

**PARÂMETROS HÍDRICOS E DE CRESCIMENTO DE DUAS  
VARIEDADES DE FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) SOB  
DIFERENTES CONDIÇÕES DE DISPONIBILIDADE  
DE ÁGUA NO SOLO**

**HAMILTON JUSTINO VIEIRA**

**Orientador: Prof. Dr. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI**

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.

**PIRACICABA**  
Estado de São Paulo - Brasil  
Junho - 1984

A meus pais

*OFEREÇO*

Aos exemplos de honestidade  
e de força de vontade, como  
o de meus pais,

*DEDICO*

*"In twenty-eight years of farming I have never seen a normal year. It has always been too hot or cold or too wet or dry"*

- Robert Bergland

Secretary of Agriculture, 1976.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que de uma forma ou de outra concorreram para a realização deste trabalho, sem as quais não seria possível a condução e término do mesmo.

Aos orgaos e instituições: EMPASC/S.A., CAPES, IAC, CENA, COOPERSUCAR e ESALQ pela cooperação e apoio dispensados para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	página
LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
RESUMO .....	xiii
SUMMARY .....	xvi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1. Resistência ao Transporte Hídrico no SSPA .....	5
2.2. Distribuição do Sistema Radicular do Feijoeiro e Extração de Água pelas Raízes .....	14
2.3. Respostas do Feijoeiro às Condições Hídricas no Solo e na Planta .....	16
2.3.1. No solo .....	16
2.3.2. Na planta .....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	27
3.1. Local .....	27
3.2. Solo .....	28
3.3. Variedades .....	28
3.4. Tratamentos Utilizados .....	29
3.5. Determinação dos Parâmetros Relacionados ao Fluxo Hídrico .....	31
3.5.1. Balanço hídrico no campo .....	32
3.5.2. Evapotranspiração segundo o método de PENMAN .....	36
3.5.3. Cálculo da fração de água disponível (FAD) .....	38
3.5.4. Potencial da água na planta .....	39
3.5.5. Resistência estomática à difusão de vapor e taxa de transpiração .....	41
3.5.6. Condições de demanda evaporativa da atmosfera	42

	página
3.6. Determinações Fenológicas .....	42
3.6.1. Determinação dos estádios fenológicos .....	42
3.6.2. Peso seco de plantas .....	43
4. RESULTADOS .....	44
4.1. Relativos ao ciclo de desenvolvimento das culturas .....	44
4.1.1. Variação da água disponível do solo .....	44
4.1.2. Duração dos estádios fenológicos e acúmulo de matéria seca .....	47
4.1.3. Evapotranspiração .....	49
4.2. Relativos ao Período de Diferenciação dos Trata- mentos de Água no Solo .....	62
4.2.1. Valores médios diários dos parâmetros me- didos na planta e na atmosfera .....	62
4.2.2. Variação durante o dia dos parâmetros medidos ...	72
4.2.3. Variação dos parâmetros relacionados ao flu- xo hídrico e às condições meteorológicas no fotoperíodo e início do período noturno .....	78
4.2.3.1. Na variedade Aroana 80 .....	78
4.2.3.2. Na variedade Aetê 3 .....	84
4.2.3.3. Comparação das duas variedades .....	89
4.2.4. Valores dos parâmetros de água no solo .....	94
5. DISCUSSÃO .....	101
5.1. Dos Resultados Relativos a todo o Ciclo de Desen- volvimento das Culturas .....	101
5.2. Dos Resultados Relativos ao Período de Diferencia- ção dos Tratamentos de Água no Solo .....	107
6. CONCLUSÕES .....	135
BIBLIOGRAFIA .....	138

## LISTA DE TABELAS

Tabela nº	Página
1	Evapotranspiração estimada pelo método do balanço hídrico no campo, para cada estágio fenológico do feijoeiro, nas três épocas de plantio, nos tratamentos sem interrupção (I) e com interrupção (D) da irrigação ..... 55
2	Valores médios, durante o período de interrupção da irrigação, do déficit de saturação de vapor de água e temperatura do ar, da radiação solar global e da resistência estomática a difusão de vapor, para as variedades Aroana 80 e Aetê 3, em duas épocas de plantio; do potencial total da água na folha para a variedade Aroana 80 em duas épocas de plantio ..... 63
3	Valores médios dos potenciais osmótico e matricial ( $\psi_{(o+m)}$ ), de pressão ( $\psi_p$ ) e matricial ( $\psi_m$ ) da água na folha (das 06:30 às 17:30 horas) e do potencial osmótico ( $\psi_o$ ) (das 06:30 às 18:30 horas) para as duas variedades e duas épocas de plantio, durante parte do período de interrupção da irrigação ..... 70

## LISTA DE FIGURAS

Figura nº		Página
1	Esquema da distribuição dos tratamentos na área experimental.....	30
2	Variação da fração de água disponível (FAD) para as variedades Aroana 80 e Aetê 3 nas três épocas de plantio durante o ciclo de desenvolvimento da cultura .....	45
3	Caracterização dos estádios fenológicos da variedade Aroana 80 e Aetê 3 nas três épocas de plantio de acordo com o tempo após a emergência .....	48
4	Variação da evapotranspiração acumulada das culturas determinada pelo método do balanço hídrico (ETc) e pelo método de Penman (ETp) para a variedade Aroana 80 e Aetê 3 na primeira época de plantio .....	50
5	Variação da evapotranspiração acumulada das culturas determinada pelo método do balanço hídrico (ETc) e pelo método de Penman (ETp) para a variedade Aroana 80 e Aetê 3 na segunda época de plantio .....	51
6	Variação da evapotranspiração acumulada das culturas determinada pelo método do balanço hídrico (ETc) e pelo método de Penman (ETp) para a variedade Aroana 80 e Aetê 3 na terceira época de plantio .....	52

## Figura nº

## Página

7	Curvas representativas do acúmulo de matéria seca para a variedade Aroana 80 e Aetê 3 nas três épocas de plantio .....	57
8	Variação dos valores médios diários no fotoperíodo durante o período de secamento do solo, do déficit de saturação do vapor de água e da temperatura do ar, da radiação solar global, do potencial total da soma do potencial osmótico e matricial e do potencial da água na folha, na variedade Aroana 80 nas duas épocas de plantio .....	64
9	Variação da resistência estomática média à difusão de vapor de água (entre 10:00 e 15:00 horas) durante o período de interrupção da irrigação para as variedades Aroana 80 e Aetê 3 e duas épocas de plantio .....	66
10	Variação da densidade do fluxo transpiratório (média horária entre 10:00 e 15:00 horas) durante o período de interrupção da irrigação para as variedades Aroana 80 e Aetê 3 e duas épocas de plantio .....	68
11	Variação dos valores médios horários dos potenciais osmótico e matricial (entre 06:30 e 17:30 horas) e do potencial osmótico (entre 07:30 e 18:00 horas) durante parte do período de interrupção da irrigação para as variedades Aroana 80 e Aetê 3 e duas épocas de plantio .....	71

- 12 Variação do potencial de água na folha, da densidade do fluxo transpiratório, da resistência estomática à difusão de vapor do defice de saturação de vapor e radiação solar global em vários dias do período de interrupção da irrigação para a variedade Aroana 80 ..... 73
- 13 Variação do potencial de água na folha, da densidade do fluxo transpiratório, da resistência estomática à difusão de vapor do defice de saturação de vapor e radiação solar global em vários dias do período de interrupção da irrigação para a variedade Aroana 80 ..... 74
- 14 Variação durante o período diurno e parte do noturno, do potencial total da água na folha ( $\psi_t$ ) de seus componentes, potencial osmótico ( $\psi_o$ ), potencial de pressão ( $\psi_p$ ) e da soma dos potenciais osmótico e matricial ( $\psi_{o+m}$ ) na época e para os tratamentos de interrupção da irrigação..... 79
- 15 Variação durante o período diurno e parte do noturno, do potencial total da água na folha ( $\psi_t$ ) de seus componentes, potencial osmótico ( $\psi_o$ ), potencial de pressão ( $\psi_p$ ) e da soma dos potenciais osmótico e matricial ( $\psi_{o+m}$ ) e para os tratamentos de interrupção da irrigação..... 80
- 16 Variação dos valores de potencial osmótico da água na folha no fotoperíodo e primeiras horas noturnas na variedade Aroana 80 em duas épocas de plantio, durante e para os tratamentos de interrupção da irrigação ..... 82

Figura nº	Página
17	Variação dos valores do potencial osmótico da água na folha no fotoperíodo e primeiras horas noturnas na variedade Aetê 3 em duas épocas de plantio, durante e para os tratamentos de interrupção da irrigação ..... 85
18	Variação da densidade de fluxo transpiratório e da resistência estomática à difusão de vapor de água na variedade Aetê 3 em duas épocas de plantio para os tratamentos com interrupção da irrigação ..... 87
19	Variação do potencial da água na folha durante o fotoperíodo e parte do período noturno durante a época de interrupção da irrigação (cada ponto da curva representa a média da segunda e terceira épocas para as variedades Aroana 80 e Aetê 3)..... 90
20	Variação da soma do potencial osmótico e matricial da água na folha durante o fotoperíodo e parte do período noturno na época de interrupção da irrigação para a variedade Aroana 80 e Aetê 3 em duas épocas de plantio .... 92
21	Variações horárias do potencial matricial da água no solo durante o período luminoso, nas diversas profundidades de instalação dos tensiômetros, para a variedade Aroana 80 em duas épocas de plantio durante o período de interrupção da irrigação ..... 95

Figura nº		Página
22	Variações horárias do potencial matricial da água no solo durante o período luminoso nas diversas profundidades de instalação dos tensiômetros para a variedade Aetê 3 em duas épocas de plantio durante o período de interrupção da irrigação .....	96
23	Varição da fração de água disponível no solo (FAD) para um perfil com profundidade de 475mm durante o período de interrupção da irrigação em diferentes tratamentos .....	99

PARÂMETROS HÍDRICOS E DE CRESCIMENTO DE DUAS VARIEDADES DE FEIJOEIRO  
(*Phaseolus vulgaris* L.) SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE  
DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO

Hamilton Justino Vieira

Orientador: Dr. Luiz Roberto Angelocci

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estudar o consumo de água e as características morfofisiológicas do feijoeiro com a variação da água disponível no solo, sob condições de campo.

Para tanto utilizaram-se duas variedades de feijoeiro (Aroana 80 e Aetê 3) em três épocas de plantio com uma diferença de quinze dias entre elas. Para verificar as respostas das duas variedades às condições de déficit hídrico, a partir de um determinado tempo após a emergência (72 dias para a primeira, 58 dias para a segunda e 42 dias para a terceira época de plantio) suspendeu-se a irrigação em uma parcela de cada época de plantio para as duas variedades (tratamentos "D"); as demais parcelas foram conduzidas sem suspensão de irrigação (tratamentos "I"). A partir do segundo dia após a suspensão da irrigação acompanhou-se para os tratamentos "D", no período diurno, a variação do potencial da água no solo nas diversas profundidades, da resistência estomática à difusão do vapor d'água e da densidade do fluxo

transpiratório, para a segunda e terceira épocas de plantio nas duas variedades; para o Aroana 80 foram determinados o potencial total da água na folha ( $\psi_t$ ) e seus componentes osmótico ( $\psi_o$ ), de pressão ( $\psi_p$ ) e da soma do osmótico e matricial ( $\psi_{o+m}$ ).

O consumo de água foi estimado pelo método do balanço de água. Os resultados mostraram que a fração de água disponível (FAD) no perfil de solo até 675mm de profundidade atingiu valores mínimos durante o período de suspensão da irrigação, em torno de 0,40. Nos tratamentos sem interrupção da irrigação essa fração variou de 0,52 a 0,60 para as diferentes épocas de plantio. O grau de estresse hídrico foi atenuado pela redistribuição noturna da água no solo. Devido a isto, não ocorreram variações bruscas nos valores de resistência estomática à difusão de vapor d'água e densidade de fluxo transpiratório. No entanto, a variação de  $\psi_t$ , com valores mínimo de -1,4 MPa, e de  $\psi_p$ , com valores mínimos de +0,2 MPa, provavelmente foi responsável pela diminuição da expansão das folhas e do aparecimento de novos órgãos, fato este caracterizado em maior grau na terceira e segunda épocas de plantio da variedade Aroana 80.

A variedade Aetê 3 mostrou um comportamento diferente nas seguintes características, com relação ao Aroana 80: emissão de uma guia vegetativa; estádios reprodutivos menos definidos; movimento foliar de parahéliotropismo mais precoce, tanto com relação ao período de estresse como dentro do período diurno; resistências estomáticas médias à difusão de vapor d'água ligeiramente mais elevadas, densidade de fluxo transpiratório, consumo global de água e redução de

acúmulo de matéria seca menores nos tratamentos que sofreram interrupção da irrigação, maior acúmulo de matéria seca em todos os tratamentos.

A evapotranspiração acumulada no ciclo de desenvolvimento para a variedade Aroana 80 variou de 286,9 a 320,8 e de 341,7 a 467,2mm para os tratamentos com e sem interrupção de irrigação respectivamente. Para a variedade Aetê 3 variou de 291,3 a 307,1mm nos tratamentos com interrupção da irrigação.

HYDRIC AND GROWTH PARAMETERS FOR TWO BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.)  
VARIETIES UNDER DIFFERENTE CONDITIONS OF SOIL WATER AVAILABILY

Hamilton Justino Vieira

Adviser: Dr. Luiz Roberto Angelocci

SUMMARY

The aim of the present work was to study the water consumption and the morphophysiological characteristics of bean plants in relation to the variation of the available water, under field conditions.

To this purpose two varieties of bean plants (Aroana 80 and Aetē 3) were used, in 3 different planting times, with a time interval of 15 days between them. To check the responses of these two varieties to the conditions of water stress, some time after emergency (72, 58 and 42 days for the first, second and third planting times, respectively) irrigation was stopped for one plot of each planting time, for the two varieties (treatments "D"); irrigation was maintained for the two remaining plots (treatment "I"). As from the second day after stopping irrigation, the plots in treatment "D" were observed, during the daylight period, for variation in the soil water potential at the various depths, stomatal resistance to water vapor diffusion and density of transpiratory flow, for the second and third planting times for the two varieties; for

the Aroana 80, determinations were made of the leaf water total potential ( $\psi_t$ ) and its osmotic ( $\psi_o$ ) and pressure ( $\psi_p$ ) components, and of the summation of the osmotic and matrix ( $\psi_{o+m}$ ) potentials.

The water consumption was estimated by the water balance method. The results showed that the fraction of water available (FAD) in the soil profile to a depth of 675mm reached minimum values during the non-irrigation period, around 0.40. In the treatments where irrigation was not stopped this fraction varied from 0.52 to 0.60 for the different planting times. The degree of water stress was attenuated by the night time redistribution of water in the soil. Owing to this, unexpected variations did not occur in the values of stomatal resistance to water vapor diffusion and density of transpiratory flow. However, the variation in  $\psi_t$ , with minimum values of -1.4 MPa; and of  $\psi_p$ , with minimum values of +0.2 MPa, can probably account for the decrease in the leaf expansion and for new shoots, a fact characterized to greater extent in the third and second planting times for the variety Aroana 80.

The variety Aetē 3 showed a different behaviour when compared to the Aroana 80, regarding the following characteristics: emission of twining; less clearly defined reproductive stages; earlier paraheliotropic leaf movement, either in relation to the stress period as within the daylight period; slightly higher average for stomatal resistance to water vapor diffusion; lower density of transpiratory flow, lower global water consumption and lower reduction of dry matter accumulation in the treatments which underwent interruption of irrigation; greater dry matter accumulation in all treatments.

The accumulated evapotranspiration in the development cycle for the var. Aroana 80 varied from 286.9 to 320.8 and from 341.7 to 476.2mm for the treatments with and without interruption of irrigation, respectively. For the variety Aetē 3 it varied from 291.3 to 307.1mm in the treatments where irrigation was stopped.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem posição de destaque na produção mundial de feijão, contribuindo com mais de 20% da área total plantada no mundo, nos últimos anos. Além do Brasil, a Índia, o México e os Estados Unidos também são considerados grandes produtores mundiais, contribuindo com cerca de 70% da área e da produção totais. Observando-se os dados de rendimento (quadro A), nota-se que com exceção do Brasil, todos os outros grandes produtores apresentaram ganho de rendimento na presente década em relação ao período de 1969-1971. No Brasil, ao contrário, ocorreram nos três primeiros anos desta década rendimentos, em média, 28% menores que no triênio 1969-71, o que pode ser atribuído ao fato de que a expansão de área cultivada deu-se, com algumas exceções, em regiões de solo e clima nem sempre adequados à cultura e variedades até então disponíveis, além da quase inexistência de programas de pesquisa agronômica e de instrumentos de apoio voltados para esta atividade, resultando numa situação de baixa rentabilidade (PROGNÓSTICO, 83/84, 1983).

Além do fato de o Brasil não mostrar decréscimo no rendimento de feijão, como os países citados, encontra-se colocada em penúltimo lugar com uma média para os períodos de 1969-71, 1981, 1982 e 1983 inferior à média mundial.

Quadro A - Rendimento do feijão, segundo principais países produtores e total mundial, 1969-82.

Países	1969-71	1980	1981	1982
Brasil	642	424	465	505
México	506	551	683	524
Estados Unidos	1.403	1.625	1.620	1.555
China	796	842	996	946
Índia	283	308	310	294
Mundo	521	523	567	548

FONTE: Food and Agriculture Organization (FAO), citado por PROGNÓSTICO 83/84.

Esta situação é provocada por vários fatores, entre eles como já citados anteriormente está o uso inadequado de variedades, doenças e condições climáticas. Neste último caso, pode-se verificar que as variações de disponibilidade hídrica contribuem de maneira significativa para a redução do rendimento. Uma maneira de impedir ou amenizar que períodos de déficit hídrico afetem o rendimento final da cultura somente é possível através do conhecimento das características edafo-climáticas da região de cultivo e das respostas de uma determinada espécie em função dos parâmetros que atuam no seu desenvolvimento. Após o conhecimento de ambos (características edafo-

climáticas e respostas das plantas) procura-se adequar a espécie à região considerada. Para regiões com períodos de déficit hídrico TURNER e BEGG (1981) sugerem que as características desejáveis nas espécies para uma boa adaptação a estas condições são: a) rápida germinação e estabelecimento precoce de raízes profundas; b) rápido desenvolvimento fenológico; c) desenvolvimento plástico com movimentos foliares de fototropismo; d) alta sensibilidade do processo de expansão das folhas ao déficit hídrico; e) alta sensibilidade dos estômatos a altos valores de déficit de saturação de vapor d'água na atmosfera; f) habilidade para ajustamento osmótico; g) grande poder de transferência de assimilados do caule para as sementes; h) tolerância a desidratação, particularmente durante o estágio de plântula e do enchimento de grãos.

Desse modo estudos que levem a um maior conhecimento de como as espécies e variedades se comportam quanto a essas características, podem contribuir, através de programas de melhoramento vegetal, do zoneamento agrícola e de irrigação, para aumentar o seu rendimento.

Com o objetivo geral de aumentar tal conhecimento em feijoeiro, foi realizado o presente estudo utilizando-se as variedades Aroana 80 e Aeté 3, as quais foram escolhidas com base em observações sobre uma possível resposta diferencial ao déficit hídrico no solo.

Para tanto foram fixados os seguintes objetivos:

Estudar a variação da extração e do consumo de água do solo sob diferentes condições de desenvolvimento da cultura do feijoeiro nas duas variedades, sob mesmas condições de demanda atmosférica e diferentes níveis de água disponível no solo.

- Verificar a variação do potencial total da água na planta em relação às condições de demanda atmosférica que se apresentaram, em função do estado energético da água do solo, para a variedade Aroana 80.
- Verificar as possíveis relações entre o potencial da água na planta e no solo, com a resistência estomática à difusão de vapor d'água bem como a influência dos mesmos no consumo de água e no acúmulo de matéria seca para a variedade Aroana 80 e Aeté 3.
- Estudar as possíveis diferenças entre as variedades quanto as respostas ao estresse hídrico, em relação aos parâmetros estudados no sistema solo-planta-atmosfera.
- Constatar fatores que concorreram para agravar ou atenuar o estresse hídrico, tanto aqueles pertinentes a planta, quanto aos do solo e aos da atmosfera.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Resistência ao Transporte Hídrico no Sistema Solo Planta Atmosfera (SSPA)

Para que as plantas realizem a bioconversão da energia solar através do processo da fotossíntese é necessário que o fluxo hídrico mantenha-se adequado, de maneira que as folhas sirvam de anteparo à radiação solar, e se comportem como elementos de trocas gasosas através da abertura de seus estômatos.

A perda desta turgidez, por um motivo qualquer, acarreta uma diminuição na eficiência da bioconversão em função da influência direta ou indireta nos processos metabólicos envolvidos no desenvolvimento das plantas.

Segundo TURNER e BEGG (1981), o déficit hídrico ocorre nos tecidos de todas as plantas que estão transpirando a uma taxa relativamente alta, como uma inevitável consequência das resistências ao fluxo da água ao longo do caminho solo-planta-atmosfera. Segundo os

autores, durante os estágios iniciais de um período de secamento do solo, enquanto a água está inteiramente disponível na zona radicular no início do período luminoso, os estômatos se encontram abertos e a água evapora-se das células do mesófilo das folhas através da cutícula e principalmente através dos estômatos. Essa evaporação ou transpiração desenvolve o déficit hídrico na folha, no caule e nas raízes. Neste período a absorção de água pelo sistema radicular é maior que a transpiração; no transcorrer do dia ocorrerá um período de transição onde a taxa de absorção de água iguala-se a taxa de transpiração, momento no qual o potencial da água nos tecidos condutores e tecidos adjacentes aproximam-se do equilíbrio. Passando este período de transição, a taxa de transpiração excede a de absorção de água pelas raízes e a planta se encontrará em déficit hídrico. Durante a tarde, a planta novamente passará por um período de transição, após o qual ainda se encontrará em déficit hídrico, mas nessa fase a absorção de água pelas raízes será maior do que aquela perdida por transpiração. Somente no fim do período luminoso, ou a noite, dependendo das condições de umidade do solo, é que a planta recuperar-se-á deste déficit hídrico.

A restrição do solo à absorção de água pelas raízes é função da tensão da água, e o fluxo hídrico para a epiderme das raízes é função da diferença entre o potencial da água no solo e da própria epiderme, sendo que a magnitude desta diferença para uma determinada umidade constitui a força causadora do movimento ou fluxo da água (HILLEL, 1970).

Após uma chuva ou irrigação em um período inicial, quando o potencial da água no solo está, de modo genérico, aproximadamente

entre 0 e  $-0,25$  MPa, GARDNER e NIEMAN (1964) afirmam que a água está inteiramente disponível ao vegetal. Neste período o potencial da água na planta mostra pouca dependência do potencial da água no solo, mas quando a condutividade do solo torna-se menor, pode haver restrição ao movimento da água para as raízes.

RITCHIE (1974; 1981) afirma que a intensidade desse estresse hídrico é função das condições atmosféricas e de água no solo, bem como das características anatômicas e morfológicas do vegetal, ou seja, dependendo das condições reinantes, cada segmento irá opor um determinado grau de resistência ao fluxo hídrico.

A literatura é controversa quanto à importância relativa das resistências na fase líquida e na fase gasosa do caminho de transporte hídrico desde o solo até a atmosfera. REICHARDT (1975) afirma que a menor resistência está no caminho entre a folha e a atmosfera; LEVITT (1966) e SANCHEZ-DÍAZ e MOONEY (1979) afirmam que a resistência na fase líquida é muito maior do que na fase gasosa.

Os valores relativos das resistências ao fluxo hídrico no sistema solo-planta apresentados na literatura devem ser tomados com cautela, pois não existe consenso entre os pesquisadores quanto ao segmento que opõe maior resistência. Enquanto um grupo adota a hipótese de que a resistência predominante localiza-se no solo (GARDNER, 1960; MACKLON e WEATHERLEY, 1965), outro sugere que ela localiza-se na planta (ANDREWS e NEWMAN, 1968; BOYER, 1969; HANSEN, 1974a, 1974b; TAYLOR e KLEPPER, 1975; BLIZZARD e BOYER, 1980; SAMUI e KAR, 1981), havendo um terceiro grupo que adota a hipótese da resistência da planta

ser predominante até um certo valor de potencial da água no solo, a partir do qual a resistência do solo predominaria (REICOSKY e RITCHIE, 1976; SEATON *et alii*, 1977; BURCH, 1979; ZUR *et alii*, 1982).

Dentro da planta, há sugestões de que a maior resistência ocorre na raiz em relação aos demais segmentos da planta (caule, ramos e folhas) e que dentro do sistema radicular, o caminho radial apresentaria a maior resistência em relação ao axial como determinaram BOYER (1971) para soja e girassol, BURCH (1979) para trevo branco e pastagem e ROWSE e GOODMAN (1981) para alfafa; entretanto, para feijoeiro, BOYER (1971) verificou que a resistência axial na raiz foi ligeiramente maior que a radial, sendo a resistência total da planta em feijoeiro sempre menor que a da soja e do girassol.

Dentre as resistências ao fluxo hídrico no SSPA, aquela relativa aos estômatos desempenha papel fundamental, pois tais estruturas ocupando uma posição chave do caminho de transporte de água, representa uma resistência que se localiza na interface dos sistemas líquido e gasoso e que pode tornar-se de extrema importância em determinadas condições de déficit hídrico.

COWAN (1977) afirmou que o comportamento estomático pode condicionar o potencial e consumo de água pela planta enquanto em outras vezes ele é ditado pelo potencial de água na planta em interação com o potencial de água do solo, na área de abrangência da rizosfera, e pela demanda atmosférica.

Segundo RITCHIE (1974), para a maioria das plantas, em condições de alta umidade do solo, para um dia com alta demanda

evaporativa e outro com baixa condição de demanda, os valores de resistência estomática são baixos e aproximadamente iguais para estes mesmos dias. Para condições de baixa umidade do solo em um dia com alta e outro com baixa demanda evaporativa, a resistência estomática é alta e praticamente a mesma, pois a umidade do solo atingiu um nível crítico, e mesmo em um dia com baixas condições de demanda evaporativa os estômatos fecham parcialmente.

COWAN (1977) e FARQUHAR (1978) afirmaram que o aumento da resistência estomática pode ocorrer quando uma alta taxa de transpiração provoca uma queda do potencial de pressão da água na folha, mecanismo chamado de retroalimentação ("FEEDBACK") ou esse aumento da resistência é causado pela influência direta dos elementos do meio, os quais são responsáveis pela variação da densidade do fluxo transpiratório, mecanismo denominado de "FEEDFORWARD".

Estudando a influência dos parâmetros do meio no comportamento estomático em feijoeiro, KANEMASU e TANNER (1969b) sujeitaram as plantas a períodos intercalados de luz e escuro e verificaram que a abertura e o fechamento estomático ocorreram em vinte minutos e que as resistências estomáticas da face abaxial e adaxial foram independentes com relação ao fator estudado. Quando a face abaxial foi colocada em condições de luminosidade ou de sombreamento os valores de resistência estomática foram aproximadamente iguais, sendo que quando a superfície adaxial foi submetida as mesmas condições, os valores de resistência estomática tiveram os maiores valores na condição de sombreamento. Além desta diferença de comportamento, verificaram que

existiu uma diferença entre os valores de resistência entre a face adaxial e a abaxial da folha sendo esta diferença função de uma densidade diferencial dos estômatos, sendo esta na face abaxial, sete vezes maior que a da face adaxial.

Estudando o comportamento estomático em plantas de feijoeiro, MILLAR e GARDNER (1972) verificaram que quando as plantas eram bem supridas de água, a abertura estomática foi grandemente controlada pela intensidade luminosa, nível nutricional e concentração de  $CO_2$ . Com a diminuição do potencial da água no solo e conseqüentemente na planta, ocorreu uma queda da densidade do fluxo transpiratório em função da redução da abertura estomática.

Com relação à temperatura e sua influência na resistência estomática a difusão de vapor d'água em feijoeiro, HOFSTRA e HESKETH (1969) mostraram que o acréscimo da abertura estomática, para uma variação de temperatura entre 15 e 36°C, foi função quase linear do acréscimo de temperatura. Verificaram, também, que os valores da abertura estomática da face superior foram próximas de zero a temperaturas inferiores a 21°C e para a face inferior da folha os valores da abertura estomática foram mínimos. Para temperaturas em torno de 30 a 36°C a diferença de abertura estomática entre as faces não foi significativa.

No entanto, WILSON (1975), estudando o efeito de temperaturas mais baixas em plantas de feijoeiro, mostrou que ao transferir plantas de um ambiente a 25°C e umidade relativa de 85% para um a 5°C e umidade relativa de 85%, ocorreu a desidratação das mesmas; o autor

sugere que este fato foi devido a uma maior abertura estomática a 5<sup>o</sup>C do que a 25<sup>o</sup>C, pois em uma fase de complementação do experimento notou que a abertura estomática das plantas a 25<sup>o</sup>C teve um decréscimo gradual e doze horas depois essa abertura era somente a metade da inicial, enquanto que para as condições a 5<sup>o</sup>C elas atingiram o máximo em duas horas e os estômatos não mais se fecharam e para 12<sup>o</sup>C o tempo considerado foi de três horas.

HIRON e WRIGHT (1973), condicionando plântulas de feijoeiro a jatos de ar quente (38<sup>o</sup>C), verificaram que as folhas murcharam e, em consequência, a resistência estomática atingiu valores elevados. Com o fechamento estomático estas folhas novamente recuperaram a turgescência. O tempo necessário para que todo este processo acontecesse foi de aproximadamente 90 minutos. Paralelamente à medida da resistência estomática à difusão de vapor com a determinação do ácido abscísico (ABA), verificaram que o nível deste hormônio foi mínimo no início do ciclo, máximo por ocasião do fechamento estomático e mínimo ao final dos 90 minutos. A conclusão tirada pelos autores é que com o murchamento incipiente das folhas, ocorreu uma elevação do nível do ABA que provocou o fechamento estomático; com isto a taxa de transpiração foi diminuída e a planta recuperou sua turgescência, quando os níveis de ABA voltaram a diminuir, e com isto a taxa de transpiração aumentou novamente induzindo a planta a reiniciar o processo.

Deve-se considerar que a discordância entre os dois últimos trabalhos com relação ao de HOFSTRA e HESKETH (1969) pode ser função da maior taxa de incremento da temperatura aplicado por WILSON

(1975) e por HIRON e WRIGHT (1973), pois a evolução do aumento de temperatura não foi controlada no primeiro trabalho.

Como pode-se notar, as respostas dos estômatos às condições do meio e da própria planta têm sido muito estudadas, devido à sua importância como regulador de perda de água e taxa de absorção de dióxido de carbono e principalmente devido às suas respostas ao déficit hídrico, experimentado pelas plantas, porque os mesmos não respondem às variações de potenciais da água na folha até que níveis críticos deste parâmetro sejam alcançados, a partir dos quais eles respondem drasticamente, mesmo para pequenas variações do potencial de água na folha (HSIAO *et alii*, 1977; BEGG e TURNER, 1981).

Em plantas de feijoeiro, a influência do estresse hídrico, provocado por duas soluções de diferentes concentrações, foi estudado por JENSEN (1981). As plantas cresciam em solução nutritiva com potencial de  $-0,07$  MPa; a partir do florescimento, os tratamentos diferenciais foram de  $-0,07$  MPa;  $-0,25$  MPa e  $-0,45$  MPa. Com estes tratamentos, quando o potencial da água na folha estava entre  $-0,7$  MPa e  $-0,9$  MPa ocorreu o fechamento estomático, e quando as mesmas apresentaram-se murchas, o potencial de água na folha era de  $-1,0$  MPa. Fazendo uma relação entre a condutância estomática da face inferior da folha e o potencial de pressão da água na folha, notou que a condutância estomática aumentou com o acréscimo do potencial de pressão da água até quando o mesmo atingiu o valor de  $0,3$  MPa e a partir deste ponto, a condutância permaneceu constante, indicando que o potencial da água na folha não reflete fielmente o estado de hidratação das células guardas.

KANEMASU e TANNER (1969b) estudando a relação entre a resistência estomática à difusão do vapor d'água, o potencial da água na planta e a fotossíntese, mostraram que as resistências estomáticas da superfície adaxial das folhas aumentaram progressivamente após o potencial da água das folhas atingir  $-0,8$  MPa e  $-0,9$  MPa e que estas mesmas resistências na face adaxial permaneceram relativamente constantes até que o potencial da água na folha atingiu valores menores que  $-1,1$  ou  $-1,2$  MPa, a partir dos quais aumentaram rapidamente, impedindo uma maior redução do potencial da água na planta. As observações das resistências estomáticas à difusão do vapor d'água nas faces adaxial mostram que estas começam a aumentar 1 ou 2 dias antes do grande aumento da resistência estomática da face abaxial e do estado de murchamento das folhas. Estas reduções na abertura estomática, segundo os autores, causam uma redução na transpiração, na absorção de  $\text{CO}_2$  e conseqüentemente na fotossíntese.

Para O'TOOLE *et alii* (1977), as taxas de fotossíntese líquida e transpiração diminuíram quando o potencial da água nas folhas de feijoeiro alcançou  $-0,3$  MPa a  $-0,5$  MPa, enquanto que nesta faixa de potencial da água na folha, a resistência estomática à difusão de vapor teve um aumento. Quando o potencial de água na folha esteve por volta de  $-0,9$  a  $-1,0$  MPa, a fotossíntese líquida e a taxa de transpiração aproximaram-se de zero. Este decréscimo paralelo na taxa de fotossíntese líquida e taxa de transpiração, indicou neste experimento que o fechamento estomático foi a principal causa mediante estresse hídrico, da redução da fotossíntese líquida. Notou ainda o autor que a resistência do mesófilo aumentou e que a atividade da enzima RuDPase

decreceu com a diminuição do potencial da água na folha, indicando a possibilidade de que ambos, controle estomático e resistência do mesófilo, seriam responsáveis pela redução da fotossíntese.

## 2.2. Distribuição do Sistema Radicular do Feijoeiro e Extração de Água pelas Raízes

Segundo SLAVIK (1974) o tamanho do sistema radicular determina o volume de solo que irá ser explorado pela rizosfera. A extensão horizontal desta rizosfera de uma planta em uma comunidade vegetal é primeiramente determinada pelas características específicas da espécie como também pela densidade populacional. É determinada também por outros dois fatores parcialmente opostos, ou seja, o nível do lençol freático e a aeração do solo.

Para DOORENBOS e PRUITT (1975) a absorção da água pelas plantas é feita preferencialmente dentro do perfil de solo explorado pelas raízes. A maioria das culturas estudadas retiram 40% do total de água utilizada no quarto superior do perfil abrangido pelo sistema radicular e 30%, 20% e 10% do total de água utilizada da segunda, terceira e quarta fração do perfil do solo explorado pelas raízes. Não existe porém um limite definido para esta absorção preferencial, porque podem ocorrer movimentos horizontais e verticais de água de perfis mais úmidos para aqueles que sofreram secamento. Para a cultura do feijoeiro aqueles autores afirmam que a maior efetividade do sistema radicular em absorver água ocorre em média até a profundidade de 50-90 cm quando a cultura está no seu estágio de pleno desenvolvimento.

FISCUS (1979), em estudo das relações entre o sistema radicular e transporte de água em plantas de feijoeiro que variavam de 7 a 14 dias de idade, verificou que a condutividade das raízes está mais relacionada com a área da sua superfície do que com a idade das plantas. No início do desenvolvimento das plantas a condutividade das raízes tiveram um acréscimo até atingirem um valor máximo e então decresceu, permanecendo constante até o 41º dia. Este aumento na condutividade das raízes segundo aquele autor pode ter sido devido ao desenvolvimento de raízes primárias e secundárias, enquanto que a queda posterior da condutividade foi devido à suberização de parte da superfície das raízes.

Relatam STANSEL e SMITILE (1980) que a extração de água pelas raízes do feijoeiro, em experimento conduzido em duas estações de crescimento (outono e primavera) e três anos distintos ocorreu principalmente na camada de 0-30cm. Nas profundidades de 30-45cm a extração de água foi pequena e nas profundidades abaixo de 45cm, independente dos tratamentos de estresse aplicado à cultura, a absorção não foi significativa.

INFORZATO e MYASAKA (1963), fazendo um estudo da distribuição das raízes do feijoeiro em dois tipos de solo do estado de São Paulo, determinaram que os dez primeiros centímetros do perfil continham 74,5% das raízes; nos primeiros 20cm as raízes constituíam 83,6% do total. O restante das raízes estavam distribuídos até 90cm. Para o solo tipo Arenito de Baurū, os primeiros 10cm do perfil continham 87,4%; nos primeiros 20cm as raízes constituíam 97,4% do total, também para este solo a profundidade máxima atingida pelas raízes foi 90cm.

Em experimento de campo com feijoeiro REICHARDT *et alii* (1974) determinaram semanalmente a distribuição do sistema radicular, verificando no referido estudo que 90% das raízes estavam confinadas nos 30cm superiores do perfil do solo.

BLACK *et alii* (1970a), trabalhando com a cultura do feijoeiro em lisímetros de pesagem e com tensiômetros, sujeitaram a cultura a dois períodos de secamento, verificando que durante o primeiro ciclo de secamento do solo (34 a 43 dias após a emergência) a extração de água pela cultura foi restrita a 0-45cm. Durante o segundo ciclo (dos 47 e 54 dias após a emergência) a água foi retirada de 0-120cm do perfil.

DASBERG e BAKKER (1970) confirmaram a influência oposta da aeração e umidade do solo no crescimento das raízes do feijoeiro, sendo que quanto maior foi a umidade e menor a aeração, menor foi o desenvolvimento radicular das plantas, sendo o inverso também verdadeiro.

Por sua vez a aeração do solo, para tensões de umidades não limitantes ao desenvolvimento das plantas, guarda uma relação exponencial com a produção de matéria seca pelo feijoeiro, segundo LEGARDA e FORSYTHE (1978).

### 2.3. Respostas do Feijoeiro às Condições Hídricas no Solo e na Planta

#### 2.3.1. No solo

A quantificação de parâmetros envolvidos nas relações

hídricas das culturas de interesse econômico é importante para caracterizar o comportamento destas frente a défices hídricos, fornecendo subsídios aos estudos de resistências a seca e de exigências em água pelas diferentes variedades, atendendo várias áreas da ciência agrônoma como a de melhoramento vegetal, a agrometeorologia e a prática irrigacionista. Dentre as determinações que se realizam neste sentido, destacam-se as de evapotranspiração e a influência do déficit hídrico.

Com relação ao consumo de água, SILVEIRA e STONE (1978), realizando o balanço hídrico no campo de uma cultura de feijão desenvolvendo-se em condições ótimas de umidade, determinaram que o consumo total de água pela cultura foi de 220,5mm. Para os diferentes estádios de desenvolvimento, o consumo foi de  $3,2\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$  para o período de germinação à floração;  $3,2\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$  para o período de floração e de 1,7mm para o período de desenvolvimento de vagens até a maturação correspondentes a 0,62; 0,77 e 0,38 do total da evaporação do tanque "Classe A".

ENCARNAÇÃO (1980), conduzindo a cultura de feijoeiro em evapotranspirômetros a nível de lençol freático constante, determinou que durante o período vegetativo o consumo médio diário de água foi de 3,8mm; no período de floração de 4,8mm e no final do período de frutificação de 4,2mm e na maturação fisiológica 3,8mm. O consumo total de água durante todo o ciclo foi de 284mm.

LUCHIARI (1978) encontrou um valor médio de  $3,0\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$  de evapotranspiração para todo o ciclo de uma cultura de feijoeiro desde o plantio até a maturação e o coeficiente médio de tanque para todo o ciclo da cultura foi de 0,88.

REICHARDT *et alii* (1974), através do balanço hídrico no campo, determinaram a evapotranspiração do feijoeiro da variedade Carioca no período compreendido entre o início da fase vegetativa até 45 dias após; o total de água consumido pela cultura foi de 165,7mm e o coeficiente de tanque para o período foi de 0,78.

BLACK *et alii* (1970b) compararam a evapotranspiração do feijoeiro estimada pelo método de Penman-Monteith (1965) e a evapotranspiração medida com um lisímetro de pesagem. A evapotranspiração de referência foi em média  $7,3\text{mm dia}^{-1}$ , incluindo dois períodos de secagem do solo, sendo que variou de  $2,5\text{mm.dia}^{-1}$  a  $13,5\text{mm.dia}^{-1}$ . Durante o período de secamento, com o decréscimo da água disponível, a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração de referência, decresceu para 0,14 no primeiro período de secamento e para 0,20 no segundo período.

Segundo DOORENBOS e KASSAN (1979) a cultura do feijoeiro em média consome de 300 a 500mm de água durante o seu ciclo de desenvolvimento, quando em condições de ampla disponibilidade hídrica no solo.

Além de determinar o consumo médio de água para uma cultura com a finalidade de projetar sistemas de irrigação e caracterização do potencial de plantio de determinadas regiões, em função das condições de precipitação e de disponibilidade hídrica, a determinação do comportamento da cultura frente a períodos de escassez de água no solo é de grande importância, pois através deste estudo podem-se selecionar variedades e também épocas de plantio de acordo com as características da região, procurando minimizar os custos de produção.

Objetivando este tipo de estudo STANSELL e SMITLE (1980) estudaram as relações hídricas do feijoeiro na estação da primavera e outono em três anos distintos. Os diferentes tratamentos consistiram na irrigação da cultura durante os estádios de pré-florescimento, florescimento e pós-florescimento, quando o tensiômetro instalado a uma profundidade de 10cm acusava uma tensão de umidade no solo de  $-0,025$  MPa;  $-0,05$  MPa e  $-0,075$  MPa. Os demais tratamentos consistiram em irrigar a cultura quando a tensão de umidade alcançada  $-0,075$  MPa em uma das três fases. A maior produção foi alcançada com tratamento de  $-0,025$  MPa sendo que a mesma foi reduzida em 41 e 47% para os tratamentos de  $-0,050$  e  $-0,075$  MPa, respectivamente. Ocorreu uma redução de 18 a 25% quando o tratamento de  $-0,075$  MPa foi aplicado em um dos estádios reprodutivos. Para este tratamento não existiu diferença de sensibilidade dos diversos estádios, ao déficit hídrico. A relação média entre a evapotranspiração e a evaporação do tanque foi de 0,72 para o tratamento de  $-0,025$  MPa de 0,55 para o tratamento de  $-0,050$  MPa e de 0,49 para o tratamento de  $-0,075$  MPa.

MAURER *et alii* (1969) determinaram que as plantas de feijoeiro que foram irrigadas quando o solo atingiu 88% da água disponível tiveram um desenvolvimento mais rápido, foram maiores e mais produtivas do que as plantas que foram irrigadas quando o solo atingiu 60% e 32% de sua água disponível. No tratamento sem déficit hídrico, as plantas exigiram 100 litros de água para produzir 280 g de matéria seca; no tratamento com níveis intermediários de água, as plantas exigiram 87 litros de água para formar 206 g de matéria seca e no tratamento de maior deficiência hídrica exigiram 69 litros para produzirem 72 g de matéria seca.

VEGA e CANTU (1982), dando um tratamento de umidade à cultura do feijoeiro, que consistiu na irrigação cada vez que a quantidade de água no solo alcançava 60 a 70% da quantidade total de água disponível às plantas na camada de solo explorado pelas raízes da cultura, determinaram que o consumo total de água foi de 212mm nos 95 dias de desenvolvimento da cultura. A eficiência do uso de água foi de 0,39 gramas de grãos por litro de água evapotranspirada.

MILLAR e GARDNER (1972), acompanhando as respostas das plantas de feijoeiro em períodos de secamento do solo, quantificaram os parâmetros que influenciavam este comportamento, ou seja: potencial de água no solo, potencial de água na planta, resistência estomática, taxa de transpiração e índices fenológicos. Mostraram que a taxa de transpiração reduziu-se rapidamente quando o potencial de água no solo a 30cm diminuiu para valores abaixo de  $-0,025$  MPa, quando o potencial de água no solo atingiu  $-0,040$  MPa a taxa de transpiração foi reduzida em torno de 50% em relação àquela a  $-0,025$  MPa. Quando o potencial da água no solo diminuiu de  $-0,028$  MPa para  $-0,040$  MPa a taxa de produção de matéria seca reduziu-se em torno de 47%. Segundo os autores, para regiões com limitações hídricas e onde o clima não tem uma variabilidade muito grande de ano para ano, seria de grande importância conhecer a relação entre o potencial da água no solo e a taxa de crescimento e desenvolvimento das culturas, para o auxílio dos programas de irrigação.

MUIRHEAD e WHITE (1981) relacionaram o potencial de água no solo e o rendimento da cultura do feijoeiro. Os autores estudaram a influência do período em que a cultura tinha seu desenvolvimento

em condições de baixo potencial de água no solo, no rendimento final da cultura. Os valores de potencial de água no solo variaram de  $-0,1$  a  $-1,0$  MPa, nas profundidades de 10, 30, 50 e 70cm de solo. Determinaram para as condições estudadas, que o potencial da água no solo a 50 e 70 cm de profundidade, mesmo durante os períodos críticos do feijoeiro (pré-florescimento e enchimento de grãos) não estiveram relacionados com a produção de vagens. Entretanto, a duração do período (nº de dias) em que o déficit hídrico permaneceu abaixo de  $-0,5$  MPa na profundidade de 30cm, explicou 77% da variação da produção de vagens, como também o coeficiente de determinação era sempre alto quando relacionavam o período em que a cultura se desenvolvia em condições de potenciais de água no solo abaixo de  $-8,0$  MPa a 10 cm.

Com a finalidade de caracterizar grupos de variedades quanto a sua sensibilidade à seca, SILVEIRA *et alii* (1981) avaliaram a resistência à seca de oito cultivares pertencentes ao grupo "Preto" e seis cultivares pertencentes ao grupo "Mulatinho" semeados em seis datas de plantio. Os tratamentos de déficit aplicado à cultura foram baseados no número de dias em que a cultura permanecia com a umidade do solo abaixo de 25% do total da água disponível quando em capacidade de campo. Fazendo uma correlação simples entre o número de dias em que a cultura permanecia em estresse hídrico (estimado pelo balanço hídrico) e o rendimento final das variedades, determinaram que a variação do rendimento foi explicada em 67%, em média, pelo número de dias que a cultura permaneceu em déficit hídrico. A medida que o número de dias de estresse

hídrico aumentou, o rendimento diminuiu, sendo que a média dos rendimentos dos grupo "Mulatinho" foi maior que a média do grupo "Preto". Segundo os próprios autores, apesar do número de dias de estresse hídrico explicar 67% da variação do rendimento seria conveniente realizar o estudo utilizando somente uma data de plantio, para eliminar o efeito "data de plantio".

### 2.3.2. Na planta

Segundo SCHOLANDER *et alii* (1965), a grande maioria das plantas vasculares tem o seu potencial de água variando de -0,5 e - 8,0 MPa. A variabilidade deste potencial depende de vários fatores, principalmente da umidade do solo e das condições atmosféricas, mas comumente a variação diurna está na faixa de -1,0 a -2,0 MPa. Para a cultura do feijoeiro as faixas de potencial de água da folha comumente encontrada, para fins de estudo das relações hídricas foram diferentes, segundo várias condições e autores.

KANEMASU e TANNER (1969a) em estudo do comportamento estomático determinaram potenciais de água da folha de aproximadamente -1,40 MPa no campo e -1,2 MPa em casa de vegetação. MILLAR e GARDNER determinando a influência do potencial de água na planta sobre a produção de matéria seca caracterizaram potenciais de aproximadamente -1,2 MPa. O'TOOLE *et alii* (1977), estudando a relação entre a fotossíntese e estresse hídrico em plantas crescendo em casa de vegetação, determinou potenciais de 0,0 a -1,0 MPa. HOFFMAN *et alii* (1978), estudando os elementos do meio no crescimento das plantas com relação à tolerância das

mesmas frente a condições de salinidade em vasos, determinaram potencial total, osmótico e de pressão, que alcançaram -1,18 MPa, -1,65 MPa e 0,42 MPa, respectivamente. RESENDE *et alii* (1981), verificando a influência da frequência da irrigação em condições de campo sobre parâmetros hídricos e de crescimento da planta, determinaram potenciais mínimos de potencial de pressão do xilema de aproximadamente -1,18 MPa. VAN VOLKENBURCH (1981), verificando o papel do potencial osmótico da água e da luz na expansão da folha, quando as plantas cresciam em soluções nutritivas, encontrou potenciais de  $-0,16 \pm 0,9$  a  $-0,36 \pm 0,7$  MPa para o potencial total; de  $-0,86 \pm 1,2$  a  $1,06 \pm 0,4$  MPa para o potencial osmótico e de  $0,5 \pm 1,2$  a  $0,84 \pm 0,8$  MPa para potencial de pressão. JENSEN (1981), quando conduziu plantas em soluções nutritivas com várias concentrações, determinou potenciais da água no xilema de -0,67 a -1,28 MPa e potenciais osmóticos de -1,06 a -1,46 MPa.

JENSEN (1981) estudou a influência do estresse hídrico causado em plantas de feijoeiro por duas soluções de diferentes concentrações. As plantas cresciam em solução nutritiva com potencial de -0,07 MPa; a partir do florescimento os tratamentos diferenciais foram de -0,07 MPa; -0,25 MPa e -0,45 MPa. Com estes tratamentos, quando o potencial de água na folha estava entre -0,7 MPa e -0,9 MPa ocorreu o fechamento estomático e quando apresentaram-se murchas o potencial de água na folha foi de -1,0 MPa. Fazendo uma relação entre a condutância estomática da face inferior da folha e o seu potencial de pressão, notou-se que a condutância aumentou com o acréscimo do potencial de pressão até quando o mesmo atingiu o valor de -0,3 MPa e a partir deste ponto, permaneceu constante. Isto indica que o potencial da folha não

reflete fielmente o estado de hidratação das células guardas.

Com relação a períodos de déficit hídrico durante o desenvolvimento vegetal, mais precisamente da influência do estado energético da água na planta, os mecanismos de sobrevivência se manifestam segundo as espécies e estádios de desenvolvimento. O escape de períodos críticos à seca pode ser conseguido através de um desenvolvimento mais rápido e ou por um desenvolvimento plástico, segundo TURNER e BEGG (1981) e LAWN (1982 a, b, c.).

Para o feijoeiro, os estádios críticos do desenvolvimento em relação à seca são o pré-florescimento, florescimento e enchimentos de grãos (DOORENBOS e PREVITT, 1975), nos quais a atuação do déficit hídrico causará uma redução nos parâmetros de rendimento, como número de vagens por planta (JANES, 1948; KATTAN e FLEMING, 1956; BURMAN e BOHMONT, 1961; GODOY, 1966; EL NADI, 1969; MAURER *et alii*, 1969; FISCHER e WEAVER, 1974; MAGALHÃES e MILLAR, 1978; MAGALHÃES *et alii*, 1979), e número e peso de grãos por vagens (JANES, 1948; KATTAN e FLEMING, 1956; BURMAN e BOHMONT, 1961; GODOY, 1966; MAURER *et alii*, 1969; MAGALHÃES e MILLAR, 1978).

Com respeito à plasticidade de desenvolvimento para a cultura de feijoeiro existe pouca bibliografia a respeito. Para a cultura com boa disponibilidade hídrica no solo, SILVEIRA *et alii* (1980), estudando as respostas de duas variedades (Tambó e rio Tibagi) com relação à idade das plantas na floração e quanto ao pegamento de flores, mostraram que as variedades apresentaram períodos de floração de 19 a 24 dias respectivamente, e que, para ambas as cultivares, a relação entre a percentagem de pegamento ou vingamento de flores e o número

de grãos por vagem decresceu à medida que a idade de floração aumentou, sendo que as polinizações ocorridas até o quarto dia de floração foram aquelas que tiveram maior probabilidade de êxito; a partir desse dia o abortamento das flores cresceu continuamente até atingir 100%.

Para constatar se somente as primeiras flores formadas na planta de feijoeiro eram capazes de produzir vagens ou se um mecanismo externo ou hormonal limitava o número de vagens aptas a serem colhidas, BINNIE e CLIFORD (1981) submeteram sete variedades de feijoeiro a diversos tratamentos de remoção de flores, constatando que todas as flores estiveram aptas a produzir vagens, demonstrando que talvez a produção de vagens por todas as flores tenha uma limitação devido ao suprimento de assimilados, a influência hormonal ou a combinação destes fatores.

O citado estudo é muito importante sob o ponto de vista agrônomo, pois através dele e com estudos suplementares, submetendo as variedades ao estresse hídrico, pode-se identificar mais facilmente aquelas que possuem um período maior de florescimento ou plasticidade de desenvolvimento, fato que pode auxiliar o melhoramento genético visando aumentar maior tolerância à seca.

Outro mecanismo apresentado por várias leguminosas para escapar a períodos de estresse hídrico é o movimento paraheliotrópico, o qual serve para diminuir a temperatura da folha sob estresse e presumivelmente evitar novas perdas de água; o grau de manifestação deste mecanismo segundo LAWN (1982 a, b e c) é diferente segundo espécies e variedades.

Segundo TURNER (1982), o mecanismo que comanda esta variação do ângulo das folhas está localizado na base do folíolo, mais precisamente no pulvínulo, e as células são semelhantes às células buliformes das gramíneas que provocam o enrolamento das folhas por perda de turgidez, diminuindo assim a área foliar "ativa".

DUBETZ (1969) estudou o fenômeno de paraheliotropismo em folhas de feijoeiro condicionadas ao estresse hídrico. Após trinta dias de emergência o solo deixou de receber irrigação e alcançou tensão da água de  $-0,8$  MPa. Nestas condições entre o 30º e 40º dia, onde as temperaturas máximas variaram de  $31^{\circ}\text{C}$  a  $36^{\circ}\text{C}$ , as plantas apresentaram o fenômeno de paraheliotropismo. Este processo foi reversível, sendo que as folhas voltaram à posição anterior no início do dia, e este comportamento somente foi observado nas plantas estressadas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Local

Os dados foram obtidos na área experimental do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP.

As coordenadas geográficas do local são: latitude 22,70° sul, longitude 47,63° oeste e altitude de 586 metros (Município de Piracicaba, Estado de São Paulo).

O clima desta região é do tipo mesotérmico Cwa (Sub tropical úmido com estiagem no inverno). A temperatura do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente é superior a 22°C. Esse tipo climático, segundo CAMARGO *et alii* (1974), é denominado de "Tropical de altitude".

### 3.2. Solo

A área em que foi instalado o experimento possui o solo descrito e classificado, segundo RANZANI *et alii* (1966), como pertencente à série Luiz de Queiroz, terra roxa estrutura, tendo como material de origem rochas eruptivas básicas. De acordo com a classificação americana (E.U.A., 1975), é um Oxíc Paleudalf.

### 3.3. Variedades

Foram utilizadas duas variedades de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), sendo ambas de hábito de crescimento indeterminado do tipo II, segundo classificação do CIAT (s.d.). Uma das variedades foi o "Aroana 80" que, em média, tem o início de florescimento aos 35-40 dias após a emergência. A duração do período de desenvolvimento (emergência-maturação fisiológica) é em média de 90-100 dias. A outra variedade utilizada foi a "Aetê 3" que, em média tem o início de florescimento com 30-35 dias após a emergência. A duração do seu período de desenvolvimento (emergência-maturação fisiológica) é de 90-95 dias, segundo descrição das variedades pelo Boletim Técnico do IAC (1982).

A densidade de plantio foi de 200.000 plantas/ha, semeadas manualmente com um espaçamento entre plantas de 0,1m e entre linhas de 0,5m. Sempre que necessário, fez-se aplicação de inseticidas, fungicidas e capinas.

A disposição das parcelas referentes aos tratamentos aplicados é mostrado na figura 1.

### 3.4. Tratamentos Utilizados

Os tratamentos utilizados nas determinações foram constituídos por:

- Variedades de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) "Aeté 3" e "Aroana 80".

- Três épocas de plantio, sendo:

a) 1<sup>a</sup> época 07/07/83

b) 2<sup>a</sup> época 22/07/83

c) 3<sup>a</sup> época 04/08/83

- Tratamentos diferenciais de irrigação:

a) Cada variedade em cada época de plantio teve um tratamento conduzido em condições de altos valores de água disponível no solo durante o ciclo todo de desenvolvimento.

b) Cada variedade em cada época de plantio sofreu um período de deficiência hídrica no solo, provocada através da interrupção da irrigação por um período de dezessete dias a partir de 25 de setembro. No período considerado a primeira época de plantio encontrava-se no período de pré-maturação fisiológica; a segunda época no estágio de formação e desenvolvimento de vagens; a terceira época no estágio de florescimento.

A localização dos tratamentos dentro da área experimental está representada na figura 1.

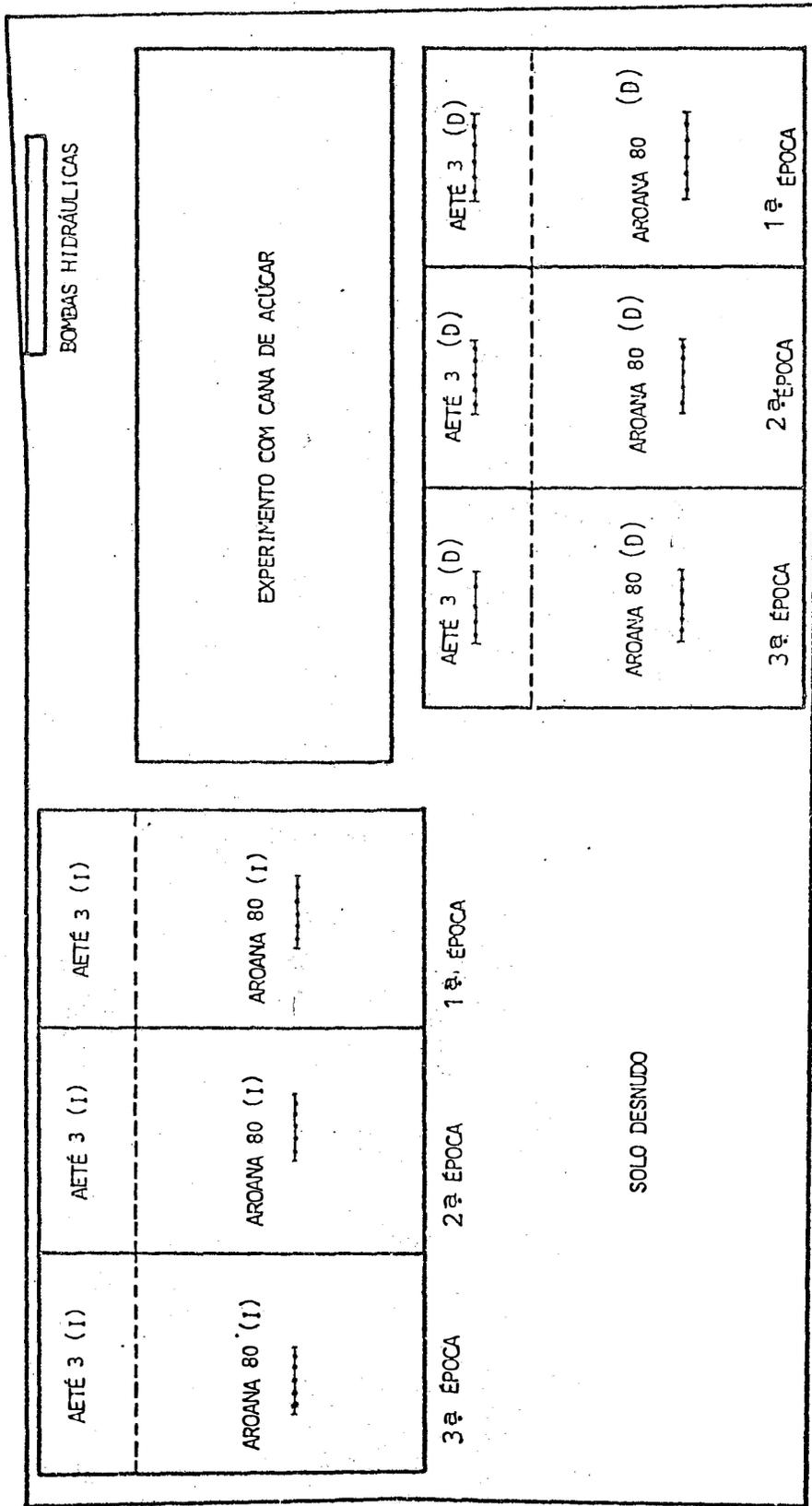


FIG. 1 Esquema da distribuição dos tratamentos na área experimental. Os traços (---) representam a localização do conjunto de tensiômetros, D = tratamento com suspensão de irrigação; I = tratamento sem suspensão de irrigação.

### 3.5. Determinação dos Parâmetros Relacionados ao Fluxo de Água

Durante todo o ciclo de desenvolvimento do feijoeiro foram realizados balanços hídricos em condições de campo para a determinação da evapotranspiração das culturas (ETc), nos tratamentos com e sem interrupção da irrigação na Aroana 80 e nos tratamentos com interrupção da irrigação na Aetē 3. Nesse mesmo período, foram feitas determinações do teor de água disponível no solo, bem como de evapotranspiração segundo o método de PENMAN (1948) de acordo com os critérios discutidos em itens seguintes, sendo que a determinação do último parâmetro citado foi realizada apenas para se obter um valor de referência.

Durante o período de interrupção da irrigação, além da medida diária do potencial matricial de água no solo, foram determinados os potenciais de água na folha nos tratamentos em que houve tentativa do estabelecimento de déficit hídrico acentuado. Por problemas de disponibilidade de equipamentos, o potencial total de água na folha ( $\psi_t$ ) foi determinado somente na variedade Aroana 80; os componentes de  $\psi_t$ , potencial osmótico ( $\psi_o$ ) e a somatória do potencial osmótico e matricial ( $\psi_{o+m}$ ), foram medidos nas duas variedades, mas por problemas de conservação das amostras, as determinações não puderam ser realizadas em todos os dias do período de estabelecimento do déficit hídrico, sendo que os valores de  $\psi_o$  e  $\psi_{o+m}$  foram determinados somente nos primeiros dias e para alguns dias do período, respectivamente.

Nesse período de interrupção da irrigação foram realizadas medidas de resistência estomática e de fluxo transpiratório nas duas variedades e nos tratamentos com deficiência hídrica.

Nos itens a seguir são detalhados os procedimentos e os métodos adotados relativos a esses parâmetros.

### 3.5.1. Balanço hídrico no campo

Para o cálculo da evapotranspiração máxima e evapotranspiração real utilizou-se o método do balanço hídrico no campo. O balanço hídrico em um volume de solo é baseado na lei da conservação das massas. A saída e entrada de água no volume do solo com profundidade "Z", variando de 0 (zero) a "Z" em um período de tempo definido entre  $t_1$  e  $t_2$  é descrita pela equação:

$$\int_{t_1}^{t_2} p dt + \int_{t_1}^{t_2} i dt - \int_{t_1}^{t_2} e dt \pm \int_{t_1}^{t_2} q dt = \pm \int_0^Z \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \theta}{\partial Z} dt \cdot dZ \quad (1)$$

onde:

p - intensidade de precipitação pluviométrica;

i - intensidade de irrigação;

e - intensidade de evapotranspiração;

q - intensidade de percolação profunda ou ascensão capilar em "Z";

r - intensidade de escoamento superficial;

$\theta$  - umidade do solo.

A "Irrigação" foi determinada através da amostragem da água adicionada (em número de duas por dose de irrigação por tratamento), feitas aleatoriamente junto ao conjunto de tensiômetros, com recipientes de área de captação conhecida. As irrigações por aspersão foram feitas de acordo com as necessidades dos tratamentos diferenciais, com um volume de água suficiente para elevar a umidade do solo a

condição de capacidade de campo ou próximo a ela, nas camadas de maior absorção de água pelas raízes.

Foi desprezado o "Escoamento superficial", pois as condições do terreno quanto à sua inclinação e a taxa de infiltração do solo no local do experimento permitem este procedimento, sem que acarrete erros significativos.

A obtenção da "Variação de água" no volume de solo considerado, foi feita por integração dos valores do conteúdo de água nos 675mm superiores do perfil do solo. Para a determinação da umidade em cada camada do perfil utilizou-se uma curva de retenção de umidade elaborada com valores de umidade volumétrica, sendo as amostras coletadas das camadas de 0-15; 15-30; 30-45; 45-60 e 60-75cm e os valores de potencial matricial da água obtidos com os tensiômetros instalados nas profundidades limites das camadas de extração das amostras. Foram obtidas duas amostragens com duas subamostras, a intervalos de tempo variáveis durante a condução do experimento entre 5 a 10 dias. A umidade foi determinada pelo método gravimétrico e a umidade com base em peso seco foi transformada em umidade com base em volume.

A densidade global foi determinada através de três amostras por camada, com o auxílio de cilindros volumétricos.

A "Percolação profunda" foi estimada com base na equação geral que se tem utilizado descreve o fluxo de água em um perfil de solo (DARCY, 1856) como segue:

$$q = -K(\theta) \left. \frac{\partial H}{\partial Z} \right|_Z \quad (2)$$

onde:

$\left| \frac{\partial H}{\partial Z} \right|_Z$  é o gradiente de potencial hidráulico operado através do plano "Z".

$K(\theta)$  é a condutividade hidráulica do solo.

A condutividade hidráulica do solo foi determinada no local do experimento pelo método de LIBARDI *et alii* (1980), sendo a relação entre a condutividade hidráulica e a umidade do solo dada por:

$$K(\theta) = K_0 \cdot e^{\gamma(\theta - \theta_0)} \quad (3)$$

onde

$\gamma$  → é o coeficiente angular da reta de  $\ln K$  versus  $\theta$

$K_0$  → condutividade hidráulica no tempo zero de drenagem

$\theta_0$  → umidade volumétrica de saturação no tempo zero de drenagem

$\theta$  → umidade volumétrica no instante considerado

Para o solo em questão tal equação para 67,5 cm apresentou como:

$$K(\theta) = 0,188 \cdot e^{272,590(\theta - 0,367)} \quad (4)$$

Os potenciais matricial e hidráulico foram obtidos com o auxílio de tensiômetros através de leituras diárias. O quociente da diferença entre os potenciais hidráulicos nas profundidades de 60 e 75 cm pela distância entre as duas profundidades, foi considerado como o gradiente de potencial da água no plano a 67,5 cm de profundidade.

Para se obter os valores diários de drenagem profunda estimaram-se os valores de umidade do solo através da curva característica da água no solo, a qual foi determinada, para baixas tensões de umidade do solo através da relação entre a umidade média obtida por gravimetria na cama onde se localizava o tensiômetro, com os valores dos potenciais matriciais estimados pelas leituras dos tensiômetros. De posse de todos estes parâmetros foi obtido o termo "Percolação profunda" pelo produto da condutividade hidráulica determinada a 67,5cm pelo gradiente do potencial hidráulico entre 60-75cm, para o período considerado.

Em cada parcela referente a cada tratamento foi instalado um conjunto de dez tensiômetros com manômetros de mercúrio, localizado no centro da parcela, sendo as profundidades dos tensiômetros de 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150cm. Nos tratamentos de umidade que visaram dar condições ótimas de desenvolvimento à cultura não foram instalados os conjuntos de tensiômetros da variedade Aetê 3 e o momento de rega foi controlado pelo conjunto de tensiômetros localizados nas parcelas da variedade "Aroana 80".

Para o cálculo da evapotranspiração pelo método do balanço hídrico subdividiu-se o ciclo da cultura em períodos de três a cinco dias em média. Após esta divisão calculou-se a evapotranspiração média de períodos variáveis e sobrepostos, de preferência englobando os períodos de chuva com os de drenagem referente ao mesmo período. Em certos intervalos de tempo não foi possível calcular os valores da evapotranspiração, devido a uma super estimativa ou sub-estimativa da drenagem

profunda. Para sanar esta deficiência, com os valores destes intervalos variáveis, determinou-se uma relação entre a evapotranspiração da cultura e aquela segundo PENMAN (ETC/ETP) para cada um desses intervalos, construindo-se uma curva em função dos dias após a emergência. Com os valores médios tomados dessa curva para intervalos de cinco dias, determinou-se o ETC para este mesmo intervalo com o auxílio da ETP para o mesmo período. Este procedimento é satisfatório, pois os períodos com falta de ETC ocorreram em épocas chuvosas, quando então a relação ETC/ETP segue uma tendência geral sem apresentar provavelmente desvios acentuados.

### 3.5.2. Evapotranspiração segundo o método de PENMAN

Foi utilizada a equação proposta por PENMAN (1948):

$$ET_p = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot H + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot E_c \quad (5)$$

onde

ET<sub>p</sub> - evapotranspiração máxima (mm)

Δ - tangente à curva de saturação de vapor d'água (mm.°C<sup>-1</sup>)

γ - constante psicrométrica (mm.°C<sup>-1</sup>)

H - energia líquida disponível ao sistema (mm de evap. equivalente)

E<sub>c</sub> - termo de evaporação (mm de evap. equivalente)

O termo  $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ , ou coeficiente de correção, utilizado para a obtenção do termo energético, e o termo  $\frac{\gamma}{\Delta + \gamma}$  ou coeficiente de correção utilizado para a obtenção do termo aerodinâmico, foram determinados através dos valores da temperatura média do ar com o auxílio de uma tabela

elaborada com os valores de  $\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}$  e  $\frac{\gamma}{\Delta+\gamma}$  e temperaturas médias diárias, (OMETTO, 1981).

Para a determinação diária de energia líquida disponível (H) utilizou-se uma equação determinada através de equação linear simples entre a radiação global (RG) medida através de um piranômetro Eppley e tipo "branco e preto" com dez junções e constante de  $3,55 \times 10^{-6} \text{ mVW}^{-1} \text{ m}^{-2}$  e a radiação líquida obtida pelo balanço de energia feito na própria cultura do feijoeiro em estágio de máximo desenvolvimento e em condições de não restrição hídrica à cultura. Esta relação foi determinada através de 15 pares de dados (RG x H), obtendo-se um coeficiente de determinação de  $r = 0,982$ .

Na determinação do balanço de energia utilizou-se um radiômetro para radiação líquida marca MIDDLETON não ventilado com uma constante de  $28,173 \text{ mV/cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ . Para a obtenção do fluxo de calor no solo utilizaram-se dois fluxímetros em série marca MIDDLETON com constantes de  $16,55$  e  $17,05 \text{ mV/cal.cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$  para cada uma delas.

Os sinais elétricos desses equipamentos foram medidos com um potenciômetro (Cambridge Portable Potentiometer, fabricado pela Cambridge Instrument Company Limited, England) com sensibilidade de até  $0,01 \text{ mV}$ .

Na determinação diária do termo aerodinâmico ( $E_c$ ) foi utilizada a equação:

$$E_c = (0,35 + 0,184 U) \cdot (e_s - e_a) \quad (6)$$

onde

$U$  = velocidade do vento a 2m acima da superfície evaporante  
( $m.s^{-1}$ )

$e_s - e_a$  = déficit de saturação de vapor de água do ar (mmHg)

A velocidade do vento a dois metros de altura acima da superfície evaporante foi determinada com um anemômetro integrador (Km/dia) marca FUESS modelo de canecas.

O déficit de saturação de vapor de água do ar foi obtido através do método e aparelho especificado no item 3.5.5.

### 3.5.3. Cálculo da fração de água disponível (F.A.D.)

Para o cálculo da F.A.D. utilizaram-se os valores de umidade ( $\theta$ ) estimada através da tensiometria e as curvas características de umidade do solo para cada profundidade considerada. De posse desses valores calculou-se a F.A.D. pela fórmula:

$$F.A.D. = \frac{\theta - \theta_{PMP}}{\theta_{CC} - \theta_{PMP}} \quad (7)$$

onde

$\theta_{CC}$  → umidade da camada de solo a "capacidade de campo"

$\theta_{PMP}$  → umidade da camada de solo no "ponto de murchamento permanente"

$\theta$  → umidade da camada de solo observada no dia considerado

O valor de  $\theta_{CC}$  foi estimado através da curva representativa da variação do teor de água ( $\theta$ ) em função do tempo, obtida após o solo ter sido saturado e coberto para evitar a evaporação da umidade da superfície. Quando os valores de  $\theta$  apresentaram pequena variação

(aproximadamente de 0,005%/dia) caracterizou-se esta umidade como sendo aquela da capacidade de campo e os valores correspondentes de potencial matricial de água no solo variaram em torno de 0,001 MPa.

O valor de  $\Theta_{PMP}$  foi determinado submetendo amostras indeformadas de solo, coletadas em número de três por profundidade, a pressões de 1,5 MPa na câmara de RICHARDS.

#### 3.5.4. Potencial da água na planta

O potencial da água na planta é determinado basicamente pela concentração de solutos nos vacuolos das células, pela quantidade de substâncias hidratadas e pela pressão exercida pela parede celular e de acordo com a expressão:

$$\psi_{total} = \psi_{osmótico} + \psi_{pressão} + \psi_{matricial} \quad (8)$$

Os termos " $\psi_{osmótico}$ " e " $\psi_{matricial}$ " da água na planta possuem, para efeito de estudos, sinal negativo. O termo " $\psi_{pressão}$ " deve ser sempre positivo ou no máximo igual a zero.

O potencial total e o desdobramento em seus componentes foram determinados por higrometria de par termoeletrico através de equipamento marca Wescor constituído de três câmaras de amostras modelo "C-52" e três câmaras de inserção nas folhas, modificadas para conterem as amostras retiradas das folhas e de um microvoltímetro higrométrico modelo "HR-33".

Anteriormente ao início das determinações fez-se um estudo para verificar o tempo necessário para que a amostra entrasse em

equilíbrio com a atmosfera das câmaras higrométricas.

Para a determinação do potencial total da água na folha ( $\psi_t$ ), os discos de tecido eram retirados das folhas superiores mais expandidas, evitando-se a amostragem em folhas sombreadas. O local de amostragem dentro de cada parcela era próximo à localização dos tensiômetros.

Para cada determinação do potencial total da água na folha no tratamento considerado foram utilizadas três câmaras e as amostras do tecido das folhas procediam de três plantas diferentes. Após a coleta as câmaras foram colocadas em ambiente com temperatura controlada.

As determinações do potencial  $\psi_{(0+m)}$  foram feitas através de amostras provenientes de três folhas de três plantas tomadas ao acaso dentro do tratamento. Estas três folhas foram acondicionadas em sacos de polietileno e imediatamente após a identificação imergidas por 30-60 segundos em  $N_2$  líquido e ao final do dia eram armazenadas sob temperaturas abaixo de  $0^\circ C$  até que fossem utilizadas para a determinação do  $\psi_{(0+m)}$ . Para cada amostragem de um determinado horário fez-se de duas a três determinações através da retirada de pequenos discos do tecido foliar, conforme técnica descrita por SLAVIK (1974).

Na determinação do potencial osmótico ( $\psi_o$ ) utilizou-se as mesmas folhas da determinação do  $\psi_{(0+m)}$ . Para tanto, as amostras (três folhas) eram acondicionadas em um aparelho de metal com sistema perfurado de coleta de seiva e, com o auxílio de uma prensa hidráulica manual, eram submetidas a pressões de 20MPa. A seiva recolhida foi acondicionada em frascos de vidro e armazenadas sob temperaturas suficientemente baixas

para manterem-se congeladas até a determinação do  $\psi_0$ . Após retiradas do congelador as amostras eram deixadas a entrar em equilíbrio com o ambiente utilizando-se então apenas pequena quantidade da mesma, suficiente para umedecer três discos de papel de filtro, os quais eram colocados em câmaras higrométricas distintas.

Do posse dos valores do  $\psi_t$  e do  $\psi_{(0+m)}$ , com o auxílio da equação (8) determinou-se algebricamente o potencial de pressão.

### 3.5.5. Resistência estomática à difusão de vapor e taxa de transpiração

Paralelamente às medidas dos potenciais de água na planta e no solo durante o estágio de secamento, determinou-se diariamente no período luminoso com o auxílio de um porometro de equilíbrio dinâmico ("Steady State Porometer") marca LI-COR modelo LI-1600, a densidade do fluxo transpiratório e a resistência estomática à difusão de vapor de água na folha.

A amostragem para a determinação dos pontos da curva representativa das variações desses parâmetros, ao longo do período luminoso, foi feita em oito plantas diferentes, sendo que em quatro delas as determinações foram realizadas na face dorsal e as quatro restantes na face ventral dos folíolos totalmente expandidos, localizados em posições de maneira a não estarem sofrendo sombreamento.

### 3.5.6. Condições de demanda evaporativa da atmosfera

Para a caracterização da demanda evaporativa da atmosfera foram determinados o déficit de saturação de vapor d'água do ar e a radiação solar global.

O déficit de saturação de vapor d'água do ar foi determinado através dos valores de umidade relativa e temperatura do ar, registrados por um termohigrógrafo marca FUESS de registro semanal, com o auxílio da tabela que relaciona os valores de temperatura do ar e tensão máxima de vapor sobre a água em mmHg ( $e_s$ ) apresentada por OMETTO (1981).

A determinação da radiação solar global está descrita no item 3.5.2.

## 3.6. Determinações Fenológicas

### 3.6.1. Determinação dos estádios fenológicos

A caracterização dos estádios fenológicos foi feita através de vistoria diária. Os critérios foram os mesmos adotados por FEHR e CAVINESS (1977), para a cultura da soja.

### 3.6.2. Peso seco de plantas

Para a determinação do peso seco fez-se amostragem semanal de cinco plantas contidas em 0,5m de linha, com três repetições por tratamento, em locais próximos aos tensiômetros. Após coletadas, estas plantas eram lavadas em água corrente. Após o acondicionamento em sacos de papel, eram secadas em estufa de ventilação forçada, a uma temperatura de  $75 \pm 5^{\circ}\text{C}$  até atingirem peso constante.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Relativos ao ciclo de desenvolvimento das culturas

#### 4.1.1. Variação da água disponível do solo

A figura 2 mostra a variação da fração de água disponível no solo (FAD) nas três épocas de plantio considerando um perfil até a profundidade de 67,5cm para a variedade Aroana 80 na parcela que não sofreu interrupção do suprimento de água no solo (I) e para as duas variedades utilizadas nas parcelas que sofreram interrupção na irrigação (D).

Verifica-se pelos dados, que houve pelo menos cinco períodos distintos quanto aos valores de FAD durante o ciclo de desenvolvimento das culturas. No primeiro período, que ocorreu até o 50º, 35º e 20º dia após a emergência na primeira, segunda e terceira épocas de plantio, respectivamente, a fração de água disponível manteve-se com valores médios entre 0,48 e 0,60 e sem grandes oscilações nas duas últimas épocas, com valores inferiores no tratamento que não sofreria posteriormente a interrupção da irrigação, enquanto que na primeira época

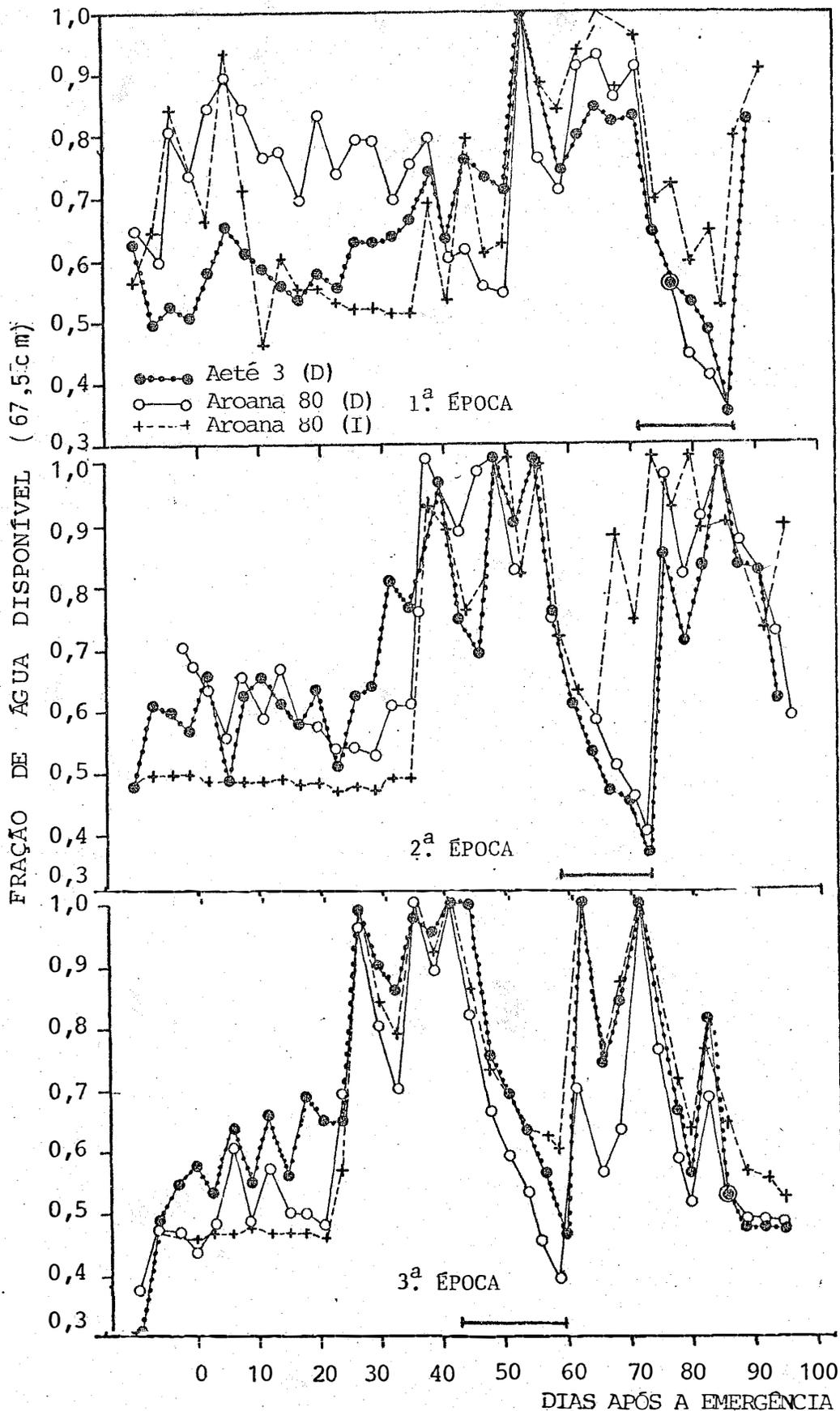


FIG. 2 - Fração da água disponível (F.A.D.) para as variedades AROANA 80 e AETÊ 3 nas três épocas de plantio durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. O intervalo (—) representa o período sem irrigação.

de plantio, os valores de FAD, além de se mostrarem em média maiores do que nas duas outras épocas, mostraram maiores oscilações, principalmente no tratamento Aroana 80 (I). Em todos os casos houve tendência de ocorrerem maiores valores de FAD no tratamento Aroana 80 (D), excluindo-se o tratamento Aetê 3 (D) na terceira época.

O segundo período é caracterizado pelos altos valores de FAD ocorrendo até o 70º, 55º e 40º dia após a emergência, na primeira, segunda e terceira épocas de plantio, respectivamente. Nesse período os valores oscilam entre 0,7 e 1,0 nos tratamentos que sofreriam interrupção da irrigação e 0,75 e 1,0 no Aroana 80 (I).

O terceiro período é representado pela interrupção do suprimento hídrico do solo, caracterizando-se pela diminuição dos valores de FAD de modo mais drástico nos tratamentos Aroana 80 (D) e Aetê 3 (D), nos quais os valores diminuíram até valores em torno de 0,35 nas duas épocas de plantio, enquanto na terceira época atingiram 0,39 para o Aroana 80 (D) e 0,46 para Aetê 3 (D). No Aroana 80 (I), os valores mínimos de FAD atingidos foram 0,52, 0,57 e 0,60 para a primeira, segunda e terceira épocas de plantio, respectivamente.

O quarto período, que se iniciou no 86º, 73º e 58º dia após a emergência na primeira, segunda e terceira épocas de plantio, respectivamente, caracteriza-se por um aumento nos valores de FAD em todos os tratamentos, atingindo valores médios acima de 0,80 nas duas primeiras épocas, enquanto que na última época de plantio foram atingidos valores acima de 0,74 nos tratamentos Aroana 80 (I) e Aetê 3 (D) e acima de 0,56 (mas com média acima de 0,70) no tratamento Aroana 80 (D).

A determinação posterior de FAD mostrou valores médios inferiores em relação ao período citado anteriormente nas duas épocas de plantio. Na segunda época, nos tratamentos que sofreram interrupção de irrigação a FAD diminuiu até próximo de 0,6 entre 94-96 dias após a emergência, quando o tratamento Aroana 80 (I) ainda sofreu um acréscimo. Na terceira época de plantio no 82º dia após a emergência a FAD, que mantinha uma tendência de diminuição após o 71º dia, se elevou e tornou novamente a diminuir até o final do ciclo nos três tratamentos, terminando com valor superior no Aroana 80 I.

#### 4.1.2. Duração dos estádios fenológicos e acúmulo de matéria seca

A figura 3 representa a caracterização do início e / ou final dos estádios fenológicos da cultura em função dos tratamentos aplicados.

Para a primeira época de plantio não ocorreram diferenças quanto à duração dos estádios e do ciclo todo, independente do tratamento aplicado.

Na segunda época de plantio as diferenças entre tratamentos aconteceram entre aquele que não sofreu a suspensão da irrigação e o que sofreu, isso para a variedade Aroana 80, sendo que na variedade Aetê 3 isto não aconteceu.

A terceira época comportou-se diferentemente da segunda época com respeito a influência do estresse hídrico na duração do ciclo da cultura; para a variedade Aroana 80 a duração do ciclo foi diferente

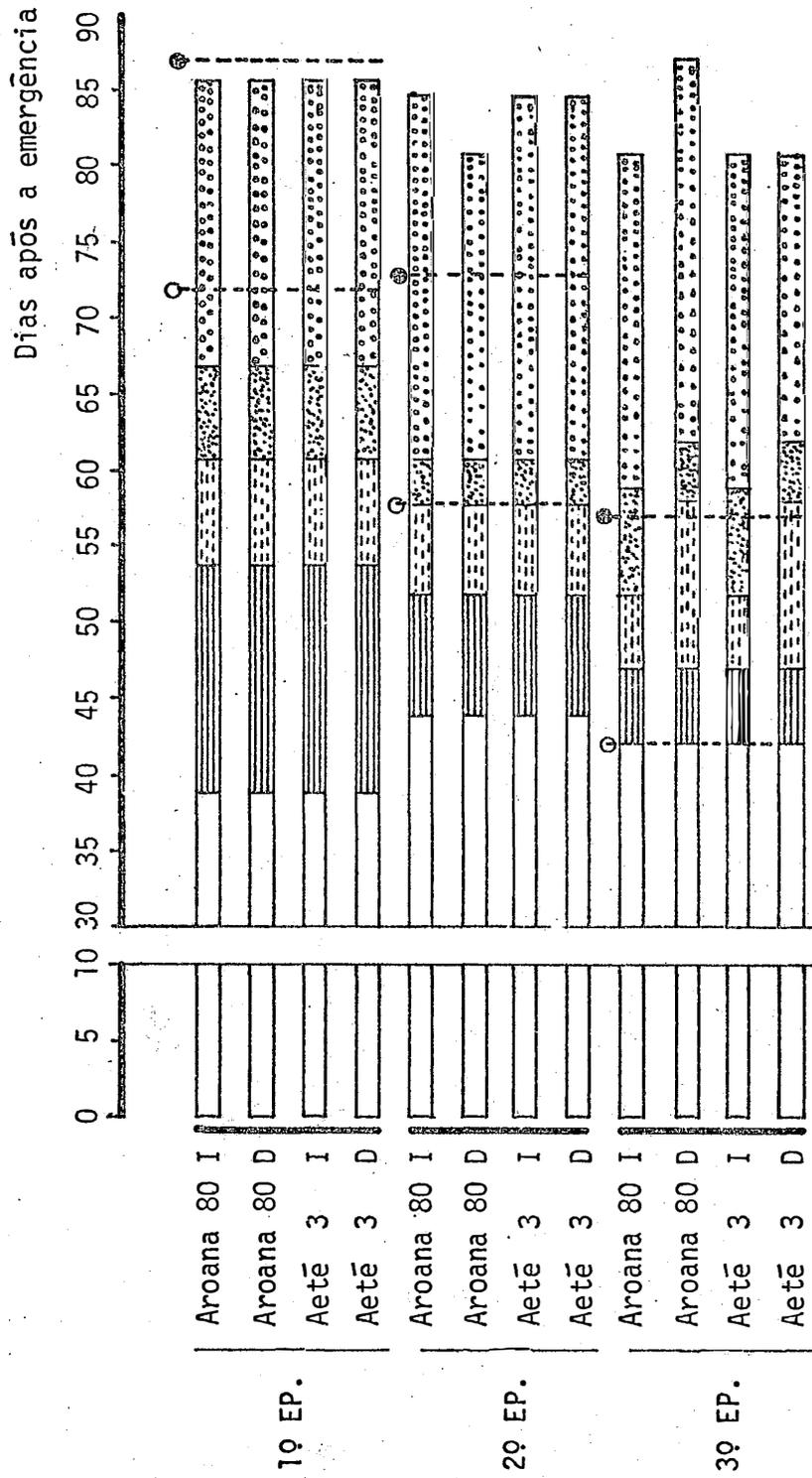


Figura 3. Caracterização dos estádios fenológicos das duas variedades utilizadas (Aroana 80 e Aetê 3) nas três épocas de plantio de acordo com o tempo após a emergência. (□) Emergência (VE) - início do aparecimento das gemas florais (IG); (▨) início das gemas florais - início do florescimento (R<sub>1</sub>); (▩) início do florescimento - início da formação de vagens (R<sub>3</sub>); (▧) início de formação de vagens - início de formação de grãos (R<sub>5</sub>); (▦) início de formação de grãos - maturação fisiológica (R<sub>7</sub>); (○) início do período de secamento; (⊖) início do período de secamento; (D) parcela submetida ao déficit hídrico, (I) parcela sem déficit hídrico.

enquanto que para a variedade Aetê 3 foi igual. Na segunda época na Aroana 80 o estresse hídrico provocou uma redução no ciclo da cultura em relação ao tratamento sem suspensão da irrigação; na terceira época, no tratamentos com suspensão da irrigação, o ciclo da cultura teve um acréscimo de duração em relação ao tratamento sem suspensão da irrigação na mesma época de plantio.

A redução do ciclo na variedade Aroana 80 na segunda época de plantio em consequência da aplicação do tratamento de estresse hídrico foi devido a uma redução no estágio compreendido entre o início de formação de grãos e a maturação fisiológica, estágio no qual suspendeu-se a irrigação na referida parcela. Já na mesma variedade, na terceira época de plantio o acréscimo da duração do ciclo da cultura em consequência da suspensão da irrigação, foi devido a um aumento no estágio compreendido entre o início de florescimento e início de formação de vagens e também no período compreendido entre o início de formação de grãos e a maturação fisiológica.

#### 4.1.3. Evapotranspiração

As figuras 4, 5 e 6 mostram a evapotranspiração acumulada para as três épocas de plantio da variedade Aroana 80 mantida sem deficiência hídrica (I) e com interrupção da irrigação (D), bem como da Aetê 3 com interrupção da irrigação. Na primeira época de plantio a evapotranspiração calculada pelo método de Penman (ETp) mostrou uma diferença relativamente ampla em relação à evapotranspiração calculada pelo método do balanço hídrico no campo (ETc) nos tratamentos até por volta do 65º

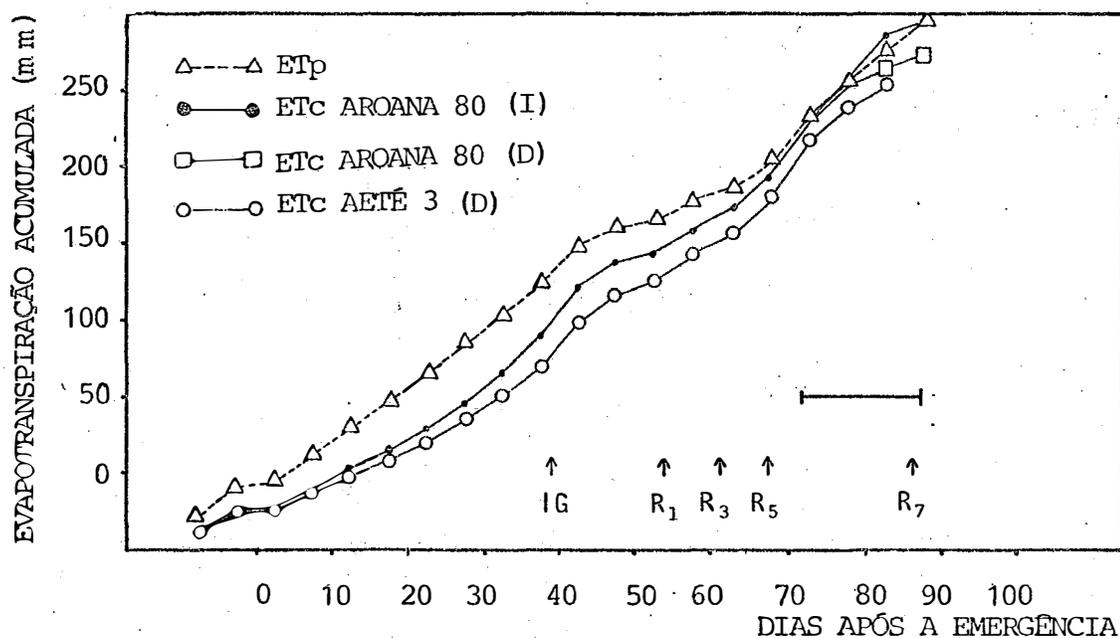


FIG. 4 - Evapotranspiração das culturas (ETc) e pelo método de Penman (ETp) nos diferentes tratamentos, na primeira época de plantio. As setas ( $\uparrow$ ) indicam o início de cada estágio da cultura, vide figura 3, e o intervalo (—) é o período de suspensão da irrigação.

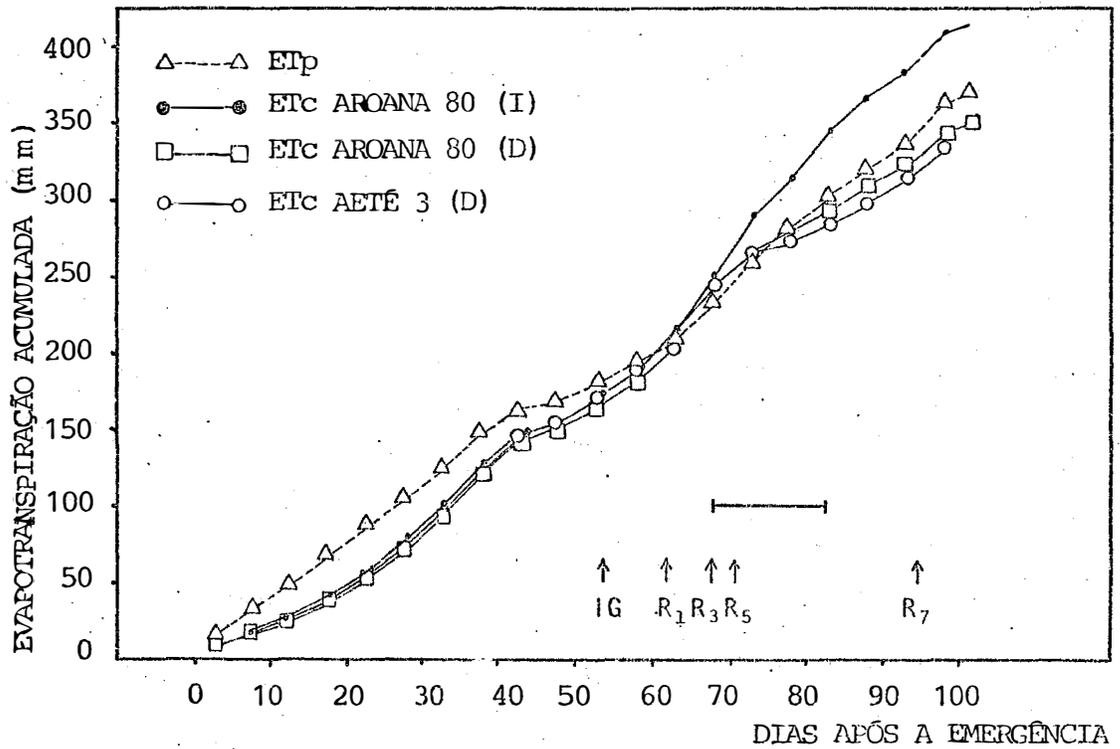


FIG. 5 - Evapotranspiração das culturas (ETc) e pelo método de Penman (ETp) nos diferentes tratamentos, na segunda época de plantio. As setas ( $\uparrow$ ) indicam o início de cada estágio da cultura, vide figura 3, e o intervalo ( ——— ) é o período de suspensão da irrigação.

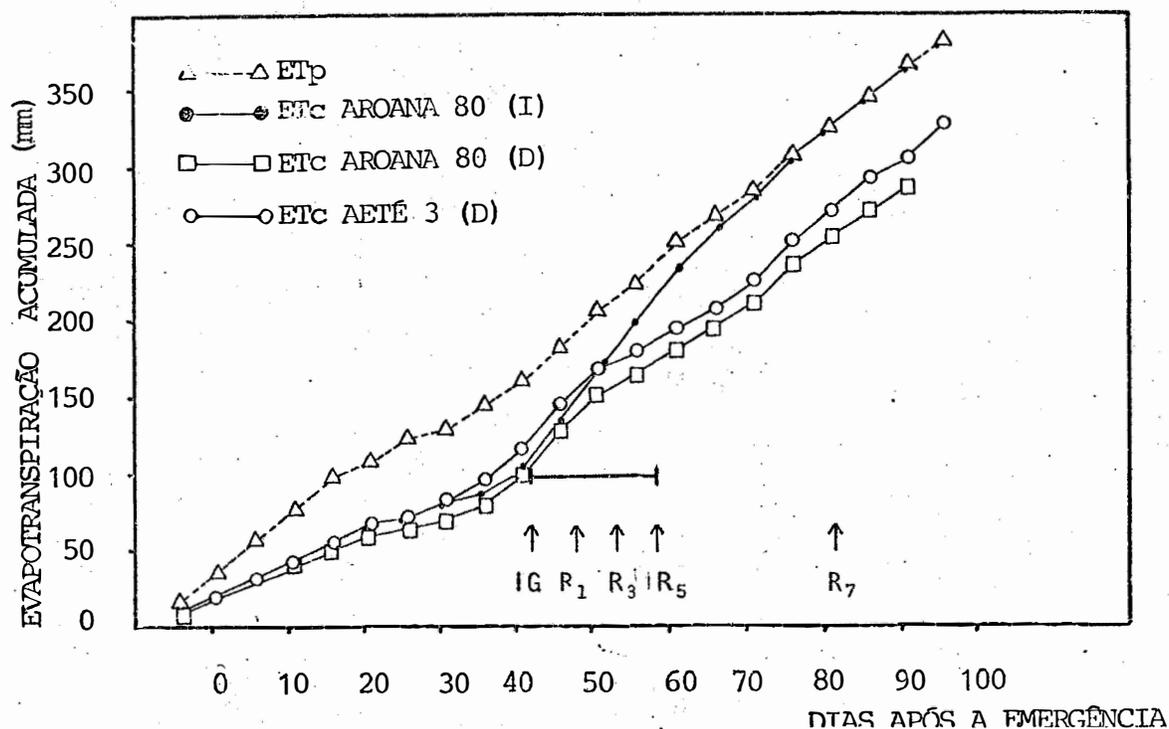


FIG. 6 - Evapotranspiração das culturas (ETc) e pelo método de Penman (ETp) nos diferentes tratamentos, na terceira época de plantio. As setas (↑) indicam o início de cada estágio da cultura, vide figura 3, e o intervalo (—) e o período de suspensão da irrigação.

dia após a emergência. Essa aproximação com a ETp foi maior na variedade Aroana 80 que na variedade Aetê 3. A partir do 70º dia o tratamento Aroana 80 (I) mostrou valores acumulados de ETC maiores do que os da ETp, enquanto que os demais tratamentos, sofrendo a influência do secamento do solo, mostraram uma taxa de perda de água inferior à da ETp. Nota-se, para os dois tratamentos Aroana 80 (D) e Aetê 3 (D), ainda na primeira época, uma diminuição da taxa de perda de água entre o 40º e o 60º dia após a emergência, sendo neste período onde ocorreu a menor taxa de perda de água. A maior taxa de perda ocorreu para todos os tratamentos entre o 30º e o 40º e posteriormente entre o 65º e o 75º dia após a emergência.

Na segunda época de plantio as diferenças entre a ETC de todos os tratamentos foram bem menores do que as ocorridas na primeira época até o 40º dia, a partir do qual a diferença foi progressivamente diminuída até o 57º dia quando os valores de evapotranspiração acumulada tornaram-se aproximadamente iguais. Após essa igualdade os tratamentos responderam às diferenças de água disponível no solo, sendo que a variedade Aroana 80 (I) teve um grande acréscimo nos valores de ETC acumulada, os quais ultrapassaram bastante os valores de ETp acumulada. Os tratamentos Aroana 80 e Aetê 3 com deficiência voltaram a ter valores acumulados de ETC menores que os de ETp, sendo que a variedade Aroana 80 mostrou valores mais altos de ETC acumulada. A diferença nos valores de ETC acumulada entre as variedades com o tratamento de imposição do déficit hídrico foi quase que nula até o fornecimento de água ao solo ser interrompido, a partir do que ocorreu uma pequena diferença da perda de água entre as variedades estudadas, sendo maior para a variedade Aroana 80

que para a Aetē 3. A maior taxa de perda de água ocorreu entre o 60º e 70º dia e a menor entre o 42º e o 53º dia após a emergência.

Para a terceira época de plantio, nos estágios iniciais de desenvolvimento da cultura ocorreu a maior diferença entre ETp e ETc acumulada e em nenhum tratamento nesta época de plantio a ETc superou os valores da ETp. A diminuição desta diferença ocorreu somente no tratamento Aroana 80 (I) a partir do 50º dia após a emergência, sendo que para os demais tratamentos ela permaneceu quase constante com um ligeiro aumento desta mesma diferença para ambas as variedades. A partir do 75º dia após a emergência, os valores acumulados de ETc e ETp igualaram-se e assim prosseguiram até a maturação fisiológica. Para os tratamentos com deficiência hídrica a diferença entre os valores acumulados de ETc nas variedades Aroana 80 e Aetē 3, com valores superiores na primeira, foi iniciada nos primeiros dias após a emergência, permanecendo aproximadamente constante a partir do 30º dia após a emergência até a maturação fisiológica. A maior taxa de acréscimo da ETc ocorreu entre o 40º e o 50º dia após a emergência e a menor taxa de aumento entre o 20º e o 35º dia.

A Tabela 1 mostra os valores da evapotranspiração acumulada em cada estágio da cultura como também a evapotranspiração acumulada desde a emergência até o início e ou final do estágio em questão. Os valores máximos de ETc acumulada em cada estágio foram atingidos a partir da emergência até o início da formação de gemas florais, excluindo-se o tratamento sem deficiência hídrica na segunda época de plantio para a variedade Aroana 80 na qual a evapotranspiração acumulada no estágio do início



de formação de grãos à maturação fisiológica foi de 203,2mm contra 170,4mm do estágio anterior considerado. Os valores mínimos de ETC acumulada ocorreram dentro do estágio compreendido entre o início de florescimento ao início de formação de vagens e do início de formação de vagens ao início de formação de grãos. A evapotranspiração acumulada no ciclo mostrou valores máximos para a variedade Aroana 80 (I) sendo que estes valores foram máximos (467,2mm), intermediários (345,9mm) e menores (341,7mm) para a segunda, terceira e primeira épocas de plantio, respectivamente. Com relação aos valores máximos, atingidos nos tratamentos com déficit hídrico os valores acumulados no ciclo foram de 373,6mm, 347,0mm e 347,0mm para a variedade Aroana 80 (I) na segunda e primeira épocas e Aetê 3 (D) na primeira época, respectivamente. Os valores mínimos atingidos nos tratamentos com déficit hídrico foram de 286,9mm e 291,3mm e 305,1mm para o Aroana 80 (D) e Aetê 3 (D) na terceira época e no Aetê 3 na primeira época, respectivamente.

A figura 7 mostra o acúmulo de matéria seca total por unidade de área de terreno ao longo do ciclo da cultura para as variedades Aroana 80 e Aetê 3. Na variedade Aetê 3 não houve diferenças acentuadas entre os valores de matéria seca acumulada até a última amostragem (anterior à maturação fisiológica completa) nas três épocas de plantio, nos tratamentos que não sofreram interrupção do suprimento hídrico do solo. Os valores totais nesse caso foram de 280g de matéria seca.m<sup>-2</sup> de terreno, 266g de matéria seca.m<sup>-2</sup> de terreno e 270g de matéria seca.m<sup>-2</sup> de terreno, para a primeira, segunda e terceira épocas, respectivamente.

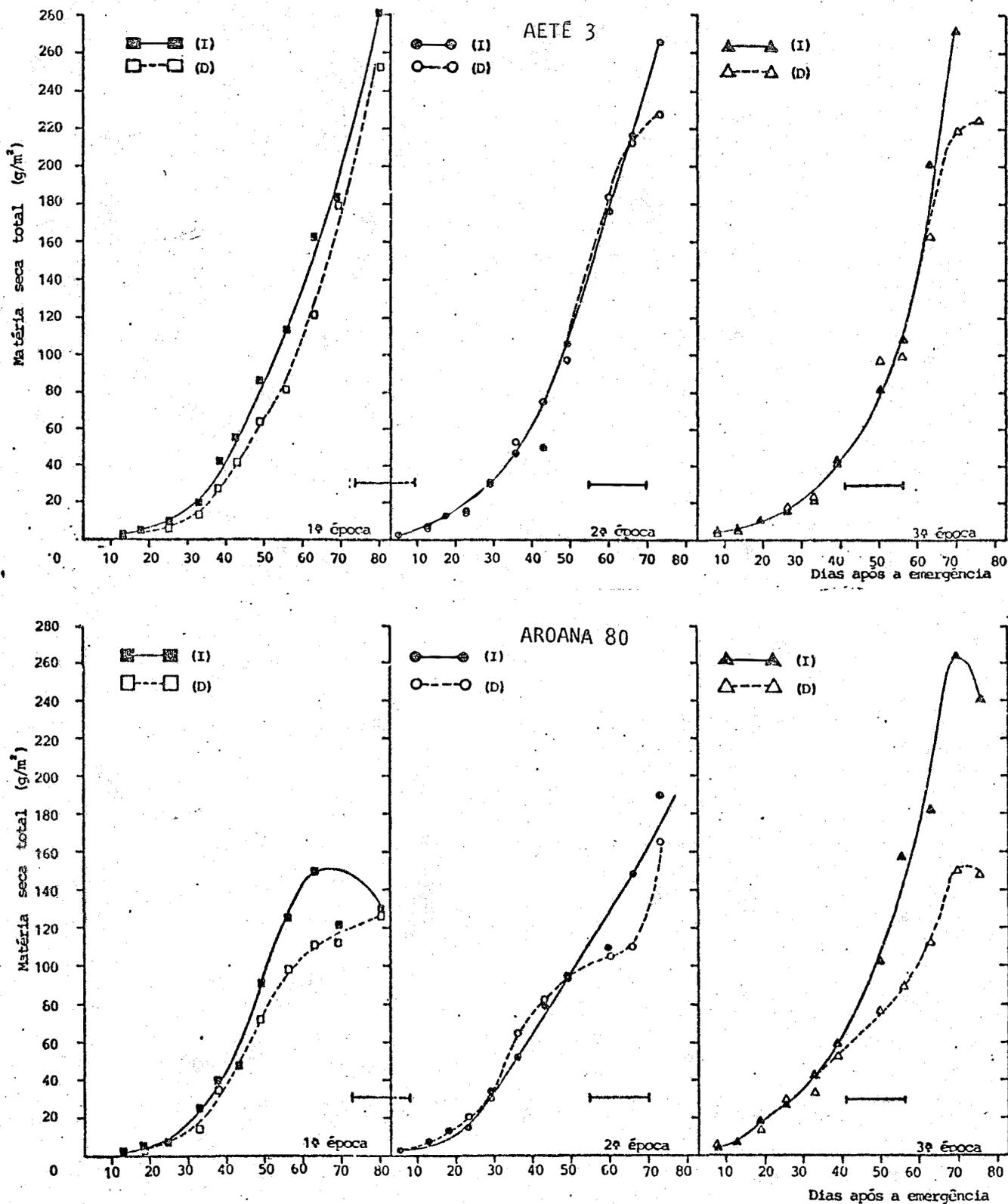


FIG. 7 - Curvas representativas do acúmulo de matéria seca para as variedades AETÉ 3 e AROANA 80 nas três épocas de plantio, com (D) e sem período de restrição hídrica (I) no solo. O intervalo ( ——— ) indica o período de suspensão da irrigação nos tratamentos de irrigação (D).

Entretanto, houve diferença na resposta dos tratamentos no que se refere às taxas de acúmulo de matéria seca nos diferentes períodos dentro do ciclo de desenvolvimento. Observou-se que até o 40º dia após a emergência não houve diferença significativa entre a primeira e terceira épocas de plantio, sendo que a segunda época apresentou um acúmulo maior até este dia. Considerando como uma boa aproximação que as taxas de variação de produção de matéria seca foram constantes em intervalos de dez dias entre o 40º e o 70º dia após a emergência, é possível verificar que entre o 40º e o 50º dia, as culturas apresentaram valores muito próximos para a primeira e segunda épocas de plantio (4,2 e 4,0g de matéria seca  $m^{-2}.dia^{-1}$ , respectivamente) e um valor menor na terceira época (3,2g de matéria seca  $m^{-2}.dia^{-1}$ ), entre o 50º e o 60º dia, os valores foram de 4,2, 6,4 e 5,8g de matéria seca  $m^{-2}.dia^{-1}$ , respectivamente para a primeira, segunda e terceira época, valores estes que passaram a ser de 6,4, 6,4 e 12,3g de matéria seca  $m^{-2}.dia^{-1}$  para as mesmas respectivas épocas no período entre 60 e 79 dias após a emergência.

Para os tratamentos que sofreram um período de interrupção da irrigação o total de matéria seca acumulada foi semelhante para a segunda e terceira épocas, com a primeira época apresentando um valor de 254g de matéria seca  $m^{-2}$  terreno e 225g de matéria seca  $m^{-2}$  para as duas épocas restantes. O comportamento do tratamento que sofreu estresse hídrico foi semelhante ao do tratamento irrigado até o início do estabelecimento do período de secamento, com exceção da primeira época na qual o tratamento com estresse hídrico apresentou, durante todo o ciclo, valores menores de matéria seca acumulada em relação ao tratamento sem interrupção da irrigação; no entanto os valores de matéria seca

acumulada neste tratamento e nesta época coincidiram na maior parte do ciclo com os valores da terceira época de plantio. A deficiência hídrica afetou a produção de matéria seca mais intensamente na segunda e terceira épocas de plantio, sendo que o efeito da mesma na primeira época não ficou muito caracterizado.

Para a variedade Aroana 80 ocorreram diferenças significativas entre épocas de plantio para o tratamento irrigado, sendo que o acúmulo de matéria seca total foi menor, intermediário e maior para a primeira, segunda e terceira época, respectivamente, com valores de 152g matéria seca  $m^{-2}$  terreno, 190g matéria seca  $m^{-2}$  terreno e 262g matéria seca  $m^{-2}$  terreno, respectivamente. A primeira época apresentou seu valor máximo de matéria seca aos 67 dias após a emergência, enquanto que a segunda e terceira época aos 74 e 70 dias após a emergência, respectivamente, ressaltando-se que para a segunda época a queda da matéria seca total no final do ciclo, provocada pela senescência, não foi caracterizada pela falta de amostragem no final do ciclo.

Até o 30º dia após a emergência a segunda e terceira época tiveram comportamento e valores de acúmulo de matéria seca semelhantes, apresentando a primeira época durante todo este período valores menores em relação às duas épocas. A partir deste dia, os valores de acúmulo de matéria seca da 1ª época tenderam a aproximar-se dos valores da terceira época até o dia 55º após a emergência, quando então voltaram a divergir da terceira época, em função do processo de senescência. A segunda época a partir do 30º dia após a emergência adquiriu valores mais baixos de acúmulo de matéria seca em relação às duas outras épocas,

passando a diferenciar-se das demais, apesar de ter uma ligeira diminuição no acúmulo de matéria seca neste período, ela foi mantida por um tempo maior em relação à primeira época, fazendo com que seus valores de matéria seca acumulada ultrapassassem os da primeira e mantivessem uma diferença quase constante em relação à terceira época até o 72º dia.

Considerando-se a aproximação de que os teores de acúmulo de matéria seca em cada época foram constantes a intervalos de dez dias a partir do 40º dia após a emergência, obteve-se os valores de 5,6, 3,0 e 4,2 g. matéria seca  $m^{-2}$  de terreno.  $dia^{-1}$ , respectivamente para a primeira, segunda e terceira épocas de plantio entre o 40º e 50º dias; e 4,6, 3,2 e 6,0 g.matéria seca  $m^{-2}$  de terreno.  $dia^{-1}$  entre o 50º e 60º dia, mantida a sequência anterior de épocas, 3,6 e 10 g.matéria seca  $m^{-2}$  de terreno.  $dia^{-1}$  respectivamente para a segunda e terceira épocas entre o 60º e o 70º dia. Até cerca de 75 dias após a emergência, a segunda época continuou a apresentar ganho de peso seco quando as demais já apresentavam diminuição devido a senescência.

Com relação ao tratamento que sofreu o estresse hídrico nesta mesma variedade, os valores máximos de matéria seca acumulada foram de 127 g.matéria seca.  $m^{-2}$  de terreno, 165 g.matéria seca.  $m^{-2}$  de terreno e 152 g.matéria seca.  $m^{-2}$  de terreno para a primeira, segunda e terceira épocas de plantio, respectivamente. Neste tratamento notou-se claramente a influência do período de secamento para a segunda e terceira épocas de plantio, sendo maior para a terceira época em relação à segunda. Já na primeira época esta influência foi até certo grau confundida com uma diferença que ocorreu desde o início do ciclo entre os

tratamentos com e sem retirada da irrigação. Na segunda época de plantio houve recuperação de maneira mais intensa do período de estresse do que a terceira época, na qual a influência do período de secamento não causou uma variação tão brusca como na época anterior. Com relação à data de máxima matéria seca acumulada não se pode caracterizar com segurança a influência do período de secamento, já que a última amostragem na primeira e segunda épocas não demonstrou o decréscimo de matéria seca acumulada decorrente da senescência.

Comparando as variedades Aroana 80 e Aetê 3 no tratamento irrigado verificou-se que enquanto a variedade Aetê 3 não respondeu de modo significativo à época de plantio, produzindo na média das três épocas em torno de 270 g de matéria seca.m<sup>-2</sup> de terreno, a variedade Aroana 80 respondeu ao tratamento de épocas e produziu 152 g de matéria seca m<sup>-2</sup> de terreno, 190 g de matéria seca.m<sup>-2</sup> de terreno e 262 g matéria seca.m<sup>-2</sup> de terreno na primeira, segunda e terceira épocas de plantio, respectivamente. Para os tratamentos com interrupção da irrigação o comportamento foi semelhante ao anterior, modificando porém os valores máximos, os quais para a variedade Aetê 3 foram em torno de 220 g de matéria seca.m<sup>-2</sup> de terreno para a primeira e segunda épocas e 252 g de matéria seca.m<sup>-2</sup> de terreno para a terceira época; para a variedade Aroana 80 foram de 127; 165 e 152g de matéria seca.m<sup>-2</sup> de terreno para a primeira, segunda e terceira épocas de plantio, respectivamente.

## 4.2. Relativos ao Período de Diferenciação dos Tratamentos de Água no Solo

### 4.2.1. Valores médios diários dos parâmetros medidos na planta e na atmosfera

Na tabela 2 e figura 8, são apresentados os valores médios diários dos diversos parâmetros utilizados para caracterizar as respostas das variedades durante o ciclo de secamento, os valores de déficit de saturação de vapor d'água do ar, temperatura do ar e radiação global. A variação máxima destes três parâmetros em torno da média do período estudado ocorreu para os dias 02, 03 e 11/10 com valores mínimos e para os dias 08, 09 e 10/10 com valores máximos. Nos demais dias, os valores dos parâmetros utilizados para a caracterização das condições do local apresentaram pequena variação, principalmente no que se refere ao déficit de saturação de vapor de água e à temperatura do ar.

O potencial total da água na folha para a variedade "Aroa na 80" apresentou seus menores valores nos dias 09 e 10/10 e seus maiores valores para os dias 02/10 e 11/10. Excluindo-se a 3ª época para o dia 11/10, esses valores extremos coincidiram com os extremos dos valores médios de temperatura, déficit de saturação de vapor de água da atmosfera e radiação global. Com relação aos valores de potencial de água na folha, notou-se que os mesmos mostraram tendência de serem ligeiramente mais negativos para a 3ª época de plantio.

Para ambas as épocas os potenciais totais de água na folha permaneceram em termos médios, sem variações bruscas até próximo ao dia

Tabela 1: Evapotranspiração estimada pelo método do balanço hídrico no campo, para cada estágio fenológico do feijoeiro, nas três épocas de plantio, nos tratamentos sem interrupção (I) e com interrupção (D) da irrigação

Estádios Fenológicos	EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO (ETC)													
	1a. ÉPOCA				2a. ÉPOCA				3a. ÉPOCA				MÉDIA	
	ARONVA		AETÉ		ARONVA		AETÉ		ARONVA		AETÉ			
	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D		
Emergência - Gemas Florais	143,3	143,3	--	121,2	170,4	164,4	--	170,6	135,7	126,8	--	146,0	146,9	146,9
Gemas Florais - Início Florescimento	52,5	52,5	--	55,8	31,4	29,9	--	31,0	35,2	26,4	--	18,9	41,2	22,7
Emergência - Início Florescimento	195,8	195,8	--	177,0	201,8	194,3	--	201,6	170,9	153,2	--	164,9	191,0	159,1
Início Florescimento - Início Formação Legumes	21,9	21,9	--	23,4	24,3	22,6	--	22,7	27,8	31,0	--	34,3	23,5	32,7
Emergência - Início Formação Legumes	217,7	217,7	--	200,4	226,1	216,9	--	224,3	198,7	184,2	--	199,2	214,5	191,7
Início de Formação de Legumes - Início de Formação de Grãos	21,0	20,9	--	21,9	37,9*	32,3	--	28,3	42,0	12,1	--	11,0	28,7	20,9
Emergência - Início Formação de Grãos	238,7	238,6	--	222,3	264,0	249,2	--	252,6	240,7	196,3	--	210,2	240,9	227,1
Início Formação de Grãos - Maturação Fisiológica	103,0	82,2*	--	82,8	203,2	66,3	--	54,5	105,2	90,6	--	81,1	137,1	76,3
Emergência - Maturação Fisiológica	341,7	320,8	--	305,1	467,2	315,5	--	307,1	345,9	286,9	--	291,3	384,9	304,5

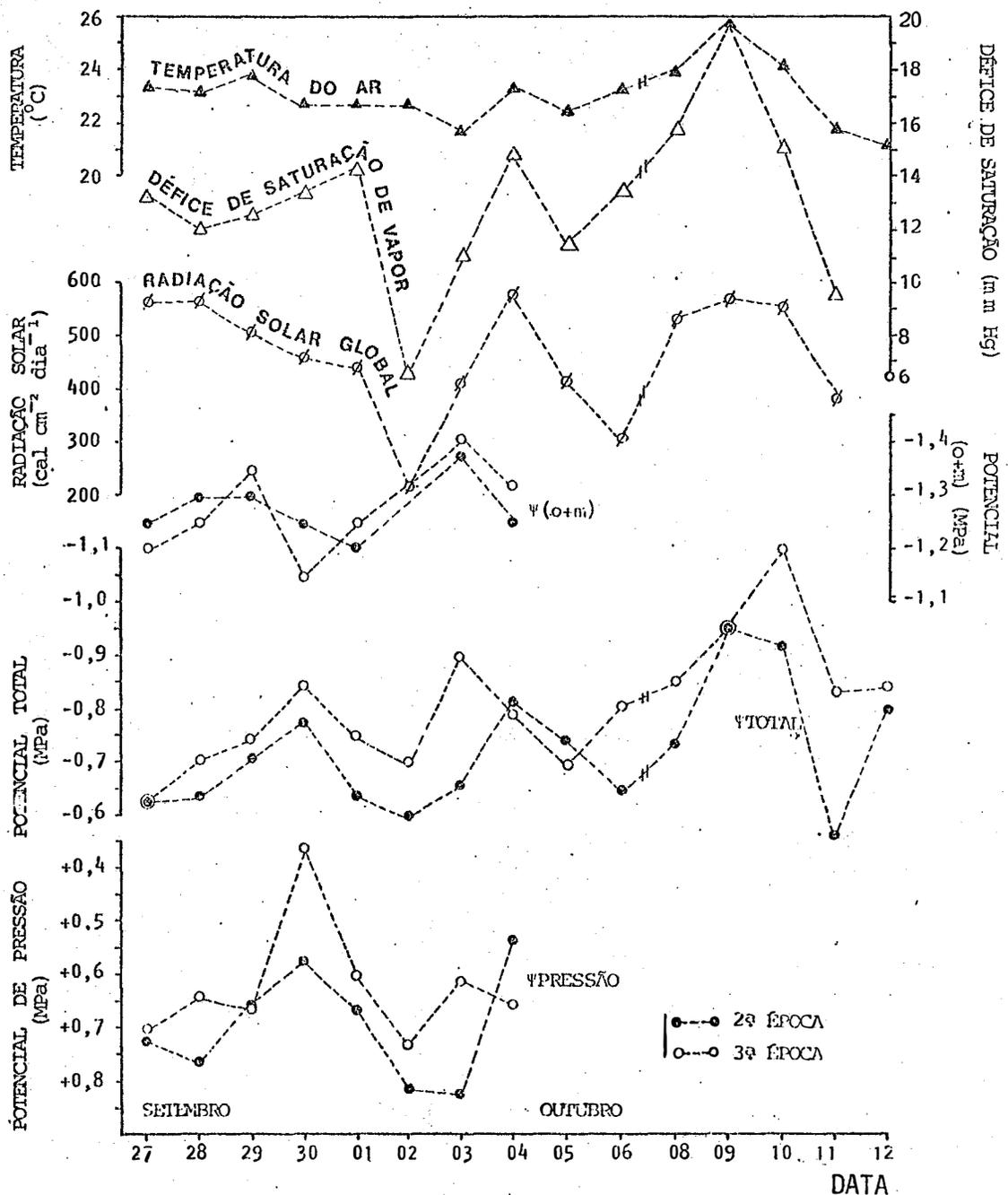


FIG.8. Variação dos valores médios diários no fotoperíodo, durante o período de secamento do solo do déficit de saturação de água e da temperatura do ar, da radiação solar global, do potencial total, da soma do potencial osmótico e matricial e do potencial da água na folha na variedade Aroana 80 nas duas épocas de plantio

08/10, sendo que a partir deste dia a variação foi mais acentuada.

Nas colunas 7 e 8 na figura 9 estão dispostos os valores médios diários da resistência estomática à difusão de vapor para as duas variedades e duas épocas de plantio. Os valores da resistência estomática à difusão de vapor durante todo o período foram maiores na face adaxial do que na face abaxial, em ambas as variedades e ambas as épocas de plantio. E a diferença entre as faces apresentaram-se, na maioria dos casos, maiores para a variedade Aroana 80 nas duas épocas de plantio. Com relação às épocas, a resistência estomática à difusão de vapor de água na face adaxial da terceira época foi sempre superior à da segunda época em ambas as variedades, e na variedade "Aroana 80" esta diferença se apresentou, em média, ligeiramente inferior à da variedade "Aetê 3". Comparando os valores da resistência estomática à difusão de vapor de água, ocorreu sempre uma superioridade da variedade "Aroana 80" em relação a Aetê 3, sendo mais pronunciada em relação à face superior da segunda época de plantio. Considerando ambas as faces das folhas, os valores da resistência foram maiores na terceira época. No decorrer do período de secamento a diferença das resistências estomáticas entre as faces das folhas variou aleatoriamente independente do tempo após o início do período de secamento, variedade ou época de plantio, e esta variação foi devida principalmente a uma maior variação da resistência estomática da face superior da folha.

Os valores máximos de resistência ocorreram para o dia 03/10 onde a temperatura média caracterizou-se como mínima dentro do período.

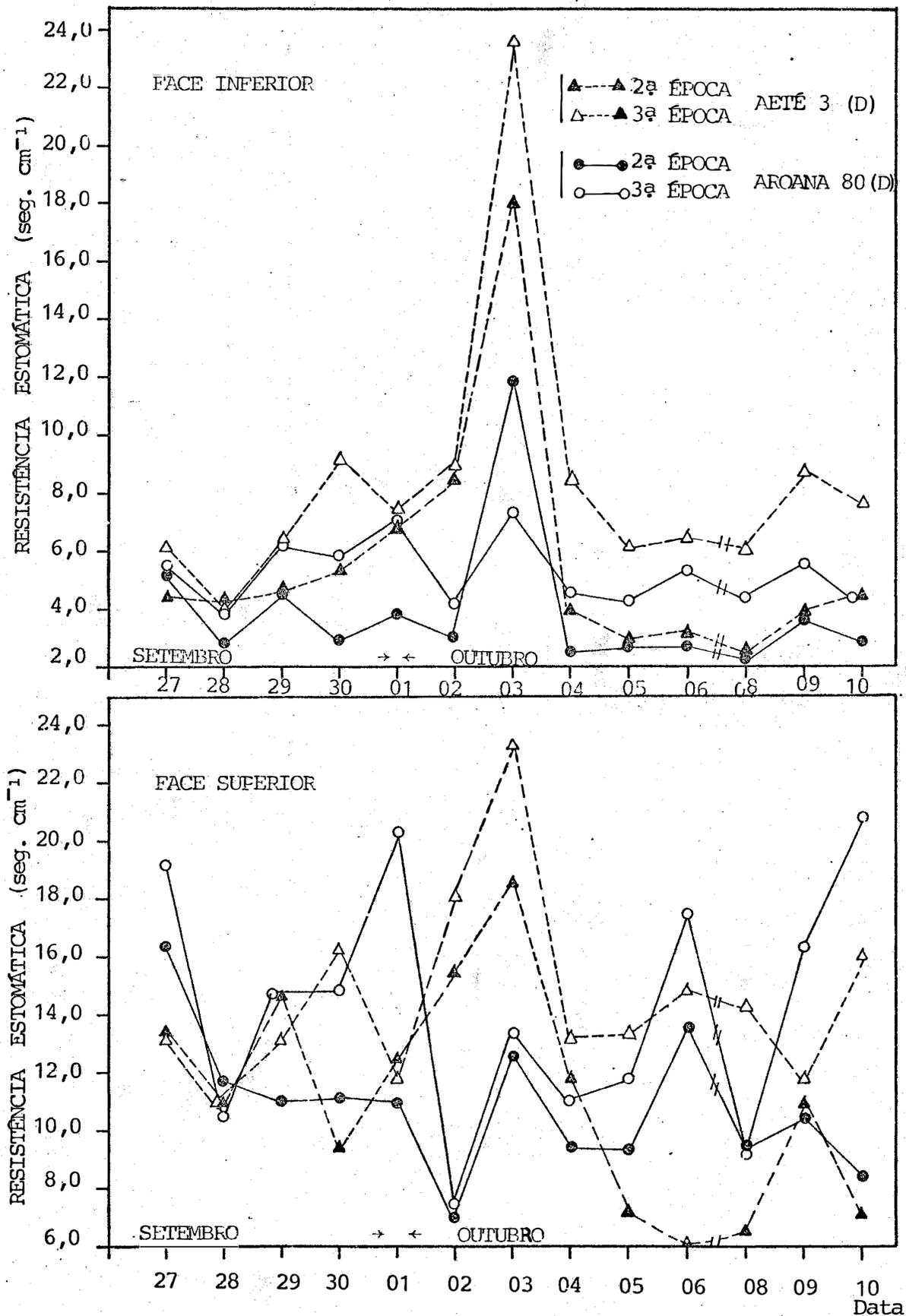


FIG. 9 - Variação da resistência estomática média à difusão de vapor de água entre 10:00 e 15:00 horas durante o período de interrupção de irrigação para as duas variedades (AROANA 80 e AETÉ 3) e duas épocas de plantio.

A tabela 2 e a figura 10 trazem a variação dos valores médios diários da densidade do fluxo transpiratório nas faces abaxial e adaxial para a segunda e terceira épocas de plantio nas variedades "Aroana 80" e "Aetê 3" durante o período de secamento. Os valores de taxa transpiratórias para a face abaxial da folha foram sempre inferiores na variedade "Aetê 3" e ligeiramente mais pronunciados na segunda época de plantio em ambas as variedades. Na superfície adaxial a taxa transpiratória foi superior na variedade "Aroana 80", sendo aproximadamente iguais para a segunda e terceira épocas. Em termos médios, as duas variedades apresentaram maiores diferenças entre as duas faces da folha na segunda época de plantio, e em valor absoluto essas diferenças foram quase duas vezes maiores na "Aroana 80" em relação ao A ao Aetê 3.

Na tabela 3 são apresentados os valores dos componentes do potencial da água para as variedades "Aroana 80" e "Aetê 3" nas duas épocas de plantio no período de 27/09 a 04/10 e no dia 11/10, sendo que o potencial de pressão é apresentado somente para a variedade Aroana 80. Tais valores são representados na figura 11.

Com relação aos valores da soma de potenciais osmótico e matricial, notou-se que na variedade "Aroana 80" ocorreu somente um leve acréscimo em termos médios, no decorrer do período estudado, enquanto que na variedade Aetê 3, houve um significativo acréscimo, iniciando o período com uma diferença da variedade Aroana 80 acima de  $-0,3$  MPa passando no final a uma diferença de aproximadamente  $-0,1$  MPa ou menos. Com respeito ao tratamento de épocas não se notaram diferenças significativas, havendo alguma alternância de tendência entre elas no período. Com

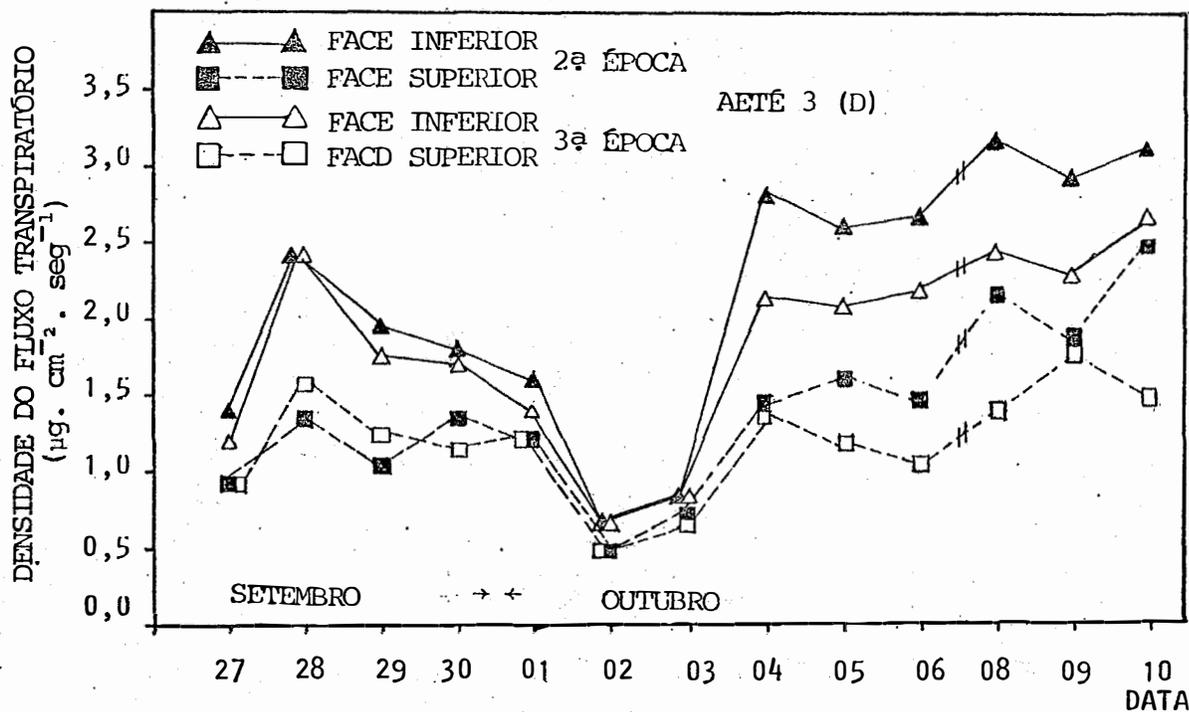
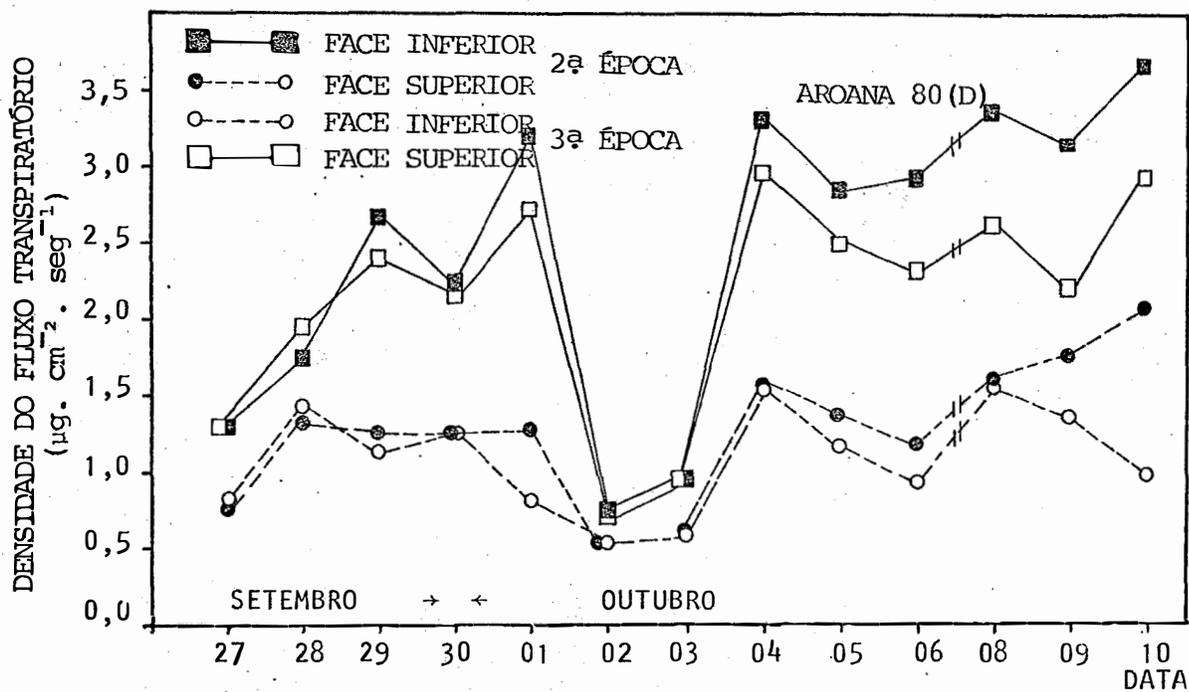


FIG. 10 - Variação da densidade de fluxo transpiratório (média horária entre 10:00 às 15:00 horas) durante o período de interrupção da irrigação as duas variedades (A ROANA 80 e AETÉ 3) e duas épocas de plantio.

respeito aos valores do potencial de pressão, verificou-se uma variação acentuada no decorrer do período, independente da época de plantio; em termos médios os valores foram maiores para a segunda época em relação à terceira época de plantio.

Os valores da tabela 3 e figura 11 mostram uma diferença de aproximadamente -0,1 MPa nos valores de potencial osmótico ( $\psi_0$ ) entre as variedades, a qual é mantida quase constante, sendo que  $\psi_0$  foi maior para a variedade "Aetê 3". Esta mesma variedade apresentou uma variabilidade bem ampla nos quatro primeiros dias, mantendo-se menos variável nos dias restantes; no mesmo período em que houve a maior variabilidade ocorreu também a maior diferença entre épocas com a terceira época apresentando valores mais negativos. Para a variedade Aroana 80 ocorreu também esta mesma variação no início do período, mas a diferença entre épocas restringiu-se aos primeiros dois dias e com menor intensidade que na variedade Aetê 3.

Nas duas últimas colunas da tabela 3 são apresentados os valores do potencial matricial para a segunda e terceira época de plantio da variedade "Aroana 80", determinados algebricamente pela equação 8. Estes valores não mostram nenhuma tendência no período, nem quanto a uma superioridade de uma época sobre a outra, nem quanto a um decréscimo ou acréscimo dos valores com a sequência de dias. A maior variação foi encontrada no dia 03/10 onde o  $\psi_m$  atingiu os valores máximos de -0,30 e -0,34 MPa para a segunda e terceira épocas de plantio, respectivamente.

Tabela 3. Valores médios dos potenciais osmótico + matricial ( $\psi_{(o+m)}$ ), de pressão ( $\psi_p$ ) e matricial ( $\psi_m$ ) da água na folha (das 06:30 às 17:30 horas) e do potencial osmótico (das 06:30 às 18:30 horas) para as duas variedades e duas épocas de plantio, durante parte do período de interrupção da irrigação

Data	$\psi_{(o+m)}$ (MPa)						$\psi_p$ (MPa)						$\psi_o$ (MPa)						$\psi_m$ (MPa)					
	Aroana 80		Aetê 3		Aroana 80		Aroana 80		Aetê 3		Aroana 80		Aroana 80		Aetê 3		Aroana 80		Aroana 80		Aetê 3		Aroana 80	
	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª		
27/09	-1,25	-1,21	-	-	+0,62	+0,60	-1,15	-1,12	-1,17	-1,11	-0,10	-0,09	-1,30	-1,25	-0,97	-0,90	+0,66	+0,54	-1,10	-1,01	-0,81	-0,94	-0,20	-0,24
28	-1,30	-1,35	-	-	+0,55	+0,56	-1,12	-1,12	-0,97	-1,01	-0,18	-0,23	-1,30	-1,25	-	-	+0,47	+0,26	-1,02	-1,02	-0,81	-0,93	-0,23	-0,13
29	-1,25	-1,15	-0,90	-0,93	+0,56	+0,50	-1,12	-1,13	-0,99	-1,03	-0,09	-0,12	-1,25	-1,25	-1,22	-1,15	+0,56	+0,50	-1,12	-1,13	-0,99	-1,03	-0,09	-0,12
01/10	-1,30	-1,33	-	-	+0,71	+0,63	-1,08	-1,10	-0,90	-0,94	-0,22	-0,23	-1,30	-1,33	-	-	+0,72	+0,51	-1,08	-1,10	-0,90	-0,94	-0,22	-0,23
02	-1,38	-1,41	-	-	+0,43	+0,55	-	-	-	-	-	-	-1,38	-1,41	-	-	+0,72	+0,51	-1,08	-1,07	-0,94	-0,94	-0,30	-0,34
03	-1,25	-1,32	-1,13	-1,22	+0,43	+0,55	-	-	-	-	-	-	-1,25	-1,32	-1,13	-1,22	+0,43	+0,55	-	-	-	-	-	-
11/10	-1,43	-1,42	-1,31	-1,26	+0,86	+0,59	-	-	-	-	-	-	-1,43	-1,42	-1,31	-1,26	+0,86	+0,59	-	-	-	-	-	-
Média	-1,30	-1,30	-1,11	-1,09	+0,62	+0,53	-1,10	-1,08	-0,34	-1,00	-0,20	-0,22	-1,30	-1,30	-1,11	-1,09	+0,62	+0,53	-1,10	-1,08	-0,34	-1,00	-0,20	-0,22

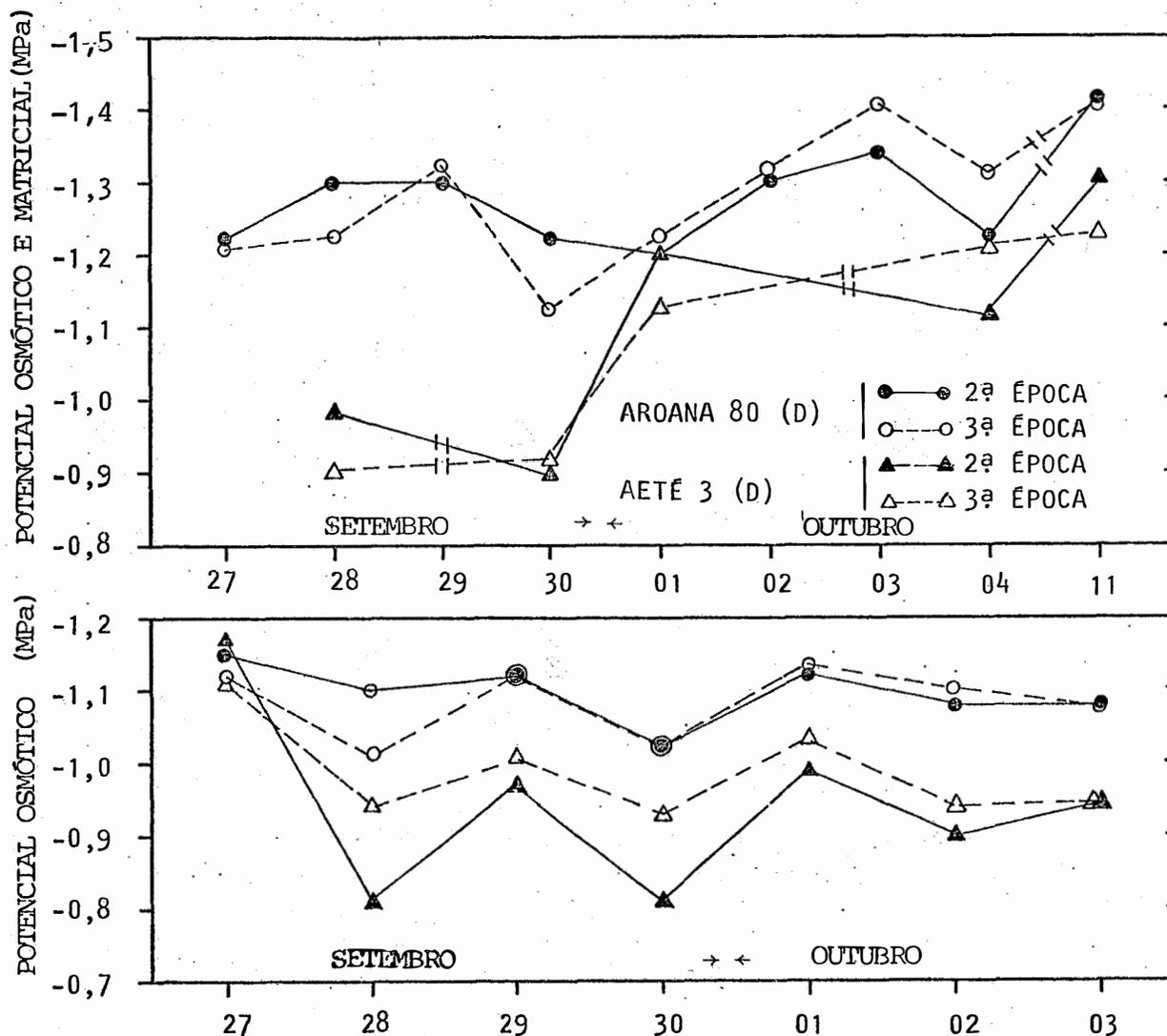


FIG. 11 : Variação dos valores médios horários da soma dos potenciais Osmótico Matricial no período compreendido entre 6:30 as 17:30 horas (a) e do potencial osmótico entre 7:00 às 18:00 horas (b) durante parte do período de secamento para as duas variedades (AROANA 80 e AETÉ 3) e duas épocas de plantio.

#### 4.2.2. Variação durante o dia dos parâmetros medidos

As figuras 12 e 13 mostram a variação, durante o período diurno e no início do período noturno, do potencial total da água na folha, da taxa de transpiração e da resistência estomática à difusão de vapor de água na variedade Aroana 80, bem como do déficit de saturação de vapor d'água do ar e da radiação solar global. Devido ao grande número de dados apresentados, foram selecionados vários dias durante o período de secamento, representativos das variações médias e extremas do período, de modo que a não apresentação dos dados dos demais dias não altera substancialmente os resultados e a futura discussão.

O potencial de água na folha mostrou um padrão de variação característico em todos estes dias começando com valores máximos em torno das 6:30 horas, os quais variaram entre  $-0,25$  MPa nos dias 27/09 e 10/10 e valores mínimos de  $-0,6$  MPa nos dias 04/10 e 11/10, na segunda e na terceira épocas respectivamente. Os menores potenciais ocorreram entre 11:30 e 15:30 horas e, para todos os dias, a maior taxa de recuperação do estado de energia da água da folha ocorreu entre aproximadamente 15:30 e 18:00 horas, tornando-se mais lenta entre 18:00 e 21:00 horas (horário final de medida no dia) e durante o restante do período noturno conforme atestam os valores iniciais de medida no dia subsequente (exemplos nos dias 1, 2, 3 e 4 de outubro). Em vários casos há uma elevação do potencial da água em torno das 13:30 horas e uma diminuição em torno das 15:30 horas, que não se mostrou sistemática para ambas as épocas nos dias em que ocorreram. De modo geral os potenciais da água foram mais

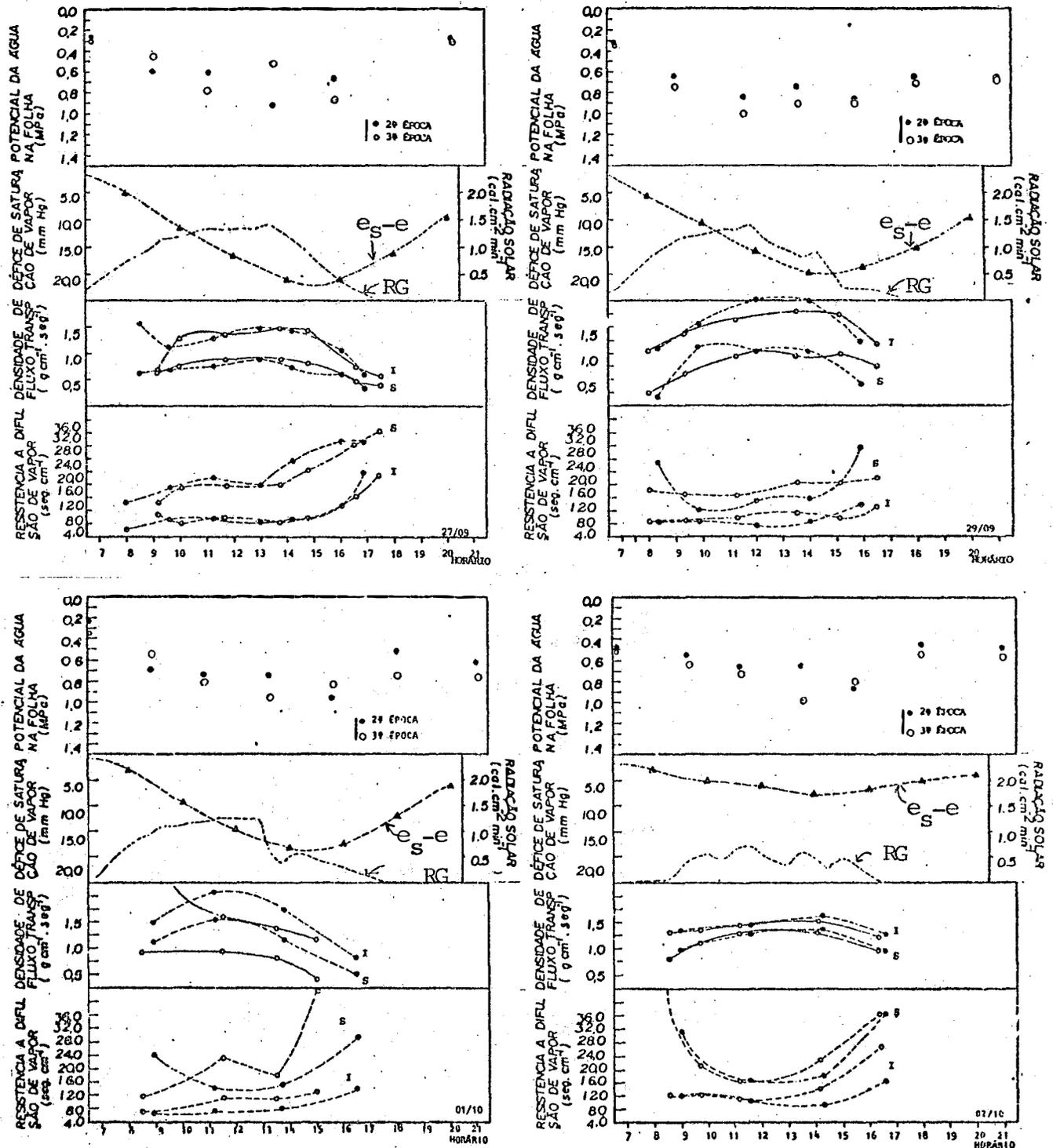


FIG. 12 - Variação do potencial de água na folha, da densidade de fluxo transpiratório, da resistência estomática à difusão de vapor para a variedade AROANA 80 e do déficit de saturação e radiação global em vários dias do período de interrupção da irrigação. As letras "I" e "S" indicam a face abaxial e adaxial da folha, respectivamente.

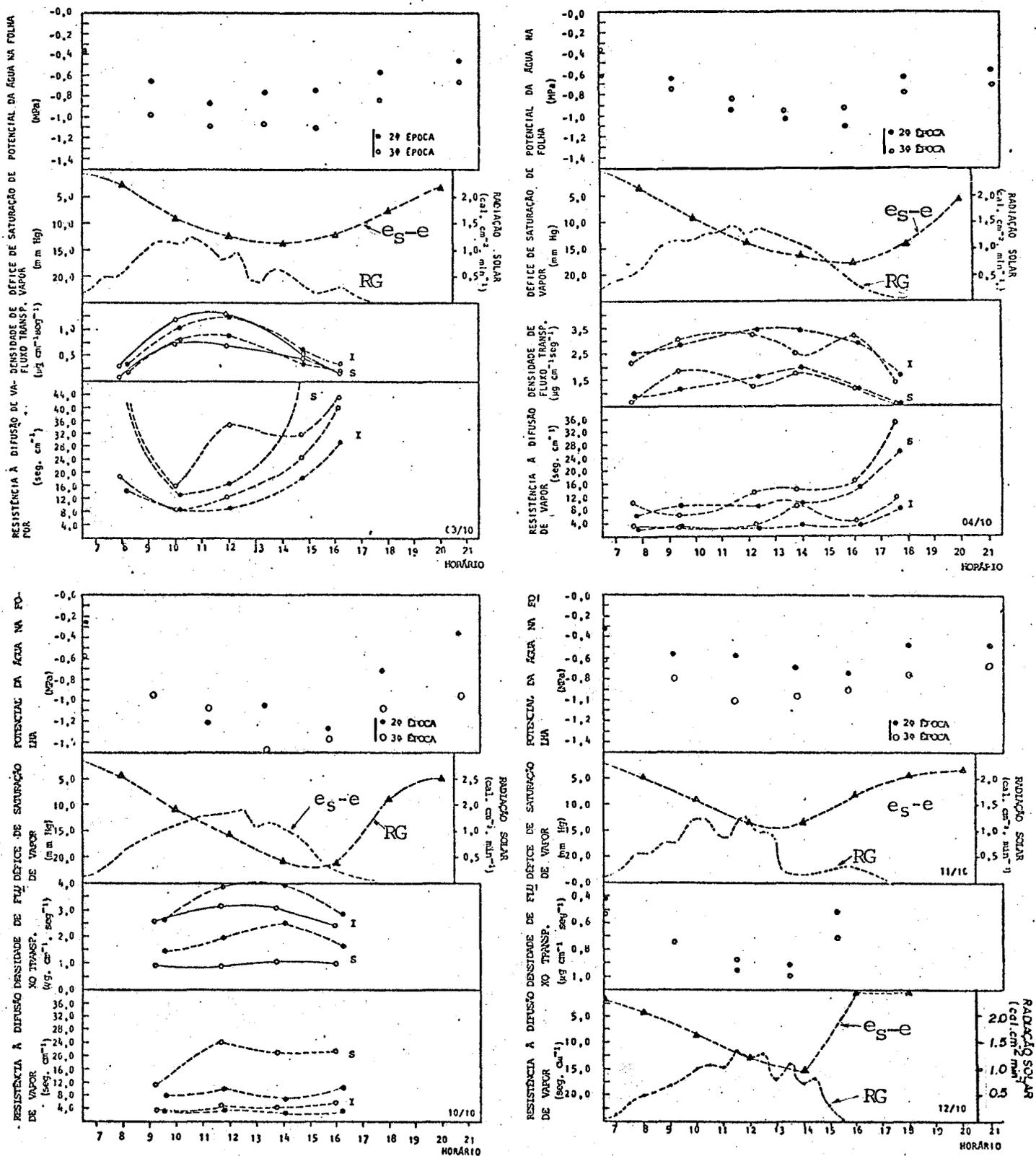


FIG. 13 - Variação do potencial de água na folha, da densidade de fluxo transpiratório, da resistência estomática à difusão de vapor para a variedade AROANA80 e do déficit de saturação e radiação global em vários dias do período de interrupção da irrigação.

negativos na terceira época, tendência esta mais acentuada nos dias 10, 11 e 12/10.

A densidade de fluxo transpiratório mostrou a tendência de aumentar até o meio do dia e início do período vespertino, mostrando uma diminuição a partir de aproximadamente 13:30 horas até o final das medidas, exceção a isso ocorrendo no dia 04/10 para a terceira época de plantio. Na maioria dos dias esse parâmetro mostrou maiores valores para a segunda época de plantio, sendo as maiores diferenças notadas nos dias 27, 29/09, 02 e 03/10, considerando ambas as faces. A maior variação ocorreu no dia 04/10 na terceira época, em ambas as faces, e no dia 29/09 (na face superior) na segunda época. Os maiores valores ocorreram nos dias 04 e 10/10 onde a densidade de fluxo transpiratório na segunda época foi, na maior parte do período de medidas, superior à da terceira época, sendo os valores mínimos determinados no dia 02/10. A face inferior apresentou sempre valores maiores que os da face superior.

Com relação ao comportamento estomático, verificou-se, com exceção do dia 10/10, uma tendência de aumento da resistência à difusão de vapor a partir das 14:00 horas aproximadamente, com valores que variaram pouco entre o início do período de medidas e o meio do dia com exceção da face superior nos dias 01/10 (segunda época) e 02/10 (ambas as épocas) e em ambas as faces e épocas para o dia 03/10. As resistências da face superior foram maiores que os da face inferior em todos os dias. Quanto aos tratamentos de épocas de plantio, notou-se que somente para o dia 27/09 os mesmos não diferiram entre as duas épocas, tanto para a

face abaxial como na adaxial. Para a resistência de face abaxial notaram-se as maiores diferenças entre as épocas, sendo máxima para o dia 10/10, intermediária para os dias 01/10 e 03/10 e menores para os demais, sendo que os valores foram sempre maiores para a terceira época de plantio. No dia 03/10 foram observados os maiores valores de resistência para esta face entre 10:00 e 15:00 horas. A maior diferença de valores da resistência entre as faces ocorreu para o dia 01, 03 e 10/10 e 27/09 para a terceira época e nos dias 27/09, 03 e 01/10 para a segunda época. Notou-se para os dias 01, 02 e 03/10 e levemente para o dia 04/10 que a diferença da resistência dentro de época foi devida ao fato de que o início da elevação dos valores ocorreu na terceira época, antecipadamente ao da segunda época.

O déficit de saturação de vapor de água no ar apresentou variação muito semelhante no período da manhã e no período da tarde até cerca das 15:00 horas nos dias 27, 29/09, 01, 04 e 10/10, com valores máximos entre 18,0mmHg (04/10) e 22,0mmHg (27/09 e 10/10). Esta variação pode ser considerada também como semelhante no período compreendido entre às 15:00 e às 20:00 horas mantendo-se as diferenças máximas de 4,0mmHg encontradas quando do estabelecimento do valor máximo do déficit às 15:00 horas, com exceção do dia 10/10, em que a recuperação de  $e_s - e_a$  foi rápido, passando de 22,0mmHg para 8,5mmHg já às 18:00 horas. Nesses dias ocorreram os maiores valores de radiação global no período, com as máximas de 579, 561 e 549  $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  em 04/10, 27/09 e 10/10, respectivamente. Nos dias 29/09, 01/10 ocorreu nebulosidade mais intensa no período da tarde que ocasionou uma diminuição nos valores de radiação global nessas datas

29/09 e 01/10 ( $507$  e  $440 \text{ cal.cm}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ , respectivamente), mas de modo geral pode-se concluir que os cinco dias citados são comparáveis quanto às condições de radiação global e de déficit de saturação de vapor de água do ar.

Os dias 02/10, 03/10 e 11/10 foram particularmente diferentes quanto a radiação solar global e ao déficit de saturação de vapor d'água do ar em relação aos cinco dias anteriormente citados. O dia 02/10 mostrou pequena variação do déficit de saturação de vapor, atingindo um valor máximo de  $8,0 \text{ mmHg}$ , sendo um dia com baixo valor de radiação global ( $197 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) com oscilações desta última indicando um dia nublado. Esse último fato também foi observado nos dias 03 e 11/10, com as diferenças de que estes dias apresentaram uma variação maior do déficit de saturação, atingindo  $14,0$  e  $15,5 \text{ mmHg}$ , respectivamente, mas com ligeira diferença entre ambos os dias quanto ao horário em que esses valores foram atingidos e a variação posterior a estes, pois no dia 11/10 a recuperação do déficit de saturação ocorreu numa taxa maior até às 19:00 horas como consequência da diminuição da radiação global observada nesse dia para tal período.

Em termos de análise, podem-se considerar três grupos de dias durante o período de secamento do solo, com características idênticas de elementos meteorológicos observados dentro de cada grupo: um com alta nebulosidade, baixo déficit de saturação de vapor e de radiação global (02/10); outro com valores intermediários desses valores (03 e 11/10); e um terceiro compreendendo os demais dias, com valores máximos desses parâmetros. Os dados de 11 e 12/10 foram apresentados apenas para

caracterizar os dias finais de medida no período de secamento do solo, já que não foram realizadas medidas de transpiração e de resistência estomática, tendo havido início de precipitação pluvial no dia 12/10 a partir das 15:00 horas.

#### 4.2.3. Variação dos parâmetros relacionados ao fluxo hídrico e às condições meteorológicas no fotoperíodo e início do período noturno

##### 4.2.3.1. Na variedade "Aroana 80"

As figuras 14 e 15 mostram para as mesmas datas referidas no item 4.2.1, as variações no período diurno e parte do noturno do potencial total ( $\psi_t$ ) e de seus componentes, potencial osmótico ( $\psi_o$ ) e potencial de pressão ( $\psi_p$ ), bem como a soma dos potenciais osmótico e matricial ( $\psi_{o+m}$ ) da água na folha, para a variedade "Aroana 80" na segunda e terceira época de plantio. O potencial osmótico é mostrado somente para os dias 29/09, 01/10, 02/10 e 03/10, devido aos motivos citados em Materiais e Métodos, sendo sua representação gráfica, para o dia 27/09 mostrada na figura 16.

Tanto o potencial osmótico quanto a soma deste com o potencial matricial acompanharam a tendência de variação diária do potencial total, com valores máximos no início e no final do período de medidas e mínimos ao redor do meio dia, sendo porém que a amplitude de variação foi menor quando comparada à de  $\psi_t$ , os valores de  $\psi_{(o+m)}$  mostraram tendência de terem menor amplitude de variação em relação aos de  $\psi_t$ , porém amplitude maior em relação aos de  $\psi_o$ .

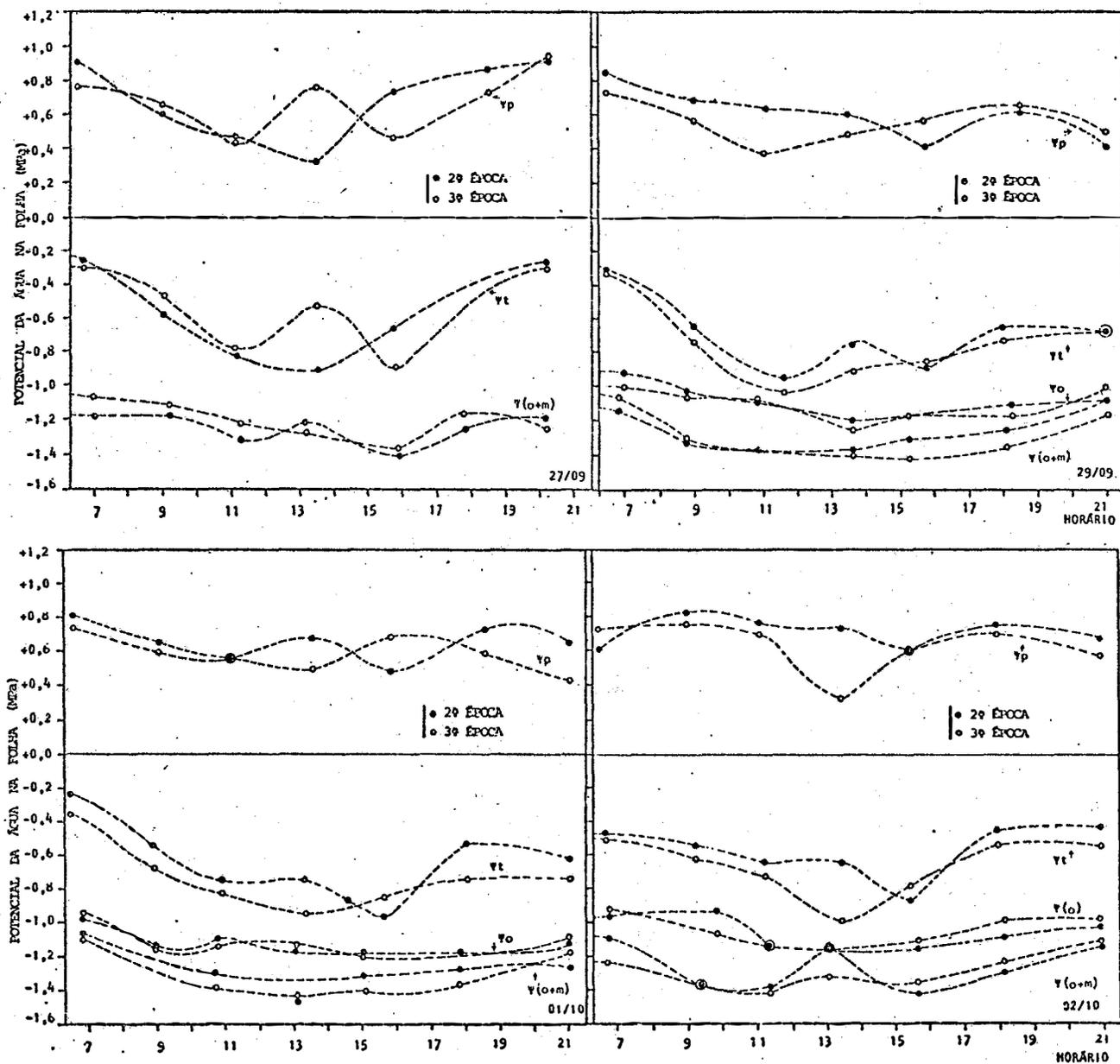


FIG. 14 - Variação durante o período diurno e parte do noturno, do potencial total da água na folha ( $\Psi_t$ ) de seus componentes, potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) potencial de pressão ( $\Psi_p$ ) e da soma dos potenciais osmótico e matricial ( $\Psi_o + m$ ) da variedade Aroana 80 para os tratamentos de interrupção da irrigação

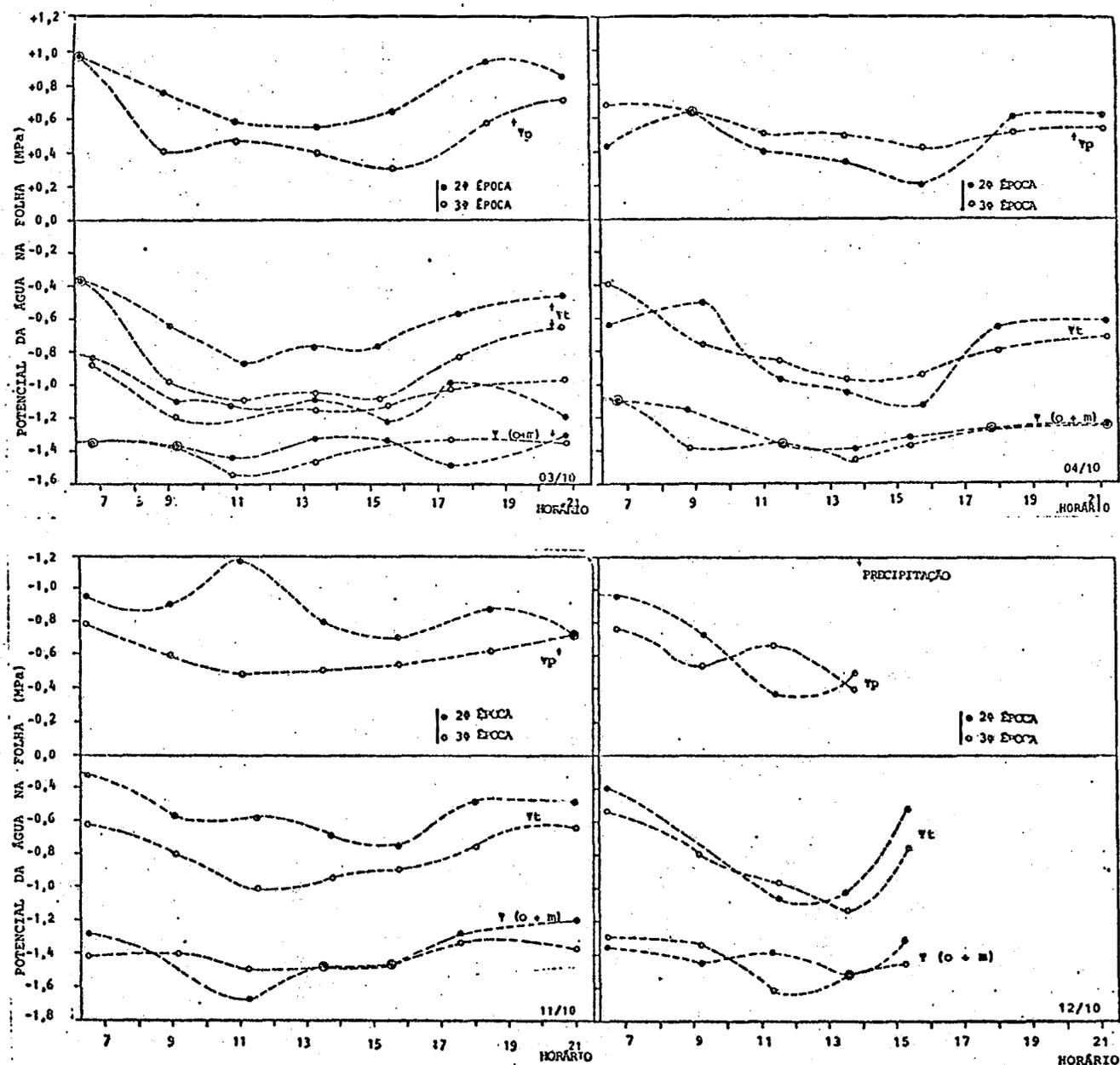


FIG. 15 - Variação durante o período diurno e parte do noturno, do potencial total da água na folha ( $\psi_t$ ) de seus componentes, potencial osmótico ( $\psi_o$ ) potencial de pressão ( $\psi_p$ ) e da soma dos potenciais osmótico e matricial ( $\psi_o + m$ ) da variedade Aroana 80 para os tratamentos de interrupção da irrigação

O potencial de pressão mostrou para a maioria dos dias uma tendência de recuperação no final da tarde, sendo que às 21:00 horas apresentou valores já próximos do início do período matinal nos dias 27/09, 02/10, 03/10, 04/10 e 11/10, enquanto que nos dias 29/09 e 01/10, a variação de seus valores foi relativamente pequena e para as 21:00 horas mostraram tendência de diminuir em relação às medidas anteriores do dia, embora essa possa ser apenas uma tendência aparente, pois os erros envolvidos na determinação de  $\psi_p$  podem ser de magnitude idêntica à própria variação dos valores no dia.

Dentro de cada dia geralmente é difícil verificar uma predominância dos valores dos componentes do potencial total da água de uma época em relação à outra, com exceção dos dias 03 e 11/10, em que os potenciais de pressão da água na segunda época foram superiores aos da terceira o dia todo, e no dia 04/10 em que os da terceira época sobrepujaram os da segunda época até o início da noite. Entretanto, durante o período de recuperação do potencial da água a partir do final da tarde, o potencial de pressão na segunda época tende em todos os dias, com exceção do dia 29/09, a aumentar mais rapidamente do que na terceira época de plantio. Para o período matinal e início do período da tarde sempre houve uma tendência do potencial de pressão na terceira época ser inferior ao da segunda época de plantio em todos os dias, com exceção do dia 04/10 e no dia 27/09 no qual a variação do potencial total e do potencial de pressão apresentaram um aumento brusco às 13:30 horas na terceira época de plantio, que pode ter sido causado por problemas de variabilidade espacial e de amostragem no campo.

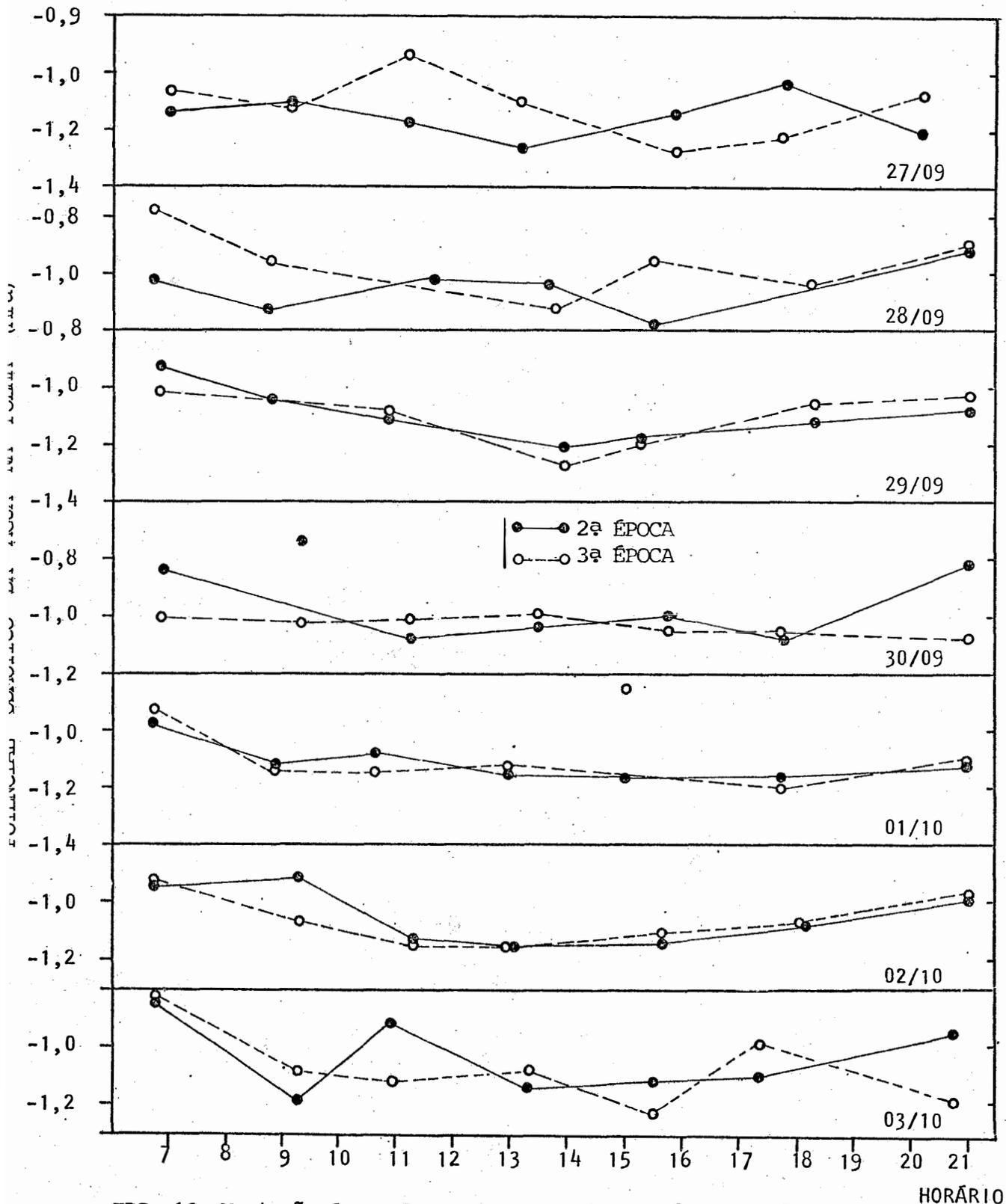


FIG. 16: Variação dos valores de potencial osmótico da água na folha no fotoperíodo e primeiras horas noturnas na variedade AROANA 80 em duas épocas de plantio, na época e para os tratamentos de interrupção de irrigação.

Para maior detalhamento das variações de  $\psi_0$  na variedade Aroana 80 a figura 16 mostra seus valores para os dias no período de 27/09 a 03/10. Os dados indicam que a tendência do comportamento encontrada é comparável àquela encontrada em espécies estudadas por outros autores, onde o potencial mais elevado é atingido nas primeiras horas da manhã e o mínimo no início da tarde e com posterior recuperação durante o período noturno. Não foi notada nenhuma diferença significativa e constante em qualquer hora do dia e primeiras horas noturnas, em função da época de plantio. Para o dia 27, 28/09 e 03/10 os valores de  $\psi_0$  apresentaram uma alternância mais acentuada do que os demais dias e os valores mais baixos e mais altos ora estão na segunda época, ora na terceira época, não apresentando tendência definida. Para os dias restantes os valores dos potenciais são bastante semelhantes para as duas épocas. A maior amplitude de variação ocorreu em termos médios, para o dia 29/09 e a menor amplitude ocorreu, em termos médios, para o dia 30/09.

Em linhas gerais pode-se dizer que as diferenças entre as duas épocas quanto ao potencial total na folha tiveram uma contribuição maior do potencial de pressão, embora se ressalve que nas determinações de  $\psi_p$  incorram os maiores erros em relação aos demais potenciais medidos pelo fato de  $\psi_p$  ser determinado algebricamente depois de conhecidos os potenciais totais e a soma dos potenciais osmótico e matricial.

Observou-se que o potencial da água na folha raramente ultrapassou o valor mínimo de -1,0 MPa, com exceção no dia 03/10 para a terceira época e 04/10 na segunda época de plantio, bem como no dia 10/10

no qual as duas épocas apresentaram valores inferiores a  $-1,0$  MPa em boa parte do fotoperíodo.

Em termos de estado de energia da água na folha, observou-se pelos dados que, em geral, as plantas da terceira época de plantio estiveram submetidas a um déficit hídrico maior, sendo em alguns dias por um período mais prolongado do que os da segunda época.

#### 4.2.3.2. Na variedade Aetê 3

A figura 17 mostra a variação do  $\psi_0$  da variedade "Aetê 3" ao longo do período luminoso e primeiras horas noturnas entre 27/09 e 03/10. Em termos médios, apesar da pequena diferença em termos absolutos, a tendência é um maior valor de potencial na primeira determinação da manhã, um gradual decréscimo até atingir valores mínimos no início da tarde, para então começar a recuperação. Esta recuperação não ocorreu totalmente até próximo às 21:00 horas somente para o dia 27/09 e para os dias 01/10 e 02/10 para a terceira época e dia 28/09 para a segunda época. Apesar de uma certa oscilação durante o período luminoso, notou-se uma tendência da segunda época ter um  $\psi_0$  maior em relação à terceira época de plantio. A diferença mais constante durante o decorrer do dia deu-se em 27/09 e em 02/10, com a maior e a menor diferença, respectivamente. A variação de  $\psi_0$  mostra uma tendência de ser maior no período de desenvolvimento do estresse hídrico do que para as horas de recuperação. A maior amplitude de variação para a terceira época ocorreu no dia 27/09 e a menor no dia 02/10. Para a segunda época a maior amplitude de variação ocorreu no dia 01/10 e a menor no dia 02/10, coincidindo com o

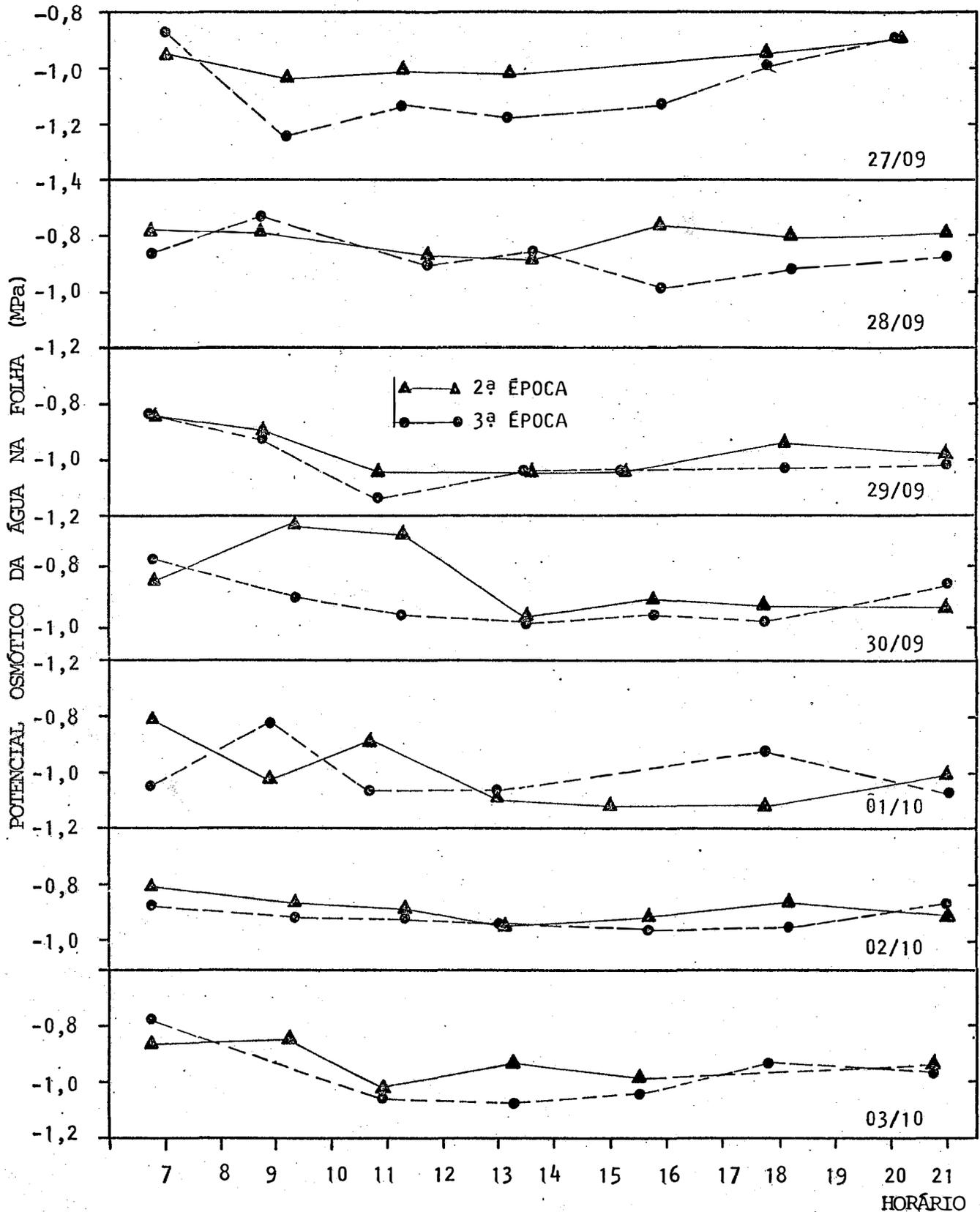


FIG. 17 - Variação dos valores do potencial osmótico da água na folha no fotoperíodo e primeiras horas noturnas na variedade AETÉ 3 em duas épocas de plantio, durante e para os tratamentos de interrupção da irrigação.

dia de menor amplitude da terceira época.

Na figura 18 são mostradas as variações da densidade de fluxo transpiratório e a resistência à difusão de vapor de água na variedade Aetê 3 nas duas épocas de plantio para os tratamentos com deficiência hídrica.

A transpiração mostrou a tendência de apresentar-se com valores mínimos no início do período de medidas, máximo por volta do meio do dia e valores mínimos novamente no final do período. A maior variabilidade, maior diferença entre faces das folhas para uma mesma época ocorreram nos dias 28/09, 04/10 e 10/10, sendo que a maior diferença ocorreu para a segunda época de plantio. Os dias 02/10, 03/10 e 01/10 foram os dias que apresentaram a menor variabilidade e a menor diferença entre épocas e entre faces, sendo menor, intermediária e maior respectivamente para os referidos dias para as diferenças entre faces. Para os dias de menor variabilidade dos valores e para o dia 04/10 as diferenças entre faces e entre épocas quando existentes permaneceram com valores relativamente constantes durante o período. Nos demais dias esta situação foi alterada por uma variação mais brusca dos valores de uma das faces.

A densidade de fluxo transpiratório nos dias apresentados foram sempre maiores para a face inferior excluindo-se o dia 03/10 no qual, por volta das 15:30 horas, houve uma inversão desta situação. Os dias em que os valores se apresentaram com menor variabilidade foram aqueles de menores valores de densidade de fluxo transpiratório para ambas as faces.

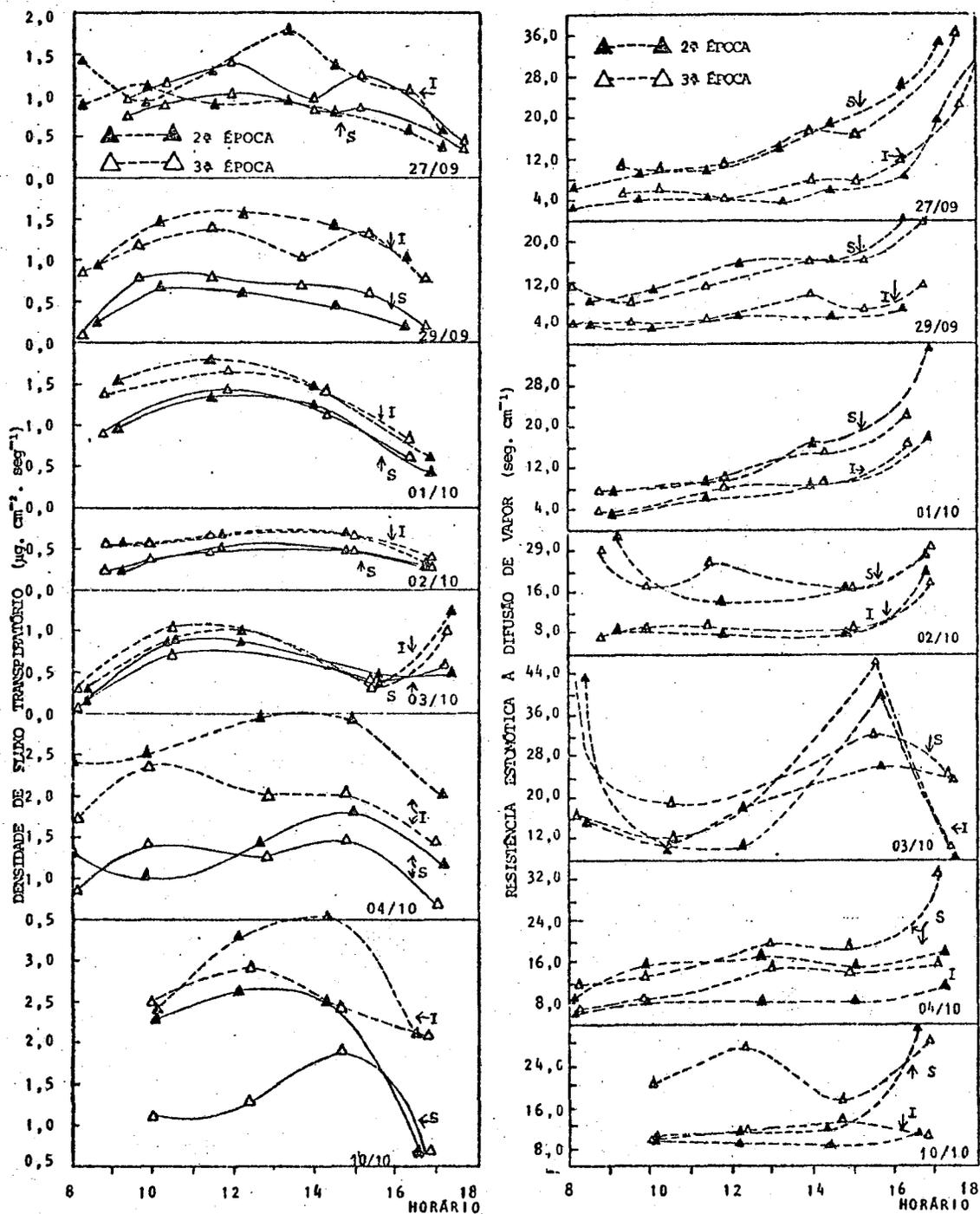


FIG. 18 - Variação da densidade de fluxo transpiratório e da resistência estomática à difusão de vapor de água na variedade AETÉ 3 em duas épocas de plantio para os tratamentos com interrupção da irrigação. As letras "I" e "S" indicam a face abaxial e adaxial da folha, respectivamente.

Para o dia 27/08, 02/10 e 03/10 não se notou uma diferença entre épocas tanto na face inferior como na superior. Nos dias 29/09 e 01/10 notou-se uma pequena diferença no comportamento das épocas sendo que a densidade do fluxo transpiratório na terceira época da face inferior foi maior em relação à da segunda época e em relação à face superior a densidade de fluxo foi maior para a segunda época.

Para os dias 04/10 e 10/10 ocorreram as maiores diferenças entre as faces e entre as épocas.

A resistência estomática à difusão de vapor seguiu o comportamento normal à cultura do feijoeiro, ou seja, com valores mais ou menos constantes entre as 10:00 e 15:00 horas, salvo para o dia 02/10, 03/10 e 10/10 onde os valores apresentaram uma certa variabilidade, principalmente para a terceira época de plantio. As diferenças entre as faces dentro de cada época foram maiores no dia 10/10 para a terceira época, onde já às 10:00 horas apresentaram-se altas.

Em termos de valores médios a resistência da face abaxial permaneceu na faixa de  $3 - 10 \text{ seg.cm}^{-1}$ , salvo para o dia 03/10, onde estes valores apresentaram-se como os mais altos dentre todos os dias para o período compreendido entre as 10:00 e 15:00 horas, sendo da ordem de aproximadamente  $44,0 \text{ seg.cm}^{-1}$  às 15:00 horas. Para a face adaxial o comportamento foi semelhante, sendo que próximo das 15:00 horas, os valores médios não ultrapassaram o valor de  $18 \text{ seg.cm}^{-1}$  excetuando-se o dia 03/10, onde os valores atingidos foram de aproximadamente  $29 \text{ seg.cm}^{-1}$  naquele horário. Com relação ao acréscimo dos valores no final da tarde notou-se que ocorreu primeiro na face adaxial e posteriormente na face

abaxial. Com relação a valores relativos pode-se dizer que este aumento na parte final da tarde ocorreu para os dias 27/09, 01/10, 03/10 com uma certa antecedência quando comparado com os demais dias.

Em linhas gerais pode-se considerar como característicos os dias 03/10, por apresentarem valores superiores aos demais por volta das 15:00 horas e uma inversão de valores com referência a faces no mesmo horário. E o dia 10/10 pelo fato de que da terceira época apresentou valores superiores de resistência estomática à difusão de vapor em relação aos da segunda época.

#### 4.2.3.3. Comparação das duas variedades

Na figura 19 são apresentados os valores médios de potencial osmótico da segunda e terceira épocas de plantio em cada horário de medida para as duas variedades estudadas. Ao utilizar valores médios normalizaram-se os dados e a variabilidade dentro de cada período foi diminuída. Esta diminuição de variabilidade no período para cada variedade possibilitou visualizar uma diferença razoável e constante entre elas, exceção a alguns valores que introduzem variações bruscas na curva representativa das respostas das plantas com respeito ao  $\psi_0$ , como nos dias 27, 29/09, 01 e 03/10 às 11:15, 10:20, 15:00 e 10:50 horas, respectivamente. A variedade Aetê 3 apresentou valores superiores aos da variedade Aroana 80, salvo nos horários acima referidos. As maiores e menores diferenças entre elas não ocorreram em uma faixa de horário definida, variando segundo o dia considerado. Notou-se, no entanto, que as maiores diferenças não ocorreram no início e tampouco no final do período de

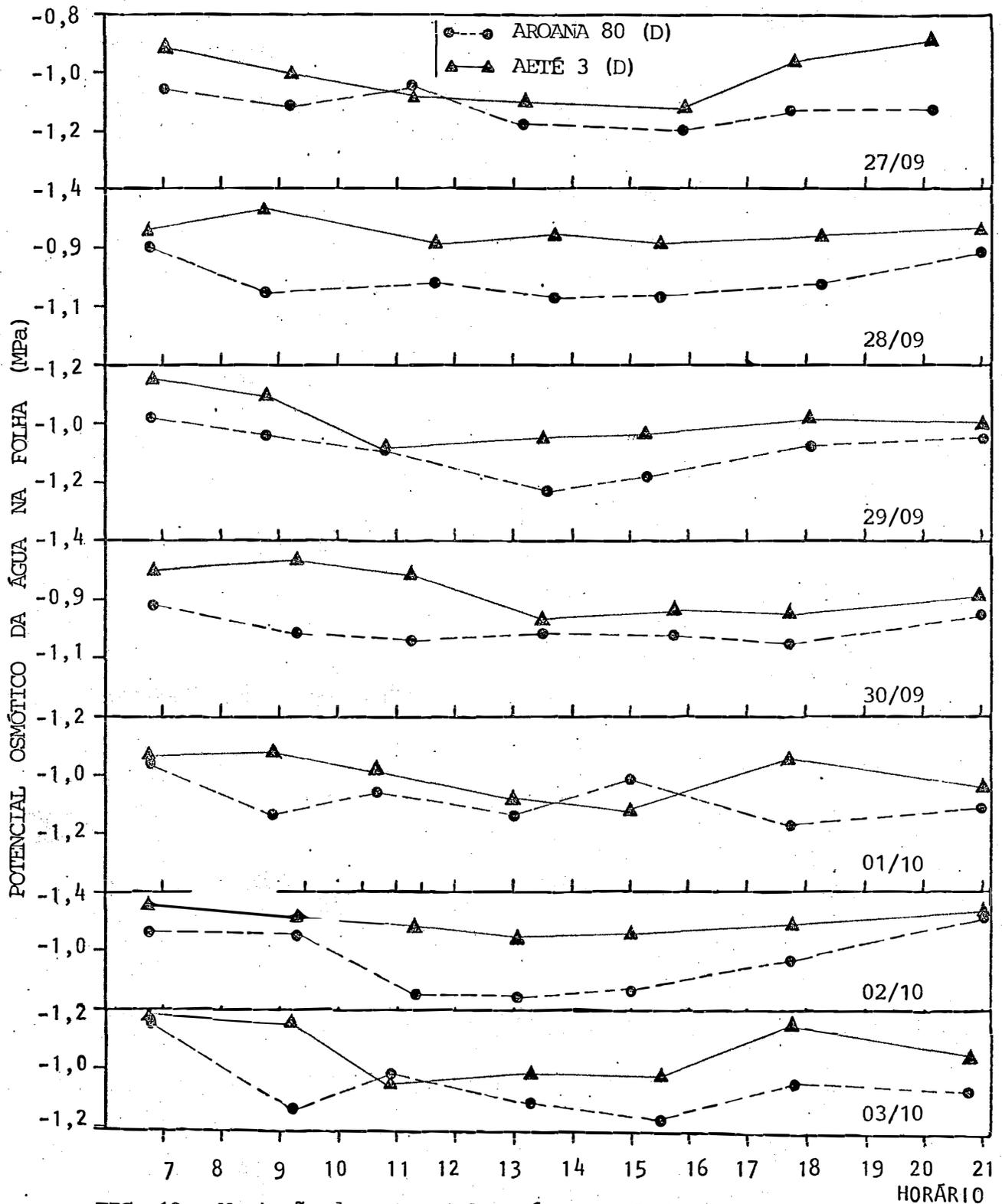


FIG. 19 - Variação do potencial da água na folha durante o fotoperíodo e parte do período noturno na época de interrupção da irrigação; cada ponto da curva representa a média da segunda e terceira épocas para as variedades AROANA 80 e AETÉ 3.

medida (próximo às 21:00 horas) com exceção do dia 27/09, onde em torno das 20:15 horas a diferença entre as variedades apresentou-se máxima para o dia em questão. Nos dias apresentados não existiu uma tendência da diferença entre variedades apresentar-se no início do período ou no final do período, ou seja, as diferenças entre elas nos extremos das curvas de variação do  $\psi_0$ , ora foram maiores no início do período, ora foram menores no final do período.

Para a variedade Aetê 3 os valores de  $\psi_0$  permaneceram entre -0,75 e -1,13 MPa e para a variedade Aroana 80 entre -0,85 MPa e -1,23 MPa, sendo que estes valores extremos ocorreram em dias diferentes.

Na figura 20 que representa a variação da  $\psi_{(0+m)}$  das variedades Aroana 80 e Aetê 3 nas duas épocas de plantio, notou-se uma maior variabilidade dos dados para o Aroana 80, e que esta variabilidade tendeu a ser diminuída para ambas com o decorrer dos dias de secamento. Em função desta mesma variabilidade a possível tendência de haver amplas diferenças entre épocas não foi visível, somente apresentando-se visível a diferença entre variedades, parecendo ser maior no início do ciclo e tendendo a ter uma diminuição em função do progresso do período de secamento salvo para o dia 11/10 no qual também ocorreu uma relativa variabilidade.

Para a variedade Aroana 80 as médias dos valores iniciais da curva de variação para as duas épocas de plantio não apresentaram grandes diferenças entre um dia e outro nos quatro primeiros dias, permanecendo entre -1,02 MPa e -1,15 MPa; já no dia 11/10 este valor médio

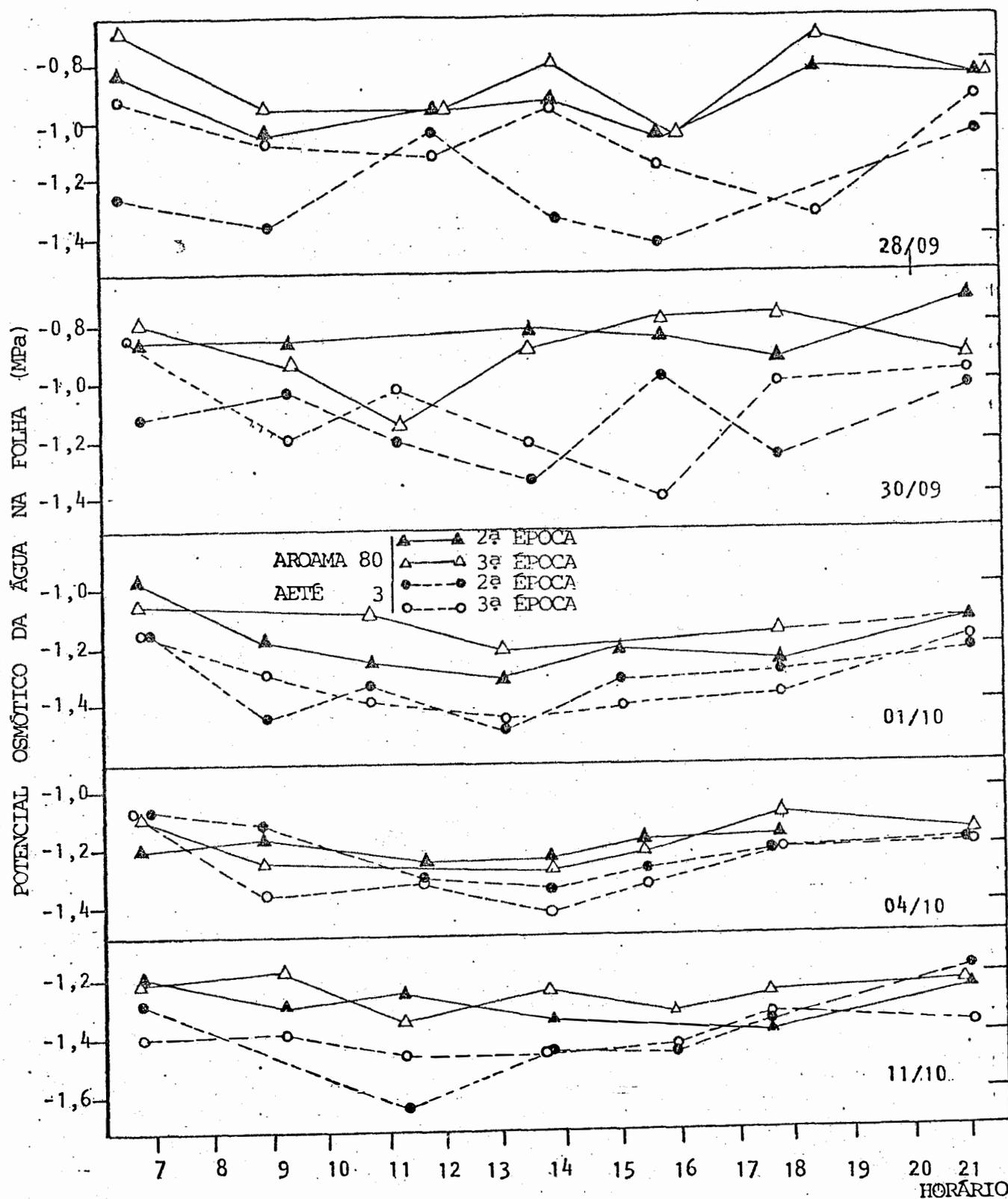


FIG. 20 - Variação da soma do potencial osmótico e matricial da água na folha durante o fotoperíodo e parte do período noturno na época de interrupção da irrigação, para a variedade AROANA 80 e AETÉ 3 em duas épocas de plantio.

esteve próximo de -1,30 MPa. Para a variedade Aetê 3 as diferenças nos valores entre um dia e outro foram visíveis, sendo que os valores mostraram uma progressiva diminuição desde -0,77 MPa no dia 28/09, passando pelos valores de -0,85, -1,02 e -1,15 MPa nos dias 30/09, 01 e 04/10 respectivamente e atingindo o valor de -1,20 MPa no dia 11/10. Neste horário, a maior diferença entre épocas e entre variedades ocorreu no dia 28/09, o qual apresentou-se também como o de maior variabilidade ao longo do período de medidas juntamente com o dia 30/09, este com uma variabilidade um pouco menor.

Os valores de  $\psi_{(0+m)}$  no final do período de medida, para a variedade Aroana 80, apresentaram-se de maneira crescente com o passar do período de secamento, iniciando com um valor médio de -1,0 MPa no dia 28/09, passando por valores intermediários nos dias 30/09, 01 e 04/10, atingindo o valor mínimo de -1,25 MPa no dia 11/10. Para a variedade Aetê 3, a mesma tendência de comportamento foi apresentada, sendo porém que a amplitude desta variação foi maior, desde um valor médio de -0,86 MPa no dia 28/09 até um valor de -1,24 MPa no dia 11/10, passando por valores intermediários nos demais dias. Em geral os potenciais no fim do período de medida foram menores que os do início do período, mostrando falta de recuperação total da planta até ao redor das 21:00 horas, exceção sendo feita nos dias 28/09 e 11/10 para a Aroana 80 e no dia 30/09 para a variedade Aetê 3. Para uma caracterização do período pode-se afirmar que os dias 28 e 30/09 apresentaram-se como os de maior variabilidade e os dias restantes como os de menor variabilidade.

#### 4.2.4. Valores dos parâmetros de água no solo

Nas figuras 21 e 22 são mostradas as variações do potencial matricial da água no solo durante o período luminoso nas profundidades de 15, 30, 45, 60 e 75cm. Para cada dia são apresentadas somente as curvas de resposta na profundidade que apresentou variação significativa e na imediatamente inferior.

Em todos os tratamentos em que a irrigação foi cessada a variação do potencial matricial ocorreu principalmente nas camadas superficiais, iniciando-se com a profundidade de 15cm e passando sequencialmente às profundidades maiores, para ambas as variedades e épocas de plantio. A variação significativa do potencial durante o dia em uma determinada profundidade iniciou-se, em média, 1 a 2 dias após o potencial matricial da camada imediatamente superior ter atingido o limite mensurável pelo tensiômetro, salvo para as camadas de 45, 60 e 75cm na terceira época do Aroana 80 e na segunda época do Aetê 3, que apresentaram variações simultâneas para as referidas profundidades.

Na segunda época de plantio, o potencial matricial atingiu o valor limite mensurável pelos tensiômetros na profundidade de 15cm um e dois dias antes que na terceira época, respectivamente para o Aroana 80 e Aetê 3. Na profundidade de 30cm, essa tendência permaneceu para o Aetê 3 mas não para o Aroana 80, onde as datas em que o valor limite foi atingido é a mesma nas duas épocas, sendo que nestas variedades também não houve diferença significativa entre o comportamento do potencial matricial nas duas épocas para a profundidade de 45cm. Já na camada de

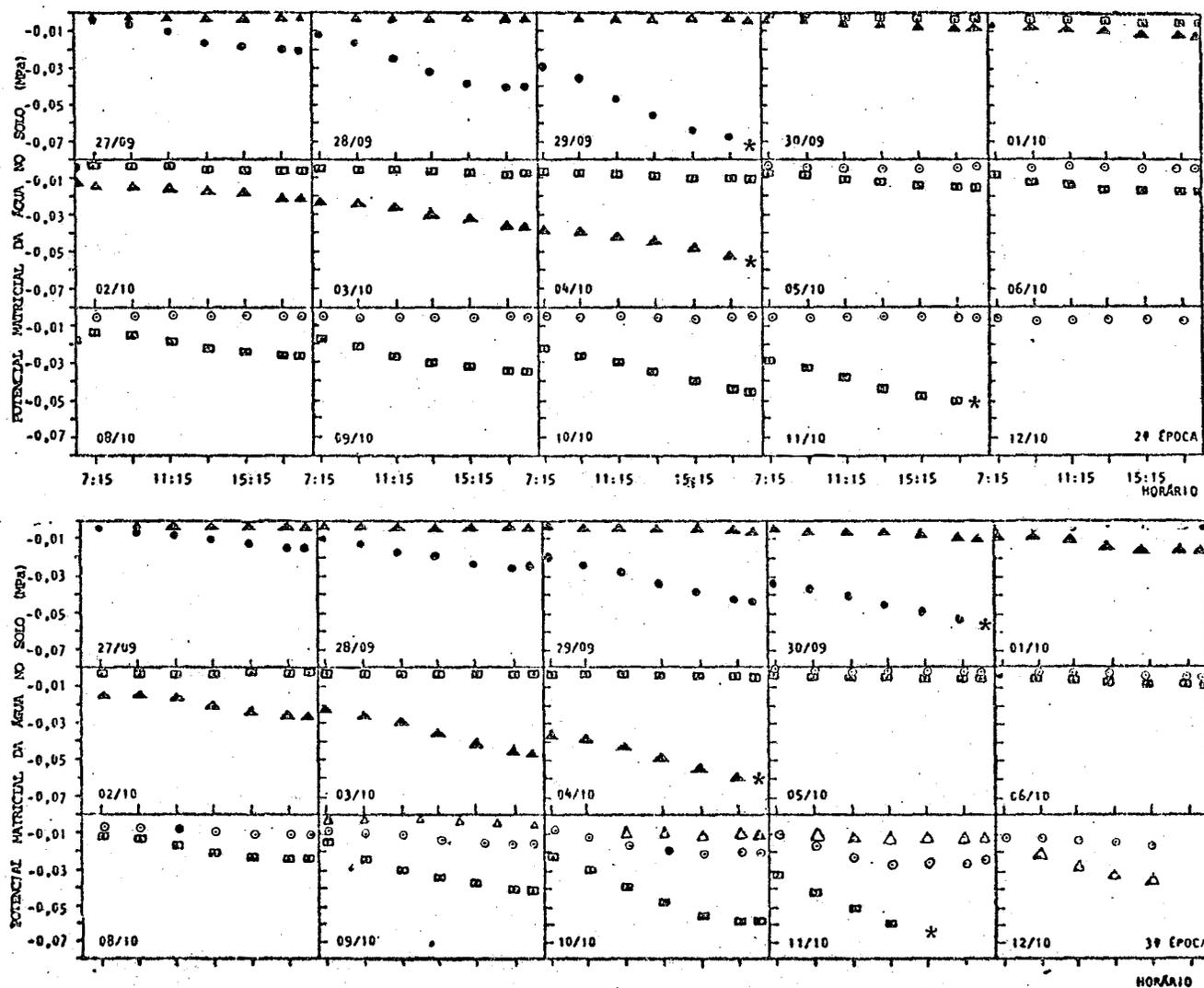


FIG. 21 - Variações horárias do potencial matricial da água no solo durante o período luminoso nas profundidades de 15 (●), 30 (▲), 45 (◻), 60 (○) e 75 (△) cm, para a variedade AROANA 80 em duas épocas de plantio durante o período de interrupção da irrigação. O símbolo (\*) representa o último valor determinado antes de ser atingido o limite mensurável pelos tensiômetros.

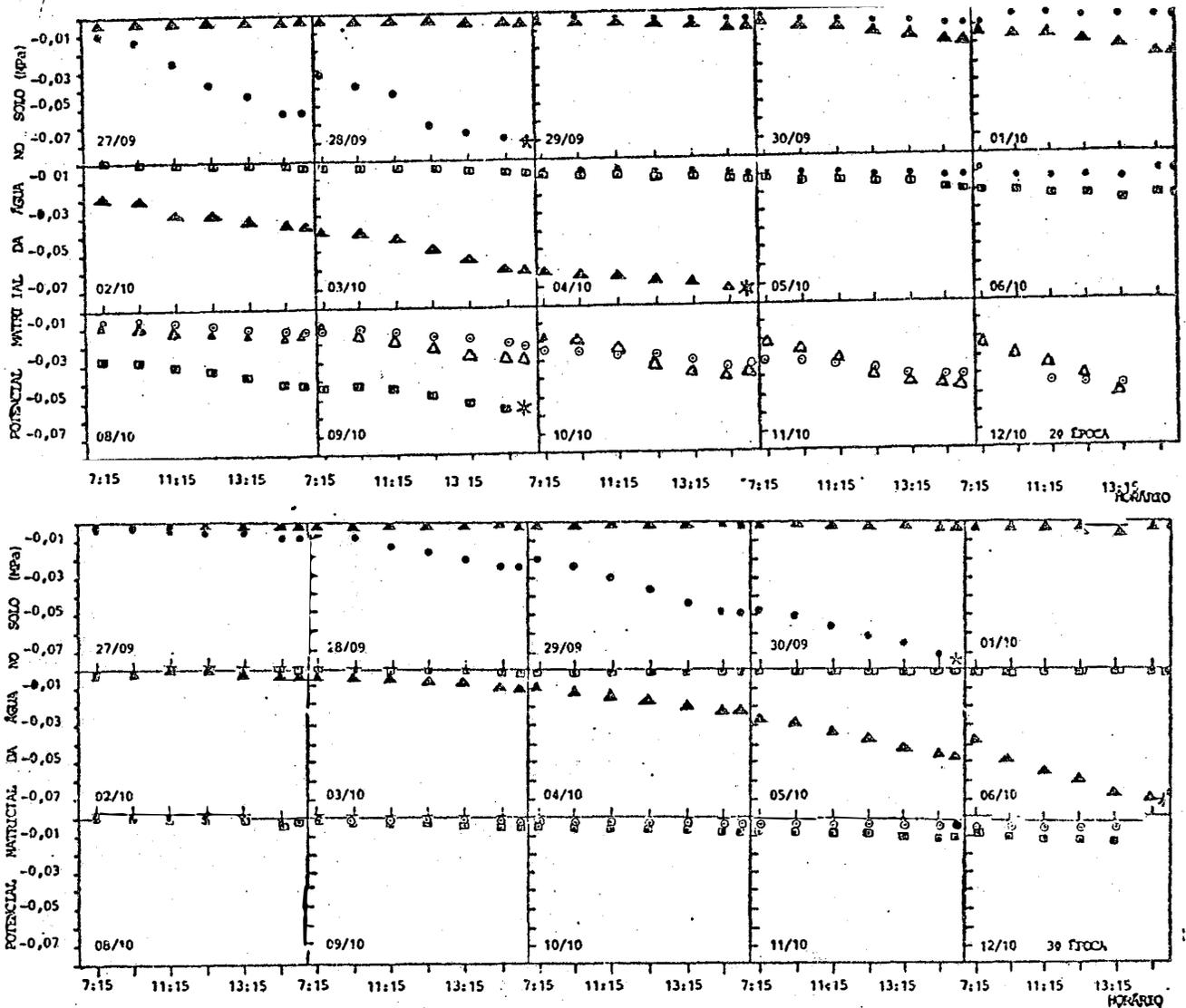


FIG. 22 - Variações horárias do potencial matricial da água no solo durante o período luminoso nas profundidades de 15 (●), 30 (▲), 45 (■), 60 (△) e 75 (○) cm, para a variedade AETE 3 em duas épocas de plantio durante o período de interrupção da irrigação. O símbolo (\*) representa o último valor determinado antes de ser atingido o limite mensurável pelos tensiômetros.

60cm houve diferença entre as duas épocas de plantio nessa mesma variedade.

Para o Aetê 3, as profundidades de 45 e 60cm apresentaram variações diferentes com o passar dos dias durante o período de secamento, tendo a terceira época de plantio apresentado valores superiores de  $\psi_m$  até o final deste período.

Comparando as variedades dentro da mesma época de plantio, observou-se que na segunda época, na profundidade de 15cm o Aetê 3 atingiu o valor limite mensurável um dia antes que o Aroana 80, não havendo diferença de data na profundidade de 30cm, embora nesta profundidade o Aetê 3 tendesse inicialmente a um decréscimo mais rápido de  $\psi_m$ . Quanto às camadas mais profundas, o valor limite foi atingido no Aetê 3 dois dias antes que no Aroana 80 à 45cm, e na profundidade de 60cm a variação na primeira variedade foi maior que na segunda a partir do dia 04/10, embora até o dia 12/10 não fosse atingido o valor limite. Na terceira época, não houve diferenças tão acentuadas entre as duas variedades na profundidade de 15cm, mas a 30cm o decréscimo de  $\psi_m$  no Aroana 80 foi mais rápido, atingindo o valor limite dois dias antes que no Aetê 3. Nas camadas de 45, 60 e 75cm essa tendência de diminuição mais brusca do potencial matricial no Aroana 80 manteve-se, pois na profundidade de 45cm foi atingido o valor limite no dia 11/10, o que não aconteceu no Aetê 3, que manteve potenciais altos nessa profundidade e também a 60 e 75cm até o final do período de secamento. Em todos os tratamentos ocorreu uma recuperação do potencial da água do solo durante o período noturno, recuperação esta que foi no máximo de 0,026 MPa. Esta recuperação

foi detectada somente nas camadas onde a variação do potencial foi ampla durante o período luminoso e de modo geral apresentou um acréscimo gradual a medida que os potenciais aproximaram-se dos limites mensuráveis pelos tensiômetros. Como esta recuperação ocorreu somente quando a variação do  $\psi_m$  foi ampla, primeiramente se deu na camada de 15cm. Dentre todos os tratamentos, o que apresentou menor variação nesta camada foi a terceira época da variedade Aetê 3, sendo maior para a terceira época da mesma variedade. Independente da variedade, a recuperação foi sempre maior para a segunda época de plantio. Com relação à variação dos potenciais nas camadas inferiores, notou-se que foi maior para a segunda e terceira épocas da variedade Aetê 3 e Aroana 80, respectivamente, onde as três profundidades inferiores (45, 60 e 75cm), variaram conjuntamente. Na segunda e terceira épocas da variedade Aroana 80 a camada mais inferior que apresentou uma variação visível foi a de 45cm sendo que esta mesma variação foi maior para a segunda época. Para estes mesmos tratamentos os potenciais nas camadas de 60 e 75cm não demonstraram variações significativas.

Para a camada de 30cm a recuperação de  $\psi_m$  durante o período noturno foi quase imperceptível, somente notada para a terceira época da variedade Aroana 80.

A figura 23 mostra a variação da fração de água disponível (FAD) para os tratamentos Aroana 80 (I) e (D) e Aetê (D) durante o período de secamento e nas três épocas de plantio, para um perfil com profundidade de 47,5 cm. Com relação às diferenças da FAD provocada pelos tratamentos de déficit hídrico, observa-se que na primeira e terceira

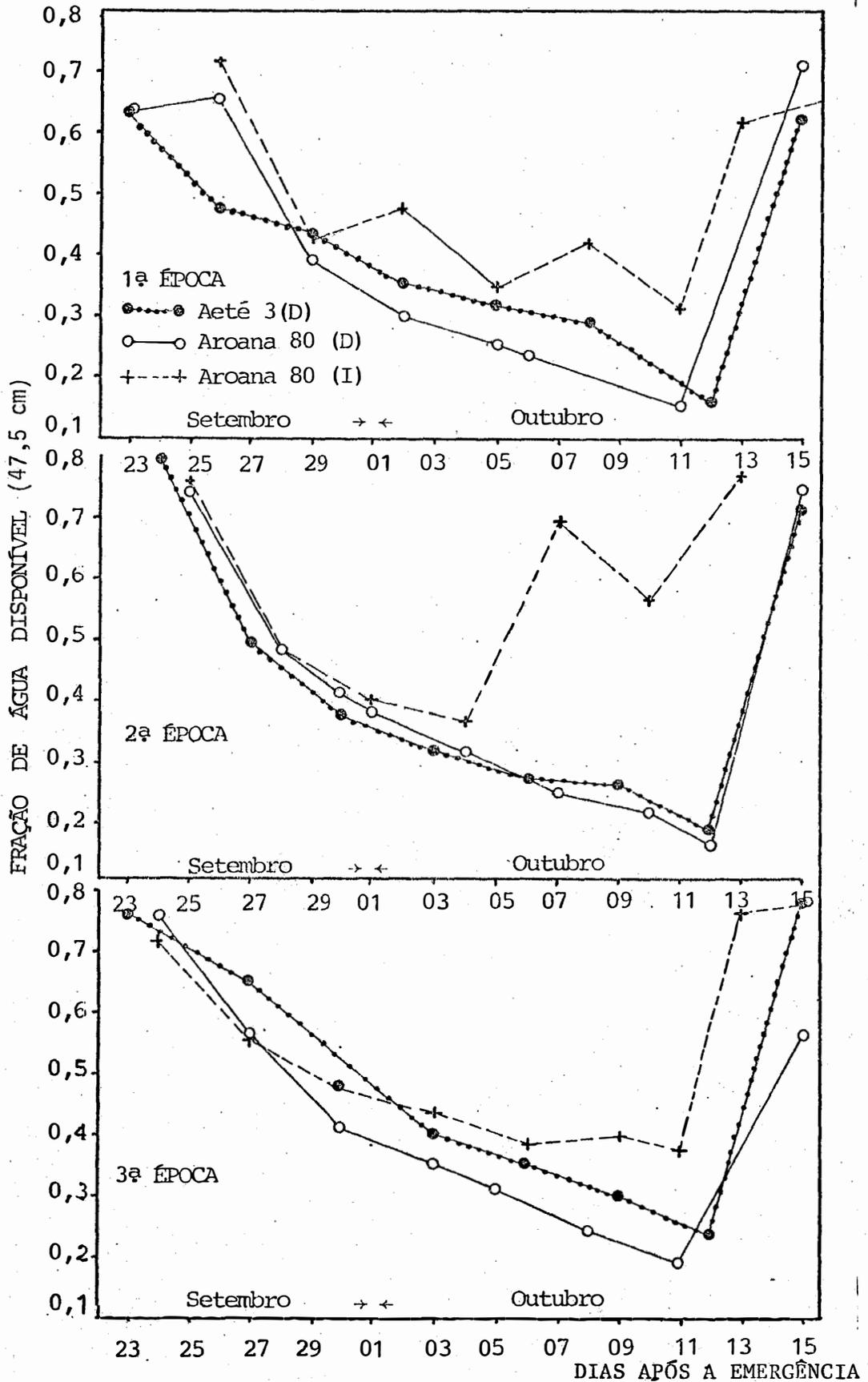


FIG. 23 - Fração de água disponível no solo para um perfil com profundidade de 475 mm durante o período de interrupção da irrigação em diferentes tratamentos.

épocas o tratamento Aroana 80 (D) apresentou valores menores em relação ao tratamento Aetê 3 (D) e na segunda época os valores são aproximadamente iguais. As diferenças entre o tratamento Aroana 80 (I) e os demais foram maiores dentro da segunda época; nas duas outras épocas estas diferenças foram aproximadamente as mesmas.

Para o tratamento Aroana 80 (I) os valores mínimos atingidos no período foram de 0,31, 0,36 e 0,37 para a primeira, segunda e terceira épocas, respectivamente, sendo que na primeira e segunda épocas os valores da FAD permaneceram inferiores em relação à segunda época por um período maior.

O tratamento Aroana 80 (D) apresentou valores mínimos de FAD de 0,15, 0,15 e 0,20 para a primeira, segunda e terceira épocas de plantio, respectivamente. Os valores de FAD, quando da progressão do período de secamento, não apresentaram diferenças significativas entre épocas neste tratamento, havendo uma diferença quando da retomada do processo de umedecimento do solo após o dia 11/10, pois na terceira época de plantio a FAD atingiu o valor de 0,56 inferior à média de 0,7 obtida nas duas outras épocas.

Para o tratamento Aetê 3 (D) os valores mínimos atingidos foram de 0,15, 0,15 e 0,25 para a primeira, segunda e terceira épocas respectivamente. Com relação ao comportamento da FAD durante o avanço do período de secamento, notou-se uma tendência de a segunda época ter apresentado valores menores ao longo do período em relação às demais, sendo que na primeira época mostrou-se com tendência de permanecer com valores intermediários.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Dos Resultados Relativos a todo o Ciclo de Desenvolvimento das Culturas

Comparando-se os tratamentos com e sem suspensão de irrigação, denominados de (D) e (I) respectivamente, nos diferentes estádios de desenvolvimento dentro da variedade Aroana 80, na qual os balanços hídricos no campo foram realizados em ambas as condições de regime de suprimento hídrico do solo, verificou-se que a diferenciação quanto à evapotranspiração acumulada (ETc) dentro de cada época, ocorreu de modo significativo, como seria esperado, a partir do início do período de suspensão da irrigação, em consequência das diferentes condições de disponibilidades hídricas no solo entre os dois tipos de tratamento.

As maiores taxas de evapotranspiração das culturas constantemente irrigadas, indicadas pela inclinação das curvas de ETc nas figuras 4, 5 e 6, ocorreram em períodos com maiores taxas de acréscimo de Etp, indicando que a resposta nos tratamentos irrigados foi função de

ampla disponibilidade hídrica no solo e das condições de alta demanda evaporativa da atmosfera, enquanto que nos tratamentos que sofreram interrupção da irrigação a diminuição da  $E_{Tc}$  ocorreu tanto pela diminuição da transpiração devida a uma menor disponibilidade de água na zona radicular, como pela diminuição da evaporação do solo devida ao aumento da resistência deste ao processo evaporativo, conforme discutem BLACK *et alii* (1970b).

As condições de alta demanda evaporativa da atmosfera ocorreram em estádios distintos das culturas conforme a época de plantio: maturação fisiológica, início do florescimento e início de formação de vagens na primeira, segunda e terceira época respectivamente.

A ocorrência deste período de alta demanda em fases distintas da cultura mostrou que a alta taxa de  $E_{Tc}$  neste período, nos tratamentos irrigados, foi função também das taxas de crescimento da cultura, já que a maior taxa de acréscimo da  $E_{Tp}$  coincidiu com a maior taxa de acúmulo de matéria seca, quando comparadas entre si, sendo que a maior taxa de acréscimo da  $E_{Tp}$  ocorreu na terceira época de plantio, seguida da segunda e da primeira, respectivamente. No restante do ciclo a relação entre a evapotranspiração ( $E_{Tc}$ ) dos tratamentos (D) e (I) na variedade Aroana 80 foram próximas à unidade, e a maior diferença ocorrida entre eles com respeito à  $E_{Tc}$  antes da aplicação do tratamento de suspensão da irrigação, na primeira época de plantio coincidiu com a maior diferença de matéria seca acumulada.

A inexistência de diferença na evapotranspiração acumulada entre os tratamentos Aroana 80 (I) e Aroana 80 (D) nos períodos iniciais do crescimento vegetativo da cultura pode ser questionada, caso se observe que a fração de água disponível (FAD) (figura 2) atingiu nos primeiros vinte dias após a emergência valores em torno de 0,50 a 0,45 no tratamento Aroana 80 (I), contra valores maiores no tratamento Aroana 80 (D), principalmente na primeira época de plantio. Entretanto, deve-se considerar que a fração de água disponível apresentada refere-se a um perfil de solo de 675mm, o qual inclui profundidades onde a efetividade de absorção hídrica pelas raízes, em tal estágio de crescimento é pequena, de modo que F.A.D. não caracteriza nesse caso a alta umidade existente nas camadas mais superficiais do solo. A inexistência de restrição hídrica na fase inicial de crescimento das culturas, em qualquer um desses tratamentos pode ser confirmada pelo fato de que o crescimento das culturas, expresso em peso de matéria seca por unidade de área de terreno (figura 7) praticamente não se diferenciou até cerca de 25 dias após a emergência no Aroana 80, nos dois tratamentos de regime hídrico no solo e nas três épocas de plantio.

Embora os valores de F.A.D., no período compreendido entre a emergência e a primeira elevação da umidade do solo aparentemente, possam se apresentar semelhantes àqueles do período de retirada da irrigação, em termos de restrição hídrica eles não o são, pois no primeiro período considerado as camadas inferiores do solo encontravam-se com baixos teores de água disponível e a quantidade de água aplicada por irrigação ficou retida nas camadas superiores do solo. Durante o período

de secamento, a situação era inversa, ou seja, as camadas superficiais (na zona de maior concentração das raízes) continham uma F.A.D. menor que as camadas inferiores. A situação apresentou-se desta maneira pelo fato de que no período de pré-plantio a não ocorrência de precipitação pluvial condicionou o secamento de todo o perfil do solo, enquanto no período anterior à retirada da irrigação, a frequência e a intensidade relativamente elevadas de precipitação provocaram a saturação do solo, inclusive com valores significativos de drenagem na profundidade de 675mm.

Também é necessário considerar que a mesma diferença de FAD em termos de valores absolutos dentro de uma faixa com ampla disponibilidade hídrica (altos potenciais da água na zona de efetividade das raízes) é diferente em termos de influência no crescimento e desenvolvimento da cultura, em relação a uma mesma diferença em faixas de F.A.D. onde a absorção da água pela planta já está sendo restringida. Por outro lado, estas diferenças, mesmo dentro de uma faixa de F.A.D. que não seja ampla, terão influências distintas de acordo com as condições de demanda da atmosfera vigentes no período considerado, DENMEAD e SHAW (1962), DOORENBOS e KASSAN (1979).

As diferenças entre a  $ET_p$  e a  $ET_c$  ocorridas em todas as épocas e variedades poderiam ser questionadas quanto à validade da estimativa da  $ET_m$  pelo método de PENMAN (1948). No entanto, tal método foi utilizado como um parâmetro de comparação e não como um método de estimativa da  $ET_m$ , já que o balanço de energia foi determinado em fases nas quais a cultura cobria amplamente o solo, sendo estes mesmos valores extrapolados, em função da radiação solar global, para as fases iniciais e

finais da cultura; tal procedimento ocasionou a obtenção de valores superiores e inferiores para a ETp em relação à ETC, no início e final do ciclo da cultura, respectivamente.

Com relação às diferenças da evapotranspiração (ETC) entre as variedades, podem ser divididas em duas fases; uma referente ao período de não restrição de água no solo e outra durante o período de restrição hídrica. As diferenças entre elas com relação aos parâmetros estudados durante o período de interrupção da irrigação serão discutidas no item 5.2. As diferenças notadas entre as variedades no início do ciclo, com respeito a evapotranspiração, foram pequenas e talvez estejam dentro do erro experimental; a existência dessa igualdade provavelmente seja devida ao pequeno estágio de desenvolvimento da cultura, com as mesmas apresentando baixos valores de matéria seca total e, conseqüentemente, baixos valores de IAF, provocando com isto uma maior taxa de evaporação do solo, valores estes muito maiores que os de transpiração, sendo que uma possível desigualdade decorrente de uma diferença de comportamento apresentado pelas variedades seja diluída e não significativa, em vista dos valores de ETC apresentados.

As diferenças entre as variedades quanto a ETC que se apresentaram após o período inicial de desenvolvimento das culturas, em que os valores foram semelhantes, não correspondem a um resultado esperado se considerados os valores de F.A.D. e de matéria seca total, porém os valores de resistência estomática à difusão de vapor, potencial da água na planta e outros parâmetros, os quais serão discutidos no item 5.2., poderão explicar em parte as diferenças encontradas.

Quanto ao acúmulo de matéria seca total por unidade de superfície de terreno pelas variedades, em relação à influência dos diversos tratamentos, notou-se que as variedades Aroana 80 e Aetê 3 apresentaram respostas diferentes com respeito a épocas e quanto ao efeito da suspensão da irrigação. Enquanto que para a variedade Aroana 80 ocorreu uma diferenciação entre épocas, esta diferença não foi caracterizada na variedade Aetê 3. A diferença gradual entre as épocas em função da data de plantio teve a contribuição de um início de surto de ferrugem do feijoeiro (*Uromyces phaseoli*) que provocou uma ligeira redução na área foliar fotossinteticamente ativa, sendo que a mesma foi mais intensa na primeira época de plantio, intensidade esta gradativamente menor na segunda e terceira épocas.

Por outro lado, apesar de ambas pertencerem ao grupo II, segundo a classificação do boletim de caracterização das variedades (IAC, 1982) as mesmas apresentaram comportamentos distintos, tanto por ocasião de ampla disponibilidade de água quanto por ocasião do período de restrição hídrica no solo. A variedade Aroana 80 apresentou hábito de crescimento e estágio de florescimento mais definidos em relação a Aetê 3, ou seja, sua taxa de acúmulo de matéria seca foi intensamente diminuída ou mesmo paralisada durante tal estágio enquanto que a variedade Aetê 3 apresentou a emissão de uma guia vegetativa por ocasião do florescimento e um período de florescimento com limites não tão definidos. Isto pode ser confirmado pelas curvas representativas do acúmulo de matéria seca das variedades (figura 7) onde a variedade Aroana 80 apresenta um patamar quase no final do ciclo e logo em seguida uma taxa

negativa de acúmulo de matéria seca; a variedade Aetê 3, por sua vez, não apresenta este patamar e a taxa de acúmulo de matéria seca é sempre positiva, considerando o período de amostragem. Outro fato que leva a esta conclusão é que ambas tiveram a mesma duração do ciclo dentro de cada época nos tratamentos sem suspensão da irrigação. O comportamento das variedades no que diz respeito ao hábito de crescimento, quando da suspensão da irrigação, será discutida no item 5.2.

Os menores valores de ETC acumulada, apresentados na tabela 1, dentro dos tratamentos em que foi suspenso o fornecimento de água ocorreram na terceira época de plantio, sendo também esta que apresentou a maior redução relativa da taxa de acúmulo da matéria seca total, principalmente na variedade Aroana 80.

Os maiores valores de ETC acumulada durante o estágio compreendido entre a emergência e o início do aparecimento das gemas florais, em relação àquele compreendido do início da formação de grãos à maturação fisiológica, nos tratamentos sem restrições de água no solo, foram devidos à maior duração do primeiro estágio em relação ao último considerado.

## 5.2. Dos Resultados Relativos ao Período de Diferenciação dos Tratamentos de Água no Solo

Os dados apresentados nas figuras 12 e 13 que mostram a variação da resistência estomática à difusão de vapor durante o fotoperíodo, bem como dos parâmetros da planta (potencial da água na planta) e da atmosfera (radiação solar e déficit de pressão de saturação de vapor

de água) a ela relacionados, permitem uma discussão quanto a interrelação desses parâmetros.

A resistência estomática à difusão de vapor é uma propriedade da epiderme, determinada pelo número e dimensão dos estômatos, que permitem a transferência de vapor d'água para a atmosfera, o que deve explicar o fato dessa resistência ter sido constantemente menor na face inferior em relação à superior, pelo maior número de estômatos encontrado na face inferior das folhas de feijoeiro (KANEMASU e TANNER, 1969a).

O fato de a resistência estomática à difusão de vapor ter sido definida através da razão entre a diferença de pressão de vapor da folha e do ar adjacente e a densidade de fluxo transpiratório, permite algumas observações. As figuras 12 e 13 mostram que o aumento da radiação solar e do déficit de saturação de vapor de água do ar causaram um aumento na transpiração com uma diminuição da resistência estomática até o meio do dia na maior parte dos dias apresentados. No dia 03/10, no qual o déficit de saturação e a radiação solar global foram moderados e no dia 02/10, em que os valores desses parâmetros foram baixos houve uma tendência da resistência estomática à difusão de vapor na face superior da folha manter-se ainda alta quando o período matinal avançou até cerca de as 10:00 horas, e de se elevar em torno das 15:00 horas, sendo que esta elevação no período vespertino ocorreu, na face superior, em quase todos os dias.

A tentativa, neste trabalho, de se relacionar a densidade de fluxo transpiratório, potencial da água na planta e resistência estomática à difusão de vapor com a finalidade de determinar um nível de

energia da água na folha que afetasse os outros parâmetros não foi satisfatória no sentido de estabelecer valores críticos.

A dificuldade de obter relações satisfatórias entre os parâmetros a um nível de detalhamento mais profundo é perfeitamente justificada pois o comportamento das plantas quanto ao transporte de água, suas relações e reações são complexas. Até recentemente existia o consenso de que o controle estomático das relações hídricas na planta era determinado exclusivamente pelo processo de retroalimentação ("feedback") ou seja, os estômatos responderiam não àqueles fatores externos que influenciam a taxa de perda de água, sendo afetados em última análise pela taxa de transpiração. Atualmente admite-se a presença de um processo ("feedforward") onde o estado de turgescência das células guardas são afetados diretamente pelos elementos atmosféricos, (COWAN, 1977) e FARQUHAR, 1978). Porém, a análise das reações da planta a este respeito é complexa e ainda existe grande dificuldade em separar, para efeito de análise, os dois processos; por outro lado, em condições naturais os parâmetros do meio não permanecem constantes e muitas vezes a planta responde à interações entre eles, segundo os autores.

Nota-se pelos dados que, mesmo com a diminuição do potencial da água na folha a níveis relativamente baixos, a resistência estomática à difusão de vapor e a densidade de fluxo transpiratório não apresentaram variações bruscas em função da variação do potencial da água na folha ( $\psi_t$ ). Os resultados mostram que a variação de  $\psi_t$ , no entanto, foi influenciada pelo déficit de saturação de vapor de água e pelo fluxo de radiação solar ao longo do período.

Com respeito ao comportamento estomático em função da umidade do ar, Schulze *et alii* (1972), citado por COWAN (1977), trabalhando com plantas de clima desértico demonstraram que a resistência estomática à difusão de vapor era aumentada com o decréscimo de umidade do ar e diminuída com o aumento da umidade do ar. Também foi observado que em termos relativos, o grau de redução da densidade de fluxo transpiratório era menor que o da resistência estomática e que com a redução da taxa de transpiração o conteúdo de água na folha era aumentado. Através do controle das condições do ambiente verificaram também que, em condições de alta umidade do ar, apesar do potencial da água na folha ser baixo, o estômato permanecia aberto e que com baixa umidade do ar, apesar do potencial de água ser alto os estômatos fecharam. Isto levou os autores a concluir que a abertura estomática nas espécies estudadas era governada pelas condições de demanda evaporativa da atmosfera.

LANGE *et alii* (1971), trabalhando também com planta xeromórfica, mostraram que o fechamento e abertura estomática podiam ser causados pelo decréscimo e acréscimo da umidade do ar, respectivamente. Porém neste estudo deve-se levar em consideração que o comportamento era relativo a uma parcela do tecido da folha na qual a parte inferior (subepiderme) havia sido destacada e o tecido em questão flutuava em água. Quando era introduzida uma bolha de ar entre a superfície do líquido e o tecido, as respostas estomáticas aos jatos de ar com diferentes níveis de umidade eram imediatas, quando a bolha de ar era suprimida, os estômatos não respondiam às variações de umidade.

Ao verificarem o comportamento estomático de três espécies do deserto de Negeve (Israel), sendo uma com folhas mesomórficas, outra com folhas xeromórficas e uma com folhas suculentas, SCHULZE *et alii* (1972) verificaram que durante o fechamento dos estômatos à baixa umidade do ar, o teor de água da folha da espécie mesomórfica aumenta, o contrário ocorrendo quando da abertura estomática, o que permite excluir estar a reação do estômato ocorrendo através das variações do teor de água na folha.

Os trabalhos citados confirmam que o comportamento estomático dependeu mais das relações hídricas da epiderme, quando afetada pela umidade do ar, do que da hidratação do mesófilo, podendo explicar parcialmente a falta de relação da resposta estomática e o estado de hidratação da folha (SHERIFF e SINCLAIR, 1973); SHERIFF, 1974). Para verificar a influência do contato hidráulico entre o mesófilo e a epiderme e a influência no comportamento estomático, SHERIFF e MEIDNER (1974) realizaram medidas de condutância hidráulica em tecidos foliares numa espécie mesomórfica e em uma xeromórfica, verificando que nas folhas mesomórficas o suprimento de água da epiderme está bastante ligado com o tecido vascular, podendo haver um certo grau de conexão entre o potencial da água no mesófilo com o da epiderme, e portanto com a abertura estomática; nas folhas xeromórficas, sem extensões de veias e bainhas vasculares, a resistência ao fluxo hídrico à epiderme é relativamente alta e o potencial da água da epiderme e, por conseguinte, a abertura estomática, é dependente em maior grau da transpiração cuticular (determinada pela umidade do ar) do que do estado de hidratação do restante da folha.

Trabalhos posteriores em uma série de espécies cultivadas confirmam a hipótese de que o estômato responde diretamente ao déficit de saturação do vapor da água do ar. BLACK e SQUIRE (1979) afirmam que a resposta é mais acentuada em espécies lenhosas e em espécies xeromórficas, embora dicotiledoneas herbáceas, como girassol, beterraba, feijão e fumo apresentem-na em alto grau.

Para o feijoeiro MOLDAU e SYBER (1974) mostraram que quando o solo encontrava-se com alta umidade a condutância estomática à difusão de vapor foi mais elevada para ambientes úmidos (umidade relativa de 80-90%) e menor para ambientes mais secos (umidade relativa de 20-30%); no entanto quando a planta era condicionada ao ar mais seco e somente uma folha desta era condicionada ao ar úmido, esta mesma folha tinha um valor de condutância de 2,5 vezes menor em relação àquele quando a planta estava em ambiente úmido mesmo estando submetidas a condições idênticas de radiação fotossinteticamente ativa e concentração de  $\text{CO}_2$ . Mostra o trabalho desses autores que o comportamento estomático não é puramente um fenômeno local e que depende das condições de transpiração das folhas situadas acima e abaixo daquela considerada.

HOFFMANN *et alii* (1978) quando submeteram plantas de feijoeiro a ambientes quente e seco (temperaturas entre 23 a 32°C e umidade relativa de 35%) e frio e úmido (temperaturas entre 19 a 25°C e umidade relativa de 80 a 90%) crescendo em soluções nutritivas com várias concentrações, verificaram que a condutância estomática se relacionou de maneira linear com os potenciais totais, osmótico e de pressão das folhas, exceto no ambiente quente e seco das plantas que se desenvolviam nas

soluções com altas concentrações salinas. Independentemente da concentração da solução nutritiva, a resistência estomática à difusão de vapor foi mais alta em ambiente frio e úmido do que no ambiente quente e seco.

Deve-se levar em consideração que os autores trabalharam em condições controladas e nas quais os parâmetros de atmosfera eram extremos e constantes durante um determinado período. No presente experimento as diferenças notadas com relação aos parâmetros do meio nos dias de medida não foram tão amplos e mesmo para diferenças extremas, como entre o dia 02/10 e um outro dia qualquer apresentado, salvo o dia 03/10 onde os valores de temperatura média diurna foram inferiores aos demais e os valores de resistência média os maiores em relação aos demais dias, não notou-se aquele padrão de comportamento. Dentro de um mesmo dia, a variação da resistência estomática à difusão de vapor, analisada com relação à variação do déficit de saturação de vapor, é dificultada pela própria variação dos demais parâmetros.

Para MOLDAU e SYBER (1975) dificilmente uma variação uniforme ou padrão pode ser esperada nas respostas estomáticas às variações da umidade do ar, porque o comportamento também dependerá do tipo de solo, espécie de planta e condições de cultivo.

O comportamento diferente da resistência estomática ao longo dos dias 01/10 e 03/10 em relação aos demais, parecem advir da variação da radiação solar global, embora não se possam excluir os efeitos dos outros parâmetros, entre eles o déficit de saturação do vapor de água e temperatura do ar que afetam a demanda evaporativa. Esses dois dias

apresentaram condições semelhantes de radiação solar porém condições diferentes de déficit de saturação de vapor de água do ar, esses valores para os dois parâmetros mostraram-se intermediários em relação àqueles dos demais dias.

Existe uma dificuldade, no entanto, em determinar a influência da densidade do fluxo de radiação solar no comportamento estomático, pois níveis baixos ou nulos de densidade provocam o parcial ou total fechamento estomático, respectivamente, tal como verificado por KANEMASU e TANNER (1969b) em feijoeiro. No entanto esta resposta pode ser alterada em função da faixa de potencial da água em que se encontra a folha tal como comprovado por Kassan (1973) citado por COWAN (1977) em *Vicia faba*, a qual em condições de alta demanda evaporativa para a faixa de potenciais entre -0,2 a -0,7 MPa e altas densidades de fluxo de radiação, a resistência estomática à difusão de vapor diminuiu e na faixa de potenciais entre -0,0 -0,7 MPa com densidade de fluxo menores de radiação as resistências estomáticas aumentaram. Por outro lado, mesmo em condições de luminosidade constante podem ocorrer variações nos valores da resistência estomática à difusão de vapor, devido a ritmos endógenos, segundo constatação de KANEMASU e TANNER (1969b). Para os dados observados no presente trabalho os valores de resistência à difusão de vapor d'água, em termos médios, foram menores por volta de meio dia e o acréscimo dos valores no fim ou início do fotoperíodo, mesmo quando o nível de radiação não era limitante, pode ser função de ritmos endógenos e/ou das relações hídricas decorrentes do meio ambiente.

Além da variação diferencial em relação aos demais dias da densidade de fluxo de radiação para os dias 01/10 e 03/10, neste último ocorreu a menor temperatura média e neste dia os valores da resistência estomática para a face abaxial apresentaram os maiores valores de todo o período de medida. Os resultados verificados no presente estudo quanto aos efeitos da temperatura sobre a abertura estomática concordam parcialmente com aqueles encontrados na literatura, pois HOFSTRA e HESKETH (1969) observaram em feijoeiro que a abertura estomática foi função quase linear da temperatura e que a 21°C a abertura estomática na face superior foi próximo de zero e na face inferior foi mínima, e com temperaturas elevadas (30 a 36°C) a diferença de abertura estomática entre as faces não era significativa. Por sua vez WILSON (1975) observou que a abertura estomática foi maior a temperaturas baixas (5°C) do que a temperaturas mais altas (25°C) e HIRON e WRGHIT (1973) afirmam que jatos de ar quente a 38°C causam o fechamento estomático.

Contudo, deve-se considerar que a temperatura da folha não é necessariamente sempre causa do movimento estomático, pois estando relacionada com a transpiração deve-se tomar cuidado para que tal parâmetro, sendo na verdade um efeito do comportamento estomático afetado por outros fatores, não seja tomado como causa. Exemplos de que nem sempre há uma associação direta entre a variação de temperatura da cobertura vegetal e a abertura estomática em feijoeiro podem ser encontrados em WALKER e HATFIELD (1979).

Através dos dados do presente experimento não foi possível caracterizar um nível crítico de potencial da água na folha para a

abertura estomática. Quanto a isto pode-se afirmar com segurança que os valores encontrados de  $\psi_t$ ,  $\psi_0$  e  $\psi_p$  não necessariamente devem estar em uma faixa em que está contido o potencial da água crítico, pois existem uma série de fatores que interferem na relação entre potencial da água e abertura estomática. DAVIES (1977) e COWAN (1977) afirmam que o potencial de água crítico varia de acordo com a idade e condições de crescimento das plantas. Em complemento, o último autor cita experimento com algodoeiro realizado por TURNER e BEGG (1973), e TURNER (1974a), no qual o potencial da água na folha considerado crítico foi de -1,6 MPa em casa de vegetação e de -2,7 MPa em condições de campo. Os autores sugerem que talvez esta diferença pode ser ocasionada por uma maior capacidade das plantas no campo manterem um potencial de pressão ( $\psi_p$ ) mais elevado, através de uma maior variação do potencial osmótico ( $\psi_0$ ).

Por outro lado COWAN (1977) e Begg e Turner (1970a) citados por TURNER (1974) sugerem que os valores críticos de  $\psi_t$  seriam melhor relacionados com os valores de  $\psi_p$ ; e os últimos autores mostram que a condutância estomática apresenta somente pequenas variações até que o  $\psi_p$  atinja uma faixa entre 0 e +0,3 MPa, na qual os valores de condutância estomática são diminuídos.

No presente estudo, os valores médios de  $\psi_p$  permaneceram na maioria dos dias acima de +0,5 MPa, o que justifica o fato de não se obter uma relação entre esse parâmetro e a resistência estomática.

Ao tentar relacionar a resistência estomática à difusão de vapor com o  $\psi_p$  em plantas de feijoeiro, KANEMASU e TANNER (1969a) e

JENSEN (1981) não atingiram resultados satisfatórios, explicando os autores que isto era devido ao fato de que o valor de  $\psi_p$ , determinado algebricamente, representa um valor médio para todas as células da amostra, e que somente os valores de  $\psi_p$  das células guardas ou subsidiárias poderiam estar relacionados com a resistência estomática à difusão de vapor. Ainda com relação a isto deve-se levar em consideração a variabilidade espacial. No mesmo trabalho KANEMASU e TANNER (1969) apresentaram valores de resistência estomática à difusão de vapor, com variações de  $2,5 \text{ seg.cm}^{-2}$  a  $20,0 \text{ seg.cm}^{-1}$  em função da localização da folha em relação aos pontos cardeais, enquanto que os valores de  $\psi_t$  da folha tiveram variações de no máximo  $0,3 \text{ MPa}$ , sendo que esta diferença não foi constante e pode ser até diminuída por uma menor variabilidade espacial dentro de um mesmo ponto cardinal.

Segundo DENMEAD e MILLAR (1976) a interpretação dos resultados de muitos experimentos não é fácil, devido a que a variação do potencial de água na planta ou a taxa transpiratória somente são determinadas em partes da planta. E segundo os autores é evidente que o potencial total da água da folha em um local particular de planta depende da distribuição da densidade do fluxo transpiratório na própria planta e do gradiente do próprio  $\psi_t$ , sendo que variações neste último parâmetro em um determinado local pode não ser proporcional às variações da densidade de fluxo transpiratório desse mesmo local.

A falta de obtenção de resultados bem definidos quanto a influência dos parâmetros do meio e da própria planta no comportamento estomático e densidade de fluxo transpiratório com relação aos níveis de

potencial da água na planta é perfeitamente aceitável, pois a maioria dos trabalhos comentados anteriormente condicionaram as culturas ou plantas individuais a condições extremas onde a influência de um determinado parâmetro é predominante por atuar no limite ou fora da faixa daquela considerada normal para o desenvolvimento da cultura. Por outro lado, o sistema de amostragem para a obtenção de uma certa resposta da planta muitas vezes não conduz a valores médios representativos do fenômeno observado, não traduzindo o comportamento da planta como um todo em relação às condições vigentes. Outro fato que leva a uma interpretação inadequada dos resultados obtidos é a suposição de que somente um fator atua independentemente dos demais e que sua atuação será sempre padrão dentro de condições ambientais e repetitivas em cada medida. Sabe-se no entanto que isto não ocorre e tal comprovação pode ser verificada no trabalho de DENMEAD e MILLAR (1976) com a cultura de trigo onde afirmam que:

- a) a condutância difusiva dependeria primariamente da irradiância, quando os potenciais de água estivessem acima dos seus valores críticos;
- b) quando um estresse hídrico moderado fosse induzido por alta demanda evaporativa, a condutância difusiva decresceria e limitaria a transpiração, numa extensão suficiente para evitar a diminuição do potencial da água e valores abaixo dos níveis críticos;
- c) com estresses severos de água o controle estomático seria muito acentuado, com fechamento dos estômatos inicialmente nas folhas inferiores; os autores afirmam ainda que as previsões dentro da exploração agrícola requerem análises mais detalhadas de todas as partes da cobertura vegetal.

Os valores mais negativos do potencial total da água na folha ( $\psi_t$ ) para a terceira época de plantio em relação à segunda, na variedade Aroana 80, parece ser proveniente de uma menor absorção de água pelas raízes em função da diferente distribuição do sistema radicular, pois os valores de potenciais da água no solo mostraram que a terceira época levou um dia a mais que a segunda época para atingir o valor limite de mensuração do potencial matricial ( $\psi_m$ ) pelo tensiômetro a 15cm de profundidade. Também a este respeito deve-se considerar que a resistência estomática à difusão de vapor apresentou seus maiores valores na terceira época de plantio, e com relação à densidade de fluxo transpiratório, estes valores são menores para esta mesma época. Por outro lado, a densidade de fluxo transpiratório apresentada é referente a unidade de superfície de folha, sendo que na época de medida do referido parâmetro, os valores de peso seco total e de índice de área foliar (IAF) eram bem menores para a terceira época, o que talvez tenha provocado uma menor retirada de água do solo em relação às plantas da segunda época de plantio, que estavam bem mais desenvolvidas naquele período. A diferença de resistência estomática à difusão de vapor entre as épocas, por sua vez, pode ser função das condições dos estádios fenológicos em que se encontravam, como mostraram PEET *et alii* (1977) ao observarem que os valores de resistência estomática à difusão de vapor diferiram significativamente entre os estádios das plantas de feijoeiro, sendo que os valores deste parâmetro durante a formação de vagens foi 71% e 5% menores que durante o florescimento e o final de formação de vagens, respectivamente.

A diferença entre as duas épocas também foi notada com relação ao potencial osmótico e potencial matricial, sendo os valores dos mesmos na terceira época, em média, menores que os da segunda época, porém esta diferença não foi suficientemente elevada para manter uma igualdade entre elas de valores de potencial de pressão ( $\psi_p$ ) sendo que valores de  $\psi_p$  foram menores para a terceira época, que pode ser a causa da diferenciação entre elas de acúmulo de matéria seca, tanto em termos absolutos como em termos relativos. Ou seja, comparando a diferença de acúmulo de matéria seca entre o tratamento onde foi suspensa a irrigação e o tratamento irrigado, nota-se que foi maior na terceira do que na segunda época; e em termos absolutos pode-se verificar que no tratamento que sofreu o maior estresse hídrico o acúmulo da matéria seca foi maior para a segunda época em relação à terceira. Não se deve esquecer, porém, o fato de que a segunda época teve uma maior recuperação no crescimento após o reumedecimento do solo, talvez em função do próprio estágio de crescimento em que se encontrava e da própria diferença de  $\psi_p$  ocorrida no período de suspensão da irrigação.

As curvas de variação de  $\psi_t$  (figuras 14 e 15) mostram que as maiores taxas de recuperação ocorreram entre 15:30 e 18:00 horas, coincidindo com o período em que ocorreu o aumento dos valores de resistência estomática à difusão de vapor de água e decréscimo da densidade do fluxo transpiratório, mostrando ter havido um efeito integrado entre a diminuição da intensidade do fluxo de radiação e diminuição do déficit de saturação do vapor aliada a um acréscimo da resistência estomática à difusão de vapor. A elevação dos valores de  $\psi_t$  próximos ao meio do dia,

em alguns dias de medida dentro da variedade Aroana 80, pode ter sido causada por uma variabilidade espacial decorrente do movimento paraheliotrópico apresentada pelas folhas da cultura ou pela própria sistemática de amostragem. Por outro lado, pode se pensar em uma resposta da planta a algum outro parâmetro do meio ou da própria planta, apesar de que os valores de resistência estomática à difusão de vapor neste horário não se mostraram sistemáticos a esta variação de  $\psi_t$ , pois a elevação do mesmo somente esteve presente com tanta frequência neste horário.

A variabilidade bastante grande nos valores de  $\psi_p$  pode ser em parte explicada pelo acúmulo dos erros cometidos nas determinações dos outros termos da equação utilizada na sua estimativa. Da mesma maneira ACKERSON (1977), trabalhando com a cultura da soja, mostrou que os valores de potencial osmótico ( $\psi_o$ ) e potencial total ( $\psi_t$ ) não variaram correspondentemente e assim obteve valores anômalos de  $\psi_p$ . No entanto, obteve o mesmo declínio de  $\psi_p$  nas primeiras horas da noite, como observado no presente estudo (figuras 13 e 14), indicando que este comportamento talvez seja devido a algum processo metabólico da planta que atua no equilíbrio hídrico das células.

Os valores de potenciais da água na planta não chegaram a ter uma influência drástica no comportamento estomático mas provavelmente tiveram influência no processo de expansão das folhas. Pela tabela 3 nota-se que o valor médio de  $\psi_p$  na maioria dos dias esteve acima de +0,5 MPa, com valores médios para todos os dias medidos de +0,62 e +0,53 MPa para a segunda e terceira época respectivamente. Estes valores,

pelos dados de bibliografia, não poderiam afetar grandemente os processos responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento das plantas, porém, na análise diária podemos notar que houve valores de  $\psi_p$  abaixo de 0,4 MPa. BOYER e McPHERSON (1975) afirmam que baixos valores do potencial de água na planta influenciam a produção de folhas através de seus efeitos na iniciação foliar e subsequentes processos de divisão celular. A alongação celular pode ser afetada por flutuações normais e rápidas de  $\psi_t$ , enquanto que o processo fotossintético necessita de um maior nível de déficit hídrico para ser afetado, sendo a translocação de assimilados menos sensível ainda.

Segundo HSIAO *et alii* (1979) a primeira indicação da deficiência hídrica é a redução no tamanho da planta em relação àquelas com ampla disponibilidade de água no solo, porém a variabilidade dos valores nas determinações do potencial de água na planta somente torna possível a determinação do nível de influência, mais tarde, quando o estresse causa uma resposta mais nítida. Comparando-se este processo com a abertura estomática, assimilação de  $CO_2$  e transpiração, estes são processos bem menos sensíveis e a diminuição dos mesmos ocorre quando o  $\psi_t$  atinge de -1,2 a -1,6 MPa, dependendo da espécie e condições anteriores de crescimento. Este nível inicial corresponde grosseiramente ao início do murchamento visual e é o ponto no qual o  $\psi_p$  se aproxima de zero, segundo Turner (1974) citado por aquele autor.

Em feijoeiro, MILLAR e GARDNER (1972) em um experimento de campo, mostraram que a produção de matéria seca pela cultura decresceu rapidamente quando a média diária de  $\psi_t$  atingiu valores menores que -0,8 MPa.

O'TOOLE *et alii* (1977), em estudo do efeito do estresse hídrico, na taxa fotossintética das plantas de feijoeiro, determinou que a fotossíntese e a transpiração aproximaram-se de zero quando o  $\Psi_t$  atingia valores de -0,9 a -1,0 MPa.

Trabalhando com frequência de irrigação em cultura de feijoeiro, RESENDE *et alii* (1981) determinaram que, a potenciais de água na folha superiores a -1,2 MPa, as resistências estomáticas à difusão de vapor de água e a taxa fotossintética não foram afetadas e que, no entanto, a área fotossintetizante, a matéria seca e a produção final de grãos foram reduzidas de acordo com a redução da evapotranspiração, a qual foi dependente da frequência da irrigação.

Como se pode notar pelos dados de literatura, o primeiro processo a ser afetado em relação à fotossíntese, perda de água, translocação e outros, durante uma evolução de um estresse hídrico é o de expansão foliar e que mesmo curtos espaços de tempo ao longo do dia, nos quais a planta permaneça com o potencial da água com níveis baixos, afeta a expansão e aparecimento de novos órgãos. No presente experimento, os potenciais da água na folha que ocorreram no período de suspensão da irrigação, afetaram o crescimento da cultura, fato este comprovado através dos resultados apresentados na figura 7. Apesar dos potenciais da água na folha atingirem valores inferiores àqueles considerados críticos à maioria dos processos fisiológicos apresentados na literatura, pela análise dos valores de resistência estomática a difusão de vapor e de densidade de fluxo transpiratório pode-se afirmar que o processo fotossintético e a perda de água pelas folhas não foram

visivelmente afetados pelo fechamento estomático. O principal efeito responsável pela menor produção de matéria seca por unidade de superfície de terreno, foi o de expansão e aparecimento de novos órgãos, processo este que diminuiu, provavelmente, não o processo da fotossíntese mas sim a taxa fotossintética global, através da redução da superfície foliar fotossinteticamente ativa. Pode-se afirmar com segurança que estes processos (expansão e aparecimento de novos órgãos) foram afetados por potenciais da água na folha contidos dentro das faixas atingidas pela cultura neste experimento, ou seja, de 0 a aproximadamente -1,4 MPa para o potencial total da água na folha e de valores acima de +0,2 MPa para o potencial de pressão, e que estas mesmas faixas não contiveram os potenciais considerados críticos para os demais processos anteriormente discutidos.

No presente experimento a dificuldade de se obter um valor de  $\psi_t$  limite ou crítico é perfeitamente explicável, já que o mesmo foi determinado em apenas um tipo de folha na planta (superior totalmente expandida) sendo que os valores de  $\psi_t$  nas folhas em desenvolvimento e naquelas mais velhas situadas inferiormente não foram determinados, isto porque tal procedimento acarretaria uma falta de padronização das medidas, o que ocasionaria uma variabilidade muito grande dos resultados, dificultando a análise posterior. A folha tomada para a amostragem do  $\psi_t$  talvez seja justamente aquela que menos responde à condição de estresse, não respondendo de imediato às condições flutuantes e extremas do meio. No caso do processo de expansão de folhas a determinação do  $\psi_t$  crítico para o processo só pode ser feita através de medidas individuais

em cada folha; isto, no entanto, requereria uma amostragem ampla e detalhada em todo o dossel vegetativo e em vários estágios de desenvolvimento da folha em questão. Por outro lado, tal procedimento acarretaria um acompanhamento de  $\psi_t$  e do processo de expansão das folhas por vários dias, o que impediria a utilização de processos destrutivos na determinação do  $\psi_t$  tal como é o caso do processo higrométrico utilizado neste estudo. Deve-se também levar em consideração que, para um mesmo valor crítico de  $\psi_t$  ocorrendo em diferentes estádios da cultura, sua influência nos processos metabólicos pode ser diferente, pois segundo FRASER e BIDWELL (1974) trabalhando com plantas de feijoeiro, quando novos pontos de consumo de assimilação ("sink") se desenvolvem, tal como folhas ou flores, a taxa de troca gasosa nas folhas existentes é alterada, isto porque a taxa de translocação de assimilados aumenta, sendo que estes movem-se das folhas mais velhas para aquelas mais novas e este processo global é bem mais constante durante a fase reprodutiva. Desta maneira, pensar em apenas um valor crítico de  $\psi_t$  exclusivamente para um único processo, é ignorar o dinamismo interno dos processos fisiológicos de cada planta em cada variedade.

Assim, a não caracterização de um valor crítico do potencial da água na folha para o processo de expansão das folhas ou para o acúmulo de matéria seca não deve ser considerada como um resultado anormal ou inesperado, sendo ainda mais justificado devido ao fato de que as determinações foram feitas em plantas crescendo em condições de campo, nas quais os mecanismos que interagem entre si são inúmeros e o isolamento de qualquer um deles é dificultado.

Para relacionar o potencial da água na folha e o potencial da água no solo foram utilizados diversos valores de potencial de água na planta e de potencial da água no solo, obtidos em vários horários e nas diversas camadas do solo, não se obtendo uma relação satisfatória. ACKERSON (1977) relata que encontrou dificuldade em relacionar os dois parâmetros quando trabalhou com sorgo, em função de não ter determinado a distribuição do sistema radicular, o que não permitiu caracterizar a camada de solo onde ocorreu a maior extração de água e como a distribuição das raízes foi afetada pelo estresse hídrico.

ZISKA e HALL (1983) ao trabalharem com *Vicia faba* no campo, concluíram que valores determinados ao nascer do sol não se revelaram uma boa medida para detectar diferenças entre tratamentos de irrigação, pois as diferenças de  $\psi_t$  obtidas foram sempre pequenas e variadas, havendo necessidade de muitas determinações para que as mesmas fossem aceitas com segurança.

No entanto, para a análise destas relações deve-se levar em consideração a quantidade de água no solo, pois segundo HSIAO *et alii* (1979), os melhores horários para se estudar as respostas das plantas ao estresse hídrico são no início da manhã, quando a planta tem toda a noite para entrar em equilíbrio hídrico com o solo, indicando assim indiretamente o nível de umidade deste último. Em solos secos, com potenciais em torno de -1,0 MPa ou menos, nos 50cm superiores do perfil e para uma cultura que esteja com o seu sistema radicular nesta faixa de profundidade, a mesma pode apresentar valores de  $\psi_t$  pela manhã de até -1,3 MPa. Ao contrário, uma cultura com 10% de seu sistema radicular

abaixo desta camada, em contato com o subsolo úmido, pode apresentar valores de  $\psi_t$  em torno de -0,2 a -0,3 MPa.

Quanto ao fato em questão, para a maioria dos solos onde as plantas agrícolas são cultivadas, as características químicas e físicas não são homogêneas dentro de cada camada estudada e nem tampouco ao longo do perfil; assim, a adoção de um único potencial matricial da água do solo para todo um perfil estudado é uma aproximação ampla e pode mascarar a interação entre a diferente distribuição da densidade de raízes no perfil e a heterogeneidade do perfil do solo quanto às suas diversas propriedades. Por outro lado os valores determinados do potencial da água no solo ( $\psi_s$ ) devem sofrer uma análise crítica antes de serem utilizados para qualquer relação no Sistema Solo-Planta-Atmosfera (SSPA), pois muitos desses são determinados instantaneamente com apenas um valor diário e muitas vezes sendo tomados em horários distintos, o que, como nota-se pela figura 21, pode originar valores variados de  $\psi_s$  somente devido a determinações em horários diferentes, mascarando possíveis relações. Os valores de  $\psi_s$ , em cada camada, devem ser analisados em função da espessura da camada que representam e de como foram determinados. Quando o  $\psi_s$  é determinado através do método tensiométrico deve-se levar em consideração: o número de repetições feitas em cada camada; que os valores obtidos através dos mesmos são provenientes da interação da cápsula com uma camada do perfil do solo com dimensões delimitadas pelas próprias dimensões da cápsula porosa; a distribuição decrescente da quantidade de raízes ao longo do perfil, de acordo com a cultura em questão, o número de valores de  $\psi_s$  obtidos ao longo do perfil visando representar cada camada do mesmo. Quando os valores de  $\psi_s$  são determinados

através do método gravimétrico, deve-se considerar que a umidade do solo é obtida para toda uma camada do perfil, sendo que a curva característica na maioria das vezes é proveniente de pontos médios desta mesma camada e de poucas repetições para que possam representar a relação com acuracidade entre a umidade ( $\theta$ ) e o potencial matricial da água no solo ( $\psi_m$ ) para áreas de relativa extensão. Para experimentos em casas de vegetação o  $\psi_s$  é determinado, na maioria das vezes, através da pesagem dos vasos e das curvas características médias do solo, o que faz com que, dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura e das dimensões das mesmas, a avaliação de alguma relação obtida possa diferir da real ou somente ser válida para experimentos nessas condições. No presente experimento, apesar da determinação das curvas características de umidade do solo através de nove repetições dentro de uma mesma profundidade, representando com um bom grau de acuracidade a relação  $\psi_m \times \theta$ , deve-se considerar que o tensiômetro instalado mais superficialmente estava a 15cm da superfície e que nesta camada de 0-15cm está localizada a maior quantidade de raízes para esta cultura e que talvez, para um melhor detalhamento do estudo, dever-se-ia instalar um tensiômetro a uma profundidade menor.

Quando foram comparadas as respostas das duas variedades quanto aos parâmetros medidos, notou-se que tiveram um comportamento diferencial, apesar dos tratamentos de níveis de água no solo serem semelhantes. Isto foi devido a comportamentos diferentes no que se refere a desenvolvimento, cobertura do solo, características morfológicas, concentrações de solutos, comportamento de fotonastismo e perda de folhas.

Pela figura 7 nota-se que as duas variedades Aroana 80 e Aetê 3 tiveram comportamento diferente em termos de acúmulo de matéria seca tanto ao longo do ciclo como também durante o período de interrupção da irrigação, sendo que a Aroana 80 apresentou uma maior redução na matéria seca total que a variedade Aetê 3, tanto em termos absolutos, como em termos relativos quando comparados com o tratamento sem suspensão da irrigação. Isto pode ser explicado por vários mecanismos. A variedade Aetê 3 apresentou um comportamento paraheliotrópico bem mais acentuado que a Aroana 80 e utilizou este mecanismo antecipadamente, tanto no transcorrer do período de interrupção da irrigação como dentro de cada dia. Este comportamento paraheliotrópico também foi notado em feijoeiro por KANEMASU e TANNER (1969) e DUBTEZ (1969). Segundo TURNER e BEGG (1981) ele é um mecanismo alternativo para as plantas adaptarem-se ao estresse hídrico sem afetar irreversivelmente a área foliar. A variação do ângulo de exposição da folha aos raios solares reduz efetivamente esta incidência e leva as folhas a dissiparem menos calor latente. Ainda segundo os autores, este é um mecanismo importante de defesa, já que opera somente durante períodos de estresse hídrico. Através deste mecanismo as folhas evitam a incidência direta dos raios solares, diminuindo a possibilidade de um maior acréscimo de sua temperatura decorrente de uma maior transformação energia solar em calor sensível, devido a uma diminuição da densidade de fluxo transpiratório.

Observou-se visualmente que as variedades apresentaram, para defesa contra o estresse hídrico, uma redução da expansão foliar, e na variedade Aroana 80 apresentou-se o mecanismo de senescência das folhas

inferiores, sendo talvez o mecanismo responsável pela maior diferença relativa entre as variedades quando se compara a taxa de acúmulo de matéria seca total entre os tratamentos com e sem suspensão da irrigação. Isto talvez esteja relacionado com a soma do potencial osmótico e matricial ( $\psi_{o+m}$ ), sendo que os valores na variedade Aetê 3 tiveram um acréscimo muito grande em comparação com os valores determinados no início do período de secamento, o qual pode advir de uma modificação do conteúdo de metabólitos das células através de processos de transformação ocasionados pelo estresse hídrico. STEWART *et alii* (1966), ao trabalharem com plantas de feijoeiro, verificaram que o murchamento das folhas ocasionava um aumento no teor de açúcar e uma queda no teor de amido, nestas mesmas folhas. Estudos mais específicos nesse sentido podem ser sugeridos.

A variedade Aetê 3 apresentou, em termos médios, resistências estomáticas à difusão de vapor d'água ( $R_d$ ) ligeiramente superiores à da variedade Aroana 80. No entanto, a densidade de fluxo transpiratório, na variedade Aetê 3, na face superior foram em média superiores à da Aroana 80 na mesma face, e na face inferior estes valores foram superiores para a Aroana 80. Diferenças nas resistências estomáticas à difusão de vapor em variedades de feijoeiro foram observados por PEET *et alii* (1977) e por KUENEMAN *et alii* (1975). As diferenças entre as variedades quanto a variação da relação transpiração-resistência estomática à difusão de vapor em ambas as superfícies das folhas, pode ser proveniente, em hipótese, de uma diferença no sistema hidráulico de condução, ou na disposição diferencial das células do mesófilo foliar ou ainda

do número e tamanho dos estômatos nas variedades.

Com relação ao consumo de água nota-se pelas figuras 4, 5 e 6, que a variedade Aetê 3 provocou um menor esgotamento do solo. Um dos motivos dessa constatação pode ter sido os maiores valores de  $R_d$  e, em consequência, por uma menor densidade de fluxo transpiratório em relação à Aroana 80.

Pode-se dizer que os tratamentos de níveis de água no solo aos quais foram submetidas as duas variedades não foram suficientemente drásticos para acentuar as diferenças de respostas entre épocas de plantio, para alguns parâmetros, sendo que as diferenças entre variedades tiveram uma contribuição do próprio comportamento diferencial das mesmas quando em condições de ampla disponibilidade hídrica. Provavelmente um grau de secamento do solo mais drástico poderia levar a uma maior diferenciação nas respostas.

Muitos autores afirmam que, para a maioria das espécies, aquela que apresenta uma maior tolerância ao frio apresenta também uma maior tolerância à seca, LEVITT (1972). Na variedade Aetê 3 observou-se que, durante um período de baixas condições energéticas do ambiente, a mesma não mostrou sintomas visíveis de resposta a esta condição, sendo que a variedade Aroana 80 apresentou-se com suas folhas inferiores amareladas devido a um estado precoce de senescência provocado pelas condições citadas. Isso indica que aparentemente a variedade Aetê 3 tem um mecanismo preferível de defesa contra o déficit hídrico quando comparado à Aroana 80 dentro das condições que se apresentaram, porque a perda de folhas é mais prejudicial, em termos de recuperação posterior ao déficit

hídrico, do que a paralização da expansão das folhas. A literatura mostra que a redução da área foliar, por si só e independente dos outros efeitos causados pelo déficit hídrico sobre o desenvolvimento vegetal (aborto de flores, má formação de vagens, aceleração da senescência, etc.) causa uma redução na produção final de grãos, de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura, grau de desfolhamento e densidade de plantio, fato este comprovado por CHAGAS *et alii* (1979), CECÍLIA *et alii* (1980) e LINK *et alii* (1980), trabalhando com feijoeiro.

A produção final de grãos não foi comparada entre os diversos tratamentos, porque após o período de medida dos parâmetros hídricos no solo e na planta, ocorreram valores de F.A.D. até de 100%, inclusive com dias nos quais os valores do potencial hidráulico da água no solo foram positivos. Este fato foi causado pela alta densidade global da camada de solo na profundidade de 30-45cm e pela baixa condutividade hidráulica desta mesma camada, que causou um acúmulo da água precipitada nas camadas superficiais, diminuindo grandemente a aeração do solo na região de maior concentração das raízes. Em consequência disto, a verificação de provável diferença de produção entre os tratamentos da umidade do solo foi prejudicada pela queda de produção também nas parcelas onde a irrigação não foi suprimida, por influência direta da má aeração do solo, fato comprovado por DASBERG e BARKER (1970), LEGARDA e FORSYTHE (1978) e DA SILVA (1982) e pela proliferação de fungos do solo que determinou uma queda da densidade populacional, dificultando a avaliação da produção.

Os dados da figura 23 mostraram uma diferença não muito acentuada de F.A.D. entre os tratamentos onde se suprimiu a irrigação e aqueles onde a irrigação foi mantida. No entanto, deve-se levar em consideração a profundidade do perfil considerada, já que no tratamento irrigado a maior F.A.D. estava localizada nas camadas onde se localizavam a maior parte das raízes. Pode-se considerar que o nível da F.A.D. para o tratamento onde não foi suspensa a irrigação não foi limitante à perda de água pelas culturas, pois segundo DOORENBOS e KASSAM (1979), para uma evapotranspiração diária média de 3, 4, 5, 6 e 7mm, o feijoeiro pode extrair 0,70; 0,60; 0,50; 0,45 e 0,43 da F.A.D., sem que a evapotranspiração máxima seja afetada; e para o experimento os valores mínimos da F.A.D. para o tratamento Aroana 80 (I) foram de 0,52; 0,57 e 0,60 e a ETm para estes períodos foi em torno de 5,0mm permanecendo assim dentro da faixa, a qual provavelmente não traz prejuízos ao crescimento e desenvolvimento da cultura.

Por outro lado o grau de secamento foi também atenuado através de uma redistribuição noturna de água no solo, sendo a mesma verificada pela diferença do potencial matricial entre as 18:15 horas (mais baixo) e a das 7:15 horas do dia seguinte (mais elevado).

HAISE e KELLEY (1950) verificaram uma grande variação de leitura dos tensiômetros no decorrer do período diurno e noturno, onde o valor mínimo foi atingido próximo às 8:00 horas e o valor máximo às 20:00 horas, sendo que a diferença entre estas leituras atingiu até cerca de 400cm H<sub>2</sub>O ou 0,04 MPa mesmo quando o nível de água no solo permaneceu constante, e estas diferenças ao longo do período tenderam a

valores maiores nas camadas mais superficiais e nos menores níveis de umidade do solo. Afirmam que esta variação foi influenciada por gradientes de temperatura entre solo, aparelho e atmosfera, mas que estas flutuações foram grandemente diminuídas e quase insignificantes para os tensiômetros de material plástico. Durante o presente estudo a variação das leituras dos tensiômetros em decorrência das oscilações térmicas pode ser considerada insignificante; ou seja a influência de gradientes de temperaturas entre a parte aérea do aparelho e a atmosfera adjacente não teve efeito significativo, pois quando o solo esteve com alta umidade (verificada pela não variação nas leituras das camadas mais inferiores) não ocorreram variações da leitura de  $\psi_m$ . Quando a água do solo estava sendo esgotada, a variação de leitura entre o final do período diurno (próximo às 18:00 horas) e a leitura inicial do dia seguinte ocorreu nas camadas de 15, 30, 45, 60 e de até 75cm, com aproximadamente a mesma intensidade entre os tratamentos; no entanto esta mesma variação não ocorreu na camada de 30cm para a segunda e terceira época de plantio da variedade Aetê 3 e na segunda época da variedade Aroana 80, demonstrando que se tivesse tido efeito significativo de temperatura estas mesmas leituras também deveriam apresentar uma certa variabilidade.

## 6. CONCLUSÕES

A variedade Aroana 80 apresentou hábitos de crescimento e estádios reprodutivos mais definidos em relação a Aetê 3, ou seja, a taxa de acúmulo de matéria seca da Aroana 80 foi diminuída durante o estágio reprodutivo enquanto a Aetê 3 apresentou emissão da guia vegetativa por ocasião do florescimento e um período de florescimento não tão definido em relação a anterior.

A diminuição do potencial da água na folha e valores relativamente baixos nos tratamentos com suspensão da irrigação na variedade Aroana 80 durante o período de maior deficiência hídrica no solo, não causou variações bruscas na resistência à difusão de vapor de água e densidade de fluxo transpiratório nas duas variedades. Entretanto, a variação do potencial de água na folha foi influenciada pelo déficit de saturação de vapor de água e pelo fluxo de radiação solar global ao longo do dia.

Foi notada diferença entre a segunda e terceira épocas de plantio e, portanto, quanto ao estágio de crescimento, no que se refere a soma do potencial osmótico e do matricial ( $\psi_{o+m}$ ) medidos nos tratamentos

com suspensão da irrigação e durante o período de maior deficiência hídrica. Os menores valores de parâmetro na terceira época em relação à segunda não foram suficientes para manterem os potenciais de pressão em igualdade para as duas épocas, o que pode ter sido devido a causas da diferenciação entre elas quanto ao acúmulo de matéria seca.

Não foi satisfatória a tentativa de se relacionar a densidade de fluxos transpiratório, potencial da água na folha e resistência estomática a difusão de vapor d'água para determinar um nível crítico de energia para a água na folha que afetasse os mesmos parâmetros.

Os valores de potencial da água na folha ocorrente no período de suspensão de irrigação afetaram o crescimento da cultura. Os valores mínimos atingidos de potencial de água na folha, da ordem de  $-1,4$  MPa, embora possam ser considerados críticos à maioria dos processos fisiológicos para o feijoeiro, bem como os valores de potencial de pressão acima de  $+0,2$  MPa, devem ter afetado em maior grau os processos de expansão e aparecimento de novos órgãos do que o processo fotossintético. A fotossíntese global, portanto pode ter sido afetada mais pela redução da superfície foliar fotossinteticamente ativa do que pela intensidade do processo fotossintético em si.

Observou-se visualmente que as variedades apresentaram o processo de parahéliotropismo como um mecanismo de proteção contra o estresse hídrico, sendo que este processo apresentou-se de maneira mais precoce no Aetê 3, tanto no período de secamento do solo, quanto durante o fotoperíodo indicando que tal mecanismo foi mais intenso nessa variedade, além disso, ocorreu uma redução da expansão foliar nas duas

variedades, o que deve ter contribuído para uma menor perda de água e constituindo-se conseqüentemente, num mecanismo adicional de proteção contra o estresse hídrico, sendo que o Aroana 80 apresentou suplementarmente a diminuição da área foliar por senescência das folhas inferiores, sendo este último o mecanismo responsável pela maior redução relativa entre elas quanto ao acúmulo de matéria seca, na comparação entre os tratamentos com e sem suspensão da irrigação.

A redistribuição noturna contribuiu para que a água no solo não atingisse níveis suficientemente drásticos para acentuar as respostas entre épocas de plantio e variedades com relação aos potenciais da água na folha e resistência estomática à difusão de vapor.

A variedade Aetê 3 apresentou, em termos médios, valores de resistência estomática à difusão de vapor da água ligeiramente superiores a da Aroana 80. A densidade de fluxo transpiratório na Aetê 3 foi em média superior a da Aroana 80 na face superior.

Para a variedade Aroana 80 a evapotranspiração acumulada desde a emergência até a maturação fisiológica, nos tratamentos sem interrupção da irrigação, foi menor, maior e intermediária para a primeira, segunda e terceira épocas de plantio, respectivamente. Nos tratamentos com suspensão da irrigação os valores da evapotranspiração acumulada foram menores em relação aos constantemente irrigados e os valores para a variedade Aroana 80 foram sempre maiores aos da variedade Aetê 3 salvo na terceira época de plantio. Para os tratamentos com suspensão da irrigação, à medida que se avançava na época de plantio os valores de evapotranspiração acumulada diminuíram.

## BIBLIOGRAFIA

- ACKERSON, R.C.; D.R.KRIEG; T.D.MILLER e R.E.ZARTMAN, 1977. Water relations of field grown cotton and sorghum: temporal and diurnal changes in leaf water, osmotic, and turgor potential. *Crop Sci.* Madison, USA, 17:76-80p.
- ANDREWS, R.E. e E.T.NEWMAN, 1969. Resistance to water flow in soil and plant. *New Phytol.* Cambridge, England, 68:1051-8p.
- BEGG, J.E. e N.C.TURNER, 1981. Crop Water Deficits. *Advances in Agronomy.* New York, 28:161-217p.
- BINNIE, R.C. e P.E.CLIFFORD, 1981. Flower and pod production in *Phaseolus vulgaris*. *J.Agric.Sci.* Cambridge, Inghilterra, 97:397-402p.
- BLACK, T.A.; C.B.TANNER e W.R.GARDNER, 1970. Evapotranspiration from a snap bean crop. *Agronomy Journal*, Washington, DC., 62:66-69p.
- BLACK, T.A.; W.R.GARDNER e C.B.TANNER, 1970. Water storage and drainage under a row crop on a sandy soil. *Agronomy Journal*, Washington, DC. 62:48-51p.
- BLACK, C.R. e G.R.SQUIRE, 1979. Effects of atmospheric saturation deficit on the stomatal conductance of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. e H.) and groundnut (*Arachis hypogea* L.). *J.of Exp.Bot.*, Oxford 30:935-45p.

- BLIZZARD, W.E. e J.S.BOYER, 1980. Comparative resistance of the soil and the plant to water transport. *Plant Physiol.*, New York, 66:809-14p.
- BOYER, J.S., 1969. Free-energy transfer in plants. *Science*, Washington, DC., 163:1219-20p.
- BOYER, J.S., 1971. Resistances to water transport in soybean, bean, and sunflower. *Crop Science*, Madison, USA, :403-7p.
- BOYER, J.S. e H.G.McPHERSON, 1975. Physiology of water deficits in cereal crops. *Advances in Agronomy*, New York, 27:1-23p.
- BURCH, G.J., 1979. Soil and Plant Resistances to water absorption by plant root systems. *Aust.J.Agric.Res.*, Melbourne, Austrália, 30:279-92p.
- BURMAN, R.D. e D.W.BOHMONT, 1961. Evaluating the growth rate of great northern beans as influenced by soil moisture level under greenhouse conditions. *Agronomy Journal*, Washington, DC., 354-355p.
- CAMARGO, A.P.; H.S.PINTO; M.J.PEDRO JUNIOR; R.R.ALFONSI e A.A. ORTOLANI, 1974. Clima do Estado de São Paulo. In: *Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo*. São Paulo. Secretaria da Agricultura, vol. 1.
- CECÍLIA, F.C.S.; M.A.P.RAMALHO e M.B.GOMIDE, 1980. Efeito do desfolhamento sobre a produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cienc. Prát.*, Lavras, MG, 4(1):66p.

- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, (s.d.). *Guia de estudos. morfologia de la planta de frijol comum (Phaseolus vulgaris)*. Cali, Colômbia, Série 04 SB-09.01, 50p.
- CHAGAS, J.M.; C.VIEIRA; M.MAESTRI e A.A.CARDOSO, 1979. Resposta de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) ao desfolhamento artificial. *Ciência e Cultura*, Viçosa, MG, 31(6):683-87p.
- COWAN, I.R., 1977. Stomatal behavior and environmet. *Adv. Bot. Res.* New York, 4:117-228p.
- DARCY, H., 1856. *Les fontaines publique de la Ville de Dijon*. Paris, Victor Dalmont, 592p.
- DASBERG, S. e J.W.BAKKER, 1970. Characterizing soil aeration under changing soil moisture conditions for bean growth. *Agronomy Journal* Washington, 62(6).689-92p.
- DA SILVA, E.L., 1982. Suscetibilidade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. goiano precoce a inundações temporárias do sistema radicular em diferentes fases do seu ciclo vegetativo. Piracicaba, Dissertação 77p.
- DAVIES, W.J., 1977. Stomatal Responses to water stress and light in plants grown in controlled environments on in the field. *Crop Science*, Madison, USA, 17:735-40p.

- DEMATTE, B.I.; E.A.BULISANI; L.D'A. ALMEIDA e S.ALVES. Irrigação do feijoeiro. Instituto Agronômico, Campinas, SP. 37:23p.
- DEMATTE, J.B.I.; J.D.I. DEMATTE; S.MYASAKA; L.D'A. ALMEIDA; T.IGUE e S. ALVES, (s.d.) Irrigação x adubação mineral x matéria orgânica em cultura de feijoeiro. Instituto Agronômico, Campinas, SP, 15:27p.
- DENMEAD, O.T. e R.H.SHAW, 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. J.* Washington, 54:385-90p.
- DENMEAD, O.T. e B.D.MILLAR, 1976. Field studies of the conductance of wheat leaves and transpiration. *Agron. J.* Washington, 68:307-11p.
- DOORENBOS, J. e W.O.PRUITT, 1975. Crop water requirements. Rome. FAO. *Irr. and Drainage*, 24:179p.
- DOORENBOS, J. e A.H. KASSAM, 1979. Yield response to water. Rome. FAO. *Irrigation and Drainage*, Paper nº 33:191p.
- DUBETZ, S., 1969. An unusual photonastism induced by drought in *Phaseolus vulgaris*. *Can. J. of Bot.*, Ottawa, Canadá, 47:1640-41p.
- DUBETZ, S. e P.S.MAHALLE, 1969. Effect of soil water stress on bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) at three stages of growth. *J.Am.Soc.Hort.Sci.* St. Joseph, 94:479p.

- EL NADI, A.H., 1969. Water relations of beans. I. Effects of water stress on growth and flowering. *Expl.Agric.* London, Inglaterra, 5:195-207p.
- ENCARNAÇÃO, C.R.F., 1980. Estudo da demanda de água do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Goiano Precoce. Piracicaba, ESALQ. 62p. Dissertação de mestrado.
- E.U.A., 1975. Soil survey stolf soil taxonomy - A basic sistem of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agriculture Handbook, nº 436 U.S. Government Printing Office. Washington, D.C.
- FARQUHAR, G.D., 1978. Feedforward responses of stomata to humidity. *Aust.J.Plant.Physiol.*, Melburne, Austrália, 5:787-800p.
- FEHR, W.R. e C.E.CAVINES, 1977. *Stages of soybeans development.* Ames, Iowa State University of Science and Technology. 11p. (Special Report, 80).
- FISCHER, V.J. e C.K.WEAVER, 1974. Flowring, pod set, e pode retention of Lima Bean in response to night temperatura humidity and soil moisture. *J.Am.Soc.Hort.Sci.* (Sol) 99(5).448-50p.
- FISCUS, E.L., 1979. Relationships betwen Root system water transport properties and plant size in phaseolus. *Plant Physiol.*, New York, 64: 770-73p.
- FRASER, D.E. e R.G.S.BIDWELL, 1974. Photosynthesis and photorespiration during the ontogeny of the bean plant. *Can.J.Bot.*, C.S.I.R.O., Canberra, Austrális, 52:2561-70p.

- GARDNER, W.R., 1960. Dynamic aspects of water availability to plants. *Soil Sci.*, New Brunwich, 89:63-73p.
- GARDNER, W.R. e R.H.NIEMAN, 1964. Lower limit of water availability to plants. *Science*, Washington, DC. 43:1460-62p.
- GLOVER, J., 1959. The apparent behavior of maize and sorghun stomato during and after drought. *J.Agric.Sci.* Cambridge, Inglaterra. 53: 412-6p.
- GODOY, O.P.; J.T.M.ABRAHÃO; C.GODOY JUNIOR; R.GODOY e A.PETTA. 1966. A irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Agric. Piracica* ba, SP, 41(4):145-53p.
- HAISE, H.R. e O.J.KELLEY, 1950. Causes of diurnal fluctuations of tensiometers. *Soil Science*, New Brunswick, 4:301-13p.
- HANSEN, G.K., 1974a. Resistance to water transport in soil and young wheat plants. *Acta Agric.Scand.*, Stockholm, 24:37-48p.
- HANSEN, G.K., 1974b. Resistance to water flow in soil and plants, plant water status, stomatal resistance and transpiration of italian ryegrass, as influenced by transpiration demand and soil water depletion. *Acta Agric.Second*, (s.l.) 24:37-48p.
- HILLEL, D., 1970. *Solo e água, fenômenos e princípios físicos*. Porto Alegre, RS, 1ª edição. Ed.EMMA 231p.

- HIRON, R.W.P. e S.T.C.WRIGHT, 1973. The Role of endogenous abscisic acid in the response of plants to stress. *Journal of Experimental Botany*. Oxford, 24(81):769-81.
- HOFFMAN, G.J.; J.A.JOBES; Z.HANSCOM e E.V.MAAS, 1978. Timing of environmental stress affects growth, water relations and salt tolerance of Pinto Bean. *Transactions of the ASAE*, Mich., USA, 713-18.
- HOFSTRA, G. e J.D.HESKETH, 1969. The effect of temperatura on stomatal aperture in different species. *Can. Journal of Botany*, C.S.I.R.O., Camberra, Austrália, 47:1307-1310.
- HSIAO, T.C.; J.C.O'TOOLE e V.S.TOMAR, 1979. Water stress as a constraint to crop production in the tropics. Apresentado na Conferência "Priorities for allevating soil-related constraints to food production in the Tropics". held at IRRI, Los Baños, Philippines, 4-8p.
- INFORZATO, R. e S.MIYASAKA, 1963. Sistema radicular do feijoeiro em dois tipos de solo do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, São Paulo, 38(22):477-81p.
- INSTITUTO AGRONÔMICO, 1982. Realizações do IAC; Novos cultivares. *O Agrônomo*. Campinas, SP, 34:26p.

- JANES, B.E., 1948.. The effect of varying amounts of irrigation on the composition of two varieties of snap beans. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* New York, 51:457-62p.
- JENSEN, R.C., 1981. Influence of water and salt stress on water relationships and carbon dioxide exchange of top and roots in beans. *New Phytol.* Cambridge, England, 87:285-295p.
- KANEMASU, E.T. e C.B.TANNER, 1969a. Stomatal difusion resistance of snap beans, I. Influence of leaf water potential. *Plant Physiol.* New York, 44:1547-52p.
- KANEMASU, E.T. e C.B.TANNER, 1969b. Stomatal difusion resistance on snap beans, II. Effect of light. *Plant Physiol.* New York, 44:1542-46p.
- KATTAN, A.A. e J.W.FLEMIN, 1956. Effect of irrigation at specific stages of development on yield, quality, growth and composition of beans. *Proc.Am.Soc.Hort.Sci.* New York, 68:329-42p.
- KUENEMAN, E.A.; D.H.WALLACE e P.M.LUDFORD, 1979. Photosynthetic measurement of field grown dry beans and their relations to selection for yield. *J.Am.Soc.Hort.Sci.*, St. Joseph, 104(4):480-82p.
- LANGE, O.L.; R.LOSCH; E.D.SCHULZE e L.KAPPEN, 1971. Responses of stomata to changes in humidity. *Planta*, Berlin, Alemanha, 100:76-86p.

- LAWN, R.J., 1982a. Response of four grain legumes to water stress in South-eastern Queensland. I. Physiological response mechanisms. *Aust. J. Agric. Res.* Melbourne, Austrālia, 33:481-96p.
- LAWN, R.J., 1982b. Response of four grain legumes to water stress in South-eastern Queensland. II. Plant growth and soil water extraction patterns. *Aust. J. Agric. Res.* Melbourne, Austrālia, 33:497-509p.
- LAWN, R.J., 1982c. Response of four grain legumes to water stress in South-eastern Queensland. III. Dry matter production, yield and water use efficiency. *Aust. J. Agric. Res.* Melbourne, Austrālia, 33: 511-521p.
- LEGARDA, L. e W.FORSYTHE, 1978. Soil water and aeration and Red bean production. II. Effect of soil aeration. *Turrialba*, Costa Rica, 28(3):175-7p.
- LEVIT, J., 1966. Resistance to water transport in plants - A misconception. *Nature*, London, Inghlaterra, 5061:527p.
- LEVITT, J., 1972. Responses of plants to environmental stress. Academic Press, 697p.
- LIBARDI, P.L.; K.REICHARDT; D.R.NIELSEN e J.W.BIGGAR, 1980. Simple field methods for estimating soil hydraulic conductivity. S.S.S.P.A. Detroit, Michigan, 44(1):3-7p.

- LINK, D.; E.C.COSTA e J.A.V.PANICHI, 1980. Efeito do desfolhamento artificial no rendimento de quatro variedades de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Centro Ciências Rurais*, Santa Maria, RS. 10(4):329-33p.
- LUCHIARI, J.A., 1978. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) para feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pelo método do balanço hídrico. Piracicaba, Dissertação, 59p.
- MACKLON, A.E.S. e P.E. WEATHERLEY, 1965. Controlled environment studies of the nature and origins of water deficits in plants. *New Phytol.*, Cambridge, England, 64:414-27p.
- MAGALHÃES, A.A. e A.A.MILLAR, 1978. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção do feijão. *Pesq. Agropec. Bras.* Brasília, DF, 13(2):55-60p.
- MAURER, A.R.; D.P.ORMOROD e N.J.SCOTT, 1969. Effect of five soil water regimes on growth and composition of snap beans. *Can.J.Plant Sci.* Ottawa, Canada, 49:271-78p.
- MILLAR, A.A. e W.R.GARDNER, 1972. Effect of the soil and plant water potentials on the dry matter production of snap beans. *Agron. J.* Washington, 64:559-62p.

- MOLDAU, Kh.A. e A.Y.SYBER, 1974. Effect of air humidity an the conductivity of stomates and mesophyll an bean leaves at two values of soil moisture. :663-8p.
- MUIRHEAD, W.A. e R.J.G.WHITE, 1981. The influence of soil water potential an the flowering pattern, pod set and Yield snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *Irrigation science*. Jerusalen, 3:45-56p.
- OMETTO, J.C., 1981. *Bioclimatologia Vegetal*. São Paulo. ed. Agronômica Ceres. 440p.
- O'TOOLE, J.C.; J.L.OZBUN e D.H.WALLACE, 1977. Photosynthetic response to water stress in *Phaseolus vulgaris*. *Physiol. Plant.* Oxford, England, 40:111-14p.
- PEET, M.M.; A.BRAVO; D.H.WALLACE e J.L.OZBUN, 1977. Photosynthesis, stomatal resistance, and enzyme activities in relation to yield of field-grown dry bean varieties. *Crop Science*, Madison, USA, 17:287-93p.
- RANZANI, G.; O.FREIRE e T.KINJO, 1966. *Carta de solos do município de Piracicaba*, Centro de Estudos de Solos. ESALQ-USP, Piracicaba, SP.
- REICHARDT, K.; P.L.LIBARDI e J.M.SANTOS, 1974. An analysis of soil water movement in the field. II. Water balance in a snap bean crop. In: *Centro de Energia Nuclear na Agricultura*. Piracicaba,SP. B.C. 22:19p.

- REICHARDT, K. 1975. Processos de transferência no sistema Solo-Planta-Atmosfera. 3<sup>a</sup> edição. Centro de Energia Nuclear na Agricultura-USP-CNEN e Fundação Cargill. 288p.
- REICOSKY, D.C. e J.T.RITCHIE, 1976. Relative importance of soil resistance and plant resistance in root water absorption. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Detroit, Michigan, 40:293-7p.
- RESENDE, M.; D.W.HENDERSON e E.FERERES, 1981. Frequência de irrigação, desenvolvimento e produção do feijão Kidney. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 16(3):363-70p.
- RITCHIE, J.T., 1974. Atmospheric and soil water influences on the plant water balance. *Agric. Meteorology*, Amsterdam, 14:183-98p.
- RITCHIE, J.T., 1981. Water dynamics in the soil - plant - atmosphere system. *Plant and Soil*. London, England, 58:81-96p.
- ROWSE, H.R. e D.GOODMAN, 1981. Axial resistance to water movement in broad bean (*Vicia faba*) roots. *J. of Exp. Bot.* Oxford, 32(128):591-98p.
- SAMUI, R.P. e S.KAR, 1981. Soil and plant resistance effects on transpirational and leaf water responses by groundnut to soil water-potential. *Aust. J. Soil. Res.*, Melbourne, Austrália, 19:51-60p.
- SANCHEZ-DÍAZ, M.F. e H.A.MOONEY, 1979. Resistance to water transfer in desert shrubs native to death valley, California. *Physiol. Plant.* New York, 46:139-46p.

- SÃO PAULO. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Instituto de Economia Agrícola; 1983. *Prognóstico 83/84*, 12:241p.
- SCHULZE, E.D.; O.L.LANGE; U.BUSCHBOM, L.KAPPEN e M.EVENARI, 1972. Stomatal responses to changes in humidity in plants growing in the desert. *Planta*, Berlim, Alemanha, 108:259-70p.
- SHERIF, D.W. e R.SINCLAIR, 1973. Flutuations in leaf water balance, with a period of 1 to 10 minutes. *Planta*, Berlim, Alemanha, 113: 215-28p.
- SHERIFF, D.W., 1974. Transient changes in water uptake into shoots following a change in environment. *J. of Exp. Botany*. Oxford, 25(86): 575-579p.
- SHERIF, D.W. e H.MEIDNER, 1974. Water pathways in leaves of *Hedera helix* L. and *Tradescantia virginiana* L. *Jor. of Exp. Bot.* Oxford, 25(89):1147-56p.
- SHOLANDER, D.F.; H.T.HAMMEL; E.D.BRADSTREET e E.A.HEMMINGSEN, 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, Washington, DC. 148: 339-46p.
- SILVEIRA, P.M. e L.F.STONE, 1979. Balanço de água na cultura do feijão em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Pesq. Agropec. Bras.* Brasília, DF. 14(2):111-15p.

- SILVEIRA, P.M.; T.A.P.CASTRO e L.S.STONE, 1980. Idade de floração e vingamento de flores em duas cultivares de feijão. *Pesq.Agropec. Bras.* Brasília, DF., 15(2):229-32p.
- SILVEIRA, P.M.; C.M.GUIMARÃES; L.F.STONE e J.KLUTHCOUSHI, 1981. Avaliação de cultivares de feijão para resistência à seca baseada em dias de estresse de água no solo. *Pesq.Agropec.Bras.* Brasília, DF, 16(5):693-99p.
- SLAVIK, B., 1974. *Methods of studying plant water relations.* Nova York; Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 449p.
- STANSELL, J.R. e D.A.SMITTLE, 1980. Effect of irrigation regimes on yield and water use of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J.Amer. Soc.Hort.Sci.*, St. Joseph, 105(6):869-73p.
- STEWART, C.R.; C.J.MORRIS e J.F.THOMPSON, 1966. Changes in aminoacid content of excised leaves during incubation. II. Role of sugar in the accumulation of proline in wilted leaves. *Plant Physiology*, New York, 41:1585-90p.
- TAERUM, R., 1973. Occurrence of inverted water potential gradients between soil and bean roots. *Plant Physiology*, New York, 28:471-75p.
- TAYLOR, H.M. e B.KLEPPER, 1975. Water uptake by cotton root systems: and examination of assumption in the single root model. *Soil Science*, New Brunswick, NJ, 120:57-67p.

- TURNER, N.C., 1974. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum, and tobacco under field conditions. *Plant Physiol.* New York, 53:360-65p.
- TURNER, N.C. e J.E.BEGG, 1981. Plant-water relations and adaptation to stress. *Plant and Soil*, London, England, 58:97-131p.
- TURNER, N.C., 1982. The role of shoot characteristics in drought resistance of crop plants. In: *Droug Resistance in Crops With Emphasis on Rice*. IRRI. Los Baños, Laguna, Phillipines, 411p.
- VEGA, J.D. e F.CANTU, 1982.. Analisis de la relacion Clima-Agua de algunos cultivos como apoyo a la calendarizacion y cuantificacion del āgua de riego. *Turrialba*, Costa Rica, 32(2):155-159p.
- VOLKENBURGH, van E. e R.E.CLELAND, 1981. Control of light-induced bean leaf expansion: Role of osmotic potential, wall yield stress, and hidraulic conductivity. *Planta*, Berlin, Alemanha, 153:572-7p.
- WALKER, G.K. e J.L.HATFIELD, 1979. Test of the stress-degree-day concept using multiple planting dates of red kidney beans. *Agronomy Journal*, Washington, DC, 71:967-71p.
- WILSON, J.M., 1976. The mechanism of chill - and drought - hardining of *Phaseolus vulgaris* leaves. *New Phytol.* Cambridge, England, 76: 257-70p.

ZISKA, L.H. e A.E.HALL, 1983. Seed yields and water use of cowpeas (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) subjected to planned-water-deficit irrigation. *Irrig.Sci.*, Jerusalem, 3:237-45p.

ZUR, B.; J.W.JONES; K.J.BOOTTE e L.C.HAMMOND, 1982. Total resistance to water flow in field soybeans: II. Limiting soil moisture. *Agron. J.*, Washington, 74:99-105p.