

EFEITO DE DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO SOBRE A
PRODUTIVIDADE DA SOJA (Glycine max (L) Merrill) UTILIZANDO O
SISTEMA DE ASPERSÃO EM LINHA.

ANTÔNIO LUCIANO RODRIGUES

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - 1990

Esta Dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários a obtenção do Grau de Mestre em Agronomia com Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, outorgada pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Antônio Luciano Rodrigues

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 21/12/90.

Prof. Luis Carlos Uchôa Saunders, Dr

- Orientador -

Prof. Francisco Marcus Lima Bezerra, MS

- Conselheiro -

Prof. Paulo Teodoro de Castro, MS

- Conselheiro -

In memoriam de meus pais
Gabriel e Ana pela demonstração
de amor e dedicação ao transmitir
persistência e dignidade aos seus filhos

Às minhas irmãs e irmãos pelo
apoio e incentivo proporcionados

À minha esposa Branca, pelo exemplo
de companheira, esposa e amiga

Aos meus filhos Renata, Leandro e Joyce,
pelo amor, carinho e um futuro de esperanças

DEDICO ESTE TRABALHO

AGRADECIMENTOS

A Deus por me ter concedido luz e forças suficientes para superar os momentos difíceis.

A Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará - EPACE - pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico - CNPq - pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Luis Carlos Uchôa Saunders, pelo elevado grau de dedicação na orientação segura e cordial, para o sucesso deste trabalho.

Aos professores Paulo Teodoro de Castro e Francisco Marcus Lima Bezerra, pelas valiosas sugestões apresentadas a este trabalho.

Aos professores Francisco de Souza e Moisés Custódio Saraiva Leão, pela experiência e excelentes aulas ministradas durante a realização do curso.

Ao professor Marcus Vinícius Assunção, pela valiosa colaboração e sugestões apresentadas.

Aos demais professores do Curso de Mestrado e do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos transmitidos.

Ao amigo Lúcio de Vasconcelos e Silva, pela espontânea contribuição na execução dos desenhos.

Aos colegas de curso, pelo companheirismo, amizade e espírito de luta, na árdua tarefa de concluir o Mestrado.

Ao colega Raimundo Nonato Távora Costa, pela preciosa colaboração na implantação e condução dos trabalhos de campo.

Ao colega Ivan Martins de Albuquerque, pela necessária contribuição nos trabalhos de laboratório.

Aos operários da Fazenda experimental do Vale do Curú, que oportunamente contribuíram para a realização dos trabalhos de campo.

A todos aqueles que participaram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse realizado.

SUMÁRIO

	páginas
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 - Evapotranspiração e Deficiência Hídrica	3
2.2 - Requerimento de Água e Produção	15
3 - MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 - Caracterização da Área e Condições Climáticas	19
3.2 - Características Físicas e Químicas do Solo ...	22
3.3 - Delineamento Experimental e Descrição dos Tratamentos	22
3.4 - Preparo do Solo	23
3.5 - Plantio	24
3.6 - Aplicação de Água e Controle das Irrigações ..	24
3.7 - Tratos Culturais	32
3.8 - Colheita	32
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 - Parâmetros de Irrigação	34
4.1.1 - Dinâmica da Água do Solo	38

4.1.1.1.a - Variação do Potencial Matricial da Água do Solo	38
4.1.1.1.b - Variação do Conteúdo de Água em Volume .	43
4.2 - Análise Estatística dos Parâmetros Estudados .	48
4.2.1 - Efeito dos Níveis de Irrigação sobre os Rendimentos de Grãos	48
4.2.2 - Efeito das Lâminas de Irrigação no Peso de 100 Sementes	54
4.2.3 - Efeito do nível de Irrigação na Produção de Grãos por Planta	57
5 - CONCLUSÕES	58
- RECOMENDAÇÕES	60
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

LISTA DE TABELAS

TABELA	Página
1 Dados climáticos da Estação Meteorológica da FEVC no período de realização do experimento	21
2 Características físicas do solo aluvial eutrófico do local do experimento. Pentecoste, CE.	25
3 Características químicas do solo aluvial eutrófico da FEVC. Pentecoste-CE.	26
4 Lâmina de irrigação, variação, lâmina média e lâmina total aplicada nos cinco tratamentos durante o ciclo da soja tropical	35
5 Resultados das análises da variância dos parâmetros de produção de grãos, peso de 100 sementes e produção de grãos por planta	50
6 Valores médios de produção, peso de 100 sementes, eficiência do uso de água, conseguidos em função da lâmina total aplicada nos diversos tratamentos	51

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1	Esquema de Campo mostrando a distribuição das parcelas e da linha de aspersão 28
2	Curva característica do umidade do solo Aluvial a 10 cm de profundidade 29
3	Curva Característica da umidade do solo Aluvial a 30 cm de profundidade 30
4	Distribuição da precipitação do aspersor ZAD-30 em função da distância da linha de aspersão ... 37
5	Variação média do potencial matricial a 10 cm de profundidade entre irrigações, nas três fases de desenvolvimento da soja, em um solo aluvial 39
6	Variação média do potencial matricial a 30 cm de profundidade entre irrigações, nas três fases de desenvolvimento da soja, em um solo aluvial 41
7	Variação média do conteúdo de água em volume (θ) a 10 cm de profundidade nas três fases de desenvolvimento da soja 44

8	Variação média do conteúdo de água em volume (*) a 30 cm de profundidade nas três fases de desenvolvimento da soja	47
9	Curva de produção de grãos versus lâmina total de água aplicada	53
10	Curva do peso de 100 sementes versus lâmina total de água	56

RESUMO

Em experimento de campo, conduzido na Fazenda Experimental do Vale do Curú, Pentecoste, Ceará, durante o período de outubro de 1988 a fevereiro de 1989, foram avaliados os efeitos de diferentes lâminas de irrigação sobre a produtividade da soja tropical (Glycine max (L) Merrill), utilizando o sistema de aspersão em linha. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e seis repetições. Os tratamentos consistiram de cinco diferentes níveis de irrigação, os quais receberam as intensidades de precipitação de 481.9 mm, 408.5 mm, 299.4 mm, 96.0 mm e 0.0 mm, correspondentes às lâminas médias de água aplicadas aos tratamentos L₁, L₂, L₃, L₄ e L₅, respectivamente. A distribuição de água nas parcelas foi realizada por sete aspersores ZAD-30, espaçados de 6.0 m de distância um do outro, dispostos no centro da área do experimento, formando a linha de aspersão (line source sprinkler system). Durante a condução do experimento, foram realizadas irrigações iniciais uniformes, que somaram 82.0 mm, visando manter o estande de plantas e foram registrados 28.0 mm de precipitações naturais, que adicionadas às lâminas médias, perfazem uma lâmina total de 591.9, 518.5, 409.4, 206.0 e 110.0 mm de água, respectivamente para os cinco tratamentos. As irrigações foram controladas pelos tratamentos L₁ dos blocos III e IV, através da leitura dos tensiômetros colocados a 10 e 30 cm

de profundidade e as irrigações eram realizadas quando o potencial matricial atingia valores iguais ou superiores a $-0,5$ atm, nos tensiômetros instalados a 10 cm de profundidade do solo. Procurando observar o consumo de água durante as fases fenológicas da soja tropical, estudou-se o comportamento do movimento da água do solo, através da variação do potencial matricial e do conteúdo de água no solo, no crescimento vegetativo, floração/frutificação e maturação. As produtividades médias como respostas das aplicações de diferentes lâminas de água nos tratamentos de irrigação foram 2.973,7 kg/ha, 2.595,6 kg/ha, 2.619,1 kg/ha, 1.324,1 kg/ha e 499,1 kg/ha, respectivamente para L_1 , L_2 , L_3 , L_4 e L_5 . As equações que representam graficamente as curvas de produção de grãos e peso de 100 sementes, em função da lâmina total de água, foram ajustadas por regressão quadrática e se verificou aumento na produção de grãos, com o aumento da lâmina total, até valores próximos de 600 mm, onde a partir desse valor, a equação mostra queda na produção, com o contínuo aumento da lâmina total de água aplicada. Também houve acréscimo no peso de 100 sementes com o aumento da lâmina total de água, do nível de irrigação mais seco para o mais úmido, até níveis de água próximos de 720 mm. A partir desse valor, o peso de 100 sementes tende a cair com o aumento da lâmina total.

Palavras chaves: soja, irrigação, "line source", aspersão, produtividade.

ABSTRACT

A field work was done at the "Fazenda Experimental da Universidade Federal do Ceará", at Pentecoste, Ceará, Brazil, from october 1988 to february 1989, to evaluate the effects of different irrigation levels on the productivity of tropical soybeans (Glicine max (L) Merrill), using a line source sprinkler system. The experiment followed a completely randomized block design, with five treatments (irrigation levels with water applications of 481.9 mm, 408.5 mm, 299.4 mm, 96.0 mm and 0.0 mm, named treatments L₁, L₂, L₃, L₄ and L₅, respectively) and six replications. Water distribution was done by seven sprinklers, spaced 6 m, forming the line source. A pre-irrigation of 82.0 mm was applied uniformly to all plots and rainfall during the period totalled 28.0 mm. Tensiometers were used, at 10 and 30 cm of depths, at plots of the L₁ treatment, and irrigations done when readings on the 10 cm tensiometers reached values of -0,5 atm. Soil water movement was observed through the. Changes in soil water potential and soil moisture and correlated with the crop growth, flowering, fruiting and maturity. Crop production was 2973.7, 2595.6, 2619.1, 1324.1 and 499.1 kg/ha for treatments L₁, L₂, L₃, L₄ and L₅, respectively. Increase in productivity could be observed with increase in water application up to 600mm. Also the weight of 100 seeds increased with water application up to 720 mm.

Key words: soybeans, irrigation, line source, sprinklers, productivity.

1 - INTRODUÇÃO

A crescente procura de alimentos para as populações do mundo, vem demonstrando interesse em avaliar o efeito do clima sobre a produção das culturas, ao mesmo tempo em que exige que os cultivos atuais sejam mais eficientes no uso dos recursos hídricos, sem no entanto, comprometer a produção de alimentos.

O clima aparece como uma das principais variáveis que afetam a produção das culturas, embora altos níveis de tecnologia sejam utilizados (THOMPSON, 1975).

A soja é considerada uma cultura de incontestável importância para a economia nacional, responsável por expressivas percentagens no contexto das exportações de produtos agrícolas, além de oferecer inúmeros subprodutos destinados ao consumo humano e animal. Atualmente a sua produção vem sendo aumentada através da expansão da área cultivada, especialmente nas regiões não tradicionais de cultivo, como também em regiões de potencial para a cultura da soja, no Norte e Nordeste do Brasil.

O conhecimento da deficiência hídrica ao longo dos vários estágios da planta, se torna necessário em virtude da influência da água no desenvolvimento e produção das culturas.

O Polígono das Secas está geograficamente situado no Nordeste brasileiro, cujas chuvas se concentram em períodos de 3 a 5 meses, com médias de precipitação que variam de 200 a 500

milímetros, anuais, irregularmente distribuídos e com evaporação anual de mais de 2.000 milímetros. A baixa pluviosidade, associada à irregular distribuição de chuvas, são fatores mais diretamente responsáveis pelas limitações de produção das diversas culturas desenvolvidas na região (SUDENE, 1972).

Em decorrência desse fato, existe nos meios científicos, uma grande preocupação, no sentido de mudar este perfil regional, tornando o desenvolvimento dessas culturas menos dependentes dos fatores climáticos locais e para que isso aconteça, necessário se faz a implementação de maior número de pesquisa com culturas irrigadas, objetivando obter informações relacionadas com a máxima eficiência dos recursos hídricos utilizados pela relação solo-planta, procurando evidenciar entre outros parâmetros, os períodos críticos ao déficit hídrico, ao mesmo tempo, identificando genótipos mais resistentes às secas e adaptados as regiões semi-áridas.

Linhagens especialmente desenvolvidas para regiões equatoriais, têm demonstrado a viabilidade técnica da exploração desta leguminosa em áreas do Norte e Nordeste do Brasil.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação, sobre a produtividade da soja tropical, bem como desenvolver estudos visando obter informações básicas de manejo da cultura irrigada, para nortear a condução dos cultivos de soja nas condições climáticas do Estado do Ceará.

2 - REVISÃO DA LITERATURA

Inúmeros estudos de pesquisas tem sido desenvolvidos com o objetivo de avaliar a relação existente entre o efeito do clima e o crescimento da cultura da soja. Todos os trabalhos neste sentido, indicam que a deficiência de água no solo durante as fases críticas dos estágios fenológicos da cultura é responsável pela instabilidade de produção, transformando-se numa das principais causas da redução dos rendimentos, nas diversas regiões de cultivo.

Avaliando o efeito quantitativo dos períodos secos na redução das safras de soja, MOTA (1981), relata que a ausência de chuvas tem sido o principal fator responsável pelas reduções de rendimento e produção no Rio Grande do Sul.

2.1. - Evapotranspiração e Deficiência Hídrica

A transpiração é a maneira pela qual as plantas são induzidas a transferir água do solo para a atmosfera e este processo não é devido ao crescimento dos vegetais, mas é causado pelo baixo potencial de água existente na atmosfera, onde as culturas são capazes de extrair do solo quantidades de água muitas vezes superiores às suas necessidades vitais (HILLEL 1971).

Após ampla revisão de literatura, DALE & SHAW (1965) indicaram que a perda de água do solo é função da energia atmosférica (que provoca a evaporação do solo e das superfícies das folhas) e a disponibilidade de água no solo, sendo expressa pelo índice R , que corresponde a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração potencial.

A evapotranspiração máxima de uma cultura é considerada o parâmetro da maior importância sob o ponto de vista hídrico. O consumo de água de uma cultura, sob condições de ótima disponibilidade hídrica no solo, varia entre locais onde a mesma é explorada, o ano de cultivo e a época de semeadura e estas variações dependem das características da espécie vegetal e da demanda evaporativa da atmosfera (BERGAMASCHI et alii., 1989).

A determinação do parâmetro evapotranspiração, é de grande importância para o manejo eficiente da irrigação, evitando que sejam destinadas quantidades excessivas de água à cultura, bem como a deficiência hídrica (SIMÕES, 1973) e seu estudo tem sido bastante pesquisado por vários autores.

Van BAVEL (1961) avaliando as taxas de evapotranspiração de várias culturas no leste dos Estados Unidos, encontrou um consumo de 543 mm de água para o milho, durante todo o ciclo de desenvolvimento.

DOSS et alii., (1962) estudando a evapotranspiração do milho no Estado do Alabama (EUA), encontraram um valor médio de 486 mm de consumo de água, durante quatro anos de pesquisa e uma

média de consumo diário de 4,1 mm.

JENSEN (1973) em seu trabalho sobre uso consuntivo e requerimento de água de irrigação, mostrou que a evapotranspiração do milho apresentou uma variação entre 373 mm e 640 mm, em diferentes locais dos Estados Unidos.

MATZENAUER et alii., (1981) trabalhando com a relação entre a evapotranspiração do milho e a evaporação do tanque Classe A, observaram que a evapotranspiração média diária em quatro anos de pesquisas, foi menor no início do ciclo da cultura, aumentou progressivamente até atingir um valor máximo médio de 7,0 mm durante o período com 50% de pendoamento a 75% de espigamento, para depois decrescer até 4,3 mm diário por ocasião da maturação fisiológica.

STEINMETZ (1984) observou que a evapotranspiração máxima do feijão de inverno atingiu um montante de 363,7 mm durante o ciclo da cultura. No período de crescimento vegetativo a evapotranspiração máxima foi de 3,44 mm/dia e 5,99 mm/dia durante a fase de floração.

BERLATO & MATZENAUER (1985) procurando determinar a evapotranspiração máxima nas diversas fases do ciclo da soja, encontraram que os mais altos coeficientes de cultura (K_c), foram obtidos no período compreendido entre o início do florescimento e o início do enchimento de grãos e que esses valores coincidiram com os índices máximos de área foliar.

SAUNDERS et alii., (1985) estudando a evapotranspiração atual da cultura do feijão-de-corda na microrregião homogênea de Quixeramobim, Ceará, evidenciaram que os valores da evapotranspiração real, mostraram um curva segundo uma distribuição normal, com valores mínimos de 2,20 mm/dia no início e de 2,08 mm/dia no final do ciclo, atingindo um valor máximo de 5,94 mm diários, no período de floração/frutificação, correspondendo a fase de maior consumo da cultura e um valor médio de 3,18 mm por dia.

BERLATO et alii., (1966) determinando a evapotranspiração máxima da soja e as relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação do tanque Classe A e a radiação solar global, encontraram que os maiores consumos de água pela soja, ocorreram do início da floração ao início da fase de enchimento de grãos, com uma média de 7,5 mm/dia. Os coeficientes de cultura (K_c), que relacionam a evapotranspiração máxima com variáveis meteorológicas, também mostraram valores mais elevados, do início do florescimento ao início da fase de enchimento de grãos, coincidindo com a maior altura das plantas e máximos índices de área foliar.

FRIZZONE & OLITTA (1987) avaliando o consumo de água e a produção do feijoeiro, verificaram que os maiores valores da evapotranspiração real, ocorreram entre o início da formação de grãos e o início da maturação. Os valores intermediários foram obtidos entre o início da floração e início da formação de grãos

e os menores ocorreram entre a germinação e o início do florescimento. Com esses resultados, os autores afirmaram que o feijoeiro foi mais exigente em águas, no período entre a floração e o estado leitoso dos grãos.

BERGAMASCHI et alii., (1989) trabalhando com a evapotranspiração máxima do feijoeiro relacionada com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman e com a evaporação do tanque Classe A, determinaram um valor de 360 mm de evapotranspiração máxima, no período da semeadura à maturação fisiológica, com uma média de 3,8 mm/dia. Da semeadura até a floração, a evapotranspiração máxima variou de 2,4 mm/dia a 5,0 mm/dia.

OLIVEIRA & SILVA (1990) trabalhando com evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento do sistema radicular do feijoeiro, constataram que o menor consumo de água se verificou na fase inicial de crescimento da cultura. A partir daí, a demanda aumentou consideravelmente com o crescimento das plantas, chegando a um máximo de 5,3 mm/dia, no período final da floração e início de formação de vagens. Após esse período, houve redução no consumo de água pelas plantas até a fase de maturação das vagens.

A deficiência hídrica proporciona modificações no meio físico do solo, pela redução do potencial de água disponível para as culturas, acarretando uma série de alterações nos processos morfológico e fisiológico das plantas, que se traduzem em

diminuição da capacidade produtiva.

CORSI & SHAW (1981) defendem que a tensão da água na planta é consequência do desequilíbrio existente entre a água disponível no solo e a demanda evaporativa da atmosfera.

SHAW (1974) mostrou que o período mais crítico de estresse hídrico na cultura do milho, começou cinco dias antes e se estendeu por cinco dias após o florescimento e continuou por um período de trinta dias, onde a sensibilidade foi menor e relativamente constante. O autor revela ainda que vários outros trabalhos de pesquisa, com o propósito de avaliar os efeitos da deficiência hídrica sobre o rendimento e os componentes de produção do milho, foram induzidos estresse durante e depois da polinização e os resultados mostram que a deficiência hídrica nas fases de floração e enchimento de grãos proporcionaram redução na produção de sementes.

Sementes de milho se desenvolvem precariamente, quando o estresse hídrico ocorre durante o período de enchimento de grãos (CLAASSEM & SHAW, 1970; TOLLENAAR & DAYNARD, 1978).

MOTA et alii., (1974) observaram que é comum a ocorrência de déficit hídrico no verão, coincidindo com os períodos de florescimento e enchimento de grãos, que são considerados como sendo as fases mais críticas da deficiência de água na cultura do milho.

HERRERO & JOHNSON (1981) evidenciaram que o milho é mais sensível ao estresse hídrico durante a polinização reduzindo

a fertilização e o rendimento de grãos, como consequência do pequeno número de sementes produzidas.

FREY (1982) defende que durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho, o período mais crítico ao déficit hídrico começa aproximadamente duas semanas antes do florescimento e continua por duas a três semanas após esta fase. Ocorrência de estresse antes do florescimento afeta o desenvolvimento das espigas, enquanto o estresse depois da polinização, resulta na redução do número de sementes, com consequente diminuição no rendimento da cultura.

ECK (1986) em seu trabalho sobre os efeitos do déficit hídrico no rendimento e componentes de produção na cultura do milho, observou que a deficiência de água imposta aos 41 dias após o plantio, proporcionou redução nas folhas, haste principal e espiga, enquanto que o estresse induzido aos 55 dias após o plantio, reduziu somente a haste principal e a espiga. Encontrou ainda, que o déficit hídrico durante a fase de crescimento vegetativo, reduziu o número de sementes, mas mostrou pequeno efeito no peso dos grãos. Estresse induzido durante o período de formação de grãos, diminuiu o rendimento da espiga. O mesmo autor afirmou por outro lado, que a diminuição no rendimento de grãos, foi proporcional à redução no peso por semente.

LORENS et alii., (1987) avaliando o comportamento de dois híbridos de milho em relação às diferentes resistências à seca, afirmaram que a deficiência de água nas diversas fases de

crescimento do milho, resultam em um baixo rendimento de grãos e que a magnitude dessa redução está na dependência do estágio de desenvolvimento da cultura por ocasião do estresse hídrico, da duração do estresse e da susceptibilidade do genótipo ao estresse.

As leguminosas de maneira geral, apresentam alta sensibilidade à deficiência hídrica durante a floração, formação de vagens e enchimento de grãos e revelam menor sensibilidade durante o período vegetativo (MILLAR & GARDNER, 1972; BRANDES et alii., 1973; LOPES et alii., 1986).

MILLAR & GARDNER (1972) estudando o efeito do potencial da água do solo e da planta, observaram que a taxa de transpiração e matéria seca, decresceram com o potencial da água do solo. Quando o potencial matricial variou de $-0,28$ bar para $-0,40$ bar, houve redução de 47% na taxa de produção de matéria seca no feijoeiro.

Estudando a influência do déficit hídrico sobre a produção do cowpea, TURK et alii., (1980), observaram que a deficiência de água durante a fase de florescimento reduziu substancialmente o rendimento da cultura, nos dois anos de experiência realizada no semi-árido da Califórnia, (EUA).

Avaliando os efeitos da deficiência hídrica em feijoeiro, BERGAMASCHI et alii., (1988), verificaram que a duração do ciclo da cultura não sofreu alteração quando o déficit de água ocorreu no final do período de enchimento de grãos.

Entretanto, quando o déficit se deu depois do surgimento dos primeiros legumes, a maturação foi antecipada e, retardada, quando o estresse ocorreu durante a formação dos botões florais e a floração.

STONE et alii., (1988) estudando os efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro, mostraram que a produção decresceu com o aumento da tensão da água do solo e que a intensidade dessa redução estava na dependência da demanda evaporativa da atmosfera.

VIEIRA et alii., (1989) testando o comportamento de duas variedades de feijoeiro, submetidas a dois regimes de disponibilidade hídrica do solo, mostraram que a variação do potencial da água do solo atingiu uma maior intensidade de redução hídrica no período de formação de vagens. Os autores defendem ainda, que a diminuição dos efeitos danosos provocados pela deficiência hídrica sobre a produtividade das culturas somente pode ser conseguida, através do conhecimento das condições climáticas dos locais de cultivo, das características do solo, do desenvolvimento das plantas e da disponibilidade de água no solo.

SCHAIK & PROBST (1958) destacam que a deficiência hídrica do solo durante o início do florescimento, é responsável pela queda dos botões florais, com consequente redução no rendimento da cultura da soja.

MATSON (1964) em seu trabalho sobre os fatores que

afetam a resposta da produção de soja irrigada, concluiu que a soja resiste a curtos períodos de seca, mas acarreta sérios danos à produção e é essencialmente susceptível ao estresse hídrico durante a germinação e início de crescimento das sementes.

SALTER & GOODE (1967) após demorada revisão de literatura, afirmaram que a soja é sensível ao estresse hídrico desde a diferenciação dos botões florais ao final da frutificação, principalmente durante a fase de florescimento e formação de grãos. A soja sob condições de deficiência de água tem a sua produção reduzida, especialmente no período de frutificação, uma vez que os intervalos críticos de diversos dos seus componentes são afetados.

MEDERSKI & JEFFERS (1973) trabalhando com resposta de produção de variedades de soja submetidas a dois níveis de estresse de umidade no solo, encontraram que sob altas condições de deficiência hídrica, a produção da maioria das variedades resistentes aos estresse, foram reduzidas em 20%, enquanto nas cultivares menos resistentes, a queda no rendimento de grãos foi de 40% aproximadamente.

DOSS et alii., (1974) estudando os efeitos do estresse hídrico nas diferentes fases de crescimento da soja, após resultados de três anos de pesquisa, mostraram que as maiores produções de grãos foram obtidas com irrigação aplicada depois do período de floração e concluíram que a fase de enchimento de grãos foi a mais crítica em deficiência de água, para se obter

máximos rendimentos. Afirmaram ainda os mesmos autores, que em uma área seca do Nebraska Central (EUA), uma simples irrigação, reabastecendo o perfil do solo até a capacidade de campo, quando as plantas haviam completado a fase de florescimento, proporcionou um rendimento de 2.150 kg/ha de grãos dessa leguminosa.

ROGERS & THURLOW (1970), RUNGE & ODELL (1960) citados por DOSS et alii., (1974), afirmaram que a deficiência hídrica durante a fase de frutificação, se caracteriza como a maior barreira para obtenção de altas produções na cultura da soja.

A literatura sobre o manejo da cultura da soja em geral é extensiva. No entanto, existem poucas informações relacionadas com a combinação de fatores tais como regime de água no solo, espaçamento entre fileiras e nível de populações de plantas, para se obter máximos rendimentos. Dos resultados de pesquisa existentes até então, torna-se difícil determinar que fatores limitam a produção, embora o estresse hídrico verificado no período crítico de desenvolvimento parece ser o mais freqüente fator limitante (DOSS & THURLOW, 1974).

SONIT & KRAMER (1977) evidenciaram que as plantas de soja submetidas ao estresse hídrico durante a formação de flores, acarretava um encurtamento do período de floração, pequena produção de flores e baixa formação de vagens, devido ao abortamento das flores provocado pela deficiência de água. Estresse induzido durante o início da formação de vagens,

proporcionou pequeno número de vagens e baixa produção de sementes. Os autores concluíram que as maiores reduções na produção ocorreram quando o estresse hídrico foi aplicado nas fases de floração, formação de vagens e enchimento de grãos.

SILVA & RESCK (1981) avaliando as respostas fisiológicas da soja ao déficit hídrico em dois solos de Cerrado, observaram que os níveis mínimos de umidade no solo, sob os quais as plantas não mais se recuperam da murcha, foram 21% no Latossolo Vermelho Escuro e 12% no Latossolo Vermelho Amarelo, correspondendo a um déficit hídrico na planta de 35% no conteúdo relativo de água e que o processo da murcha teve início a 25% e 19% de umidade, no Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo, respectivamente.

ESPINOZA (1982) comparando a resposta de doze cultivares de soja ao déficit hídrico em um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado, observou que os cultivares com maiores produções sob condições de irrigação, foram aquelas que apresentaram maiores reduções percentuais de rendimento, quando submetidas ao déficit hídrico e que esses rendimentos foram elevados em comparação com a produção das cultivares que evidenciaram menor potencial de rendimento.

PANDEY et alii., (1984) avaliando a resposta da deficiência hídrica em grãos de leguminosas sob condições de irrigação, verificaram que entre os componentes de produção, o número de vagem por metro quadrado, foi mais afetado pelo

estresse, seguido pelo número de sementes por vagem, enquanto o peso de sementes sofreu menores reduções e o índice de colheita, por sua vez, decresceu linearmente com o aumento do nível de deficiência de água no solo.

MECKEL et alii., (1984) estudando os efeitos do déficit de umidade sobre o crescimento da semente de soja, encontraram que o período de enchimento de grãos, foi mais sensível ao estresse hídrico, do que a taxa de crescimento de sementes e que o efeito do estresse de umidade na duração do período de enchimento de grãos, pode ser uma das maneiras pelas quais o estresse reduz a produção de sementes de soja.

BROWN et alii., (1985) avaliando as respostas de cultivares de soja ao déficit de umidade no solo, enfatizaram que a umidade é o maior fator limitante da produção em áreas onde a soja é cultivada. Os autores mostraram que a deficiência de água iniciada no período de floração, resultou em maior perda de produção, do que o déficit hídrico iniciado na fase de formação de sementes e concluíram que a produção e queda de flores não são os mais importantes fatores responsáveis pela redução de produção, sob condições de deficiência hídrica.

2.2 - Requerimento de Água e Produção

A determinação do momento adequado para aplicação de água no solo através da irrigação, é de fundamental importância

para aumentar o rendimento das culturas.

A água do solo é um fator essencialmente importante para suprir as necessidades hídricas, durante as diversas fases fenológicas da planta e seu consumo varia em função do desenvolvimento vegetal, atingindo valores máximos nas fases de floração e frutificação (VEIMYER & HENDRICKSON, 1955).

Durante a estação seca em Missouri (EUA), WHITT (1954) obteve um rendimento de 2.090 kg/ha de sementes de soja, quando aplicou uma irrigação de 119 mm de água, enquanto que em parcelas não irrigadas, a produção foi de 1.140 kg/ha. O autor reporta ainda, que nas parcelas não irrigadas, o peso da semente e o rendimento foram reduzidos em aproximadamente um terço, quando comparados com parcelas irrigadas e que este efeito sobre a semente, proporcionou redução na produção, uma vez que o rendimento está diretamente relacionado com o peso e a quantidade de sementes produzidas.

WHITT & Van BAVEL (1955) indicam um requerimento de 325 a 575 mm de água pela cultura da soja, com uma taxa média diária de 7,5 mm, durante os meses de julho e agosto, em experimento conduzido em Missouri (EUA).

GRISSOM et alii., (1955) avaliando as respostas das culturas submetidas a irrigação, em pesquisa realizada em Yazoo-Missouri (EUA), mostraram taxas de uso de água, calculadas para ótimo crescimento de 160 mm, 175 mm e 157 mm, com médias diárias de 5,3 mm e 5,2mm para os meses de junho, julho e agosto,

respectivamente. Obtiveram ainda, incremento de produção que variaram de 240 a 403 kg/ha, quando a irrigação foi efetuada durante o período de desenvolvimento da semente.

SCHWAB et alii., (1958) conduzindo pesquisa com irrigação de milho e soja em Conesville e Ankeny (Iowa), obtiveram aumentos de produção que variaram entre 240 e 650 kg/ha de sementes de soja, durante três anos de experiência de campo.

SOMERHALDER & SCHLEUSENER (1960) mostraram que uma irrigação de 114 mm efetuada depois do florescimento, foi mais eficiente que igual quantidade de água aplicada antes dessa fase. Estabeleceram ainda, que valores de 450 a 625 mm de água, foram requeridos pela cultura da soja, em experimento conduzido em Nebraska (EUA).

SPOONER (1961) afirmou que a aplicação de água por irrigação antes do florescimento, não aumentou significativamente o rendimento da soja e concluiu que as irrigações deveriam ser realizadas durante o período de frutificação, em experimento realizado em Arkansas (EUA).

CARTER & HARTWIG (1963) estudando o manejo da cultura da soja, concluíram que a utilização de água pela soja variou entre 500 a 700 mm, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Em experimento com soja irrigada, realizado em Arkansas (EUA), HERPICH (1963) encontrou um requerimento de água entre 500 a 600 mm, durante o ciclo da cultura, com uso diário máximo de

água de 7,5 mm.

Em seu trabalho sobre ecologia e época de semeadura da soja, SACCOL (1974) enfatiza que a soja se desenvolve satisfatoriamente com uma precipitação anual entre 500 a 700 mm de chuvas, distribuídas uniformemente.

Estudando os efeitos da irrigação sobre o crescimento vegetativo e o período reprodutivo da soja, ASHLEY & ETHRIDGE (1978), após ampla revisão de literatura, concluíram que a irrigação suplementar realizada durante a fase de crescimento vegetativo, se mostrou menos importante que durante os períodos de florescimento, formação de vagens e enchimento de grãos. Afirmaram ainda, que esses estudos foram desenvolvidos com o propósito de dimensionar o efeito do período de aplicação de água por irrigação sobre o crescimento vegetativo, frutificação e produção de sementes.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Caracterização da Área e Condições Climáticas

O experimento foi conduzido em uma área irrigável denominada plano AT₁, na Fazenda Experimental do Vale do Curú, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, no município de Pentecoste, Ceará, distante 110 km de Fortaleza. A área objeto do estudo setá geograficamente situada entre os paralelos 3°45' e 4°00' latitude Sul e os meridianos 39°15' e 39°30' a Oeste de Greenwich, com altitude de 47 m acima do nível do mar.

De acordo com a classificação de Wilhelrn Koeppen, o clima local é tipo AW' (quente tropical chuvoso), isto é, quente e úmido, com predominância de chuvas no inverno.

Durante os meses de outubro de 1988 a fevereiro de 1989, período de condução do experimento, as condições climáticas apresentaram médias de temperaturas mínimas mensais de 22,9°C e máximas de 34,3°C. Os valores médios da demanda evaporativa foram de 251,8 mm para o Tanque Classe A e 146,9 mm no evaporímetro de Piche. A precipitação total durante o ano de 1988 foi de 944,6 mm, acima da média da região que é de 711 mm anuais. Os dados meteorológicos ocorridos no período de setembro de 1988 a

fevereiro de 1989, estão apresentados na TABELA 1.

O solo da área do experimento é plano com decline suave de 0 a 2%, resultante da deposição de sedimentos aluvionais eutróficos, classificado conforme critérios adotados pelo Ministério da Agricultura, como sendo de textura franco-arenosa, com predominância da fração argilosa sobre as demais. Segundo os critérios de Soil TOXONOMY citado por SAUNDERS et alii., (1981), o solo é classificado como Typic Torrifluvent.

TABELA 1 - Dados climáticos da Estação Meteorológica da FEVC no período de realização do experimento.

	1988				1989		Valores
	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	Médios
<u>Temperatura (°C)</u>							
.Máxima	34,5	35,0	35,3	34,6	33,0	33,7	34,3
.Mínima	22,2	23,1	23,1	23,0	22,7	22,6	22,9
<u>Evaporação (mm)</u>							
.Tanque Classe A	275,9	287,9	269,8	245,3	261,2	194,7	251,8
.Evaporímetro Piche	244,2	190,7	179,5	141,2	115,4	107,6	146,9
Umidade relativa (%)	73,0	70,0	76,0	71,0	75,0	76,0	73,6
Precipitação	0,0	1,0	1,8	28,0	-	99,0	-
Velocidade do vento	5,0	5,0	4,9	3,7	3,5	3,3	4,1

3.2 - Características Físicas e Químicas do Solo

Pelos resultados da análise física do solo, há predominância da fração areia sobre as demais frações silte e argila, de modo que o solo pode ser classificado como franco-arenoso, dentro da classe textural.

Os dados resultantes da análise química do solo, apresetam elevado grau de fertilidade natural, onde predominam teores de cálcio e magnésio trocáveis, fósforo assimilável e 100% de saturação de bases, pH neutro e a não ocorrência de alumínio tricável. Nas TABELAS 2 e 3, são apresentadas as análises físicas e químicas do solo onde foi conduzido o experimento.

3.3. - Delineamento Experimental e Descrição dos Tratamentos

O delineamento usado foi o de blocos ao acaso com 5 tratamentos e 6 repetições, sendo 3 blocos dispostos em cada lado da linha de aspersão. Em condições de campo, o experimento contou com 30,0 metros de comprimento e 18,0 metros de largura, perfazendo uma área total de 540,0 m². Cada bloco ficou com dimensões de 15,0 m por 6,0 m, as parcelas com 6,0 m por 3,0 m e uma área útil de 11,6 m², conforme mostra o esquema de campo na FIGURA 1.

Os tratamentos consistiram de 5 diferentes níveis de irrigação, aplicados nas parcelas situadas em cada lado da linha

de aspersão correspondendo aos tratamentos L₁, L₂, L₃, L₄ e L₅, respectivamente.

A irrigação por aspersão foi constituída por sete aspersores estreitamente espaçados em uma única linha, de modo a se conseguir o denominado efeito da distribuição triangular da precipitação, semelhantes aos dados obtidos por HANKS et alii., (1976).

3.4 - Preparo do Solo

O solo para implantação do experimento foi preparado com uma gradagem cruzada, com a finalidade de descompactar e desfazer os torrões do solo e logo depois usou-se enxada para nivelar o local e realizar a abertura dos sulcos de plantio. Em seguida foi feita uma adubação de nivelamento, utilizando-se NPK na formulação de 20-30-20 kg/ha, de acordo com as recomendações da análise do solo, realizada pelo laboratório do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará. As fontes de NPK foram uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio e a mistura foi colocada em sulcos contínuos localizados do outro lado da linha de plantio. O nitrogênio foi colocado de uma só vez, juntamente com o fósforo e potássio, por se tratar de uma adubação exigindo pequenas percentagens de reposição dos 3 macronutrientes, em virtude da boa fertilidade natural do solo aluvial.

3.5. - Plantio

A semeadura foi realizada manualmente no dia 06 de outubro de 1988, em sulcos paralelos, espaçados de 0,50 m, com 15 a 20 plantas por metro linear, de modo a se obter populações entre 300.000 a 400.000 plantas por hectare.

A cultivar utilizada para plantio foi a soja Tropical, desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas, São Paulo, e lançada pela EMBRAPA no ano de 1981.

3.6. - Aplicação de Água e Controle das Irrigações

As aplicações de lâminas de água foram feitas por um sistema de aspersão em linha (Line Source Sprinkler System), disposto no campo segundo a metodologia proposta por HANKS et alii, (1976), proporcionando a aplicação de diferentes lâminas de irrigação. As parcelas situadas ao longo da direção perpendicular à linha de aspersão, permitem a obtenção de diferentes lâminas de água, de modo que aquelas que se localizam mais próximas desta linha, receberão maiores lâminas e as que ficarem mais distantes recebem menores precipitações, formando um gradiente decrescente de irrigação denominado distribuição triangular da precipitação (HANKS et alii, 1976).

TABELA 2 - Características físicas do solo aluvial eutrófico do local do experimento. Pentecoste, CE.

CAMADA		Granulometria %				Classe Textural
Símbolo	Profundidade (cm)	Areia grossa 2,0-0,2mm	Areia fina 0,2-0,5mm	Silte 0,5-0,002mm	Argila 0,002mm	
AT1	0 - 20	8	56	23	14	Franco arenoso
AT1	20 - 40	6	56	24	14	Franco arenoso
AT1	40 - 60	10	56	21	13	Franco arenoso
AT1	60 - 80	9	60	19	12	Franco arenoso

TABELA 3 - Características químicas do solo aluvial eutrófico da FEVC. Pentecoste-CE.

Profun- didade (cm)	pH (H ₂ O)	C %	P assimi- lável (mg/100g)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ⁺⁺⁺	T	100 S/T = V%
0-20	7,00	0,79	3,20	7,50	0,80	0,38	0,34	9,00	0,0	9,00	100
20-40	7,00	0,55	2,50	7,00	0,90	0,30	0,37	8,60	0,0	8,60	100
40-60	7,10	0,19	1,90	6,30	0,70	0,15	0,18	7,30	0,0	7,30	100
60-80	7,00	0,19	2,10	6,20	0,50	0,15	0,36	7,20	0,0	7,20	100

Foram utilizados sete aspersores Asbrasil do tipo ZAD-30, com bocais de 3,8 x 3,8 mm, diâmetro molhado de 26,2 m, vazão de 1,88 m³/h, operando com pressão de serviço de 3,0 atmosferas e com espaçamento de 6,0 m entre aspersores, formando a linha de irrigação. As precipitações dos aspersores foram coletadas em pluviômetros localizados no centro das parcelas, às distâncias de 2,0 m, 5,0 m, 8,0 m, 11,0 m e 14,0 m da linha de irrigação, conforme mostra a FIGURA 1.

As irrigações foram controladas pelos tratamentos L₁ dos blocos III e IV centrais, através da leitura dos tensiômetros instalados a 10 e 30 cm de profundidade do solo. As irrigações eram realizadas quando o potencial da água do solo atingia valores iguais ou superiores a -0,5 atm nos tensiômetros a 10 cm de profundidade. As leituras dos tensiômetros a 10 cm de profundidade juntamente com a leitura dos instalados a 30 cm, permitiram através da curva característica da água do solo (FIGURA 2 e 3), a determinação da lâmina líquida requerida pela cultura.

Para o cálculo do potencial matricial (ψ_m), empregou-se a seguinte expressão:

$$\psi_m = -12,6 \cdot h_{Hg} + h_c + h_z$$

onde:

ψ_m = Potencial matricial em cm de H₂O

h_{Hg} = Altura da coluna de mercúrio em cm

h_c = Altura da cuba de mercúrio em relação a

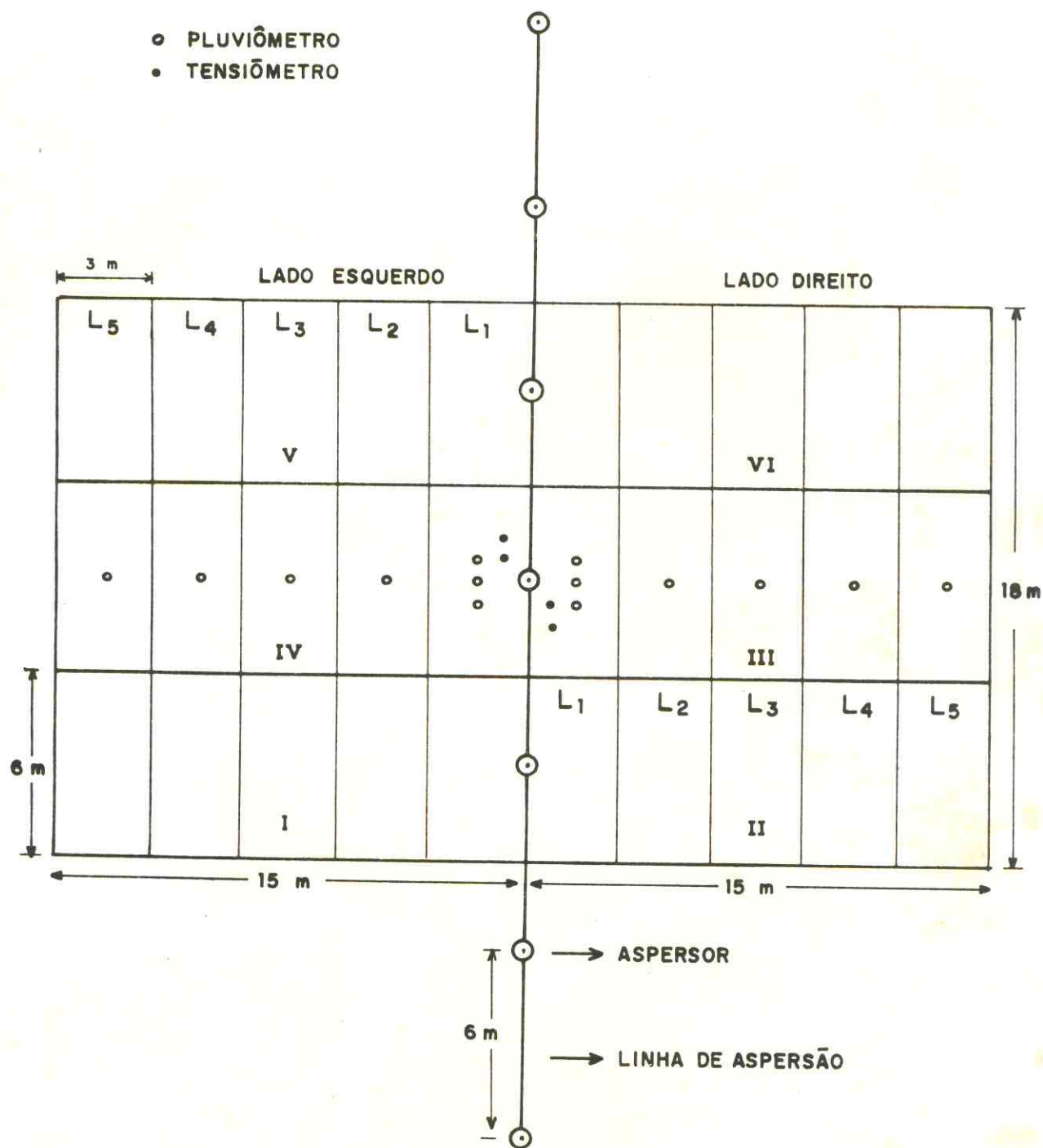


FIGURA 1 - Esquema de campo mostrando a distribuição das parcelas e da linha de aspersão.

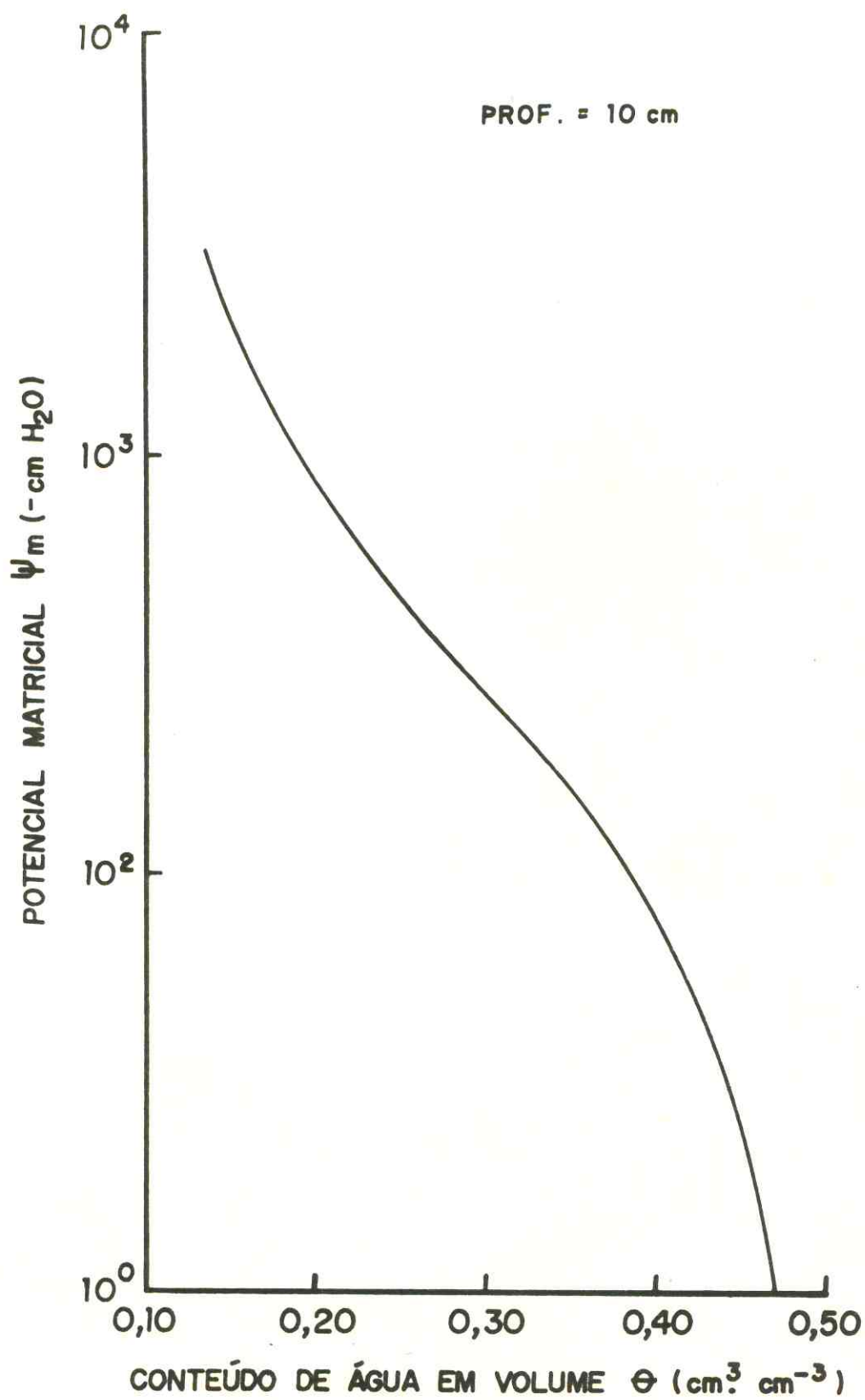


FIGURA 2 - Curva característica da umidade do solo Aluvial a 10 cm de profundidade.

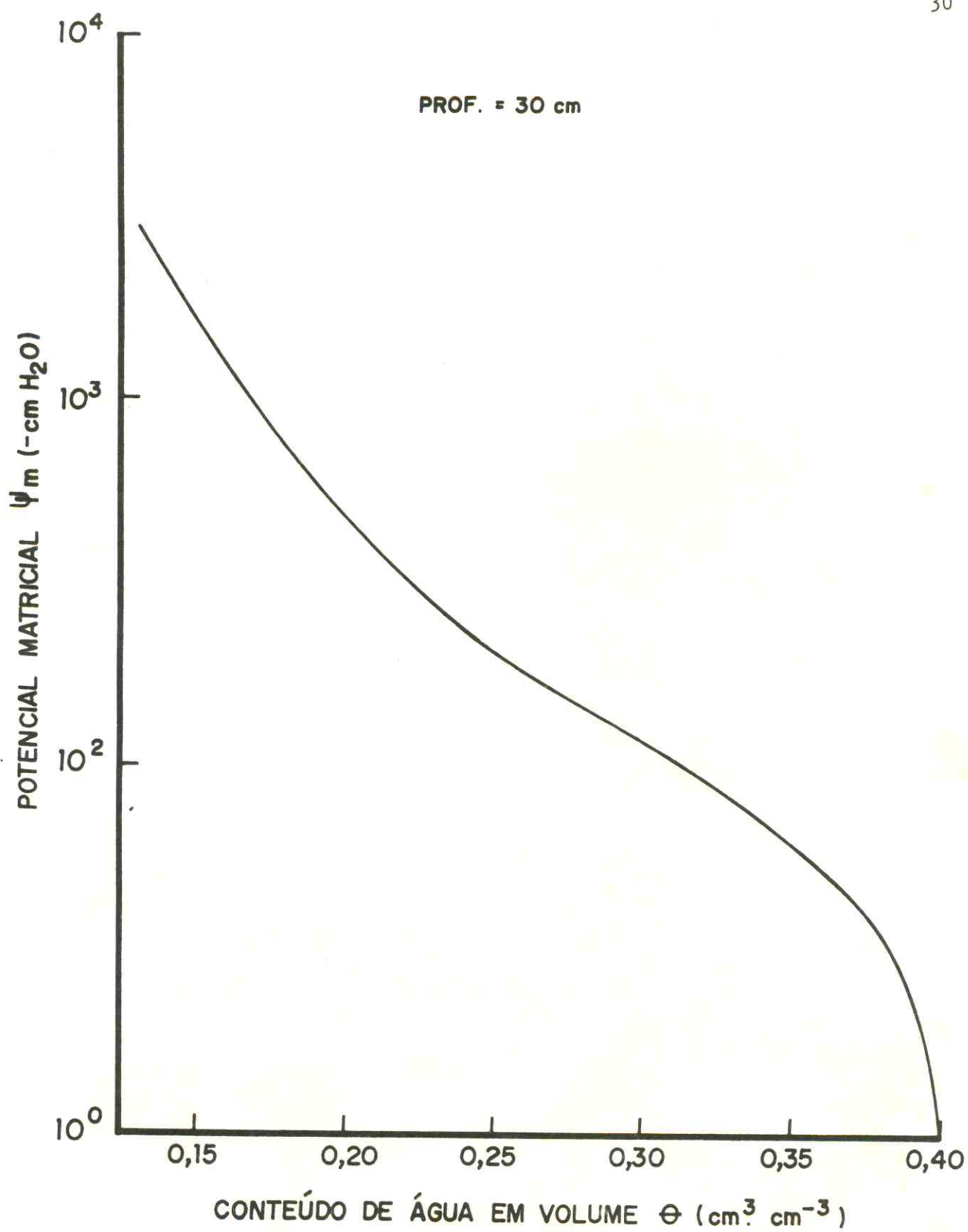


FIGURA 3 - Curva característica da umidade do solo Aluvial a 30 cm de profundidade.

superfície do solo em cm

hz = Profundidade do tensiômetro no solo em cm

Para o cálculo da lâmina líquida, utilizou-se a seguinte expressão:

$$LL = (\theta_{cc} - \theta_{uc}) \cdot h$$

onde:

LL = Lâmina líquida em mm

θ_{cc} = Conteúdo de umidade na capacidade de campo em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$

θ_{uc} = Conteúdo na umidade crítica em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$

h = Camada do solo que se deseja irrigar em cm.

Durante a fase de estabelecimento da cultura, as irrigações foram feitas de maneira uniforme em todos os tratamentos. A partir do dia 02 de novembro de 1988 as irrigações se diferenciaram, obedecendo o sistema de aspersão em linha e se estenderam até 27 dias antes da colheita.

No período de condução do experimento, mais precisamente no mês de dezembro, ocorreram precipitações naturais, as quais adicionadas às irrigações uniforme e às lâminas médias das irrigações em linha, perfazem o montante da lâmina total aplicada aos tratamentos.

A contagem da emergência das plântulas foi realizada 15 dias após a germinação e o desbaste feito aos 21 dias nas parcelas onde o número excedeu a 360 plantas por unidade experimental.

3.7. - Tratos Culturais

As capinas foram realizadas após o aparecimento das ervas daninhas, de modo que as parcelas eram sempre mantidas limpas durante o ciclo da cultura. Foram executadas três capinas manuais com auxílio de enxada durante a condução do experimento.

Não houve necessidade de se fazer controle fitossanitário, uma vez que no decorrer do ciclo da soja, não se verificou o aparecimento de pragas ou doenças que viessem a comprometer o rendimento da cultura.

3.8. - Colheita

As colheitas foram realizadas nos dias 02 e 10 de fevereiro de 1989 e em cada parcela colheram-se as quatro fileiras centrais, deixando-se 10 cm em cada extremidade, correspondendo a área útil da parcela.

O rendimento foi obtido pela produção de grãos de soja em cada área útil, onde as produções foram pesadas e depois projetadas em kg/ha.

O peso de 100 sementes foi determinado pela média de duas pesagens de 100 grãos, retirados de uma amostra de 200 g de sementes, obtida após a determinação do rendimento em cada tratamento.

Por ocasião da colheita, foi contado o número de plantas por área útil e em seguida calculado o peso de sementes por planta, pela divisão do rendimento em cada tratamento e o número de planta da área útil.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. - Parâmetros de Irrigação

As irrigações diferenciadas somente foram realizadas aos 27 dias após o plantio, uma vez que no período inicial de crescimento, foram efetuadas irrigações uniformes em todos os tratamentos, visando a manutenção do estande de plantas durante a fase de estabilidade da cultura.

Na TABELA 4, são mostradas as dotações de lâminas de água aplicadas em cada lado da linha de aspersão, a variação verificada entre os lados, a lâmina média aplicada durante as irrigações, a lâmina total em cada tratamento e a percentagem de variação da lâmina total dos demais tratamentos, em relação ao controle L_1 .

As variações da precipitação dos aspersores observadas entre os lados da linha de irrigação, ficaram em torno de 3,0% em relação a lâmina média, nos tratamentos L_1 e L_2 , 7,4% no tratamento L_3 e 14,3% no tratamento L_4 . As maiores precipitações verificadas no lado esquerdo do experimento, foi motivada pela ação dos ventos, apesar das irrigações terem sido realizadas à noite, onde a atuação dos ventos é menor que qualquer hora do dia.

TABELA 4 - Lâminas de irrigação, variação, lâmina média e lâmina total aplicadas nos cinco tratamentos durante o ciclo da soja tropical.

Tratamento	Lâmina Aplicada (mm)		Variação (mm)	Lâmina Média Aplicada (mm)	Lâmina Total Aplicada (mm)	Variação em Relação ao Controle (%)
	Lado Esquerdo	Lado Direito				
L ₁	489,90	473,93	15,97	481,90	591,90	100,00
L ₂	414,82	402,26	12,56	408,54	518,54	87,60
L ₃	310,51	288,35	22,16	299,43	409,43	69,17
L ₄	102,84	89,15	13,69	96,00	206,00	34,80
L ₅	0,0	0,0	0,0	0,0	110,0	18,58

A lâmina média é resultante da semi-soma das lâminas do lado esquerdo e direito, aplicadas em todos os tratamentos e mostrou valores decrescentes de 481,9 mm, 408,5 mm, 299,4 mm, 96,0 mm e 0,0 mm, respectivamente para os tratamentos L_1 , L_2 , L_3 , L_4 e L_5 .

A lâmina total corresponde ao somatório da lâmina média, com as irrigações iniciais efetuadas na fase de estabelecimento da cultura (82,0 mm) e com as precipitações naturais ocorridas por ocasião do período de condução do experimento, (28,0 mm) apresentando o tratamento L_1 com 591,90 mm, L_2 518,54 mm, L_3 409,43 mm, L_4 206,0 mm e L_5 com 110,0 mm totais de lâmina de água aplicadas nos 5 tratamentos durante o ciclo da soja tropical.

A lâmina de água aplicada em todos os tratamentos, foi considerada como sendo a precipitação recebida pelos pluviômetros colocados no centro das parcelas centrais do experimento, como pode ser observado na FIGURA 1.

As percentagens de variação da lâmina total em relação ao controle, indicam que os tratamentos L_2 , L_3 , L_4 e L_5 , receberam respectivamente 87,60%, 69,17%, 34,80% e 18,58% do total de lâmina de água do tratamento L_1 (100%).

A FIGURA 4 apresenta o gráfico da distribuição de água, em função da distância da linha de aspersão, onde foram obtidas as intensidades de precipitações de 11,76; 7,50; 5,43; 2,27 e 0,0 mm/h, respectivamente nos tratamentos L_1 , L_2 , L_3 , L_4 e L_5 .

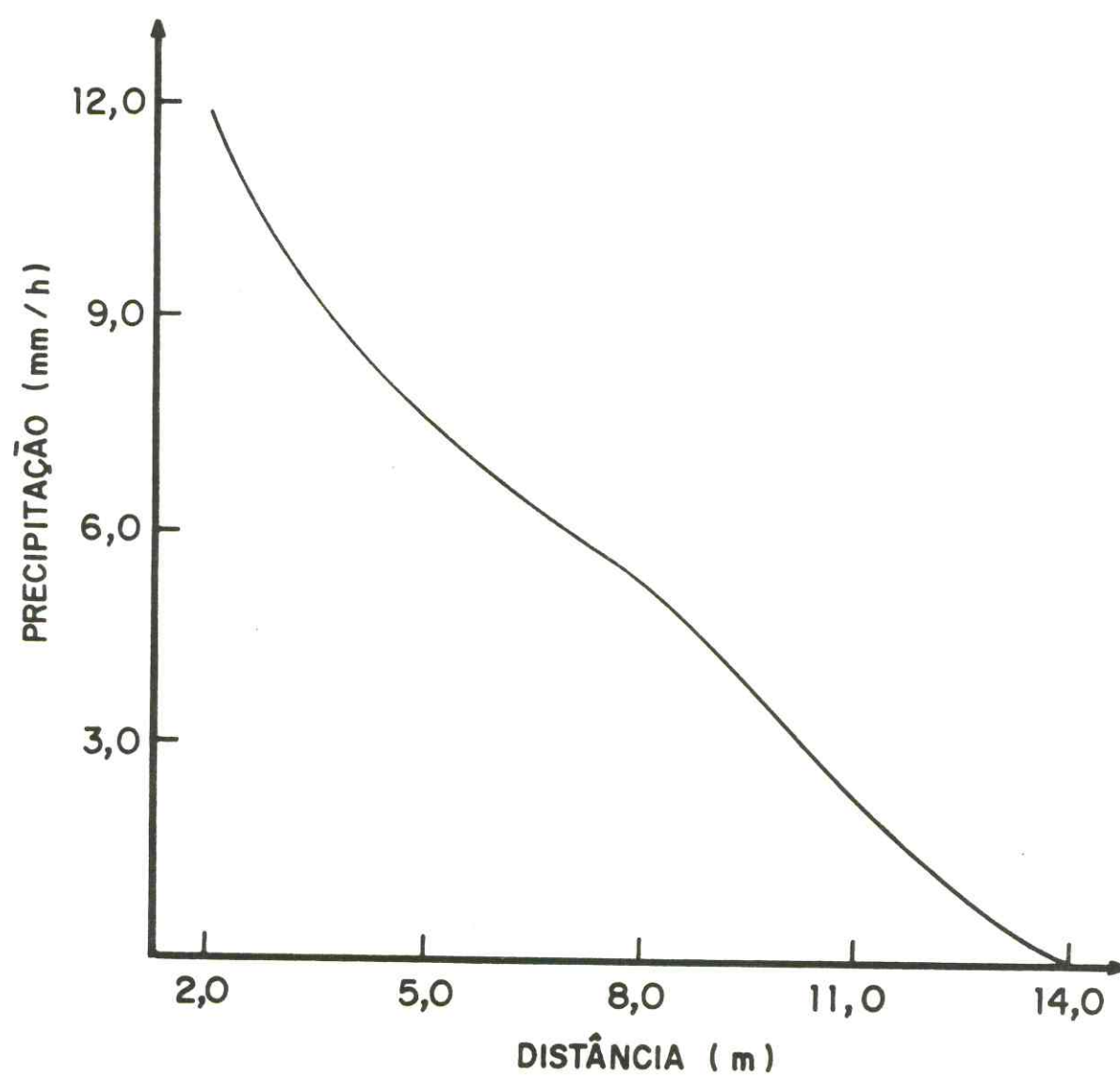


FIGURA 4 - Distribuição da precipitação do aspersor ZAD-30 em função da distância da linha de aspersão.

4.1.1. - Dinâmica da Água do Solo

Procurando observar o consumo de água nas fases fenológicas da cultura, estudou-se o comportamento do movimento da água do solo, através da variação do potencial matricial e do conteúdo da água do solo.

4.1.1.1.a - Variação do Potencial Matricial da Água do Solo

Na FIGURA 5, estão as curvas da variação média do potencial matricial da água do solo a 10 cm de profundidade, entre irrigações, nas fases de crescimento vegetativo, floração-frutificação e maturação da soja.

Observando a FIGURA 5, verifica-se que durante a fase de crescimento vegetativo, o intervalo entre as irrigações foi de 6 dias, com o potencial matricial da água do solo aumentando a taxas cada vez mais crescentes, em números absolutos, do 1º ao 7º dia após a irrigação, chegando a atingir valores superiores a $-0,5$ atmosferas, representando o decréscimo da umidade do solo nesta fase do ciclo da cultura.

No período de floração-frutificação, o turno de rega observado passou a ser de 5 dias, mostrando que o potencial matricial da água do solo aumentou a taxas ainda mais crescentes do que na fase de crescimento vegetativo, atingindo mais rapidamente valores superiores a $-0,5$ atm, evidenciando a

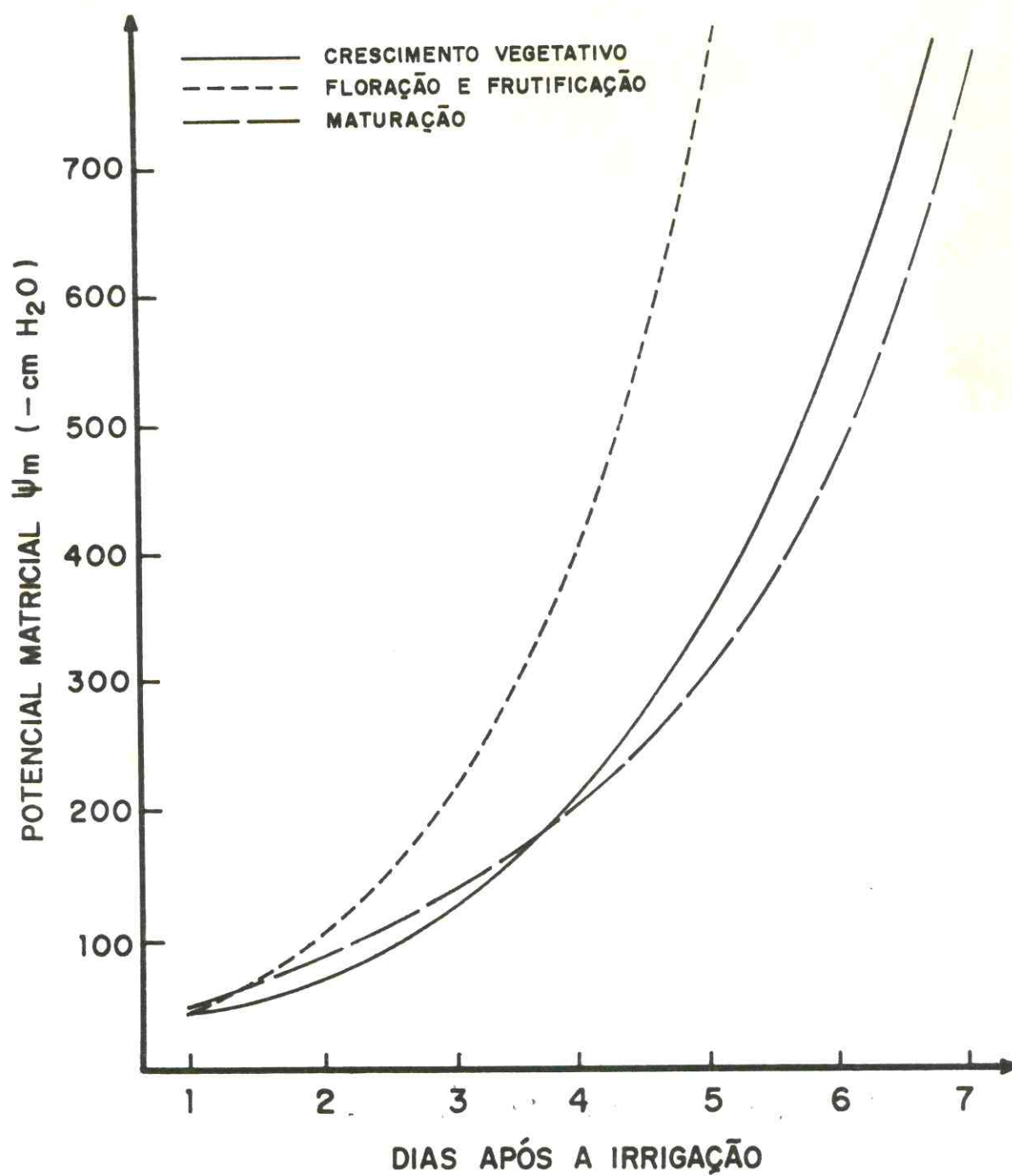


FIGURA 5 - Variação média do potencial matricial a 10 cm de profundidade entre irrigações, nas três fases de desenvolvimento da soja, em um solo aluvião.

necessidade de reposição de água no solo em um menor espaço de tempo, de modo a atender as exigências hídricas da soja nesta fase de desenvolvimento.

Procedimento semelhante tem sido relatado por vários autores em trabalhos de pesquisas com estresse hídrico em soja, onde os mesmos mostram que o período de floração-frutificação se caracteriza como o estágio fenológico mais crítico de deficiência hídrica da cultura (CRISSOM et al. 1955, SOMERHALDER & SCHLEUSENER 1960, SPOONER 1961, DOSS et al. 1974).

Este procedimento pode ser justificado pela demanda evaporativa verificada durante este período, associado ao maior consumo de água e nutriente utilizados pela soja, para elaboração de produtos sintetizados pela fotossíntese, destinada à formação e crescimento de vagens e enchimento de grãos.

Na fase de maturação, observa-se praticamente o mesmo comportamento na variação do potencial da água do solo, verificado no período de crescimento vegetativo, com o potencial mátrico aumentando a taxas progressivas, representando a redução de umidade disponível no perfil do solo, durante o período de 6 dias depois da irrigação.

A FIGURA 6 mostra o gráfico das curvas da variação média do potencial matricial da água do solo na profundidade de 30 cm, em função dos dias após a irrigação, nos 3 estádios fenológicos da soja.

Pela FIGURA 6, observa-se que na fase de crescimento

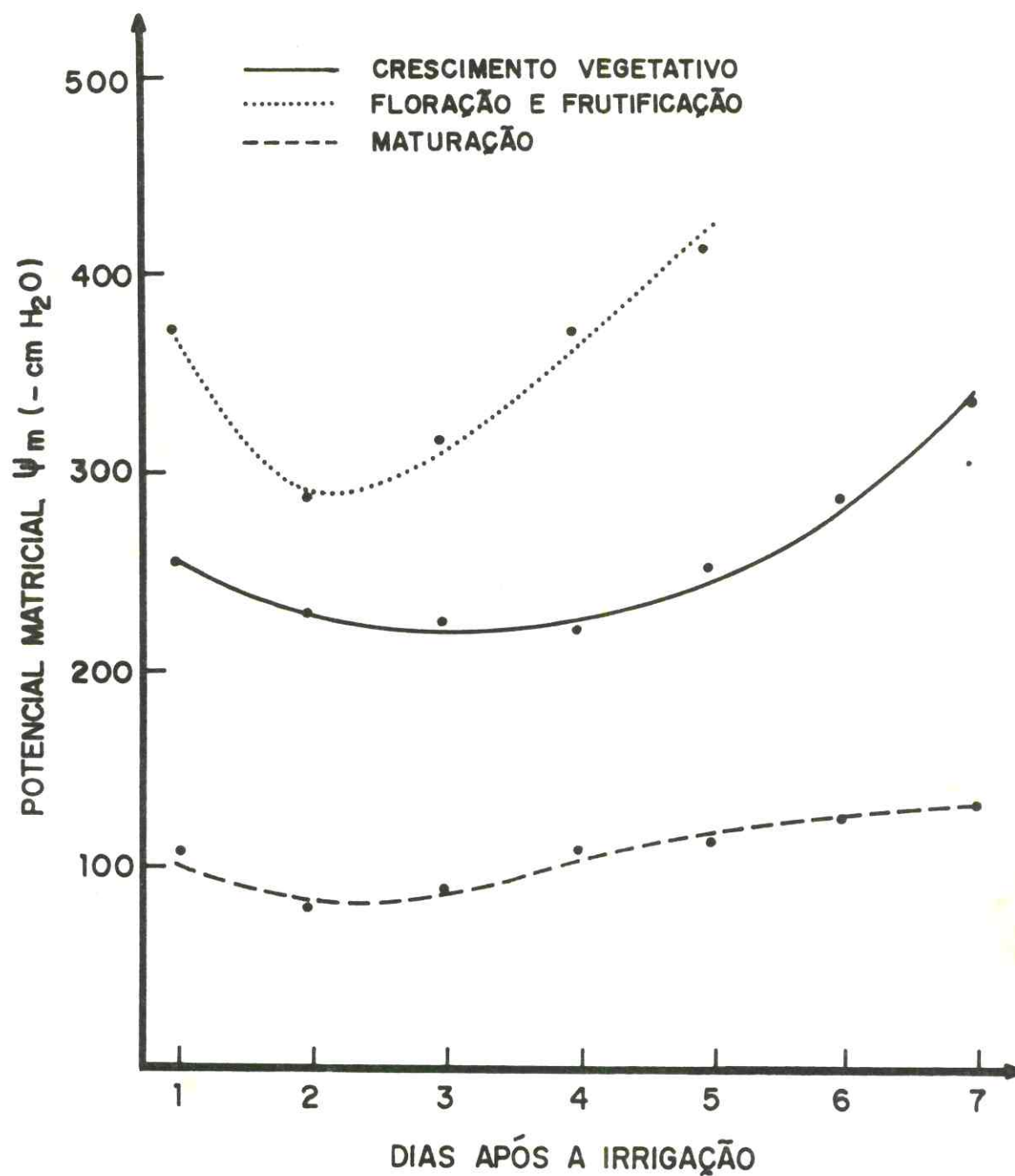


FIGURA 6 - Variação média do potencial matricial a 30 cm de profundidade entre irrigações durante as três fases de desenvolvimento da soja em um solo aluvião.

vegetativo, houve contribuição de água das camadas superiores para as inferiores do solo e a redistribuição através do perfil, ocorreu de maneira gradual nos 4 primeiros dias após a irrigação, diminuindo o potencial mátrico da água do solo de $-0,256$ atm para valores de $-0,220$ atm, em valores absolutos, com decréscimo médio de $0,035$ atm, nesse intervalo de tempo. A partir daí, verifica-se que o potencial matricial cresceu de forma progressiva de $-0,220$ atm, para valores próximos de $-0,334$ atm, até o sétimo dia, de acordo com as necessidades hídricas da cultura durante este período de crescimento.

Na fase de floração-frutificação, a contribuição de água das camadas superiores mostra que a redistribuição através do perfil do solo ocorreu de maneira pronunciada, somente nos dois primeiros dias depois da irrigação, com o potencial matricial da água do solo diminuindo, em números absolutos, de $-0,372$ atm, para $-0,285$ atm do 1º para o 2º dia. A partir do 2º dia, o potencial matricial cresceu de forma acentuada, chegando a aumentar $0,122$ atm em 3 dias, atingindo valores de $-0,4$ atm mais rapidamente que nas fases de crescimento vegetativo e maturação, evidenciando a necessária reposição de água no solo em um menor espaço de tempo, comprovando o elevado consumo de água neste período em relação aos outros dois estádios fenológicos da cultura.

Ainda pela FIGURA 6, pode-se notar que na fase de maturação, a pequena contribuição de água das camadas superiores

do solo revela que a redistribuição se deu até o 29 dia da irrigação, fazendo com que o potencial mátrico tivesse um decréscimo da ordem de 0,034 atm aproximadamente. Após o 29 dia, o aumento do potencial matricial ocorreu de forma gradual e praticamente linear até o 79 dia depois da irrigação, mostrando o baixo consumo de água verificado neste período a uma profundidade de 30 cm de perfil do solo.

4.1.1.1.b - Variação do Conteúdo de Água em Volume

A FIGURA 7 mostra o gráfico das curvas representativas da variação média do conteúdo de água em volume $\theta(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$, durante as três fases do ciclo da soja, a uma profundidade de 10 cm do solo.

Pela FIGURA 7, pode-se observar que o conteúdo de água em volume na capacidade de campo atingiu um valor de 0,393 cm^3/cm^3 nas três fases do ciclo da cultura, correspondendo a disponibilidade máxima de água para o desenvolvimento da cultura.

Observa-se que na fase de crescimento vegetativo, o conteúdo de água no solo decresceu de maneira progressiva desde a capacidade de campo (0,393 cm^3/cm^3), até o valor de 0,240 cm^3/cm^3 da umidade crítica em aproximadamente 6 dias após a prática de irrigação. No 79 dia, nota-se que o conteúdo de água em volume apresentou valor inferior ao limite da umidade crítica, que representa a zona de umidade abaixo da qual, as plantas começam a

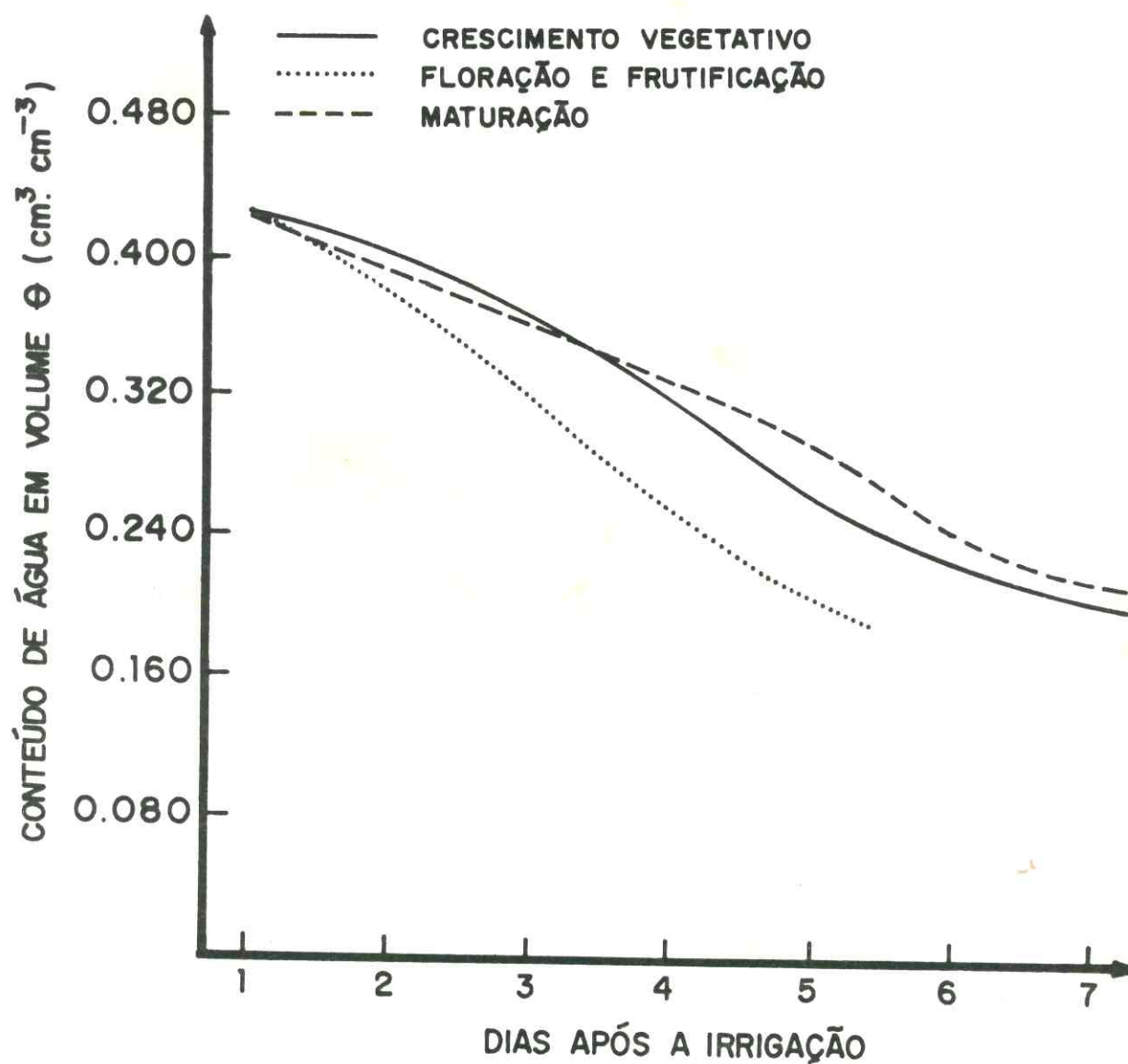


FIGURA 7 - Variação média do conteúdo de água em volume (θ) a 10 cm de profundidade nas três fases de desenvolvimento da soja.

revelar efeitos de deficiência hídrica capaz de comprometer a produção, caso a água de irrigação não seja utilizada para elevar a umidade do solo acima do nível de umidade crítica.

No período de floração-frutificação, a curva mostra um decréscimo mais acentuado do conteúdo de água em volume, indicando que neste período ocorreu um maior consumo de água, onde a taxa de decréscimo de umidade revelou um valor médio diário em torno de $0,055 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, superior a taxa de decréscimo diária de umidade verificada na fase crescimento vegetativo ($0,037 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$), chegando ao limite crítico de umidade entre 4 e 5 dias depois da irrigação. Este fato demonstrou que nesta fase de desenvolvimento, a soja exigiu uma reposição de água no solo em um menor espaço de tempo, definindo o turno de rega em 5 dias, o que não se observou nos demais estádios fenológicos da cultura, onde o intervalo entre as irrigações se manteve em 6 dias.

Na fase de maturação, a curva representativa do conteúdo de água em volume apresentou decréscimos em proporções praticamente linear, com uma taxa média de decréscimo de água diário por volta de $0,035 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$. Observa-se ainda que até o 49 dia após a irrigação, o consumo de água foi praticamente igual ao do período de crescimento vegetativo e que do 49 ao 79 dia depois da irrigação, a redução na umidade do solo foi menor do que a redução verificada naquele estágio fenológico da cultura.

Na FIGURA 8, são mostradas as curvas da variação do conteúdo de água em volume a 30 cm de profundidade, em função dos

dias após a irrigação, durante as 3 fases do ciclo da soja.

Visualizando a FIGURA 8, observa-se que na fase de crescimento vegetativo, houve um ligeiro incremento no conteúdo de água do 1º ao 4º dia depois da irrigação, devido a contribuição de água das camadas superiores, para as inferiores do solo. Após o 4º dia a curva mostra uma diminuição gradual e praticamente linear do conteúdo de água, até o 7º dia depois da irrigação mostrando a pequena variação na taxa de decréscimo de umidade durante este estágio de crescimento.

Com relação ao período de floração-frutificação, nota-se que o conteúdo de água em volume nesta fase foi bem menor do que o conteúdo de umidade das outras duas fases do ciclo de desenvolvimento da soja. Entretanto, observa-se que houve aumento na disponibilidade de água para as plantas, do 1º para o 2º dia, em torno de $0,013 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, em virtude da contribuição de água recebida das camadas superiores do perfil do solo e que depois do 2º dia, verificam-se decréscimos progressivos diários na umidade do solo, até o 5º dia após a irrigação. Este fato demonstra a utilização da umidade existente no solo, indicando o consumo de água pela cultura, associada à demanda evaporativa ocorrida por ocasião do período de floração-frutificação da soja a uma profundidade de 30 cm do perfil do solo.

Na fase de maturação, o conteúdo de água em volume mostrou-se bem maior em comparação aos valores de conteúdo de água dos dois estádios fenológicos anteriores. Pela FIGURA 8,

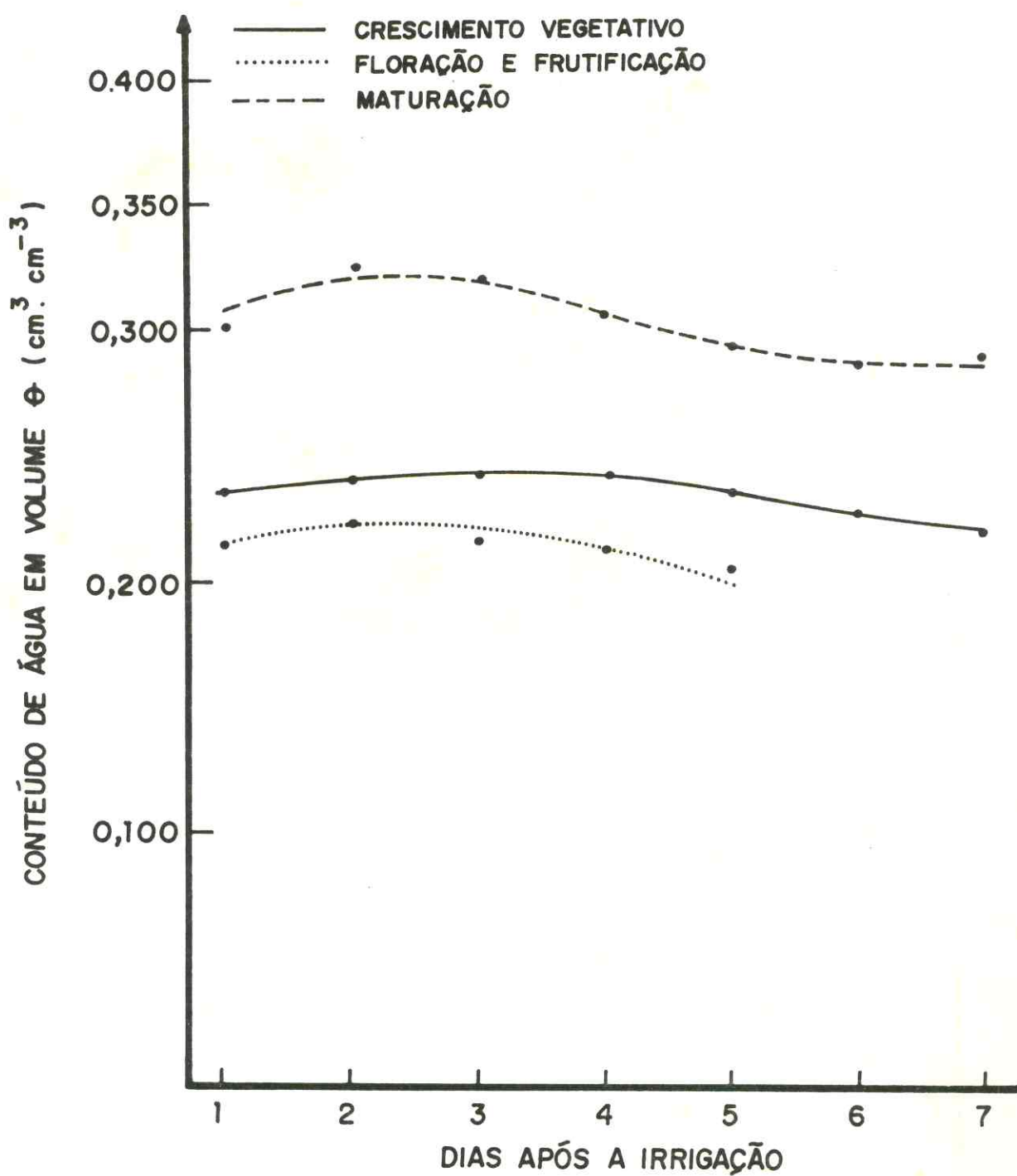


FIGURA 8 - Variação média do conteúdo de água em volume (θ) à 30 cm de profundidade, nas três fases de desenvolvimento da soja.

observa-se que houve contribuição de água das camadas superiores, aumentando o conteúdo de água em aproximadamente $0,017 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, do 1º ao 3º dia após a irrigação, à partir daí, ocorre um decréscimo gradual do conteúdo de água em volume, mostrando o consumo de água verificado durante este período final do ciclo fenológico da soja tropical.

4.2. - Análise Estatística dos Parâmetros Estudados

A TABELA 5 apresenta as análises estatísticas dos parâmetros observados, mostrando as causas de variação, representados pelos valores de F, aos níveis de 1% e 5% de significância.

As análises da variância evidenciaram efeitos significativos da irrigação sobre a produção de grãos, peso de 100 sementes e peso de grãos por planta.

4.2.1. - Efeito dos Níveis de Irrigação sobre os Rendimentos de Grãos

As produtividades médias (kg/ha) em respostas à aplicação de diferentes lâminas de água nos diversos tratamentos de irrigação, foram obtidos em peso total de grãos de soja. (TABELA 6).

À proporção que as aplicações das lâminas de água diminuam, formando um gradiente decrescente de irrigação, os rendimentos de grãos eram progressivamente reduzidos, na medida em que as parcelas se distanciavam da linha de aspersão, de modo que os tratamentos L_1 , L_2 , L_3 , L_4 e L_5 , produziram respectivamente 2.973,7 kg/ha, 2.595,6 kg/ha, 2.619,1 kg/ha, 1.324,1 kg/ha e 499,1 kg/ha.

TABELA 5 - Resultados das análises da variância dos parâmetros de produção de grãos, peso de 100 sementes e produção de grãos por planta.

Causas de Variação	Valores de F		
	Produção de Grãos	Peso de 100 Sementes	Peso de Grãos por Planta
Irrigação	136,44**	22,52*	84,20**
Bloco	2,42 ^{ns}	1,74 ^{ns}	3,51*
C.V. (%)	10,99	5,41	14,43

*Significativo ao nível de 5%

**Significativo ao nível de 1%

^{ns} Não significativo.

TABELA 6 - Valores médios de produção, peso de 100 sementes, eficiência do uso de água, conseguidos em função da lâmina total aplicada nos diversos tratamentos.

Tratamento	Lâmina Total (mm)	Produção de Grãos (kg/ha)	Peso de 100 sementes (g)	Eficiência do Uso de Água (kg/ha/mm)	Produção de Grãos por Planta (g)
L ₁	591,90	2.973,7 a	14,60 a	5,02	11,40 a
L ₂	518,54	2.595,6 a	14,14 a	5,00	9,87 a
L ₃	409,43	2.619,1 a	13,60 a	6,40	10,43 a
L ₄	206,0	1.324,1 b	12,33 b	6,43	4,76 b
L ₅	110,0	499,1 c	11,23 b	4,54	1,88 c

Médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

A TABELA 6, mostra que as médias dos valores de produção de grãos não diferem de forma significativa, entre os três níveis de irrigação mais úmidos L_1 , L_2 , L_3 . Entretanto, embora o nível de irrigação L_2 , apresentando produção de 2.595,6 kg/ha, inferior às produções de 2.973,7 kg/ha e 2.619,1 kg/ha, dos níveis L_1 e L_3 , a comparação entre as três médias de produção não mostrou diferença mínima significativa (dms), ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Os tratamentos L_4 e L_5 , com produções respectivas de 1.324,1 kg/ha e 499,1 kg/ha, mostraram diferenças estatísticas significativas entre si e em relação aos demais tratamentos, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, indicando que a diminuição da lâmina de água destinada a estes tratamentos, proporcionou redução de forma acentuada no peso total de grãos e consequentemente no rendimento da cultura.

A FIGURA 9 apresenta graficamente a curva de produção de grãos em função da lâmina total de água, cuja equação foi ajustada por regressão quadrática e está representada pela função:

$$Y = -960 + 13,10X - 0,109X^2$$

Pela FIGURA 9, observa-se que a distribuição dos dados segue uma relação quadrática e se verifica aumento na produção de grãos em relação ao aumento da lâmina total, até valores próximos de 600 mm. A partir desse valor a equação apresenta queda de produção, com o contínuo aumento da lâmina d'água.

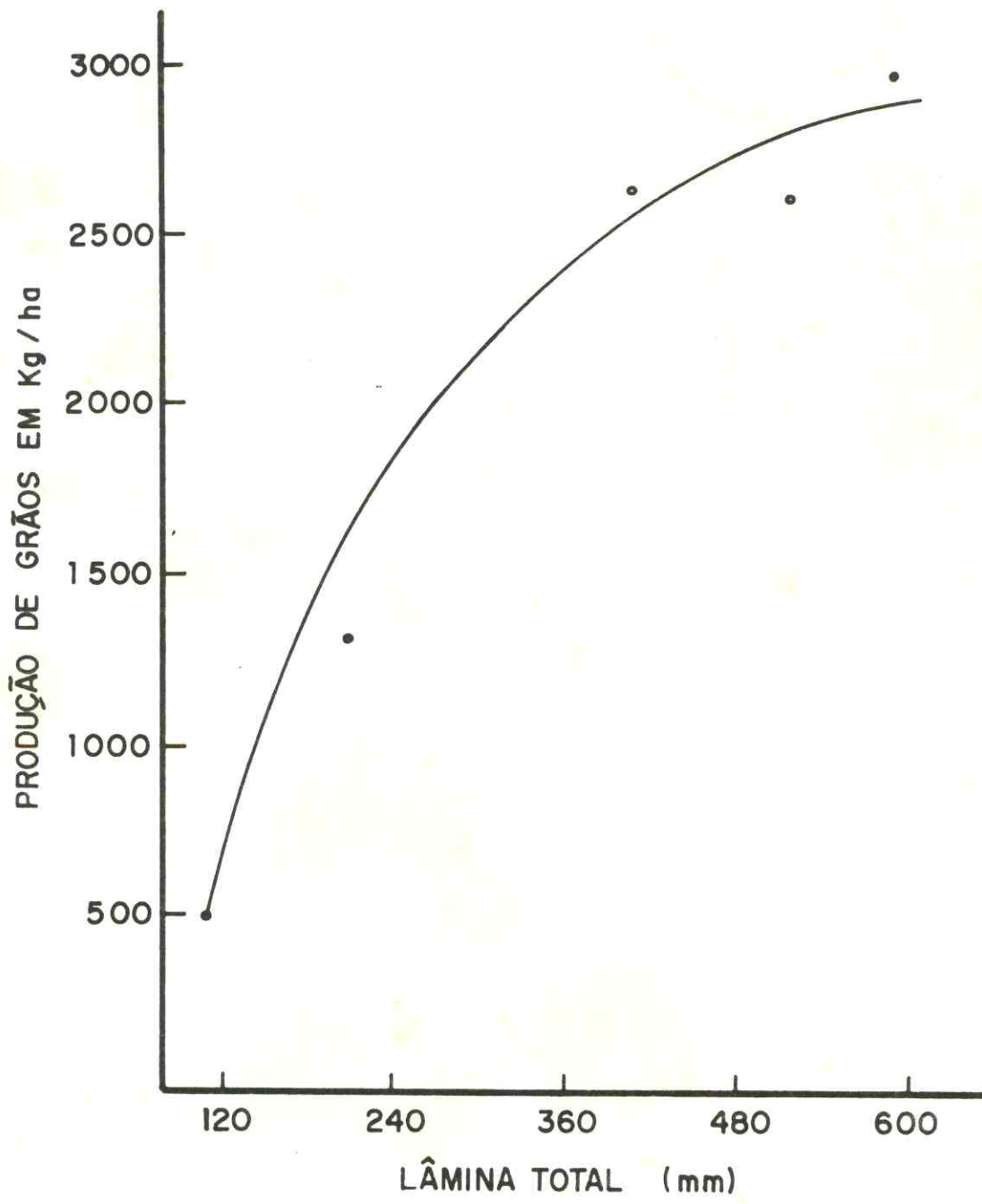


FIGURA 9 - Curva de produção de grãos versus lâmina total de água aplicada.

A menor produtividade conseguida no tratamento sem irrigação L₅ (499,1 kg/ha), foi motivada principalmente pelo déficit hídrico verificado durante os períodos de florescimento, formação de vagens e desenvolvimento das sementes, conforme resultados semelhantes obtidos por vários autores, entre eles SOMERHALDER & SCHLEUSENER (1960), SPOONER (1961), DOSS et alii (1974), e ASHLEY & ETHRIDGE (1978).

As diminuições de rendimentos verificados nos tratamentos L₄ e L₅, submetidos ao estresse hídrico, provavelmente podem ser atribuídas às reduções da taxa de fotossíntese, afetando a elaboração e translocação de fotoassimilados, com conseqüente retardamento no crescimento e desenvolvimento das plantas.

4.2.2. Efeito das Lâminas de Irrigação no Peso de 100 Sementes

O peso de 100 sementes foi afetado positivamente pelas diferentes lâminas de irrigação aplicadas nos diversos tratamentos. O efeito da irrigação, foi significativo para o peso de 100 sementes, ao nível de 5% de significância pelo teste F (TABELA 5).

Como pode ser observado na TABELA 6, não houve diferença estatística entre os tratamentos L₁, L₂ e L₃, na comparação das médias pelo teste de Tukey. Os tratamentos L₄ e L₅, não revelaram ser diferentes entre si, mas mostraram

diferenças significativas pelo mesmo teste a 5% de probabilidade, em relação aos demais tratamentos.

Na FIGURA 10, encontra-se a curva do peso de 100 sementes em função da lâmina total de água, representada pela equação:

$$Y = 9,70 + 0,0143X - 9,97 \times 10^{-6}X^2$$
, ajustada por regressão quadrática.

Observa-se pela FIGURA 10, que houve acréscimo no peso de 100 sementes com o aumento da lâmina total, no sentido do nível de irrigação mais seco, para o mais úmido, seguindo uma relação quadrática, até níveis de irrigação próximos de 720 mm. A partir desse valor, o peso de 100 sementes tende a cair com o aumento da lâmina total.

Verifica-se ainda pelos dados da TABELA 6, que as lâminas de irrigação proporcionaram aumento no peso de 100 sementes, que possivelmente pode ser explicado pelo maior acúmulo de matéria seca observado nos tratamentos mais úmidos, através da elaboração de produtos fotossintéticos, os quais são translocados até as sementes, resultando portanto, no aumento de peso dos grãos, o que está de acordo com resultados semelhantes obtidos por ASHLEY & ETHRIDGE (1978) e BERGAMASCHI *et alii* (1989).

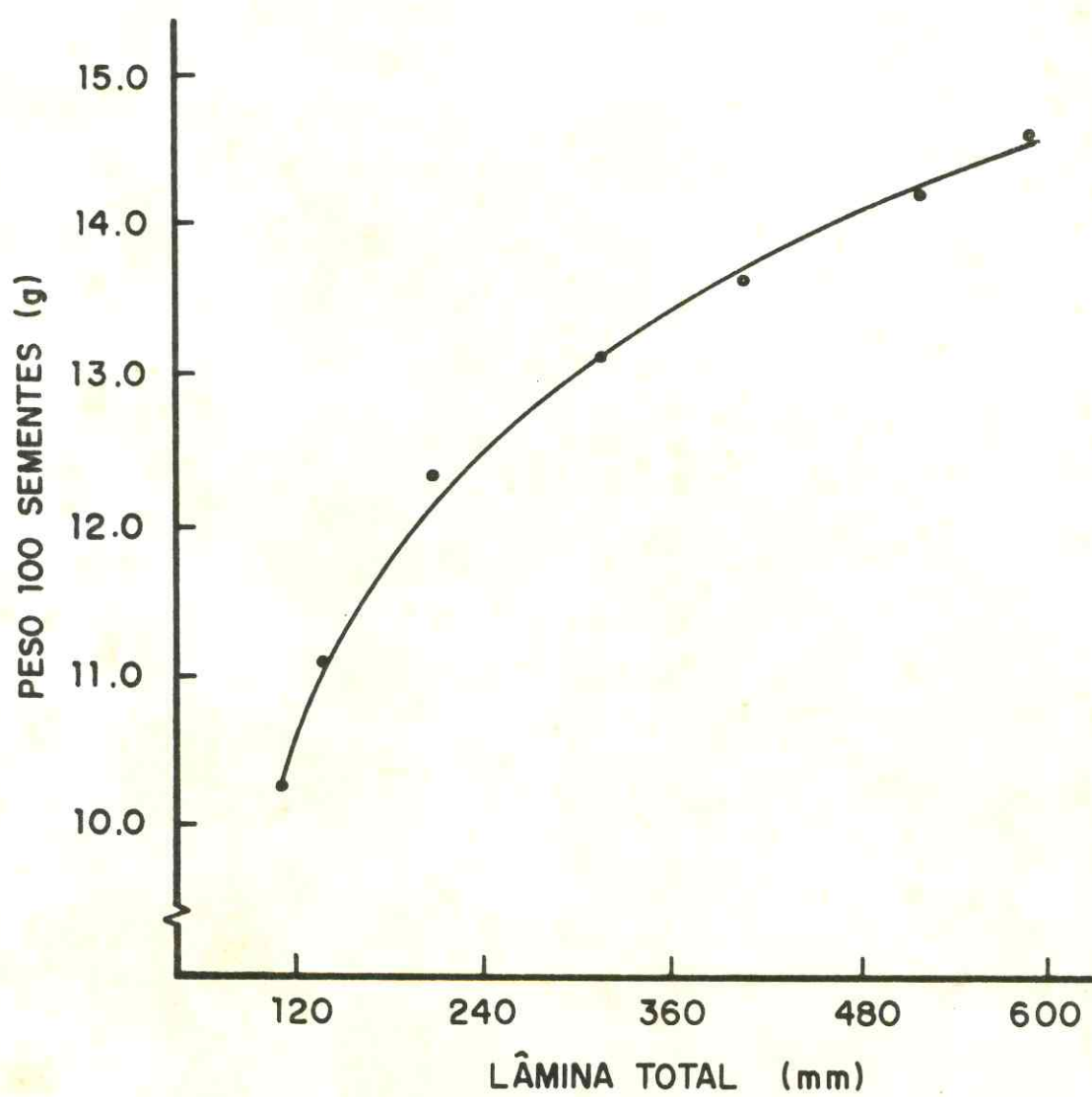


FIGURA 10 - Curva do peso de 100 sementes versus lâmina total de água.

4.2.3. - Efeito do nível de Irrigação na Produção de Grãos por Planta

Os dados obtidos para produção de grãos por planta na TABELA 6, indicam que houve aumento de rendimento com o aumento da lâmina total de água, dos tratamentos menos úmidos, para os de maiores lâminas aplicadas. A análise estatística dos resultados revelou efeito altamente significativo das lâminas de irrigação sobre a produção de grãos por planta, a 1% de probabilidade pelo teste F (TABELA 5). O tratamento L_3 , mostrou ligeira superioridade sobre o tratamento L_2 (mais úmido que L_3), embora a comparação entre as médias dos 3 maiores níveis de irrigação, não tenha apresentado diferenças estatísticas ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Os tratamentos com menores lâminas de irrigação (L_4 e L_5), mostraram diferenças significativas entre si e entre os demais tratamentos, a exemplo do que ocorreu com os resultados do parâmetro produção de grãos, como mostra a TABELA 6.

5 - CONCLUSÕES

Conforme os resultados obtidos e considerando as condições em que o presente trabalho foi realizado, pode-se fazer as seguintes conclusões:

- 5.1. - A maior variação do potencial matricial da água do solo, ocorreu por ocasião da floração-frutificação, com aumento de taxas crescentes durante este período, onde foi observado menor turno de rega (5 dias) em relação às fases de crescimento vegetativo e maturação.
- 5.2. - Maior consumo de água foi verificado durante a fase de floração-frutificação, com diminuição do conteúdo de água em volume e taxa de decréscimo de umidade diária por volta de $0,55 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, superior às taxas de decréscimo de umidade diária dos períodos de crescimento vegetativo e maturação.
- 5.3. - Houve efeito significativo da irrigação sobre a produção de grãos, peso de 100 sementes e peso de grãos por planta.

5.4. - A produção de grãos aumentou com o aumento da lâmina total e os maiores rendimentos 2.619,1 kg/ha, 2.595,6 kg/ha e 2.973,7 kg/ha, foram obtidos com níveis de 409,4 mm, 518,5 mm e 591,9 mm de água aplicada.

5.5. - Houve acréscimo no peso de 100 sementes e produção de grãos por planta com o aumento da lâmina total. O peso de 100 sementes cresceu do nível de irrigação mais seco para o mais úmido seguindo uma relação quadrática, até níveis próximo de 720 mm.

RECOMENDAÇÕES

Com o propósito de se oferecer condições para dar continuidade aos estudos ora iniciados com a cultura da soja, sugere-se as seguintes recomendações:

1. Desenvolver estudos, procurando avaliar efeitos do clima sobre a produção da soja, levando-se em consideração os mecanismos da evapotranspiração e do balanço hídrico da cultura, visando melhor aproveitamento dos recursos hídricos existentes.
2. Os estudos visando a determinação do momento crítico da eficiência hídrica, devem ser avaliados com mais detalhes.
3. Realizar estudos de pesquisa com o objetivo de se identificar genótipos mais eficientes e adaptados às condições de estresse hídrico.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHLEY, D.A. & ETHRIDGE, W.J. Irrigation effects on vegetative and reproductive development of soybean cultivars. Agron. J. Madison, 70:467-471, 1978.
- BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; OMETTO, J.C.; ANGELOCCI, L.R. & LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento e fenologia. Pesq. Agropec. bras., Brasília, 23(7):733-743, 1988.
- BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; LIBARDI, P.L.; OMETTO, J.C. & ANGELOCCI, L.R. Deficiência hídrica em feijoeiro. III. Evapotranspiração máxima e relações com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman e com a evaporação do tanque Classe A. Pesq. Agropec. bras., Brasília, 24(4):387-392, 1989.
- BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. Consumo de água da soja. I. Evapotranspiração estacional em condições de ótima disponibilidade de água no solo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1. LONDRINA, 1978. Anais... Londrina, PR, EMBRAPA, 1978, p.53-58.
- BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R. Coeficiente de cultura (Kc) da soja. In CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4. Londrina, 1985. Resumos. Londrina, Fundação Cargil, 1985. p.13-14.

- BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R. & BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação do tanque Classe A e radiação solar global. Agron. Sulriogr., Porto Alegre, RS. 22(2):243-259, 1986.
- BRANDES, D.; MAESTRI, M.; VIEIRA, C. & GOMES, E.R. Efeito da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.). II. Análise de crescimento. Experientiae 15(1):1-21, 1973.
- BROWN, E.A.; CAVINES, C.E. & BROWN, D.A. Responses of selected soybean cultivars to soil moisture deficit. Agron. J., Madison, 77:274-278, 1985.
- CARTER, J.L. & HARTWIG, E.E. The management of soybeans. Advance. Agron., 14:359-412. 1962.
- CLASSEN, M.M. & SHAW, R.H. Water deficit effects on corn. II. Grain components. Agron. J., 62:652-655, 1970.
- CORSI, W.C. & SHAW, R.H. Evaluation of stress indices for corn in Iowa. Iowa State. J. Sci., Ames, 46(1)79-85, 1971.
- DANMEAD, O.T. & SHAW, R.H. Evapotranspiration in relation to the developement of the corn crop. Agron. J., Madison, 51:725-726, 1959.
- DOSS, B.D.; BENNET, O.L. & ASHLEY, D.A. Evapotranspiration by irrigated corn. Agron. J., Madison, 54:497-498, 1962.
- DOSS, B.D.; PEARSON, R.W. & ROGERS, H.T. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. Agron. J.,

- Madison, 66:297-299, 1974.
- DOSS, B.D. & THURLOW, D.L. Irrigation row-width and plant population in relation to growth characteristics of two soybean varieties. Agron. J., Madison, 66:620-623, 1974.
- ECK, H.V. Effects of water deficit on yield, yield components and use efficiency of irrigated corn. Agron. J., Madison, 78:1035-1040, 1986.
- ESPINOZA, W. Resposta de doze cultivares de soja ao déficit hídrico num latossolo vermelho escuro de Cerrado do Distrito Federal. I rendimento, área foliar e desenvolvimento radicular. Pesq. Agropec. bras., Brasília, 17(3):447-458, 1982.
- FREY, N.M. Dry matter accumulation in kernels of maize. Crop Sci., 21:118-122, 1982.
- FRIZZONE, J.A. * OLITTA, A.F.L. Consumo de água e produção do feijoeiro em latossolo vermelho escuro. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, DF., 29:25-29, 1987.
- GRISSOM, P.; RANEY, W.A. & HOGG, P. Crop response to irrigation in the Yazoo-Mississippi Delta. Mississippi State College Agric. Exp. Sta Bull, 1955. 531 p.
- HANKS, R.J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V.P. & WILSON, G.D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. Soil Sci. Soc. am. J., 40:426-429, 1976.
- HERPICH, R.L. Irrigation soybeans. Kansas, Kansas State Univ. Agr. Ext. in Balanced Farming, Land Reclamation 12. 1963.

- HERRERO, M.P. & JOHNSON, R.R. Drought stress and its effects on maize reproductive systems. Crop Sci., 21:105-110, 1981.
- HILLEL, D. Soil and water; physical principles and processes. New York, Academic Prss, 1971. 413 p.
- JENSEN, M.E. Consumptive use of water irrigation water requeriments, New York, American Society of Civil Engineers, 1973. 215 p.
- LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; CARDOSO, M.J.; GOMES, M.S.S. & SOUSA, V.F. de. Crescimento e conversão da energia solar em Phaseolus vulgaris L., submetido a três densidades de fluxos radiante e dois regimes hídricos. R. Ceres, 33(186): 142-164. 1986.
- LORENS, G.F.; BENNETT, J.M. & LOGGALE, L.B. Differences in drought resistance between two corn hybrids. I. Water relations and root lenght density. Agron. J., Madison, 79:802-807, 1987.
- MATSON, A.L. Some factors affeting the yield response of soybeans to irrigation. Agron. J., Madison, 56:552-555, 1964.
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; BERGAMASCHI, H. & SUTILL, V.R. Evapotranspiração do milho e sua relação com a evaporação do tanque Classe A. Agron. Sulrioqr., Porto Alegre, RS. 17(2):273-295.
- MECKEL, L.; EGLI, D.B.; PHILLIPS, R.E.; RADCLIFFE, D. & LEGGETT, J.E. Effect of moisture stress on seed growth in soybeans. Agron. J., Madison, 76:647-650, 1984.

- MEDERSKI, H.J. & JEFFERS, D.L. Yield response of soybean varieties grown at two soil moisture stress levels. Agron. J., Madison, 76:647-650, 1984.
- MILLAR, A.A. & GARDNER, W.R. Effect of the soil and plant water potentials on the dry matter production of snap beans. Agron. J., Madison, 64:559-562, 1972.
- MOTA, F.S.; BEIRSDORF, M.I.C.; ACOSTA, M.J.C.; MOTA, W.A. & WESTPHALEN, S.L. Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Pelotas, EMBRAPA/IPEAS, Secretaria de Agricultura do Rio Grande do Sul, 1974. V. 2 (Circular 50).
- OLIVEIRA, F.A. de & SILVA, J.S. e. Evapotranspiração de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. Pesq. Agropec. bras., Brasília, 25(3):317-22, 1990.
- PANDEY, R.Y.; HERRERA, W.A.T & PENDLETON, J.W. Drought response of grain legumes under irrigation gradient. I. Yield and yield components. Agron. J., Madison, 76:549-533, 1984.
- ROGERS, H.T. & THRLOW, D.L. Water-key to high soybean yield. Highlights of Agr. Res., vol. 17, 2, 1970.
- RUNGE, E.C.A. & ODELL, R.T. The relation between precipitation temperature and the yield of soybeans on the Agronomy South Farm, Urbana Illinois. Agron. J., Madison, 52:245-247, 1960.
- SACOLL, A.V. Ecologia e época de semeadura da soja. In: Cultura da soja. Sta. Maria, UFSM, 1974. 127 p. (Boletim técnico 5).
- SALTER, P.J. & GOODE, J.E. Crops responses to water at different stages of growth. Farham Royal Back, Commonwealth

- Agricultural Bureau, 1967. 246 p.
- SAUNDERS, L.C.U.; CASTRO, P.T. de; BEZERRA, F.M.L. & PEREIRA, A.L.C. Evapotranspiração atual da cultura do feijão-de-corda na microrregião - homogeneia de Quixeramobim, Ceará. Ciën. Agron. Fortaleza, 16(1):75-81, 1985.
- SCHAIK, P.H. Van & PROBST, A.H. Effects of some enviroments factors on flower production and reproduction efficiency in soybean. Agron. J., Madison, 50(4):192-197, 1958.
- SHAW, R.H. A weighted moisture-stress index for corn in Iowa. Iowa State J. Res., Ames, 49(2):101-104, 1974.
- SCHWAB, G.O.; SHRADER, W.D.; NIXON, P.R. & SHAW, R.H. Research on irrigation of corn and soybeans at Conesville and Ankeny, Iowa 1951 to 1955. Iowa, Agr. Exp. Res. Sta. 1958. 458 p.
- SILVA, J.E. da. & RESK, D.V. Respostas fisiológicas da soja ao déficit hídrico em dois solos de Cerrado. Pesq. Agropec. bras., 16(5):669-675, 1981.
- SIMÕES, A.J. Determinação da evapotranspiração potencial e necessidade de água de irrigação para o projeto de Mandacaru, Petrolina, PE, s. ed., 1973. 29 p.
- SIONIT, N. & KRAMER, P.J. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. Agron. J., Madison, 69:274-277, 1977.
- SOMERHALDER, B.P. & SCHLEUSENER, P.E. In West Central Nebraska proper timing of irrigation can increase soybean production. Nebraska, Nebraska Agr. Exp. Sta, 1960.

- SPOONER, A.E. Effect of irrigation timing and length of flooding periods on soybean yield. Ark. Agr. Exp. Sta, Bull, 1961. 644 p.
- STEINMETZ, S. Evapotranspiração máxima no cultivo de feijão de inverno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 3. Campinas, SP, 1983. Anais... Campinas, Soc. Bras. de Agrometeorologia/Inst. Agron., 1984, p. 273-281.
- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. & SILVA, S.C. da. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. Brasília, EMBRAPA. Pesq. Agropec. bras., Brasília, 23(2):161-167, 1988.
- SUDENE. Recursos naturais do Nordeste; investigação e potencial. Recife, MINTER/SUDENE/DRN, 1972. 109 p. Sumário.
- THOMPSON, L.M. Weather variability, climatic change and grain production. Science, Washington, (188):535-541, 1975.
- TOLLENAAR, M. & DAYNARD, T.B. Kernel growth at two positions on the ear of maize. Can. J. Plant Sci., 58:207-212, 1978.
- TURK, K.J.; HALL, A.E. & ASBELL, C.W. Drought adaptation of cowpea. I. Influence of drought on seed yield. Agron. J., 72:413-420, 1980.
- VAN BAVEL, C.H.M. Lisimetric mensuraments of evapotranspiration rates in the Easter United State. Soil Science Society of America Procedings, Madison, 25: 138-141, 1961.
- VEIMYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. Does transpiration decrease as the soil moisture decreases? Trans. Am. Geophys. Union,

36:425-428, 1955.

VIEIRA, H.J.; LIBARDI, P.E.; BERGAMASCHI, H. & ANGELOCCI, L.R.

Comportamento de duas variedades de feijoeiro sob dois regimes de disponibilidade hídrica no solo. Brasília, EMBRAPA. Pesq. Agropec.bras, 24(2):165-176, 1989.

WHITT, D.M. Effects of supplemental irrigation water on field Crops. Missouri Agric. Exp. Sta, 1954. 616 p.

WHITT, D.M. & VAN BAVEL, C.H.M. Irrigation of tobacco, peanuts and soybeans. In. Water US. Dep. Agr. Yearbook., Washington, 1955. p. 376-381.