

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ÁGUA E SOLO
SUB-ÁREA: MANEJO DE SOLO E ÁGUA

VARIAÇÕES NA MORFOFISIOLOGIA E NO RENDIMENTO DO
FEIJOEIRO SUBMETIDO A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

JOSÉ QUEIROGA NÓBREGA

CAMPINA GRANDE, PB
2000

2000
CGBC_Tese

JOSÉ QUEIROGA NÓBREGA

VARIAÇÕES NA MORFOFISIOLOGIA E NO RENDIMENTO DO
FEIJOEIRO SUBMETIDO A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

Tese apresentada à Coordenação do Curso de Doutorado em
Recursos Naturais da Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento aos requisitos exigidos para obtenção do título de
Doutor.

TANTRAVAHÍ VENKATA RAMANA RAO
ORIENTADOR

NAPOLEÃO ESBERARD DE MACÊDO BELTRÃO
ORIENTADOR

CAMPINA GRANDE, PB
2000



N754v

Nóbrega, José Queiroga.

Variações na morfofisiologia e no rendimento do feijoeiro submetido a diferentes lâminas de irrigação / José Queiroga Nóbrega. - Campina Grande, 2000.
100 f.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2000.

"Orientação : Prof. Dr. Tantravahi Venkata Ramana Rao, Prof. Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão".

Referências.

1. Umidade do Solo. 2. Cultura do Feijão. 3. Feijoeiro - Morfofisiologia. 4. Lâminas de Irrigação. 5. Tese - Recursos Naturais. I. Rao, Tantravahi Venkata Ramana. II. Beltrão, Napoleão Esberard de Macêdo. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 631.432.2:635.652(043)

JOSÉ QUEIROGA NÓBREGA

**VARIAÇÕES NA MORFOFISIOLOGIA E NO RENDIMENTO DO
FEIJOEIRO SUBMETIDO A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

APROVADA EM: 07/11/2000

BANCA EXAMINADORA:

J.V. Ramana Rao

Prof. Dr. TANTRAVAHU VENKATA RAMANA RAO
Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Napoléon E. de M. Beltrão

Dr. NAPOLEÃO ESBERARD DE MACÉDO BELTRÃO
Centro Nacional de Pesquisa do Algodão – Embrapa Algodão
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Francisco Rodrigues Freire Filho

Dr. FRANCISCO RODRIGUES FREIRE FILHO
Centro Nacional de Pesquisa do Meio Norte – Embrapa Meio Norte
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Iêde de Brito Chaves

Prof. Dr. IÊDE DE BRITO CHAVES
Departamento de Solos e Engenharia Rural - DSER
Centro de Ciências Agrárias - CCA
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

José Dantas Neto

Prof. Dr. JOSÉ DANTAS NETO
Departamento de Engenharia Agrícola - DEAg
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão

Prof. Dr. MÁRIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO
Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Ofereço

Aos meus pais, **Antônio Nóbrega de Figueiredo e Raimunda Queiroga da Nóbrega.**

Dedico

À parte imortal
do ser humano.

AGRADECIMENTOS

À Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEPA), pela oportunidade oferecida.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pelo apoio financeiro.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos equipamentos.

À Universidade Federal da Paraíba/Coordenadoria de Recursos Naturais, pela realização do curso.

Aos Professores e Pesquisadores Tantravahí Venkata Ramana Rao e Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão, pela orientação prestada.

Ao Pesquisador José Fideles Filho, pelo aconselhamento técnico.

Ao Pesquisador Vicente de Paula Queiroga, pelo incentivo.

À minha esposa Izabel e às minhas filhas Raquel e Renata, pela capacidade incomparável de superarem momentos adversos e apoio irrestrito no transcorrer do curso.

Aos Professores do Curso de Doutorado em Recursos Naturais Pedro Vieira, Pedro Dantas, José Dantas e Mário Miranda, pelos ensinamentos ministrados.

Aos amigos, pelo companheirismo e estímulo.

Aos colegas do Curso, pela amizade e companheirismo.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

RESUMO

O trabalho de pesquisa foi desenvolvido na Estação Experimental de Lagoa Seca, da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba, EMEPA-PB, tendo como objetivo identificar as conseqüências do conteúdo de umidade do solo, nas variáveis de crescimento, componentes de rendimento e nos componentes de estresse hídrico, na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos basearam-se em diferentes lâminas de irrigação: 80, 160, 320 e 140,2 mm, distribuídas nas fases fenológicas da cultura e fundamentadas em estudos anteriormente desenvolvidos e na umidade do solo. Os efeitos dos diferentes regimes de irrigação foram avaliados mediante as variações da distribuição da fitomassa, fitomassa total, área foliar, índice de área foliar, taxa de assimilação líquida, razão da área foliar, respiração, componentes de rendimento e variações nos componentes de estresse hídrico. As variáveis de crescimento apresentaram valores diferenciados em resposta aos tratamentos empregados. A respiração mostrou-se insensível em situação de estresse hídrico, fortalecendo a condição do feijoeiro de exibir respostas fisiológicas que resultam no desenvolvimento de mecanismos de adaptação. As demais variáveis tiveram variações diretamente proporcionais aos tratamentos empregados, apresentando valores maiores nas plantas mantidas com maior lâmina de água na irrigação. Os aumentos nos componentes de rendimento também foram maiores nas plantas com maior suprimento de água. Valores dos componentes de estresse hídrico da cultura, obtidos através do termômetro infravermelho, apresentaram boa consistência de resultados, verificando-se maiores temperaturas do dossel em plantas com restrições de umidade. As diferenças de temperatura do dossel e do ar apresentaram valores positivos, o que indica a

ocorrência de estresse hídrico quando a cultura foi submetida a menores disponibilidades de água. O índice de graus dias de estresse evidenciou, no tratamento com redução de umidade no solo, níveis de estresse durante todo o ciclo da cultura. Verificou-se que as variáveis de crescimento e os componentes de rendimento relacionam-se estreitamente com os componentes de estresse hídrico, determinando variações morfofisiológicas do feijoeiro, nas diferentes fases fenológicas.

ABSTRACT

The research work was conducted at the Experimental Station of Lagoa Seca, located in the Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba, EMEPA-PB, with the objective of identifying the consequences of soil moisture content, in the growth variables, yield components and components of water stress, in the bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. The statistical design used was the randomized blocks, with four treatments and four replications. The treatments were based on different irrigation levels: 80, 160, 320 e 140,2 mm, distributed in the different phynological phases of the crop and based on the results of the previous studies and in the soil humidity. The effects of the different irrigation regimes were evaluated by means of the distribution of the phytomass, total phytomass, leaf area, leaf area index, net assimilation rate, leaf area ratio, respiration, yield components and variations in the components of water stress. The growth variables showed differentiated values in response to the water treatments employed. The respiration was insensitive to the water stress, strengthening condition of the bean crop in exhibiting the physiological responses that result in the development of adaptation mechanisms. The other growth variables had variation directly proportional to the employed treatments, presenting higher values in plants supplied with higher levels of irrigation. The increases in the yield components were also higher in plants with higher supply of water. Values of water stress components, obtained through the infrared thermometer, showed a good consistence of results, with larger canopy temperatures in plants with moisture restrictions. The differences between the canopy and air temperatures presented positive values that indicate the occurrence of water stress when the crop was submitted to lower supply of water. The stress degree day index evidenced increased stress levels during the whole cycle

of the crop with limited water supply. The results indicated that the growth variables and the yield components are related to the components of water stress, determining morpho-physiological variations of the bean crop, in its different phenological stages.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SÍMBOLOS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	18
2. REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1. Efeitos da umidade do solo no feijoeiro	21
2.1.1. Efeitos fenológicos	21
2.1.2. Efeitos fisiológicos	23
2.1.3. Efeitos nas variáveis de crescimento	26
2.1.4. Efeitos nos componentes de rendimento	28
2.2. Índices de estresse hídrico no feijoeiro	30
3. MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1. Caracterização da área experimental	34
3.1.1. Local	34
3.1.2. Clima	34
3.1.3. Solo	35
3.2. Experimentos	36
3.3. Cultivar	37
3.4. Parcelas experimentais	38
3.5. Medições das variáveis meteorológicas	39

3.6. Determinação da umidade do solo.....	39
3.7. Determinação das fases fenológicas.....	40
3.8. Determinação das variáveis de crescimento.....	40
3.8.1. Distribuição da fitomassa.....	40
3.8.2. Fitomassa (W).....	41
3.8.3. Área foliar (AF).....	41
3.8.4. Índice de área foliar (IAF).....	41
3.8.5. Taxa de assimilação líquida (TAL).....	42
3.8.6. Razão de área foliar (RAF).....	42
3.8.7. Respiração (R).....	42
3.9. Determinação dos componentes de rendimento.....	43
3.9.1. Número de vagens por planta.....	43
3.9.2. Número de grãos por vagem.....	43
3.9.3. Peso de 100 grãos.....	43
3.9.4. Rendimento de grãos.....	43
3.10. Determinação dos componentes de estresse hídrico.....	44
3.10.1. Temperatura do dossel (Tc).....	44
3.10.2. Diferença da temperatura do dossel e do ar (Tc-Ta).....	44
3.10.3. Graus dias de estresse (GDE).....	44
3.11. Práticas culturais.....	45
3.11.1. Preparo da área.....	45
3.11.2. Semeadura.....	45
3.11.3. Tratos culturais.....	46
3.11.4. Irrigação.....	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1. Umidade do solo.....	47
4.2. Fases fenológicas.....	49
4.3. Variáveis de crescimento.....	50
4.3.1. Distribuição da fitomassa.....	50
4.3.2. Fitomassa (W).....	52
4.3.3. Área foliar (AF).....	55
4.3.4. Índice de área foliar (IAF).....	57
4.3.5. Taxa de assimilação líquida (TAL).....	59

4.3.6. Razão de área foliar (RAF).....	59
4.3.7. Respiração (R).....	62
4.4. Componentes de rendimento	63
4.4.1. Número de vagens por planta	69
4.4.2. Número de grãos por vagem	69
4.4.3. Peso de 100 grãos	72
4.4.4. Rendimento de grãos.....	74
4.5. Componentes de estresse hídrico	76
4.5.1. Temperatura do dossel (Tc).....	76
4.5.2. Diferença de temperatura do dossel e do ar (Tc-Ta)	77
4.5.3. Graus dias de estresse (GDE)	80
4.5.4. Componentes de estresse hídrico e rendimentos.....	80
5. CONCLUSÕES	84
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

LISTA DE FIGURAS

1. Umidade do solo, em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000	48
2. Fitomassa total (W), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000	54
3. Área foliar (AF), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000	56
4. Índice de área foliar (IAF), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetido aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000	58
5. Taxa de assimilação líquida (TAL), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000	60
6. Razão de área foliar (RAF), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000	61
7. Respiração média diária (ρ) do feijoeiro, submetida ao tratamento 1 (80 mm de lâmina de irrigação). Lagoa Seca, Paraíba. 2000	64
8. Respiração média diária (ρ) do feijoeiro, submetida ao tratamento 2 (160 mm de lâmina de irrigação). Lagoa Seca, Paraíba. 2000	65
9. Respiração média diária (ρ) do feijoeiro, submetida ao tratamento 3 (320 mm de lâmina de irrigação). Lagoa Seca, Paraíba. 2000	66
10. Respiração média diária (ρ) do feijoeiro, submetida ao tratamento 4 (140,2 mm de lâmina de irrigação). Lagoa Seca, Paraíba. 2000	67

11. Número de vagens por planta do feijoeiro, submetido aos diferentes tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000.....	70
12. Número de grãos por vagem do feijoeiro, submetido aos diferentes tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000.....	71
13. Peso de 100 grãos do feijoeiro, submetido aos diferentes tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000.....	73
14. Rendimento de grãos do feijoeiro, submetido aos diferentes tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000.....	75
15. Temperatura do dossel (T_c), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000.....	78
16. Diferenças da temperatura do dossel e do ar ($T_c - T_a$), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetidas aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000.....	79
17. Graus dias de estresse (GDE), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetidos aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000.....	81
18. Relação entre Rendimento e Graus Dias de Estresse (GDE) do feijoeiro, submetidos aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000.....	83

LISTA DE TABELAS

1. Análise química do solo da área experimental. Lagoa Seca, Paraíba. 2000	35
2. Análise físico-hídrica e granulométrica do solo da área experimental. Lagoa Seca, Paraíba. 2000	35
3. Relação dos tratamentos que foram adotados na experimentação. Lagoa Seca, Paraíba. 2000	38
4. Valores médios decendiais de temperatura média ($T_{\text{méd}}$), temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$), temperatura mínima ($T_{\text{mín}}$), umidade relativa (U.R.) e evaporação no tanque classe A (ECA). Lagoa Seca, Paraíba. 2000	39
5. Fases fenológicas, duração e ciclo (dias) da cultura do feijão, em função dos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000.....	49
6. Análises de variância das variáveis primárias de crescimento do feijoeiro. Lagoa Seca, Paraíba. 2000	51
7. Médias das variáveis primárias de crescimento do feijoeiro. Lagoa Seca, Paraíba. 2000.....	51
8. Distribuição da fitomassa nos diferentes órgãos nas fases do feijoeiro, em função dos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000.....	52
9. Análises de variância dos componentes de rendimento do feijoeiro. Lagoa Seca, Paraíba. 2000	68
10. Médias dos componentes de rendimentos do feijoeiro. Lagoa Seca, Paraíba. 2000.....	68
11. Relação entre componentes de estresse hídrico e rendimento do feijoeiro, submetidos aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000	82

LISTA DE SÍMBOLOS

AF	– Área foliar (cm ²)
CC	– Capacidade de campo (Kg/Kg)
Da	– Densidade aparente (Kg/dm ³)
DAS	– Dias após a semeadura (dias)
Dr	– Densidade real (Kg/dm ³)
ECA	– Evaporação no tanque classe A (mm/dia)
EMBRAPA	– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMEPA	– Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária
F	– Floração (dias)
FV	– Formação de vagens (dias)
G	– Germinação (dias)
GDE	– Graus dias de estresse (°C)
IAF	– Índice de área foliar (adimensional)
IF	– Início da floração (dias)
M	– Maturação (dias)
PM	– Ponto de murcha (Kg/Kg)
R	– Respiração
RAF	– Razão de área foliar (cm ² /g)
TAL	– Taxa de assimilação líquida (g/cm ² /dia)
Ta	– Temperatura do ar (°C)
Tc	– Temperatura do dossel da cultura (°C)
Tc-Ta	– Diferença entre a temperatura do dossel e do ar (°C)

T.1	- Tratamento 1
T.2	- Tratamento 2
T.3	- Tratamento 3
T.4	- Tratamento 4
T _{máx}	- Temperatura máxima (°C)
T _{méd}	- Temperatura média (°C)
T _{min}	- Temperatura mínima (°C)
UR	- Umidade relativa (%)
W	- Fitomassa (g/planta)
α	- Relação entre a taxa de crescimento relativo da fitomassa e a taxa de crescimento relativo da área foliar
ΔS	- Área do solo amostrado (cm ²)
ρ	- Respiração média diária (g/g/dia)

1. INTRODUÇÃO

O complexo sistema água-solo-planta-atmosfera é um seguimento contínuo de grande importância nas análises do comportamento de uma cultura, em termos das variações de umidade do solo. Portanto, o teor de umidade do solo é de vital interesse para a agricultura, principalmente nas regiões onde o uso da irrigação é fundamental para o aumento da produtividade agrícola. Por isto, os recursos hídricos disponíveis devem ser utilizados racionalmente no processo de produção agrícola, de forma que se possa obter os mais altos níveis de produtividade econômica.

Os vegetais, durante seu ciclo de desenvolvimento, consomem um grande volume de água, sendo que cerca de 98% deste volume apenas passa pela planta, perdendo-se posteriormente para a atmosfera pelo processo de transpiração. Este fluxo de água é, porém, necessário para o crescimento e o desenvolvimento do vegetal e por este motivo sua taxa deve ser mantida dentro de limites ótimos para cada cultura.

Os efeitos da umidade do solo no crescimento e no desenvolvimento das plantas, manifestam-se independentemente da espécie, ao longo do ciclo e, nas diferentes partes da planta. Normalmente, do ponto de vista agrônomo, o que mais interessa são os efeitos do déficit hídrico do solo sobre o rendimento das culturas, os quais iniciam-se quando a taxa de evapotranspiração supera a taxa de absorção de água pelas raízes, e portanto, está diretamente associado a uma redução progressiva da umidade do solo acompanhando a profundidade radicular. Quanto maior a redução, mais severa será o déficit.

A importância da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*. L) no Brasil, vem da posição de destaque que o país ocupa como um dos maiores produtores e consumidores

mundiais. O hábito de consumo do feijão pela população brasileira, tanto nas cidades como no meio rural, associado a sua ampla adaptação climática, faz com que esta cultura esteja distribuída por todo o território nacional. Desta forma, o feijão representa a principal fonte de proteína das populações de baixa renda e constitui um produto de destacada importância nutricional, econômica e social (EMBRAPA, 1981).

Tradicionalmente o feijão é plantado em épocas em que as precipitações pluviárias possibilitem o desenvolvimento da cultura, sem a prática de irrigação. No entanto, o risco do comprometimento do desenvolvimento e da quebra de produção é muito grande, pois a distribuição das chuvas é de caráter aleatório, ocorre, na maioria das vezes, excessos ou deficiências de chuvas em épocas indesejáveis.

O requerimento de água pela cultura do feijoeiro é variável com o seu estágio de desenvolvimento. Assim o consumo aumenta de um valor mínimo na germinação até um valor máximo quando a cultura atinge o seu pleno desenvolvimento, decrescendo a partir do início da maturação.

Costuma-se classificar o feijoeiro como cultura muito sensível ao estresse hídrico devido a sua baixa capacidade de recuperação após um déficit hídrico e ao seu sistema radicular pouco desenvolvido (GUIMARÃES, 1988). A ocorrência de déficit hídrico na floração, que é considerado a fase de maior sensibilidade, provoca aborto e abscisão das flores. Por outro lado, durante a formação das vagens, o déficit hídrico provoca chochamento dos grãos devido à insuficiência de fotossintetização. A deficiência hídrica afeta os reguladores do crescimento das plantas, particularmente o ácido abscísico (ABA). O aumento do cis-trans ABA causa o fechamento dos estômatos, atenuando o estresse hídrico celular, ocasionando uma redução no fluxo de CO₂ na região de fotossintetização. Além da resistência estomática, há outros fatores que concorrem para a redução da fotossintetização. A resistência do mesófilo não constitui fator importante em déficits moderados, mas torna-se importante nos severos (GUIMARÃES, 1988). Tais fatores têm contribuído para uma estabilização e até mesmo um decréscimo na produtividade média do feijão, nas regiões produtoras.

O monitoramento adequado da umidade do solo é portanto um importante requisito para atender a demanda de evapotranspiração, sem causar um nível de estresse hídrico capaz de reduzir a produção da cultura. Tal controle visa, também, otimizar a prática da irrigação, racionalizando e quantificando o uso da água na cultura, em suas diferentes fases fenológicas.

Uma vez que o déficit hídrico constitui-se um dos principais fatores limitantes da produtividade do feijoeiro, é de fundamental importância que se faça um estudo amplo e multidisciplinar que aborde fatores inerentes à água, ao solo, à planta e à atmosfera, para que esses elementos possam contribuir para um melhor entendimento da resposta da cultura ao déficit hídrico, já que estas informações são peculiares à cada região. No Estado da Paraíba, verifica-se uma escassez de informações a respeito dos efeitos do estresse hídrico na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), tornando-se necessários estudos que dêem subsídios para um manejo adequado dos níveis de umidade do solo, como forma de dar mais eficiência aos sistemas de produção, aproveitar melhor o potencial genético produtivo das cultivares e de proporcionar maior estabilidade à produção.

O objetivo deste estudo foi identificar as consequências do conteúdo de umidade do solo, nas seguintes variáveis relacionadas ao feijoeiro:

- a) Crescimento: distribuição da fitomassa, fitomassa (W), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), taxa de assimilação líquida (TAL), razão de área foliar (RAF) e respiração (R);
- b) Componentes de Rendimento: rendimento de grãos, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de 100 grãos;
- c) Componentes de Estresse Hídrico: temperatura do dossel (T_c), diferença da temperatura do dossel e do ar ($T_c - T_a$) e graus dias de estresse (GDE), nas diferentes fases fenológicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. EFEITOS DA UMIDADE DO SOLO NO FEIJOEIRO

O feijoeiro é classificado como planta sensível tanto à deficiência hídrica, quanto ao excesso de água no solo. O requerimento de água pela cultura é variável com o seu estágio de desenvolvimento. O consumo de água aumenta de um valor mínimo na germinação até um valor máximo na floração e na formação de vagens, decrescendo a partir do início da maturação.

Os efeitos do nível de umidade do solo no feijoeiro manifestam-se ao longo do seu ciclo e nas diferentes partes da planta. Em geral, o que mais interessa são os efeitos do déficit hídrico sobre o crescimento e o desenvolvimento da cultura, o que, conseqüentemente, limita o rendimento (MAÑAS & VALERO, 1993).

2.1.1. EFEITOS FENOLÓGICOS

O crescimento e o desenvolvimento do feijoeiro caracterizam-se por diferenciações morfofisiológicas que ocorrem durante seu ciclo. A umidade do solo apresenta-se como um dos fatores limitantes às alterações metabólicas, portanto é importante o conhecimento das fases críticas da cultura com relação à deficiência hídrica.

Na literatura aparecem resultados conflitantes, relativos à sensibilidade das diferentes fases do ciclo do feijão ao estresse hídrico. Segundo DOORENBOS & PRUITT (1976), os períodos considerados críticos ao déficit hídrico, em *Phaseolus*, são sementeira, florescimento e formação de grãos.

De acordo com GARRIDO & TEIXERA, (1978a,b), a ocorrência de déficit hídrico por ocasião da sementeira do feijoeiro provoca má germinação das sementes, diminuindo a população de plantas e, conseqüentemente, a produtividade. Resultados similares foram também encontrados por FANCELLI & DOURADO NETO (1991) e GUIMARÃES (1996).

Deficiência hídrica na fase vegetativa não reduz significativamente o rendimento do feijoeiro, pois ainda há tempo suficiente para que as plantas se recuperem (CALVACHE *et al.*, 1997a). Entretanto, a deficiência hídrica poderá paralisar o crescimento, tendo efeito indireto no rendimento de grãos, pela redução da área foliar (FANCELLI & DOURADO NETO, 1991).

KATTAN & FLEMING (1956) não encontraram diminuição no rendimento, devido ao déficit hídrico na fase de pré-florescimento. Entretanto, DUBETZ & MAHALE (1969) constataram uma redução de 53% na produtividade com déficit hídrico nessa fase. Para MaC KAY & EAVES (1962), essa fase de desenvolvimento é considerada a mais crítica.

Outras pesquisas feitas por KATTAN & FLEMING (1956), ROBINS & DOMINGO (1956), DUBETZ & MAHALE (1969); mostraram que o déficit hídrico durante a floração, provoca as maiores reduções de produtividade do feijoeiro. Dentro desse período crítico, conforme, MAGALHÃES E MILLAR (1978), o decréscimo no rendimento do feijoeiro depende do número de dias em que a cultura fica sujeita à baixa umidade do solo.

A deficiência hídrica na floração, quando ocorre com alta intensidade e larga duração, determina efeito negativo sobre o rendimento (WESTPHALEN & BERGAMASCHI (1979) e CALVACHE *et al.* (1997b)). De acordo com FANCELLI & DOURADO NETO (1991), períodos de deficiência hídrica de uma semana, por ocasião da floração, podem promover queda do rendimento de cerca de 48%.

MAGALHÃES & MILLAR (1978) afirmam que, se durante a floração houver veranico superior a 20 dias, o rendimento pode ser reduzida em até 52%. MAGALHÃES *et al.* (1979) concluíram que para se obter um rendimento de pelo menos

80% do rendimento potencial, não pode faltar água para a cultura no período que se estende desde antes do início da floração até a plena frutificação com tensões no solo maiores que 2 bar.

DOORENBOS & PRUITT (1976) afirmam que os períodos de floração e de aparecimento de vagens são mais críticos que o período anterior ao florescimento que, por sua vez, é mais crítico que o de maturação.

Segundo DOORENBOS & KASSAM (1979), as maiores produções de grãos são obtidas quando a lavoura é mantida com bom suprimento de umidade durante todo o ciclo. Os autores afirmam, ainda, que o requerimento de água para a cultura do feijoeiro em condições de alta produtividade situa-se em torno de 300 a 500 mm, dependendo do clima e do solo. VIEIRA (1978) considera ideal o volume de 100 mm por mês, bem distribuídos.

Quantitativamente, o consumo de água é determinado pela a evaporação ou uso consuntivo da cultura, expressos em mm de altura de água por unidade de tempo. SILVEIRA & STONE (1979) verificaram no feijoeiro irrigado na região de Goiânia (GO), um consumo de água igual a 3,2 mm/dia da germinação à floração plena e 1,7 mm/dia do desenvolvimento das vagens à maturação. Também para o feijoeiro, em condições de irrigação em Goiana (GO), GUIMARÃES *et al.* (1982) encontraram 2,3 mm/dia, 7,1 mm/dia e 1,5 mm/dia de consumo, aos 10 dias após a germinação, durante a floração e início da maturação respectivamente. Já para o feijão sem irrigação, DEMATTÊ *et al.* (1974) encontraram em Ribeirão Preto (SP) valores de 2,9 mm/dia e 3,5 mm/dia. Enquanto, GARRIDO & TEIXEIRA (1978a) no Sul de Minas Gerais encontraram valores médios de 3,3 mm/dia e 4,2 mm/dia.

2.1.2. EFEITOS FISIOLÓGICOS

As funções fisiológicas dos vegetais não são afetadas de igual forma pelas condições de estresse hídrico. Determinados processos são mais sensíveis que outros. Em geral, os efeitos dos estresses hídricos repercutem primeiro nos processos mais sensíveis, e depois nos menos sensíveis. Os dois grupos de processos, em conjunto, dão origem à desorganização metabólica em cadeia.

O feijoeiro apresenta efeitos diferenciados quando submetido a diferentes regimes de umidade no solo.

A fotossíntese é o processo através do qual as plantas transformam a energia solar em energia química. As plantas são transformadoras primárias de energia solar e sua eficiência é fator determinante na produtividade agrícola. Um entendimento melhor dos fatores que afetam a fotossíntese durante o déficit hídrico pode ajudar no entendimento dos mecanismos de resistência utilizados pela planta em situações de déficit hídrico (LOPES *et al.*, 1988). Inúmeros pesquisadores têm investigado os efeitos do déficit hídrico na fotossíntese, entre eles BLUM *et al.* (1991), RITCHIE *et al.* (1990), HEITHOLT *et al.* (1991) e MORGAN & LE CAIN (1991).

A redução da atividade fotossintética pela redução na assimilação de CO₂ e a senescência das folhas são também indicadores do efeito do déficit hídrico de uma cultura (FAVER *et al.*, 1996). BEGG & TURNER (1976) demonstraram que os efeitos causados pelo déficit hídrico nos tecidos mais jovens da planta são maiores que nos tecidos adultos; porém, quando se interrompe o déficit o desenvolvimento é recuperado somente nas folhas mais jovens.

De acordo com LOPES *et al.* (1988), o déficit hídrico reduz o índice de troca de CO₂ e a sua condução para a folha, além de reduzir a concentração desse elemento nos espaços intercelulares. Após a interrupção do déficit hídrico, esses parâmetros tendem a voltar ao normal, porém não em sua plenitude, pois a velocidade de recuperação é reduzida. Segundo MOTA (1983), a recuperação completa da fotossíntese é lenta quando a planta chega próximo ao ponto de murcha, variando com a espécie vegetal, com o tipo de solo e com o método de aplicação da água de irrigação.

De acordo com MAGALHÃES (1985), a formação do dossel e sua resposta sobre a fotossíntese e a produtividade das plantas estão relacionadas principalmente à quantidade de energia interceptada e absorvida.

A fotossíntese desempenha importante papel na produção de uma cultura (WULLSCHLEGER & OOSTERHUIS, 1990), pois o rendimento de grãos é potencialmente influenciado pela duração da taxa de acumulação de carboidratos (CRAFTS-BRANDNER & PONELEIT, 1992). De acordo com JORDAN (1983), o déficit hídrico pode afetar a utilização de carboidratos, por alterar, basicamente, a eficiência com que os fotoassimilados são convertidos para o desenvolvimento de partes novas da planta.

O déficit hídrico ocasiona mudanças na partição dos carboidratos no interior da planta, condicionando as plantas a desenvolverem mecanismos de adaptação e resistência.

Quando a ocorrência do déficit é rápida, os mecanismos morfofisiológicos são severamente afetados e a planta necessita adaptar-se à nova situação de irrigação, normalmente, apresentam menos resistência. Desta forma, plantas conduzidas em condições de irrigação normalmente apresentam menos resistência a situações de déficit hídrico no solo; já em plantas submetidas ao déficit hídrico gradual ou a deficiência de água no solo no início do seu ciclo, mais facilmente ocorre a adaptação das plantas. A tolerância da planta ao déficit hídrico parece ser um importante mecanismo de resistência, para a manutenção do processo produtivo em condições de baixa disponibilidade de água às plantas.

O estudo de LEVITT (1980) demonstrou que, durante um déficit hídrico, os diversos ajustamentos fisiológicos das plantas determinam as respostas adaptativas de ordens anatômicas e morfológicas, porém essas respostas sofrem variações de acordo com a espécie, a cultivar, o estado de desenvolvimento das plantas e com a duração e a intensidade do déficit hídrico. Segundo o mesmo autor, as plantas têm capacidade de resistir a períodos de déficit hídrico, procurando utilizar mecanismos que reduzam a perda de água.

GHORASHY *et al.* (1971) verificaram um decréscimo linear da fotossíntese aparente com o decréscimo do potencial hídrico do solo. O'TOOLE *et al.* (1977) verificaram que a fotossíntese líquida e a transpiração iniciaram um processo de redução quando o potencial hídrico das folhas de feijão atingiu a faixa de -0,3 a -0,5 MPa. Com o aumento da deficiência hídrica do solo, e conseqüentemente com o decréscimo do potencial hídrico da folha para -0,9 a -1,0 MPa, a fotossíntese líquida e a transpiração foram praticamente nulas. Baseando-se no comportamento semelhante entre fotossíntese líquida e transpiração, em condição de deficiência hídrica, O'TOOLE *et al.* (1977) concluíram que a abertura estomática é o fator controlador da fotossíntese.

SOLÁROVÁ *et al.* (1977) estudaram isoladamente o comportamento do potencial hídrico foliar das superfícies superiores e inferiores em termos de transpiração e fotossíntese, observaram que estes componentes praticamente não foram afetados até o potencial de -0,82 a -0,92 MPa. Para KANEMASU & TANNER (1969), a resistência estomática é altamente sensível ao potencial hídrico das folhas. No entanto, existe diferença de sensibilidade entre as superfícies abaxial e adaxial da folha. Em estudos

realizados, observaram que a resistência estomática da superfície abaxial não foi afetada significativamente pelo potencial hídrico das folhas até um máximo de $-1,1$ MPa. No entanto, com o decréscimo do potencial hídrico foliar para $-1,2$ MPa, a resistência estomática da superfície abaxial aumentou rapidamente. Já na superfície adaxial, não houve aumento com o decréscimo do potencial hídrico foliar até $-0,8$ MPa. No entanto, a partir deste ponto até $-1,2$ MPa, houve uma sensível resposta da resistência estomática. Resultados semelhantes foram obtidos por MILLAR & GARDNER (1972), os quais verificaram que a resistência estomática da superfície adaxial aumentou com a redução do potencial hídrico além de $-0,8$ MPa. DAVIES & ZHANG (1991) sugerem que há evidência de sinais químicos das raízes que agem diretamente no comportamento dinâmico dos estômatos em condições de déficit hídrico no solo. PIMENTEL & ROSSIELO (1995) afirmaram que um ligeiro ressecamento do solo, mesmo que não afete as relações hídricas da parte aérea, causa um aumento na concentração de ácido abscísico (ABA) no xilema, provavelmente produzido na coifa das raízes, levando ao fechamento estomático e à diminuição da expansão celular. Segundo ZEEVAART & CREELMAN (1988) o déficit hídrico promove uma rápida redistribuição e acumulação do ABA nos tecidos das plantas: assim, de acordo com HARTONG & DAVIES citado por TUBEROSA *et al.* (1994), ocorre um aumento na concentração do ABA no apoplasto das células-guardas, reduzindo a condutância estomatal.

MAÑAS & VALERO (1993) concluíram que a transpiração das plantas sendo maior que a absorção de água, origina, de modo gradual, um déficit que tende a ocasionar o fechamento dos estômatos; melhorando a disponibilidade de água no solo, os estômatos se abrem e a resistência à difusão diminui.

2.1.3. EFEITOS NAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO

O crescimento de um vegetal depende, em termos gerais, da divisão, desenvolvimento e da expansão celular, processos estes, sensíveis ao estresse hídrico, principalmente na fase de alongamento celular. Depois desta fase, a célula encontra-se preparada para expandir, bastando que haja pressão hidrostática interna, ou de turgor.

A água, além de ser o principal constituinte do protoplasma, participa diretamente de inúmeras reações químicas, responsáveis pela turgescência celular. A redução da absorção de água e a conseqüente desidratação das células comprometem os processos fisiológicos, afetando, assim, todos os componentes de crescimento (PÁEZ *et al.*, 1995).

A fotossíntese é o processo fisiológico responsável pela captação da energia solar e sua subsequente transformação bioquímica em compostos orgânicos. A liberação da energia necessária à manutenção e ao crescimento das plantas é proveniente da respiração, que é o processo de oxidação dos compostos orgânicos produzidos na fotossíntese. COSTA *et al.* (1996) estudaram os múltiplos efeitos da deficiência de água no solo na capacidade fotossintética, respiração, crescimento e radiação interceptada pelo feijão. Medidas de fotossíntese e respiração de folhas foram tomadas em plantas sem estresse e planta sob estresse hídrico. A deficiência de água no solo reduziu a capacidade fotossintética, a área, o peso e a taxa de respiração das folhas. Os efeitos foram mais evidentes na taxa fotossintética, área foliar e matéria seca do que na taxa de respiração. Evidências de que a taxa de respiração não está diretamente relacionada com a fotossíntese foram também encontradas. Sendo a respiração um processo dependente da fotossíntese, conclui-se que a taxa respiratória teria que decrescer em situação de limitações hídricas.

Há fortes indicações de que os efeitos do déficit hídrico na respiração são variáveis. BRIX (1962) e PARKER (1952), verificaram aumento temporário na respiração, acompanhado por um pequeno decréscimo, à medida que houve um desenvolvimento de estresse hídrico mais severo no solo. Porém, este decréscimo foi verificado de forma lenta em relação à fotossíntese. COSTA *et al.* (1996) estudaram os múltiplos efeitos da deficiência de água no solo na capacidade fotossintética e respiração. Os efeitos foram mais evidentes na taxa fotossintética do que na taxa de respiração.

Há muita controvérsia com relação aos efeitos do estresse hídrico sobre a respiração de plantas. Vários estudos têm evidenciado que, em diferentes situações de disponibilidade hídrica, as plantas podem apresentar diferentes efeitos na respiração. Para UPCHURCH *et al.* (1955), SHEARMAN *et al.* (1972) e XIA (1994), a respiração aumenta com o estresse hídrico, já BOYER (1970), BELL *et al.* (1971), BROW e THOMAS (1980), McCREE *et al.* (1984), RICHARDSON e McCREE (1985) afirmam que as plantas sob limitações hídricas promovem um decréscimo na respiração. Enquanto que, para CASTONGUAY e MARKHART III (1992), a respiração foi insensível ao estresse hídrico.

Estes autores afirmam ainda que as plantas, ao serem expostas a situações de estresse hídrico, exibem freqüentemente respostas fisiológicas que resultam, de modo direto, no desenvolvimento de mecanismo de adaptação.

Muitos trabalhos têm procurado definir o limite crítico de água no solo a partir do qual o crescimento da planta e a produção da cultura são afetados significativamente. Segundo HSIAO & ACEVEDO (1974) e LIMA (1978), o crescimento é particularmente sensível à deficiência hídrica, pois está estritamente relacionado à turgescência. A perda acentuada de água reduz a multiplicação e o alongamento das células, resultando em plantas menores e, conseqüentemente, na redução da área foliar. A limitação na área foliar pode ser considerada como uma primeira reação das plantas ao déficit hídrico TAIZ & ZEIGER (1991). Para FERNÁNDEZ *et al.* (1996), a área foliar é um importante fator da produção e determina o uso da água pela planta e seu potencial de produtividade é severamente inibido quando exposta a déficit hídrico.

Conforme BASCUR *et al.* (1985a), durante o desenvolvimento do feijoeiro, a atividade fotossintética aumenta com o crescimento da área foliar, até a sua expansão máxima. Entretanto, segundo FANCELLI & DOURADO NETO (1991) e GUIMARÃES (1996), a deficiência hídrica poderá paralisar o crescimento foliar, tendo efeito indireto no rendimento de grãos, pela redução da área foliar fotossinteticamente ativa.

BASCUR *et al.* (1985b), estudando o efeito da umidade do solo sobre cultivares de feijão, verificaram que plantas submetidas a estresse hídrico sofreram forte redução da área foliar e no rendimento, no entanto, apresentaram maior acúmulo de matéria seca em talos e ramos. Observaram, também, que variedades de feijoeiro com resistência à seca apresentam maior manutenção foliar, que resulta em maior peso de matéria seca e produtividade. Resultados semelhantes foram obtidos por RESENDE *et al.* (1981) e STONE *et al.* (1988).

2.1.4. EFEITOS NOS COMPONENTES DE RENDIMENTOS

A elevada sensibilidade do feijoeiro ao estresse hídrico é devido à baixa capacidade de recuperação após o déficit e ao seu sistema radicular pouco desenvolvido, determinando, portanto, a oscilação da produção dessa cultura (GUIMARÃES, 1988). O

autor afirma também, que o déficit ou o excesso de água sobre a cultura atua na maioria dos processos fisiológicos e morfológicos das plantas, afetando os componentes de produção. A intensidade dos danos ocasionados pela deficiência ou excesso depende da duração, da intensidade, da frequência e da época de sua ocorrência. Por excesso de água no solo, o prejuízo à cultura é devido à redução de oxigênio e diminuição da atividade microbiana do solo. Por falta de umidade suficiente, as sementes, ao invés de germinarem, deterioram-se ou, se germinarem, as plântulas não rompem a crosta superficial do solo, reduzindo assim a densidade populacional. Durante a fase vegetativa, o déficit hídrico tem efeito indireto na produção de grãos, pela redução da área assimilatória. A ocorrência de déficit na floração, provoca aborto e queda de flores, com redução no número de vagens por planta; se ocorre no enchimento de vagens, prejudica a formação das sementes ou reduz o seu peso (KRAMER (1983) e GUIMARÃES *et al.* (1982)).

A maioria dos estudos têm evidenciado períodos críticos, nos quais o déficit hídrico causa danos nos componentes de rendimento do feijoeiro.

HOSTALÁCIO & VÁLIO (1984), estudando plantas de feijão submetidas à condição de estresse hídrico nas fases de pré e plena floração, constataram diminuição significativa no número de vagens, o que culminou com uma redução no rendimento entre 25 e 30%. STONE *et al.* (1988), estudando também efeitos da umidade do solo sobre o feijoeiro, concluíram que a redução do número de vagens por planta e de grãos por vagem, em condições de estresse hídrico, é uma consequência do vingamento de flores e do abortamento de óvulos.

Períodos longos de déficit hídrico, durante a floração, reduzem tanto o número de vagens quanto o número de grãos por vagem. Essas perdas em itens de produção são parcialmente compensadas pelo aumento do peso das grãos. Períodos de estresse antes da floração atrasam o desenvolvimento da planta. A menos que o estresse seja prolongado, a produção de sementes não é muito reduzida, se as condições favoráveis de umidade são mantidas após o mesmo. Déficit durante o processo de maturação diminui o rendimento pela redução no peso das sementes, mas apenas se for severo e prolongado (ROBINS *et al.*, 1967).

FIEGENBAUM *et al.* (1991), estudando a influência do déficit hídrico sobre os componentes de produção do feijão, ocorrido durante a floração, verificaram reduções no número de vagens por planta e número de grãos por vagens.

MILLAR & CHOUDHURY (1980) observaram que 80 a 90% do potencial de produção da cultura do feijoeiro são obtidos com um manejo de irrigação, no qual se fornece água ao solo quando o mesmo apresenta potencial matricial de -170 a -17 kPa, respectivamente. FRIZZONE (1986), estudando o efeito da lâmina de água sobre o rendimento de grãos e componentes de produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L), verificou que o máximo rendimento relativo de grãos foi obtido no regime de irrigação a -19 kPa, correspondendo a uma frequência de irrigação de aproximadamente 6 dias.

GARRIDO & TELXEIRA (1978a), estudando o efeito de diferentes níveis de umidade no solo sobre o rendimento do “feijão das águas”, observaram que para o rendimento de grãos houve aumento significativo em relação à testemunha, no tratamento em que a irrigação era feita quando a umidade do solo atingia 70% da água disponível. Para o “feijão da seca” os autores observaram, ainda, que nos tratamentos irrigados aos níveis de 40, 60 e 80% da água disponível, ocorreu aumento significativo no rendimento de grãos em relação ao tratamento não irrigado.

Por outro lado, existe grande variação entre as cultivares de feijão no que se refere à tolerância ao déficit hídrico. SAWAZAKI *et al.* (1981), trabalhando com dez cultivares de feijão, constataram que dois períodos de déficit (um de quatorze dias, iniciado dezesseis dias após a germinação, e outro por sete dias durante a floração) reduziram significativamente a produção de sementes por planta, sendo que as cultivares Roseli e Jalo apresentaram a menor redução, enquanto que Maruna e Rico-23 sofreram a maior redução.

2.2. ÍNDICES DE ESTRESSE HÍDRICO

O monitoramento hídrico das culturas é muito importante para um eficiente manejo e utilização dos recursos hídricos disponíveis nas regiões áridas e semi-áridas, que apresentam sérias irregularidades climáticas. Dentro deste contexto, a água se apresenta como um importante fator para a produtividade agrícola, sendo necessário, portanto, adotar medidas que tenham por objetivo racionalizar a utilização de recursos hídricos disponíveis, sobre todos os aspectos. A melhor maneira de se racionalizar o uso da água na irrigação é pela quantificação do consumo hídrico da cultura em suas diferentes fases fenológicas, sem, no entanto, permitir a ocorrência de estresse hídrico.

Os estudos desenvolvidos empregam várias técnicas no sentido de monitorar a água na irrigação: as baseadas nas características físico-hídricas do solo, as que têm por base dados meteorológicos e as que têm por base dados das plantas.

As técnicas empregadas com base em informações obtidas do solo consideram-no como um reservatório, no qual a água fica retida nos limites de capacidade de campo e de ponto de murcha e a água disponível às plantas, por sua vez, depende das propriedades físicas do solo, da demanda e do tipo de planta. A quantidade de água perdida por evapotranspiração ou drenagem é estimada pela variação da umidade do solo.

As técnicas baseadas em dados meteorológicos são desenvolvidas a partir da quantidade de água evapotranspirada utilizando informações da temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento, desprezando, no entanto, a água perdida por drenagem profunda do solo.

O emprego de técnicas com base nos parâmetros das plantas, para definir sua real necessidade de água, parece ser o mais adequado, uma vez que a planta responde às condições atmosféricas e do solo.

Muito usada atualmente é a temperatura do dossel vegetativo que, além de servir de parâmetro para estimar a evapotranspiração da cultura, também pode ser útil para definir índices de estresse hídrico da planta (JACKSON (1982), O'TOOLE & HATFIELD (1983), BERLINER *et al.* (1984), KHERA & SANDHU (1986), FOLEGATTI (1988), CLAWSON *et al.* (1989), HORST *et al.* (1989), PITTS *et al.* (1990), KOBAYASHI (1996)).

A temperatura das folhas tem sido amplamente utilizada como um indicador da disponibilidade de água nas plantas. Estudos têm evidenciado que o uso da temperatura do dossel vegetativo é uma ferramenta de grande importância na determinação de estresse hídrico, baseada na hipótese de que a água transpirada pela folha, ao evaporar-se, produz o seu resfriamento (PAZZETTI, 1990). Para, EHRLER (1973) a temperatura das folhas pode ser considerada como um bom indicador de estresse hídrico das plantas se os efeitos da pressão de vapor forem levados em conta.

A temperatura do dossel pode ser obtida de forma rápida e exata mediante uso de termômetro infravermelho, pela medição da intensidade da radiação infravermelha emitida pela superfície foliar na banda 8 a 14 μm .

PAZZETTI *et al.* (1993), utilizando plantas de feijoeiro cultivadas em condições de campo, com o objetivo de estabelecer uma relação entre as variações da

temperatura do dossel medida com termômetro infravermelho e a produtividade da cultura, chegaram à conclusão de que a evolução do esgotamento de água no solo, a evolução da temperatura da copa e os diferenciais de temperatura da copa entre as parcelas, sob diferentes estados de estresse, estão estreitamente relacionados. Além disso, os resultados permitiram indicar que a temperatura da copa e os diferenciais de temperatura da copa podem ser empregados no monitoramento da irrigação.

Uma cultura sofre de deficiência hídrica quando a temperatura das folhas é maior do que a temperatura do ar perto do dossel. Quando o grau de deficiência hídrica aumenta, a diferença entre a temperatura do topo da cultura e a temperatura do ar também aumentam (JACKSON 1982 e SILVA 1994).

BASCUR *et al.* (1985a), em estudo com o feijoeiro, verificaram que o estresse hídrico provoca resistência estomática que, como consequência, causa um aumento na temperatura do dossel.

A temperatura do dossel é condicionada pelo nível de umidade do solo que, associada à luminosidade, permite maior ou menor abertura dos estômatos. Também regula o fluxo transpiratório e a absorção de CO₂, tendo como consequência o resfriamento ou aquecimento das plantas. WIEGAND & NAMKEN (1966) encontraram uma relação linear entre a temperatura do dossel e a turgidez das folhas quando a temperatura do ar e a radiação solar são quase constantes. EHRLER & VAN BAVEL (1973) concluíram que as medidas de temperatura da folha são uma indicação indireta do comportamento estomatal. CLAWSON & BLAD (1982) sugerem que a variação da temperatura da cultura pode ser usada para determinar o início de estresse da cultura. A severidade do estresse é, provavelmente, indicada pela magnitude da elevação na temperatura da cultura.

SAKAI *et al.* (1987), estudando o efeito do déficit hídrico sobre o comportamento estomático e a temperatura de folhas em feijoeiro, concluíram ser possível estimar a necessidade de irrigação da cultura em função da temperatura da folha ou da diferença entre esta e a do ar.

Vários índices têm sido citados na literatura para quantificar o estado hídrico de uma cultura. O índice de Graus Dias de Estresse (GDE), definido pela diferença entre a temperatura do dossel e a temperatura do ar, no instante em que a temperatura do dossel é máxima. Segundo CLAWSON *et al.* (1989), IDSO *et al.* (1977) foram os primeiros a utilizar este índice, que funciona bem em regiões áridas, como forma de

estabelecer estresse hídrico da cultura. No entanto, o modelo mostrou-se inadequado em locais de alta variação diária de temperatura e de déficit de pressão de vapor.

IDSO *et al.* (1981) propuseram um método empírico a fim de solucionar o problema de interferência das variáveis meteorológicas produzidas na temperatura do dossel das plantas. O Índice de Estresse Hídrico da Cultura (IEHC_c) baseia-se na relação linear entre a temperatura da cultura e do ar e o déficit de pressão de vapor, sem considerar as condições de nebulosidade. GARDNER *et al.* (1981), idealizaram o Índice de Temperatura de Estresse Diário (TED), definido através da diferença de temperatura, do topo da cultura, entre uma parcela estressada e outra não estressada.

JACKSON *et al.* (1981) apresentaram o Índice de Estresse Hídrico da Cultura (IEHC_c), cujo desenvolvimento é baseado em variáveis meteorológicas e da planta, tais como: resistência aerodinâmica, resistência estomatal, saldo de radiação e déficit de saturação.

CLAWSON & BLAD (1982) apresentaram o índice da Variação da Temperatura do dossel da cultura (VTC), definido a partir da diferença entre a temperatura máxima e a mínima do dossel, durante um determinado tempo para a parcela da cultura em consideração.

Conforme o número de medições auxiliares necessárias para calcular o índice de estresse hídrico, foram feitas três classificações segundo BERLINER *et al.* (1984): a) sem parâmetros auxiliares, que compreendem a variação de temperatura do dossel na mesma parcela (VTC) e a comparação da temperatura do dossel medida em parcelas estressadas e não estressadas (TED); b) com um parâmetro auxiliar, que envolve a diferença de temperatura entre dossel e ar (GDE) e c) com dois parâmetros auxiliares, que requerem temperatura do ar e pressão de vapor (IEHC).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

3.1.1. LOCAL

O trabalho foi desenvolvido nos períodos de 14/05 a 26/07/1999 e 11/01 a 17/03/2000 na Estação Experimental de Lagoa Seca, da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba, EMEPA-PB, na cidade de Lagoa Seca, localizada na microrregião homogênea de Campina Grande. (7°09' S; 35°52' W e altitude média de 634 m).

3.1.2. CLIMA

O clima local é classificado como tropical chuvoso com estação seca no verão. A pluviosidade média de 14 anos foi de 940 mm, com maior incidência de chuvas no período entre março e agosto. A umidade relativa do ar anual é de aproximadamente 60% e a temperatura média anual é de 25°C.

3.1.3. SOLO

O solo é do tipo Neossolo Regolítico com textura franco arenosa. Nas Tabelas 1 e 2, são apresentadas as características químicas, físico-hídricas e granulométricas do solo da área experimental.

TABELA 1. Análise química do solo da área experimental. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

Perfil do solo (cm)	pH (H ₂ O)	Ca ⁺² (	Mg ⁺² mmol/dm ³	Na ⁺¹)	K ⁺¹ (	Al ⁺³)	P (mg/dm ³)	M.O. (g/Kg)
0 - 20	6,7	17	22	0,5	3,2	0,0	49,2	13,2

TABELA 2. Análise físico-hídrica e granulométrica do solo da área experimental. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

Perfil do solo (cm)	CC (Kg/Kg)	PM	Da (Kg/dm ³)	Dr (m ³ /m ³)	Poros. (	A. grossa)	A. fina (	Silte g/Kg	Argila)
0 - 20	160	30	15,6	27,2	426,5	540	210	100	150

Laboratório da EMBRAPA-CNPA, Campina Grande-Pb.

3.2. EXPERIMENTOS

Foram realizados dois experimentos, em ambos foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados e foi realizada uma análise de variância padrão, obedecendo ao seguinte modelo matemático:

$$Y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij} \quad (1)$$

onde: Y_{ij} é o valor observado relativo à parcela que recebeu o tratamento i no bloco j ; m é a média geral; t_i mede o efeito do tratamento i ; b_j mede o efeito do bloco j ; e_{ij} é a contribuição do acaso. Na comparação das médias de tratamentos foi usado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No primeiro experimento os tratamentos compreenderam quatro densidades populacionais: 80, 160, 240 e 320 mil plantas por hectare e foram usados cinco repetições.

No segundo experimento, os tratamentos constaram de quatro lâminas de água, foram utilizadas quatro repetições e a população 240 mil plantas/há para todos os tratamentos. Os tratamentos desse experimento basearam-se na umidade do solo e em dados de precipitação ocorrida no primeiro experimento, que teve como objetivo definir a densidade populacional e as lâminas de irrigação a serem aplicadas. Durante o ciclo da cultura obtiveram-se dados de precipitação, que foram relacionados com as diferentes fases fenológicas do feijoeiro. O total de água precipitada foi de 182,5 mm assim distribuídos: 64 mm foram verificados na fase I- germinação ao início da floração, com uma duração de 32 dias; 37,5 mm na fase II- floração, com uma duração de 15 dias; e 81 mm na fase III- desenvolvimento de vagens à maturidade, com duração de 27 dias. Partindo destes dados de precipitação, o total de água de cada fase foi transformado em consumo diário e aplicado no segundo experimento em turno de rega de 3 em 3 dias nos tratamentos: no primeiro foi empregada a metade da quantidade de água do experimento anterior (1; 1,25 e 1,5 mm de água diária nas respectivas fases), no segundo, a lâmina de irrigação empregada foi a mesma da precipitação ocorrida no primeiro experimento (2; 2,5 e 3 mm de água diária por fase), no terceiro, foi utilizado o dobro da quantidade de água empregada no

segundo tratamento (4; 5 e 6 mm de água diária por fase). O quarto tratamento foi baseado na depleção do feijoeiro (45%) e na umidade do solo, utilizando-se sensores de extensão prolongada Gro-PointTM, para o seu monitoramento.

A determinação da porcentagem de umidade do solo (U%), que define o início da irrigação, foi obtida pela seguinte fórmula:

$$U = \{[(C.C.\% - P.M.\%) * (1 - DEPLEÇÃO)] + P.M.\%\} \quad (2)$$

onde: (C.C.) é a capacidade de campo; (P.M.) é o ponto de murcha e (DEPLEÇÃO) é o limite máximo de perda de umidade da planta.

A quantidade de água aplicada no tratamento foi definida pela seguinte fórmula:

$$L = (C.C.\% - U\%) * (PROFUNDIDADE/100) \quad (3)$$

onde: (C.C.) é a capacidade de campo, (U) é a umidade do solo e PROFUNDIDADE é igual ao comprimento das raízes (15 cm).

Os tratamentos são mostrados na Tabela 3.

3.3. CULTIVAR

Em ambos experimento, foi utilizada a cultivar de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) Princesa (grupo Carioca) que tem hábito de crescimento indeterminado tipo III, porte semi-prostrado, o qual possui ramos laterais bem desenvolvidos e numerosos. A floração geralmente se inicia 25 a 35 (DAS). Em geral, a maturação das vagens não é uniforme, pois enquanto as inferiores já se encontram amadurecidas, as superiores ainda estão verdes. O grão é de cor bege, com rajas havanas. O ciclo situa-se entre 65 a 75 dias.

TABELA 3. Relação dos tratamentos que foram adotados no segundo experimento. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

Tratamentos	Fases	Duração/fase (dias)	Lâmina/fase (mm)	Lâmina/rega (mm)	Lâmina total (mm)
1	I	37	37	3	80
	II	8	10	3,75	
	III	22	33	4,5	
2	I	37	74	6	160
	II	8	20	7,5	
	III	22	66	9	
3	I	37	148	12	320
	II	8	40	15	
	III	22	132	18	
4	I	37	56,7		140,2
	II	8	20		
	III	22	63,5		

3.4. PARCELAS EXPERIMENTAIS

Cada parcela experimental ocupou uma área total de 15 m² (3 m x 5 m), constituída por seis fileiras de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,50 m entre linhas e 0,25 m entre plantas.

Por ocasião da colheita, uma fileira de cada extremidade, assim como 0,50 m em cada extremidade das fileiras centrais, constituíram a bordadura, colhendo-se uma área útil de 8 m².

3.5. MEDIÇÕES DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Durante a condução do experimento, diariamente foram coletados dados meteorológicos, em uma estação convencional, localizada junto à área experimental.

Nos horários de 09:00, 12:00 e 15:00 horas local foram feitas medições de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, umidade relativa e evaporação. Na Tabela 4 são apresentadas as informações decendiais.

TABELA 4. Valores médios decendiais de temperatura média (T_{méd}), temperatura máxima (T_{máx}), temperatura mínima (T_{mín}), umidade relativa (U.R.) e evaporação no tanque classe A (ECA). Lagoa Seca, Paraíba. 2000

PERÍODO	T _{méd} (°C)	T _{máx} (°C)	T _{mín} (°C)	U.R. (%)	ECA (mm/dia)
11/01-20/01	26,1	30,6	21,6	77	3,8
21/01-30/01	27,0	31,6	22,2	70	4,9
31/01-09/02	27,0	32,2	21,7	65	4,7
10/02-19/02	25,8	30,7	21,0	69	4,1
20/02-29/02	25,3	28,9	21,6	80	4,4
01/03-10/03	27,2	30,0	24,4	82	4,0
11/03-20/03	28,0	30,8	25,0	84	3,9

3.6. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

O monitoramento da umidade do solo, durante todo o ciclo da cultura, foi realizado diariamente utilizando-se sensores de extensão prolongada “Gro-Point™” na profundidade de 15 cm. O “Gro-Point™” é baseado na tecnologia TDT (Time Domain Transmissometry) que possibilita determinação da umidade de solo através da propagação de ondas eletromagnéticas com precisão de $\pm 1\%$ ($\pm 0.01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).

3.7. DETERMINAÇÃO DAS FASES FENOLÓGICAS

Foram observadas, nos diferentes tratamentos, as datas de ocorrência das fases fenológicas da cultura do feijoeiro, segundo a escala apresentada por STONE & MOREIRA (1986).

- Germinação ao início da floração: a partir do preestabelecido até que 10 a 15% das plantas apresentem pelo menos uma flor;
- Floração: quando acima de 50% das plantas apresentem flores;
- Desenvolvimento de vagens à maturidade: a partir do surgimento de legumes em 10 a 15% das plantas, considerando como legumes os de comprimento maior que 2,5 cm, até a mudança de coloração destes de verde para a cor intermediária.

3.8. DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO

3.8.1. DISTRIBUIÇÃO DA FITOMASSA

Semanalmente foram coletadas três plantas por tratamento nas quatro repetições, para a determinação da distribuição da fitomassa, que foram analisadas conforme as diferentes fases fenológicas do feijoeiro. Em cada amostra, todas as plantas tiveram suas partes separadas em raízes, folhas, caules e flores + vagens, que, em seguida, foram colocadas em estufa a 70 °C, até atingir peso seco constante. Após o material ser retirado da estufa, foi pesado em balança com resolução de 0,01 g, transformando-se o resultado para (%).

3.8.2. FITOMASSA (W)

Semanalmente foram coletadas três plantas por tratamento nas quatro repetições, para a determinação da fitomassa, que foram analisadas conforme as diferentes fases fenológicas do feijoeiro. As amostras foram colocadas em estufa a 70 °C até atingir peso seco constante. Após o material ser retirado da estufa, foi pesado em balança com resolução de 0,01 g, transformando-se o resultado para g/planta.

3.8.3. ÁREA FOLIAR (AF)

Semanalmente foram coletadas três plantas por tratamento nas quatro repetições, para a determinação da área foliar. As plantas foram analisadas conforme as diferentes fases fenológicas do feijoeiro. Em cada amostra, folhas foram tomadas ao acaso e retirados discos de área conhecida. A relação entre o peso total das folhas secas e o peso dos discos secos forneceu a área foliar (AF).

$$AF = \frac{\text{Peso das folhas}}{\text{Peso dos discos}} * \text{área dos discos (cm}^2\text{)} \quad (4)$$

3.8.4. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

O índice de área foliar de cada tratamento, nas fases fenológicas, foi obtido pela relação entre a área foliar (AF) e a área de solo amostrado (ΔS).

$$IAF = \frac{AF}{\Delta S} \text{ (adimensional)} \quad (5)$$

3.8.5. TAXA DE ASSIMILAÇÃO LÍQUIDA (TAL)

A relação entre o acúmulo da fitomassa total (W) e a unidade de área foliar (AF), durante a estação de crescimento, determina a taxa de assimilação líquida (TAL), que foi determinada pela seguinte equação:

$$TAL = \frac{1}{AF} * \frac{dW}{dt} \text{ (g/cm}^2\text{/dia)} \quad (6)$$

3.8.6. RAZÃO DE ÁREA FOLIAR (RAF)

A relação entre a área foliar (AF) e a fitomassa (W), define a razão de área foliar (RAF), que é considerada como uma medida da capacidade fotossintética de uma planta, FITTER & HAY (1981), dada pela seguinte equação:

$$RAF = \frac{AF}{W} \text{ (cm}^2\text{/dia)} \quad (7)$$

3.8.7. RESPIRAÇÃO (R)

A taxa média da respiração (ρ) foi obtida, graficamente, através de uma equação de regressão, cujas variáveis são: (TCRW) e $\alpha(AF_2 - AF_1)/(W_2 - W_1)$.

onde: (TCRW) é a taxa de crescimento relativo da fitomassa; α é um coeficiente que indica a relação entre a taxa de crescimento relativo da fitomassa (TCRW) e a taxa de crescimento relativo da área foliar (TCRAF) e $(AF_2 - AF_1)/(W_2 - W_1)$ é a relação da área foliar pela fitomassa nos períodos de tempo 1 e 2.

3.9. DETERMINAÇÃO DOS COMPONENTES DE RENDIMENTO

3.9.1. NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA

O número de vagens por planta foi obtido pela contagem de todas as vagens da área útil de cada parcela, e dividido pelo número de plantas.

3.9.2. NÚMERO DE GRÃOS POR VAGEM

O número de grãos por vagem foi determinado contando-se o total de grãos na amostra de 10 vagens de plantas contidas na área útil de cada tratamento, e dividindo-o pelo número de vagens das mesmas plantas.

3.9.3. PESO DE 100 GRÃOS

O peso de 100 grãos foi obtido através da contagem e pela pesagem 100 grãos na área útil de cada tratamento.

3.9.4. RENDIMENTO DE GRÃOS

O rendimento foi avaliado pela produção de grãos da área útil ($8m^2$), em cada tratamento, corrigindo-se o peso para a umidade de 13%.

3.10. DETERMINAÇÃO DOS COMPONENTES DE ESTRESSE HÍDRICO

3.10.1. TEMPERATURA DO DOSSEL (T_c)

A temperatura do dossel da cultura foi obtida com um termômetro infravermelho AG-42, da Telatemp, com as seguintes características técnicas: resolução de 0,1 °C e precisão de $\pm 0,5$ °C e ângulo de visada de 5°, sendo, também, um detector de radiação eletromagnética na faixa de 10,0 μm a 12,5 μm . A temperatura do dossel (T_c) foi obtida, diariamente, nos horários entre 12:00 e 14:00 horas local, em condições de céu claro. Em cada parcela foram feitas duas medidas, com o termômetro posicionado num ângulo aproximadamente de 30° em relação à superfície do dossel vegetal, a uma distância de aproximadamente 0,5m.

3.10.2. DIFERENÇA DA TEMPERATURA DO DOSSEL E DO AR ($T_c - T_a$)

A sistemática adotada foi realizar, simultaneamente, a determinação da temperatura do dossel (T_c) e a diferença entre a temperatura do dossel e do ar ($T_c - T_a$).

3.10.3. GRAUS DIAS DE ESTRESSE (GDE)

O índice de graus dias de estresse foi utilizado para quantificar o estado hídrico da cultura do feijoeiro. Este índice foi proposto por IDSO et al. (1977) e JACKSON et al. (1977), definido como sendo a diferença entre a temperatura do dossel da cultura e a temperatura do ar, no instante em que a temperatura do dossel vegetativo é máxima. É usado para avaliar o grau de estresse hídrico, e programar irrigações e prever o seu rendimento, sendo definido pela seguinte equação:

$$GDE = \sum_{i=1}^n (Tc - Ta)_i \quad (8)$$

onde: (Tc) é a temperatura do dossel da cultura, (Ta) é a temperatura do ar, (i =1) é o dia inicial, quando há diferenciação dos tratamentos e (n) é o dia final, quando termina a colheita.

3.11. PRÁTICAS CULTURAIS

3.11.1. PREPARO DA ÁREA

O preparo do solo consistiu de uma aração, com arado de aiveca, e de uma gradagem, com grade niveladora, em toda a área, 15 dias antes da semeadura. Após essas operações, foi feita a demarcação da área experimental.

3.11.2. SEMEADURA

As semeaduras dos dois experimentos foram realizadas manualmente em linhas, com profundidades médias de 3 cm e para obter-se estandes sem falhas, foram colocadas sementes em excesso, posteriormente aos 20 dias após a semeadura foi feito um desbaste a fim de se obter estandes ajustados às populações de plantas desejadas. As densidades populacionais utilizadas no primeiro experimento foram: 80, 160, 240 e 320 mil plantas/há, com os respectivos rendimentos 1.263c, 2.278b, 2.817a e 3.099a Kg/ha, comparados pelo Teste de Tukey a 5%.

No segundo experimento adotou-se a densidade de 240 mil plantas/ha, densidade esta, baseada nos resultados do experimento anteriormente realizado, que melhor se comportou, quanto ao rendimento e qualidade fisiológica dos grãos. Considerou-se também o gasto com sementes e a facilidade da realização dos tratamentos culturais.

3.11.3. TRATOS CULTURAIS

Na condução, os experimentos receberam uma adubação mineral, tomando-se como base a análise de fertilidade do solo, composta de 40 kg/ha de Nitrogênio e 20 kg/ha de Potássio, sob a forma de sulfato de amônio e cloreto de potássio. A aplicação foi feita em cobertura, 25 dias após a semeadura.

Durante a condução dos experimentos foram feitas capinas manuais para mante-los livres de ervas daninhas. Não foi observado ataque de pragas e nem doenças.

3.11.4. IRRIGAÇÃO

A prática da irrigação foi aplicada apenas no segundo experimento. Antecedendo a semeadura até o início da diferenciação dos tratamentos foram feitas sete irrigações, em todo o experimento, totalizando 21 mm de água aplicada. Todas as parcelas foram uniformemente irrigadas, para que o solo atingisse um índice de umidade, que favorecesse a emergência e o estabelecimento da cultura. A diferenciação dos tratamentos, quanto à irrigação, teve início aos 22 após a semeadura (DAS) com a cultura na fase de emissão da terceira folha trifoliada. A partir desta data, a irrigação foi iniciada de modo diferenciado, conforme os tratamentos.

O sistema de irrigação adotado foi o manual, conforme BRAGA (1996), que relata, que esse sistema fornece uma uniformidade de distribuição de água bem elevada. Nesse sistema o emissor consiste de um tubo de PVC (2,54cm) perfurado de 5 em 5 cm, para a saída da água de irrigação, com 3m de comprimento, com apoio em cada extremidade, para manuseio dos operadores, os quais se deslocavam num movimento de vai-e-vem ao longo do comprimento da parcela. Numa das extremidades do tubo foi conectada uma mangueira flexível, que serviu para abastecer o sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as diversas regiões produtoras de feijão, o local onde foi desenvolvido o experimento representa bem as condições em que essa cultura é predominante no Estado da Paraíba.

Pelos dados da análise química apresentados na Tabela 1, o solo pode ser considerado favorável ao desenvolvimento da cultura, uma vez que não apresentou problema de alumínio, nem deficiência de cálcio e magnésio.

De modo geral, as condições climáticas Tabela 4, durante o período em que se conduziu o estudo, foram consideradas normais, permitindo um bom desempenho da cultura.

4.1. UMIDADE DO SOLO

O monitoramento da umidade do solo teve início a partir de 23 dias após a semeadura (DAS), com a cultura na fase de emissão da terceira folha trifoliada, quando a irrigação foi diferenciada conforme os tratamentos. Na Figura 1 estão apresentadas as curvas de evolução da umidade do solo em função dos regimes de água aplicada às diferentes fases fenológicas do feijoeiro. Verificam-se tendências diretamente proporcionais aos tratamentos empregados: T.1-80, T.2-160, T.3-320 e T.4-140,2 mm de água. Observam-se variações no tratamento 1, com valores de umidades no solo menores que 10%, o qual proporciona um nível inferior a depleção limite do feijoeiro.

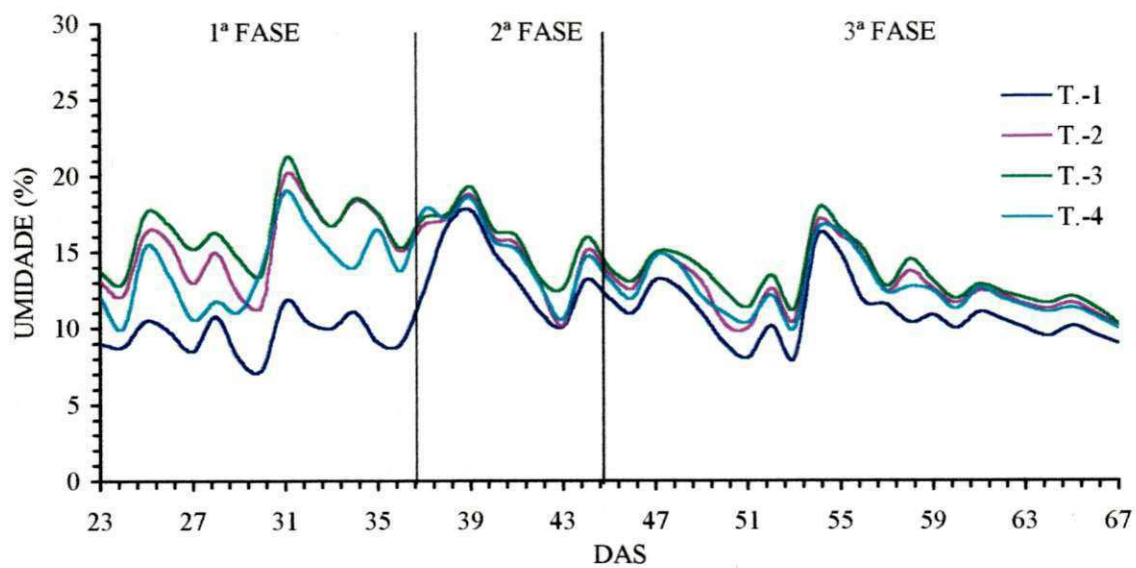


FIGURA 1. Umidade do solo, em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

4.2. FASES FENOLÓGICAS

As fases fenológicas do feijoeiro, obtidas no experimento, foram acompanhadas segundo a escala apresentada por STONE & MOREIRA (1986).

A determinação dos dias para as mudanças de cada fase fenológica obedeceu aos seguintes critérios: germinação ao início da floração, a partir da data de semeadura preestabelecida, até que 10 a 15% das plantas apresentem pelo menos uma flor; floração, quando acima de 50% das plantas apresentam flores; desenvolvimento de vagens à maturação, a partir do surgimento de legumes em 10 a 15% das plantas, considerando os legumes de comprimento maior que 2,5 cm.

Na Tabela 5, encontram-se as fases fenológicas e a duração de cada uma, sob os tratamentos adotados no estudo. Verifica-se que não houve diferenças no ciclo e na duração das fases em função dos tratamentos. No entanto, a umidade do solo apresentou-se como um dos fatores limitantes às alterações metabólicas, afetando assim as variáveis morfofisiológicas e os componentes de produção, como poderá ser visto posteriormente.

TABELA 5. Fases fenológicas, duração e ciclo (dias) da cultura do feijão, em função dos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

FASE	TRATAMENTO			
	1	2	3	4
	DURAÇÃO	DURAÇÃO	DURAÇÃO	DURAÇÃO
G-IF	37	37	37	37
F	8	8	8	8
FV-M	22	22	22	22
CICLO	67	67	67	67

G=germinação; IF=início da floração; F=floração; FV=formação de vagens; M=maturidade.

4.3. VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO

O crescimento da planta como um todo, em termos de aumento de volume, de peso, de dimensões lineares e de unidades estruturais, é função do que a planta armazena e do que a planta produz em termos de material estrutural.

A análise do crescimento vegetal se baseia fundamentalmente no fato de que cerca de 90%, em média, da matéria seca acumulada pela planta ao longo do seu ciclo, resulta da atividade fotossintética. O método descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, entre duas amostragens sucessivas, e se propõe acompanhar a dinâmica da produção fotossintética, avaliada através do acúmulo e partição de matéria seca. O método pode também estimar atividades fisiológicas entre plantas, sob diferentes condições ambientais.

Nas Tabelas 6 e 7 encontram-se o resumo das análises de variâncias e as comparações das médias dos dados relativos às variáveis primárias do crescimento (fitomassa e área foliar) nos pontos de inflexão, cujos valores máximos da fitomassa e área foliar foram atingidos aos 59 e 53 (DAS) respectivamente.

4.3.1. DISTRIBUIÇÃO DA FITOMASSA

A distribuição da fitomassa nos diferentes órgãos e fases do feijoeiro, sob o uso dos tratamentos empregados, é apresentada na Tabela 8.

Pode-se verificar a ocorrência de mudanças do dreno metabólico preferencial de um órgão para outro, nos diferentes tratamentos, em razão das transformações morfológicas das plantas. No início, as folhas são os drenos metabólicos preferenciais, porém, após certo desenvolvimento, há uma mudança dos drenos preferenciais para os caules, em todas as fases fenológicas. As flores + vagens atingiram as taxas máximas de acúmulo de fitomassa na fase de formação de vagens à maturidade (FV-M). As raízes acumularam fitomassa durante quase todo o ciclo de crescimento do feijoeiro, atingindo a taxa máxima de acúmulo na fase que vai da germinação ao início da floração (G-IF).

TABELA 6. Análises de variância das variáveis primárias de crescimento do feijoeiro. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

F.V.	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS	
		FITOMASSA (g/planta)	ÁREA FOLIAR (cm ²)
Blocos	3	1,81	143.403,58
Trat.	3	857,12*	2.551.658,25*
Resíduo	9	6,04	378.835,52

* Significativo ao nível de 5% (Teste F)

TABELA 7. Médias das variáveis primárias de crescimento do feijoeiro. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

TRATAMENTOS	FITOMASSA (g/planta)	ÁREA FOLIAR (cm ²)
1	35,02 d	3.730 b
2	52,62 b	5.058 a b
3	68,90 a	6.246 a
4	45,71 c	4.525 b
CV (%)	4,81	14.74

Nas colunas, médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si, pelo Teste de Tukey a 5%.

Verifica-se que, com o início da formação das vagens, o dreno metabólico preferencial mudou para essa parte da planta de forma definitiva e mais acentuada. HESLOP-HARRISON (1970) deduziu que o crescimento vascular é promovido por auxinas, o que facilita o fluxo de nutriente e água para as vagens, aumentando-lhes o poder competitivo, em relação aos outros órgãos.

TABELA 8. Distribuição da fitomassa nos diferentes órgãos em três fases do feijoeiro, em função dos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

TRAT.	FASE	DISTRIBUIÇÃO DA FITOMASSA (%)			
		FOLHAS	CAULES	FLORES + VAGENS	RAIZES
T-1	G-IF	64	29	0	7
	F	56	33	5	6
	FV-M	17	28	51	4
T-2	G-IF	60	33	0	7
	F	54	35	5	6
	FV-M	15	29	53	3
T-3	G-IF	62	31	0	7
	F	52	37	6	5
	FV-M	14	28	55	3
T-4	G-IF	60	33	0	7
	F	55	35	5	5
	FV-M	14	29	53	4

4.3.2. FITOMASSA (W)

A análise de variância, Tabela 6 revelou, efeitos significativos nos tratamentos. Na Tabela 7, verifica-se que na comparação das médias de tratamentos houve

diferenças significativas. As diferenças de W entre tratamentos aumentaram proporcionalmente ao incremento das lâminas de água aplicadas. Os valores máximos da W foram 35,02; 52,62; 68,90 e 45,71 g/planta, obtidos aos 59 (DAS), nos respectivos tratamentos: T-1= 80; T-2= 160, T-3= 320 e T-4= 140,2 mm de água, durante o ciclo do feijoeiro.

O acúmulo da fitomassa total (W), em função dos tratamentos e dos dias após a semeadura (DAS), é apresentado na Figura 2. Verifica-se que as curvas de crescimento apresentam característica sigmóide (MAGALHÃES, 1979). Observa-se que, na 1ª fase, o crescimento inicial da W é lento. Nessa fase, que vai até os 37 (DAS), a taxa de absorção de água e nutrientes é muito pequena para ativar os processos fisiológicos do crescimento, que exigem atividades metabólicas aceleradas. Na fase seguinte, a de floração, quando a planta alcança a idade de 37-45 (DAS), o crescimento da W é mais rápido. Nesta fase, estão formados o caule principal, os ramos e as folhas trifoliadas, bem como as tríades de gemas na axila de cada folha. Na 3ª fase, que vai de 45-67 (DAS), observam-se dois períodos distintos: um onde o crescimento torna-se mais intenso, atingindo o máximo aos 59 (DAS), e outro onde a planta inicia o processo de senescência, que se reflete, inicialmente, na paralisação da produção de matéria orgânica. A partir daí, começam a prevalecer os fenômenos de translocação, em substituição ao de crescimento (LOPES *et al.*, 1982 e 1983).

A redução progressiva de água imposta aos tratamentos, provocou uma diminuição acentuada em W no final do experimento, o que, certamente, impôs uma redução no processo fotossintético.

Estas observações estão em conformidade com trabalhos realizados por (PÁEZ *et al.*, 1995; HSIAO & ACEVEDO, 1974; LIMA, 1978; TAIZ & ZEIGER, 1991; FERNÁNDEZ *et al.*, 1996; GUIMARÃES, 1996).

As equações de ajuste para a fitomassa (W) seguiram o modelo polinomial do 3º grau que, segundo os tratamentos, foram:

$$T-1 \quad y = 142,60072 - 11,373973x + 0,28914509x^2 - 0,0021576978x^3 \quad (R^2 = 0,99)$$

$$T-2 \quad y = 241,18034 - 19,481583x + 0,49966927x^2 - 0,0037904921x^3 \quad (R^2 = 0,99)$$

$$T-3 \quad y = 316,0971 - 25,052824x + 0,6303284x^2 - 0,0046907648x^3 \quad (R^2 = 0,99)$$

$$T-4 \quad y = 210,44768 - 16,680432x + 0,42047447x^2 - 0,0031370895x^3 \quad (R^2 = 0,99)$$

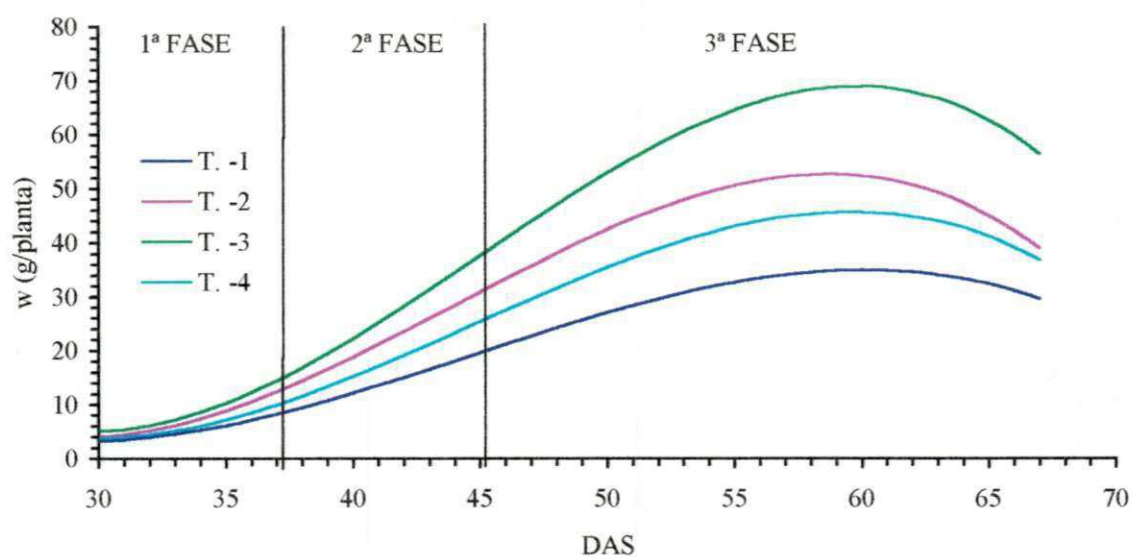


FIGURA 2. Fitomassa total (W), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

4.3.3. ÁREA FOLIAR (AF)

Nas Tabelas 6 e 7, verifica-se, através da análise de variância que o efeito de tratamentos foi significativo e, nas comparações das médias, observa-se diferenças significativas entre tratamentos.

(Normalmente, a área foliar (AF) do feijoeiro aumenta com o incremento da umidade do solo; as folhas ficam mais túrgidas, o que determina uma maior expansão foliar, resultando, então, em uma maior eficiência fotossintética (BASCUR et al. 1985b) e BOYER et al. (1976)).

A tendência das curvas AF está representada na Figura 3. Observa-se nitidamente o efeito gradativo da umidade do solo sobre a área foliar: AF aumentou proporcionalmente ao incremento da umidade do solo, imposta pelos tratamentos adotados no experimento. Observa-se, também, que a condição de proporcionalidade de aumento da AF verificou-se em todas as fases do feijoeiro. O crescimento de todas as curvas atingiu os valores máximos de 3.730, 5.058, 6.246 e 4.525cm² na ordem dos tratamentos, aos 53 (DAS), declinando gradativamente até o final do ciclo. O declínio de todas as curvas de AF, a partir dos 55 (DAS) leva a crer que a senectude das folhas deve ter sobrepujado a emissão de novas folhas.

As equações de ajuste para a área foliar (AF) seguiram o modelo polinomial do 3º grau que, segundo os tratamentos, foram:

$$T-1 \quad y = 23802,91 - 1980,9709x + 52,760016x^2 - 0,42516448x^3 \quad (R^2 = 0,98)$$

$$T-2 \quad Y = 23427,714 - 2103,7183x + 59,557617x^2 - 0,49819021x^3 \quad (R^2 = 0,99)$$

$$T-3 \quad Y = 23085,272 - 2219,5533x + 65,79298x^2 - 0,56432664x^3 \quad (R^2 = 0,99)$$

$$T-4 \quad Y = 14694,852 - 1472,2052x + 44,817693x^2 - 0,38982177x^3 \quad (R^2 = 0,99)$$

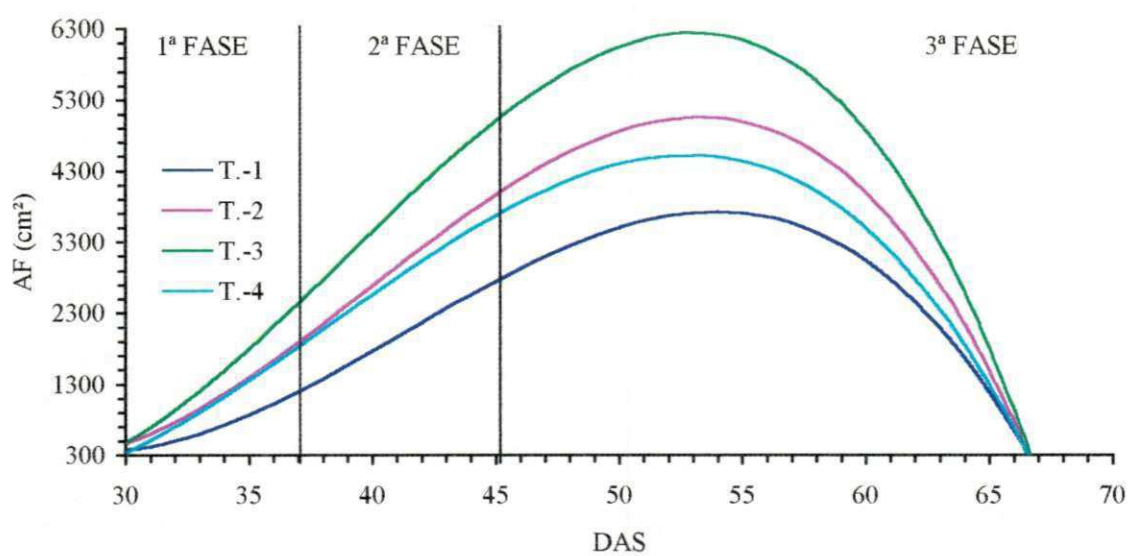


FIGURA 3. Área foliar (AF), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

4.3.4. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

O comportamento dos índices de área foliar (IAF), determinado durante o ciclo da cultura, está apresentado na Figura 4. Observa-se que o fator água influenciou nas variações do IAF. A diferença entre tratamentos relativa a essa variável tornou-se evidente a partir do 30º (DAS), correspondendo aos menores valores.

Os mais altos valores do IAF foram alcançados na 3º fase, aproximadamente no enchimento de vagens. Os valores máximos foram 2,98; 4,05; 5,00 e 3,62, obtidos aos 54, 53, 53 e 53 (DAS), respectivamente, e, na ordem dos tratamentos empregados, 80, 160, 320 e 140,2 mm de água em todo ciclo da cultura do feijão.

Em feijão, altos valores de IAF nem sempre estão correlacionados positivamente com o rendimento de grãos. Geralmente, ele é determinado a partir da relação entre área foliar total e área do solo disponível para a planta, que é definido pelo espaçamento estabelecido. À medida que a área foliar cresce, o IAF também cresce, até que atingirá um valor, a partir do qual o auto-sombreamento passa a ser prejudicial, aumentando a superfície foliar que é mantida sob iluminação precária, o que diminui bastante a sua eficiência fotossintética (WALLACE & MUNGER (1966), ALVIM & ALVIM (1969), REIS & MÜLLER (1979)). A ocorrência de IAF baixo, porém, limita a expressão do rendimento, visto que o mesmo representa o sistema acumulador da comunidade vegetal e pode ser considerado um importante fator da produtividade (WATSON (1952) e MAGALHÃES (1979)). Em muitos casos, é possível detectar-se o IAF ótimo, isto é, aquele que permite o máximo de fotossíntese e, conseqüentemente, TCC elevada. Geralmente, o IAF ótimo ocorre nas primeiras fases do crescimento, quando o auto-sombreamento é mínimo. Muitas vezes, condições de auto-sombreamento que diminuem a eficiência fotossintética da cultura, diminuem também a evapotranspiração a qual, na maioria dos casos, é mais limitante para a produtividade do que a diminuição da fotossíntese líquida. Por este motivo, é muito difícil definir “a priori” IAFs ótimos para as culturas, por que este será sempre uma função das condições ambientais predominantes durante o crescimento das mesmas.

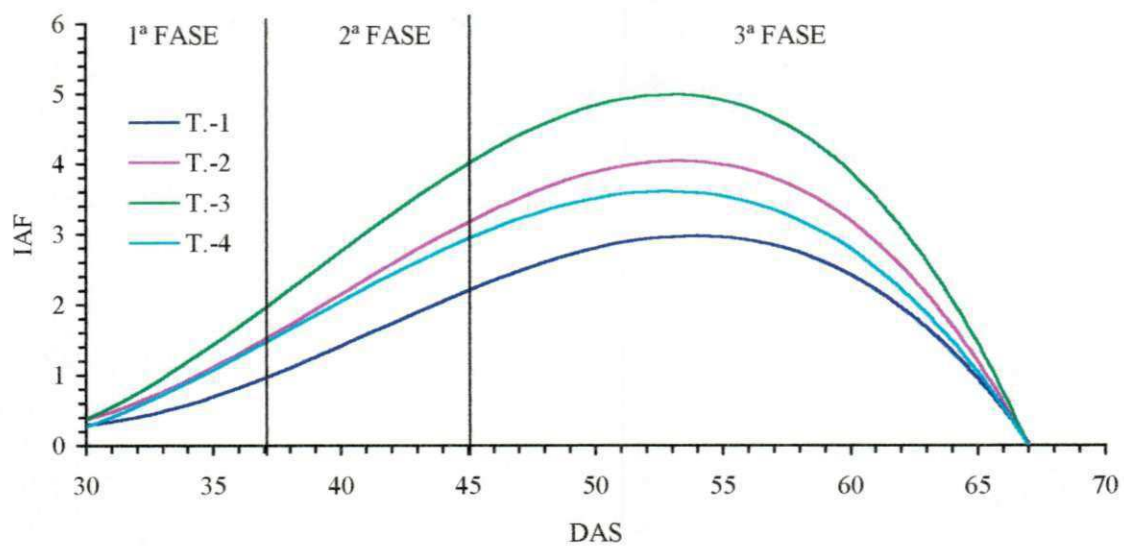


FIGURA 4. Índice de área foliar (IAF), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetido aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

As equações de ajuste para o índice de área foliar (IAF) seguiram o modelo polinomial do 3º grau que, segundo os tratamentos, foram:

$$T-1 \quad y = 18,986489 - 1,5815303x + 0,0421541x^2 - 0,0003398227x^3 \quad (R^2 = 0,98)$$

$$T-2 \quad y = 18,746234 - 1,6839364x + 0,047683116x^2 - 0,00039890661x^3 \quad (R^2 = 0,99)$$

$$T-3 \quad y = 18,492499 - 1,7782477x + 0,052710089x^2 - 0,00045209221x^3 \quad (R^2 = 0,99)$$

$$T-4 \quad y = 11,757539 - 1,1779859x + 0,035860929x^2 - 0,00031191174x^3 \quad (R^2 = 0,99)$$

4.3.5. TAXA DE ASSIMILAÇÃO LÍQUIDA (TAL)

A taxa de assimilação líquida (TAL), apresentada na Figura 5, atingiu valores máximos de 0,0011; 0,0012; 0,0010 e 0,009 g/cm²/dia, obtidos aos 33 (DAS), na ordem dos tratamentos 80, 160, 320 e 140,2 mm de água, durante o ciclo da cultura. Verifica-se que, na 1º fase, os tratamentos com menores disponibilidades hídricas suplantaram os que receberam quantidade de água maior. No entanto, nas fases seguintes, prevaleceram os tratamentos com maior aplicação de água. Esses resultados estão de acordo com as observações feitas por WATSON (1958), de que a TAL varia mais com a idade da planta que com os fatores ambientais. Observações feitas por RESENDE *et al.* (1981), chamam a atenção de que o feijoeiro, ao adquirir resistência à deficiência hídrica, mantém o potencial hídrico foliar e a resistência estomatal mais baixos, dessa maneira a taxa assimilatória líquida não é afetada. Este efeito é considerado como resultante da capacidade do feijoeiro em se adaptar a diferentes condições ambientais, dentro de certos limites.

4.3.6. RAZÃO DE ÁREA FOLIAR (RAF)

A razão de área foliar (RAF) expressa a área foliar útil para a fotossíntese e é um componente morfofisiológico, pois é a razão entre a área foliar e a fitomassa total que está sendo usada pela planta para produzir 1g de matéria seca.

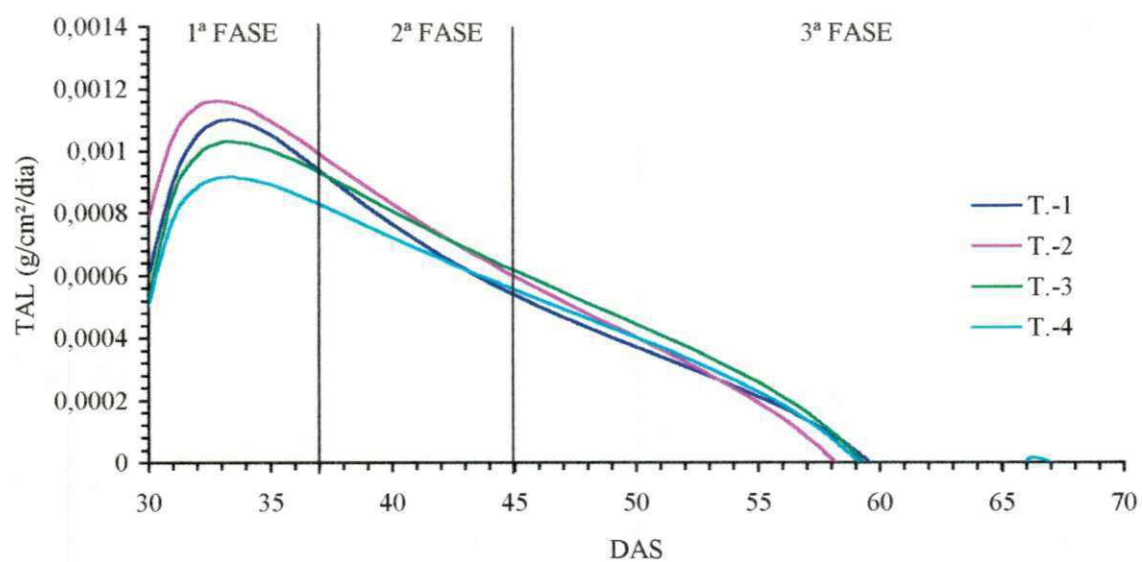


FIGURA 5. Taxa de assimilação líquida (TAL), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

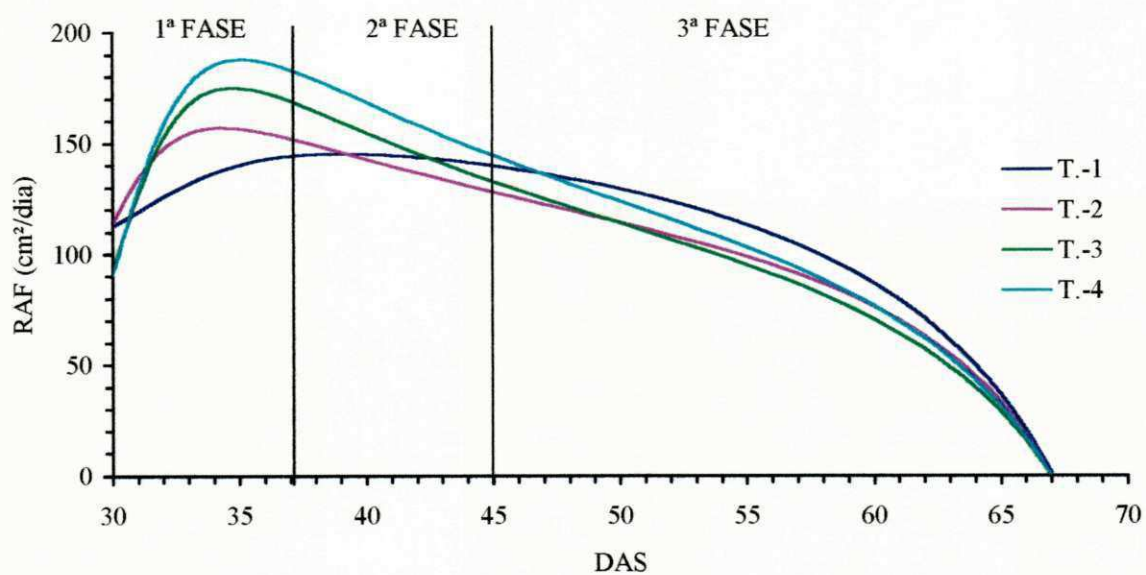


FIGURA 6. Razão de área foliar (RAF), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

Na Figura 6, verifica-se que os valores máximos de RAF foram obtidos na 1ª fase, em todos os tratamentos entre 34 e 35 (DAS). Estes dados permitem verificar também que RAF declina à medida que a planta cresce, o que é perfeitamente compreensível, pois, com o crescimento, aumenta a interferência de folhas superiores sobre folhas inferiores (auto-sombreamento). A tendência, então, é a área foliar útil diminuir a partir de uma certa fase. Este declínio, observado nas curvas de RAF com o crescimento da planta, indica também o aumento da queda de folhas e da redução da quantidade de assimilados para a produção de novas folhas SCOTT & BATCHELOR, J. T. (1979).

Os valores máximos de 145,44; 136,04; 175,20 e 188,00 cm² foram obtidos nos respectivos tratamentos: T-1= 80, T-2= 160, T-3= 320 e T-4= 140,2 mm de água em todo o ciclo da cultura no experimento. Observa-se que, no tratamento 4, o valor máximo foi superior aos tratamentos 2 e 3, com maior suprimento de água.

No 4º tratamento, o intervalo de rega era menor, apesar de receber uma quantidade de água inferior, o que resultou, provavelmente, numa redução da resistência estomática, possibilitando maior taxa de área foliar útil para a fotossíntese (MILLAR & GARDNER (1972)).

4.3.7. RESPIRAÇÃO (R)

A respiração (R) é o processo fisiológico responsável pela oxidação dos compostos orgânicos produzidos pela fotossíntese para liberação de energia necessária à manutenção e ao crescimento das plantas. Do ponto de vista fisiológico e bioquímico, a respiração, complexo de reações enzimáticas que ocorrem no citosol e mitocôndrias das células, ininterruptamente, nos tecidos vivos, é um processo vital, pois produz energia em forma de ATP e NADPH + H⁺ e uma série de compostos intermediários que são substratos para a formação de centenas de compostos necessários para o metabolismo celular (NOBEL (1974) e AMORIM (1979)), porém, no enfoque ecofisiológico, significa perda de fitomassa (KVET *et al.*, 1971).

Nas Figuras 7, 8, 9 e 10 são apresentados os valores médios para a respiração total, obtidos nos tratamentos testados: T-1= 80, T-2= 160, T-3= 320 e T-4= 140,2 mm de água em todo o ciclo do feijoeiro, sendo que em cada figura o valor de (ρ) é

uma média diária, envolvendo a respiração oxidativa ou mitocondrial, e a fotorrespiração que ocorre nas folhas e outros tecidos clorofilados, somente durante o dia. (MAGALHÃES, 1979).

Verifica-se que a respiração média, considerando todo o período de vida das plantas foi maior, 28,19% no tratamento 2 (dotação hídrica de 160mm) do que no tratamento 1 (dotação hídrica de 80mm), cujas plantas ficaram menores, e menos produtivas, porém com diferenças significativas dos demais tratamentos pesquisados, no tocante a respiração (manutenção e crescimento). A respiração, do ponto de vista ecofisiológico, é perda da fitomassa e depende de vários fatores internos e externos à planta (AMORIM, 1979), tais como temperatura da planta, temperatura do ambiente, nível de umidade na planta (tecido) e solo e outros aspectos. Em algodão herbáceo, planta de ciclo anual e de metabolismo fotossintético C₃ semelhante ao feijoeiro, HESKETH *et al.* (1971) verificaram que a respiração de manutenção (R₀) é aproximadamente de 0,0264g CH₂O/g/dia, considerando as folhas. Na planta toda, logicamente à medida que se aproxima a senescência, os tecidos mortos aumentam e assim a respiração de manutenção é reduzida, ocorrendo o mesmo com a do crescimento (Gr), pois é elevada em tecidos/órgãos com crescimento rápido e cai nos maduros, já com o crescimento. Os dados obtidos para o feijoeiro estão dentro dos limites esperados e são valores médios para todo o ciclo da planta, estando correlacionados com a fitomassa e sua evolução, e a influência dos fatores ambientais.

4.4. COMPONENTES DE RENDIMENTO

Para o entendimento da influência que os fatores ambientais provocam no feijoeiro, é necessária a utilização de parâmetros correlacionados com o rendimento da cultura. Como resultados de estudos realizados para a determinação de componentes de rendimento, (DUARTE & ADAMS (1972), WESTERMANN & CROTHERS (1977) e ZIMMERMANN *et al.* (1984)), concluíram que os componentes mais correlacionados com o rendimento e que são utilizados na seleção de materiais produtivos, são o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem e o peso de grãos.

Nas Tabelas 9 e 10 encontram-se o resumo das análises de variâncias e as comparações das médias dos dados relativos às variáveis do rendimento estudadas.

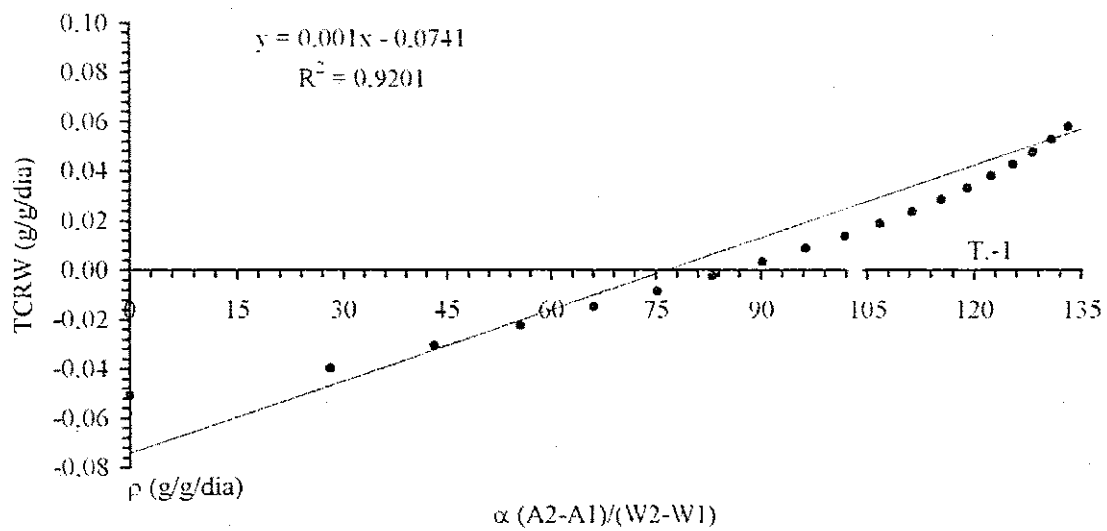


FIGURA 7. Respiração média diária (ρ) do feijoeiro, submetida ao tratamento 1 (80 mm de lâmina de irrigação). Lagoa Seca, Paraíba. 2000

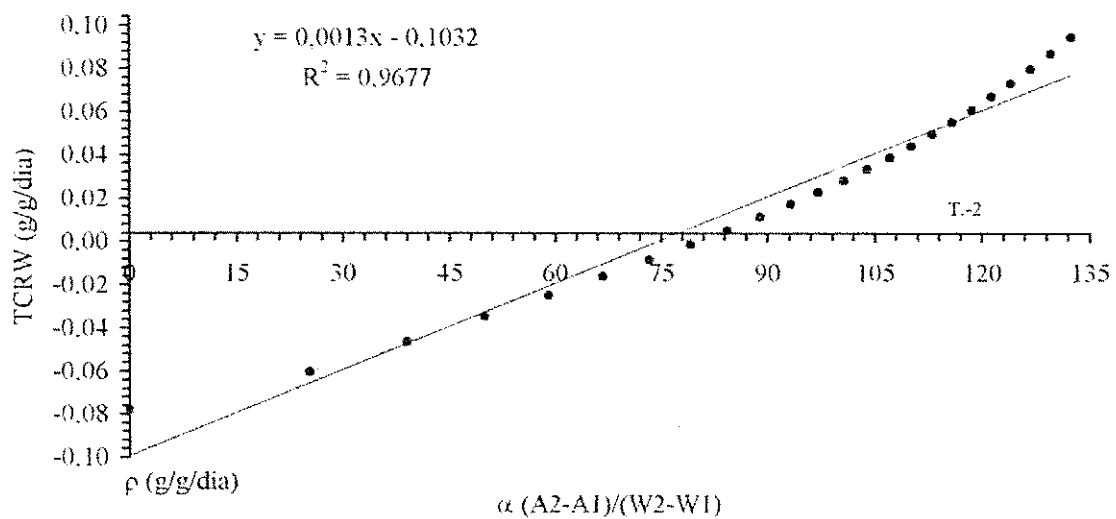


FIGURA 8. Respiração média diária (ρ) do feijoeiro, submetida ao tratamento 2 (160 mm de lâmina de irrigação). Lagoa Seca, Paraíba. 2000

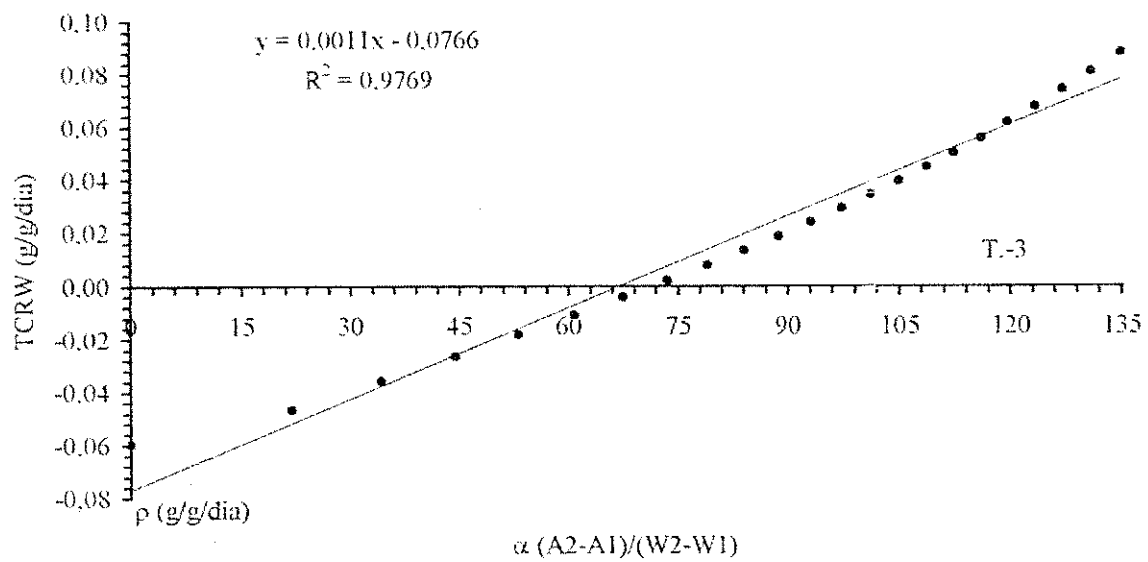


FIGURA 9. Respiração média diária (ρ) do feijoeiro, submetida ao tratamento 3 (320 mm de lâmina de irrigação). Lagoa Seca, Paraíba. 2000

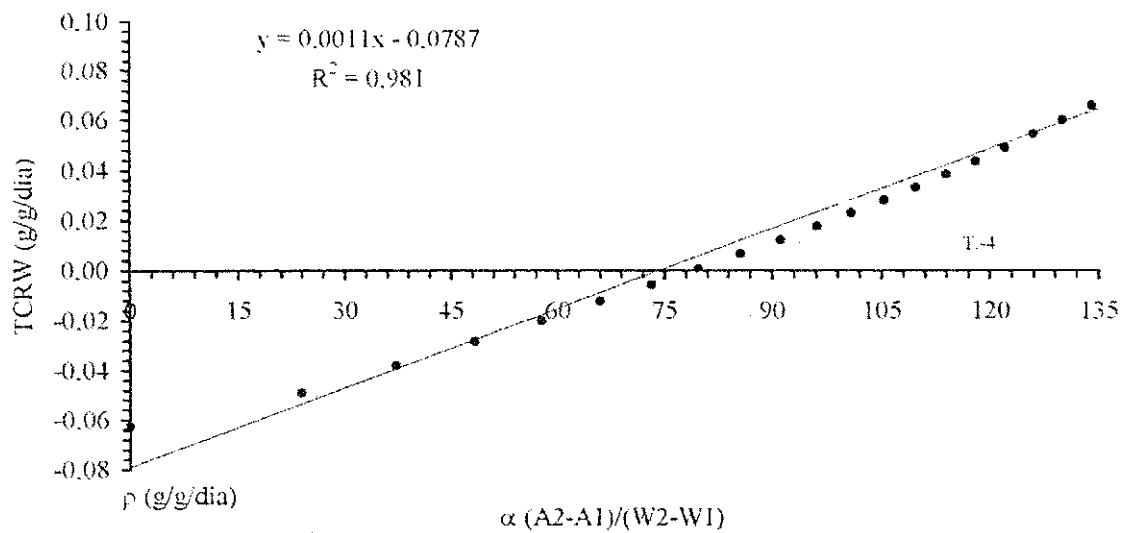


FIGURA 10. Respiração média diária (ρ) do feijoeiro, submetida ao tratamento 4 (140,2 mm de lâmina de irrigação). Lagoa Seca, Paraíba. 2000

TABELA 9. Análises de variância dos componentes de rendimento do feijoeiro. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

QUADRADOS MÉDIOS					
F.V.	G.L.	NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA	NÚMERO DE GRÃOS POR VAGEM	PESO DE 100 GRÃOS (g)	RENDIMENTO DE GRÃOS (kg/ha)
Blocos	3	0,22	0,04	0,35	3.456,00
Trat.	3	7,05*	0,02 ^{NS}	12,41*	300.440,83*
Residuo	9	0,11	0,05	0,27	3.675,00

* Significativo ao nível de 5% (Teste F)

ns Não Significativo

TABELA 10. Médias dos componentes de rendimentos do feijoeiro. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

TRATAMENTOS	NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA	NÚMERO DE GRÃOS POR VAGEM	PESO DE 100 GRÃOS (g)	RENDIMENTO DE GRÃOS (kg/ha)
1	5,9 c	5,6	15,9 c	1.258 c
2	8,7 a	5,6	19,0 a	1.796 a
3	8,8 a	5,7	20,0 a	1.839 a
4	7,7 b	5,6	17,8 b	1.483 b
CV (%)	4,26	3,90	2,86	4,20

Nas colunas, médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si, pelo Teste de Tukey a 5%.

4.4.1. NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA

A análise de variância, Tabela 9, relativa ao número de vagens por planta, mostrou efeitos significativos nos tratamentos. Comparando-se os valores, observa-se que o número de vagens por planta aumentou com o incremento dos níveis de irrigação, Tabela 10.

Em geral, a maioria dos autores (FOLEGATTI *et al.* (1999), FIEGENBAUM *et al.* (1991), STONE *et al.* (1988)) assinala ser o número de vagens por planta um componente altamente influenciado pelas condições limitantes de disponibilidade hídrica, com efeitos preponderantes sobre o rendimento de grãos.

As médias do número de vagens por planta, por tratamento, estão representadas graficamente na Figura 11. Observa-se que o maior número (8,8) foi obtido no terceiro tratamento, embora não havendo diferença estatística significativa do segundo (8,7), respectivo às lâminas de irrigação de 320 e 160 mm, durante todo ciclo da cultura. Foi constatada diferença significativa entre os tratamentos 1 e 2 com os valores de 5,9 e 7,7 vagens por planta, com a utilização de 80 e 140,2 mm de irrigação respectivamente. Esse fato, de certa forma, caracteriza a importância do teor de umidade no solo, refletindo os efeitos nesse componente do rendimento.

HOSTALÁCIO & VALIO (1984), MIRANDA & BELMAR (1977) e WEAVER *et al.* (1984) também observaram redução no número de vagens por planta do feijoeiro em tratamentos com menor suprimento de água na irrigação, em função do aumento na abscisão de flores e vagens em formação.

4.4.2. NÚMERO DE GRÃOS POR VAGEM

Pela análise de variância, Tabela 9, os efeitos dos tratamentos 80, 160, 320 e 140,2 mm de água de irrigação do feijoeiro no experimento não foram significativos para o número de grãos por vagem.

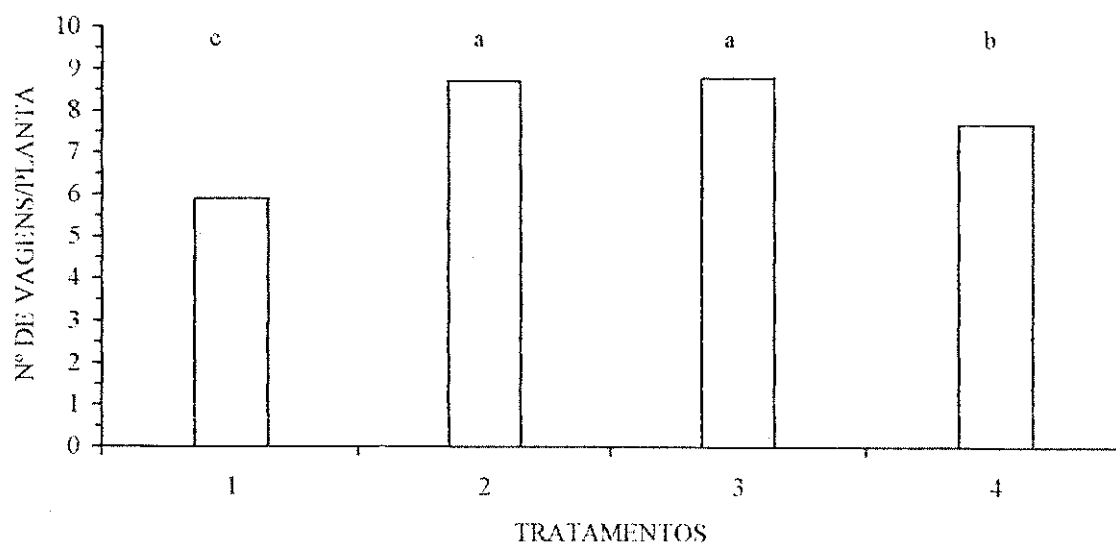


FIGURA 11. Número de vagens por planta do feijoeiro, submetido aos diferentes tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

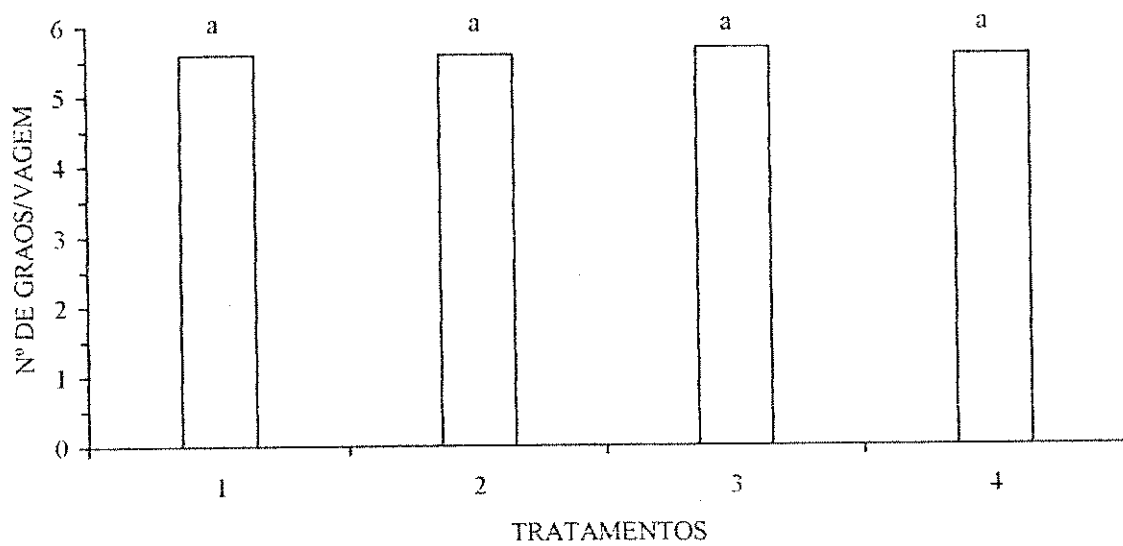


FIGURA 12. Número de grãos por vagem do feijoeiro, submetido aos diferentes tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba, 2000

Na Tabela 10 são apresentados os valores médios referentes a esta variável nos diferentes tratamentos. Graficamente, o número de grãos por vagem é apresentado na Figura 12. LOUREIRO *et al.* (1990) estudaram esse componente do rendimento do feijoeiro submetido a diferentes lâminas de irrigação e também não encontraram diferenças significativas. BRADSHAW (1965) sugere que o feijoeiro sofre, em diferentes intensidades, modificações por efeito do ambiente.

Afirma, também, que o grau de variação na expressão de uma característica controlada por um genótipo, em diferentes ambientes, é a medida de sua plasticidade. Para COSTA *et al.* (1983), o desenvolvimento da plasticidade dos componentes de rendimento do feijoeiro pode facilitar a manutenção de um nível mais estável da produção se, no desenvolvimento da planta, a variação de um componente compensar a variação de outro.

4.4.3. PESO DE 100 GRÃOS

A análise dos dados do peso de 100 grãos apresentada na Tabela 9, revelou efeito significativo nos tratamentos de irrigação. Observa-se, na Tabela 10, que os valores das médias dos tratamentos aumentaram à medida que houve incremento de água na irrigação, T-1= 80, T-2= 160, T-3= 320 e T-4= 140,2 mm. Este resultado parece evidenciar a importância da competição intraespecífica por espaço físico, luz, água e nutrientes. As origens das variações e efeitos do feijoeiro às disponibilidades hídricas estão associadas às atividades metabólicas que, por sua vez, dependem da área foliar e da resistência estomática, responsável pela atividade fotossintética (BOYER, 1976).

A Figura 13 revela uma tendência de o peso de 100 grãos ser maior nos tratamentos irrigados com maior suprimento de água, no entanto, estatisticamente o tratamento 3 não diferiu do tratamento 2, o qual diferiu do tratamento 4, que, por sua vez diferiu do 1.

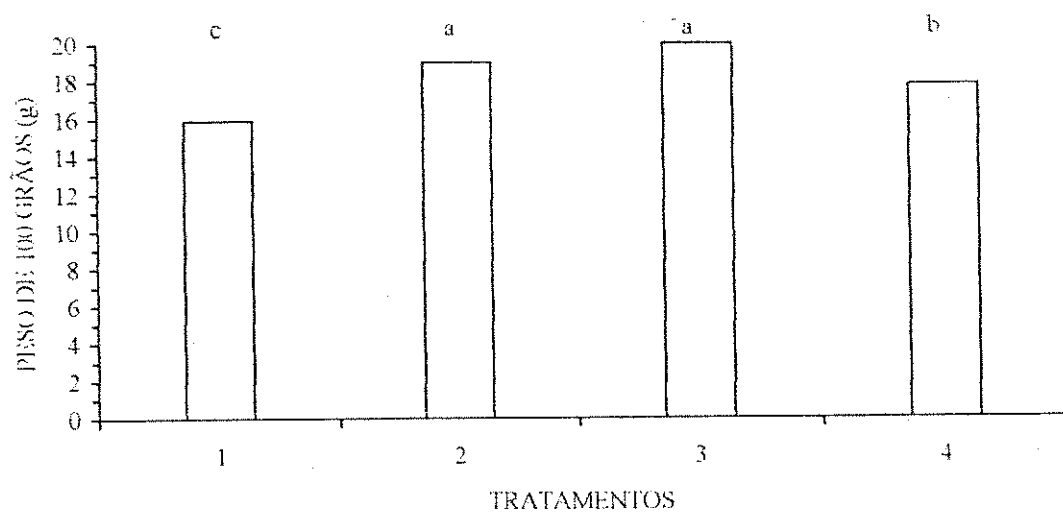


FIGURA 13. Peso de 100 grãos do feijoeiro, submetido aos diferentes tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

4.4.4. RENDIMENTO DE GRÃOS

Na Tabela 9 está apresentado o resumo da análise de variância para o rendimento de grãos. É observado efeito significativo para os tratamentos, a um nível de 5% de probabilidade pelo teste "F". Na comparação das médias de tratamentos, Tabela 10, são observadas diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%, revelando que o fator água (irrigação) foi determinante para promover as diferenciações do rendimento de grãos do feijoeiro, quando submetido a situações de disponibilidade hídrica.

Os rendimentos médios por tratamento aplicado indicaram que o maior rendimento (1.839 kg/ha) foi conseguido com o tratamento 3, que se igualou estatisticamente ao tratamento 2, que apresentou um rendimento médio de 1.756 kg/há. Esses tratamentos foram estatisticamente superiores ao rendimento médio do tratamento 4 (1.483 kg/ha), o qual foi superior ao tratamento 1, que teve um rendimento médio de 1.258 kg/ha. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por diversos autores, tais como STONE *et al.* (1988), FIEGENBAUM *et al.* (1991) e HOSTALÁCIO & VÁLIO (1984), em que as condições de limitações hídricas reduziram o rendimento médio de grãos.

Segundo KELLING (1995), o efeito das limitações hídricas sobre o rendimento do feijoeiro está vinculado ao período de ocorrência destas limitações durante o desenvolvimento das plantas. Para CHAVES (1991), a extensão dos efeitos do déficit hídrico nas espécies vegetais depende da sua intensidade e da duração.

O resultado do rendimento de grãos observado na Tabela 10, com relação ao primeiro tratamento, reflete os efeitos do menor acúmulo da fitomassa (Figura 2) e menor área foliar (Figura 3), os quais conduzem a uma menor área foliar útil para a fotossíntese (Figura 6), durante a fase de desenvolvimento de vagens à maturidade, considerado por DOORENBOS E PRUITT (1976), como o período mais sensível do feijoeiro ao déficit hídrico, para a redução da produtividade.

As variações dos rendimentos do feijoeiro submetido aos diferentes tratamentos podem ser observadas graficamente na Figura 14. Verifica-se que o tratamento 2 não diferiu estatisticamente do 3, porém registra-se uma redução na ordem de 3%. Os demais tratamentos, ou seja, 1 e 2, tiveram uma redução, em relação ao 3º tratamento, de 32 e 20%, respectivamente.

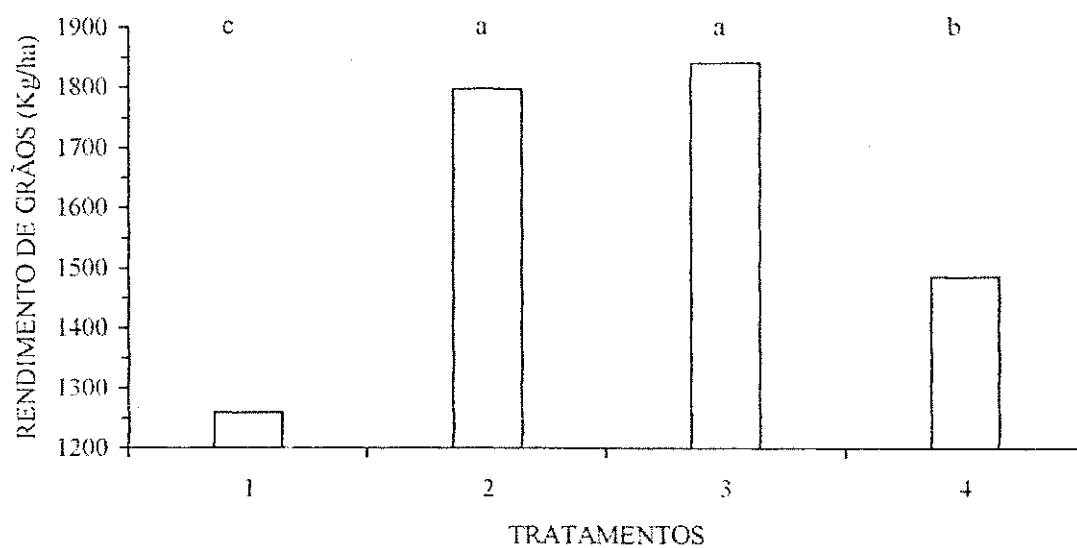


FIGURA 14. Rendimento de grãos do feijoeiro, submetido aos diferentes tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

4.5. COMPONENTES DE ESTRESSE HÍDRICO

Vários são os componentes que se relacionam com o estado hídrico das plantas: os baseados nas características físico-hídricas do solo, os que têm por base dados meteorológicos e os que têm por base dados das próprias plantas.

Os estudos desenvolvidos empregam várias técnicas no sentido de determinar o nível de estresse hídrico de uma cultura. Uma técnica muito usada atualmente é a termometria infravermelha, que permite a obtenção de variáveis direto da planta. Essa técnica utiliza a temperatura do dossel como um indicador da disponibilidade de água nas plantas e baseia-se na hipótese de que a água transpirada pela folha, ao evaporar-se, produz o seu resfriamento (PAZZETTI, 1990).

PAZZETTI *et al.* (1993), trabalhando com as plantas de feijão, chegaram a conclusão de que a evolução do esgotamento de água no solo, a evolução da temperatura da copa e os diferenciais da copa, sob diferentes estados de estresse, estão estreitamente relacionados. Além disso, os resultados permitiram indicar que a temperatura da copa e os diferenciais de temperatura da copa podem ser empregados no monitoramento da irrigação.

4.5.1. TEMPERATURA DO DOSSSEL (T_c)

A temperatura do dossel (T_c) de uma determinada cultura depende fundamentalmente de inúmeros fatores, tais como: disponibilidade de água no solo, temperatura do ar, radiação solar, ventos, umidade do ar e variáveis da própria planta.

A Figura 15 reflete o estado térmico do dossel do feijoeiro submetido a diferentes tratamentos de disponibilidade de água no solo. Verifica-se na primeira fase, entre 23 e 31 (DAS), altas temperaturas em todos os tratamentos, proporcionais aos níveis de irrigação empregados. Esses aumentos podem ser atribuídos também à pequena área foliar no período, favorecendo uma incidência dos raios solares no solo, o que provoca uma maior evaporação e, conseqüentemente, um déficit hídrico. Ocorrendo uma redução de água no solo, um aumento na temperatura do dossel é inevitável (BASCUR *et al.* (1985b) e ASTON & VAN BAVEL (1972)).

Também nesta primeira fase, observa-se que dos 31 (DAS) até o final, as temperaturas do dossel decresceram e não variaram com os tratamentos, possivelmente devido à estabilidade da área foliar.

Nas fases seguintes, as diferenças entre as temperaturas tornaram-se menos evidentes, provavelmente devido a um maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas dos tratamentos com menor disponibilidade de água no solo. As raízes, ao crescerem e se desenvolverem, aprofundaram-se, explorando camadas do solo com disponibilidade suficiente de umidade, o que impediu a diferenciação entre as temperaturas do dossel das plantas.

4.5.2. DIFERENÇA DA TEMPERATURA DO DOSSSEL E DO AR ($T_c - T_a$)

A Figura 16 registra os diferenciais da temperatura do dossel e do ar ($T_c - T_a$), durante o ciclo do feijoeiro. Observa-se, na primeira fase fenológica, que o tratamento 1, dos 23 aos 29 (DAS) apresentou valores positivos, o que indica maiores temperaturas do dossel e ocorrência de estresse hídrico.

Possivelmente, o aumento da temperatura foi motivado pelo menor suprimento de água e pela incidência de radiação direta no solo, em função da menor área foliar, em relação aos demais tratamentos com maiores disponibilidades de água no solo. Verifica-se que dos 30 até os 61 (DAS), todos os tratamentos tiveram pouca variação nos diferenciais de temperatura do dossel. Resultados semelhantes a estes também foram observados por PAZZETTI *et al.* (1993).

Observa-se também na Figura 16 que as variações de valores positivos e negativos verificaram-se conforme o turno de rega até os 61 (DAS), a partir daí os valores de ($T_c - T_a$) tornaram-se positivos, devido à maturação das plantas, como também à suspensão da irrigação.

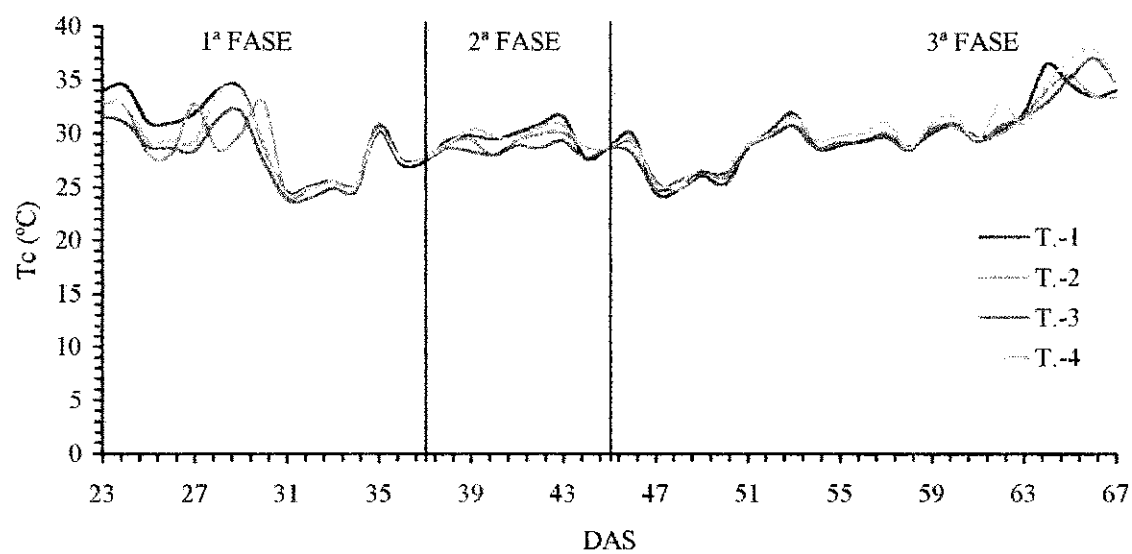


FIGURA 15. Temperatura do dossel (Tc), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

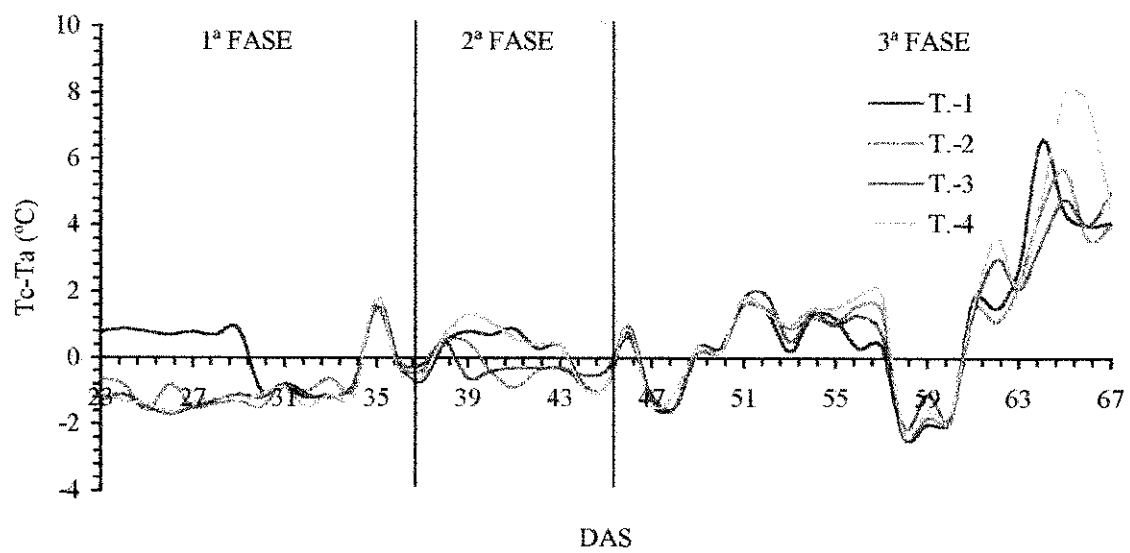


FIGURA 16. Diferenças da temperatura do dossel e do ar ($T_c - T_a$), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetidas aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

4.5.3. GRAUS DIAS DE ESTRESSE (GDE)

Os índices de graus dias de estresse (GDE) do feijoeiro, em função dos tratamentos 80, 160, 320 e 140,2 mm de água aplicados durante o ciclo da cultura são apresentados na Figura 17. Verifica-se que as diferenças acumuladas entre ($T_c - T_a$) dos 23 aos 67 (DAS) estão nitidamente separadas conforme os tratamentos e, conseqüentemente, o estado hídrico da cultura. Observa-se que o tratamento 1, durante todo o ciclo do feijoeiro, se manteve com valores acumulados de ($T_c - T_a$) sempre positivos, o que indica estresse hídrico. No entanto, apesar da constatação de estresse hídrico e da diferença significativa do rendimento, em relação aos outros tratamentos, os índices do GDE não foram suficientes para inviabilizar o uso do tratamento. Por outro lado, vale salientar que, no local onde o estudo foi realizado, a umidade é alta, enquanto que a temperatura noturna do ar é baixa, em média 77,4% e 22,5 °C, respectivamente, favorecendo a recuperação parcial das plantas estressadas no período do dia.

Os tratamentos 2, 3 e 4 mantiveram-se com valores acumulados negativos até início da maturação, onde foram verificados valores positivos sem, no entanto, alterar as condições de plantas não estressadas. Observa-se claramente a influência da umidade do solo condicionada pelos tratamentos. Verifica-se que os valores negativos foram proporcionais as irrigações submetidas 160, 320, e 140,2 mm de água, em todo o ciclo do feijoeiro.

4.5.4. COMPONENTES DE ESTRESSE HÍDRICO E RENDIMENTOS

São apresentadas, na Tabela 11, as relações dos valores médios dos componentes de estresse hídrico com os valores do rendimento do feijoeiro, sob diferentes lâminas de água na irrigação. Observa-se que os tratamentos causaram efeitos diferenciados nos componentes de estresse hídrico. Houve um acréscimo nos valores da temperatura do dossel (T_c), proporcional à redução das lâminas de água na irrigação, refletindo nos valores dos diferenciais de temperatura do dossel e do ar ($T_c - T_a$), que expressam as condições hídricas das plantas.

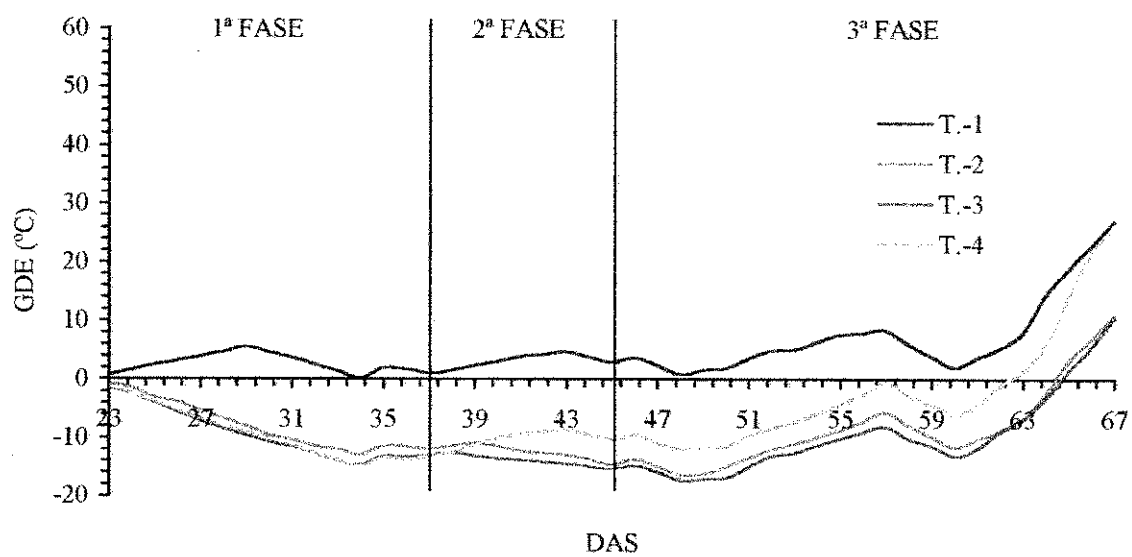


FIGURA 17. Graus dias de estresse (GDE), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetidos aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

Os valores do (GDE), que indicam o índice de estresse hídrico da cultura, sofreram variações com o aumento das temperaturas do dossel, em consequência dos tratamentos empregados.

Correlacionando as variações dos valores médios de Graus Dias de Estresse (GDE) com os valores de rendimento, Figura 18, verifica-se que os rendimentos do feijoeiro foram diretamente proporcionais às variações das diferenças acumuladas do ($T_c - T_a$) na cultura. Essas observações permitem evidenciar a eficiência da termometria infravermelha na avaliação do estado hídrico do feijoeiro.

PAZZETTI *et al.* (1993) também constataram relações entre o aumento dos valores dos componentes de estresse hídrico com o decréscimo do rendimento do feijoeiro. Constataram ainda que a termometria infravermelha pode ser empregada no monitoramento da irrigação.

TABELA 11. Relação entre componentes de estresse hídrico e rendimento do feijoeiro, submetidos aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

TRATAMENTOS.	TEMPERATURAS MÉDIAS			RENDIMENTO (Kg/ha)
	DOSSEEL (°C)	$T_c - T_a$ (°C)	GDE (°C)	
1	29,2	0,1	3,5	1.258 c
2	28,8	0,4	10,4	1.796 a
3	28,4	0,4	11,8	1.839 a
4	29,1	0,1	5,2	1.483 b

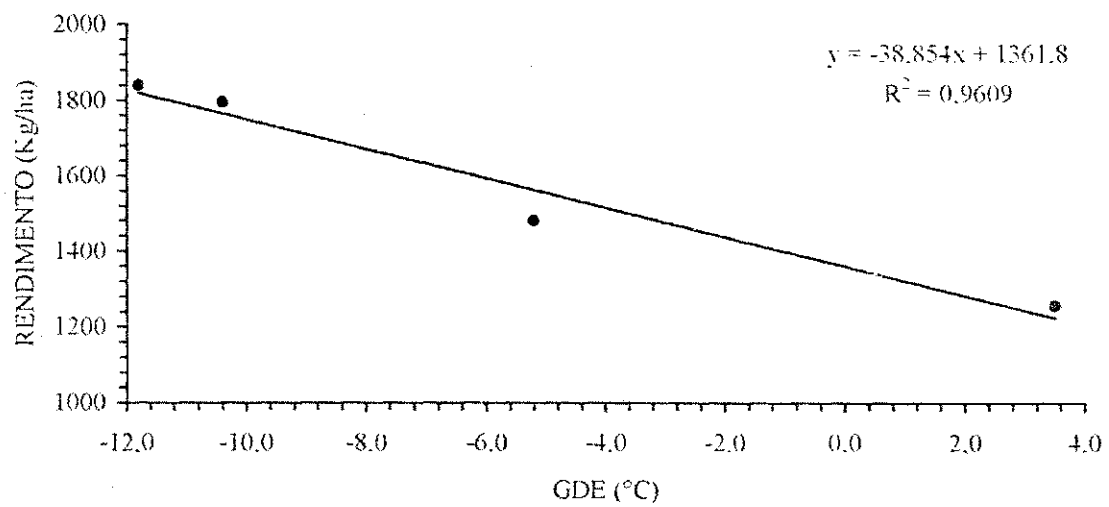


FIGURA 18. Relação entre rendimento e graus dias de estresse hídrico do feijoeiro, submetidos aos tratamentos. Lagoa Seca, Paraíba. 2000

5. CONCLUSÕES

1. O total de água (80, 160, 320 e 140,2 mm) aplicada durante o ciclo da cultura do feijão tornou-se menos significativo que sua distribuição racional durante suas diferentes fases fenológicas.
2. A frequência de irrigação de três em três dias estabelecida no estudo, foi decisiva para que a cultura do feijão, sob diferentes lâminas de irrigação, não sofresse alteração no seu ciclo, bem como em suas fases fenológicas.
3. A disponibilidade de água no solo (320 mm), em relação a menor (80 mm), para a cultura do feijoeiro, aumentou a produção de fitomassa, área foliar, índice de área foliar, taxa de assimilação líquida, razão de área foliar, número de vagens por planta, peso de 100 grãos e o rendimento de grãos.
4. A distribuição da fitomassa do feijoeiro foi influenciada pela umidade do solo. Quando submetido a diferentes níveis de irrigação, o feijoeiro apresentou variações morfológicas em razão das mudanças de drenos metabólicos preferenciais de um órgão para outro.
5. A taxa média diária da respiração não variou significativamente quando o feijoeiro foi submetido a diferentes níveis de umidade no solo, exceto no tratamento 2.

6. Os diferentes níveis de umidade do solo proporcionaram variações nos componentes de rendimento, o que refletiu significativamente no produto final.
7. Os componentes de estresse hídrico foram influenciados por diferentes lâminas de irrigação. A evolução do esgotamento de água no solo favoreceu o aumento de temperatura do dossel do feijoeiro, e os diferenciais da temperatura do dossel e a do ar revelaram estreito relacionamento. Os graus dias de estresse, indicados pelas diferenças de temperaturas acumuladas, revelaram níveis de estresse hídricos, à medida que os valores positivos foram predominantes, o que foi verificado no tratamento I.
8. Apesar da termometria infravermelha poder ser considerada promissora para avaliar os níveis de estresse hídrico, todavia, tornam-se necessárias mais investigações relacionadas com a umidade relativa do ar e a temperatura noturna, tendo em vista a sua grande influencia na diminuição dos efeitos do estresse hídrico.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVIM, R. & ALVIM, P de T. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (*Zea mays*) e pelo feijão (*Phaseolus vulgaris*), em culturas exclusivas e consorciadas. **Turrialba**, São José, v.19,p. 389-93, 1969.
- AMORIM, H. V. de. Respiração. In: FERRI, M. G. (Coord.). **Fisiologia vegetal I**. São Paulo: EPU/Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. p.249-277.
- ASTON, A.R.; VAN BAVEL, C.H.M. Soil surface water depletion and leaf temperatures. **Agronomy Journal**, v.64, p.368-373, 1972.
- BASCUR, G.; OLIVA, M.A.; LAING, D. Termometria infrarroja en seleccion de genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a la sequia. I. Bases fisiologicas. **Turrialba**, v.35, p. 43-47, 1985a.
- BASCUR, G.; OLIVA, M.A.; LAING, D. Termometria infrarroja en seleccion de genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a sequia. II. Crecimiento y productividad. **Turrialba**, v.35, p. 49-53, 1985b.
- BEGG, J.E.; TURNER, N.C. Crop water deficits. **Advances in Agronomy**, v.28, p.161-217, 1976.

BELL, D.T., KOEPPE, D.E. AND MILLER, R.J. The effects of drought stress on respiration of isolated corn mitochondria. **Plant Physiology**. v.48, p. 413-415., 1971.

BERLINER, P.; OOSTERHUIS, D.M.; GREEN, G.C. Evaluation of the infrared thermometer as a crop water stress detector. **Agric. and For. Meteorol.**, Amsterdam, v.31, p.219-230, 1984.

BLUM, A.; JOHNSON, J.W.; RAMSEUR, E.L. The effect of a drying top soil and a possible non-hydraulic root signal on wheat growth and yield. **Journal of Experimental Botany**, Oxon, v.42, n.243, p.1225-1231, 1991.

BOYER, J.S. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. **Plant Physiology**. v.46, p.233-235, 1970.

BOYER, J.S. Water deficits and photosynthesis. In: KOZLOWSKI, T.T. (ed.). **Water deficits and plant growth**. v.4. New York, Academic Press, 1976. p.153-190.

BRADSHAW, A.D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants **Advances in Genetics**, New York, v.13, p.115-155, 1965.

BRAGA, M.B. **Estudo e análise da profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob quatro frequências de irrigação**. Viçosa: UFV, 1996. 67p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.

BRIX, H. The effect of water stress on the rates of photosynthesis and respiration in tomato plant and loblolly pine seedlings. **Plant. Physiol.** v.15, p.10-20. 1962.

BROW, K.W., THOMAS, J.C. The influence of water stress preconditioning on dark respiration. **Physiologia Plantarum**. v.49, p.205-209, 1980.

- CALVACHE, M.; REICHARDT, K.; BACHI, O.O.S. Efeito de épocas de deficiência hídrica na evapotranspiração atual da cultura do feijão cv. Imbabello. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1997a. 758p. p.668-670.
- CALVACHE, M.; REICHARDT, K.; BACHI, O.O.S. et al. Deficit irrigation at different growth stages of the common bean. (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Imbabello). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.54, p.1-16, 1997b.
- CASTONGUAY, Y., MARKHART III, A.H. Leaf gas exchange in water-stressed common bean and tepary bean. **Crop Science**. v. 32 p. 980-986, 1992.
- CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, v.42, p.1-16, 1991.
- CLAWSON, K.L. & BLAD, B.L. Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. **Agronomy Journal**, v.74, p.311-316, 1982.
- CLAWSON, K.L.; JACKSON, R.D.; PINTER JR., P.J. Evaluating plant water stress with canopy temperature differences. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.858-863, 1989.
- COSTA, J.G.C. da; KOHASHI-SHIBATA, J.; MIRANDAQ, C.S. Plasticidade do feijoeiro comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18 n.2, p.159-167, 1983.
- COSTA, L.C., MORISON, J.I.L, DENNETT, M.D. Carbon of Growing Faba Bean and its effect on crop growth: Experimental and modeling approaches. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 4, p. 11-17, 1996
- CRAFTS-BRANDNER, S.J. & PONELEIT, C.G. Selection for seed growth characteristics: effect on leaf senescence in maize. **Crop Science**, Madison, v.32, p.127-131, 1992.

- DAVIES, W.J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular biology**, Palo Alto, p.55-76, 1991.
- DEMATTÊ, J.B.I.; BULISANI, E.A; ALMEIDA, L.D'A. de; ALVES, S. **Irrigação do feijoeiro**. Campinas, Instituto Agronômico, 1974. 23p. (Circular, 37)
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Roma, FAO, 1979. 193p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma, FAO, 1976. 194p. (Estudio FAO. Riego y Drenaje, 24).
- DUARTE, R.A. & ADAMS, M. W. a Parth coefficient analysis of some yield component interrelations in field beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Crop Science**, Madison, v.12, p. 259-82, 1972.
- DUBETZ, S. & MAHALE, P.S. Effect of soil water stress on bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) at three stages of growth. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, St. Joseph, v.94, p.479-81, 1969.
- EHLER, W.L. & VAN BAVEL, C.H.M. Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. **Agronomy Journal**, v.65, p.404-409, 1973.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Programa nacional de pesquisa de feijão**. Brasília, EMBRAPA-DID, 1981.117p.
- FANCELLI, A.L. & DOURADO NETO, D. **Feijão irrigado**. 2.ed, Piracicaba: ESALQ/USP, 1991. 266p.
- FAVER, K.L.; GERIK, T.J.; THAXTON, P.M. Late season water stress in cotton: Leaf gas exchange and assimilation capacity. **Crop Science**, Madison, v.36, p.922-928, 1996.

- FERNÁNDEZ, C.J.; McINNES, K.J.; COTHREN, J.T. Water status and leaf area production in water- and nitrogen-stressed cotton. **Crop Science**, Madison, v.36, p.1224-1233, 1996.
- FIEGENBAUM, V.; SANTOS, D.S.B. dos; MELLO, V.D.C.; SANTOS FILHO, B.G. dos; TILLMAN, M.A.A.; SILVA, J.B. da. Influência do déficit hídrico sobre os componentes de rendimento de três cultivares de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.26 n.2, p.275-280, 1991.
- FITTER, A.H.; HAY, R.K.M. **Environmental physiology of plants**. Academic Press, New York, 1981. p.7-13, 50-55.
- FOLEGATTI, M.V. **Avaliação do desempenho de um "scheduler" na detecção do estresse hídrico em cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigada com diferentes lâminas**. Piracicaba: ESALQ, 1988. 188p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1988.
- FOLEGATTI, M.V.; PAZ, V.P.S. da & OLIVEIRA, A.S. de. Rendimento do feijoeiro irrigado submetido a diferentes lâminas de água com irrigação por sulco. **Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.3 n.3, p.281-285, 1999.
- FRIZZONE, J.A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1986. 133p. Tese Doutorado.
- GARDNER, B.R.; BLAD, B.L.; GARRITY, D.P.; WATTS, D.G. Relationships between crop temperature, grain yield, evapotranspiration and phenological development in two hybrids of moisture stressed sorghum. **Irrig. Sci.**, Heidelberg, v.2, p.213-224, 1981.

- GARRIDO, M.A.T. & TEIXEIRA, H.A. Efeito de diferentes níveis de umidade do solo sobre o rendimento do feijoeiro comum na região sul de Minas Gerais. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Projeto feijão; relatório 76/77**. Belo Horizonte, 1978a. p.25-7.
- GARRIDO, M.A.T. & TEIXEIRA, H.A. Efeito de diferentes níveis de umidade do solo sobre o rendimento do feijoeiro comum, na região sul de Minas Gerais. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Projeto feijão; relatório 75/76**. Belo Horizonte, 1978b. p.36-42.
- GHORASHY, S.R.; PENDLETON, J.W.; PETERS, D.B.; BOYER, J.S.; BEUERLEIN, J.E. Internal water stress and apparent photosynthesis with soybeans differing in pubescence. *Agronomy Journal*, Madison, v.63, p.674-6, 1971.
- GUIMARÃES, C. M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: ZIMMERMANN, MARIA JOSÉ DE O. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba; Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1988. c.2, p.157-174.
- GUIMARÃES, C.M. Relações hídricas. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1996. 786p. p.139-167.
- GUIMARÃES, C.M.; STEINMETZ, S.; PORTES E CASTRO, T. de A. Uso de microlisímetros na determinação da evapotranspiração do feijoeiro da seca. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., Goiânia, 1982. **Anais**. Goiânia, EMBRAPA-CNPAF, 1982. P.133-7.
- HEITHOLT, J.J.; JOHNSON, R.C.; FERRIS, D.M. Stomatal limitation to carbon dioxide assimilation in nitrogen and drought-stressed wheat. *Crop Science*, Madison, v.31, p.133-139, 1991.

- HESKETH, J. D.; BAKER, D. N.; DUNCAN, W. G. Simulation of growth and yield in cotton: Respiration and the carbon balance. **Crop Science**, V.11, p. 394-398, 1971.
- HESLOP-HARRISON, J. Development, differentiation and yield. In: EASTIN, J.D.; HASKINS, F.A.; SULLIVAN, C.Y.; VAN BAVEL, C.H.M. (eds.) *Physiological aspects of crop yield*. Madison, **American Society of Agronomy**, 1970. p.89-111
- HORST, G.L.; O'TOOLE, J.C.; FAVER, K.L. Seasonal and species variation in baseline functions for determining crop water stress indices in turfgrass. **Crop Science**, Madison, v.29, p.1227-1232, 1989.
- HOSTALÁCIO, S. & VÁLIO, I.F.M. Desenvolvimento de plantas de feijão cv. Goiano Precoce, em diferentes regimes de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19 n.2, p.211-8, 1984.
- HSIAO, T.C. & ACEVEDO, E. Plant responses to water deficit, water-use efficiency and drought resistance. **Agricultural Meteorology**, v.14, p.59-84, 1974.
- IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; PINTER JR., P.J.; REGINATO, R.G.; HATFIELD, J.L. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. **Agr. Meteorol.**, Amsterdam, v.24, p.45-55, 1981.
- IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.G. Remote sensing of crop yields. **Science**, v.196, p.19-25, 1977.
- JACKSON, R.D. Canopy temperature and crop water stress. **Advances in irrigation**. New York, v.1, p.43-85, 1982.
- JACKSON, R.D.; IDSO, S.B.; REGINATO, R.G.; PINTER JR., P.J. Canopy temperature as a crop water stress indicator. **Water Resources Research**, Washington, v.17, p.1133-1138. 1981.

- JACKSON, R.D.; REGINATO, R.G.; IDSO, S.B. Wheat canopy temperature a practical tool for evaluating water requirements. **Water Resources Research**, v.13 n.3, p.651-656, 1977.
- JORDAN, W. R. Whole plant response to water deficits: An overview. In TAYLOR, H. M., JORDAN, W. R., SINCLAIR, T. R. **Limitations to efficient water use in crop production**, Madison: ASA, CSSA, and SSA, 1983. p 289-317.
- KANEMASU, E.T. & TANNER, C.B. Stomatal diffusion resistance of snap beans. I. Influence of leaf water potencial. **Plant Physiology**, Bethesda, v.44, p.1547-52,, 1969.
- KATTAN, A.A. & FLEMING, J.W. Effect of Irrigation at Specific Stages of Development on Yield, Quality, Growth in Snap Beans. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, St. Joseph, v.68, n.3 p.29-42, 1956.
- KELLING, C.R.S. **Efeito da disponibilidade de água no solo sobre os componentes do balanço hídrico e o rendimento do feijoeiro**. Santa Maria: UFSM, 1995. 91p. Dissertação Mestrado.
- KHERA, K.L. & SANDHU, B.S. Canopy temperature of sugarcane as influenced by irrigation regime. **Agric. and For. Meteorol.** , Amsterdam, v.37, p.245-258, 1986.
- KOBAYASHI, M.K. **Determinação do índice de estresse hídrico da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da termometria a infravermelho, e do fator de disponibilidade de água no solo, em minilísímetro de pesagem**. Viçosa: UFV, 1996. 90p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) --Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- KRAMER, P.J. Transpiration. In: **Water relations of plants**, 1983. c.11, p.291-341. Academic Press, New York.

KVET, J.; ONDOCK, J. L.; NECAS, J.; JARVIS, P. G. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P. G., ed. **Plant photosynthetic production**. Manual of methods. Haia, W.; JUNK, M. V., 1971. p.343-391.

LEVITT, J. **Response of plants to environmental stress**. II: Water radiation, salt and other stresses. New York: Academic Press, 1980. 606p.

LIMA, M.G. de. **Estudo da resistência à seca em cultivares de feijão** (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, 1978. 58p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia)-Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1978.

LOPES, N.F.; M.A. OLIVA, E. MELGES, M.H. FURTADO & J.G. FREITAS. Crescimento, morfologia, partição de assimilados e produção de matéria seca do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a três níveis de densidade do fluxo radiante. **Ceres** v.30, p.451-62, 1983.

LOPES, N.F.; M.A. OLIVA, J.G. FREITAS, E. MELGES & N.E.M. BELTRÃO. Análise de crescimento e conversão da energia solar em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a três níveis de densidade do fluxo radiante. **Ceres** v.29, p.586-606, 1982.

LOPES, B.F.; SETER, T.L.; McDAVID, C.R. Photosynthesis and water vapor exchange of pigeon pea leaves in response to water deficit and recovery. **Crop Science**, Madison, v.28, p.141-145, 1988.

LOUREIRO, B.T.; MACHADO, P.B.; DENÍCULE, W.; FERREIRA, P.A. Efeito de diferentes lâminas de água sobre a produtividade do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ceres**, v.37 n.211, p.215-226, 1990.

MaC KAY, D.C. & EAVES, C.A. Influence of irrigation treatments on yields and on fertilization by sweet corn and snap beans. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.42, p.219-28, 1962.

- MAGALHÃES, A.A. de & MILLAR, A.A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.13,n.2, 55-60, 1978.
- MAGALHÃES, A.A. de; MILLAR, A.A.; CHOUDHURY, E.N. Efeito do déficit fenológico de água sobre a produção de feijão. **Turrialba**, v.29, n.4, p.269-73, 1979.
- MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**, São Paulo, v.1, p.331-50, 1979.
- MAGALHÃES, A.C.N. Fotossíntese. In. FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, 1985. 350p.
- MAGALHÃES, A.C.N. Fotossíntese. In. FERRI, M.G. (Coord.). **Fisiologia vegetal I**. São Paulo, SP: EPU/Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. p.117-163.
- MAÑAS, F.M.S.O. & VALERO, J.A.J. **Agronomía del riego**. Madrid: Mundi-Prensa, 1993. 732p.
- MCCREE, K.J., KALSEN, C.E. RICHARDSON, S.G. Carbon balance of sorghum plants during osmotic adjustment to water stress. **Plant Physiology**. v.76, p. 898-902, 1984.
- MILLAR, A.A.; CHOUDHURY, E.N. A model to define operation irrigation frequency for maximum yield of crop. **Turrialba**, Turrialba, v.30, n.4, p.391-398, 1980.
- 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, v.64, n.5, p.559-62, 1972.
- MIRANDA, N.O. & BELMAR, N.C. Déficit hídrico y frecuencia de riego em frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agric. Tecn.**, Santiago, v.37, n.3, p.111-117, 1977.

- MORGAN, J.A.; LeCAIN, D.R. Leaf gas exchange and related leaf traits among 15 winter wheat genotypes. **Crop Science**, Madison, v.31, p.443-448, 1991.
- MOTA, F.S. **Meteorologia agrícola**, 7. ed. São Paulo: Nobel, 1983.
- NOBEL, P. S. **Introduction to biophysical plant physiology**. San Francisco, Califórnia, USA: W. H. Freeman and Company, 1974. 487p.
- O'TOOLE, J.C. & HATFIELD, J.L. Effect of wind on the crop water stress index derived by infrared thermometry. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, p.811-818., 1983.
- O'TOOLE, J.J.; OZBUN, J.L.; WALLACE, D.H. Photosynthetic response to water stress in *Phaseolus vulgaris*. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.40, p.111-4, 1977.
- PÁEZ, A.; GONZÁLES, M.E.; YRAUSQUÍN, O.X.; ET AL. Water stress and clipping management effects on guinea grass: I. Growth and biomass allocation. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, p.698-706, 1995.
- PARKER, A.F. Dessiccation in conifer leaves: anatomical changes and determination of the lethal level. **Bot. Gaz.** p.114: 189-198. 1952.
- PAZZETTI, G.A. **Aplicação da termometria infravermelha na irrigação das culturas do milho (*Zea mays* L.) e do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1990. 61p. Tese Mestrado.
- PAZZETTI, G.A.; OLIVA, M.A.; LOPES, N.F. Aplicação da termometria ao infravermelho à irrigação do feijoeiro: crescimento e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.12, p.1371-1377, 1993.
- PIMENTEL, C.; ROSSIELO, R.O.P. Entendimento sobre relações hídricas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA, 1995, Belo Horizonte, MG. EMBRAPA/CNPMS, 1995.v.1. 449p. p.131-146.

- PITTS, D.J.; WRIGHT, R.E.; KIMBROUGH, J.A.; JOHNSON, D.R. Furrow irrigated cotton on clay soil in the Lower Mississippi River Valley. **Appl. Eng. in Agric., St. Joseph**, v.6, p.446-452, 1990.
- REIS, G.G. dos & MÜLLER, M.W. Análise de crescimento de plantas; mensuração do crescimento. Belém, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. **Informe Didático**, 1. 39p. 1979.
- RESENDE, M.; HENDERSON, D.W.; FERERES, E. Frequência de irrigação, desenvolvimento e produção do feijão Kidney. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, n.3, p.363-70, 1981.
- RICHARDSON, S.G., MCCREE, K.J. Carbon balance and water relations of sorghum exposed to salt and water stress. **Plant Physiology**. v. 79, p. 1015-1020, 1985.
- RITCHIE, S.W.; NGUYEN, H.T.; HOLADAY, A.S. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. **Crop Science**, Madison, v.30, p.105-111, 1990.
- ROBINS, J.S. & DOMINGO, C.E. Moisture deficit in relation to the growth and development of dry beans. **Agronomy Journal**, Madison, v.48, p.67-70, 1956.
- ROBINS, J.S.; MUSICK, J.T.; FINFROCK, D.C.; RHOADES, H.F. Grain and field crops. In: HAGAN, R.M. et al., ed. **Irrigation of agricultural lands**. Madison, American Society of Agronomy, 1967, p.622-39.
- SAKAI, E.; BRUNINI, O.; BULIZANI, E.; MURAMOTO, C.A. Efeito do déficit hídrico sobre o comportamento estomático e a temperatura de folhas em feijoeiro (cv-IAC-Carioca 80). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5, Belém, 1987. **Coletânea de Trabalhos**, Belém, SBA, 1987. p.370-375.

- SAWAZAKI, H.E.; TEIXEIRA, J.P.; ALMEIDA, L.D'A. de. Estresse de água no crescimento, produtividade e acúmulo de prolina em feijão. **Bragantia**, Campinas, v.40, n.5, p.157-66, 1981.
- SCOTT, H.D. & BATCHELOR, J.T. Dry weight and leaf area production rates of irrigated determinate soybeans. **AGRON. J.** v.71, p.776-782, 1979.
- SHEARMAN, L.L., EASTIN, J.D., SULLIVAN, C.Y., et al. Carbon dioxide exchange in water stressed sorghum. **Crop Science.** v.12, p.406-409, 1972.
- SILVA, B.B. Estresse hídrico em algodoeiro herbáceo irrigado evidenciado pela termometria infravermelha. Tese de Doutorado, p.144, 1994.
- SILVEIRA, P.M. da & STONE, L.F. Balanço de água na cultura do feijão em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.14, n.2 p.111-5, 1979.
- SOLÁROVÁ, J.; VÁCLAVIK, J.; POSPISILOVÁ, J. Leaf conductance and gas exchange through adaxial and abaxial surfaces in water stressed primary leaves. **Biologia Plantarum**, Praga, v.19, n.1 p.59-64, 1977.
- STONE, L.F. & MOREIRA, J.A.A. Irrigação do feijoeiro. Goiânia, EMBRAPA-CNPAP, 1986. 31p. (EMBRAPA-CNPAP. **Circular Técnico**,20)
- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; SILVA, S.C. da. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e o crescimento do feijoeiro. I. Produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.2, p.161-167, 1988.
- TAIZ, L. & ZEIGER. **Plant Physiology**. California: The Benjamin/ Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, 1991.

- TUBEROSA, R.; SANGUINETI, M.C.; LANDI, P. Abscisic acid concentration in leaf and xylem sap, leaf water potential, and stomatal conductance in maize. **Crop Science**, Madison, v.34, p.1537-1563, 1994.
- UPCHURCH, R.P., PETERSON, M.L., HAGAN, R.M. Effect of soil moisture content on the rate of photosynthesis and respiration in landino clover. **Plant Physiology**. v. 30, p.297-303, 1955.
- VIEIRA, C. **Cultura do feijão**. UFV, Viçosa, 1978. 146p.
- WALLACE, D.H. & MUNGER, H.M. Studies of the physiological basis for yield differences. II. Variations in dry matter distribution among aerial organs for several dry bean varieties. **Crop Science**, Madison, v.6, p.503-7, 1966.
- WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, New York, v.4, p.101-45, 1952.
- WATSON, D.J. The dependence of net assimilation rate on leaf area index. **Ann. Bot.** (n.s.) 22: 37-54. 1958
- WEAVER, M.L.; NG,H.; BURKE, D.W.; SILBERNAGEL, M.J.; FOSTER, K.; TIMM, H. Effect of soil moisture tension on pod retention and yield of beans. **Hort Science**, v. 19, n.4, p.567-569, 1984.
- WESTERMANN, D.T. & CROTHERS, S.E. Plant population effects on the seed yield components of beans. **Crop Science**, Madison, v.17, p.493-496, 1977.
- WESTPHALEN, L. & BERGAMASCHI, H. Recomendações de épocas de semeadura para a cultura do feijão no RS. **Trigo e Soja**, Porto Alegre, v.24, p.3-5, 1979.
- WIEGAND, C.L.; NAMKEN, L.N. Influences of plant moisture stress, solar radiation and air temperature on cotton leaf temperature. **Agronomy Journal**, v.58. p.282-286, 1966.

- WULLSCHLEGER, S.D.; OOSTERHUIS, D.M. Photosynthetic carbon production and use by developing cotton leaves and bolls. **Crop Science**, Madison, v.30, p.1259-1264, 1990.
- XIA, M.Z. Effects of soil drought during the generative development phase of faba bean on photosynthetic characters and biomass production. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 122, p. 67-72, 1994.
- ZEEVAART, Z.R.; CREELMAN, R.A. Metabolism and physiology of abscisic acid. **Annual Review of Plant Physiology**, v.39, p.439-473, 1988.
- ZIMMERMANN, M.J.O.; ROSIELLE, A.A.; WIANES, J.G.; FOSTER, K.W. Heritability and correlation study of grain yield, yield components and harvest index of common bean in sole crop and intercrop. **Field Crop Research**, Amsterdam, v.9, p.109-118, 1984.