	3.97	4.24	35864.19	98.62	8.80	8.80

FIGURA 18- Distribuição espacial do armazenamento de água no solo na camada de 0-150 cm, nas 25 parcelas experimentais. Quinto período (09 a 23/Nov/89).

FIGURA 19- Distribuição espacial da variação do armazenamento de água no solo na camada de 0-150 cm, nas 25 parcelas experimentais. Quinto período (09 a 23/Nov/89).

FIGURA 20- Distribuição espacial do fluxo de água no solo na profundidade $Z = 150$ cm, nas 25 parcelas experimentais. Quinto período (09 a 23/Nov/89).

FIGURA 21- Distribuição espacial da evapotranspiração real, nas 25 parcelas experimentais. Quinto período (09 a 23/Nov/89).

4.1.6. Sexto período (23/Nov a 12/Dez/89)

A tabela 6 apresenta o balanço hídrico correspondente ao sexto período, com $\Delta T = 19$ dias. A precipitação foi de 49 mm e não houve irrigação.

Considerando que a quantidade de precipitação ocorrida nesse período não foi suficiente para reabastecer o perfil de água no solo e consequentemente a umidade no mesmo, o solo apresentou-se muito seco com a maioria dos tensiômetros "estourados", sendo apenas possível obter dados em 5 parcelas para efetuar o balanço hídrico nesse período.

Na variação de ΔAL ocorreu perda de água no solo por ascensão capilar de acordo com os valores obtidos em Q_L . Os C.V. de ΔAL e Q_L apresentam-se altos e o de ET satisfatório com apenas 5% de variação.

4.1.7. Sétimo período (12/Dez/89 a 04/Jan/90)

A tabela 7 apresenta o balanço hídrico correspondente ao sétimo período, com $\Delta T = 23$ dias. A precipitação foi de 252,7 mm não havendo irrigação.

Continuando o solo nas mesmas condições do sexto período, os resultados médios obtidos para esse período nas 5 parcelas apresentam como no caso de ΔAL uma taxa média do armazenamento de água no solo muito alta resultando em grande acúmulo de água no solo e na ocorrência de run-off devido a grande quantidade de precipitação ocorrida.

TABELA 6 - Balanço hídrico na cultura do milho em 25 parcelas experimentais, correspondente ao sexto período de 23/Nov a 12/Dez/89. ($P + I = 49,0$; $\Delta T = 19$ dias).

PARCELA	Ali mm	Alf mm	VAR Al mm	Q1 mm/dia	ET mm/per	ET mm/dia
1						
2						
3						
4	467.0	446.8	-20.3	0.0336	69.3	3.65
5						
6						
7	452.3	427.0	-25.3	0.0000	74.3	3.91
8						
9						
10						
11						
12	481.0	459.5	-21.5	0.0126	70.5	3.71
13						
14						
15						
16						
17	441.8	422.3	-19.5	0.0023	68.5	3.61
18						
19	479.0	449.8	-29.3	0.0382	78.3	4.12
20						
21						
22						
23						
24						
25						
MEDIA	464.20	441.05	-23.15	0.0173	72.17	3.80
DESV PADR	15.20	14.14	3.64	0.0158	3.64	0.19
VARIANCIA	231.19	199.89	13.22	0.0002	13.26	0.04
COEF VAR	3.28	3.21	15.70	91.12	5.05	5.05

TABELA 7 - Balanço hídrico na cultura do milho em 25 parcelas experimentais, correspondente ao sétimo período de 12/Dez/89 a 04/Jan/90. ($P + I = 252,7$; $\Delta T = 23$ dias).

PARCELA	Ali mm	Alf mm	VAR Al mm	ET mm/per	ET mm/dia	R mm
1						
2						
3						
4	446.8	551.3	104.5	73.2	3.2	75.0
5						
6						
7	427.0	542.4	115.4	73.2	3.2	64.1
8						
9						
10						
11						
12	459.5	547.7	88.2	73.2	3.2	91.3
13						
14						
15						
16						
17	422.3	546.2	124.0	73.2	3.2	55.6
18						
19	449.8	549.6	99.9	73.2	3.2	79.6
20						
21						
22						
23						
24						
25						
MEDIA	441.05	547.44	106.39	73.20	3.18	73.11
DESV PADR	14.14	3.05	12.38	0.00	0.00	12.38
VARIANCIA	199.89	9.31	153.31	0.00	0.00	153.31
COEF VAR	3.21	0.56	11.64	0.00	0.00	16.94

A variação do run-off, calculado através do balanço hídrico utilizando uma estimativa de ET pela relação entre k_c e ECA, é apresentada pelo C.V. de aproximadamente 17%.

4.2. Coeficiente de cultura (k_c)

A tabela 8 apresenta os valores da razão ET/ETP , conhecida como coeficiente de cultura (k_c), nas 25 parcelas durante todo o ciclo do milho.

A variabilidade ocorrida nos valores de k_c para as 25 parcelas nos 5 períodos estudados, os quais se limitam da fase de emergência à fase reprodutiva da cultura, é essencialmente a variabilidade de ET na qual estão imbutidos o efeito do desenvolvimento da planta e de fatores do solo.

No período 1, nota-se que a variabilidade é pequena o que pode ser atribuído ao fato do solo estar completamente descoberto e por haver mais uniformidade em suas características (componentes do balanço) e por não ter sofrido diretamente possíveis alterações geradas com o desenvolvimento da cultura.

A variabilidade espacial aumenta no período 2 em consequência da fase "intermediária" que o solo se encontra, pois neste a cultura ainda está com pouquíssima área foliar. É importante lembrar que parte desta variabilidade é devida à irrigação que, como já comentado não foi devidamente

TABELA 8 - Valores de kc nas 25 parcelas experimentais, obtidos obtidos durante os estádios vegetativo e reprodutivo do milho. (Período de 06/Set a 23/Nov/89, 78 dias).

PARCELAS	kc PERIODO01	kc PERIODO02	kc PERIODO03	kc PERIODO04	kc PERIODO05
1	0.61	--	1.20	1.43	1.51
2	0.64	0.37	0.85	1.27	1.50
3	0.58	0.51	1.02	1.19	1.44
4	0.76	0.54	0.60	1.70	1.46
5	0.59	0.77	0.79	1.27	1.55
6	0.59	0.87	0.69	1.38	1.36
7	0.65	1.13	1.04	1.17	1.55
8	0.60	0.43	0.51	1.54	1.31
9	0.64	1.23	1.21	1.09	1.51
10	0.58	0.25	1.33	1.15	1.55
11	0.65	0.43	1.19	1.35	1.49
12	0.69	0.69	1.21	1.25	1.08
13	0.65	0.92	1.03	1.39	1.39
14	0.55	0.96	1.11	1.19	1.33
15	0.49	1.06	1.21	1.28	1.37
16	0.49	1.31	1.08	1.11	1.56
17	0.51	1.37	1.07	1.23	1.57
18	0.46	1.05	0.79	1.43	1.55
19	0.57	0.71	0.86	1.28	1.42
20	0.54	1.23	0.93	1.18	1.64
21	0.56	0.99	0.74	1.41	1.48
22	0.50	1.41	0.37	1.19	1.72
23	0.58	1.19	1.10	1.27	1.46
24	0.54	1.27	1.08	1.13	1.62
25	0.59	1.28	1.08	1.07	1.67
MEDIA	0.58	0.88	0.96	1.28	1.48
DESV PADR	0.07	0.38	0.24	0.15	0.13
VARIANCIA	0.005	0.147	0.057	0.021	0.017
CDEF VAR	11.56	43.62	24.81	11.45	8.81

controlada. Na medida que a cobertura foliar aumenta, a variabilidade decresce compreendendo mais homogeneidade nos resultados obtidos como é observado nos períodos 3 e 4, apesar do problema da irrigação.

O período 5, confirma esse fato, pois a variação nas 25 parcelas é a menor. Observa-se nos valores médios de k_c um aumento a partir de um valor reduzido, no momento da emergência da cultura para um valor valor máximo durante o período em que a cultura alcança seu pleno desenvolvimento e declina a medida que amadurece a cultura. O estágio de amadurecimento do milho não foi alcançado neste trabalho pela falta de importância da ET nesta fase.

A distribuição espacial do k_c nas 25 parcelas dentro dos 5 períodos é apresentada nas figuras 22, 23, 24 25 e 26.

FIGURA 22- Distribuição espacial do Coeficiente de cultura (kc) nas 25 parcelas experimentais. Primeiro período (06 a 28/Set/89).

FIGURA 23- Distribuição espacial do Coeficiente de cultura (kc) nas 25 parcelas experimentais. Segundo período (28/Set a 12/Out/89).

FIGURA 24- Distribuição espacial do Coeficiente de cultura (kc) nas 25 parcelas experimentais. Terceiro período (12 a 25/Out/89).

FIGURA 25- Distribuição espacial do Coeficiente de cultura (kc) nas 25 parcelas experimentais. Quarto período (25/Out a 09/Nov/89).

FIGURA 26- Distribuição espacial do Coeficiente de cultura (kc) nas 25 parcelas experimentais. Quinto período (09 a 23/Nov/89).

5. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos em função da metodologia empregada e pela análise e discussão apresentada, pode-se concluir que:

a) a variabilidade espacial ocorrida nos resultados dos parâmetros do balanço hídrico é grande enfatizando assim a necessidade de um número maior de repetições para que os valores médios sejam mais representativos;

b) o armazenamento de água no solo, tem pequena variabilidade espacial, mas suas diferenças (ΔAL) apresentam coeficientes de variação muito altos e que podem afetar sensivelmente o estabelecimento de balanços hídricos;

c) o fluxo de drenagem profunda foi considerado como sendo um dos componentes que mais foi influenciado pela variabilidade espacial, com coeficientes de variação na maioria superiores a 100%;

d) a ET através de seus valores médios apresentou-se como sendo o parâmetro menos afetado pela variabilidade espacial, pois seus coeficientes de variação não ultrapassaram a 50%, expressando a demanda da água pela cultura do milho de forma confiável;

e) os coeficientes de cultura obtidos durante o

ciclo da cultura do milho foram: 0,58 na fase de emergência; 1,04 como média dos períodos 2, 3 e 4 considerados como fase vegetativa do milho e 1,48 na fase reprodutiva da cultura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREATA, J. A. Determinação da razão entre a evapotranspiração máxima de dois cultivares de milho (*Zea mays*. L.) e a evapotranspiração potencial. Botucatu, 1990. 94p. (Mestrado - Faculdade de Ciências Agrárias/UNESP)

BARRADA, Y. Water balance studies. *Boletim técnico*. FAO, Roma (13): 90-96, 1971.

BARROS FERRAZ, E. S. Determinação da evapotranspiração real pela moderação de nêutrons. Piracicaba, 1968. 48p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz"/ESALQ)

BECKETT, P. H. T. & WEBSTER, R. Soil variability review. *Soils and Fertilizers*, Farnham Royal, 34(1): 1-15. Feb. 1976.

BELCHER, D. J.; CUYKENDALL, T.R. & SACK, H. S. The measurement of soil moisture and density by neutron and gamma-ray scattering. Civil Aeron. Sech. Div. Washington, D. C., 1950. (Rept. 127).

BRUNINI, O.; GROHMANN F. & SANTOS J. M. dos. Balanço hídrico em condições de campo para dois cultivares de arroz sob duas densidades de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 5(1): 1-6, 1981.

CASTRO, P. T. Evapotranspiração atual e potencial de uma cultura de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, 1979. 61p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

COUCHAT, P. Determination of calibration curve for the neutron moisture meter by chemical soil analysis. In: Isotopes and radiation techniques in soil physics and irrigation studies. FAO/IAEA Symp., Istambul, Jan. 12-16. 1967. pag. 67-82.

CRUCIANI, D. E. Balanço hídrico em solo cultivado com cana-de-açúcar. *Boletim Científico*, 6. Centro de Energia Nuclear da Agricultura, Piracicaba, SP, 35p. 1972.

DALE, R. F. The climatology of soil moisture, evaporation and non-moisture stress days for corn in Iowa. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, 5: 111-28, 1968.

DOORENBOS, J. & KASSAM, A. H. Yield response to water.

- Boletim Técnico*, 33. FAO, Roma. 193p. 1979.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. Crop water requirements.
Boletim Técnico, 24. FAO, Roma. 144p. 1984.
- DOWNEY, L. A. Water-yield relation for nonforage crops.
J. of Irrig and Drain, 98: 107-115, 1972.
- GROSSI SAD. J. H. *Fundamentos sobre a variabilidade dos depósitos minerais*. Rio de Janeiro, DNPM/CPRM-GEOSOL, 1986. 141p.
- EAGLEMAN, J. R. An experimentally derived model for actual evapotranspiration. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, 8: 385-94, 1971.
- GARDNER, W. R. Water content: an review. In: *Proceedings of International Conference on Measurement of Soil and Plant Water Status*. Vol. 1 - Soils. Logan. 1987. p. 7-9.
- GREMINGER, P. J.; SUD, Y. K. & NIELSEN, D. R. Spatial variability of field-measured, soil-water characteristics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 1075-1082, 1985.
- HOLMES, J. W. & JENQUINSON, A. F. Technique for using the

neutron moisture meter. *Jour. of Agril. Engg. Res.*,
3: 199-201, 1959.

HOLMES, J. W. Influence of bulk density of soil on the
neutron meter calibration. *Soil Sci.*, Baltimore, 102:
355-360, 1966.

JENSEN, M. E. *Consumptive use of water an irrigation
water requeriments*. New York, American Society of
Civil Engineers, 1973. 215p.

LAL, R. The effect of soil texture and density on the
neutron and density probe calibration for tropical
soils. *Soil Sci.*, Baltimore, 177: 183-190, 1974.

LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W.
Simplifield field methods for estimating the
unsaturated hidraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am.*
J., 44(1): 3-6, 1980.

Mc HENRY, J. R. & GILL, A. C. The influence of bulk
density, slow neutron absorber and time on the
calibration of neutron soil moisture probes. In:
*Isotopes and radiation techniques in soil physics and
irrigation studies*, FAO/IAEA Symp. Istambul, Jan.
12-16. 1967. pag. 83-97.

MORKOC, F.; BIGGAR, J. W.; NIELSEN, D. R. & ROLSTON, D. E.

Analysis of soil water and temperature using state-space approach. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 49(4): 798-803, 1985.

NIELSEN, D. R. & BIGGAR, J. W. Spatial variability of soil water properties. *Hilgardia*, 42(1): 252-263, 1973.

OLIVEIRA, J. B.; MENK, J. R. F.; BARBIERI, J. L.; ROTTA, C. L. & TREMOCOLDI, W. Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras. *Boletim Técnico*, 72. Instituto Agrônomo de Campinas, SP. 180p. 1982.

OMETTO, J. C. Registros e estimativas dos parâmetros meteorológicos da região de Piracicaba, SP. FEALQ, 1991. 76p.

ORTOLONI, A. A. & CAMARGO, M. B. P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O. & YAMADA, T., ed. *Ecofisiologia da produção agrícola*. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p.71-81.

PAULETTO, E. A. Determinação da condutividade hidráulica de solos a partir da curva de retenção de água. Piracicaba, 1986. 133p. (Doutorado - Escola Superior

de Agricultura "Luiz de Queiroz")/USP)

PEREIRA, A. R.; FERRAZ, E. S. B.; REICHARDT, K. & LIBARDI, P. L. Estimativa da evapotranspiração consuntiva e da drenagem profunda em cafezais cultivados em solos podzolizados Lins-Marília. *Boletim Científico* 9. CENA, Piracicaba, SP. 13p. 1974.

PEREIRA, A. R. Balanço hídrico de um solo podzolizado de Lins e Marília cultivado com cafeeiros. *Bragantia*, Campinas, 45(2): 239-247, 1986.

REICHARDT, K. *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera*. Fundação Cargil, Campinas, 1985. 485p.

REICHARDT, K. *A água em sistemas agrícolas*. Editora Manole LTDA, São Paulo, 1990. 188p.

REICHARDT, K.; KIRDA, C.; ZAPATA, F.; HARDARSON, G. & AXMANN, H. Evaluation of soil-water and plant nitrogen status by nuclear techniques. In: *Proceedings of the Regional Workshop on Nuclear Techniques in Crop production*. Piracicaba, CENA, 1984. p.239-246.

REICHARDT, K. & LIBARDI, P.L. An analysis of soil water movement in the field: I - Hidrological field site

- characterization. *Boletim Técnico*, 21. CENA, Piracicaba, SP. 1974.
- REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R. & LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 10(1): 1-6, 1986.
- ROSE, C. W. *Agricultural physics*. Oxford, Pergamon Press, 1966. 230p.
- SAXTON, K. E.; JOHNSON, H. P. & SHAW, R. H. Watershed evapotranspiration estimated by the combination method. *Transactions of the ASAE*, 17: 668-72, 1974.
- SLATYER R. O. *Plant-water relationships*. New York, Academic Press, 1967. 366p.
- SILVA, A. P. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo. Piracicaba, 1988. 105p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- STONE, L. R.; HORTON, M. L. & OLSON, T. C. Water loss from and irrigated sorghum field: I - Water flux within bellow root zone. *Agron. J.* 1973, 65:492-495.
- THORNTHWAITTE, C. W. & MATHER, J. R. *The water balance*.

- Publs. clim., Drexel Inst. Technol., Centerton, N. J.,*
8 (1): 104, 1955.
- TURATTI, A. L. Variabilidade do armazenamento de água em terra roxa estruturada. Piracicaba, 1990. 88p.
 (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- TURATTI, A. L.; VILLAGRA, M. M.; PONCE, J. E.; BACHI, O.O.S.; REICHARDT, K. Variabilidade espacial do solo e sua implicação na calibração de sonda de neutrons. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 1990.
- VAUCHAD, G.; TEHEL, J.; ROYER, J. M. & BOCA LATO. Controle automatimatique "in situ" des transferte d'eau das la zone non saturée. In: I.A.E.A. *Isotope and radiation techniques in soil physics and irrigation studies*. Viena, 1973. p.1-5.
- VACHAUD, G.; PASSERAT, De; SILANS, A.; BALABANIS, P. & VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 49: 822-828, 1985.
- VAN BAVEL, C. H. M. A nomogram to estimate maximum evapotranspiration. Raleigh, North Carolina St. College. 1956. 6p.

VAUCLIN, M. ; VIEIRA, S. R. ; BERNARD, R. & HATFIELD, J. L.

Spatial variability of surface temperature along two transects of a bare soil. *Water Res.*, Oxford, 18: 1677-1686, 1982.

VILLA NOVA, N. A. *Principais métodos climatológicos de estimativa de aplicação da água de irrigação.* Piracicaba, ESALQ, Departamento de Física e Meteorologia, 1982. 21p.

WILDING, L. P. Spatial variability its documentation accommodation and implication to soil surveys. In: Workshop of the issi and the sssa. Las Vegas, 1984. *Soil Spatial Variability*; proceedings Netherlands. 1985. p.166-194.

ZAKIA, M. J. B. O balanço hídrico, levando-se em conta o sistema solo-planta-atmosfera de quatro tipos de coberturas vegetais na região de Grão Mogol, MG. Piracicaba, 1987. 136p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

APÉNDICE 1

TABELA 01 - Valores de umidade volumétrica (cm^3/cm^3) e armazenamento de água no solo (mm) no dia 06/09/89 para os 25 pontos e 6 profundidades.

PONTOS	25 CR	50 CR	75 CR	100 CR	125 CR	150 CR	0. MED	ARMAZ
1	0.308	0.333	0.324	0.311	0.295	0.289	0.310	465.0
2	0.325	0.343	0.336	0.304	0.304	0.310	0.320	480.5
3	0.317	0.311	0.308	0.314	0.296	0.299	0.308	461.3
4	0.364	0.332	0.304	0.291	0.301	0.295	0.315	471.8
5	0.317	0.339	0.318	0.288	0.280	0.287	0.305	457.3
6	0.320	0.324	0.315	0.301	0.283	0.296	0.307	459.8
7	0.305	0.338	0.326	0.295	0.294	0.298	0.309	464.0
8	0.319	0.349	0.316	0.297	0.289	0.291	0.310	465.3
9	0.318	0.339	0.311	0.308	0.312	0.342	0.322	482.5
10	0.327	0.346	0.321	0.299	0.303	0.320	0.319	479.0
11	0.322	0.346	0.316	0.294	0.293	0.288	0.310	465.3
12	0.323	0.345	0.325	0.301	0.281	0.286	0.316	465.3
13	0.308	0.339	0.321	0.300	0.307	0.295	0.312	467.5
14	0.307	0.334	0.308	0.287	0.281	0.276	0.299	448.3
15	0.297	0.329	0.326	0.299	0.291	0.290	0.305	458.0
16	0.305	0.343	0.322	0.301	0.292	0.317	0.313	470.0
17	0.282	0.318	0.314	0.312	0.300	0.314	0.307	460.0
18	0.292	0.325	0.336	0.320	0.308	0.294	0.313	468.8
19	0.275	0.341	0.334	0.304	0.287	0.295	0.306	459.0
20	0.257	0.236	0.317	0.295	0.292	0.284	0.280	420.3
21	0.300	0.327	0.310	0.289	0.289	0.295	0.302	452.5
22	0.291	0.345	0.315	0.287	0.289	0.290	0.303	454.3
23	0.300	0.332	0.321	0.300	0.287	0.283	0.304	455.8
24	0.296	0.331	0.318	0.314	0.319	0.336	0.319	478.5
25	0.296	0.335	0.324	0.299	0.287	0.297	0.306	459.5
						ARMAZEN. MEDIO =		462.8

TABELA 02 - Valores de umidade volumétrica (cm^3/cm^3) e armazenamento de água no solo (mm) no dia 28/09/89 para os 25 pontos e 6 profundidades.

PONTOS	25 cm	50 cm	75 cm	100 cm	125 cm	150 cm	U. MED	ARMZ
1	0.302	0.333	0.311	0.301	0.298	0.285	0.305	457.5
2	0.314	0.340	0.323	0.302	0.296	0.309	0.314	471.0
3	0.309	0.311	0.301	0.311	0.292	0.299	0.304	455.8
4	0.319	0.324	0.304	0.285	0.292	0.291	0.303	453.8
5	0.309	0.330	0.315	0.288	0.279	0.283	0.301	451.0
6	0.308	0.320	0.312	0.294	0.285	0.297	0.303	454.0
7	0.293	0.329	0.312	0.293	0.292	0.296	0.303	453.8
8	0.312	0.340	0.313	0.294	0.286	0.289	0.306	458.5
9	0.309	0.330	0.313	0.299	0.299	0.342	0.315	473.0
10	0.317	0.335	0.321	0.296	0.305	0.314	0.315	472.0
11	0.310	0.334	0.317	0.293	0.288	0.279	0.304	455.3
12	0.307	0.336	0.321	0.291	0.273	0.280	0.301	452.0
13	0.298	0.335	0.315	0.292	0.304	0.286	0.305	457.5
14	0.296	0.333	0.308	0.278	0.284	0.281	0.297	445.0
15	0.289	0.328	0.334	0.307	0.292	0.287	0.306	459.3
16	0.303	0.343	0.326	0.298	0.291	0.324	0.314	471.3
17	0.289	0.312	0.310	0.314	0.296	0.317	0.306	459.5
18	0.290	0.326	0.339	0.320	0.316	0.297	0.315	472.0
19	0.271	0.347	0.325	0.298	0.288	0.289	0.303	454.5
20	0.253	0.239	0.310	0.299	0.292	0.279	0.279	418.0
21	0.233	0.320	0.311	0.289	0.285	0.298	0.299	449.0
22	0.284	0.347	0.319	0.290	0.288	0.291	0.303	454.8
23	0.281	0.331	0.328	0.295	0.282	0.284	0.300	450.3
24	0.287	0.330	0.322	0.311	0.317	0.337	0.317	476.0
25	0.285	0.333	0.321	0.294	0.285	0.295	0.302	453.3
						ARMZEN. MEDIO =		457.1

TABELA 04 - Valores de umidade volumétrica (cm^3/cm^3) e armazenamento de água no solo (mm) no dia 25/10/89 para os 25 pontos e 6 profundidades.

PONTOS	25 cm	50 cm	75 cm	100 cm	125 cm	150 cm	U.MED	ARMAZ
1	0.378	0.394	0.365	0.331	0.316	0.310	0.349	523.5
2	0.380	0.393	0.371	0.323	0.316	0.330	0.352	528.3
3	0.356	0.351	0.339	0.328	0.312	0.311	0.333	499.3
4	0.382	0.366	0.339	0.395	0.295	0.295	0.345	518.0
5	0.373	0.366	0.330	0.302	0.307	0.305	0.331	495.8
6	0.370	0.365	0.343	0.308	0.297	0.312	0.333	498.8
7	0.340	0.339	0.312	0.289	0.302	0.300	0.314	470.5
8	0.386	0.408	0.380	0.320	0.308	0.323	0.354	531.3
9	0.330	0.332	0.313	0.300	0.305	0.327	0.318	476.8
10	0.365	0.379	0.347	0.310	0.310	0.329	0.340	510.0
11	0.377	0.385	0.334	0.296	0.295	0.288	0.329	493.8
12	0.370	0.362	0.321	0.299	0.277	0.285	0.319	478.5
13	0.354	0.358	0.324	0.300	0.304	0.294	0.322	483.5
14	0.351	0.350	0.311	0.283	0.286	0.280	0.310	465.3
15	0.339	0.342	0.333	0.294	0.282	0.291	0.314	470.3
16	0.345	0.349	0.321	0.298	0.293	0.317	0.319	478.8
17	0.317	0.314	0.315	0.300	0.296	0.316	0.310	464.5
18	0.341	0.364	0.371	0.338	0.308	0.297	0.337	504.8
19	0.341	0.397	0.354	0.313	0.289	0.297	0.332	497.8
20	0.308	0.253	0.318	0.297	0.287	0.281	0.291	436.0
21	0.356	0.366	0.332	0.298	0.295	0.300	0.325	486.8
22	0.347	0.377	0.346	0.304	0.300	0.302	0.329	494.0
23	0.319	0.333	0.320	0.296	0.290	0.287	0.308	461.3
24	0.320	0.328	0.320	0.311	0.322	0.338	0.323	484.8
25	0.293	0.340	0.325	0.299	0.294	0.296	0.308	461.8
							ARMAZEN. MEDIO =	488.5

TABELA 05 - Valores de umidade volumétrica (cm^3/cm^3) e armazenamento de água no solo (mm) no dia 09/11/89 para os 25 pontos e 6 profundidades.

PONTOS	25 CR	50 CR	75 CR	100 CR	125 CR	150 CR	U. MED	ARMAZ
1	0.300	0.357	0.358	0.329	0.316	0.301	0.327	490.3
2	0.314	0.370	0.370	0.325	0.315	0.328	0.337	505.5
3	0.309	0.335	0.334	0.329	0.311	0.314	0.322	483.0
4	0.322	0.342	0.321	0.292	0.291	0.294	0.310	465.5
5	0.302	0.346	0.341	0.307	0.301	0.300	0.316	474.3
6	0.311	0.325	0.325	0.305	0.300	0.308	0.312	468.5
7	0.281	0.326	0.329	0.290	0.299	0.299	0.304	456.0
8	0.312	0.365	0.350	0.313	0.306	0.314	0.327	490.0
9	0.311	0.325	0.289	0.302	0.305	0.340	0.312	468.0
10	0.307	0.360	0.349	0.315	0.319	0.336	0.331	496.5
11	0.305	0.341	0.336	0.295	0.299	0.291	0.311	466.8
12	0.305	0.339	0.325	0.294	0.281	0.291	0.306	458.2
13	0.302	0.323	0.301	0.292	0.303	0.294	0.303	453.8
14	0.301	0.340	0.309	0.284	0.286	0.278	0.300	449.5
15	0.278	0.319	0.325	0.293	0.289	0.288	0.299	448.0
16	0.297	0.335	0.323	0.295	0.296	0.327	0.312	468.3
17	0.275	0.303	0.292	0.308	0.300	0.307	0.298	446.3
18	0.271	0.312	0.340	0.344	0.318	0.302	0.315	471.8
19	0.269	0.366	0.363	0.310	0.293	0.301	0.317	475.5
20	0.251	0.248	0.317	0.300	0.291	0.277	0.281	421.0
21	0.291	0.317	0.316	0.300	0.291	0.305	0.303	455.0
22	0.296	0.365	0.335	0.304	0.308	0.305	0.319	478.3
23	0.281	0.320	0.302	0.284	0.285	0.288	0.293	440.0
24	0.286	0.315	0.318	0.309	0.321	0.344	0.316	473.3
25	0.273	0.339	0.317	0.297	0.289	0.304	0.303	454.8
						ARMAZEN. MEDIO =		466.3

TABELA 06 - Valores de unidade volumétrica (cm^3/cm^3) e armazenamento de água no solo (mm) no dia 23/11/89 para os 25 pontos e 6 profundidades.

PONTOS	25 CM	50 CM	75 CM	100 CM	125 CM	150 CM	U. MED	ARMZ
1	0.351	0.334	0.335	0.325	0.306	0.303	0.326	488.5
2	0.353	0.353	0.355	0.325	0.312	0.319	0.336	504.3
3	0.360	0.329	0.317	0.320	0.304	0.310	0.323	485.0
4	0.366	0.329	0.301	0.279	0.296	0.297	0.311	467.0
5	0.345	0.325	0.319	0.294	0.298	0.301	0.314	470.5
6	0.360	0.331	0.310	0.304	0.291	0.304	0.317	475.0
7	0.317	0.325	0.298	0.276	0.289	0.304	0.302	452.3
8	0.365	0.377	0.347	0.307	0.298	0.304	0.333	499.5
9	0.311	0.324	0.301	0.290	0.302	0.339	0.311	466.8
10	0.351	0.347	0.333	0.307	0.309	0.323	0.328	492.5
11	0.342	0.349	0.304	0.288	0.292	0.291	0.311	466.5
12	0.360	0.368	0.332	0.300	0.276	0.288	0.321	481.0
13	0.317	0.329	0.310	0.289	0.299	0.290	0.306	458.5
14	0.330	0.349	0.316	0.277	0.283	0.278	0.306	458.3
15	0.314	0.310	0.323	0.297	0.286	0.287	0.303	454.3
16	0.317	0.329	0.312	0.292	0.291	0.315	0.309	464.0
17	0.298	0.291	0.294	0.287	0.291	0.306	0.295	441.8
18	0.307	0.312	0.329	0.321	0.307	0.296	0.312	468.0
19	0.317	0.357	0.343	0.308	0.293	0.298	0.319	479.0
20	0.274	0.220	0.298	0.292	0.288	0.277	0.275	412.3
21	0.325	0.317	0.303	0.295	0.291	0.291	0.304	455.5
22	0.319	0.344	0.316	0.287	0.297	0.299	0.310	465.5
23	0.297	0.324	0.303	0.280	0.278	0.284	0.294	441.5
24	0.296	0.320	0.298	0.290	0.320	0.340	0.311	466.0
25	0.277	0.320	0.309	0.293	0.287	0.292	0.296	444.5
							ARMZEN. MEDIO =	466.3

TABELA 07 - Valores de umidade volumétrica (cm^3/cm^3) e armazenamento de água no solo (mm) no dia 12/12/89 para os 25 pontos e 6 profundidades.

PONTOS	25 cm	50 cm	75 cm	100 cm	125 cm	150 cm	U.MED	ARMAZ
1								
2								
3								
4	0.368	0.325	0.285	0.266	0.272	0.271	0.298	446.8
5								
6								
7	0.310	0.324	0.293	0.259	0.262	0.260	0.285	427.0
8								
9								
10								
11								
12	0.356	0.372	0.308	0.281	0.251	0.270	0.306	459.5
13								
14								
15								
16								
17	0.299	0.301	0.266	0.285	0.261	0.277	0.282	422.3
18								
19	0.298	0.349	0.310	0.281	0.270	0.291	0.300	449.8
20								
21								
22								
23								
24								
25								
							ARMAZEN. MEDIO =	441.1

APÊNDICE 2

TABELA 02 - Valores do potencial matricial, gradientes, condutividade hidráulica e fluxo de água no solo na profundidade Z = 150 cm, no dia 16/09/89 para os 25 pontos.

PONTOS	Z1=135 cm	Z2=165 cm	PM Z1 cm H2O	PM Z2 cm H2O	PM MED cm H2O	GR MATR cm H2O/cm	GR GRAV cm H2O/cm	GR TOTAL cm H2O/cm	CONDUCT mm/dia	FLUXO mm/dia
1	39.80	41.90	-336.48	-332.94	-334.71	-0.12	1.00	0.88	-0.0022	-0.0019
2	41.70	42.40	-360.42	-339.24	-349.83	-0.71	1.00	0.29	-0.0018	-0.0005
3	38.50	40.80	-320.10	-319.08	-319.59	-0.03	1.00	0.97	-0.0026	-0.0026
4	40.80	42.60	-349.08	-341.76	-345.42	-0.24	1.00	0.76	-0.0019	-0.0015
5	42.10	43.80	-365.46	-356.88	-361.17	-0.29	1.00	0.71	-0.0016	-0.0012
6	42.70	43.80	-373.02	-356.88	-364.95	-0.54	1.00	0.46	-0.0016	-0.0007
7	41.90	39.50	-362.94	-302.70	-332.82	-2.01	1.00	-1.01	-0.0022	0.0023
8	39.00	41.00	-326.40	-321.60	-324.00	-0.16	1.00	0.84	-0.0025	-0.0021
9	39.50	38.50	-332.70	-290.10	-311.40	-1.42	1.00	-0.42	-0.0029	0.0012
10	40.20	42.50	-341.52	-340.50	-341.01	-0.03	1.00	0.97	-0.0020	-0.0020
11	39.70	40.60	-335.22	-316.56	-325.89	-0.62	1.00	0.38	-0.0024	-0.0009
12	41.20	42.00	-354.12	-334.20	-344.16	-0.66	1.00	0.34	-0.0020	-0.0007
13	40.60	42.80	-346.56	-344.28	-345.42	-0.08	1.00	0.92	-0.0019	-0.0018
14	41.60	43.00	-359.16	-346.80	-352.98	-0.41	1.00	0.59	-0.0018	-0.0010
15	40.00	42.80	-339.00	-344.28	-341.64	0.18	1.00	1.18	-0.0020	-0.0024
16	41.00	43.50	-351.60	-353.10	-352.35	0.05	1.00	1.05	-0.0018	-0.0019
17	41.20	43.80	-354.12	-356.88	-355.50	0.09	1.00	1.09	-0.0017	-0.0019
18	41.00	42.50	-351.60	-340.50	-346.05	-0.37	1.00	0.63	-0.0019	-0.0012
19	42.00	43.50	-364.20	-353.10	-358.65	-0.37	1.00	0.63	-0.0017	-0.0011
20	40.20	43.50	-341.52	-353.10	-347.31	0.39	1.00	1.39	-0.0019	-0.0026
21	41.10	42.50	-352.86	-340.50	-346.68	-0.41	1.00	0.59	-0.0019	-0.0011
22	41.00	43.00	-351.60	-346.80	-349.20	-0.16	1.00	0.84	-0.0019	-0.0016
23	43.30	44.00	-380.58	-359.40	-369.99	-0.71	1.00	0.29	-0.0015	-0.0004
24	42.00	43.60	-364.20	-354.36	-359.28	-0.33	1.00	0.67	-0.0017	-0.0011
25	41.50	42.30	-357.90	-337.98	-347.94	-0.66	1.00	0.34	-0.0019	-0.0006
									FLUXO MEDIO =	-0.0012

PONTOS	Z1=135 cm	Z2=165 cm	PM Z1 cm H2O	PM Z2 cm H2O	PM MED cm H2O	GR MATR cm H2O/cm	GR GRAV cm H2O/cm	GR TOTAL cm H2O/cm	CONDUCT mm/dia	FLUXO mm/dia
1	39.20	42.00	-328.92	-334.20	-331.56	0.18	1.00	1.18	-0.0023	-0.0027
2	39.50	41.50	-332.70	-327.90	-330.30	-0.16	1.00	0.84	-0.0023	-0.0019
3	39.50	40.50	-332.70	-315.30	-324.00	-0.58	1.00	0.42	-0.0025	-0.0011
4	41.00	43.00	-351.60	-346.80	-349.20	-0.16	1.00	0.84	-0.0019	-0.0016
5	43.00	44.40	-376.80	-364.44	-370.62	-0.41	1.00	0.59	-0.0015	-0.0009
6	43.00	43.60	-376.80	-354.36	-365.58	-0.75	1.00	0.25	-0.0015	-0.0004
7	41.80	43.00	-361.68	-346.80	-354.24	-0.50	1.00	0.50	-0.0018	-0.0009
8	38.60	41.80	-321.36	-331.68	-326.52	0.34	1.00	1.34	-0.0024	-0.0033
9	40.00	42.80	-339.00	-344.28	-341.64	0.18	1.00	1.18	-0.0020	-0.0024
10	40.50	43.00	-345.30	-346.80	-346.05	0.05	1.00	1.05	-0.0019	-0.0020
11	40.00	41.00	-339.00	-321.60	-330.30	-0.58	1.00	0.42	-0.0023	-0.0010
12	38.50	41.60	-320.10	-329.16	-324.63	0.30	1.00	1.30	-0.0025	-0.0032
13	39.30	43.50	-330.18	-353.10	-341.64	0.76	1.00	1.76	-0.0020	-0.0036
14	42.20	43.50	-366.72	-353.10	-359.91	-0.45	1.00	0.55	-0.0016	-0.0009
15	40.50	43.00	-345.30	-346.80	-346.05	0.05	1.00	1.05	-0.0019	-0.0020
16	41.60	44.00	-359.16	-359.40	-359.28	0.01	1.00	1.01	-0.0017	-0.0017
17	41.60	43.80	-359.16	-356.88	-358.02	-0.08	1.00	0.92	-0.0017	-0.0016
18	41.00	42.80	-351.60	-344.28	-347.94	-0.24	1.00	0.76	-0.0019	-0.0014
19	42.50	44.00	-370.50	-359.40	-364.95	-0.37	1.00	0.63	-0.0016	-0.0010
20	40.50	43.30	-345.30	-350.58	-347.94	0.18	1.00	1.18	-0.0019	-0.0022
21	40.60	43.00	-346.56	-346.80	-346.68	0.01	1.00	1.01	-0.0019	-0.0019
22	41.60	43.50	-359.16	-353.10	-356.13	-0.20	1.00	0.80	-0.0017	-0.0014
23	42.80	44.70	-374.28	-368.22	-371.25	-0.20	1.00	0.80	-0.0015	-0.0012
24	42.30	43.60	-367.98	-354.36	-361.17	-0.45	1.00	0.55	-0.0016	-0.0009
25	41.20	42.20	-354.12	-336.72	-345.42	-0.58	1.00	0.42	-0.0019	-0.0008
								FLUXO MEDIO =		-0.0017

PONTOS	Z1=135 cm	Z2=165 cm	PM Z1 cm H2O	PM Z2 cm H2O	PM MED cm H2O	GR MATR cm H2O/cm	GR GRAV cm H2O/cm	GR TOTAL cm H2O/cm	CONDUCT mm/dia	FLUXO mm/dia
1	26.50	26.80	-168.90	-142.68	-155.79	-0.87	1.00	0.13	-0.0468	-0.0059
2	23.50	27.00	-131.10	-145.20	-138.15	0.47	1.00	1.47	-0.0757	-0.1113
3	25.70	27.50	-158.82	-151.50	-155.16	-0.24	1.00	0.76	-0.0476	-0.0360
4	36.80	40.20	-298.68	-311.52	-305.10	0.43	1.00	1.43	-0.0032	-0.0045
5	28.30	27.80	-191.58	-155.28	-173.43	-1.21	1.00	-0.21	-0.0305	0.0064
6	25.10	29.10	-151.26	-171.66	-161.46	0.68	1.00	1.68	-0.0406	-0.0682
7	42.80	44.50	-374.28	-365.70	-369.99	-0.29	1.00	0.71	-0.0015	-0.0011
8	25.30	26.90	-153.78	-143.94	-148.86	-0.33	1.00	0.67	-0.0562	-0.0378
9	43.00	44.30	-376.80	-363.18	-369.99	-0.45	1.00	0.55	-0.0015	-0.0008
10	28.20	31.40	-190.32	-200.64	-195.48	0.34	1.00	1.34	-0.0189	-0.0254
11	34.00	38.90	-263.40	-295.14	-279.27	1.06	1.00	2.06	-0.0045	-0.0093
12	39.00	42.00	-326.40	-334.20	-330.30	0.26	1.00	1.26	-0.0023	-0.0029
13	35.00	37.50	-276.00	-277.50	-276.75	0.05	1.00	1.05	-0.0047	-0.0049
14	31.00	38.50	-225.60	-290.10	-257.85	2.15	1.00	3.15	-0.0062	-0.0197
15	36.40	43.00	-293.64	-346.80	-320.22	1.77	1.00	2.77	-0.0026	-0.0073
16	34.50	40.80	-269.70	-319.08	-294.39	1.65	1.00	2.65	-0.0037	-0.0097
17	44.10	45.70	-390.66	-380.82	-385.74	-0.33	1.00	0.67	-0.0012	-0.0008
18	31.40	35.80	-230.64	-256.08	-243.36	0.85	1.00	1.85	-0.0079	-0.0145
19	36.50	41.20	-294.90	-324.12	-309.51	0.97	1.00	1.97	-0.0030	-0.0059
20	36.60	46.80	-296.16	-394.68	-345.42	3.28	1.00	4.28	-0.0019	-0.0083
21	38.00	39.90	-313.80	-307.74	-310.77	-0.20	1.00	0.80	-0.0030	-0.0024
22	31.80	35.40	-235.68	-251.04	-243.36	0.51	1.00	1.51	-0.0079	-0.0119
23	36.00	42.60	-288.60	-341.76	-315.18	1.77	1.00	2.77	-0.0028	-0.0078
24	42.90	44.60	-375.54	-366.96	-371.25	-0.29	1.00	0.71	-0.0015	-0.0010
25	41.80	43.00	-361.68	-346.80	-354.24	-0.50	1.00	0.50	-0.0018	-0.0009
								FLUXO MEDIO =		-0.0157

[illegible]

TABELA 09 - Valores do potencial matricial, gradientes, condutividade hidráulica e fluxo de água no solo na profundidade $Z = 150$ cm, no dia 09/11/89 para os 25 pontos.

PONTOS	Z1-135	Z2-165	PM Z1	PM Z2	PM MED	GR MATR	GR GRAV	GR TOTAL	CONDUCT	FLUXO
	cm	cm	cm H2O	cm H2O	cm H2O	cm H2O/cm	cm H2O/cm	cm H2O/cm	mm/dia	mm/dia
1	27.00	28.30	-175.20	-161.58	-168.39	-0.45	1.00	0.55	-0.0343	-0.0187
2	25.00	27.50	-150.00	-151.50	-150.75	0.05	1.00	1.05	-0.0534	-0.056
3	25.90	27.20	-161.34	-147.72	-154.53	-0.45	1.00	0.55	-0.0484	-0.0264
4	35.10	35.40	-277.26	-251.04	-264.15	-0.87	1.00	0.13	-0.0057	-0.0007
5	27.20	28.30	-177.72	-161.58	-169.65	-0.54	1.00	0.46	-0.0333	-0.0154
6	27.00	29.60	-175.20	-177.96	-176.58	0.09	1.00	1.09	-0.0284	-0.0310
7	27.50	42.90	-181.50	-345.54	-263.52	5.47	1.00	6.47	-0.0057	-0.0370
8	28.00	29.00	-187.80	-170.40	-179.10	-0.58	1.00	0.42	-0.0268	-0.0113
9	44.50	45.00	-395.70	-372.00	-383.85	-0.79	1.00	0.21	-0.0013	-0.0003
10	27.80	31.60	-185.28	-203.16	-194.22	0.60	1.00	1.60	-0.0194	-0.0309
11	29.20	32.20	-202.92	-210.72	-206.82	0.26	1.00	1.26	-0.0151	-0.0190
12	37.30	38.20	-304.98	-286.32	-295.65	-0.62	1.00	0.38	-0.0036	-0.0014
13	35.90	34.90	-287.34	-244.74	-266.04	-1.42	1.00	-0.42	-0.0055	0.0023
14	34.40	38.00	-268.44	-283.80	-276.12	0.51	1.00	1.51	-0.0047	-0.0072
15	37.00	39.80	-301.20	-306.48	-303.84	0.18	1.00	1.18	-0.0032	-0.0038
16	32.10	35.80	-239.46	-256.08	-247.77	0.55	1.00	1.55	-0.0073	-0.0114
17	42.50	44.90	-370.50	-370.74	-370.62	0.01	1.00	1.01	-0.0015	-0.0015
18	31.80	33.90	-235.68	-232.14	-233.91	-0.12	1.00	0.88	-0.0092	-0.0081
19	32.20	34.90	-240.72	-244.74	-242.73	0.13	1.00	1.13	-0.0079	-0.0090
20	35.00	44.90	-276.00	-370.74	-323.37	3.16	1.00	4.16	-0.0025	-0.0105
21	33.40	35.20	-255.84	-248.52	-252.18	-0.24	1.00	0.76	-0.0068	-0.0052
22	29.90	32.20	-211.74	-210.72	-211.23	-0.03	1.00	0.97	-0.0139	-0.0134
23	38.10	42.40	-315.06	-339.24	-327.15	0.81	1.00	1.81	-0.0024	-0.0044
24	38.50	39.00	-320.10	-296.40	-308.25	-0.79	1.00	0.21	-0.0031	-0.0006
25	43.00	44.40	-376.80	-364.44	-370.62	-0.41	1.00	0.59	-0.0015	-0.0009
								FLUXO MEDIO =		-0.0129

PONTOS	Z1-135 CR	Z2-165 CR	PM Z1 CR H2O	PM Z2 CR H2O	PM MED CR H2O	GR MATR CR H2O/CR	GR GRAV CR H2O/CR	GR TOTAL CR H2O/CR	CONDUCT mm/dia	FLUXO mm/dia
1	34.90	33.30	-274.74	-224.58	-249.66	-1.67	1.00	-0.67	-0.0071	0.0048
2	29.00	30.60	-200.40	-190.56	-195.48	-0.33	1.00	0.67	-0.0189	-0.0127
3	32.20	32.00	-240.72	-208.20	-224.46	-1.08	1.00	-0.08	-0.0109	0.0009
4	38.40	37.60	-318.84	-278.76	-298.80	-1.34	1.00	-0.34	-0.0035	0.0012
5	32.00	31.60	-238.20	-203.16	-220.68	-1.17	1.00	-0.17	-0.0116	0.0020
6	33.50	33.00	-257.10	-220.80	-238.95	-1.21	1.00	-0.21	-0.0085	0.0018
7	53.40	53.40	-507.84	-477.84	-492.84	-1.00	1.00	0.00	-0.0005	0.0000
8	34.20	33.70	-265.92	-229.62	-247.77	-1.21	1.00	-0.21	-0.0073	0.0015
9	50.60	46.50	-472.56	-390.90	-431.73	-2.72	1.00	-1.72	-0.0008	0.0014
10	33.20	34.50	-253.32	-239.70	-246.51	-0.45	1.00	0.55	-0.0075	-0.0041
11	34.00	34.00	-263.40	-233.40	-248.40	-1.00	1.00	0.00	-0.0072	0.0000
12	37.30	37.50	-304.98	-277.50	-291.24	-0.92	1.00	0.08	-0.0038	-0.0003
13	36.20	37.70	-291.12	-280.02	-285.57	-0.37	1.00	0.63	-0.0041	-0.0026
14	40.50	41.30	-345.30	-325.38	-335.34	-0.66	1.00	0.34	-0.0022	-0.0007
15	41.30	40.70	-355.38	-317.82	-336.60	-1.25	1.00	-0.25	-0.0021	0.0005
16	35.80	36.50	-286.08	-264.90	-275.49	-0.71	1.00	0.29	-0.0048	-0.0014
17	43.50	45.00	-383.10	-372.00	-377.55	-0.37	1.00	0.63	-0.0014	-0.0009
18	38.20	37.20	-316.32	-273.72	-295.02	-1.42	1.00	-0.42	-0.0036	0.0015
19	37.20	36.60	-303.72	-266.16	-284.94	-1.25	1.00	-0.25	-0.0042	0.0011
20	38.70	41.20	-322.62	-324.12	-323.37	0.05	1.00	1.05	-0.0025	-0.0026
21	35.00	35.50	-276.00	-252.30	-264.15	-0.79	1.00	0.21	-0.0057	-0.0012
22	32.50	34.50	-244.50	-239.70	-242.10	-0.16	1.00	0.84	-0.0080	-0.0067
23	42.80	43.80	-374.28	-356.88	-365.58	-0.58	1.00	0.42	-0.0015	-0.0006
24	44.20	43.50	-391.92	-353.10	-372.51	-1.29	1.00	-0.29	-0.0014	0.0004
25	45.10	41.50	-403.26	-327.90	-365.58	-2.51	1.00	-1.51	-0.0015	0.0023
								FLUXO MEDIO =		-0.0006

TABELA 14 - Valores do potencial matricial, gradientes, condutividade hidráulica e fluxo de água no solo na profundidade $Z = 150$ cm, no dia 04/12/89 para os 25 pontos.

PONTOS	Z1=135 cm	Z2=165 cm	PM Z1 cm H2O	PM Z2 cm H2O	PM MED cm H2O	GR MATR cm H2O/cm	GR GRAV cm H2O/cm	GR TOTAL cm H2O/cm	CONDUCT mm/dia	FLUXO mm/dia
1	44.40	37.80	-394.44	-281.28	-337.86	-3.77	1.00	-2.77	-0.0021	0.0059
2	34.40	32.20	-268.44	-210.72	-239.58	-1.92	1.00	-0.92	-0.0084	0.0077
3	39.60	35.50	-333.96	-252.30	-293.13	-2.72	1.00	-1.72	-0.0037	0.0064
4	48.00	43.80	-439.80	-356.88	-398.34	-2.76	1.00	-1.76	-0.0011	0.0019
5	40.10	34.30	-340.26	-237.18	-288.72	-3.44	1.00	-2.44	-0.0040	0.0097
6	47.60	39.80	-434.76	-306.48	-370.62	-4.28	1.00	-3.28	-0.0015	0.0048
7										
8	50.00	37.00	-465.00	-271.20	-368.10	-6.46	1.00	-5.46	-0.0015	0.0082
9	59.00	50.50	-578.40	-441.30	-509.85	-4.57	1.00	-3.57	-0.0004	0.0015
10	42.70	38.00	-373.02	-283.80	-328.41	-2.97	1.00	-1.97	-0.0024	0.0047
11	42.60	37.50	-371.76	-277.50	-324.63	-3.14	1.00	-2.14	-0.0025	0.0053
12	40.70	39.70	-347.82	-305.22	-326.52	-1.42	1.00	-0.42	-0.0024	0.0010
13	43.00	41.00	-376.80	-321.60	-349.20	-1.84	1.00	-0.84	-0.0019	0.0016
14	51.70	47.00	-486.42	-397.20	-441.81	-2.97	1.00	-1.97	-0.0007	0.0014
15	49.00	47.00	-452.40	-397.20	-424.80	-1.84	1.00	-0.84	-0.0008	0.0007
16	45.50	42.50	-408.30	-340.50	-374.40	-2.26	1.00	-1.26	-0.0014	0.0018
17	59.00	51.50	-578.40	-453.90	-516.15	-4.15	1.00	-3.15	-0.0004	0.0012
18	47.70	43.50	-436.02	-353.10	-394.56	-2.76	1.00	-1.76	-0.0011	0.0020
19	55.00	41.00	-528.00	-321.60	-424.80	-6.88	1.00	-5.88	-0.0008	0.0050
20	50.50	42.50	-471.30	-340.50	-405.90	-4.36	1.00	-3.36	-0.0010	0.0034
21	41.00	39.60	-351.60	-303.96	-327.78	-1.59	1.00	-0.59	-0.0024	0.0014
22	36.00	36.70	-288.60	-267.42	-278.01	-0.71	1.00	0.29	-0.0046	-0.0014
23	53.00	48.90	-502.80	-421.14	-461.97	-2.72	1.00	-1.72	-0.0006	0.0010
24	54.50	50.00	-521.70	-435.00	-478.35	-2.89	1.00	-1.89	-0.0005	0.0010
25	53.70	42.50	-511.62	-340.50	-426.06	-5.70	1.00	-4.70	-0.0008	0.0039
								FLUXO MEDIO =		0.0033