

ANTONIO LUCINEUDO DE OLIVEIRA FREIRE

EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE ALGUNS ASPECTOS BIOFÍSICOS, BIOQUÍMICOS E NO DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO-VAGEM (*Phaseolus vulgaris* L.)

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração Fisiologia Vegetal, para obtenção do grau de "MESTRE".

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1990

DECLARADO

ASSINADO

Dr. Cláudio

BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA
UFPA

ANTONIO TEIXEIRA DE OLIVEIRA FERRE

ESTUDOS DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE ALGUNS ASPECTOS
BIOLÓGICOS, BIOQUÍMICOS E NO DESENVOLVIMENTO
DO FENÓMENO (S. de Oliveira)

Exemplar depositado na Biblioteca da
Faculdade de Letras da Universidade
Federal do Pará, Belém, em
1950. Autor: S. de Oliveira.
Folhas: 10. Tipo: Monografia.
de MESTRE.



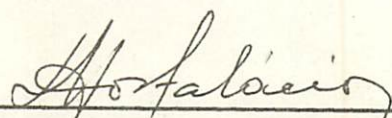
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA

FAVIA - MINAS GERAIS

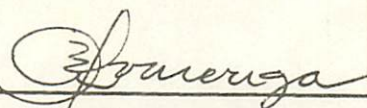
1950

EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE ALGUNS ASPECTOS BIOFÍSICOS,
BIOQUÍMICOS E NO DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO-VAGEM
(Phaseolus vulgaris L.)

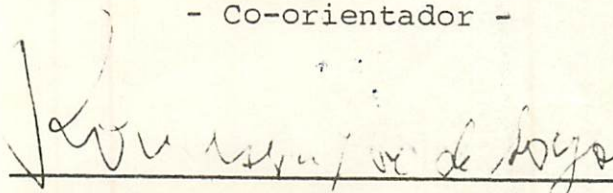
APROVADA:



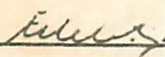
Prof. Sarasvate Hostalácio
- Orientador -



Prof. Amauri Alves de Alvarenga
- Co-orientador -



Prof. Rovilson Jose de Souza
- Co-orientador -



Prof. Enivanis de Abreu Vilela

Aos meus pais Luiz e Maria,
meus irmãos, tios, primos,
cunhados e sobrinhos,
pelo carinho e incentivo.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de expressar seus sinceros agradecimentos às seguintes instituições e pessoas:

Escola Superior de Agricultura de Lavras na pessoa do Professor Juventino Júlio de Souza, pela oportunidade de realização do curso de mestrado;

Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino e Pesquisa (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para a execução do experimento;

Sarasvate Hostalácio, pela valiosa e segura orientação, sugestões e ensinamentos;

Amauri Alves de Alvarenga, pela amizade, incentivo e sugestões apresentadas ao trabalho;

Enivanis de Abreu Vilela e Rovilson José de Souza, pelas sugestões.

Luiz Edson Mota de Oliveira, pela amizade, sugestões

apresentadas ao trabalho e incentivo durante a realização do curso;

Agostinho Roberto de Abreu, pelas orientações nas análises estatísticas;

Genildo Bandeira Bruno e José de Arimatéa Menezes de Lucena, pelo apoio e incentivo para a realização do curso.

Aos colegas do curso de Mestrado em Fisiologia Vegetal e demais cursos de pós-graduação, pela colaboração e agradável convivência durante o decorrer do curso.

Aos colegas de república Carlos Hissao, Jacinto Luna, Iron Dantas, Sebastião Konkel e Ricardo Elesbão pela convivência e companheirismo.

Aos amigos José Romilson Paes de Miranda, Raunira da Costa Araújo, Cássia Regina Moraes, Lúcia Moraes Lira e Maria Helena de Freitas, pelo apoio nos momentos difíceis, carinho e agradável convivência durante todos esses anos.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

ANTONIO LUCINEUDO DE OLIVEIRA FREIRE, filho de Luiz Paulino Freire e Maria de Oliveira Freire, nasceu em Iguatu, Estado do Ceará, a 20 de julho de 1964.

Iniciou o curso de 1º grau na Escola de 1º grau Presidente Vargas, concluindo-o no Colégio Estadual Wilson Gonçalves, na cidade de Crato, Estado do Ceará.

Cursou o 2º grau na Escola Agrotécnica Federal de Crato, de 1980 a 1982.

Em agosto de 1983 iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal da Paraíba, Campus III, em Areia, concluindo o em janeiro de 1988.

Iniciou o curso de pós-graduação a nível de Mestrado em Agronomia, área de concentração Fisiologia Vegetal, na Escola Superior de Agricultura de Lavras, Minas Gerais, em março de 1988, concluindo-o em dezembro de 1990.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. A água e o crescimento das plantas	4
2.2. Efeitos do déficit hídrico no metabolismo de ni- trogênio	7
2.3. Fisiologia das plantas sob déficit hídrico	8
2.4. O déficit hídrico e a produção vegetal	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Material vegetal e condições de cultivo	11
3.2. Características avaliadas	13
3.2.1. Análises biofísicas	13
3.2.2. Análises bioquímicas	14
3.2.2.1. Extrações	14
3.2.2.2. Dosagens	15
3.2.2.3. Atividade da redutase de nitrato 'in vivo'	16
3.2.2.4. Características fenológicas	17
3.3. Análises estatísticas	18

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1. Potencial hídrico foliar e teor relativo de água	20
4.2. Condutância estomática e taxa de transpiração ..	25
4.3. Temperatura foliar	31
4.4. Atividade da redutase de nitrato 'in vivo'	33
4.5. Concentrações de açúcares solúveis totais e açú- cares redutores	36
4.6. Concentrações de proteínas e aminoácidos totais.	42
4.7. Produção de matéria seca de raízes e da parte aé rea	46
4.8. Número de flores e percentagem de vingamento flo ral	50
4.9. Número de vagens por planta e peso de vagens ...	54
5. CONCLUSÕES	58
6. RESUMO	60
7. SUMMARY	62
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
APÊNDICE	85

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Potencial hídrico foliar das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○)	21
2	Teor relativo de água das plantas de feijão vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○)	22
3	Condutância estomática das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○)	27
4	Taxa de transpiração das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○)	28

FIGURA

PÁGINA

- 5 Radiação fotossinteticamente ativa incidin -
do em plantas de feijão-vagem, cultivares Ma
carrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas nor
malmente (●—●) e submetidas ao estresse hí
drico (○—○) 30
- 6 Temperatura foliar das plantas de feijão-va
gem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde
Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e subme
tidas ao estresse hídrico (○—○) 32
- 7 Atividade da redutase de nitrato 'in vivo' ,
das plantas de feijão-vagem, cultivares Ma -
carrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas nor
malmente (●—●) e submetidas ao estresse hí
drico (○—○) 34
- 8 Concentrações de açúcares solúveis totais em
plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão
Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmen
te (●—●) e submetidas ao estresse hídrico
(○—○) 38
- 9 Concentrações de açúcares redutores em plan
tas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Ras
teiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente
(●—●) e submetidas ao estresse hídrico(○—○) 41

FIGURA

PÁGINA

- 10 Concentrações de proteínas em plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○) 43
- 11 Concentrações de aminoácidos totais em plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico(○—○) 45

LISTA DE QUADROS

QUADROS

Página

- | | | |
|---|---|----|
| 1 | Resumo das análises de variância para as características: número de flores por planta, percentagem de vingamento floral, número de vagens por planta, peso de vagens, peso da matéria seca de raízes e da parte aérea. Lavras, Minas Gerais, 1990 | 47 |
| 2 | Valores médios do peso da matéria seca da parte aérea das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, submetidas ao estresse hídrico em três estádios do biociclo. ESAL, Lavras, 1990 | 49 |
| 3 | Valores médios do número de flores das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, submetidas ao estresse hídrico em três estádios do biociclo. ESAL, Lavras, 1990 | 52 |

QUADROS

Página

4	Valores médios da percentagem de vingamento floral das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, submetidas ao estresse hídrico em três estádios do biociclo. ESAL, Lavras, 1990	53
5	Valores médios do número de vagens das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, submetidas ao estresse hídrico em três estádios do biociclo. ESAL, Lavras, 1990	55
6	Valores médios de peso de vagens das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, submetidas ao estresse hídrico em três estádios do biociclo. ESAL, Lavras, 1990	55

1. INTRODUÇÃO

O feijão-vagem (Phaseolus vulgaris L.) é uma hortaliça de importância mundial, constituindo-se na principal representante da família das leguminosas no centro-sul. Esta cultura possui cultivares de crescimento indeterminado, que exigem tutoramento, sendo as mais cultivadas no centro-sul. Existem também cultivares de crescimento determinado, que são apropriadas para a cultura rasteira (FILGUEIRA, 1981). No entanto, poucos dados são disponíveis a respeito do efeito da deficiência hídrica nesta hortaliça, bem como qual o período do seu ciclo fenológico mais afetado pela falta de água. Estas informações são importantes para se saber o grau de tolerância e as possibilidades de se produzir em condições de baixa disponibilidade de água.

A disponibilidade de água apresenta-se como um dos fatores mais limitantes da produção (LAING, 1979), fato este que tem gerado grande interesse em quantificar o efeito da água sobre o rendimento das culturas (EMBRAPA, 1976).

A redução da disponibilidade de água no solo pode induzir o fechamento parcial ou total dos estômatos, o que consti-

tui um importante mecanismo de defesa da planta contra a desidratação, proporcionando porém, uma redução na assimilação de CO_2 , e conseqüentemente uma alteração na quantidade de fotossintatos (WINTER, 1976).

O limite de potencial hídrico para redução na assimilação de CO_2 varia amplamente (de -0,5 a -2,5 MPa) para diferentes espécies e condições experimentais. Esta correlação tem encontrado subsídios nos resultados obtidos por BOYER (1976). Geralmente, o declínio na assimilação de CO_2 associado à redução do potencial hídrico foliar tem sido atribuído primeiramente ao fechamento dos estômatos e ao conseqüente aumento na resistência estomática. Desta forma, o estômato funciona como uma válvula reguladora visando minimizar a perda de água, para o ganho de uma determinada quantidade de carbono (BRADFORD & HSIAO, 1982).

O nível de estresse que inicie perturbações no funcionamento das plantas depende sobretudo dos processos em questão, bem como da duração do estresse e condicionamento. Em muitos casos, o limite corresponde a valores altos de potencial hídrico e, marcadamente, pequenas reduções no estado hídrico do tecido podem causar respostas diferentes de deficiência hídrica. Na verdade, para alguns processos, como o crescimento celular, o limite pode não existir (BRADFORD & HSIAO, 1982).

O desenvolvimento do déficit hídrico na planta é o resultado de uma combinação bastante complexa de fatores edáficos, da planta e atmosféricos, que controla a taxa de absorção e perda de água, criando, muitas vezes, uma situação de déficit hídrico (VAADIA et alii, 1961). O déficit hídrico nas plantas afe-

ta praticamente todos os processos do seu desenvolvimento por mo dificar sua morfologia, anatomia e fisiologia. No entanto, o ní- vel de estresse hídrico no qual o crescimento da planta começa a ser afetado constitui ponto de controvérsia e nem todas as culti- vares apresentam a mesma resposta ao déficit hídrico, o que indi- ca haver variação na resistência a essa condição adversa.

Devido à carência de informações seguras quanto ao fator água para esta cultura, foi conduzido este trabalho, visan- do avaliar:

- a influência do déficit hídrico no crescimento e desenvolvimento, assim como no estabelecimento de flores e fru- tos do feijão-vagem, cultivares 'Macarrão Rasteiro AG-274' e 'Verde Baixo';

- o comportamento do potencial hídrico, temperatura foliar, taxa de transpiração e condutância estomática dessas plantas sob déficit hídrico;

- a influência do déficit hídrico nos teores de açú- cares solúveis totais, açúcares redutores, aminoácidos e proteí- nas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A água e o crescimento das plantas

A limitação do suprimento de água sempre representou um sério problema para várias culturas que são exploradas em áreas onde ocorre o fenômeno da seca, e as respostas das plantas ao déficit hídrico levaram os pesquisadores a procurar características fisiológicas que possam explicar melhor o comportamento das plantas submetidas a condições hídricas severas (MARCANO AR-CAY, 1976).

O crescimento e desenvolvimento de uma planta dependem, basicamente, da continuação do processo de divisão celular, iniciação progressiva dos tecidos e órgãos, da diferenciação e alongamento das células até o ponto em que as características da própria planta são atingidas (BEGG & TURNER, 1976).

* A sensibilidade do processo de alongamento celular ao déficit hídrico foi demonstrada claramente em trabalhos com milho, onde o alongamento foliar diminuiu rapidamente em potenciais hídricos inferiores a $-0,2$ MPa (HSIAO et alii, 1970) e foi

(X)

paralisado em potenciais hídricos foliares de -0,7 a -0,9 MPa (ACEVEDO et alii, 1971).

O estresse hídrico afeta de muitas formas o crescimento da planta, ora por ação direta, ora por ação indireta, como o caso da fotossíntese que é reduzida não só pelo fechamento estomático, como também pela redução na absorção de CO₂. Entretanto, a não continuidade da fotossíntese causada pelo déficit hídrico pode se dar pela redução na translocação de água e solutos, impedindo o processo fotossintético pela acumulação do seu produto final (KRAMER, 1969). Por outro lado, uma redução no crescimento provoca diminuição na superfície fotossintética (KARAMANOS et alii, 1982) e na quantidade relativa de carboidratos disponíveis para o crescimento (KRAMER, 1969). Desta forma, há uma redução na taxa de crescimento da cultura, particularmente durante estádios iniciais do desenvolvimento, quando há incompleta interceptação de luz (BEGG & TURNER, 1976), culminando num baixo acúmulo de matéria seca total (MILLAR & GARDNER, 1972; BABALOLA & FAWUSI, 1980; De JONG & PHILLIPS, 1982; MARKHART, 1985).

A manutenção da turgescência celular, necessária para a continuação do processo de alongamento celular e crescimento da planta, durante condições limitadas de água tem recebido considerável atenção por parte dos pesquisadores (HSIAO et alii, 1970). Se o potencial de pressão é mantido enquanto o potencial hídrico do tecido é reduzido, o potencial osmótico pode ser reduzido, levando a planta a um ajustamento osmótico. No entanto, mudanças no potencial osmótico são necessárias para que a turgescência seja mantida sob condições de estresse moderado, e sua re

OK
*
OK
*
OK
*

dução pode ser feita pela desidratação, concentrando os solutos existentes, ou pelo aumento do teor de soluto celular tanto pela transferência como pela produção interna de substâncias osmoticamente ativas (TURNER et alii, 1978).

O ajustamento osmótico tem sido considerado como um mecanismo influenciador de vários processos fisiológicos, mantendo os estômatos fechados e a fotossíntese reduzida (TURNER et alii, 1978; JONES & RAWSON, 1979; ACKERSON et alii, 1980; ACKERSON & HEBERT, 1981), adiando o enrolamento e morte da folha sob condições de baixo potencial hídrico foliar (HSIAO et alii, 1984) e mantendo o crescimento radicular a baixo potencial de água no solo (TURNER, 1986).

Os tipos de solutos que se acumulam sugerem que o ajustamento osmótico não é um processo simples (TURNER, 1986). Enquanto algumas espécies acumulam na sua maioria açúcares solúveis (MUNNS et alii, 1979; ROSSIELLO et alii, 1981), outras acumulam também aminoácidos (CHEN et alii, 1964; BARNETT & NAYLOR, 1966; SINGH et alii, 1973; FUKUTOKU & YAMADA, 1981; TURNER & BEGG, 1981; KOEHLER et alii, 1982; DROSSOPOULOS et alii, 1985; OLIVEIRA, 1985), ácidos orgânicos e íons, tais como K^+ , cloreto e nitrato (FORD & WILSON, 1981). Portanto, o ajustamento osmótico parece ser um importante mecanismo de resistência à seca, mantendo os processos produtivos sob condições limitadas de água. Por outro lado, pode ainda ter um papel mais significativo na sobrevivência do ápice e folhas em desenvolvimento, ao invés de simplesmente manter a fotossíntese e o crescimento de folhas e raízes (TURNER, 1986).

2.2. Efeitos do déficit hídrico no metabolismo do nitrogênio

A deficiência hídrica, além de provocar mudanças na morfologia, pode também afetar uma série de processos fisiológicos. No estudo das mudanças bioquímicas em plantas sob condições de déficit hídrico, atenção maior tem sido dada a mudanças nos compostos nitrogenados (MATTAS & PAULI, 1965).

O nitrato, que é a principal forma de nitrogênio absorvida pelas plantas superiores, é reduzido a amônia e em seguida incorporado em aminoácidos. O primeiro passo desse processo é a conversão do nitrato a nitrito pela enzima redutase do nitrato. A atividade desta enzima pode ser reduzida pela diminuição de luz, baixa fertilidade, diferenças genotípicas (MATTAS & PAULI, 1965) e pela baixa disponibilidade de água (MATTAS & PAULI, 1965; IZQUIERDO & HOSFIELD, 1981; APARICIO-TEJO & SÁNCHEZ-DIAZ, 1982; BELESKY et alii, 1982; IDSO & REGINATO, 1982; OLIVEIRA, 1985; VYAS et alii, 1985; FLAGLER et alii, 1987; VENKATARAMANA et alii, 1987; RODRIGUES, 1988).^{*}No entanto, não existe um consenso quanto à explicação para o efeito depressivo do déficit hídrico sobre a atividade desta enzima, que pode ser devido ao aumento da taxa de degradação da enzima (BARDZIK et alii, 1971) ou redução na síntese da própria proteína (MORILLA et alii, 1973; BARNETT & NAYLOR, 1966; BENZIONI & HEIMER, 1977). Para SHANER & BOYER (1976), o efeito do déficit hídrico recai sobre a redução do fluxo de nitrato para as folhas, enquanto SAWHNEY et alii (1978) têm sugerido a falta de poder redutor proveniente da fo -

tossíntese, durante o estresse hídrico, o que poderia explicar a reduzida atividade da redutase de nitrato sob deficiência hídrica.

* 2.3. Fisiologia das plantas sob déficit hídrico

O potencial hídrico foliar é uma medida do estado energético da água nos tecidos, e constitui a força motora do fluxo da água na planta (ELFVING et alii, 1972). Tem-se observado, para muitas espécies, que sob condições de deficiência hídrica, há um decréscimo gradual no potencial hídrico da planta (CLARK & HILER, 1973; RAWSON et alii, 1978; OLIVEIRA, 1985; RODRIGUES, 1988).

A absorção de água pela planta se dá através de um gradiente de potencial hídrico decrescente, desencadeado pela transpiração, processo que se encarrega da dissipação parcial ou total da radiação absorvida pela planta, em virtude do alto calor específico que a água possui, reduzindo assim sua temperatura (SANTOS FILHO, 1985).

Sob baixa disponibilidade de água no solo ou em presença de grande demanda hídrica, a planta se utiliza de um dos principais mecanismos de controle de perda d'água, que é o fechamento dos estômatos. Esse fechamento dá início a uma série de processos potencialmente prejudiciais à fotossíntese, através do aumento da resistência estomática à difusão do vapor d'água e

CO₂ (SLATYER, 1967; HSIAO, 1973; COELHO, 1980; JUNG & SCOTT, 1980; FISCUS et alii, 1984), diminuição da taxa de transpiração (RAWSON et alii, 1978; COELHO, 1980; SANTOS FILHO, 1985) e aumento da temperatura foliar (WIEGAND & NANKEN, 1966; JACKSON et alii, 1977; EHRLER et alii, 1978a; EHRLER et alii, 1978b; REI - COSKI et alii, 1980; SCOTT et alii, 1981).

O principal mecanismo da redução da taxa de transpiração das plantas, o fechamento estomático induzido pelo déficit hídrico (HSIAO, 1973; IZQUIERDO & HOSFIELD, 1981), não é provocado apenas pela perda de turgescência da folha, mas provavelmente por uma perda de solutos das células-guardas, principalmente potássio (HSIAO & ACEVEDO, 1974).

2.4. O déficit hídrico e a produção vegetal

A importância do vingamento de estruturas reprodutivas é evidente para a determinação da produção final de uma cultura. O feijoeiro produz um número muito maior de flores que de frutos, e esse baixo vingamento floral e de frutos em desenvolvimento é uma das principais causas da redução da produção dessa cultura (SUBHADRABANDHU et alii, 1978; MENDES, 1983).

Apesar da resposta diferencial à falta de água em vários estádios do desenvolvimento não ter sido relatada para todas as culturas (BEGG & TURNER, 1976), há considerável evidência que determinadas culturas são especificamente sensíveis ao défi-

cit hídrico na época da iniciação floral e durante o florescimento, como o feijoeiro (MAGALHÃES et alii, 1979; OLIVEIRA, 1987) e, em menor extensão, durante o desenvolvimento do fruto e semente, caso da soja (DOSS et alii, 1974) e do feijão-vagem (MAURER et alii, 1969; GONZALEZ & WILLIAMS, 1979).

Os estádios de florescimento e frutificação no feijoeiro, são considerados críticos para o desenvolvimento da cultura, estando relacionados com sua baixa produção (STANSELL & SMITTE, 1980), sendo que a ocorrência do déficit hídrico nas referidas fases provoca redução no número de flores (HOSTALÁCIO & VÁLIO, 1984), de vagens e de sementes por vagem (ROBINS & DOMINGO, 1956).

A ocorrência de déficit hídrico no início da floração, plena floração e no início da frutificação do feijoeiro provoca abscisão de flores, polinização deficiente, redução no número de vagens e grãos por vagem, levando a uma baixa produção (MAGALHÃES et alii, 1979; OLIVEIRA, 1987). Portanto, irrigações mais frequentes visando a manutenção de potenciais hídricos mais altos parece ser ideal para o desenvolvimento e produção do feijoeiro, desde que as condições de aeração no meio radicular não atinjam níveis críticos (LEE et alii, 1977; HOSTALÁCIO & VÁLIO, 1984).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material vegetal e condições de cultivo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Biologia da Escola Superior de Agricultura de La vas, utilizando-se plantas de feijão-vagem (Phaseolus vulgaris L., cultivares Macarrão Rasteiro AG-274 e Verde Baixo) de crescimento determinado.

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, em um fatorial 2 x 4, com 4 repetições, onde os tratamentos consistiram de duas cultivares de feijão-vagem, cultivadas com estresse hídrico aplicado em três estádios do biociclo (crescimento vegetativo, floração e frutificação) e sem estresse hídrico.

As plantas foram cultivadas em vasos com capacidade de 7,0 litros, tendo como substrato uma mistura de solo, tipo La tossolo roxo distrófico, e esterco de curral curtido na proporção de 3:1. O substrato foi tratado com Brometo de metila na base de $80 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ de substrato durante 48 horas, recebendo em seguida uma adubação uniforme, na base de 20-90-40 kg/ha de N,

P_2O_5 e K_2O , sob a forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio respectivamente. Os resultados das análises químicas e granulométrica do solo utilizado estão apresentados no Quadro 1A (Apêndice).

A semeadura foi feita colocando-se cinco sementes em cada vaso, a uma profundidade aproximada de 3,0 cm. Após a germinação, procedeu-se o desbaste, permanecendo apenas duas plantas por vaso.

As plantas foram irrigadas diariamente até que se iniciasse a percolação da água no vaso. A imposição do estresse hídrico consistiu da suspensão da irrigação, quando as plantas atingiram o estágio do biociclo correspondente ao tratamento de estresse. As plantas que não sofreram estresse (controle) receberam irrigação normalmente. A suspensão da irrigação persistiu até que ocorressem o murchamento e o enrolamento das folhas e uma alteração no comportamento estomático, ou seja, quando a condutância estomática e a taxa de transpiração alcançassem valores próximos a zero. A partir deste ponto o solo foi novamente irrigado até o início da percolação da água no vaso, anotando-se o período de recuperação das plantas.

3.2. Características avaliadas

3.2.1. Análises biofísicas

O potencial hídrico foliar foi determinado pelo método da Bomba de Pressão (SCHOLANDER et alii, 1965). As folhas antes de serem destacadas da planta, foram envolvidas em papel alumínio e, imediatamente após o corte, colocadas dentro de uma caixa de isopor contendo gelo coberto com papel alumínio, a fim de evitar a perda de água pela folha. Esta determinação foi realizada no período do dia compreendido entre 9:00 e 10:00 horas.

O teor relativo de água foi determinado em discos foliares, segundo metodologia proposta por CATSKY (1960), modificada da seguinte forma: três discos foliares de 1,5 cm de diâmetro foram retirados do centro do limbo foliar e imediatamente pesados para obtenção do peso da matéria fresca (PF) e em seguida submersos em placas de Petri contendo água destilada, e colocados em geladeira, a $\pm 5^{\circ}\text{C}$ a fim de diminuir a respiração. Passado este período, os discos foram secados levemente em lenços de papel e novamente pesados, para a obtenção do peso túrgido (PT). Em seguida, os discos foram levados para estufa com circulação forçada, a 70°C , até atingirem peso constante e posteriormente pesados para a quantificação da matéria seca (PS). O teor relativo de água (TRA) foi calculado segundo fórmula proposta por WEATHERLEY (1950):

$$\text{TRA} = \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PT} - \text{PS}} \times 100$$

Com o auxílio do porômetro de difusão LI-1600 Steady State, fabricado pela LI-COR, inc/LI-COR, Ltda, foram determinados a radiação fotossinteticamente ativa, condutância estomática, taxa de transpiração e temperatura foliar, realizados entre 8:00 e 9:00 horas.

3.2.2. Análises bioquímicas

3.2.2.1. Extrações

A fim de se dosar açúcares solúveis totais, açúcares redutores e aminoácidos, procederam-se as extrações em metanol, clorofórmio e água (MCW) na proporção 12:5:3 (v/v/v). Os materiais vegetais foram homogeneizados em 10 ml de MCW por grama de tecido foliar, num homogeneizador Polytron TE 102 durante 20 segundos e centrifugados 3 vezes a 3.000 rpm, durante 3 minutos. Em seguida, o sobrenadante foi colocado em funil de separação, adicionando-se 1 ml de clorofórmio e 1,5 ml de água destilada para cada 4 ml de sobrenadante sob agitação, e colocado em banho-maria a 30°C por 2 horas, para evaporar o clorofórmio.

Para extração de proteínas, utilizou-se o precipitado obtido da extração supra citada, ressuspendendo-o 3 vezes com NaOH 0,1N através de centrifugação a 3.000 rpm durante 3 minutos

onde, para cada grama de material, foram utilizados 5 ml de NaOH.

3.2.2.2. Dosagens

a) Açúcares solúveis totais

O teor de açúcares solúveis totais foi dosado de acordo com metodologia de Yemm & Willis (1954), citado por ALVARENGA (1987). Tomou-se 1 ml do extrato e 2 ml do reagente antro-na 0,2% em H_2SO_4 concentrado. Após agitação, procedeu-se o aquecimento em banho-maria a $100^\circ C$ por 3 minutos. Como padrão, utilizaram-se soluções de glicose 0,33 mM, na faixa de 12 a 60 $\mu g/ml$, com absorbâncias lidas em espectrofotômetro a 620 nm.

b) Açúcares redutores

Seguindo-se a metodologia descrita por Miller (1959), citada por ALVARENGA (1987), adicionou-se 1 ml de dinitrosalicilato e 1,5 ml de água destilada em 0,5 ml de extrato. Os tubos foram aquecidos em banho-maria a $100^\circ C$ por 15 minutos e esfriados à temperatura ambiente. Após completado o volume para 5 ml com água destilada, leram-se as absorbâncias a 540 nm. O padrão utilizado foi glicose 10 mM, na faixa de 2 a 10 $\mu mols/ml$.

c) Aminoácidos

A dosagem do teor de aminoácidos foi feita de acordo com o método proposto por Cocking & Yemm (1955), citado

por ALVARENGA (1987), utilizando-se 1 ml de extrato, 0,5 ml de tampão citrato pH 5,0 a 0,2 M, 0,2 ml de ninhidrina a 5% (p/v) em metilcelosolve, e 1 ml de KCN a 2% (v/v) de uma solução 0,01 M em metilcelosolve. Após agitação, procedeu-se o aquecimento em banho-maria a 100°C por 20 minutos e, após esfriamento à temperatura ambiente, completou-se o volume para 4 ml com etanol 60%. As absorvâncias foram lidas em espectrofotômetro a 540 nm e o padrão utilizado foi glicina, na faixa de 15 a 75 µg/ml.

d) Proteínas

A quantificação do teor de proteínas foi feita seguindo-se o método de BRADFORD (1976). Para preparar o reagente, diluiu-se 100 mg de Comassie blue G250 em 50 ml de etanol 95%. Feito isso, adicionou-se 100 ml de H₃PO₄ a 85% (p/v) e ajustou-se o volume para 1 litro com água destilada. A determinação do teor de proteínas foi feita adicionando-se 5 ml do reagente a 0,1 ml do extrato, com leituras de absorvâncias realizadas num espectrofotômetro a 595 nm. O padrão utilizado foi BSA na faixa de 20 a 100 µg/0,1 ml.

3.2.2.3. Atividade da redutase de nitrato 'in vivo'

A atividade da redutase de nitrato 'in vivo' foi determinada pelo método descrito por MEGURO & MAGALHÃES (1983), com

modificações. Amostras foliares pesando cerca de 200 mg, cortadas em segmentos de aproximadamente 3 mm, foram introduzidas em 5 ml de um meio de incubação contendo tampão fosfato a 0,1M, pH 7,5, nitrato de potássio 50 mM e propanol 1% (v/v). As amostras foram em seguida submetidas a infiltração a vácuo durante 2 minutos. Decorrido este tempo, foi introduzido ar e a operação repetida. A seguir, as amostras foram transferidas para banho-maria com agitação à temperatura de 30°C e no claro. Decorridos 30 minutos, foram retiradas alíquotas de 2 ml e adicionados 1 ml de sulfanilamida a 1% (p/v) em HCl 1,5N, 1 ml de N-2-naftil etileno diamino diHCl a 0,02% (p/v) e 1,8 ml de água destilada. As absorções foram lidas a 540 nm, sendo a atividade da enzima expressa em $\mu\text{moles de NO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{MF} \cdot \text{h}^{-1}$.

3.2.2.4. Características fenológicas

a) Número de flores e percentagem de vingamento floral

O controle do número de flores foi feito duas vezes por dia, a partir do início da antese, utilizando-se fios de lã de cores diferentes ou combinações de duas ou mais cores. A percentagem de vingamento floral foi calculada baseada no número de flores marcadas e no número de vagens colhidas.

b) Número de vagens por planta

A colheita das vagens foi realizada quando estas atingiram o desenvolvimento máximo, aproximadamente 20 cm de comprimento. Após a colheita, procedeu-se a contagem do número de vagens em cada planta, sendo que para esta característica, os dados obtidos representaram o número médio de vagens das plantas de cada parcela.

c) Peso de vagens

Os dados foram obtidos através da pesagem das vagens, sendo que esses dados representaram a média das plantas de cada parcela.

d) Produção de matéria seca de raízes e da parte aérea

Após a colheita das vagens, a parte aérea das plantas foi seccionada a 5,0 cm de altura da superfície do solo. Foi considerada como parte aérea apenas os ramos e folhas. As raízes foram retiradas de cada vaso e lavadas em peneira de náilon, sob jatos de água. Os materiais correspondentes a raízes e parte aérea foram levados à estufa com circulação forçada para secagem a 70°C, até atingirem peso constante, e posteriormente pesados.

3.3. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância de acordo com metodologia apresentada por GOMES (1984). Para fins de análises estatísticas, os dados de percentagem de vingamento floral foram transformados para $\text{arc sen } \sqrt{\%}$, e os dados de número de flores e de vagens por planta foram transformados para \sqrt{x} .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Potencial hídrico foliar e teor relativo de água

Com a suspensão da irrigação, observou-se uma crescente redução no potencial hídrico foliar (Figura 1) e no teor relativo de água (Figura 2) em relação a cultivares e estádios do biociclo estudados. Os menores valores de potencial hídrico foliar e teor relativo de água foram verificados no final do período de estresse para as duas cultivares e três estádios, com exceção da cultivar Verde Baixo no estágio de crescimento (Figura 1D), onde o mais baixo potencial hídrico foi observado 2 dias após a suspensão da irrigação.

Analisando-se as Figuras 1 e 2, verifica-se que quando o estresse hídrico foi imposto, as reduções no teor relativo de água foram muito mais acentuadas do que as do potencial hídrico foliar, mostrando que o teor relativo de água poderia estar refletindo as reais condições em que as plantas se encontravam, sob deficiência hídrica. Embora o potencial hídrico foliar e

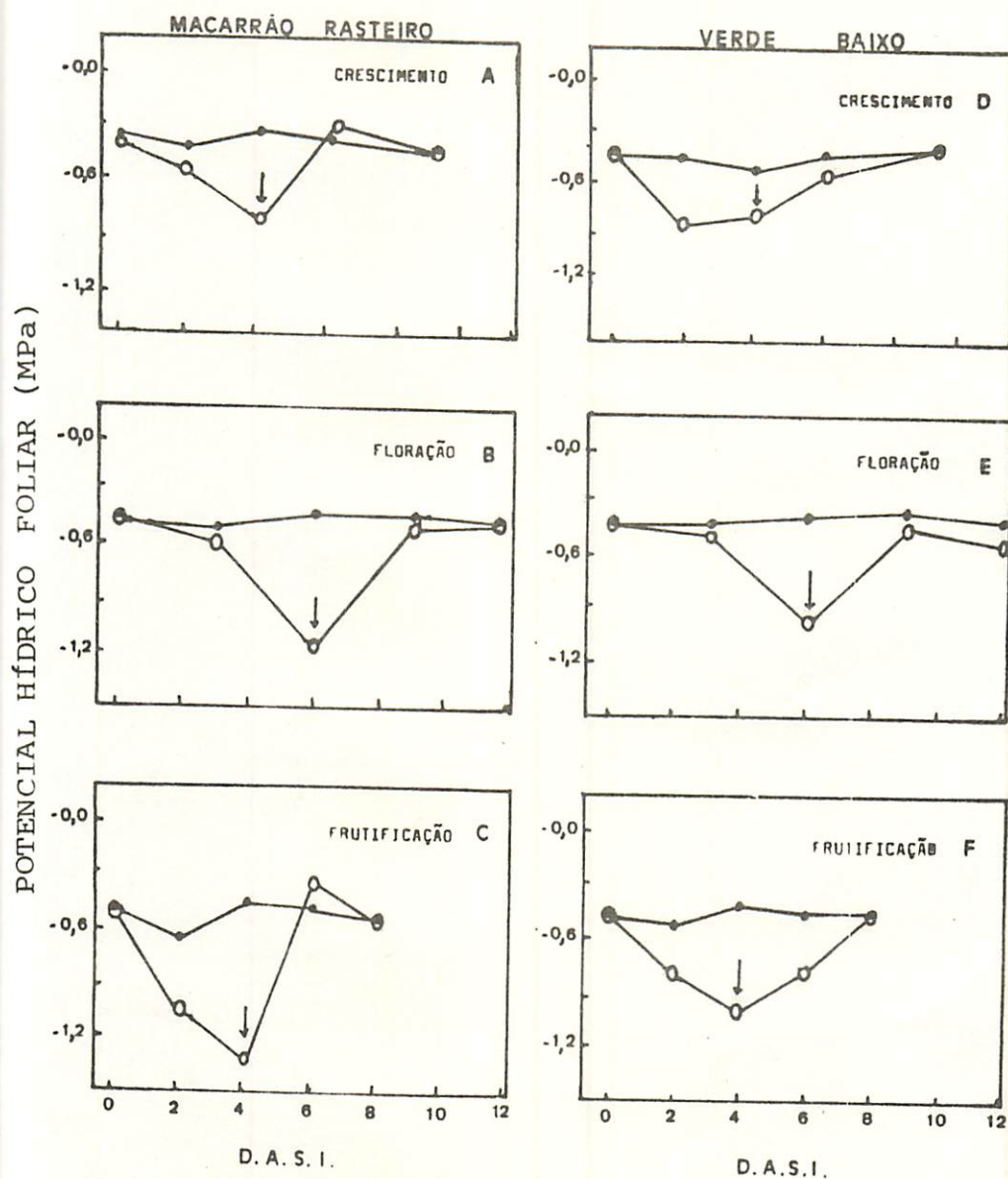


FIGURA 1 - Potencial hídrico foliar das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○). As setas indicam a reirrigação das plantas previamente estressadas. D.A.S.I. (Dias após a suspensão da irrigação).

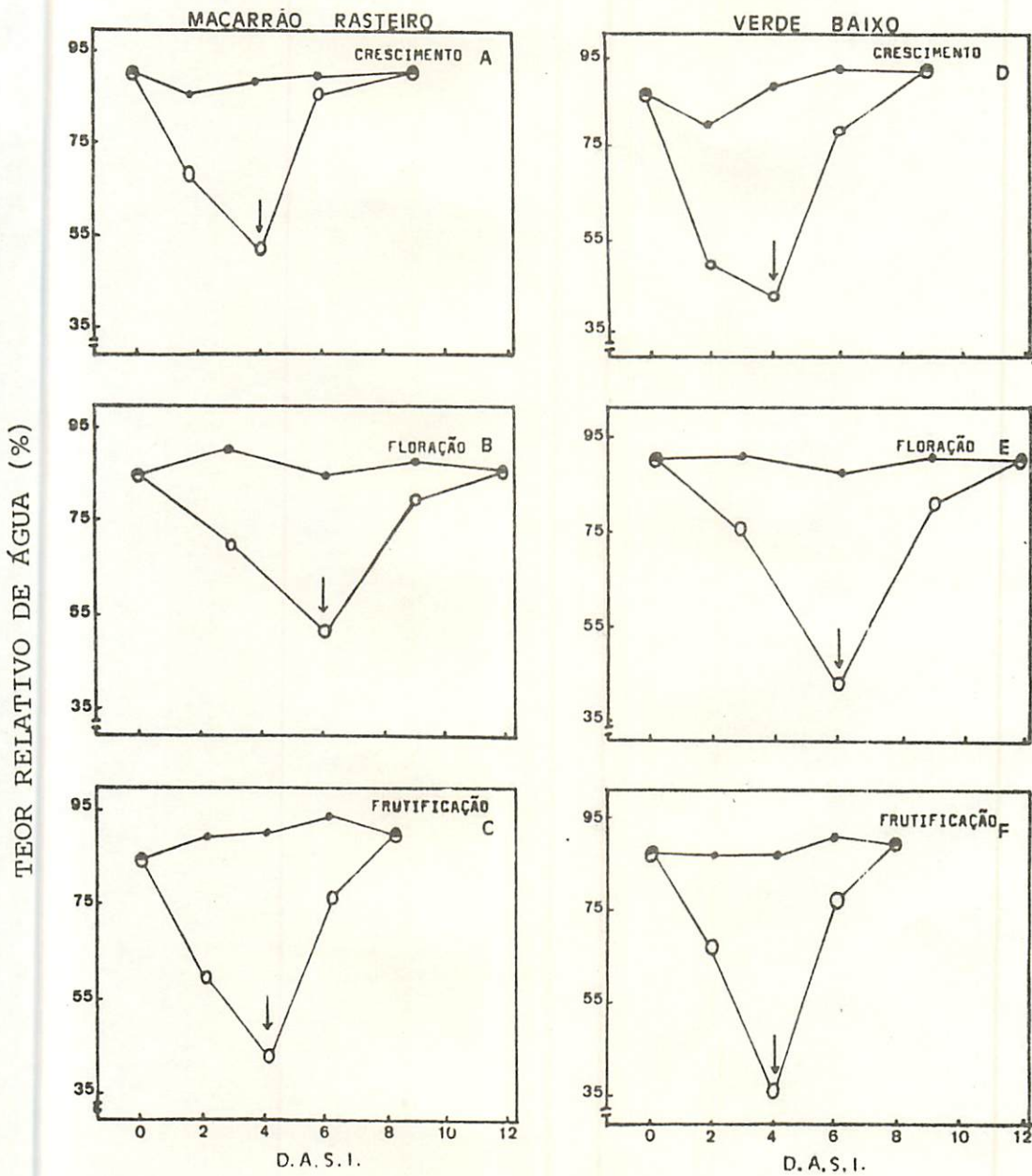
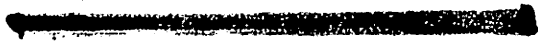


FIGURA 2 - Teor relativo de água das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○). As setas indicam a reirrigação das plantas previamente estressadas. D.A.S.I. (Dias após a suspensão da irrigação).



seus componentes sejam considerados indicadores seguros do estado hídrico de tecidos vegetais, o teor relativo de água tem se a apresentado como o melhor indicador do estado de hidratação em relação ao potencial hídrico (SINCLAIR & LUDLOW, 1985), pois, através de sua relação com o volume celular, pode mais rigorosamente refletir o balanço entre o suprimento de água para a folha e a taxa de transpiração (SCHONFELD et alii, 1988). Sendo assim, medições apenas do potencial hídrico não são suficientes para mostrar os efeitos do estresse hídrico nos processos fisiológicos das plantas (ACEVEDO et alii, 1979).

As Figuras 1 e 2 mostram que a cultivar Macarrão Rasteiro, no final do período de estresse, apresentou valores de teor relativo de água mais altos (50; 50 e 44%) e de potencial hídrico foliar mais baixos (-0,8; -1,2 e -1,3 MPa) do que a cultivar Verde Baixo (teores relativos de água iguais a 45; 40 e 38% e potenciais hídricos foliares iguais a -0,8; -1,0 e -1,1MPa) respectivamente nos três estádios do biociclo estudados. Estes resultados podem conferir à cultivar Macarrão Rasteiro uma maior tolerância ao estresse hídrico, pois a habilidade de reter maior teor relativo de água para um dado potencial hídrico foliar pode refletir uma maior rigidez das paredes celulares e maior habilidade para resistir a efeitos depressivos quando a água estiver sendo perdida dos tecidos (BENNETT-CLARK, 1959). Isto também pode resultar de uma acumulação de solutos osmoticamente ativos nas células quando o potencial hídrico diminui (BEGG & TURNER, 1976). Tem sido observado que espécies ou cultivares resistentes à seca têm paredes celulares mais rígidas (MAY & MILTHORPE, 1962)

e mantêm alto teor relativo de água a baixos potenciais hídricos (JARVIS & JARVIS, 1963; JONES & TURNER, 1978).

Após a interrupção do período de estresse, a recuperação do potencial hídrico foliar ocorreu 2 dias após a reirrigação nos estádios de crescimento e frutificação (Figuras 1A e 1C, respectivamente) e, no estádio de floração, 3 dias após, na cultivar Macarrão Rasteiro (Figura 1B). Na cultivar Verde Baixo, a recuperação do potencial hídrico foi observada apenas nos estádios de crescimento (Figura 1D) e frutificação (Figura 1F), no final do período de avaliação.

Quanto ao teor relativo de água, a recuperação a níveis de controle, ocorreu nas cultivares e estádios do ciclo fenológico estudados apenas no final do período de avaliação (Figura 2).

Trabalhando com plantas estressadas de cafeeiro, ANGELOCCI (1983) observou um rápido aumento do potencial hídrico foliar no início da reidratação, seguido por uma estabilização e posteriores aumentos até completa recuperação, sendo este comportamento atribuído à resistência radicular (NULSEN & THURTHELL, 1978). No presente trabalho o período de estresse hídrico imposto pode, provavelmente, não ter sido suficiente para causar danos no sistema radicular das plantas de feijão-vagem, uma vez que foi verificada a recuperação do potencial hídrico foliar. Estas observações concordam com os resultados obtidos por SIONIT & KRAMER (1977) em soja, e SANTOS FILHO (1985) em cana-de-açúcar, os quais afirmaram que a recuperação do potencial hídrico foliar

após a reirrigação, parece ocorrer de forma rápida sob condições de estresse hídrico não muito severo ou não muito longo.

4.2. Condutância estomática e taxa de transpiração

Com a imposição da condição de déficit hídrico e conseqüente redução no potencial hídrico foliar, observou-se uma diminuição na condutância estomática nas plantas estressadas de ambas as cultivares, nos três estádios estudados (Figura 3). Logo nas primeiras horas de avaliação, verificou-se uma queda acentuada na condutância estomática em ambas as cultivares, à exceção da cultivar Macarrão Rasteiro na floração (Figura 3B), que apresentou pequena redução. Os menores valores de condutância estomática foram verificados no último dia de estresse, alcançando valores praticamente iguais a zero neste dia.

Quanto à taxa de transpiração, observou-se um comportamento semelhante ao da condutância estomática, a qual reduziu bruscamente com o aumento do período de estresse (Figuras 3 e 4). Na cultivar Macarrão Rasteiro, a pequena redução no potencial hídrico foliar observada no 3º dia de estresse durante a floração (Figura 1B) proporcionou igual comportamento na condutância estomática (Figura 3B) e ligeiro aumento na taxa de transpiração (Figura 4B), mostrando que sob condições de estresse moderado esta cultivar não apresentou nenhuma alteração no seu comportamento estomático, neste estágio do biociclo. Os valores mais baixos de

transpiração foram observados no período final do estresse, onde ambas as cultivares atingiram valores praticamente nulos de transpiração (Figura 4).

Após a reirrigação, os aumentos na condutância estomática e taxa de transpiração foram evidentes em ambas as cultivares e nos estádios do biociclo estudados (Figuras 3 e 4). No entanto, apesar de ter sido observada uma recuperação no potencial hídrico foliar (Figura 1), a recuperação da condutância estomática a níveis de controle, na cultivar Verde Baixo, ocorreu apenas no estágio de crescimento (Figura 3D), enquanto que na cultivar Macarrão Rasteiro a recuperação foi observada nos três estádios em que o estresse hídrico foi imposto. Quanto à taxa de transpiração, a recuperação a níveis de controle na cultivar Macarrão Rasteiro foi verificada nos estádios de floração (Figura 4B) e frutificação (Figura 4C), enquanto que na cultivar Verde Baixo, a recuperação ocorreu somente no estágio de crescimento (Figura 4D).

A elevação da resistência difusiva estomática e a consequente redução na condutância estomática em função do estresse hídrico mostra que o fechamento dos estômatos ocorre em consequência da diminuição da disponibilidade de água no solo e do potencial hídrico foliar (SIVAKUMAR et alii, 1979; PATTERSON, 1988), sendo este aumento na resistência estomática um poderoso mecanismo de controle de perda de água e resistência à seca (HENZELL et alii, 1975). No entanto, o fechamento dos estômatos, induzido pelo déficit hídrico, não é causado apenas pela perda de turgescência da folha, mas também por uma perda de solutos das células-guardas, principalmente potássio (HSIAO & ACEVEDO, 1974).

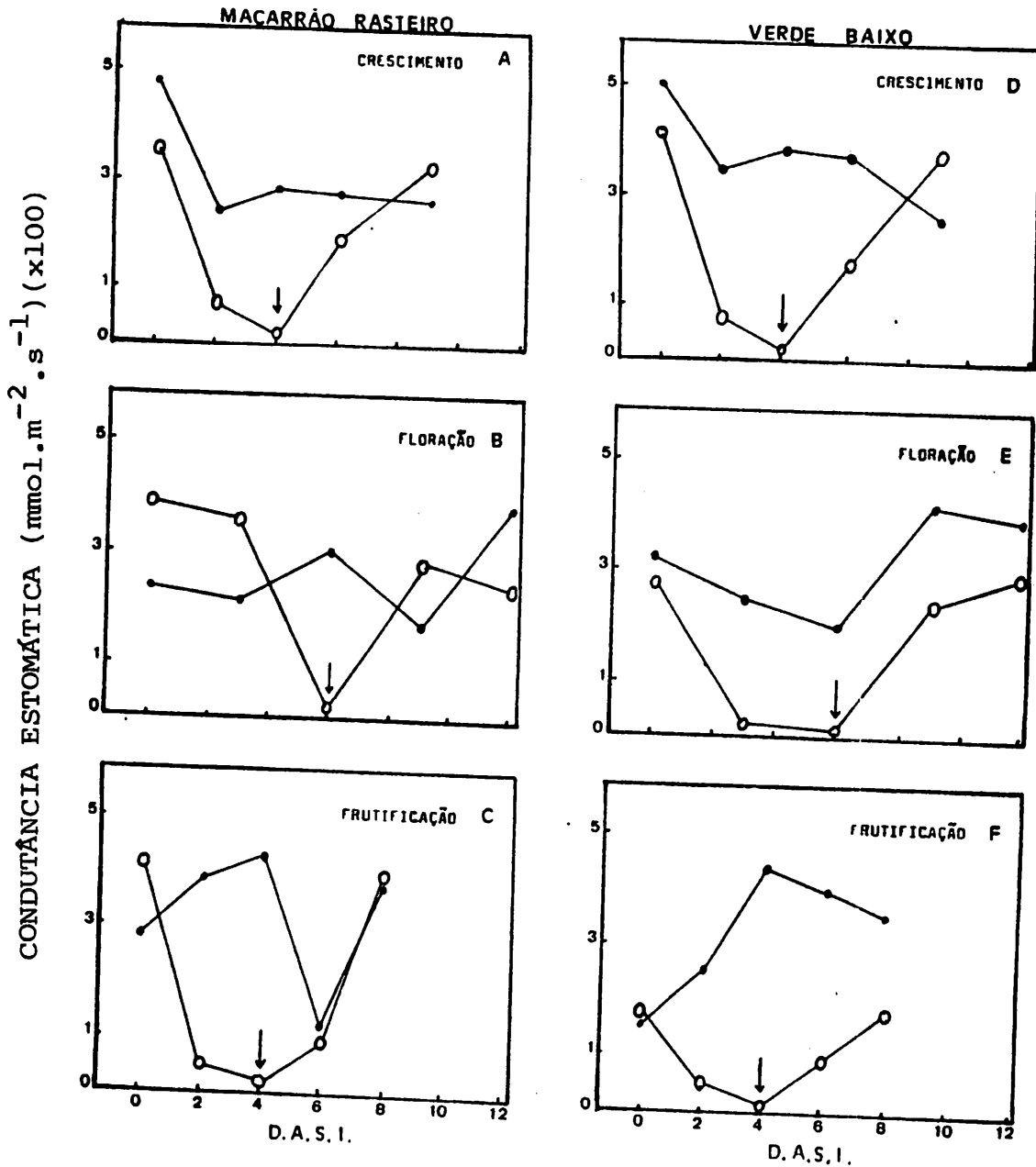


FIGURA 3 - Condutância estomática das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○). As setas indicam a reirrigação das plantas previamente estressadas. D.A.S.I. (Dias após a suspensão da irrigação).

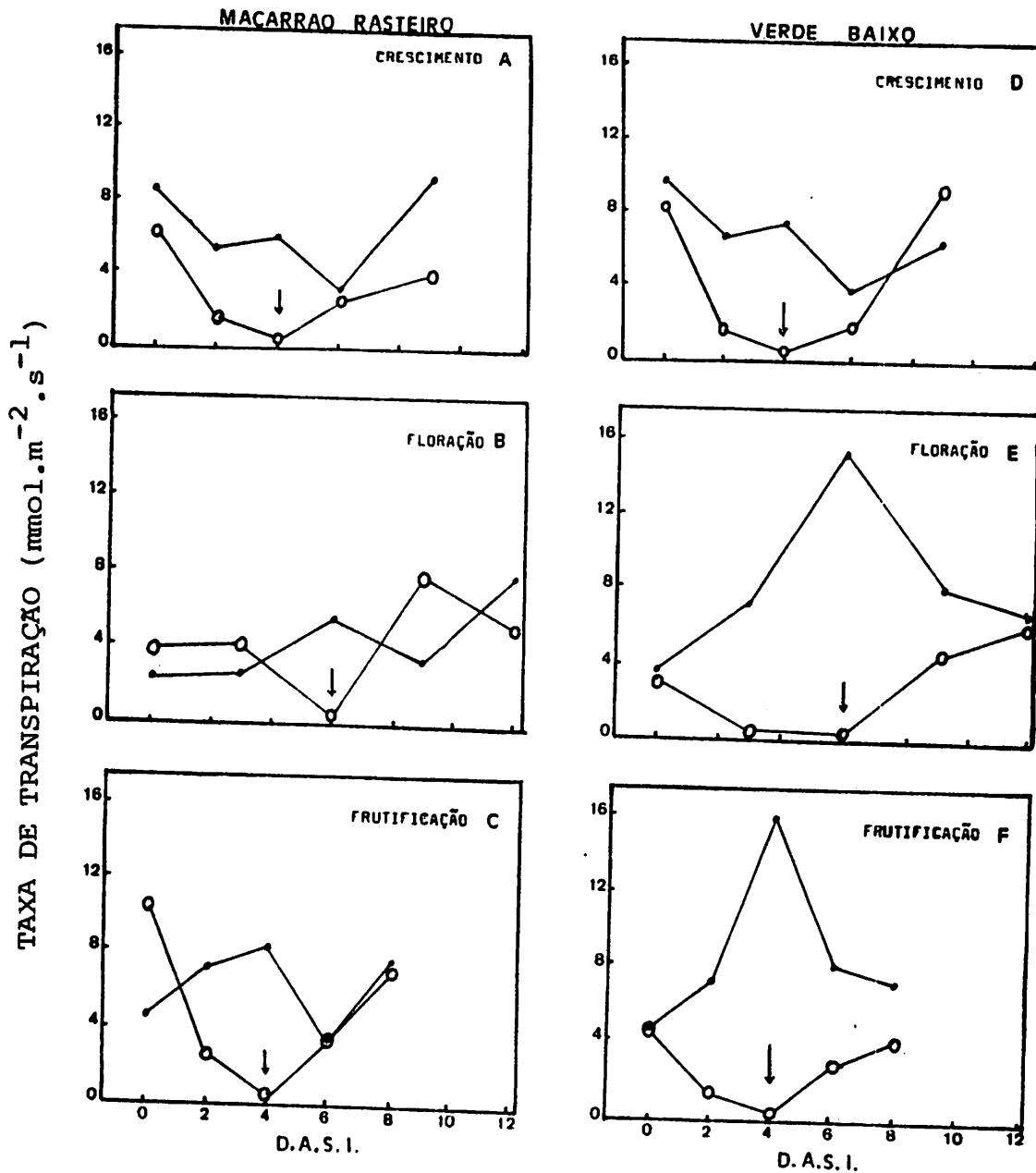


FIGURA 4 - Taxa de transpiração das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○). As setas indicam a reirrigação das plantas previamente estressadas. D.A.S.I. (Dias após a suspensão da irrigação).

Reduções na condutância estomática e na transpiração em função da condição de estresse hídrico foram observadas também em outras culturas como sorgo (SIVAKUMAR et alii, 1979), soja (ZUR et alii, 1981) e cana-de-açúcar (SANTOS FILHO, 1985), sendo o fechamento estomático o mecanismo indutor desta redução durante o desenvolvimento do estresse hídrico.

Os aumentos na condutância observados após a reirrigação das plantas (Figura 3) concordam com os dados verificados por SANTOS FILHO (1985), onde plantas de cana-de-açúcar apresentaram reduções na resistência estomática, atingindo valores praticamente iguais aos das plantas controle 48 horas após o fornecimento de água, mostrando que o estresse hídrico imposto não foi suficiente para causar danos no mecanismo estomático. Estas observações concordam com as afirmações de que a intensidade da recuperação depende do vigor da planta e da duração e intensidade do processo de desidratação (KRAMER, 1950).

As plantas estressadas durante a frutificação não atingiram, após a reirrigação, valores de condutância estomática e transpiração iguais aos das plantas controle (Figuras 3 e 4). Verificou-se também grandes variações nestas variáveis biofísicas ao longo do experimento. Isto pode ser devido às variações da intensidade luminosa (Figura 5), reforçando as afirmações de TURNER & BEGG (1973), nas quais a luz é uma variável ambiental que exerce grande influência na resposta dos estômatos quando as plantas não estão sob condições de estresse hídrico. Sendo assim, a existência de dois grupos de fatores que afetam o comportamento dos estômatos parece tornar-se evidente, dificultando a

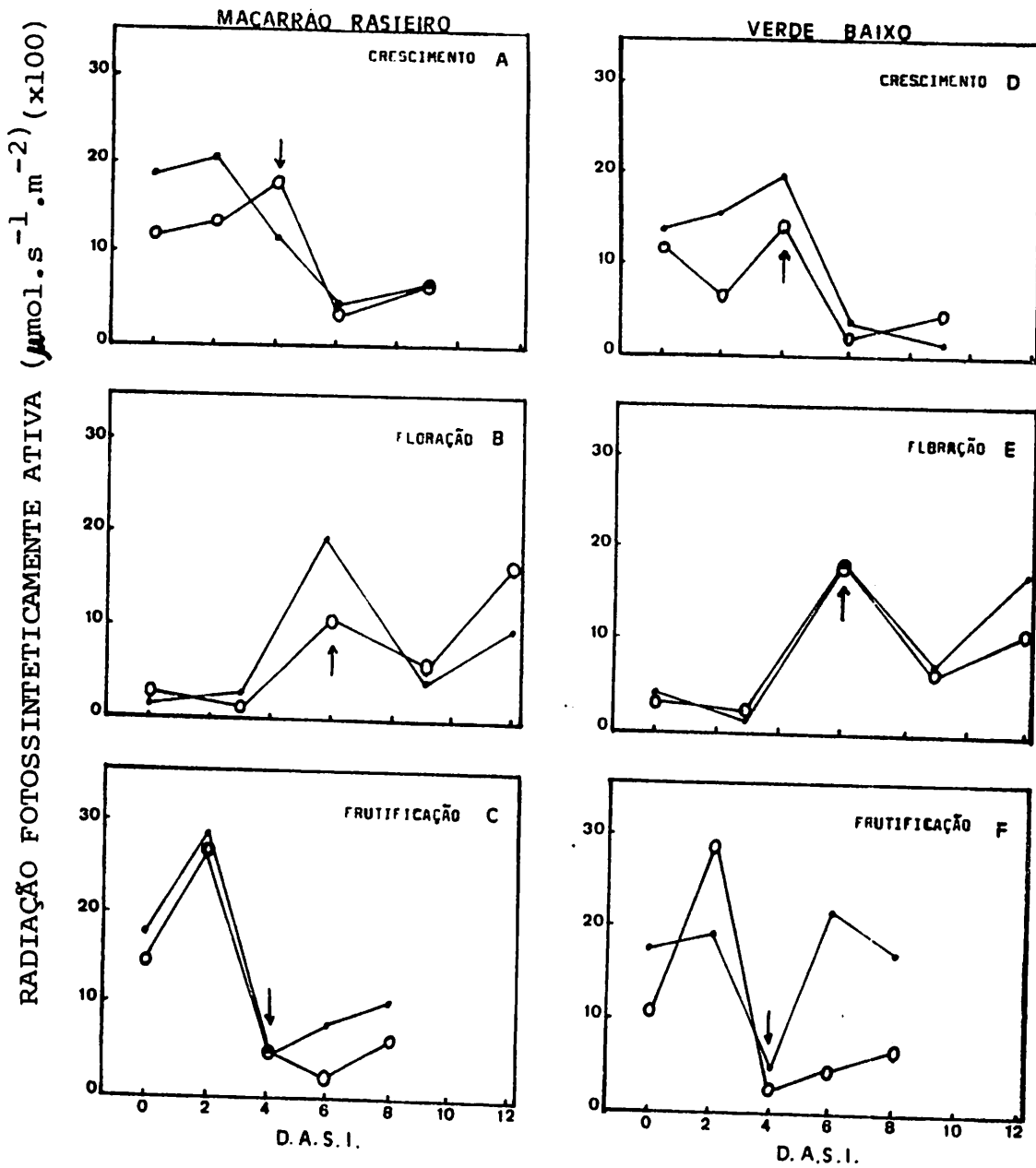


FIGURA 5 - Radiação fotossinteticamente ativa incidindo em plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○). As setas indicam a reirrigação das plantas previamente estressadas. D.A.S.I. (Dias após a suspensão da irrigação).

análise da variação da resistência estomática à difusão de vapor d'água pela dificuldade de se isolar, sob condições naturais, o efeito da luz e da disponibilidade de água (SANTOS FILHO, 1985).

4.3. Temperatura foliar

Na cultivar Macarrão Rasteiro observou-se que, quando o estresse hídrico foi imposto nos estádios de crescimento e frutificação (Figuras 6A e 6C, respectivamente), as plantas estressadas apresentavam temperaturas foliares de 4°C e 1°C , respectivamente, superiores às das plantas irrigadas normalmente, no último dia de estresse, enquanto que no estágio de floração, os dois grupos de plantas dessa cultivar apresentavam iguais valores de temperatura foliar (Figura 6B). Quanto à cultivar Verde Baixo, observou-se que as plantas estressadas durante a floração (Figura 6E) e frutificação (Figura 6F) apresentavam, respectivamente, temperaturas foliares 2°C e $1,5^{\circ}\text{C}$ superiores à das plantas irrigadas normalmente.

Após a reirrigação, a temperatura foliar das plantas previamente estressadas diminuiu, atingindo níveis praticamente iguais aos das plantas controle (Figura 6).

A dissipação parcial ou total da radiação absorvida pela planta é feita pela transpiração, em virtude do alto calor específico e de vaporização que a água possui (SANTOS FILHO, 1985). Assim, sob condições de déficit hídrico, uma redução na transpi-

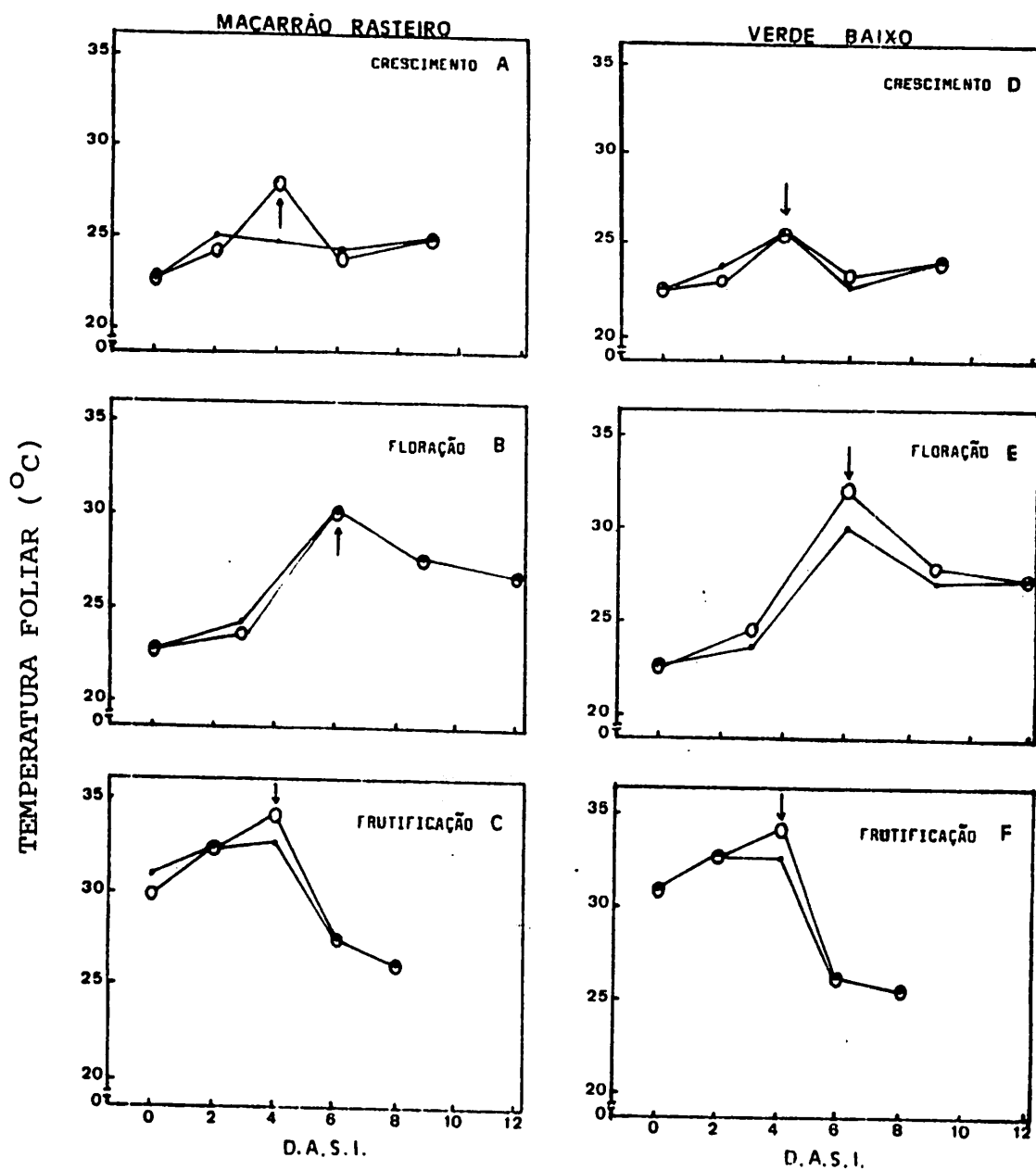


FIGURA 6 - Temperatura foliar das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○). As setas indicam a reirrigação das plantas previamente estressadas. D.A.S.I. (Dias após a suspensão da irrigação).

ração em virtude do fechamento estomático provoca uma elevação na temperatura foliar (REICOSKI et alii, 1980; SINGH & KANEMASU, 1983). Dessa forma, a redução na transpiração (Figura 4), contribuiu para o aumento na temperatura foliar destas plantas (Figura 6), concordando com resultados observados em outras culturas, tais como caupi (CLARK & HILER, 1973), trigo (EHRLER et alii, 1978a), milho (CLAWSON & BLAD, 1982) e cana-de-açúcar (SANTOS FILHO, 1985). Estas observações confirmam a afirmação de que o aumento na temperatura foliar é um importante indicador da baixa disponibilidade de água para a planta (GATES, 1964; JACKSON et alii, 1981; WALKER & HATFIELD, 1983; SANTOS FILHO, 1985).

4.4. Atividade da redutase de nitrato 'in vivo'

Com a redução do potencial hídrico foliar decorrente do estresse hídrico (Figura 1), observou-se uma diminuição na atividade da redutase de nitrato nas duas cultivares, sendo esta diminuição algumas vezes acentuada, como nos estádios de crescimento e frutificação, e mais suave, como na floração (Figura 7).

A diminuição na atividade da redutase de nitrato em função do estresse hídrico tem sido observada em várias plantas (APARICIO-TEJO & SÁNCHEZ-DIAZ, 1982; OLIVEIRA, 1985; MUÑOZ-RUEDA et alii, 1986; FLAGLER et alii, 1987; VENKATARAMANA et alii, 1987; RODRIGUES, 1988), sendo esta diminuição na atividade atribuída à redução na síntese (BARNETT & NAYLOR, 1966; MORILLA et alii,

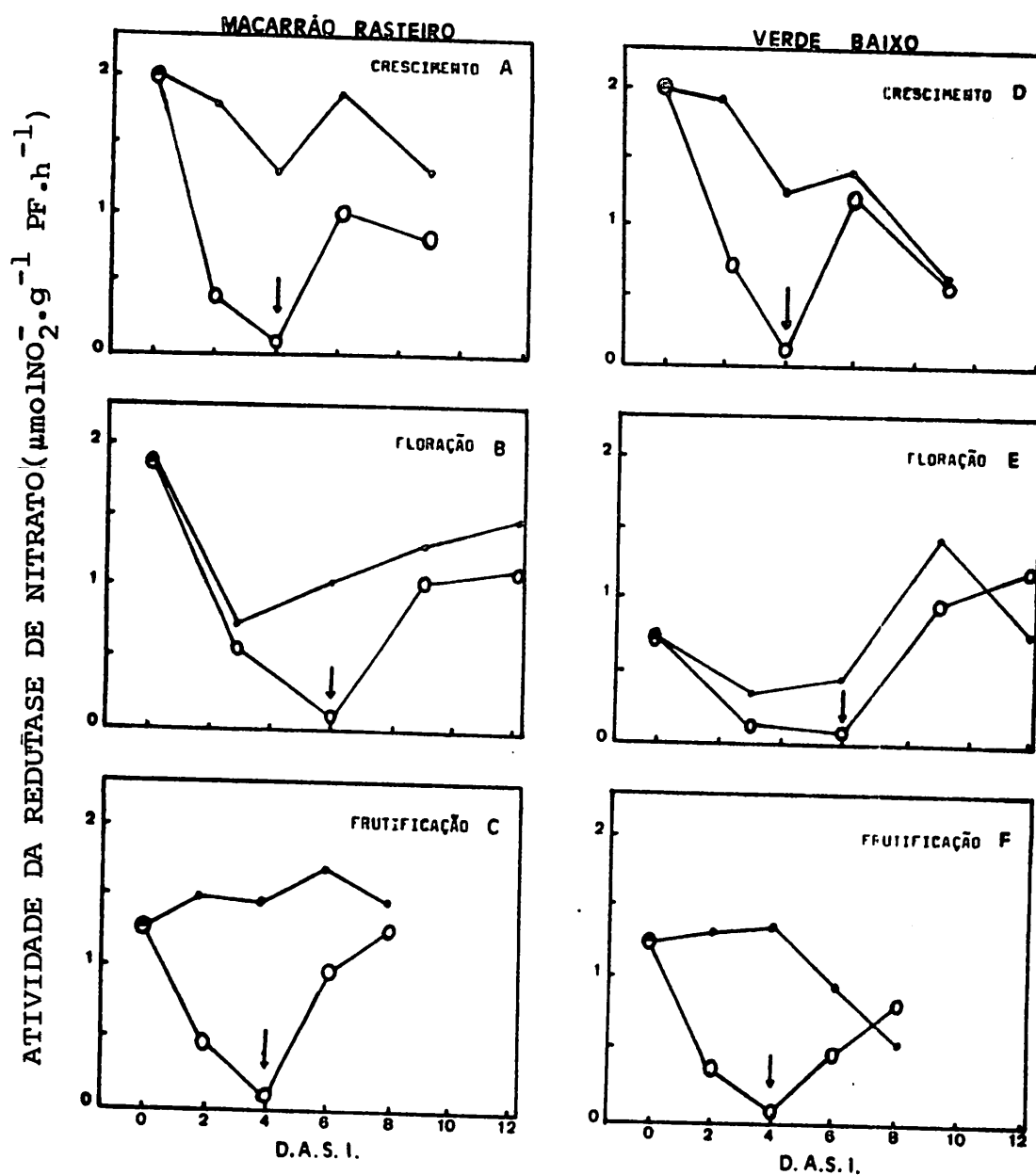


FIGURA 7 - Atividade da redutase de nitrato, 'in vivo', das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○). As setas indicam a reirrigação das plantas previamente estressadas. D.A.S.I. (Dias após a suspensão da irrigação).

1973) e ao aumento na taxa de degradação da enzima (BARDZIK et alii, 1971). Também tem sido proposto que o decréscimo nos pequenos 'pools' metabólicos de nitrato, o baixo fluxo de nitrato para as folhas (SHANER & BOYER, 1976) e a falta de poder redutor devido à redução na formação de NADH (SINHA & NICHOLAS, 1981) podem regular a atividade da redutase de nitrato.

A redução na atividade da redutase de nitrato pode ser um importante mecanismo de controle do metabolismo vegetal sob condições de estresse hídrico. Uma vez que a fotossíntese é reduzida sob condições de déficit hídrico, seria vantajoso reduzir o requerimento de energia através do retardamento dos processos de síntese, sendo que isto poderia ser limitado por meio da redução na taxa de assimilação de nitrato, a principal fonte de nitrogênio para a maioria das plantas (HUFFAKER et alii, 1970).

Embora tenha sido observada uma recuperação do potencial hídrico foliar após a reirrigação, em ambas as cultivares (Figura 1), observou-se um comportamento diferencial entre cultivares e épocas de avaliação em relação à atividade da redutase de nitrato, após a retomada do fornecimento de água para as plantas estressadas (Figura 7). A cultivar Macarrão Rasteiro não apresentou recuperação da atividade desta enzima, a níveis do controle, em nenhum dos estádios em que o estresse hídrico foi imposto. Constatou-se apenas um rápido aumento na atividade da enzima no primeiro período de avaliação após a reirrigação nos três estádios do ciclo, sendo que após este período, pequenas alterações ocorreram, como ligeiro aumento, observado no estádio de frutificação (Figura 7C) e decréscimos, ocorridos nos estádios

de crescimento (Figura 7A) e de floração (Figura 7B).

Quanto à cultivar Verde Baixo, verificou-se uma recuperação da atividade da redutase de nitrato após a reirrigação, sendo que no final do período de avaliação nos estádios de floração (Figura 7E) e frutificação (7F), essa atividade foi superior à das plantas controle. Isto mostra que, nesta cultivar, o decréscimo da atividade desta enzima foi apenas temporário e reversível devido, provavelmente, ao aumento da síntese da enzima (MORILLA et alii, 1973).

A estreita correlação existente entre potencial hídrico e a atividade da redutase de nitrato, encontrada por vários autores, sugere o uso da atividade desta enzima como uma importante característica para avaliar o efeito do estresse hídrico em plantas (MEGURO & MAGALHÃES, 1983; RODRIGUES, 1988).

4.5. Concentrações de açúcares solúveis totais e açúcares redutores

A condição de déficit hídrico proporcionou um aumento na concentração de açúcares solúveis totais, em relação às plantas controle, na cultivar Macarrão Rasteiro apenas na floração (Figura 8B). Nos estádios de crescimento (Figura 8A) e frutificação (Figura 8C) ocorreram reduções na concentração destes açúcares, em relação às plantas controle, no 2º dia de estresse, observando-se a normalização do teor destes açúcares no último

dia de estresse. A cultivar Verde Baixo apresentou redução na concentração de açúcares solúveis totais, no estágio de crescimento, no último dia de estresse (Figura 8D), enquanto que na floração praticamente não ocorreram alterações nestes açúcares em relação às plantas controle (Figura 8E). Quando o estresse hídrico foi imposto durante a frutificação das plantas desta cultivar, observou-se uma redução no 2º dia de estresse, seguido por um aumento na concentração de açúcares solúveis totais no último dia de estresse (Figura 8F).

Após a reirrigação, a concentração de açúcares solúveis totais diminuiu, na cultivar Macarrão Rasteiro, nos três estádios do biociclo estudados (Figura 8), aumentando no final do período de avaliação, sendo que apenas nos estádios de crescimento (Figura 8A) e floração (Figura 8B) este aumento ocorreu de forma a superar as plantas controle.

Na cultivar Verde Baixo verificaram-se aumentos no teor de açúcares solúveis totais no 2º dia após a retomada do fornecimento de água, no estágio de crescimento (Figura 8D), enquanto que na floração este aumento foi observado somente no último dia de avaliação (Figura 8E). No estágio de frutificação, a reirrigação proporcionou uma redução na concentração destes açúcares 2 dias após a retomada do fornecimento de água, voltando a aumentar no final do período de avaliação (Figura 8F).

Quanto ao teor de açúcares redutores, observou-se um aumento em relação às plantas controle, na cultivar Macarrão Rasteiro, quando o estresse hídrico foi imposto apenas nos estádios de crescimento (Figura 9A) e de floração (Figura 9B), pois no es

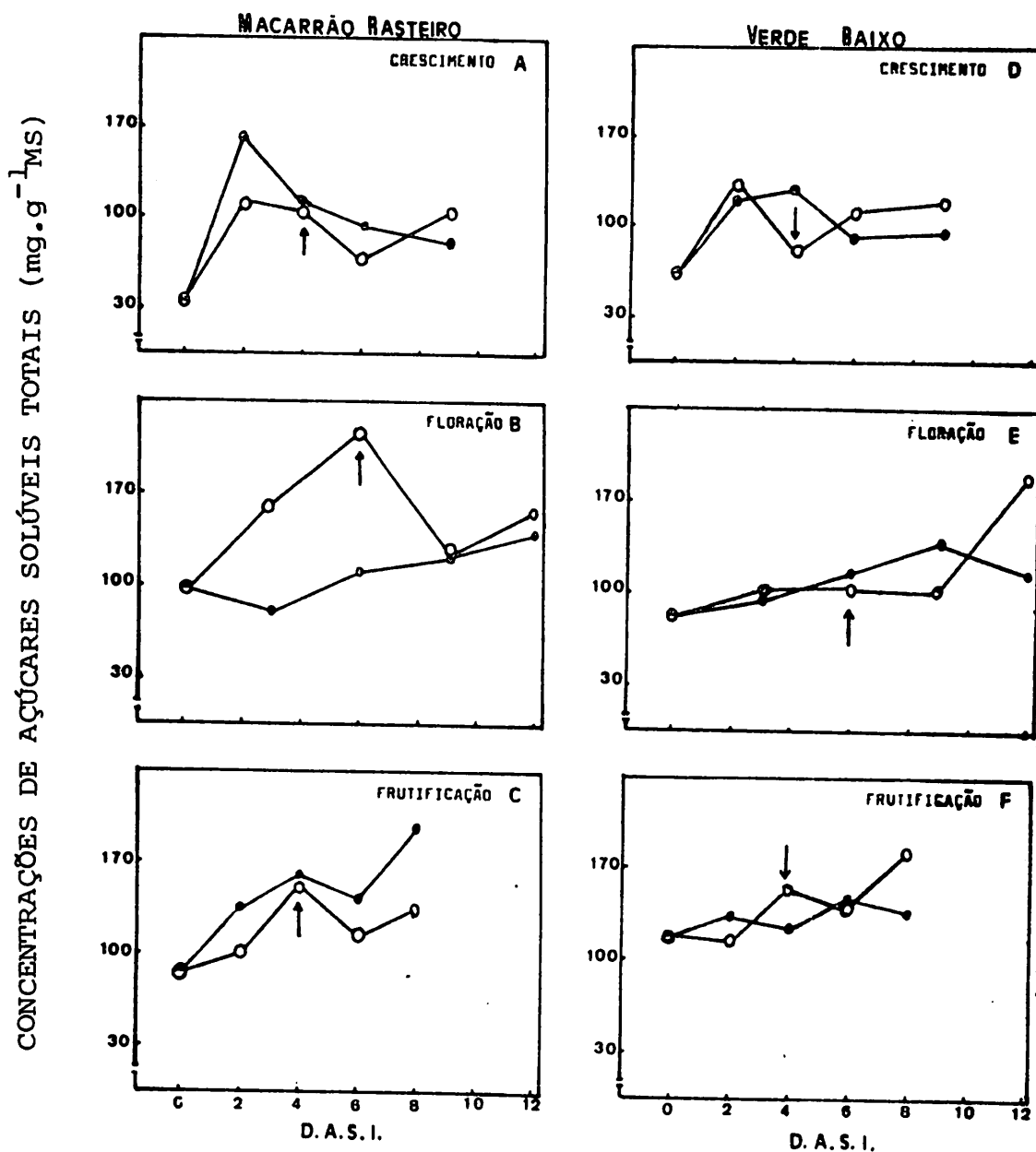


FIGURA 8 - Concentrações de açúcares solúveis totais em plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○). As setas indicam a reirrigação das plantas previamente estressadas. D.A.S.I. (Dias após a suspensão da irrigação).

tádio de frutificação o estresse hídrico proporcionou uma redução na concentração de açúcares redutores em relação às plantas controle (Figura 9C). Na cultivar Verde Baixo, aumento no teor de açúcares redutores em relação às plantas controle foi verificado apenas durante o estágio de crescimento, no meio do período de estresse, diminuindo com o aumento da severidade do estresse hídrico (Figura 9D). Na floração, redução no teor destes açúcares foi verificada apenas no último dia de estresse (Figura 9E), enquanto que na frutificação essa redução foi observada apenas no 2º dia de estresse, retornando a valores normais com o aumento da severidade do estresse hídrico (Figura 9F).

A reirrigação proporcionou uma redução e em seguida uma recuperação em relação ao controle no conteúdo de açúcares redutores, na cultivar Macarrão Rasteiro, durante os estádios de crescimento (Figura 9A) e de floração (Figura 9B), enquanto que durante a frutificação houve uma tendência de normalização destes açúcares no último dia de estresse (Figura 9C). Na cultivar Verde Baixo, a reirrigação proporcionou um aumento no conteúdo de açúcares redutores nos estádios de crescimento (Figura 9D) e de floração (Figura 9E) e uma recuperação no conteúdo destes açúcares durante o estágio de frutificação (Figura 9F).

As diferenças de comportamento observadas entre as cultivares e estádios do biociclo estudados quanto às concentrações de açúcares solúveis totais e açúcares redutores reforçam as afirmações de OLIVEIRA (1985) de que a amplitude das alterações metabólicas sob condições de estresse hídrico depende da idade do tecido, da cultivar e do nível de estresse imposto.

As alterações ocorridas na fração carboidratos (Figuras 8 e 9) podem ser atribuídas ao provável efeito do estresse hídrico na fotossíntese, uma vez que foram verificadas variações na produção de matéria seca das plantas em relação aos estádios do biociclo submetidos ao estresse hídrico (Quadro 1).

É bem conhecido o fato de que plantas sujeitas ao estresse hídrico frequentemente mostram redução no teor de amido, que é geralmente acompanhado por um aumento no teor de açúcares, com objetivo de se ajustar osmoticamente. Trabalhando com plantas de gergelim, VYAS et alii (1985) verificaram que um aumento na intensidade do estresse hídrico reduziu progressivamente o nível de amido, com uma conseqüente elevação no teor de açúcares redutores, contribuindo para o ajustamento osmótico dessas plantas. Entretanto, o teor de açúcares não aumenta em todas as espécies. WADLEIGH & AYERS (1945) observaram em plantas de feijão, um decréscimo no teor de amido, mas nenhum aumento em açúcares, enquanto WOODHAMS & KOSLOWSKI (1954) verificaram que com o aumento da intensidade do estresse hídrico ocorreu uma redução nos teores de amido, açúcares e carboidratos totais em plantas de feijão e tomate.

As mudanças nos teores de açúcares e polissacarídeos estão presumivelmente relacionadas a mudanças na atividade enzimática. No entanto, é evidente que existem importantes diferenças entre espécies quanto aos efeitos do estresse hídrico no metabolismo de carboidratos. A reação das plantas ao estresse hídrico se complica mais ainda pelo fato de que a respiração frequentemente diminui mais suavemente do que a fotossíntese (KRA -

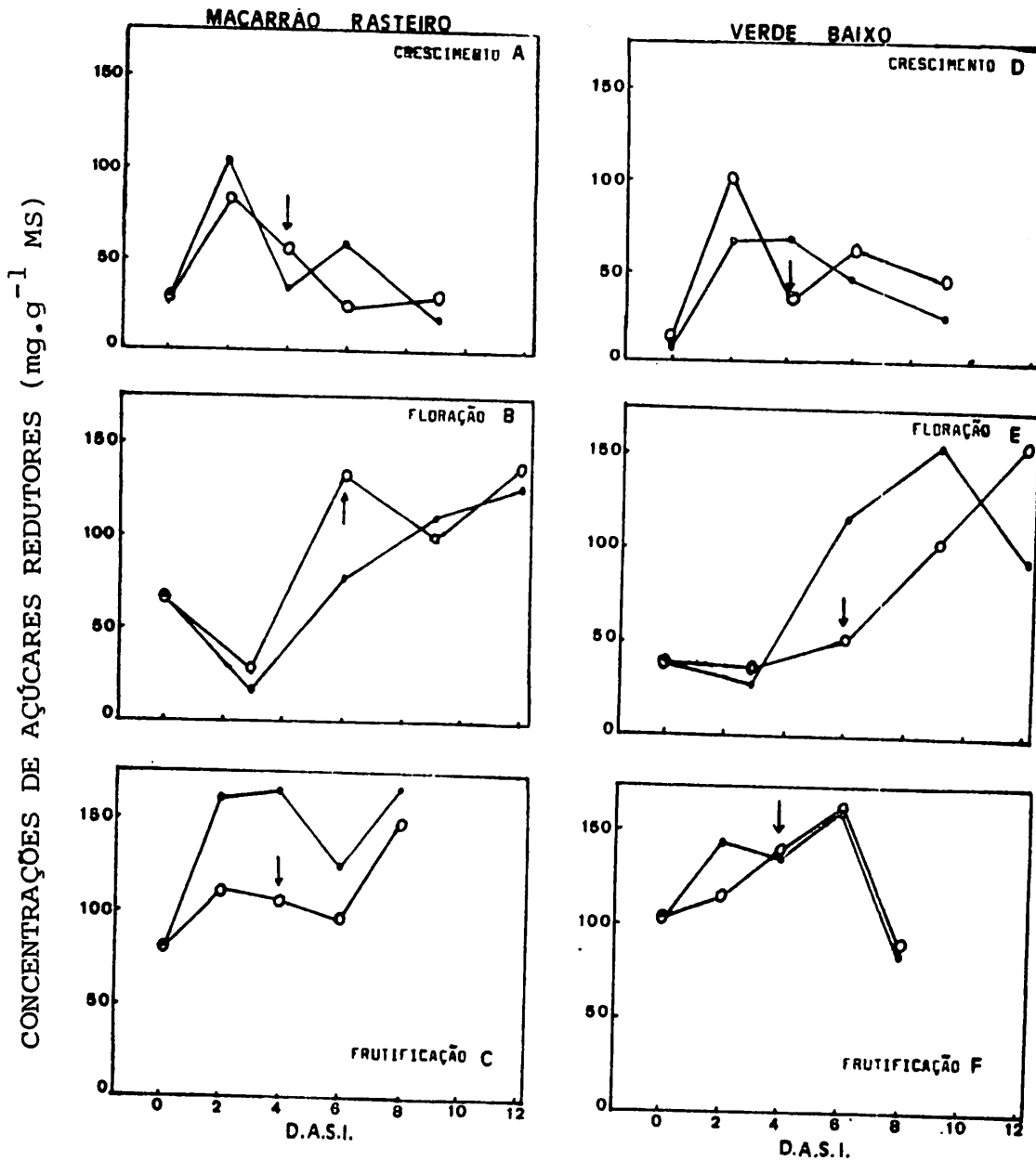


FIGURA 9 - Concentrações de açúcares redutores em plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○). As setas indicam a reirrigação das plantas previamente estressadas. D.A.S.I. (Dias após a suspensão da irrigação).

MER, 1969), causando diminuição nas reservas alimentares e mudanças nas proporções de vários carboidratos. A este fato podem ser atribuídas as variações nas concentrações de açúcares solúveis totais (Figura 8) e de açúcares redutores (Figura 9) ao longo do período de estresse em cada estágio do biociclo estudado.

4.6. Concentrações de proteínas e aminoácidos totais

A redução do potencial hídrico foliar (Figura 1) foi acompanhada por uma diminuição na concentração de proteínas, nas cultivares e estádios do biociclo em que o estresse hídrico foi imposto. Essa redução foi mais acentuada na cultivar Macarrão Rasteiro, sendo que no estágio de crescimento ocorreu uma recuperação no último dia de estresse (Figura 10A). Na cultivar Verde Baixo, a redução na fração protéica foi observada no último dia de estresse, nos estádios de crescimento (Figura 10D) e de floração (Figura 10E), enquanto que na frutificação essa redução ocorreu logo nos primeiros dois dias do estresse (Figura 10F).

A recuperação do estado de hidratação das plantas, após a reirrigação, foi acompanhada por um aumento no teor de proteínas, alcançando valores superiores aos das plantas controle (Figura 10).

As concentrações de aminoácidos totais aumentaram, na cultivar Macarrão Rasteiro, nos estádios de floração (Figura 11B) e de frutificação (Figura 11C) e, na cultivar Verde Baixo, nos

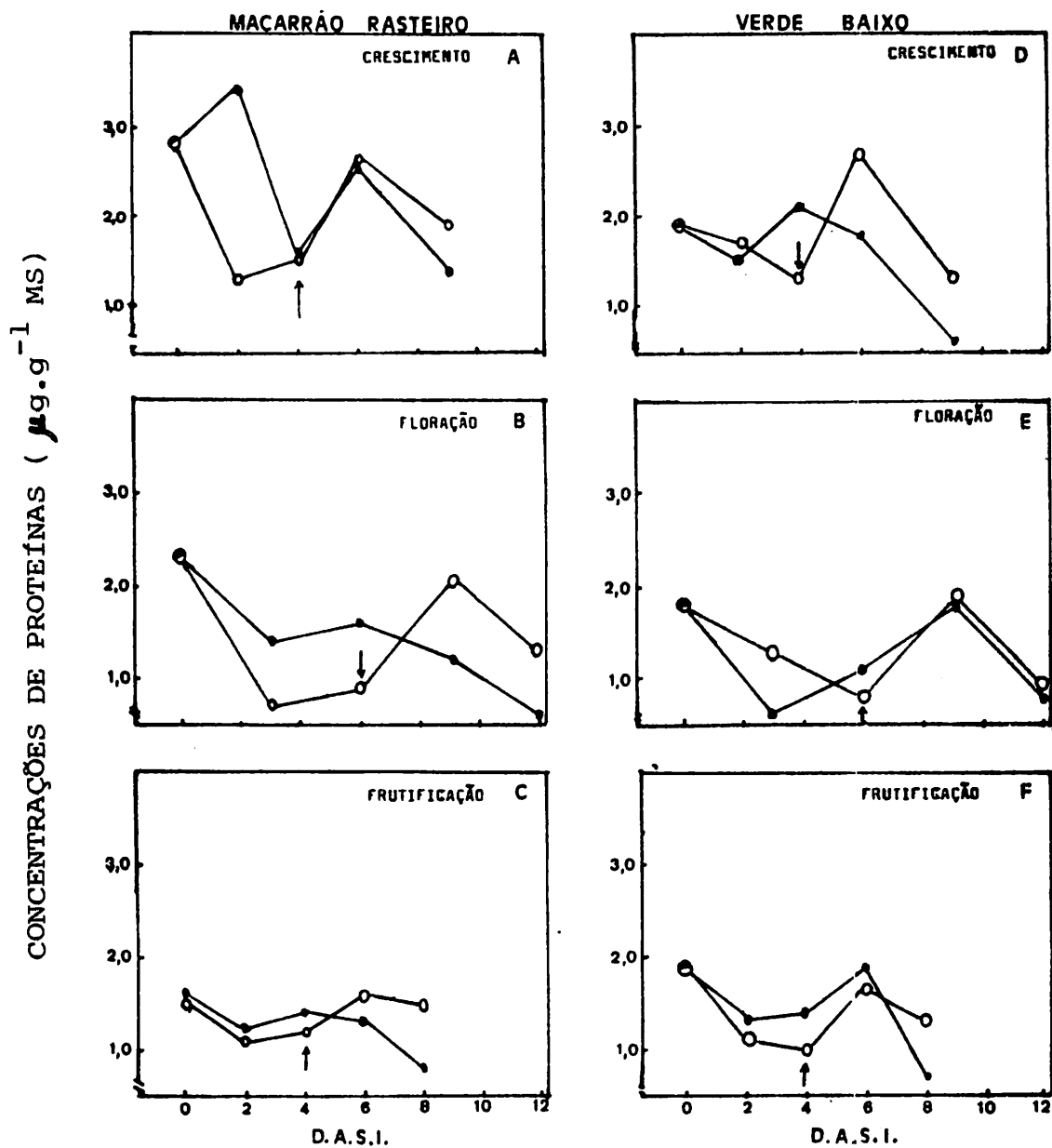


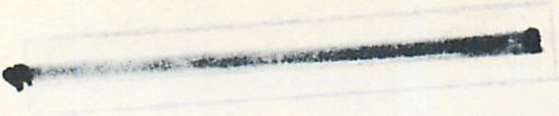
FIGURA 10 - Concentrações de proteínas em plantas de feijão -va- gem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○). As setas indicam a reirrigação das plantas previamente estressadas. D.A.S.I. (Dias após a suspensão da irrigação).

três estádios submetidos ao estresse hídrico somente no final do período de estresse, quando a desidratação das plantas tornou-se mais severa. A cultivar Macarrão Rasteiro, no estágio de crescimento, apresentou redução no teor de aminoácidos totais em relação às plantas controle (Figura 11A).

A reirrigação das plantas proporcionou uma redução no acúmulo de aminoácidos totais, nas duas cultivares, nos estádios de floração (Figura 11B e 11E) e de frutificação (Figuras 11C e 11F), indicando que os aminoácidos estavam sendo requisitados para a biossíntese de proteínas. Durante o estágio de crescimento, as plantas da cultivar Macarrão Rasteiro não apresentaram alteração no comportamento do teor de aminoácidos totais em relação ao período de estresse (Figura 11A), enquanto que a cultivar Verde Baixo apresentou aumentos no teor de aminoácidos totais com a reirrigação (Figura 11D).

A redução no teor de proteínas (Figura 10) e o acúmulo de aminoácidos totais (Figura 11) ocorreu provavelmente devido ao aumento na atividade de enzimas proteolíticas (NAYLOR, 1972; NAYEK et alii, 1982; VILLARREAL & LARQUÉ-SAAVEDRA, 1983; VYAS et alii, 1985) e que, juntamente com o acúmulo de açúcares solúveis totais (Figura 8) e açúcares redutores (Figura 9) pode ter contribuído para um provável ajustamento osmótico das plantas.

Redução nos teores de proteínas e aumentos nos aminoácidos foram observados em diferentes espécies vegetais como arroz (MADRUGA & RENA, 1977), feijão (RENA & MASCIOTTI, 1976), soja (FUKUTOKU & YAMADA, 1981), trigo (DROSSOPOULOS et alii, 1985) e cana-de-açúcar (OLIVEIRA, 1985) e atribuídos a uma redução na



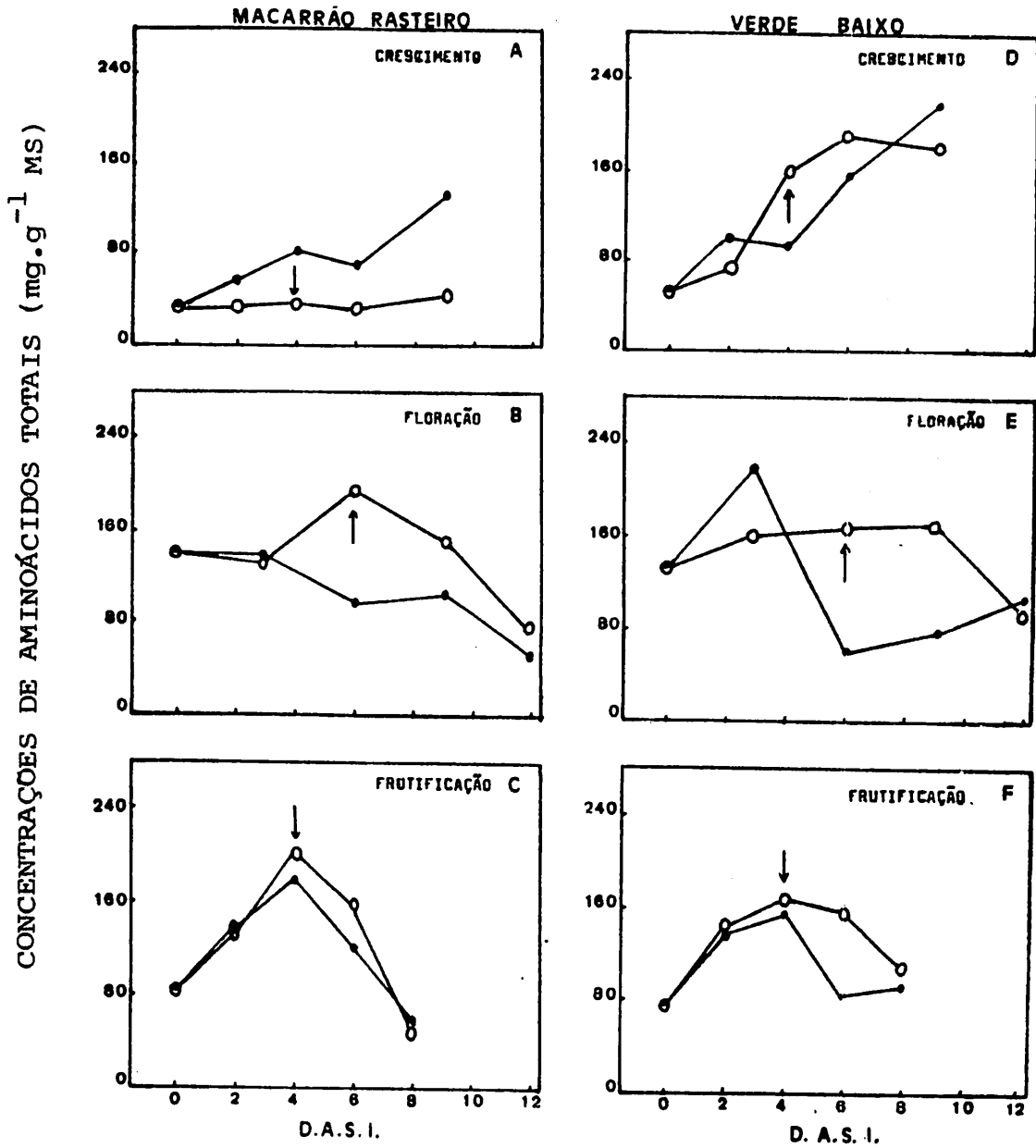


FIGURA 11 - Concentrações de aminoácidos totais em plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, irrigadas normalmente (●—●) e submetidas ao estresse hídrico (○—○). As setas indicam a reirrigação das plantas previamente estressadas. D.A.S.I. (Dias após a suspensão da irrigação).

síntese de proteínas, devido ao aumento na atividade das ribonucleases (BARNETT & NAYLOR, 1966; UDVARDY et alii, 1969; NAYLOR, 1972) e aumentos na proteólise (MUNNS et alii, 1979; NAYEK et alii, 1982; OLIVEIRA, 1985), ou à sua síntese 'de novo' (MADRUGA & RENA, 1977).

Dentre os aminoácidos que se acumulam durante estresse hídrico, os principais são prolina, glutamina e asparagina (MUNNS et alii, 1979; HANDA et alii, 1983). Tem-se sugerido que a função dos aminoácidos acumulados seria sobretudo de armazenar carbono, nitrogênio, necessários para a retomada do crescimento, que é paralisado durante a deficiência hídrica (BARNETT & NAYLOR, 1966; HSIAO, 1973; SINGH et alii, 1973), além de aumentar a hidratação do protoplasma, contribuindo para o ajustamento osmótico dos tecidos (KOEHLER et alii, 1982).

4.7. Produção de matéria seca de raízes e parte aérea

Analisando-se o quadro resumo da análise de variância (Quadro 1) para estes fatores, verificou-se efeito significativo apenas para estádios submetidos ao déficit hídrico, particularmente para produção de matéria seca da parte aérea, não havendo diferenças entre as cultivares dentro de cada estádio submetido ao estresse hídrico.

Os valores médios da produção de matéria seca da parte aérea em relação aos estádios submetidos ao estresse hídrico

QUADRO 1 - Resumo das análises de variância para as características: número de flores por planta, percentagem de vingamento floral, número de vagens por planta, peso de vagens, peso da matéria seca de raízes e da parte aérea. Lavras, Minas Gerais, 1990.

Causas de variação	Quadrados médios					
	Número de flo- res/planta $\frac{1}{\sqrt{x}}$	% vingamen <u>u</u> to floral	Número de va gens/planta $\frac{1}{\sqrt{x}}$	Peso de vagens	Matéria seca	
					Raízes	P. aérea
Cultivar (C)	332,1754	20,4250	1,5757	471,2449	13,7681	9,245
Época (E)	1.300,3280**	287,1844**	92,3186**	3.037,7458*	10,2772	106,3763*
C x E	129,6745	416,3534**	40,6411	4.704,9658**	1,1547	19,4818
Erro	101,4920	76,0394	18,1744	916,7874	9,9636	18,5910

$\frac{1}{\sqrt{x}}$ Dados transformados em \sqrt{x} .

*, ** Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

(Quadro 2) mostram que o déficit hídrico foi prejudicial ao acúmulo de matéria seca apenas na cultivar Macarrão Rasteiro, notadamente nos estádios de crescimento e floração, cujas reduções alcançaram níveis de 36% e 39%, respectivamente, em relação às plantas que sofreram o estresse hídrico no estágio de frutificação.

A análise estatística não revelou diferença entre os estádios da cultivar Verde Baixo submetidos ao estresse hídrico, em relação à produção de matéria seca da parte aérea. No entanto, quando estas plantas foram submetidas ao estresse hídrico durante o estágio de crescimento, ocorreu uma redução de 35% no peso de matéria seca em relação às plantas que sofreram estresse no estágio de frutificação (Quadro 2), denotando a sensibilidade deste estágio do biociclo ao déficit hídrico.

Resultados contundentes foram observados por OLIVEIRA (1987) na cultura do feijoeiro, o qual verificou uma redução de 50% no acúmulo de matéria seca da parte aérea quando o déficit hídrico foi imposto no estágio de crescimento vegetativo, em relação às plantas controle.

Uma redução no crescimento decorrente do estresse hídrico pode ter causado diminuição na superfície fotossintética (KARAMANOS et alii, 1982) e na quantidade de carboidratos disponíveis para a manutenção do processo de crescimento celular (KRAMER, 1969). Dessa forma, pode ter ocorrido uma provável redução na taxa de crescimento da cultura durante os estádios de crescimento e floração, quando as plantas estavam em fase de intenso crescimento vegetativo, resultando num baixo acúmulo de matéria

QUADRO 2 - Valores médios do peso da matéria seca da parte aérea das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, submetidas ao estresse hídrico em três estádios do biociclo. ESAL, Lavras, 1990.

Estádio submetido ao estresse	Matéria seca da parte aérea (g/planta)	
	Macarrão Rasteiro	Verde Baixo
Crescimento	15,6 b A	14,4 a A
Floração	14,9 b A	17,8 a A
Frutificação	24,3 a A	22,3 a A
Sem estresse	16,1 ab A	20,6 a A

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

seca (BEGG & TURNER, 1976; BABALOLA & FAWUSI, 1980; MARKHART, 1985). Estes resultados confirmam mais uma vez a importância da água na manutenção do potencial de turgescência celular, principalmente durante a fase de intenso crescimento vegetativo, para que ocorra o alongamento celular pelo processo de vacuolização e o consequente crescimento das plantas (KRAMER, 1969; HSIAO et alii, 1970).

As plantas que sofreram estresse durante o estágio de frutificação, por já terem passado pela fase de intenso crescimento vegetativo, não tiveram seu crescimento e acúmulo de matéria seca afetados por esta condição adversa. Este fato pode ex

plicar o maior acúmulo de matéria seca da parte aérea em relação às plantas que sofreram estresse hídrico durante os estádios de crescimento e floração (Quadro 2).

Quanto ao acúmulo de matéria seca no sistema radicular, não foram observadas diferenças significativas entre cultivares e nem entre os estádios do biociclo submetidos ao estresse hídrico (Quadro 1). O déficit hídrico pode ter induzido um provável ajustamento osmótico das raízes, resultando em um crescimento radicular extra, o qual pode ter se constituído em um mecanismo de tolerância ao estresse hídrico (HSIAO & ACEVEDO, 1974). Estes resultados discordam dos obtidos por OLIVEIRA (1987) em feijoeiro, em que o déficit hídrico imposto no estágio de crescimento vegetativo causou uma redução de 61% na produção de matéria seca de raízes.

4.8. Número de flores e percentagem de vingamento floral

Pelos resultados apresentados no Quadro 1, verificou-se um efeito significativo do estágio submetido ao estresse hídrico sobre o número de flores por planta, não havendo diferença entre cultivares em relação aos estádios submetidos ao estresse. Observou-se ainda uma interação significativa entre cultivar e estágio submetido ao estresse quanto à percentagem de vingamento floral.

Os valores médios do número de flores por planta

quanto ao estágio submetido ao estresse (Quadro 3) mostrou que o efeito depressivo do déficit hídrico foi mais pronunciado no estágio de crescimento, nas duas cultivares estudadas.

Quando o estresse hídrico foi imposto durante o estágio de crescimento, na cultivar Macarrão Rasteiro, observou-se uma redução de 48% e 37% no número de flores por planta, quando comparadas, respectivamente, com as plantas que sofreram estresse hídrico durante o estágio de frutificação e com as plantas controle (Quadro 3). No entanto, para a cultivar Verde Baixo, esse efeito foi mais pronunciado, apresentando uma redução de 68% e 64% no número de flores por planta, no estágio de crescimento, em relação às plantas estressadas durante o estágio de frutificação e às plantas controle. Constatou-se ainda que quando o déficit hídrico foi imposto durante a floração, essa redução no número de flores por planta foi da ordem de 42% e 34%, nas cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, respectivamente, em relação às plantas estressadas durante a frutificação. Dessa forma, a imposição do déficit hídrico no estágio de crescimento, além de proporcionar uma redução no crescimento e, portanto, no acúmulo de matéria seca das plantas (Quadro 2), causou grande redução no número de flores e no potencial produtivo dessas plantas, evidenciando a importância da água na fase vegetativa das mesmas. Resultados semelhantes foram observados por OLIVEIRA (1987), que observou uma redução de 50% no número de flores por planta quando as plantas sofreram estresse hídrico durante o estágio de crescimento vegetativo.

QUADRO 3 - Valores médios do número de flores das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, submetidas ao estresse hídrico em três estádios do biociclo. ESAL, Lavras, 1990.

Estádio submetido ao estresse	Número de flores/planta	
	Macarrão Rasteiro	Verde Baixo
Crescimento	22,9 b A	17,3 b A
Floração	25,5 ab A	35,4 ab A
Frutificação	44,1 a A	53,8 a A
Sem estresse	36,3 ab A	48,1 a A

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Apesar de ter havido interação significativa entre cultivar e estágio do biociclo submetido ao estresse quanto à percentagem de vingamento floral, a análise dos resultados mostrou haver diferença entre as épocas apenas para a cultivar Verde Baixo (Quadro 4), sendo superior à cultivar Macarrão Rasteiro, no estágio de crescimento. Para a cultivar Verde Baixo, a maior percentagem de vingamento floral foi observada quando o estresse hídrico foi imposto no estágio de crescimento (Quadro 4). Isto mostra que, apesar de ter apresentado menor número de flores quando submetidas ao déficit hídrico (Quadro 3), estas plantas apresentaram alta capacidade de retenção de flores, sendo superi-

QUADRO 4 - Valores médios da percentagem de vingamento floral das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, submetidas ao estresse hídrico em três estádios do biociclo. ESAL, Lavras, 1990.

Estádio submetido ao estresse	Percentagem de vingamento floral	
	Macarrão Rasteiro	Verde Baixo
Crescimento	40,5 a B	63,1 a A
Floração	43,6 a A	39,9 b A
Frutificação	45,4 a A	35,2 b A
Sem estresse	39,4 a A	37,2 b A

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

or até mesmo às plantas que não sofreram estresse hídrico. Estes resultados concordam com os obtidos por HOSTALÁCIO & VÁLIO (1984) e OLIVEIRA (1987), os quais verificaram que as plantas que sofreram estresse hídrico durante o estágio de crescimento apresentaram menor número de flores por planta e elevada percentagem de vingamento floral.

Este comportamento pode ser um mecanismo de resistência ao estresse hídrico, no qual as plantas procuram garantir a continuidade da espécie, através da manutenção dos seus órgãos reprodutivos.

4.9. Número de vagens por planta e peso de vagens

De acordo com o resumo da análise de variância (Quadro 1), observa-se que houve efeito significativo do estresse hídrico sobre o número de vagens por planta, havendo diferença entre os estádios submetidos ao estresse hídrico, notadamente, na cultivar Macarrão Rasteiro (Quadro 5).

Os valores médios do número de vagens por planta (Quadro 5) mostram que as plantas da cultivar Macarrão Rasteiro que sofreram estresse hídrico durante o estágio de crescimento apresentaram uma redução de 58% nesta característica em relação às plantas que foram submetidas ao estresse na frutificação, apresentando comportamento semelhante ao número de flores por planta (Quadro 3).

Quanto ao peso de vagens, a análise de variância mostrou ter havido interação significativa entre cultivar e estádios do biociclo submetidos ao estresse hídrico, havendo diferenças significativas entre os estádios do biociclo da cultivar Macarrão Rasteiro (Quadro 6). Quando estas plantas foram submetidas ao estresse nos estádios de crescimento e floração, houve uma redução de 59% e 57%, respectivamente, no peso de vagens em relação às plantas que sofreram estresse na frutificação (Quadro 6). Apesar da análise estatística não ter revelado diferença significativa entre os estádios do biociclo da cultivar Verde Baixo em relação a esta característica, observa-se que as plantas que foram submetidas ao estresse hídrico nos estádios de crescimento

QUADRO 5 - Valores médios do número de vagens das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, submetidas ao estresse hídrico em três estádios do biociclo. ESAL, Lavras, 1990.

Estádio submetido ao estresse	Número de vagens/planta	
	Macarrão Rasteiro	Verde Baixo
Crescimento	9,2 b A	12,7 a A
Floração	13,0 b A	14,7 a A
Frutificação	22,1 a A	15,8 a B
Sem estresse	14,8 ab A	17,5 a A

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 6 - Valores médios de peso de vagens das plantas de feijão-vagem, cultivares Macarrão Rasteiro e Verde Baixo, submetidas ao estresse hídrico em três estádios do biociclo. ESAL, Lavras, 1990.

Estádio submetido ao estresse	Peso de vagens	
	Macarrão Rasteiro	Verde Baixo
Crescimento	60,5 b A	72,7 a A
Floração	62,8 b A	91,7 a A
Frutificação	147,3 a A	68,2 b A
Sem estresse	97,7 ab A	105,0 a A

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

e frutificação apresentaram redução de 31% e 35%, respectivamente, no peso de vagens em relação às plantas controle (Quadro 6).

Os baixos valores de número de vagens por planta (Quadro 5) e peso de vagens (Quadro 6) apresentados pelas plantas submetidas ao estresse no estágio de crescimento podem ser devido ao baixo acúmulo de matéria seca apresentado pelas mesmas (Quadro 2). Embora não tenha sido avaliada a área foliar, esta provavelmente tenha sido menor, o que poderia resultar numa menor produção de fotoassimilados, quantidade esta talvez insuficiente para viabilizar o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos (BEGG & TURNER, 1976), o que evidentemente proporcionaria uma redução no peso das vagens. Estes dados mostram que o estágio de crescimento foi o mais sensível ao estresse hídrico, confirmando a importância da água na fase vegetativa dessas plantas. Estas afirmações discordam dos resultados obtidos por MAGALHÃES et alii (1979) em feijoeiro, cultivar IPA 74-19, os quais observaram que a ocorrência de déficit hídrico no período reprodutivo (início da floração, plena floração e início da frutificação) causou abscisão de flores, polinização deficiente e redução no número de vagens e de grãos por vagem, incidindo numa baixa produção. Aqueles autores afirmaram ainda que o período mais crítico foi aquele que compreendeu do início da floração à plena floração, em que o déficit hídrico neste período reduziu o rendimento da cultura em cerca de 37%. HOSTALÁCIO (1984) e OLIVEIRA (1987), trabalhando com feijoeiro, cultivar Eriparsa, verificaram que o déficit hídrico imposto no estágio de frutificação, reduziu o estabelecimento de vagens, afetando consideravelmente o potencial de

produção das plantas.

A cultivar Macarrão Rasteiro parece ter sofrido menor efeito do déficit hídrico do que a cultivar Verde Baixo, apresentando maior número de vagens por planta (Quadro 5) e maior peso de vagens (Quadro 6). Este comportamento pode ter sido devido à maior capacidade de retenção de água por parte da cultivar Macarrão Rasteiro, o que pode ter lhe conferido uma maior capacidade de tolerância ao estresse hídrico. Tem sido verificado que as espécies ou cultivares resistentes à seca são aquelas que mantêm alto teor relativo de água a baixos potenciais hídricos foliares (JARVIS & JARVIS, 1963; JONES & TURNER, 1978).

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo e nestas condições permitem formular as seguintes conclusões:

- nas duas cultivares e três estádios do biociclo estudados, uma redução progressiva no potencial hídrico foliar, teor relativo de água, condutância estomática e taxa de transpiração em função do estresse hídrico foi acompanhada por uma diminuição na atividade da redutase de nitrato, havendo recuperação desta atividade, após a reirrigação, apenas na cultivar Verde Baixo;

- após a imposição ao estresse hídrico, observaram-se elevações na temperatura foliar, em relação às plantas controle, na cultivar Macarrão Rasteiro, durante os estádios de crescimento vegetativo e frutificação e, na cultivar Verde Baixo, durante a floração e frutificação;

- a cultivar Macarrão Rasteiro apresentou, no estágio de floração, aumentos consideráveis na fração carboidratos, enquanto que na cultivar Verde Baixo, estes aumentos foram observados 2 dias após a suspensão da irrigação no estágio de crescimen

to, diminuindo ao final do período de estresse;

- os teores de proteínas diminuíram, enquanto que os teores de aminoácidos totais aumentaram com o decorrer do período de estresse, apresentando comportamento inverso após a reirrigação;

- quando o estresse hídrico foi imposto no estágio de crescimento vegetativo, constataram-se reduções na produção de matéria seca da parte aérea, no número de flores e de vagens por planta, e no peso de vagens, denotando a maior sensibilidade deste estágio do biociclo a essa condição adversa em relação às plantas que sofreram déficit hídrico durante o estágio de frutificação;

- a cultivar Macarrão Rasteiro pareceu ser mais tolerante ao estresse hídrico, pois manteve maior teor relativo de água e maior peso de vagens em relação à cultivar Verde Baixo.

6. RESUMO

Com o objetivo de verificar os efeitos do déficit hídrico em plantas de feijão-vagem, conduziu-se um experimento em casa-de-vegetação no Departamento de Biologia da Escola Superior de Agricultura de Lavras (MG), utilizando-se duas cultivares (Macarrão Rasteiro AG-274 e Verde Baixo). As plantas foram submetidas à deficiência hídrica em três estádios do biociclo: crescimento vegetativo, floração e frutificação. A imposição do déficit hídrico consistiu da suspensão da irrigação nos estádios citados, avaliando-se a recuperação das plantas após a reirrigação. Com a suspensão da irrigação observou-se, nas cultivares e estádios do biociclo estudados, uma redução progressiva do potencial hídrico foliar, teor relativo de água, condutância estomática, taxa de transpiração, atividade da redutase de nitrato e teor de proteínas. A reirrigação proporcionou recuperação destas características, com exceção da atividade da redutase de nitrato na cultivar Macarrão Rasteiro. A temperatura foliar aumentou na cultivar Macarrão Rasteiro, nos estádios de crescimento e frutificação e, na cultivar Verde Baixo, durante a floração e frutifi

cação. Aumentos no teor de aminoácidos totais foram verificados em ambas as cultivares. As concentrações de açúcares solúveis totais e açúcares redutores aumentaram, na cultivar Macarrão Rasteiro, no estágio de floração e, na cultivar Verde Baixo, no estágio de crescimento. O estresse hídrico imposto durante o estágio de crescimento reduziu a produção de matéria seca da parte aérea, o número de flores e de vagens por planta e o peso de vagens, mostrando que esta fase do biociclo foi a mais sensível ao déficit hídrico. A cultivar Macarrão Rasteiro pareceu ser mais tolerante ao estresse hídrico.

7. SUMMARY

The purpose of this experiment was to verify the effects of the water deficit in french beans plants. The assay was conducted in a glass-house at the Department of Biology of the Escola Superior de Agricultura de Lavras (MG), using two cultivars (Macarrão Rasteiro and Verde Baixo). The water deficit was imposed at three distinct phases of the biocycle: vegetative growth, flowering and frutification. The water stress consisted of the withholding irrigation at the cited phases, evaluating then the recovery after irrigation. The development of the water deficit caused, in the cultivars and phases of the cycle studied a progressive reduction of the leaf water potential, relative water content, stomatal conductance, transpiration rate, nitrate reductase activity and protein content. It was noted that those characteristics showed a gradual recovery after irrigation, except the nitrate reductase activity in the Macarrão Rasteiro cultivar. The leaf temperature increased in the Macarrão Rasteiro cultivar, when the water stress was imposed in the phases of vegetative growth and frutification and, in the Verde Baixo cul-

tivar, during the phases of flowering and frutification. Increases of the total amino acid had been noted in both cultivars. The total soluble sugars and reducing sugars concentrations suffered an increase, in the Macarrão Rasteiro cultivar, only at the flowering and, in the Verde Baixo cultivar, at the vegetative growth. The water stress at the vegetative growth reduced the shoot dry matter content, the number of flowers, pods per plant and pods weight, showing that this phase as being the most sensitive to the water deficit. The Macarrão Rasteiro cultivar appeared to be more tolerant to the stress.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACEVEDO, E.; HSIAO, T.C.; HENDERSON, D.W. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. Plant Physiology, Washington, 48(5):631-6, Nov. 1971.
2. _____; FERERES, E.; HSIAO, T.C.; HENDERSON, D.W. Diurnal growth trends, water potential, and osmotic adjustment of maize and sorghum leaves in the field. Plant Physiology, Washington, 64(3):476-80, Sept. 1979.
3. ACKERSON, R.C. & HEBERT, R.R. Osmoregulation in cotton in response to water stress. I. Alterations in photosynthesis, leaf conductance, translocation, and ultrastructure. Plant Physiology, Washington, 67(3):484-8, Mar. 1981.
4. _____; KRIEG, D.R.; SUNG, F.J.M. Leaf conductance and osmoregulation of field grown sorghum genotypes. Crop Science, Madison, 20(1):10-4, Jan./Feb. 1980.

5. ALVARENGA, A.A. Estudo de alguns aspectos do desenvolvimento do feijão jacatupé (*Pachyrrhizus tuberosus* (Lam.) Spreng). Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, 1987. 174p. (Tese Doutorado).
6. ANGELOCCI, L.R. Respostas de plantas jovens de *Coffea arabica* L. e de *Coffea canephora* Pierre às variações do fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas, UNICAMP, 1983. 196p. (Tese de Doutorado).
7. APARICIO-TEJO, P. & SÁNCHEZ-DIAZ, M. Nodule and leaf nitrate reductases and nitrogen fixation in *Medicago sativa* L. under water stress. *Plant Physiology*, Washington, 69(2): 479-82, Feb. 1982.
8. BABALOLA, O. & FAWUSI, M.O.A. Drought susceptibility of two tomato (*Lycopersicum esculentum*) varieties. *Plant and Soil*, Netherlands, 55(2):205-14, 1980.
9. BARDZIK, J.M.; MARSH JR., H.V.; HAVIS, J.R. Effects of water stress on the activities of three enzymes in maize seedlings. *Plant Physiology*, Washington, 47(6):828-31, June 1971.
10. BARNETT, N.M. & NAYLOR, A.W. Amino acid and protein metabolism in Bermuda grass during water stress. *Plant Physiology*, Washington, 41(7):1222-30, Sept. 1966.

11. BEGG, J.E. & TURNER, N.C. Crop water deficits. Advances in Agronomy, New York, 28:161-217, 1976.
12. BELESKY, D.P.; WILKINSON, S.R.; PALLAS JR., J.E. Response of four tall fescue cultivars grown at two nitrogen levels to low soil water availability. Crop Science, Madison, 22(1):93-7, Jan./Feb. 1982.
13. BENNETT-CLARK, I.A. Water relations in cell. In: STEWARD, J.C., ed. Plant Physiology, New York, Academic Press, 1959. v.2, p.105-91.
14. BENZIONI, A. & HEIMER, Y.M. Temperature effect on nitrate reductase activity in vivo. Plant Science Letters, Limerick, 9(2):225-31, 1977.
15. BOYER, J.S. Water deficits and photosynthesis. In: KOSLOWSKI, T.T., ed. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press, 1976. v.4, p.153-90.
16. BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, New York, 72:248-51, 1976.

17. BRADFORD, K.J. & HSIAO, T.C. Physiological responses to moderate water stress. In: LANGE, O.L.; NOBEL, P.S.; OSMOND, C.B.; ZIEGLER, H., ed. Encyclopedia of Plant Physiology, Berlin, Springer-Verlag, 1982. v.12B, p.263-324.
18. CATSKY, J. Determination of water deficits in disks cut out from leaf blades. Biologia Plantarum, Vidickova, 2:929-38, 1960.
19. CHEN, D.; KESSLER, B.; MONSELISE, S.P. Studies on water regime and nitrogen metabolism of citrus seedling grown under water stress. Plant Physiology, Washington, 39(3):379-86, May 1964.
20. CLARK, R.N. & HILER, E.A. Plant measurements as indicators of crop water deficits. Crop Science, Madison, 13(4):466-9, July/Ago. 1973.
21. CLAWSON, K.L. & BLAD, B.L. Infrared thermometry scheduling irrigation of corn. Agronomy Journal, Madison, 74(2):311-6, Mar./Apr. 1982.
22. COELHO, K.J.F. Produtividade primária e eficiência no uso de água na mandioca (Manihot esculenta, Crantz), submetida à deficiência hídrica. Viçosa, UFV, 1980. 36p. (Tese MS).

23. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS.
Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 3ª aproximação. Belo Horizonte, EPAMIG, 1978. 80p.
24. DeJONG, T.M. & PHILLIPS, D.A. Water stress effect on nitrogen assimilation and growth of Trifolium subterraneum L. using dinitrogen or ammonium nitrate. Plant Physiology, Washington, 69(2):416-20, Feb. 1982.
25. DOSS, B.D.; PEARSON, R.W.; ROGERS, H.T. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. Agronomy Journal, Madison, 66(2):297-9, Mar./Apr. 1974.
26. DROSSOPOULOS, J.B.; KARAMANOS, A.J.; NIAVIS, C.A. Changes in free amino compounds during the development of two wheat cultivars subject to different degrees of water stress. Annals of Botany, New York, 56(3):291-305, Sept. 1985.
27. EHRLER, W.L.; IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J.
Wheat canopy temperature: relation to plant water potential. Agronomy Journal, Madison, 70(2):251-6, Mar./Apr. 1978a.

28. EHRLER, W.L.; IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J.
Diurnal changes in plant water potential and canopy temperature of wheat as affected by drought. Agronomy Journal, Madison, 70(6):999-1004, Nov./Dec. 1978b.
29. ELFVING, D.C.; KAUFMANN, M.R.; HALL, A.E. Interpreting leaf water potential measurements with a model of the soil-plant-atmosphere continuum. Physiologia Plantarum, Copenhagen, 27:161-8, 1972.
30. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Brasília, EMBRAPA-CPAC, 1976. 150p.
31. FILGUEIRA, F.A.R. Manual de olericultura; cultura e comercialização de hortaliças. 2.ed. São Paulo, Agrônomicas Ceres, 1981. 338p.
32. FISCUS, E.I.; WULLSHLEGER, S.D.; DUKE, H.R. Integrating stomatal opening as an indicator of water stress in Zea. Crop Science, Madison, 24(2):245-9, Mar./Apr. 1984.
33. FLAGLER, R.B.; PATTERSON, R.P.; HEAGLE, A.S.; HECK, W.W.
Ozone and soil moisture deficit effects on nitrogen metabolism of soybean. Crop Science, Madison, 27(6):1177-84, Nov./Dec. 1987.

34. FORD, C.W. & WILSON, J.R. Changes in levels of solutes during osmotic adjustment to water stress in leaves of four tropical pasture species. Australian Journal of Plant Physiology, Victoria, 8:77-91, 1981.
35. FUKUTOKU, Y. & YAMADA, Y. Sources of proline-nitrogen in water-stressed soybean (Glycine max L.). I. Protein metabolism and proline accumulation. Plant Cell Physiology, Tokyo, 22(8):1397-1404, Dec. 1981.
36. GATES, D.M. Leaf temperature and transpiration. Agronomy Journal, Madison, 56(3):273-7, May/Jun. 1964.
37. GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. São Paulo, Nobel, 1985. 466p.
38. GONZALES, A.R. & WILLIAMS, J.W. Effect of water stress during pod development on yield and quality of raw and canned snap beans. HortScience, Virginia, 14(2):125, Apr. 1979.
39. HANDA, S.; BRESSAN, R.A.; HANDA, A.K.; CARPITA, N.C.; HASEGAWA, P.M. Solutes contributing to osmotic adjustment in cultured plant cells adapted to water stress. Plant Physiology, Washington, 73(3):834-43, Nov. 1983.

40. HENZELL, R.G.; MCCREE, K.J.; VAN BAVEL, C.H.M.; SCHERTZ, K. F. Method for screening sorghum genotypes for stomatal sensitivity to water deficits. Crop Science, Madison, 15 (4):516-8, July/Aug. 1975.
41. HOSTALÁCIO, S. Estudo de alguns aspectos físicos, bioquímicos e anatômicos no crescimento e desenvolvimento do feijão em diferentes regimes de irrigação. Campinas, UNICAMP, 1984. 144p. (Tese Doutorado).
42. _____. & VÁLIO, I.F.M. Desenvolvimento dos frutos de feijão em diferentes regimes de irrigação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 19(1):53-7, jan. 1984.
43. HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology; Palo Alto, 24:519-70, 1973.
44. _____ & ACEVEDO, E. Plant responses to water deficits, water use efficiency, and drought responses. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 14(1/2):59-84, Nov. 1974.
45. _____; _____; HENDERSON, D.W. Maize leaf elongation: continuous measurements and close dependence on plant water status. Science, Washington, 168(3931):590-1, May 1970.

46. HSIAO, T.C.; O'TOOLE, J.C.; YAMBAO, E.B.; TURNER, N.C. Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice (Oryza sativa L.). Plant Physiology, Washington, 75(2):338-41, Jun. 1984.
47. HUFFAKER, R.C.; RADIN, T.; KLEINKOPF, G.E.; COX, E.L. Effects of mild water stress on enzymes of nitrate assimilation and of the carboxylative phase of photosynthesis in barley. Crop Science, Madison, 10(5):471-4, Sept./Oct. 1970.
48. IDSO, S.B. & REGINATO, R.J. Leaf diffusion resistance and photosynthesis in cotton as related to a foliage temperature based water stress index. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 27:27-34, 1982.
49. IZQUIERDO, J.A. & HOSFIELD, G.L. A collection receptacle for field abscission studies in common beans. Crop Science, Madison, 21(4):522-5, July/Aug. 1981.
50. JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J.; IDSO, S.B. Wheat canopy temperature: a practical tool for water requirements. Water Resources Research, Washington, 13(3):651-6, June 1977.

51. JACKSON, R.D.; IDSO, S.B.; REGINATO, R.J.; PINTER JR., P.J.
Canopy temperature as a crop water stress indicator.
Water Resources Research, Washington, 17(4):1133-8, Apr.
1981.
52. JARVIS, P.G. & JARVIS, M.S. The water relations of tree
seedlings. IV. Some aspects of tissue water relations
and drought resistance. Physiologia Plantarum, Copenha-
gen, 16:501-6, 1963.
53. JONES, M.M. & RAWSON, H.M. Influence of rate of development
of leaf water deficits upon photosynthesis, leaf conductan-
ce water use efficiency and osmotic potential in sorghum.
Physiologia Plantarum, Copenhagen, 45:103-11, 1979.
54. _____ & TURNER, N.C. Osmotic adjustment in leaves of
sorghum in response to water deficit. Plant Physiology,
Washington, 61(1):122-6, Jan. 1978.
55. JUNG, P.K. & SCOTT, H.D. Leaf water potential, stomatal re-
sistance, and temperature relations in field-grown soy-
beans. Agronomy Journal, Madison, 72(6):986-90, Nov./
Dec. 1980.

56. KARAMANOS, A.J.; ELSTON, J.; WADSWORTH, R.M. Water stress and leaf growth of field beans (Vicia faba L.) in the field: water potentials and laminar expansion. Annals of Botany, New York, 49(6):815-26, June 1982.
57. KOEHLER, P.H.; MOORE, P.H.; JONES, C.A.; DELA CRUZ, A.; MARTZKI, A. Response of drip-irrigated sugarcane to drought stress. Agronomy Journal, Madison, 74(5):906-11, Sept./Oct. 1982.
58. KRAMER, P.J. Effects of wilting on the subsequent intake of water by plants. American Journal of Botany, Columbus, 37(2):280-4, Feb. 1950.
59. _____. Plant and soil water relationships: a modern synthesis. New York, McGraw-Hill Book Co., 1969. 482p.
60. LAING, D.R. Vivero internacional de tolerancia a sequía en frijol (Phaseolus vulgaris L.). Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1979. 20p.
61. LEE, J.M.; READ, P.E.; BADIS, D.W. Effect of irrigation on interocular cavitation on yield in snap bean. Journal of the American Society for Horticultural Science, Mount, 102(3):276-8, May 1977.

62. MADRUGA, L.A.N. & RENA, A.B. Variações no teor de aminoácidos livres totais e de proteínas em folhas isoladas de cinco cultivares de arroz (Oryza sativa L.) submetidas à desidratação. Revista Ceres, Viçosa, 24(133):237-46, maio/jun. 1977.
63. MAGALHÃES, A.A. de; MILLAR, A.A.; CHOUDHURY, E.N. Efeito do déficit fenológico de água sobre a produção de feijão. Turrialba, Turrialba, 29(4):269-73, Oct./Dic. 1979.
64. MARCANO ARCAÏ, J.J. Efeito da desidratação, substâncias reguladoras do crescimento, potássio, acidez e idade da folha sobre o acúmulo de prolina livre em discos foliares de feijão (Phaseolus vulgaris L.). Viçosa, UFV, 1975. 45p. (Tese MS).
65. MARKHART, A.H. Comparative water relations of Phaseolus vulgaris L. and Phaseolus acutifolius Gray. Plant Physiology, Washington, 77(1):113-7, Jan. 1985.
66. MATTAS, R.E. & PAULI, A.W. Trends in nitrate reduction and nitrogen fractions in young corn (Zea mays L.) plants during heat and moisture stress. Crop Science, Madison, 5(2):181-4, Mar./Apr. 1965.

67. MAURER, A.R.; ORMROD, D.P.; SCOTT, N.J. Effect of five soil water regimes on growth and composition of snap bean. Canadian Journal of Plant Science, Ottawa, 49(2):271-8, Apr. 1969.
68. MAY, L.H. & MILTHORPE, F.L. Drought resistance of crop plants. Field Crop Abstract, England, 15(3):171-9, Aug. 1962.
69. MEGURO, N.E. & MAGALHÃES, A.C. Water stress affecting nitrate reduction and leaf diffusive resistance in Coffea arabica L. cultivars. Journal of Horticulture Science, Ashford, 58(1):147-52, Jan. 1983.
70. MENDES, A.N.G. Hábito de florescimento e vingamento de flores e de frutos no feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.). Piracicaba, ESALQ, 1983. 67p. (Tese MS).
71. MILLAR, A.A. & GARDNER, W.R. Effect of the soil and plant water potentials on the dry matter production of snap beans. Agronomy Journal, Madison, 64(5):559-62, Sept./Oct., 1972.
72. MORILLA, C.A.; BOYER, J.S.; HAGEMAN, R.H. Nitrate reductase activity and polyribosome content of corn (Zea mays L.) having low leaf water potential. Plant Physiology, Washington, 51(5):817-24, May 1973.

73. MUÑOZ-RUEDA, A.; GONZÁLEZ-MURUA, C.; BECERRIL, J.M.; ARRESEI-GOR, C.; SÁNCHEZ-DIAZ, M. The effect of asulam on water potential and nitrate metabolism. Plant Science, Limerick, 46(1):21-7, 1986.
74. MUNNS, R.; BRADY, C.J.; BARLOW, E.W.R. Solutes accumulation in the apex and leaves of wheat during water stress. Australian Journal of Plant Physiology, Victoria, 6:379-89, 1979.
75. NAYEK, B.; BISWAS, A.Kr.; CHOUDHURI, M.A. Water stress-induced changes in enzymic activities with age and development of field-grown rice. Phyton, Buenos Aires, 42:103-8, 1982.
76. NAYLOR, A.W. Water deficits and nitrogen metabolism. In: KOSLOWSKI, T.T., ed. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press, 1972. v.3, p.241-54.
77. NULSEN, R.N. & THURTHELL, G.W. Osmotically induced changes in the pressure-flow relationship of maize root systems. Australian Journal of Plant Physiology, Victoria, 5:469-78, 1978.
78. OLIVEIRA, L.E.M. de. Comportamento fisiológico de plantas de cana-de-açúcar (Saccharum sp) sob condições de deficiência hídrica: alterações da assimilação do nitrato e mobilização de açúcares. Campinas, UNICAMP, 1985. 126p. (Tese Doutorado).

79. OLIVEIRA, M.S. de. Efeito do déficit hídrico no desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv *Eriparsa*. Lavras, ESAL, 1987. 60p. (Tese MS).
80. PATTERSON, D.T. Growth and water relations of cotton (*Gossypium hirsutum*), spurred anoda (*Anoda cristata*), and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) during simulated drought and recovery. Weed Science, New York, 36(3):318-24, May 1988.
81. RAWSON, H.M.; TURNER, N.C.; BEGG, J.E. Agronomic and physiological responses of soybean and sorghum crops to water deficits. IV. Photosynthesis, transpiration and water use efficiency of leaves. Australian Journal of Plant Physiology, Victoria, 5:179-94, 1978.
82. REICOSKI, D.C.; DEATON, D.E.; PARSONS, J.E. Canopy-air temperatures and evapotranspiration from irrigated and stressed soybeans. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 21(1):21-35, Jan. 1980.
83. RENA, A.B. & MASCIOTTI, G.Z. Efeito do déficit hídrico sobre o metabolismo do nitrogênio e o crescimento de quatro cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Ceres, Viçosa, 23(128):288-301, jul./ago. 1976.

84. ROBINS, J.S. & DOMINGO, C.E. Moisture deficits in relation to the growth and development of dry beans. Agronomy Journal, Madison, 48(2):67-70, Feb. 1956.
85. RODRIGUES, O. Efeito da deficiência hídrica na fotossíntese, na resistência estomática, na atividade da redutase de nitrato e no acúmulo de prolina livre em Coffea arabica L. Viçosa, UFV, 1988. 52p. (Tese MS).
86. ROSSIELLO, R.O.P.; FERNANDES, M.S.; FLORES, J.P.O. Efeito da deficiência hídrica sobre o crescimento e a acumulação de carboidratos solúveis de milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 16(4):561-6, jul./ago. 1981.
87. SANTOS FILHO, B.G. dos. Parâmetros biofísicos e fisiológicos associados à economia da água em plantas de cana-de-açúcar (Saccharum spp) submetidas à estresse hídrico. Campinas, UNICAMP, 1985. 158p. (Tese Doutorado).
88. SAWHNEY, S.K.; NAIK, M.S.; NICHOLAS, D.J.D. Regulation of NADH supply for nitrate reduction in green plants via photosynthesis and mitochondrial respiration. Biochemical Biophysical Research Communications, 81:1209-16, 1978.
89. SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. Science, Washington, 148(3668):339-46, Apr. 1965.

90. SCHONFELD, M.A.; JOHNSON, R.C.; CARVER, B.F.; MORNHINWEG, D. W. Water relations in winter wheat as drought resistance indicator. Crop Science, Madison, 28(3):526-31, May/June 1988.
91. SCOTT, H.D.; JUNG, P.K.; FERGUSON, J.A. A comparison of soy beans leaf water potential and leaf temperature under progressive drought. Agronomy Journal, Madison, 73(3):574-6, May/June 1981.
92. SHANER, D.L. & BOYER, J.S. Nitrate reductase activity in maize (Zea mays L.) leaves. II. Regulation by nitrate flux at low leaf water potential. Plant Physiology, Washington, 58(4):505-9, Oct. 1976.
93. SINGH, P. & KANEMASU, E.T. Leaf and canopy temperatures of pearl millet genotypes under irrigated and nonirrigated conditions. Agronomy Journal, Madison, 75(3):497-501, May/June 1983.
94. SINGH, T.N.; PALEG, L.G.; ASPINALL, D. Stress metabolism. I. Nitrogen metabolism and growth in the barley plant during water stress. Australian Journal of Biology Science, Victoria, 26:45-56, 1973.
95. SINCLAIR, T.R.; LUDLOW, M.M. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. Australian Journal of Plant Physiology, Victoria, 12:213-7, 1985.

96. SINHA, S.K. & NICHOLAS, D.J.D. Nitrate reductase. In: PALLEG, L.G. & ASPINALL, D. ed. Physiology and biochemistry of drought resistance in plants. New York, Academic Press, 1981, p.141-68.
97. SIONIT, N. & KRAMER, P.J. Effect of water stress during different stages of growth of soybeans. Agronomy Journal, Madison, 69(2):274-8, Mar./Apr. 1977.
98. SIVAKUMAR, M.V.K.; SEETHARAMA, N.; SINGH, S.; BIDINGER, F.R. Water relations, growth, and dry matter accumulation of sorghum under post-rainy season conditions. Agronomy Journal, Madison, 71(5):843-7, Sept./Oct. 1979.
99. SLATYER, R.O. Plant water relationships. London, Academic Press, 1967. 366p.
100. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Campinas, 1982. 46p.
101. STANSELL, J.R. & SMITTLE, D.A. Effects of irrigation regimes on yield and water use of snap bean (Phaseolus vulgaris L.). Journal of the American Society for Horticultural Science, Mount, 105(6):869-73, Nov. 1980.

102. SUBHADRABANDHU, S.; DENNIS JR., F.G.; ADAMS, M.W. Absci -
ssion of flowers and fruits in Phaseolus vulgaris L.
II. The relationships between pod abscission, phaseic
and dihidrophaseic acids in pedicells and pods. Journal
of the American Society for Horticultural Science, Mount,
103(5):565-7, Sept. 1978.
103. TURNER, N.C. Crop water deficits: a decade of progress.
Advances in Agronomy, New York, 39:1-51, 1986.
104. _____ & BEGG, J.E. Stomatal behavoir and water status
of maize, sorghum and tobacco under field conditions.
I. At high soil water potential. Plant Physiology,
Washington, 51(1):31-6, Jan. 1973.
105. _____ & _____. Plant-water relations and adaptation
to stress. Plant Soil, Netherlands, 58(1):97-131, 1981.
106. _____ & _____ & TONNET, M.L. Osmotic adjustment of
sorghum and sunflower crops in responses to water defi-
cits and its influence on the water potentials at which
stomata close. Australian Journal of Plant Physiology,
Victoria, 5:597-608, 1978.
107. UDVARDY, J.; FARKAS, G.L.; MARRÉ, E. On RNase other hydro-
lic enzymes in excised Avena leaf tissues. Plant and
Cell Physiology, Tokyo, 10(3):375-86, May 1969.

108. VAADIA, Y.; RANEY, F.C.; HAGAN, R.M. Plant water deficits and physiological process. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, 12:265-92, 1961.
109. VENKATARAMANA, S.; NAIDU, K.M.; SINGH, S. Membrane thermostability and nitrate reductase activity in relation to water stress tolerance of young sugar-cane plants. New Phytologist, London, 107(2):335-40, Oct. 1987.
110. VILLARREAL, A.M. & LARQUÉ-SAAVEDRA, A. Condicionamiento a la sequia en el frijol (Phaseolus vulgaris L.), ajuste osmotico. Agrociência, Chapingo, (51):7-16, 1983.
111. VYAS, S.P.; KATHJU, S.; GARG, B.K.; LAHIRI, A.N. Performance and metabolic alterations in Sesamum indicum L. under different intensities of water stress. Annals of Botany, New York, 56(3):323-31, Sept. 1985.
112. WADLEIGH, C.H. & AYERS, A.D. Growth and biochemical composition of bean plants as conditioned by soil moisture tension and salt concentration. Plant Physiology, Washington, 20(1):106-32, Jan. 1945.
113. WALKER, G.K. & HATFIELD, J.T. Stress measurements using foliage temperatures. Agronomy Journal, Madison, 75(4):623-9, July/Aug. 1983.

114. WEATHERLEY, P.E. Studies in the water relations of cotton plant. I. The field measurements of water deficits in leaves. New Phytologist, London, 49(1):81-97, 1950.
115. WIEGAND, C.L. & NANKEN, L.N. Influence of plant moisture stress, solar radiation and air temperature on cotton leaf temperature. Agronomy Journal, Madison, 58(6):582-6, Nov./Dec. 1966.
116. WINTER, E.J. A água, o solo e a planta. São Paulo, EPU, 1976. 169p.
117. WOODHAMS, D.H. & KOZLOWSKI, T.T. Effect of soil moisture stress on carbohydrate development and growth in plants. American Journal of Botany, Columbus, 41(3):316-20, Feb. 1954.
118. ZUR, B.; BOOTE, K.J.; JONES, J.W. Changes in internal water relations and osmotic properties of leaves in maturing soybean plants. Journal Experimental of Botany, London, 32(129):1181-91, Aug. 1981.

APÉNDICE

QUADRO 1A - Resultados médios das análises químicas e granulométrica da amostra do solo utilizado no experimento. Lavras, Minas Gerais, 1990*.

Características químicas	Valores	Interpretações**
pH em água	6,5	AcF
Al ⁺⁺⁺ (mE/100 cm ³)	0,1	B
Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ (mE/100 cm ³)	0,4	B
Fósforo (ppm)	2,0	B
Potássio (ppm)	33,0	M
Análise granulométrica	% de TFSE	
Areia	34,5	
Limo	3,9	
Argila	61,6	
Classificação textural***	Muito argiloso	

* Análises realizadas no Instituto de Química "John Weelock" e Laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciência do Solo da ESAL.

** Interpretações baseadas na COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (1978).

*** Segundo a SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (1982).

TFSE: Terra Fina Seca em Estufa.