



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – DCA**  
**CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA**

**AVALIAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA DO FEIJOEIRO**

**ALCIDES OLINTO DA SILVA**

Campina Grande, PB

Abril, 2005



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – DCA**  
**CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA**

**AVALIAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA DO FEIJOEIRO**

por

**ALCIDES OLINTO DA SILVA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós –  
Graduação em Meteorologia da  
Universidade Federal de Campina Grande –  
UFCG, como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do grau de Mestre  
em Meteorologia.

Área de Concentração: Meteorologia Agrícola e Micrometeorologia

Sub – área: Agrometeorologia

Orientador: Prof.Dr.Renilson Targino Dantas

Co-orientador: Prof.Dr.José Fidelis Filho

Campina Grande, PB

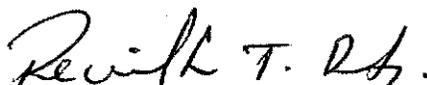
Abril, 2005

ALCIDES OLINTO DA SILVA

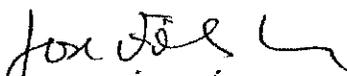
AVALIAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA DO FEIJOEIRO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/4/2005

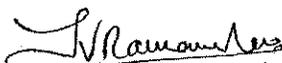
BANCA EXAMINADORA



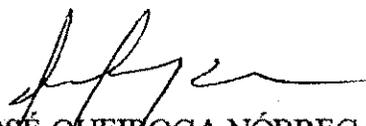
Prof. Dr. RENILSON TARGINO DANTAS  
Departamento de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. JOSÉ FIDÉLES FILHO  
Departamento de Física  
Universidade Estadual da Paraíba



Prof. Dr. TANTRAVAHÍ VENKATÁ RAMANA RAO  
Departamento de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Dr. JOSÉ QUEIROGA NÓBREGA  
Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária

“Os teus caminhos posso não entender Senhor, mas sei que tudo é visando o meu crescer, se lutas e tribulações eu tenho que passar, Te peço forças para continuar”.

(Jô)

**DEDICO**

À minha amada filha **Emilly Maria** e querida esposa  
e companheira **Mozália do Carmo** pela paciência,  
amor, respeito e pela compreensão das minhas ausências.

À minha querida mãe **Maria do Carmo (em especial)** e ao meu pai **Antônio Olinto** e  
irmãos **Alba Lúcia, Alan John, Alessandro, Alcivânia, Alciony e Albaney**  
e a toda a minha família, que mesmo sem compreender a minha vida científica me  
apoiaram em todos os momentos.

Aos meus avós **Antônio Pedro, Cândida Crisóstomo (in  
memoriam), José Olinto (in memoriam)** e **Jacinta (in  
memoriam)**, exemplos de vida, e pelo o muito que sempre  
representaram em minha vida.

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a **DEUS**, todo poderoso, a quem sempre recorri espiritualmente nas horas mais difíceis e por me acompanhar em todos os momentos de minha vida;

À Universidade Federal de Campina Grande, em especial ao Departamento de Ciências Atmosféricas por ter me dado à oportunidade de conhecer este maravilhoso mundo da Meteorologia;

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

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Renilson Targino Dantas, que idealizou este trabalho, e compreendeu que poderíamos desenvolver com méritos esta pesquisa;

Ao co-orientador Prof. Dr. José Fideles Filho, pela orientação inestimável, dedicando-se com carinho, e indicando o melhor caminho para a continuação do trabalho;

Aos membros da Banca Examinadora, Prof. Dr. Tantravahi Venkata Ramana Rao e Dr. José Queiroga Nóbrega pela colaboração;

A todos os professores do Departamento de Pós-graduação de Meteorologia da UFCG, especialmente ao Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva, responsável pela concessão de diárias na condução do experimento;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da Bolsa de Estudos, sem a qual se tornaria muito difícil a realização desse trabalho;

Aos todos os colegas de Curso de Pós-Graduação pela saudável convivência e pelo apoio, amizade durante o curso;

À Edivania Lima que com a sua ajuda e dedicação em incansáveis horas de serviço, tomou possível o término deste trabalho, bem como a grande amizade que nunca vai ser esquecida;

Aos grandes amigos Hudson (Ratueira), Lindenberg (Bega) e Zilurdes que passaram por mim deixando boas lembranças e que sempre estiveram prontos a me ajudar em todos os momentos, desde auxiliando nas laboriosas avaliações dos experimentos até confortando-me nos momentos tristes. Saudades...

À secretária Divanete Cruz do Departamento de Ciências Atmosférica do Curso de Pós-graduação em Meteorologia, pelo agradável convívio e constante solicitude;

A quem por ventura eu possa ter esquecido de citar, mas que de alguma forma desempenhou papel essencial na conclusão de mais essa etapa de minha vida;

A você que por algum motivo consultou este trabalho, espero ter ajudado.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIÇÕES E SÍMBOLOS.....	xiv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1.0 INTRODUÇÃO.....	1
2.0 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Importância da Cultura.....	3
2.2 Efeitos Fenológicos.....	4
2.3 Efeitos Fisiológicos.....	5
2.4 Análise de Crescimento e Desenvolvimento.....	6
2.4.1 Variáveis de Crescimento.....	6
2.4.2 Variáveis de Rendimento.....	8
2.5 Influência dos Elementos Agrometeorológicos no Crescimento e Desenvolvimento do Feijoeiro.....	10
2.5.1 Temperatura do Ar.....	10
2.5.2 Graus-dia.....	12
2.5.3 Umidade Relativa do Ar.....	14
2.5.4 Velocidade do Vento.....	15
2.5.5 Irradiação Solar Global.....	16
2.5.6 Precipitação Pluviométrica.....	18
2.5.7 Evapotranspiração.....	19
2.6 Efeitos da Umidade do Solo no Feijoeiro.....	21
3.0 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 Caracterização da Área Experimental.....	24
3.1.1 Local.....	24
3.1.2 Clima.....	25
3.1.3 Solo.....	25

3.2	Cultivar.....	26
3.3	Instalação e Condução do Experimento.....	26
3.3.1	Preparo da Área.....	26
3.3.2	Semeadura.....	27
3.3.3	Tratos Culturais.....	27
3.3.4	Colheita.....	27
3.4	Delineamento Experimental e Tratamentos.....	28
3.5	Parcelas Experimentais.....	29
3.6	Medições e Aplicações das Variáveis Meteorológicas.....	30
3.6.1	Graus-dia.....	30
3.7	Determinação da Umidade do Solo.....	30
3.8	Determinação das Fases Fenológicas.....	32
3.9	Análise de Crescimento, Índices Fisiológicos e Fenológicos.....	32
3.9.1	Fitomassa Seca Total ... ..	32
3.9.2	Área Foliar .....	33
3.9.3	Índice de Área Foliar .....	33
3.10	Determinação dos Componentes de Rendimento.....	33
3.10.1	Número de Vargens por Planta.....	33
3.10.2	Número de Grãos por Vargem.....	33
3.10.3	Peso de 100 Grãos.....	34
3.10.4	Rendimento de Grãos.....	34
3.11	Análise Estatística.....	34
4.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1	Condições Meteorológicas durante os Trabalhos de Campo.....	36
4.1.1	Temperatura do Ar.....	36
4.1.2	Umidade Relativa do Ar.....	38
4.1.3	Precipitação Pluviométrica.....	39
4.1.4	Irradiação Solar Global.....	41
4.1.5	Velocidade do Vento.....	42
4.1.6	Evapotranspiração Potencial.....	44
4.2	Precipitação Pluviométrica e Umidade do Solo.....	45
4.3	Comportamento da Precipitação Pluviométrica e Evapotranspiração Potencial.....	47

4.4	Fases Fenológicas.....	48
4.5	Variáveis de Crescimento.....	49
4.5.1	Análise de Fitomassa Seca Total.....	51
4.5.2	Área Foliar.....	53
4.5.3	Índice de Área Foliar.....	54
4.6	Comportamento da Fitomassa Seca Total em relação aos Graus-dia Acumulados.....	56
4.7	Comportamento do Índice de Área Foliar em relação aos Graus-dia Acumulados.....	58
4.8	Comportamento da Fitomassa Seca Total em relação à Irradiação Solar Global.....	60
4.9	Comportamento do Índice de Área Foliar em relação à Irradiação Solar Global.....	63
4.10	Componentes de Rendimento.....	64
4.10.1	Rendimento de Grãos.....	65
5.0	CONCLUSÕES.....	67
6.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

## LISTA DE FIGURAS

		Página
1.	Vista geral do experimento de campo, com a cultivar de feijão Pérola ( <i>Phaseolus vulgaris</i> , L.), Lagoa Seca, PB, 2004.....	24
2.	Croqui de campo coma distribuição de tratamentos, nos respectivos blocos da área cultivada. ....	28
3.	Croqui de uma parcela experimental.....	29
4.	Sensores de extensão prolongada “Gro-Point™”, utilizados no experimento de campo.....	31
5.	Temperaturas mínimas, médias e máximas, em relação aos dias após a semeadura (DAS), nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento. Lagoa Seca, PB.....	38
6.	Umidade relativa média do ar, em relação aos dias após a semeadura (DAS), nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento. Lagoa Seca, PB.....	39
7.	Precipitação pluvial, em relação aos dias após a semeadura (DAS), nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento de campo.....	41
8.	Irradiação solar global diária, em relação aos dias após a semeadura (DAS), nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento de campo.....	42
9.	Velocidade do vento média e máxima em relação aos dias após a semeadura (DAS) nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento.....	43
10.	Evapotranspiração potencial, em relação aos dias após a semeadura (DAS), nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento.....	45
11.	Variação diária da precipitação pluviométrica versus a umidade do solo, em relação aos dias após a semeadura (DAS), nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento.....	46
12.	Variação da evapotranspiração potencial e da precipitação pluviométrica diária, em relação aos dias após a semeadura (DAS) nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento.....	48
13.	Fitomassa seca total, em relação aos dias após a semeadura (DAS), nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento de campo.....	52

14.	Área foliar, em relação aos dias após a semeadura (DAS), nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento de campo.....	54
15.	Índice de área foliar, em relação aos dias após a semeadura (DAS), nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento de campo.....	56
16.	Comportamento da fitomassa seca total em relação aos graus-dia acumulados (GDA), durante o experimento, durante o experimento de campo.....	58
17.	Comportamento do índice de área foliar em relação aos graus-dia acumulados, durante o experimento, durante o experimento de campo.....	60
18.	Comportamento da fitomassa seca total em relação à irradiação solar global, durante o experimento, durante o experimento de campo.....	62
19.	Comportamento do índice de área foliar em relação à irradiação solar global, nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento de campo.....	64

**LISTA DE TABELAS**

	Página
1. Características físicas do solo da área experimental. Considerando uma profundidade de 0,20m, Lagoa Seca, PB, 2004.....	25
2. Características químicas do solo da área experimental. Considerando uma profundidade de 0,20m, Lagoa Seca, PB, 2004.....	26
3. Esquema da análise da variância.....	36
4. Fases fenológicas, duração e ciclo (dias) da cultura do feijão, em função dos tratamentos.....	49
5. Análise de variância das variáveis primárias de crescimento do feijoeiro.....	50
6. Médias das variáveis primárias de crescimento do feijoeiro.....	50
7. Análise de variância dos componentes de rendimento do feijoeiro.....	66
8. Médias dos componentes de rendimento do feijoeiro.....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Símbolo	Definição	Unidade
Al	Alumínio	
AF	Área foliar	cm <sup>2</sup>
Ca	Cálcio	
CC	Capacidade de campo.	Kg.Kg <sup>-1</sup>
C.V.	Causa de variação	
CIAGRO	Centro Integrado de Informações Agrometeorológica	
r <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação	
DAS	Dias após a semeadura	dias
t <sub>i</sub>	Efeito da i-ésima época da amostragem	
BL <sub>b</sub>	Efeito do b-ésimo do bloco (repetição)	
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	
EMEPA	Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária	
$\varepsilon_{ij}$	Erro aleatório à observação Y <sub>ij</sub>	
EMA	Estação Meteorológica Automática	
ET <sub>o</sub>	Evapotranspiração de referência	mm.dia <sup>-1</sup>
ETP	Evapotranspiração potencial	mm.dia <sup>-1</sup>
W	Fitomassa seca total	g.planta <sup>-1</sup>
F	Floração	dias
FV	Formação de vagens	dias
P	Fósforo	
Co <sub>2</sub>	Gás carbônico	
G	Germinação	dias
GL	Grau de liberdade	
GD	Graus-dia	°C
GDA	Graus-dia acumulados	°C.dia
ha	hectare	1000 m <sup>2</sup>
IAF	Índice de área foliar	adimensional
IF	Início da floração	dias

Qg	Irradiação solar global	MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>
J	Joule	
Mg	Magnésio	
M	Maturidade	dias
$\mu$	Média geral	
mm	Milímetros	
PMP	Ponto de murcha permanente	Kg.Kg <sup>-1</sup>
K	Potássio	
Prec	Precipitação pluviométrica	mm
QM	Quadrado médio	
Kg	Quilogramas	1000 g
Na	Sódio	
Tb	Temperatura base	°C
Tar	Temperatura do ar	°C
Tmáx	Temperatura máxima	°C
Tméd	Temperatura média	°C
Tmin	Temperatura mínima	°C
F	Teste estatístico F	
TDT	Time Domain Transmissometry	
T1	Tratamento 1	
T2	Tratamento 2	
T3	Tratamento 3	
TSA	Trópico semi-árido	
UR	Umidade relativa do ar	%
UTD	Unidades térmicas de desenvolvimento	
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande	
Y <sub>ij</sub>	Valor observado relativo à parcela que recebeu o tratamento i no bloco j	
Vv	Velocidade do vento	m.s <sup>-1</sup>
$\Delta S$	Área de solo amostrado	cm <sup>2</sup>

---

## AVALIAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA DO FEIJOEIRO

### 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 avaliar os efeitos edafoclimáticos na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) em regimes de sequeiro em três densidades populacionais. O delineamento foi o de blocos casualizados, com três tratamentos e quatro repetições. Os efeitos dos diferentes tratamentos foram avaliados mediante as variações da distribuição da fitomassa seca total, área foliar, índice de área foliar e os componentes de rendimentos. As variáveis de crescimento apresentaram valores diferenciados em resposta aos tratamentos utilizados. Dentre os parâmetros meteorológicos a irradiação solar e a temperatura do ar associados a umidade do solo, são os que mais influenciaram para o crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura. O tratamento T1 apresentou a maior taxa de produção de fitomassa seca total ao longo do ciclo e também maior índice de área foliar, evidenciando maior capacidade em captar luz. O autossombreamento pode afetar a produção de fitomassa seca, quando imposta à diferentes densidades populacionais, pela influência da temperatura e irradiação solar global. As durações das fases de desenvolvimento não foram afetadas pelos tratamentos, o que demonstra a confiabilidade da abordagem de graus-dia para a determinação dos estádios fenológicos da cultura. Os maiores rendimentos em grãos do feijoeiro são obtidos na densidade populacional de 320 mil plantas por hectare, ou seja, no tratamento T3, isso devido um efeito compensatório no rendimento de grãos, em virtude do aumento da população de plantas por área.

## AGROMETEOROLOGY EVALUATION OF THE BEAN PLANT

### 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, on the growth variables, yield components and components of water stress, in a bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. The statistical design used was the randomized blocks, with three treatments and four replications. The effects of the different treatments were evaluated by the variations of the distribution of the total dry mass drought, leaf area, leaf area index and the components of incomes. The growth variables presented values differentiated in response to the employed treatments. The environmental conditions were favorable for the development growth of cultivating Pearl, completing the cycle in 85 days. The treatment T1 presented the largest tax of production of total dry mass along the cycle and also larger leaf area index, evidencing larger capacity in capturing light. The shadowing didn't allow that the larger densities (treatment T3) they accumulated larger amount of dry mass, for the influence of the temperature and global solar irradiation. The durations of the development phases were not affected for the treatments, what demonstrates the reliability of the degree-day approach for the determination of the phonological stages of the crop. The largest incomes in grains of the bean plant are obtained in the population density of 320 thousand plants by hectare, in other words, in the treatment T3, that due a compensatory effect in the income of grains, because of the increase of the population of plants for area and of the increase of the mass of the seeds.

## 1.0 INTRODUÇÃO

O complexo sistema água-solo-planta-atmosfera é um segmento contínuo de grande importância nas análises do desenvolvimento de uma cultura, em termos das variações de umidade do solo. 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.

Os vegetais, durante seu ciclo de desenvolvimento, consomem um grande volume de água, sendo que cerca de 98% desse volume apenas passa pela planta, perdendo-se posteriormente para a atmosfera pelo o 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.

O feijão foi o produto escolhido devido à sua importância econômica e social no Brasil, que é grande produtor mundial desta leguminosa. O feijoeiro é classificado como planta sensível, tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo. O requerimento de água pela cultura varia 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.

O feijão tem uma ampla adaptação edafoclimática o que permite seu cultivo, durante todo o ano, em quase todos os estados da federação, possibilitando constante oferta do produto no mercado. Outra característica desta leguminosa é possibilitar a sua produção em diversos ecossistemas tropicais e temperados, em monocultivo e/ou consorciado nos mais variados arranjos de plantas inter e intraespecíficos, o que favorece a diversificação na produção, mas limita uma maior

integração na sua cadeia produtiva. Considerando a diversidade fisiográfica do país e a adaptação do feijocíro a diversas condições de clima e solo, é possível explorar a cultura em três épocas diferentes, no mesmo ano.

Na atividade de produção de grãos e de sementes de feijão, uma das etapas mais críticas é a colheita, pois a maturação das vagens é desuniforme e, no ponto de maturação fisiológica, as sementes apresentam elevado teor de água, ou seja, acima de 25%, tornando a colheita impraticável. Desta forma, o retardamento da colheita torna as sementes sujeitas à deterioração e ao ataque de microrganismos, devido a interferência de fatores climáticos como temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluvial.

Dentro desta nova realidade da cultura do feijão no Brasil, a demanda por sementes de alta qualidade vem crescendo de maneira acentuada, levando os produtores de semente a buscarem alternativas para atender à crescente demanda.

De tal forma que, o presente estudo teve por objetivo, avaliar os efeitos edafoclimáticos na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em regimes de sequeiro em três densidades populacionais.

## 2.0 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Importância da Cultura

O feijão é um dos alimentos básicos do povo brasileiro e de grande parte da América Latina. Tal produto apresenta não somente importante fonte de proteína, como também elevado valor energético (345 calorias por 100g), quando comparado a outros alimentos. Seu teor de proteína varia de 15 a 33%, sendo que a maioria das variedades cultivadas nacionais apresentam teores desses compostos entre 20 a 25% (Vieira, 1983 e Fancelli, 1987a, 1990a, b, 1992, 1994).

Apesar de o feijão ser um alimento mundial, comercializado *in natura* e de culinária regional, o mesmo possui características que dificultam o aumento do consumo em outros países. Porém, o Brasil é um grande produtor e consumidor de vários tipos de feijão, o qual varia conforme a região (Menezes, 2001).

Na safra de 2000/2001, foram produzidas 2.575.100 t de feijão em 3.742.500 ha colhidos. Nesse mesmo período, foram importadas 90.000 t e consumidas 2.900.000 t (16,81 Kg.habitante<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup>) (FNP, 2002).

A maioria dos materiais genéticos de feijão disponíveis para cultivo no Brasil apresenta ciclo intermediário (aproximadamente 90 dias). No entanto, a utilização de cultivares precoce é favorável para o planejamento da melhor época de semeadura, visando permitir a colheita antecipada, minimizando os riscos de perdas de safras por adversidades decorrentes de estresse hídrico ou térmico, comuns na região da Depressão central do Rio Grande do Sul (Sluszz *et al.*, 2003).

Considerando a importância do feijão para a economia brasileira, torna-se necessário o investimento em tecnologia, visando à redução de custos de produção

para aumentar o lucro dos produtores e para a obtenção de produto final de melhor qualidade que não prejudique a saúde humana e o ambiente (Santos *et al.*, 2002).

## 2.2 Efeitos Fenológicos

A necessidade da utilização de uma escala fenológica, é fundamental em pesquisas agrícolas com fertilizantes, onde os estádios de desenvolvimento das culturas devem ser determinados no momento das aplicações e das avaliações (Bleiholder *et al.*, 1991). Por outro lado, há produtores e técnicos ainda utilizam recomendações de manejo baseadas em simples escala de tempo, representada pelo número de dias transcorridos após a semeadura ou emergência (Dourado Neto & Fancelli, 2000a). Para esse fim, o recomendável é utilizar chaves fenológicas descritivas (Bleiholder *et al.*, 1991 e Dourado Neto & Fancelli, 2000a) baseados nas mudanças morfológicas da planta e nos eventos fisiológicos que se sucedem durante o ciclo de vida da cultura, no intuito de aumentar a eficiência do uso de insumos, defensivos e água, e de favorecer o estabelecimento de estratégias de manejo e de tomada de decisão, objetivando a obtenção de rendimentos satisfatórios e lucrativos (Dourado Neto & Fancelli, 2000a).

O desenvolvimento do feijoeiro compreende, basicamente, duas fases distintas e sucessivas, denominadas de fases vegetativa e reprodutiva, diferenciadas entre si pela manifestação de diferentes eventos bioquímicos, morfológicos e fisiológicos. A fase vegetativa tem seu início caracterizado pelo completo desdobramento das folhas primárias prosseguindo até o aparecimento dos primeiros botões florais (Dourado Neto & Fancelli, 2000a e Fancelli, 1990a, b, 1992, 1994). O período vegetativo é favorecido pela ocorrência de temperaturas moderadas (superior a 21,0°C e inferior a 29,5°C), adequada disponibilidade hídrica e abundante luminosidade. A fase reprodutiva transcorre desde a emissão dos primeiros botões florais até o ponto de maturidade fisiológica. A mencionada fase evidencia sensibilidade à deficiência e excesso de água no solo.

O ciclo da cultura pode ser dividido em três fases: germinação ao início da floração (1ª Fase), podendo incluir também o tempo desde a semeadura até a emergência da cultura; floração (2ª Fase), cujo início coincide com o aparecimento dos primeiros botões florais até o surgimento das primeiras vagens cheias; a terceira fase (3ª

Fase), que inicia com o aparecimento das primeiras vagens cheias em 50% das plantas e finaliza com a modificação da cor das vagens (Saad & Libardi, 1997).

O desenvolvimento do feijoeiro é, inicialmente, muito lento, e só a partir do vigésimo dia a taxa de crescimento torna-se mais intensa, atingindo os fenômenos de translocação, em substituição ao de crescimento (Oliveira & Thung, 1988).

Na cultura de feijão, as fases de desenvolvimento não apresentam nítida separação, principalmente, quando se tratar de plantas de hábito de crescimento indeterminado, constatando-se sobreposições representadas pelas possibilidades de emissões simultâneas de folhas, flores e vagens (Fancelli, 1994; Saad & Libardi, 1997). Assim, para maior segurança na definição das ações de manejo na cultura de feijão, faz-se uso da escala fenológica proposta por Gepts & Fernández (1982), a mais utilizada para essa cultura, cujo ciclo biológico do feijoeiro é constituído de 10 estádios de desenvolvimento (Dourado Neto & Fancelli, 2000a). Para a avaliação e a determinação dos referidos estádios, utiliza-se área mínima de 1 m<sup>2</sup>, devendo 50% das plantas presentes evidenciar a diferenciação estipulada (Fancelli, 1990a, b, 1992, 1994).

A duração do período entre os estádios de desenvolvimento da cultura de feijão pode ser afetada por alguns fatores, dentre os quais merece especial destaque o genótipo, o clima e as condições de fertilidade do solo (Dourado Neto & Fancelli, 2000a).

### 2.3 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 hídricos repercutem primeiro nos processos mais sensíveis, e depois nos menos sensíveis.

Segundo Dalmago *et al.* (2003), a disponibilidade de água para as plantas está relacionada com os atributos físicos do solo e com a capacidade de exploração pelo sistema radicular. Espécies com sistema radicular desenvolvido exploram maior volume de solo e conseguem extrair água de camadas mais profundas, à medida que crescem ou que se acentua um déficit hídrico. Os atributos físicos determinam a capacidade de armazenamento de água no solo e as propriedades hídricas do mesmo, que podem sofrer alterações com o tempo ou com mudanças das práticas agrícolas.

Sakai *et al.* (1987), estudando o efeito do déficit hídrico sobre o comportamento estomático e a temperatura das folhas do feijoeiro, observaram que plantas sob déficit hídrico apresentaram maiores valores de resistência estomática e temperatura foliar (medida com termômetro infravermelho). Observaram também que, após a irrigação ter sido efetuada para eliminar o estresse, não houve diferença entre os tratamentos, concluindo que o efeito deste foi reversível, até o nível a que foi submetida à cultura.

Além do efeito direto da resistência estomática à difusão de vapor de água em plantas de feijoeiro submetidas a déficits hídricos, tem-se observado que a fotossíntese também é afetada pelo aumento da temperatura da folha, decorrente do fechamento estomático ocasionado pelo déficit (Bergamaschi *et al.*, 1988a), tornando escassa a disponibilidade de fitossintatos para o enchimento das vagens, o que pode acarretar a queda das mesmas (O'toole *et al.*, 1977).

As perdas de água pelas culturas, mesmo em condições de ótima disponibilidade hídrica, variam muito entre espécies, épocas e locais. Nestas condições, os fatores que mais influenciam essas perdas são, basicamente, a quantidade de energia interceptada, a arquitetura da cultura, as condições atmosféricas (temperatura, umidade e velocidade do vento) a extensão e as características da superfície transpirante (Bergamaschi *et al.*, 1988b). Mesmo dentro da mesma espécie, há diferença de genótipos mais ou menos tolerantes à seca.

Devido ao curto período de seu ciclo, pequenos períodos de seca podem afetar severamente o crescimento do feijoeiro. De acordo com esse ciclo, que é de 60 a 120 dias, a cultura requer de 300 a 500 mm de água, dependendo do clima. Quando estas necessidades não são satisfeitas, o rendimento se reduz a um valor dependente da etapa fenológica em que o déficit de água acontece (Calvache *et al.*, 1998).

O feijoeiro tem demonstrado ser altamente sensível ao déficit hídrico durante a floração e o início da formação de vagens (Amorim Neto *et al.*, 1996), embora responda também durante o enchimento de grãos e, em menor escala, no crescimento vegetativo (Bergamaschi *et al.*, 1988a).

## 2.4 Análise de Crescimento e Desenvolvimento

### 2.4.1 Variáveis de Crescimento

A análise de crescimento é uma técnica utilizada para quantificar os vários parâmetros que expressam o crescimento da planta. Essa técnica foi mais bem entendida a partir dos trabalhos desenvolvidos por Watson (1952), Radford (1967), Kvet *et al.* (1971), dentre outros autores.

De acordo com Magalhães (1979), a análise de crescimento consiste em descrever as condições morfo-fisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, com o intuito de quantificar o desenvolvimento de um vegetal. Para Benincasa (1988), a análise de crescimento permite avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento total, podendo, assim, estimar-se de forma bastante precisa, as causas de variações de crescimento entre plantas geneticamente diferentes ou entre plantas crescendo em ambientes diferentes.

Na análise de crescimento, dois tipos de técnicas são igualmente utilizados pelos pesquisadores: a clássica e a funcional. O método clássico apóia-se na estimativa dos valores médios das variações dos dados de crescimento (fitomassa e área foliar) em intervalos de tempo fixados por duas amostras sucessivas ao longo do ciclo biológico da cultura e requer informações que podem ser obtidas sem necessidade de equipamentos sofisticados. O método funcional ou dinâmico consiste em adaptar uma função matemática do tipo logístico ou de outra natureza (polinomial, exponencial, etc.) aos dados de crescimento, e delas derivarem os diversos índices de crescimento (Silva *et al.*, 2000).

Para Benincasa (1988), as medidas de crescimento vegetal podem ser efetuadas de diferentes formas: lineares, que incluem medições de alturas de plantas, comprimento do caule, comprimento e largura da folha, diâmetro do caule, comprimento e diâmetro da inflorescência e infrutescência, etc; medições superficiais, que relacionam principalmente, a determinação ou a estimativa da superfície fotossinteticamente ativa, peso e número de medidas estruturais, como: unidades morfológicas de folhas, frutos, etc, unidades anatômicas, tipos, números e densidades de células do tecido condutor, números e distribuição dos estômatos, etc.

Para Machado *et al.* (1982), as informações obtidas com o peso seco da planta (folhas, caule, raízes, etc.) e o tamanho do aparelho fotossintetizante (área foliar), permitem estimar os vários índices fisiológicos, tais como: taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), taxa de crescimento-também chamada de taxa de crescimento absoluto (TCA), índice de área foliar (IAF), entre outros.

O índice de área foliar (IAF) estima a ocupação de uma área (terreno ou água) pela parte aérea de uma comunidade de plantas. É, portanto, um índice adimensional (Benincasa, 1988). À medida que a área foliar cresce o índice de área foliar também cresce, até atingir um valor a partir do qual o auto-sombreamento passa a prejudicar a planta, aumentando o número de folhas sob iluminação insuficiente, o que diminui sua eficiência fotossintética (baixa taxa de crescimento relativo).

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, mas apresentou 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).

#### 2.4.2 Variáveis de Rendimento

Nos países menos desenvolvidos, o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) é cultivado sobretudo por pequenos e médios produtores, sem o uso de irrigação, e, por isso, em mais de 60% do seu cultivo observa-se deficiência hídrica em algum estágio da cultura (Singh, 1995). O requerimento hídrico do feijoeiro é variável, sendo influenciado por fatores como época e local de semeadura, variedade, condições edafoclimáticas e estágio de desenvolvimento (Moreira *et al.*, 1996). A quantidade de água requerida pela cultura, para obtenção de máxima produtividade, varia entre 300 e

500 mm (Doorenbos & Kassam, 1979), mas têm sido relatados consumos inferiores (Loureiro *et al.*, 1990).

O feijoeiro é considerado uma planta sensível ao estresse hídrico, principalmente em virtude da baixa capacidade de recuperação após a deficiência hídrica e sistema radicular pouco desenvolvido (Guimarães, 1996). A fase da planta mais sensível à deficiência de água é a reprodutiva, sendo altamente vulnerável desde o início da floração até o início da formação das vagens (Fageria *et al.*, 1991). A produtividade é mais afetada quando o estresse hídrico ocorre aos 5 a 10 dias antes da antese, podendo haver uma diminuição superior a 50% no rendimento (Norman *et al.*, 1995). Esse efeito é causado principalmente pela baixa taxa de polinização e pelo aborto de óvulos, que causam abscisão dos órgãos reprodutivos, resultante do decréscimo na translocação de fotoassimilados das folhas para as flores (Kramer & Boyer, 1995).

A obtenção de cultivares de feijoeiro com alta produtividade e menor demanda por insumos vem sendo o objetivo de vários estudos. A pesquisa sobre adaptação do feijoeiro à seca envolve estudos sobre os efeitos da falta de água e os mecanismos de adaptação, determinação dos caracteres fisiológicos indicadores de tolerância, desenvolvimento de técnicas de seleção de germoplasma e identificação de fontes de tolerância (Singh, 1995).

Doorenbos & Kassam (1979), analisando vários experimentos realizados no mundo com o feijoeiro, notaram que um déficit hídrico de 50% na etapa vegetativa provoca uma redução de rendimento de apenas 10%. O mesmo déficit na floração reduz a produção em 55%, e durante o enchimento das vagens, em 38%. No entanto, o déficit durante a maturação reduz o rendimento em apenas 10%.

Doorenbos & Pruitt (1976) observaram que os períodos de floração e aparecimento das vagens são mais críticos que o período de crescimento vegetativo, e que este, por sua vez, é mais crítico que o período de maturação das vagens. Os sintomas observados para essa leguminosa em resposta ao déficit hídrico vão desde abscisão de legumes, má-formação de grãos e diminuição na produção quando o déficit ocorre durante a floração e o desenvolvimento de grãos (Kemp *et al.*, 1974; Kretchmer *et al.*, 1980; Binnie & Clifford, 1981, citados por Bergamaschi *et al.*, 1988a), até a redução no ciclo do feijoeiro quando o déficit ocorre na floração (Lopes *et al.*, 1986). Nesse estágio, a redução da produtividade com o número de dias em que o feijoeiro fica

sujeito há redução do teor de água no solo, conforme demonstraram Magalhães & Millar (1978).

De acordo com estes autores, houve um decréscimo de 20% na produtividade quando a cultura esteve 14 dias sem irrigação no estágio de floração. Depois de 17 e 20 dias sem irrigação, as reduções na produtividade foram, respectivamente, de 30 e 50%. A redução do ciclo vegetativo sob déficit de água constitui um mecanismo de resistência da planta à seca por um desenvolvimento fonológico rápido (Jones *et al.*, 1981, citado por Lopes *et al.*, 1986).

Acosta-Gallegos & Shibata (1989), encontraram uma redução de todos os componentes da produção quando o feijão foi submetido ao estresse hídrico. A redução da produção foi maior (42 a 50%) quando o estresse foi aplicado na fase reprodutiva, comparada à vegetativa, tendo isso sido atribuído a um decréscimo da área foliar e do número de vagens por planta.

Pena-Cabriales & Castellanos (1993) observaram que a produção não foi afetada quando o feijoeiro foi submetido a estresse hídrico no período vegetativo; porém, foi reduzida em 50% quando o estresse ocorreu no período reprodutivo.

A redução na produção do feijoeiro é devida à baixa porcentagem de vingamento de flores, quando o estresse ocorre na fase de sua abertura, e ao abortamento de óvulos, produzindo vagens chochas se ocorrer na fase de formação destas (Pârjol, 1976, citado por Stone & Moreira, 1986).

O estresse hídrico durante o período vegetativo também pode ser responsável por diminuição da produtividade, como observado na cultura de feijão por Stone & Moreira (2001).

Segundo Magalhães (1996), durante a fase vegetativa, o déficit hídrico tem efeito indireto na produção de grãos, pela redução da área assimilatória. Se a estiagem ocorre durante a floração, provoca abortamento e queda das flores, com redução do número de vagens por planta. Se ocorrer no enchimento de grãos, prejudica a formação ou reduz o peso dos mesmos.

## 2.5 Influência dos Elementos Agrometeorológicos no Crescimento e Desenvolvimento do Feijoeiro

Os elementos de clima, como radiação solar, vento, precipitação pluvial e temperatura, têm influência decisiva sobre o desenvolvimento e o crescimento das plantas. Exceção feita à precipitação pluvial, cuja falta pode ser suprida através de irrigação suplementar, não existem métodos econômicos para controlar esses elementos. Assim é necessário ajustar as culturas aos locais e épocas de seu desenvolvimento e à sua produção econômica (Linacre, 1964).

### 2.5.1 Temperatura

A temperatura do ar exerce influência em vários aspectos da produtividade vegetal, estando relacionada com o crescimento e desenvolvimento das plantas, devido ao seu efeito na velocidade das reações bioquímicas e dos processos internos de transporte. Esses processos ocorrem de forma adequada somente entre certos limites térmicos. A tolerância aos níveis de temperatura é variável entre as espécies e variedades.

A variação diária da temperatura influi na fotossíntese e na respiração dos vegetais. A taxa fotossintética freqüentemente apresenta desempenho segundo diferentes faixas de temperatura do ar, podendo ter uma redução significativa para temperaturas acima de 35°C. A respiração vegetal tem sua taxa dobrada com um aumento de 10°C na temperatura do ar. Acima de 45°C ocorre um declínio acentuado na respiração devido ao dano no mecanismo da planta. Portanto o ganho líquido na produção de matéria seca (fotossíntese – respiração) varia com a temperatura, pois esta influencia na divisão e alongamento celular e formação de flores.

A temperatura do ar tem efeitos diretos no crescimento e desenvolvimento dos vegetais, pois estes dependem de faixas adequadas de temperatura para um máximo desenvolvimento. Estudos demonstram a sensibilidade da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) a elementos meteorológicos extremos. As temperaturas extremas influenciam principalmente na queda de flores e no vingamento de vagens, com conseqüente redução no rendimento de grãos. Mack & Singh (1969), verificaram

perdas de 22% do rendimento de grãos de feijão quando a temperatura média máxima no florescimento foi de 29°C.

A temperatura na qual, a maioria dos processos fisiológicos ocorre, varia de aproximadamente 0 a 40°C (Wang, 1960). Os efeitos da temperatura sobre a vida individual e sobre os processos de desenvolvimento de um vegetal devem ser muito bem estudados e analisados para que o efeito da temperatura sobre os vegetais possam ser interpretados. Os métodos que se baseiam somente na temperatura do ar para análise de desenvolvimento vegetal, pressupõem uma linearidade entre temperatura e desenvolvimento; porém, isto não é totalmente correto, pois se sabe que limites existem, além dos quais o desenvolvimento da planta é prejudicado devido a temperaturas muito elevadas ou muito baixas (CIIAGRO, 2002).

O rendimento ou produtividade obtido por uma cultura é determinado, principalmente, pela oferta sazonal de energia solar cuja utilização é condicionada por outros elementos, como umidade do solo e temperatura (Health *et al.*, 1985).

Devido ao grande número de fatores e a complexibilidade das interações envolvidas em qualquer estudo planta-clima, a maioria dos estudos fenológicos tem sido conduzido pela comparação do desenvolvimento do vegetal com um simples elemento ambiental, e na maioria das vezes usando-se a temperatura média do ar (Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIIAGRO, 2002).

O curso anual da temperatura do ar recebe os efeitos modificados de certos fatores, dentre os quais os mais importantes são a altitude, continentalidade e as características da superfície. A temperatura apresenta uma variação inversa com o aumento da altitude. A variação diária da temperatura do ar está diretamente relacionada com a incidência de energia solar e o conseqüente aquecimento do solo. Geralmente as temperaturas máximas ocorrem entre 14 e 15 h, e as mínimas, próximo ao nascer do sol (Souza *et al.*, 2003).

### 2.5.2 Graus – dia

O conceito de graus-dia baseia-se em observação de que o crescimento e o desenvolvimento das plantas em diversos ecossistemas estão mais relacionados com o acúmulo de temperatura acima de um certo valor base do que com o tempo. A duração das fases fenológicas de uma cultura, avaliada pelo o número de dias, varia bastante

entre regiões, anos e datas de semeadura, em razão das freqüentes mudanças das condições climáticas. A utilização apropriada de variáveis meteorológicas, que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, permite determinar, com maior precisão, a duração das fases fenológicas das plantas cultivadas.

A determinação de graus-dia, associada com observações fenológicas, poderá ser útil no estabelecimento de fases e duração dos estádios críticos de desenvolvimento para a maioria das culturas anuais. Na introdução de uma cultura em certa região, a data de semeadura poderá ser prevista com base na constante térmica.

Vários métodos têm sido propostos para determinar o total de graus-dia exigidos durante as fases fenológicas de culturas. Embora esses métodos tenham sido superiores aos dias de calendário na indicação de datas dos estádios fenológicos, têm-se observado diferenças significativas entre esses métodos (Aspiazú, 1971; Fune e Fua, 1964). A seleção do melhor método de cálculo de graus-dia deve ser fundamentada numa avaliação de precisão desses métodos.

O conhecimento das exigências térmicas, desde a emergência ao ponto de maturidade fisiológica, é fundamental para a previsão da duração do ciclo da cultura em função do ambiente. Essas informações, associadas ao conhecimento da fenologia da cultura, podem ser utilizadas no planejamento para definição da época de semeadura, da utilização de insumos (fertilizantes, inseticidas, fungicidas e herbicidas, principalmente), da época de colheita (colheita de grãos ou momento de corte de milho para silagem). A determinação da melhor época de semeadura em função das necessidades térmicas da cultura tem sido objeto de estudo por Lima *et al.* (1980), Pacheco (1982), Noldin & Mundstock (1988), Souza (1989), Oliveira & Silva (1990) e Brunini (1997), colocando em evidência a necessidade de se trabalhar, em termos de manejo, com a relação funcional entre fenologia e graus-dia.

Em função dos eventos que ocorrem ao longo do ciclo da cultura, é possível estabelecer estádios de desenvolvimento caracterizados por alterações morfológicas provocadas principalmente pelo ambiente. A duração das fases fenológicas de uma cultura, avaliada pelo número de dias, varia entre regiões, anos e datas de semeadura, em razão das variações climáticas, como umidade relativa, temperatura do ar e do solo, chuva, radiação solar e fotoperíodo (Costa, 1994). No desenvolvimento do milho, a duração do ciclo em dias tem demonstrado inconsistência. Isso se deve ao fato de que a duração de subperíodos e ciclos da planta estão associados

às variações das condições ambientais e não ao número de dias. A temperatura tem-se apresentado como o elemento climático mais importante para predizer os eventos fenológicos da cultura, desde que não haja deficiência hídrica.

O ciclo de uma cultivar de milho pode ser caracterizado em função do número de dias desde a semeadura até a maturidade fisiológica ou a colheita. Porém o método mais satisfatório para determinar as etapas de desenvolvimento da cultura leva em consideração as exigências calóricas ou térmicas, designadas como unidades calóricas ( $^{\circ}\text{C}$ ), unidades térmicas de desenvolvimento (U.T.D.) ou graus-dia (GD) (Fancelli & Dourado-Neto, 1997).

Estima-se a soma das unidades diárias de calor, a partir da emergência para o material genético atingir um determinado estágio, pela diferença entre a temperatura média diária e as temperaturas base mínima ou máxima exigidas pela espécie vegetal.

O método dos graus-dia baseia-se na premissa de que uma planta necessita de uma certa quantidade de energia, representada pela soma de graus térmicos necessários, para completar determinada fase fenológica ou mesmo o seu ciclo total. Admite, além disso, uma relação linear entre acréscimo de temperatura e desenvolvimento vegetal. Cada espécie vegetal ou variedade possui uma temperatura base, que pode variar em função da idade ou da fase fenológica da planta. É comum adotar uma única temperatura base para todo o ciclo da planta por ser mais fácil a sua aplicação (Prett, 1992).

### **2.5.3 Umidade Relativa do Ar**

A umidade relativa do ar é um fator determinante do nível e da qualidade de vida em um ambiente. Destacando-se sua importância na determinação da qualidade dos produtos e no conforto animal. Além disso, baixas umidades relativas do ar são responsáveis pelo risco de ocorrência de incêndios em pastagens, matas nativas e plantios florestais, tendo assim grande importância ecológica e econômica.

Neste sentido, o acompanhamento das variações da umidade relativa do ar possibilita antever riscos fitossanitários e de incêndios, melhorando assim o manejo da atividade diminuindo custos de produção e proteção ambiental, contribuindo para a sustentabilidade da atividade agrícola.

A importância da umidade relativa do ar e do vento no desenvolvimento e produção dos cultivos está relacionada pela influência na demanda evaporativa da atmosfera, na transpiração das plantas e, portanto nas necessidades hídricas.

As variabilidades temporais da temperatura do ar e da umidade relativa do ar estão interrelacionadas e são funções da variação temporal da disponibilidade de energia, bem como de fatores macro e micro climáticos, e topográficos (Souza *et al.*, 2003).

De acordo com Reisser Júnior *et al.* (2003), o estado energético da água na atmosfera que circunda a planta e a quantidade de energia solar incidente, determina a velocidade de transferência da água até a atmosfera, caso não haja interferência da planta neste processo. Esta interferência, que pode ser entendida como indicador de déficit hídrico, é um importante parâmetro em estudos fisiológicos (Mc Dermitt, 1990).

A umidade relativa do ar e a temperatura do ar são determinantes do valor do potencial de água na atmosfera. Ambientes com valores muito baixos do potencial de água na sua atmosfera podem reduzir o potencial produtivo dos ambientes, devido à restrição à absorção de dióxido de carbono causada por fechamento estomático. Potenciais próximos a zero podem determinar evaporação muito baixa, causando deficiência de nutrientes e redução do crescimento e produtividade. A umidade relativa do ar tende a ser mais elevada dentro das estufas do que fora delas, embora apresente valores inferiores no período diurno (Buriol *et al.*, 2000).

#### **2.5.4 Velocidade do Vento**

O vento tem importância muito grande na atividade humana. Na agricultura, por exemplo, está diretamente associado ao desenvolvimento das plantas, ao facilitar as trocas de calor, de dióxido de carbono e de vapor d'água entre a atmosfera e a vegetação, além de ajudar no processo de polinização das flores e também poder ser utilizado como fonte de energia (energia eólica). Entretanto, quando se registram ventos de velocidades elevadas, normalmente de curta duração, os efeitos passam, geralmente, a ser danosos, provocando o estímulo excessivo à evapotranspiração, o acamamento das plantas, a queda de flores e frutos, a queda de galhos e arrancamento de plantas, causando a erosão dos solos e a deformação da paisagem.

A importância da umidade relativa do ar e do vento no desenvolvimento e produção dos cultivos está relacionada pela influência na demanda evaporativa da atmosfera, na transpiração das plantas e, portanto nas necessidades hídricas. No caso da velocidade do vento, sabe-se que ventos fracos e moderados favorecem o desenvolvimento da maioria das culturas, por aumentarem a transpiração e, conseqüentemente a absorção de água e nutrientes pelas raízes.

O primeiro e principal efeito do quebra-vento é a mudança do padrão da velocidade média do vento e da turbulência, mas modificações também ocorrem no microclima da área protegida, como resultado das alterações no fluxo de ar provocado pelo quebra-vento. A proteção pode modificar os balanços de radiação e de energia, tanto a sotavento como à barlavento. As temperaturas do ar e do solo, a umidade relativa do ar e do solo e as concentrações de CO<sub>2</sub> e vários gases podem ser alterados pela proteção do quebra-vento (Volpe, 1997).

Embora seja difícil estabelecer um efeito geral do quebra-vento na umidade do ar e na evapotranspiração da área protegida, há na literatura alguns trabalhos que tratam sobre o assunto, porém os resultados dos estudos realizados até hoje são específicos para uma determinada área. O quebra-vento reduz a taxa de remoção de vapor d'água da área protegida, conseqüentemente, a umidade do ar aumenta e a taxa de evaporação decresce (Jones, 1983). Davis e Norman (1988), sugerem que as barreiras reduzem o efeito da advecção na evaporação. Além disso, o aumento na umidade reduz a possibilidade de ocorrência de geada no pomar.

A redução do movimento do ar aumenta a temperatura em pomares, melhorando a polinização e o subseqüente pigmento de fruto. O aumento da temperatura pode, também, aumentar a atividade das abelhas e a polinização, acelerar o crescimento do tubo polínico e melhorar a fertilização. Dependendo da região, aumento de 1°C na temperatura do ar durante o período do florescimento pode resultar em maior período disponível dentro do dia para que ocorra a fertilização com sucesso em muitas espécies (Williams, 1970).

Avaliando os efeitos de quebra-vento de árvores sobre o microclima, Sudmeyer e Scott (2002), observaram que as mudanças em temperatura e em umidade relativa do ar a sotavento do quebra-vento foram pequenas e muito limitadas em extensão quando comparados com as mudanças em velocidade do vento. Comparativamente à distância de 38h, nos horários entre 8:00h e 16:00h, a temperatura

do ar foi 7% menor a 1h a sotavento, enquanto que a umidade relativa do ar foi menor até 25h a sotavento do quebra-vento, sendo que a maior diferença entre a área aberta e a área protegida foi de apenas 4%.

### 2.5.5 Irradiação Solar Global

O estabelecimento de um ambiente favorável, com boa luminosidade é essencial para o crescimento da cultura e, conseqüentemente para a formação da parte aérea. Sendo assim, o espaçamento entre plantas torna-se um dos principais fatores relacionados a produtividade, pois ele determina o número de plantas por área, influenciando diretamente na eficiência fotossintética. Essa taxa fotossintética pode ser avaliada através da eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em fitomassa da planta (Schmidt *et al.*, 2003).

A radiação solar que incide sobre uma determinada área não pode ser modificada pelo homem, no entanto, pode-se alcançar uma eficiente capacidade de interceptação solar e distribuição desta por todas as partes da planta com o manejo do sistema de condução. As formas de condução estão diretamente relacionadas ao sistema de poda. Espaçamentos maiores necessitam de copas grandes com formas arredondadas (Vaso), no entanto, na tendência atual de alta densidade, a copa tem que ser estreita (Líder central e Ypsilon), de forma a permitir boa insolação e produção de frutas com qualidade (Penteado, 1997).

Ao ser interceptada pela cobertura vegetal (dossel), a radiação solar pode ser absorvida, refletida e transmitida em proporções variáveis. A radiação refletida (albedo da superfície) não participa dos processos biológicos, portanto, as frações absorvidas e transmitidas são aquelas efetivamente disponíveis para tais processos biológicos em um dossel vegetativo (Pereira *et al.*, 2002).

A eficiência de interceptação e de absorção da radiação solar depende da quantidade de radiação incidente, da distribuição da área foliar no tempo (durante o ciclo) e no espaço, das propriedades ópticas do dossel (reflexão, transmissão e absorção) e da inclinação das folhas em relação à linha horizontal. Quanto menor for o ângulo entre a folha e a horizontal, maior será o auto-sombreamento e, portanto, menor será a penetração da radiação no dossel (Gallagher & Biscoe, 1978). A geometria da cultura

também afeta a interceptação, devido ao arranjo das linhas e a densidade de plantas (Warren Wilson *et al.*, 1992).

As características da radiação solar incidente também afetam a eficiência de interceptação e de absorção. Estas características são afetadas pela nebulosidade e pela posição do sol. O ambiente de luz em que a planta cresce é de fundamental importância, pois a adaptação das plantas a este ambiente depende do ajuste do seu aparelho fotossintético, de modo que a luminosidade ambiental seja utilizada de maneira mais eficiente possível. As respostas destas adaptações serão refletidas no crescimento global da planta (Engel & Poggiani, 1991).

O crescimento e a adaptação da planta a diferentes condições de ambiente relacionam-se a sua eficiência fotossintética que, por sua vez, está associada, entre outros fatores, aos teores de clorofila foliar. Diversos fatores externos e internos afetam a biossíntese de clorofilas, por isso, os seus conteúdos foliares podem variar de maneira significativa. Entre estes fatores, a luz é essencial a sua síntese (Whatley & Whatley, 1982). A clorofila está sendo constantemente sintetizada e destruída (fotooxidação) em presença de luz, porém sob intensidades luminosas mais elevadas ocorre maior degradação, e o equilíbrio é estabelecido a uma concentração mais baixa. Portanto, folhas de sombra possuem concentração maior de clorofila do que as folhas de sol (Kramer & Kozlowski, 1979).

O crescimento das plantas pode refletir a habilidade de adaptação das espécies às condições de radiação do ambiente em que estão se desenvolvendo. Geralmente as características de crescimento são utilizadas para inferir o grau de tolerância ou de intolerância das espécies à baixa disponibilidade de luz (Naves *et al.*, 1994). O sucesso na adaptação de uma espécie em ambientes com baixa ou alta radiação pode ser baseado em quanto é eficaz e na rapidez com que os padrões de alocação e comportamento fisiológico são ajustados em ordem, para maximizar a aquisição de recursos em um ambiente particular (Dias-Filho, 1997).

A insolação e a radiação solar incidente estão associadas a produtividade das culturas principalmente pela influencia desses elementos nos processos da fotossíntese, transpiração, floração e maturação e o efeito desses elementos na produtividade dos cultivos tem sido em geral avaliado, em associação com a temperatura e a disponibilidade de água.

### 2.5.6. Precipitação Pluviométrica

A irregularidade na distribuição seqüencial das precipitações pluviométricas tem sido um dos fatores limitantes ao desenvolvimento e estabilização da produção agrícola no Trópico Semi-Árido (TSA). Além da má distribuição seqüencial o período chuvoso é curto, as chuvas são de alta intensidade e as secas têm sido freqüentes, tornando a exploração agrícola uma atividade de alto risco. Isto é particularmente verdadeiro para a agricultura de subsistência.

Outro fator capaz de contribuir para o sucesso da cultura, sem gastos extras, é a época do plantio. A pouca precisão na previsibilidade da quantidade e distribuição das chuvas para o agricultor leva-o a uma condição de insegurança com respeito a “quando plantar”. Alguns produtores decidem plantar tão logo caiam as primeiras chuvas. Outros, em busca de maior segurança, fazem o plantio após o solo estar bastante molhado. Por outro lado, é sabido que no início do desenvolvimento da cultura, o requerimento de água é baixo e a planta pode suportar atenuados déficits hídricos, sem grande redução no seu rendimento (Magalhães *et al.*, 1979 e Doorenbos & Kassam, 1979).

Segundo Pandey *et al.* (1984), nas regiões semi-áridas, onde os baixos índices pluviométricos e sua distribuição irregular usualmente limitam o crescimento e desenvolvimento das culturas.

A disponibilidade hídrica do solo é fator essencial ao desenvolvimento das culturas (Doorenbos & Kassam, 1979), o seu conhecimento permite, através de um planejamento climático do plantio das culturas, um melhor aproveitamento desta em diferentes épocas do ano.

Segundo Di Pace *et al.* (1999), a avaliação da relação entre a estação de crescimento e as necessidades hídricas das culturas, com as condições climáticas de cada local, irá contribuir para uma melhor exploração do potencial agrícola de uma região.

Um dos fatores responsáveis pelo baixo rendimento agrícola é a distribuição irregular da precipitação, sendo comprovado por vários pesquisadores a grande dependência da produtividade das culturas com as condições meteorológicas durante a estação de crescimento. A escassez de água na cultura do milho durante as fases de desenvolvimento da espiga, reprodução e enchimento dos grãos causa maior

redução da produtividade. Os estádios de florescimento e formação de vagens da cultura de feijão tem sido apresentado como o de maior necessidade hídrica. A cultura da cana-de-açúcar apresenta o período vegetativo, particularmente durante o brotamento e o alongamento dos colmos apontando como os mais sensíveis à deficiência hídrica, seguido do período de formação da produção.

### 2.5.7 Evapotranspiração

Os métodos disponíveis para o cálculo da evapotranspiração envolvem variáveis meteorológicas que, algumas vezes tem influência direta na sua determinação e outras vezes, atuam indiretamente. Por esse motivo, vários métodos podem ser usados e testados de acordo com a disponibilidade dos dados existentes, nas estações meteorológicas, e verificar a compatibilidade dos resultados não só com o ambiente, mas também com a influência dessas variáveis na metodologia formulada.

A determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. Sua quantificação é realizada fazendo-se o balanço hídrico da camada do solo ocupada pelo sistema radicular da cultura, o qual tem, na “evapotranspiração” e na precipitação pluviométrica, seus principais componentes (Bernado, 1995). “Evapotranspiração” foi o termo utilizado por Thornthwaite no início da década de 40 do século passado, para expressar esta ocorrência simultânea dos processos de evaporação da água no solo e da transpiração das plantas. Ela é controlada pelo balanço de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas. Pereira *et al.* (1997), define a evapotranspiração como um elemento climatológico fundamental, que corresponde ao processo oposto da chuva, também expressa em milímetros.

O termo evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi definido por Doorenbos & Pruitt (1977), como aquela que ocorre em uma extensa superfície coberta com grama de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água. Em 1991, pesquisadores de vários países, especialistas em agrometeorologia, concluíram que o conceito de ET<sub>o</sub> empregado apresentava problemas, sobretudo relacionados à variabilidade das culturas de referência atualmente em uso, levando a erros de sub ou superestimações e à existência de dificuldades

experimentais para contrastá-los. Essas condições dificultavam a determinação padronizada da ETo em grande escala.

Segundo Bernado *et al.* (1996), relatam que a ETo pode ser determinada por métodos diretos e indiretos, sendo os métodos diretos os que utilizam lisímetros, parcelas experimentais no campo, controle de umidade do solo e método de entrada e saída de água em grandes áreas. Dos métodos diretos, o procedimento mais preciso para se determinar a ETo é a utilização de lisímetros. Por apresentarem custos elevados, seu uso tem ficado restrito a instituições de pesquisas, tendo sua utilização justificada na calibração regional de métodos indiretos.

Diversos pesquisadores em todo o mundo propuseram modelos indiretos para a estimativa da ETo, com as mais diferentes concepções e número de variáveis envolvidas. Antes de se eleger o modelo a ser utilizado para a estimativa da ETo, é necessário saber quais os elementos climáticos disponíveis; a partir daí, verifica-se quais podem ser aplicados, uma vez que a utilização dos diferentes métodos para certo local de interesse fica na dependência dessas variáveis.

O manejo da irrigação requer o conhecimento da transferência de água, na forma de vapor, da superfície vegetada para a atmosfera, essa transferência pode ser determinada através da evapotranspiração de referência. Segundo Tanner (1967), a escolha pelo método de estimativa da evapotranspiração varia, conforme sua aplicação, atendendo as necessidades de precisão e duração dos períodos de cálculo.

Muitos trabalhos, como os de Camargo & Sentelhas (1997), Machado & Matos (2000), entre outros, avaliaram o desempenho de diferentes métodos de estimativa de ETo em diferentes regiões, variando segundo a condição climática do local e a forma de obtenção dos dados, o que segundo Pereira *et al.* (1996), dificulta a recomendação de apenas um determinado método.

## **2.6 Efeitos da Umidade do Solo no Feijoeiro**

A atmosfera é o agente ativo no processo de uso da água pelas plantas, enquanto que o solo exerce as funções de armazenar e disponibilizar a água para utilização pelas plantas. Portanto, é preciso conhecer-se as funções físico-hídricas do perfil do solo em uso.

A água é extremamente importante na produção vegetal e o seu manejo racional é muito importante no desenvolvimento das plantas. Desta forma, o monitoramento da distribuição de água no solo torna-se cada vez mais necessário, uma vez que está intimamente ligado às propriedades do sistema solo-planta-atmosfera, onde o domínio desse conhecimento é, certamente, um dos fatores indispensáveis para uma agricultura sustentável e sem prejuízo ao meio ambiente.

O solo é um material poroso, constituído de fases sólida, líquida e gasosa. O espaço total dos poros varia de 35% para solo pobremente agregado a 65% para solo bem agregado. A textura e estrutura também afetam a distribuição dos espaços porosos no solo, que por sua vez afetam a infiltração, umidade do solo, etc. As variações de umidade do solo são um reflexo das taxas de evapotranspiração, precipitação, irrigação e movimento de água no perfil de solo.

Existem várias maneiras de se medir a umidade do solo, seguindo métodos diretos ou indiretos, cada apresentando determinada precisão, tempo de resposta e custo. No entanto, uma medida isolada da umidade do solo, com um equipamento, implica em dúvidas sobre a exatidão da medida.

Muitos trabalhos têm evidenciado que, em plantio direto, o conteúdo de água no solo é maior que em áreas cultivadas com preparo convencional (Lal, 1974; Vieira, 1981; Sidiras *et al.*, 1983; Salton & Mielniezuk, 1995). E, concordando também com Sidiras *et al.* (1983), os mesmos, verificaram que, em plantio direto, o solo reteve de 36% a 45% mais água disponível para as culturas, reduzindo as perdas de água por evaporação e aumentando o armazenamento de água no solo.

As características físico-hídricas do solo, alteradas pelo o preparo, influenciam o crescimento das raízes. Segundo Richther *et al.* (1990), observaram maior produção de raízes em culturas em plantio direto que no preparo convencional.

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.

Há fortes indicações de que os efeitos do déficit hídrico na respiração são variáveis. Brix (1962) verificou aumento temporário na respiração, acompanhado por um pequeno decréscimo, à medida que houve um desenvolvimento de estresse hídrico mais severo no solo. 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.

A perda acentuada de água reduz a multiplicação e o alongamento das células, resultando em plantas menores e, em consequência, na redução da área foliar. A limitação na área foliar pode ser considerada 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 ao 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, mas 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).

Neste sentido, Magalhães *et al.* (1979) verificaram, em trabalho experimental aplicando déficits hídricos nos diferentes períodos de desenvolvimento do feijoeiro, que o início da floração, plena floração e início da frutificação são os períodos críticos ao déficit hídrico desta cultura. O excesso de água no solo também prejudica a produção de grãos, que, conforme Menezes & Pinto (1967), ocorrendo no período de floração-frutificação as perdas do rendimento de feijão são maiores.

### **3.0 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização da Área Experimental**

##### **3.1.1 Local**

O experimento de campo foi conduzido no período de 05 de maio a 28 de julho de 2004, área esta pertencente à Estação Experimental de Lagoa Seca, da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba, EMEPA-PB (Figura 1), na cidade de Lagoa Seca – PB, localizada na microrregião homogênea de Campina Grande. (7° 09' S; 35° 52' W e altitude média de 634 m).



Figura 1. Vista geral do experimento de campo, com a cultivar de feijão Pérola (*Phaseolus vulgaris* L.), Lagoa Seca, PB. 2004.

### 3.1.2 Clima

O clima é do tipo tropical chuvoso, cuja estação seca ocorre no verão. A precipitação média anual é da ordem de 940 mm, com maior concentração de chuva no período entre março e agosto. A umidade relativa do ar média anual é de aproximadamente 60% e a temperatura média anual é de 22,6°C.

### 3.1.3 Solo

O solo da área experimental é do tipo Neossolo Regolítico, também denominado Regossolo, caracterizado química e fisicamente na EMBRAPA/ Algodão e no Laboratório de Irrigação e Salinidade do departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997).

A caracterização física, apresentada na Tabela 1, constou das determinações de granulometria, densidades (aparente e real), porosidade total e conteúdo da água no solo na capacidade de campo e no ponto de murcha; e, a caracterização química, apresentada na Tabela 2, constou das determinações de pH (em água), teor de matéria orgânica, nutrientes disponíveis ( Fósforo, P; Potássio, K; Cálcio, Ca e Magnésio, Mg), nutriente adicional (Sódio, Na) e Alumínio trocável (Al).

Tabela 1. Características físicas do solo da área experimental. Considerando uma profundidade de 0,20m, Lagoa Seca, PB. 2004.

GRANULOMETRIA (g.Kg <sup>-1</sup> )			DENSIDADE (kg.dm <sup>-3</sup> )		POROSIDADE (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )	CONTEÚDO DE ÁGUA (Kg.Kg <sup>-1</sup> )	
Areia	Silte	Argila	Aparente	Real		CC	PM
750	100	150	15,6	27,2	426,5	160	36
Classificação Textural					<b>FRANCO ARENOSO</b>		

Fonte: Laboratório da EMBRAPA – CNPA, Campina Grande, PB.

Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental. Considerando uma profundidade de 0,20m, Lagoa Seca, PB. 2004.

Complexo Sortivo (mmol <sub>e</sub> .dm <sup>-3</sup> )						pH	P (mg.dm <sup>-3</sup> )	MO (g.Kg <sup>-1</sup> )
Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>				
17	22	0,5	3,2	0,0	6,7	49,2	13,2	

Fonte: Laboratório da EMBRAPA – CNPA, Campina Grande, PB.

### 3.2 Cultivar

No experimento, foi utilizado a cultivar feijão Pérola (*Phaseolus vulgaris* L.), classificado no grupo comercial carioca, com hábito de crescimento indeterminado (tipo III), porte semi-ereto, o qual possui ramos laterais bem desenvolvidos e numerosos.

As inflorescências originam-se de gemas das axilas das folhas e dos ramos. O período de floração, em média de 45 dias, após o plantio. Em geral, a maturidade das vagens não é uniforme, pois enquanto as inferiores já se encontram amadurecidas, as superiores ainda estão verdes. O grão é de cor bege-clara, com rajas marrom-claras, brilho opaco e peso médio de 100 sementes de 27g. O ciclo situa-se entre 90 a 95 dias.

A cultivar Pérola apresentou reação de resistência à ferrugem e ao mosaico-comum. Em condições de campo, foi moderadamente resistente à murcha de *Fusarium* e à mancha angular. Quanto à antracnose, possui resistência à raça alfa-brasil TUS e suscetibilidade às raças alfa-brasil, kapa e zeta.

### 3.3 Instalação e Condução do Experimento

#### 3.3.1 Preparo da Área

Em solo preparado de maneira convencional, que consistiu de uma aração, com arado de aiveca, e de uma gradagem, com grade niveladora, em toda área,

15 dias antes da sementeira. Após essas operações, foi feita a demarcação da área experimental.

### 3.3.2 Sementeira

A sementeira foi realizada em 05 de maio de forma manual em linhas, utilizando espaçamentos de 0,50m e 0,25m entre plantas, com profundidades médias de 3cm e para obter-se estandes sem falhas, foram distribuídas sementes em excesso, posteriormente foi feito um desbaste aos 20 dias após a sementeira a fim de ajustar a população de plantas.

### 3.3.3 Tratos Culturais

Uma vez instalado o experimento, visando o controle de plantas daninhas, insetos e fungos na área, realizou-se o acompanhamento diário da cultura, não sendo necessária a aplicação de inseticidas.

Efetou-se capinas (manuais) na área experimental objetivando a manutenção de todas as parcelas sempre livre da presença de plantas daninhas. Não foi observado ataque de pragas e nem doenças.

### 3.3.4 Colheita

A colheita foi realizada manualmente (arranquio), no dia 28 de julho de 2004. Após a colheita, as plantas foram submetidas à secagem natural (à sombra), até que atingissem o teor de água de, aproximadamente, 13%, que é o padrão máximo para sementes de feijão estabelecido pela Entidade Certificadora do Estado de São Paulo (São Paulo, 1986); nessa ocasião as sementes foram trilhadas manualmente e, posteriormente, levadas para a determinação do rendimento.

O rendimento (massa de sementes) de cada parcela foi obtido mediante pesagem em balança com sensibilidade de 1,0g de precisão, sendo o valor obtido transformado em  $\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  com correção do teor de água para 13%.

### 3.4 Delineamento Experimental e Tratamentos

O delineamento experimental utilizado no experimento foi o de blocos casualizados, constando de três tratamentos e quatro repetições, conforme a Figura 2. Os tratamentos foram constituídos de três densidades populacionais: 160, 240 e 320 mil plantas.  $ha^{-1}$ .

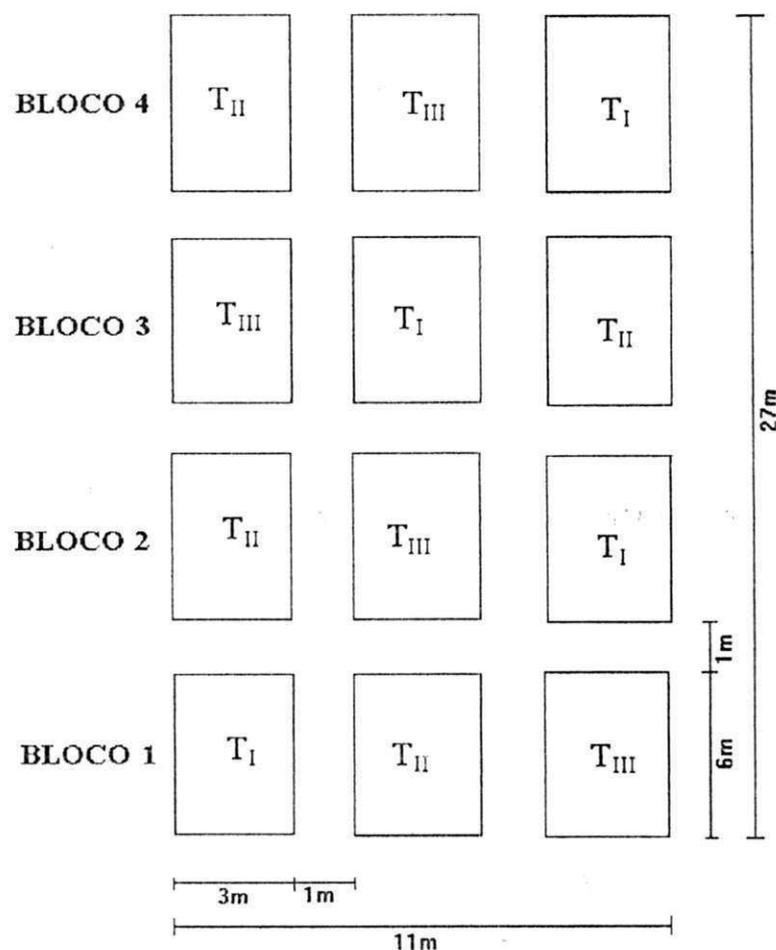


Figura 2. Croqui de campo com a distribuição de tratamentos nos respectivos blocos da área cultivada.

- Tratamento T<sub>I</sub>: duas plantas por cova, correspondendo a densidade populacional de 160.000 plantas.  $ha^{-1}$ ;
- Tratamento T<sub>II</sub>: três plantas por cova, correspondendo a densidade populacional de 240.000 plantas.  $ha^{-1}$ ;

- Tratamento T3: quatro plantas por cova, correspondendo a densidade populacional de 320.000 plantas. ha<sup>-1</sup>.

### 3.5 Parcelas Experimentais

Cada parcela experimental ocupou uma área total de 18m<sup>2</sup> (3m x 6m), constituída por seis fileiras de 6m de comprimento, espaçadas de 0,50 m entre linhas e 0,25m entre plantas. Por ocasião da colheita, considerou-se uma fileira de cada extremidade, assim como 0,50m em cada extremidade das fileiras centrais, constituindo a bordadura, colhendo-se uma área útil de 10m<sup>2</sup>.

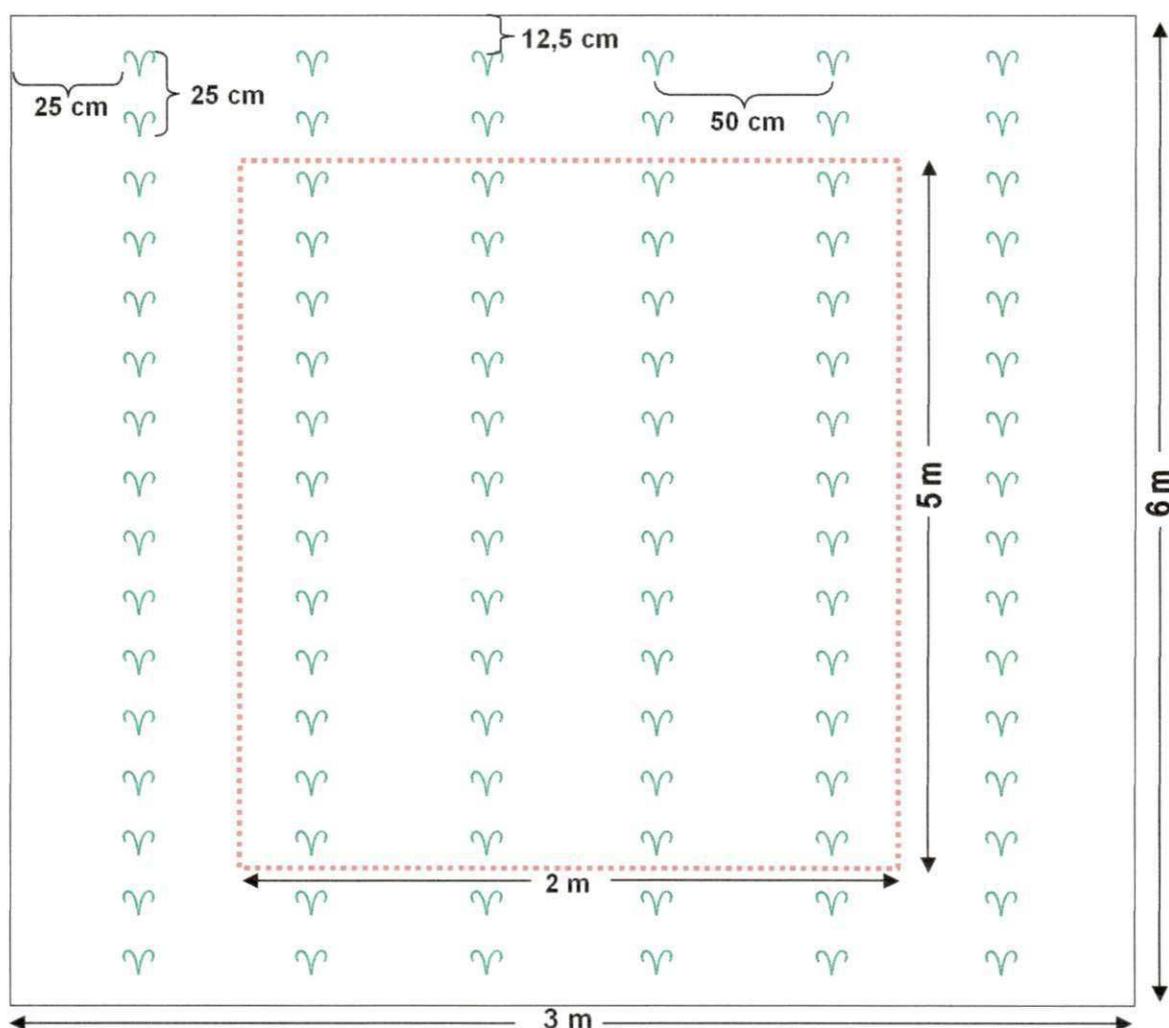


Figura 3. Croqui de uma parcela experimental.

### 3.6 Medições e Aplicações das Variáveis Agrometeorológicas

No presente experimento, os dados meteorológicos diários [temperatura do ar (mínima, média e máxima), precipitação pluvial, irradiação solar global, umidade relativa do ar, graus-dia, evapotranspiração potencial e velocidade e direção do vento à 2 metros de altura] foram obtidos de uma estação meteorológica automática (EMA) GroWeather™, instalada na Estação Experimental de Lagoa Seca, EMEPA, Lagoa Seca, PB, situada em local próximo da área experimental.

#### 3.6.1 Graus-dia

As plantas desenvolvem-se à medida que se acumulam unidades térmicas acima de uma temperatura base, ao passo que abaixo dessa temperatura o crescimento cessa. Através do acúmulo térmico, também conhecido como graus-dia, têm-se obtido ótimas correlações com a duração do ciclo da cultura, ou com os estádios do desenvolvimento fenológico da cultivar.

Os valores de graus-dia para as três fases fenológicas para a cultivar de feijão Pérola, foram calculados por meio da seguinte expressão (Ometto, 1981):

$$GDA = \sum_{i=1}^n (T_i - T_{base}) \quad (1)$$

Sendo:

$$T_i = \frac{T_{máx} + T_{mín}}{2} \quad (2)$$

Onde, GDA é o graus-dia acumulados;  $T_{máx}$  é a temperatura máxima do ar (°C);  $T_{mín}$  é a temperatura mínima do ar (°C);  $T_{base}$  é a temperatura abaixo da qual as plantas não se desenvolvem, tendo sido adotado o valor de 10°C (Kish & Ogle, 1980) e n é o número de dias do período ou fase considerada.

### 3.7 Determinação da Umidade do Solo

Foram efetuadas leituras diárias às 08:00 hs, de umidade do solo. Os dados dos instrumentos acoplados aos sensores, a 0,15m de profundidade do solo, foram anotados em uma planilha.

O monitoramento da umidade do solo, durante todo o ciclo da cultura, foi realizado utilizando-se sensores de extensão prolongada “Gro-Point™” (Figura 3), na profundidade de 0,15m. O “Gro-Point™” é baseado na tecnologia TDT (Time Domain Transmissometry) que possibilita determinação da umidade do solo através da propagação de ondas eletromagnéticas com precisão de  $\pm 1\%$  ( $\pm 0.01\% m^3 \cdot m^{-3}$ ). Posteriormente, estes dados, foram transferidos a um computador, onde foram realizadas as operações de processamento dos mesmos.

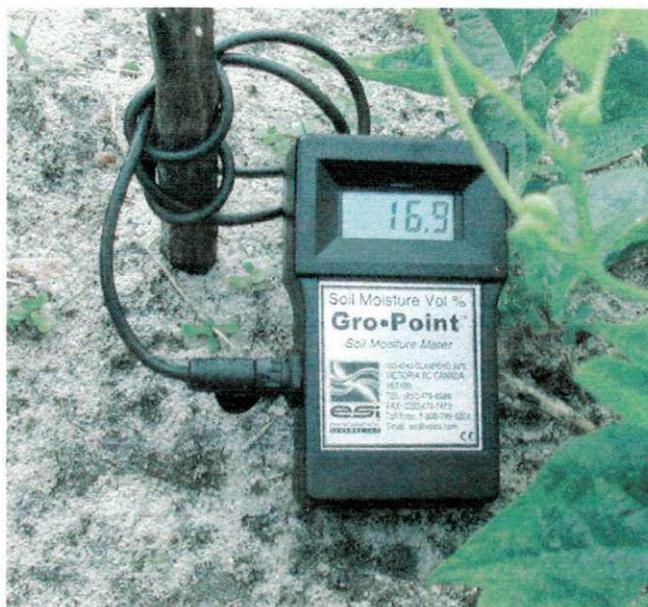


Figura 4. Sensores de extensão prolongada “Gro-Point™”, utilizado no experimento de campo

### 3.8 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 (1ª Fase): podendo incluir o tempo desde a semeadura até a emergência, a partir do preestabelecido até que 10 a 15% das plantas apresentem pelo menos uma flor;

- **Floração (2ª Fase):** cujo início coincide com o aparecimento dos primeiros botões florais, quando acima de 50% das plantas apresentem flores, até o surgimento das primeiras vagens cheias;
- **Desenvolvimento das vagens à maturação (3ª Fase):** a partir do surgimento de legumes em 10 a 15% das plantas, considerando como legumes os de comprimento maior que 2,5cm, até a mudança de coloração destes de cor verde para a cor intermediária.

### 3.9 Análise de Crescimento, Índices Fisiológicos e Fenológicos

O desenvolvimento da cultura do feijoeiro foi analisado através de dados relativos à variação da duração de três fases de desenvolvimento, a saber: germinação ao início da floração, floração e desenvolvimento das vagens à maturação; da evolução da área foliar (AF) e a produção da fitomassa. Foram coletadas amostras aleatórias no interior da área experimental (área útil) de três plantas, semanalmente, para a determinação da fitomassa seca e da área foliar.

Então, as plantas tiveram suas partes separadas em folhas, caule, flores, vagens, raízes que, em seguida, foram colocados em um saco de papel e, posteriormente, levados para estufa a 70°C, até que se estabelecesse peso seco constante. A partir da área foliar, foi calculado o índice de área foliar (IAF).

#### 3.9.1 Fitomassa Seca Total

A determinação da fitomassa seca total (W) da planta foi realizada em 10 amostragens feitas ao longo do ciclo da cultura. Em cada época de amostragem foram consideradas três plantas por tratamento e as plantas tiveram as suas partes separadas em raízes, folhas, caules, flores + vagens.

Após separação das diferentes partes da planta, procedeu-se a lavagem em água corrente das raízes. Posteriormente, a massa dos diferentes órgãos foi secada em estufa a 70°C, até atingir o peso seco constante. Após 48 horas, o material foi retirado da estufa, foi pesado em balança com resolução de 0,01 g, para se obter a fitomassa seca ( $\text{g.planta}^{-1}$ ).

### 3.9.2 Área Foliar

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

$$AF = \frac{\text{Peso das folhas}}{\text{Peso dos discos}} \cdot \text{Área dos discos (cm}^2\text{)} \cdot \text{Número de folhas} \quad (3)$$

### 3.9.3 Índice de Área Foliar

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

$$IAF = \frac{AF}{\Delta S} \text{ (adimensional)} \quad (4)$$

## 3.10 Determinação dos Componentes de Rendimento

### 3.10.1 Número de Vargens 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.

### 3.10.2 Número de Grãos por Vagem

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

### 3.10.3 Peso de 100 Grãos

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

### 3.10.4 Rendimento de Grãos

Para estimativa do rendimento de grãos da cultura, foram coletadas as plantas da área útil (10 m<sup>2</sup>) das parcelas experimentais. Os grãos foram pesados em balança com precisão de 0,01g, em cada tratamento, corrigindo-se a massa obtida para umidade de 13%.

### 3.11. Análise Estatística

O experimento foi realizado utilizando delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e três tratamentos (épocas de amostragem), segundo o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + BL_b + \varepsilon_{ij} \quad (5)$$

em que o índice  $i$  se refere ao número de ordem dos tratamentos (época de amostragem) ( $i$ : 1 a 3),  $b$  ao número de ordem das repetições ( $b$ : 1 a 4),  $Y_{ij}$  ao valor observado relativo à parcela que recebeu o tratamento  $i$  no bloco  $j$ ;  $\mu$  à média geral;  $t_i$  ao efeito da  $i$ -ésima época de amostragem;  $BL_b$  ao efeito do  $b$ -ésimo bloco (repetição), e  $\varepsilon_{ij}$  ao erro aleatório atribuído à observação  $Y_{ij}$ . O esquema da análise da variância para esse modelo está descrito na Tabela 3.

A análise estatística referente à acurácia do modelo foi realizada utilizando o programa computacional *Table Curve* (ambiente Windows), composto de 300 equações, objetivando-se ajustar uma equação de correlação entre as variáveis descritas. Foram determinados também a média e o coeficiente de variação dos parâmetros estudados em cada uma das três fases de desenvolvimento da cultura.

A construção dos gráficos apresentados como resultados foram gerados a partir de planilhas do programa computacional Excel e, em particular, para as taxas de crescimento do cultivo, pelo o programa computacional “Jandel Scientific”.

Terminados os cálculos dos índices de crescimento, esses foram submetidos à análise da variância e as características significativas foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Esquema da análise da variância.

Causa da variação (C.V.)	Graus de Liberdade <sup>1</sup> (G.L.)	Quadrado Médio (Q.M.)	F
Tratamento	$n - 1 = 3 - 1 = 2$	$V_1$	$V_1 / V_3$
Bloco	$B - 1 = 4 - 1 = 3$	$V_2$	$V_2 / V_3$
Resíduo	$n.B - n - B + 1 = n.B - n - B + 1 = 6$	$V_3$	
Total	$n.B - 1 = 3.4 - 1 = 11$		

n: número de tratamentos: 3; B: número de blocos:4.

## 4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Condições Meteorológicas Durante os Trabalhos de Campo

Durante o experimento realizado no período 05/05/04 a 28/07/04, foram coletados valores médios diários que permitiram caracterizar as condições meteorológicas do local em termos de temperatura do ar (Tar) (°C), umidade relativa do ar (UR) (%), irradiação solar global (Qg) (W.m<sup>-2</sup>), velocidade do vento (Vv) (Km.h<sup>-1</sup>), graus-dia acumulados (GDA) (°C.dia) e precipitação pluviométrica (Prec) (mm), diária acumulada.

#### 4.1.1 Temperatura do Ar

Na Figura 5, observa-se os valores médios diários das temperaturas mínimas as quais variaram entre 16,2°C na fase de desenvolvimento de vagens à maturidade (3ª Fase) e 20,3°C, na fase de germinação ao início da floração (1ª Fase), as temperaturas máximas, entre 19,6°C, na fase de desenvolvimento de vagens à maturidade, e 26,7 °C, na germinação ao início da floração. Enquanto os valores das temperaturas médias oscilaram entre 17,8°C, na fase de desenvolvimento de vagens à maturidade, e 22,6°C, na fase de germinação ao início da floração.

Durante a 1ª Fase foram verificados os maiores valores (20,6°C, 23,3°C, e 26,7°C), para as temperaturas mínima, média e máxima, respectivamente, de todo o experimento, que são de extrema importância para o feijoeiro, pois, influencia diretamente no crescimento e no desenvolvimento da cultura, o que propiciou um aumento de temperatura no solo, favorecendo uma aceleração na germinação, como também no crescimento vegetativo. Conforme Vigliorchio *et al.* (1957), o crescimento é

função das temperaturas ótimas (25°C/20°C, dia/noite) nos primeiros estádios de desenvolvimento.

Na fase de floração (2ª Fase), as temperaturas mínima, média e máxima obtiveram valores máximos de (19,3°C, 21,2°C e 25,1°C) e mínimos de (18,2°C, 20,0°C e 23,3°C), ideal para uma boa floração, ocasionando um aumento no número de vagens, maior número e peso das sementes e, conseqüentemente, um aumento na produtividade. Em concordância com trabalhos desenvolvidos por Fancelli, (1992, 1994), genótipo, temperatura, restrições hídricas e fotoperíodo constituem os principais elementos determinantes do momento do aparecimento dos botões florais. Mack & Singh (1969), encontraram perda no rendimento de grãos *Phaseolus vulgaris* de 67% quando a temperatura média dos primeiros dias de floração (do 3º ao 7º dia após a primeira flor) alcançou 38°C. Esta perda decresceu para 22% quando a temperatura média máxima caiu para 29°C.

Ainda na Figura 5, durante a fase de desenvolvimento de vagens à maturidade (3ª Fase), observa-se os menores valores para as temperaturas mínima, média e máxima (16,2°C, 17,8°C e 19,6°C) respectivamente. Conforme Fancelli (1990a, b, 1992, 1994), no início de formação de vagens, o feijoeiro é extremamente influenciado pelas condições climáticas reinantes, além de ser considerado como uma das fases críticas na falta de água. Altas temperaturas ocasionam uma maior perda de água no solo pela evaporação e evapotranspiração da planta, o que pode acarretar em deficiência hídrica no solo. Um déficit hídrico no solo nesse estágio do feijoeiro ocasiona uma redução na sua produtividade, em conseqüência da queda de vagens.

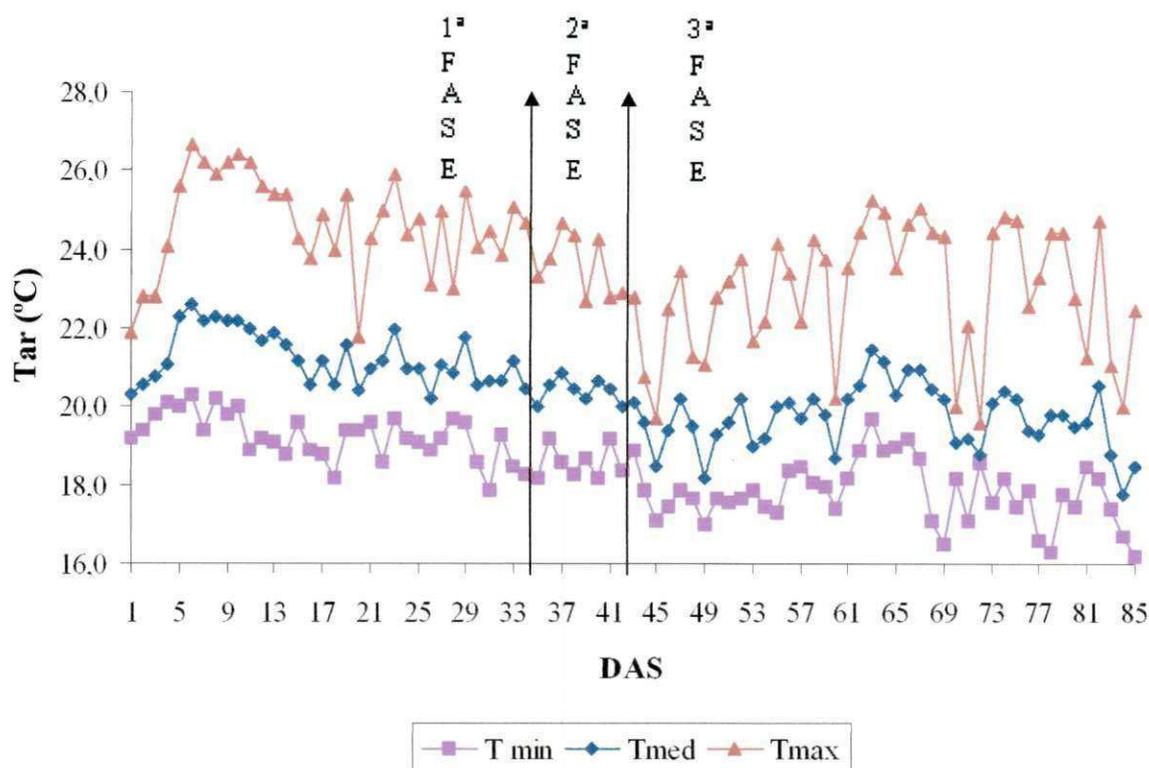


Figura 5. Temperaturas mínimas, médias e máximas em relação aos dias após a semeadura (DAS) nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento. Lagoa Seca, PB

#### 4.1.2 Umidade Relativa do Ar

A Figura 6 apresenta a variação da umidade relativa média do ar ao longo do experimento. Observando a curva da umidade relativa do ar (Figura 6), durante a 1ª Fase, percebe-se que a umidade relativa foi sempre elevada, com mínimas acima dos 80%, com o valor máximo de 97,4% observado aos 3 DAS e o valor mínimo de 86,1% aos 8 DAS.

A umidade relativa do ar (UR) é um parâmetro do clima de importância para os vegetais. Durante a fase de germinação ao início da floração (1ª Fase), verifica-se a ocorrência de uma variabilidade, ou seja, com valores variando entre 86% e 90% ao longo do período. Percebendo-se que a quantidade de vapor d'água existente no ar atmosférico durante o período do experimento foi suficiente para garantir um bom desenvolvimento do feijoeiro.

Durante a floração (2ª Fase), verificou-se aos 38 DAS, uma variação entre 87,2% a 97,4%. De acordo com Ometto (1981), o vapor atuando no clima de uma cultura, determina direta e indiretamente o rendimento agrícola da referida cultura.

Enquanto que, na fase de desenvolvimento de vagens à maturidade (3ª Fase), que a partir dos 58 DAS, houve uma pequena variação nos valores de UR (81 a 99,9%) (Figura 6), atingindo seu máximo de 99,9% aos 60 DAS, e o mínimo de 81 aos 84 DAS, em todo o ciclo do feijoeiro. Concordando com Mota (1983), a alta umidade atmosférica tem no mínimo dois efeitos benéficos possíveis no crescimento da planta. Em primeiro lugar, muitas plantas podem diretamente absorver vapor d'água quando a umidade alta. Segundo lugar, a umidade pode afetar a fotossíntese.

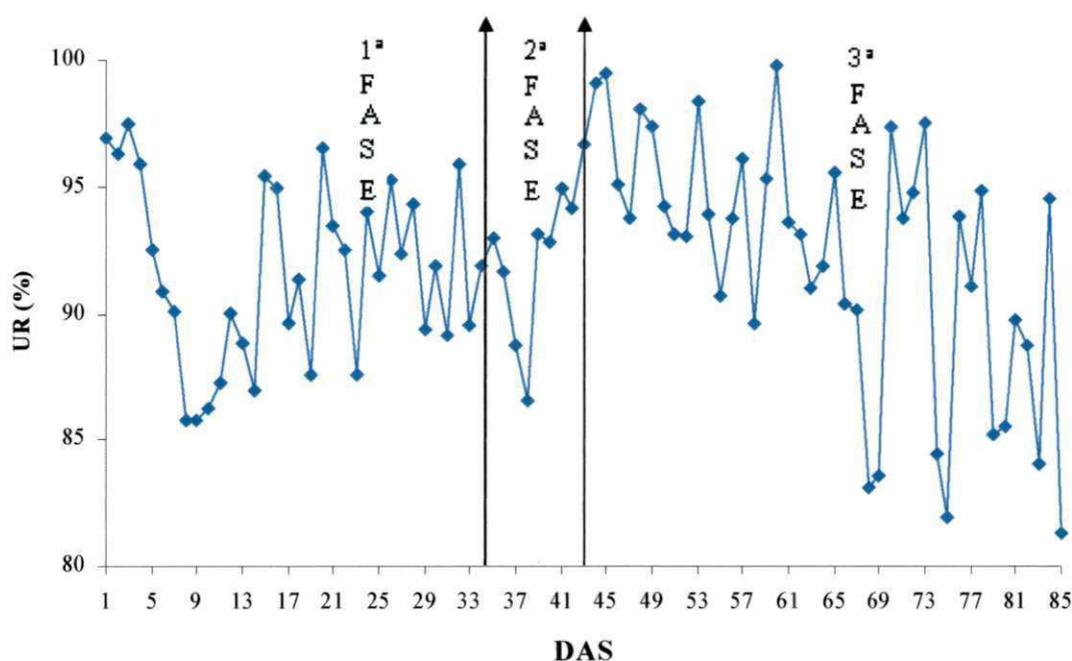


Figura 6. Umidade relativa média diária do ar durante em relação aos dias após a semeadura (DAS) nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento. Lagoa Seca, PB.

#### 4.1.3 Precipitação Pluviométrica

Os dados referentes aos totais pluviométricos e data de ocorrência em relação aos DAS, podem ser observados na Figura 7. Percebe-se que durante a 1ª Fase, ocorreu uma distribuição temporal de precipitação suficiente para garantir um bom desenvolvimento da cultura, embora apresentasse moderada deficiência hídrica, mesmo assim, não comprometeria o rendimento da cultura. Pois, de acordo com Magalhães *et al.* (1979) e Doorenbos & Kassam (1979), os mesmos afirmaram que, no início do

desenvolvimento da cultura, o requerimento de água é baixo e a planta pode suportar atenuados déficits hídricos, sem grande redução no seu rendimento.

Na fase de floração (2ª Fase) os totais diários pluviométricos observados foram semelhantes aos registrados durante a 1ª Fase do experimento, entretanto, o período de tempo foi menor, suficientes para essa fase fenológica da cultura, a qual necessita de uma maior demanda de água no solo. Segundo Pereira *et al.* (2002), os estádios de florescimento e formação de vagens da cultura do feijão têm sido apresentados como o de maior necessidade hídrica.

Verifica-se ainda, na Figura 7, que durante a 3ª Fase, registrou-se uma maior concentração de chuvas, entretanto este acréscimo não prejudicou o rendimento do feijoeiro, visto que o total de água precipitada foi de 428,5 mm, o que correspondeu a um consumo médio diário de 5,0 mm ao longo do período estudado.

Conforme Austin (1972), Delouche (1976), Carvalho & Nakagawa (1980), Popinigis (1985) apud Fiegenbaum *et al.* (1991), o poder germinativo e o vigor evoluem, na maioria das espécies, de maneira semelhante ao acúmulo de matéria seca, aumentando até atingir os mais altos valores, que, normalmente, coincidem ou estão bem próximos do ponto da maturidade fisiológica. Entretanto, condições ambientais adversas, tais como falta ou excesso de chuvas ou ocorrência de geadas, podem afetar a viabilidade e o vigor da semente em qualquer estágio de desenvolvimento (Austin 1972, Copeland, 1976).

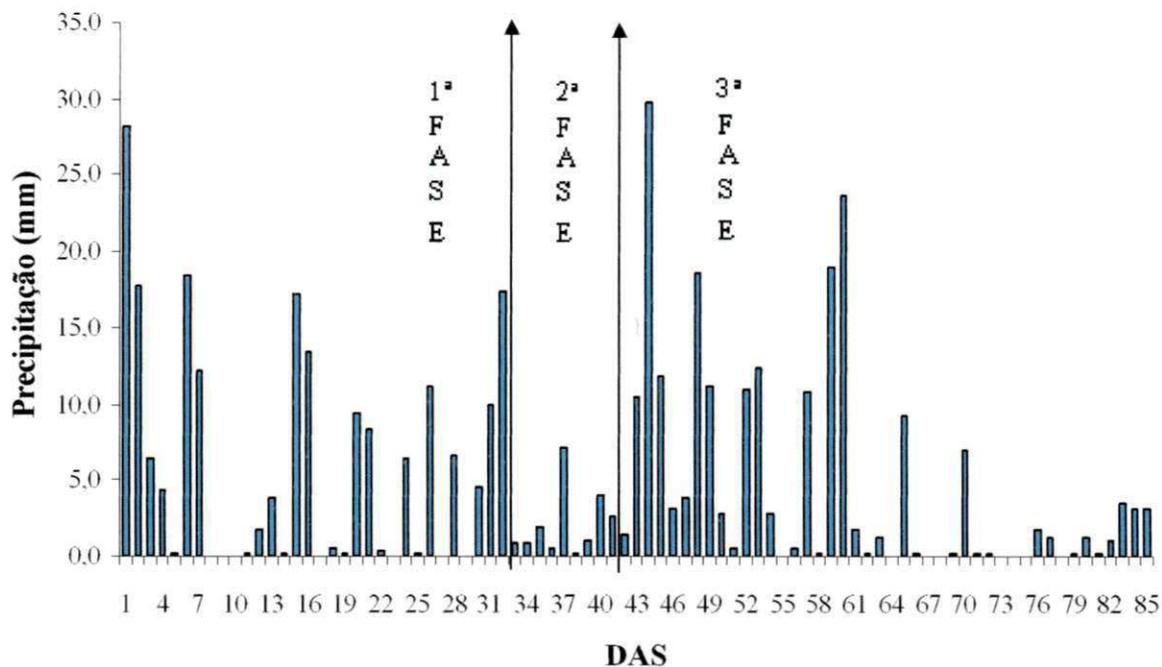


Figura 7. Precipitação pluvial em relação aos dias após a semeadura (DAS) nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento. Lagoa Seca, PB

#### 4.1.4 Irradiação Solar Global

A variação da irradiação solar ( $Q_g$ ) observada durante todo o experimento pode ser vista na Figura 8. Nota-se que durante a fase de germinação o menor valor observado de  $Q_g$  foi de  $16,3 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  aos 2 DAS e o maior de  $42,3 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  aos 11 DAS.

A quantidade de irradiação solar que atinge a superfície vegetada é de vital importância, pois a irradiação solar influencia diretamente nos processos fotossintéticos que a planta realiza para garantir seu perfeito desenvolvimento e crescimento.

O ambiente de luz em que a planta cresce é de fundamental importância, pois a adaptação das plantas a este ambiente depende do ajuste do seu aparelho fotossintético, de modo que a luminosidade ambiental seja utilizada de maneira mais eficiente possível. As respostas destas adaptações serão refletidas no crescimento global da planta (Engel & Poggiani, 1991).

Durante a fase de floração (2ª fase), e a fase de desenvolvimento de vagens à maturação, o comportamento da irradiação solar mostrou-se similar ao

observado durante a fase de germinação da cultura, com o seu mínimo de 24,4 aos 35 DAS e o máximo de 38,9 aos 37 DAS.

Após o florescimento, nota-se maior discrepância entre as fases fenológicas do feijoeiro (Figura 8). O menor valor de  $Q_g$ , observado durante todo o experimento, foi de  $5,5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  aos 84 DAS e o maior de 44,4 aos 68 DAS, possivelmente neste dia a presença de nebulosidade provocou uma maior atenuação na energia proveniente do Sol, logo os totais observados foram reduzidos em relação aos dias anteriores, não prejudicando o rendimento da cultura. Concordando com Health *et al.* (1985), quando afirma que o rendimento ou produtividade obtido por uma cultura é determinado, principalmente, pela oferta sazonal de energia solar cuja utilização é condicionada por outros elementos, como umidade do solo e temperatura.

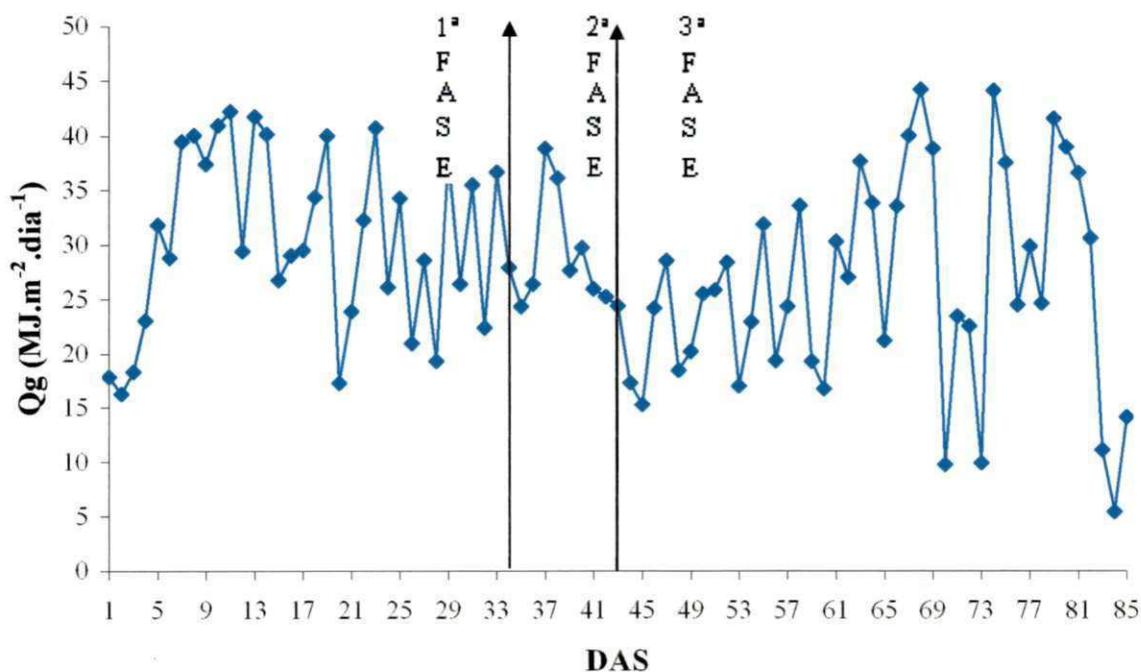


Figura 8. Irradiação solar global diária em relação aos dias após a semeadura (DAS) nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento. Lagoa Seca, PB.

#### 4.1.5. Velocidade do Vento

Na Figura 9, verifica-se uma variação entre os valores médios diários do vento, onde se observa que na fase de germinação ao início da floração (1ª Fase), atingiu  $3,6 \text{ km.h}^{-1}$ , (menor valor registrado) aos 27 DAS e  $12,8 \text{ km.h}^{-1}$ , na fase de

desenvolvimento de vagens à maturidade (3ª Fase), como o maior valor registrado, aos 84 DAS. Durante a 1ª Fase, a velocidade média do vento observada apresentou uma acentuada variação, de 3,6 km.h<sup>-1</sup> e 9,0 km.h<sup>-1</sup>, aos 27 DAS e aos 10 DAS, respectivamente, caracterizados por ventos fracos. Entretanto, com relação a esses valores médios do vento, o feijoeiro encontrou-se em boas condições de desenvolvimento.

Verifica-se ainda, pela Figura 9, durante a fase de floração (2ª Fase), que a velocidade média diária do vento, atinge o valor máximo de 11,3 km.h<sup>-1</sup>, acredita-se que neste dia a transpiração ocorrida no feijoeiro se elevou, pois concordando com Lydolph (1964) apud Mota (1983), o efeito do vento sobre a transpiração varia com a temperatura e a umidade relativa do ar que incide sobre as plantas, bem como o efeito do vento sobre a transpiração variar de acordo com a rugosidade, que é determinada pela superfície exposta.

Na fase seguinte, 3ª fase, a velocidade média diária do vento variou de 5,6 km.h<sup>-1</sup> aos 73 DAS a 12,8 km.h<sup>-1</sup> aos 85 DAS.

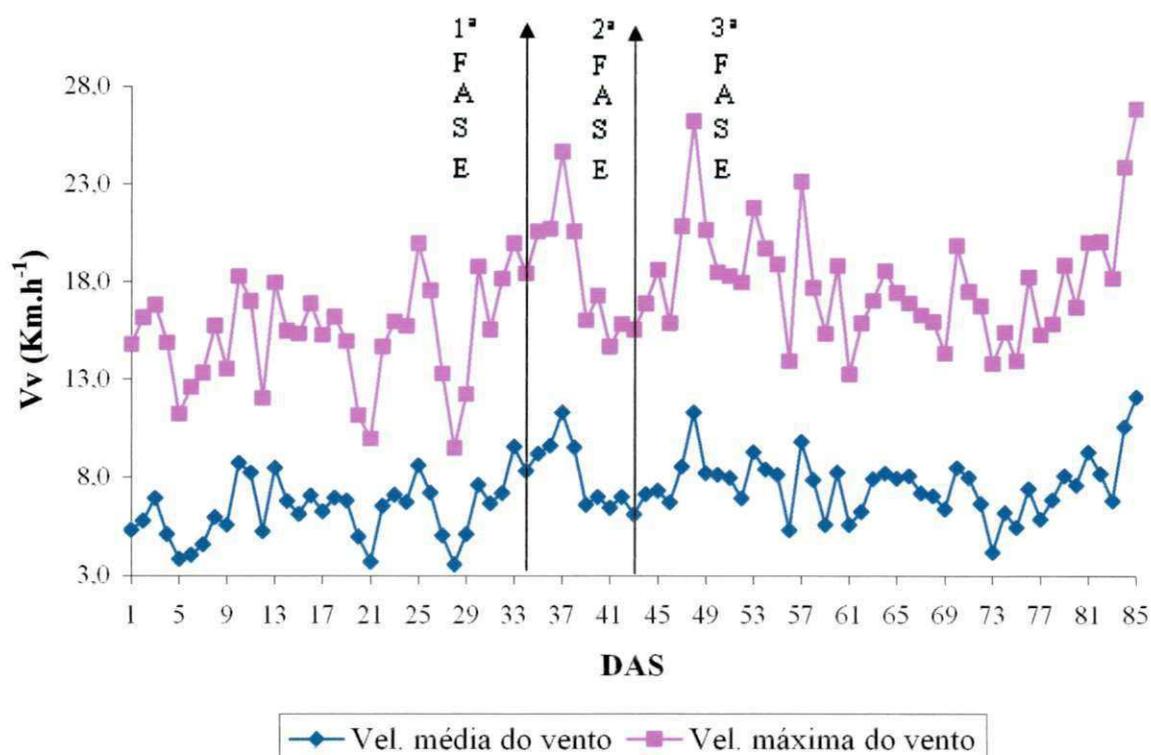


Figura 9. Velocidade do vento média e máxima em relação aos dias após a semeadura (DAS) nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento. Lagoa Seca, PB.

#### 4.1.6 Evapotranspiração Potencial

Na Figura 10, observa-se o comportamento diário da evapotranspiração potencial (ETP) da cultura durante o ciclo, em relação aos dias após a semeadura da cultura (DAS).

A evapotranspiração potencial acumulada da cultura foi de  $242,1 \text{ mm.dia}^{-1}$  no período. Pode-se notar que, de um modo geral, houve um maior consumo de água no estágio final da 2ª fase. Conforme relatado por Matzenouer *et al.* (1998) apud Corrêa (2004), *decréscimo no valor de radiação solar, que é a fonte de energia utilizada no processo de evapotranspiração, provoca redução na demanda evaporativa.* Observa-se que a partir deste período, com o aumento da disponibilidade das plantas o consumo hídrico da cultura aumentou de forma contínua até aos 68 DAS, durante a época de máxima formação de vagens. No período de 70 a 75 DAS, a ETP diminuiu para um valor médio de  $1,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ , em decorrência da redução da temperatura para um valor médio de  $21,5 \text{ }^\circ\text{C}$  e redução da radiação solar para  $114,1 \text{ MJ. m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  (Figuras 4 e 7), além do final do período de produção, já que o fotoperíodo reduziu para um valor máximo de 10 horas de luz.

A partir de 76 DAS a ETP volta a aumentar devido à elevação da temperatura e radiação solar, atingindo  $4,1 \text{ mm.dia}^{-1}$ . A queda verificada nos dois subperíodos seqüentes (78 a 84 DAS). Entretanto, como as plantas não sofreram déficit hídrico, a temperatura e a radiação solar estiveram altas neste período, e o desenvolvimento vegetativo foi rápido atingindo o valor de  $4,3 \text{ mm.dia}^{-1}$  no período de 46 a 84 DAS, que correspondeu a 3ª fase, ou seja, desenvolvimento de vagens a maturação.

Os maiores valores de ETP encontrados no experimento de campo ocorreram no período de germinação e de desenvolvimento de vagens à maturação, sendo de  $4,2 \text{ mm.dia}^{-1}$ , aos 10 DAS, na 1ª fase e de  $4,3 \text{ mm.dia}^{-1}$ , aos 66 DAS, na 3ª fase.

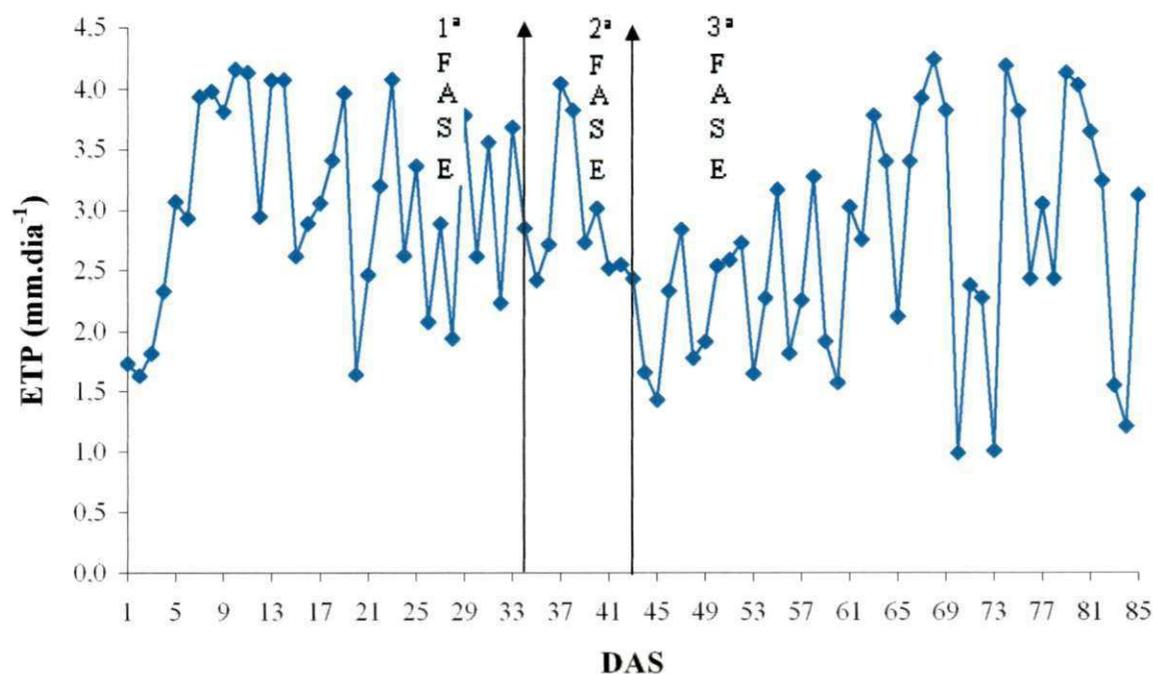


Figura 10. Evapotranspiração potencial em relação aos dias após a semeadura (DAS) nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento. Lagoa Seca, PB.

#### 4.2 Precipitação Pluviométrica e Umidade do Solo

Na Figura 11, observa-se a variação diária dos totais pluviométricos e a umidade do solo no período compreendido entre os dias 5 de maio a 28 de julho de 2004, em Lagoa Seca, PB.

A precipitação pluvial é uma das variáveis meteorológicas mais importantes no resultado do rendimento das culturas. Nos períodos em que ocorrem os maiores totais pluviométricos, a cultura recebe suficiente quantidade de chuvas, de tal forma o seu desenvolvimento foi satisfatório. Percebe-se ainda, nesta Figura, que o período de germinação do feijão (1ª Fase), a precipitação pluviométrica observada apresentou uma variação de 0,0 a 28,2 mm. Durante a primeira fase do experimento, a precipitação teve sua distribuição temporal bem definida, ou seja, os totais de pluviométricos mais significativos, (maiores que 7 mm), foram observados em dias alternados. Essa alternância possibilitou a não ocorrência de estresse hídrico.

Em relação à umidade do solo, na 1ª fase registrou-se o valor mínimo de 9,1% e o valor máximo de 20,2% em todos os tratamentos (Figura 11). Porém observou-se que a quantidade de água precipitada no dia 15 elevou-se em relação aos

dias anteriores (17,2 mm), visto que, a chuva registrada no dia 14 foi de 0,2 mm, logo se supõe que a chuva que ocorreu no dia 15 serviu para suprir a necessidade hídrica do solo e elevar os valores de umidade no dia seguinte. Nessa fase, a umidade do solo, mostrou-se suprida de água, ótima para o desenvolvimento da cultura.

Na fase de floração ao início de formação de vagens (2ª fase), observou-se que a precipitação variou de 0,2 mm a 7,4 mm, e a umidade do solo apresentou valores médios de aproximadamente 14,4% nos tratamentos, estes valores verificados foram suficientes para essa fase fonológica da cultura (Nóbrega, 2000).

Durante o desenvolvimento de vagens a maturidade (3ª Fase), os valores observados de umidade do solo apresentaram uma evolução atingindo o máximo de 20,2% aos 60 DAS. Ainda nesta fase, aos 44 DAS nota-se o maior valor registrado de precipitação pluvial de 29,8. A partir dos 61 DAS os valores de umidade decresceram retornando a se elevar a partir dos 71 DAS, sem, no entanto, influenciar a cultura, uma vez que estas já se encontravam em fase de maturidade.

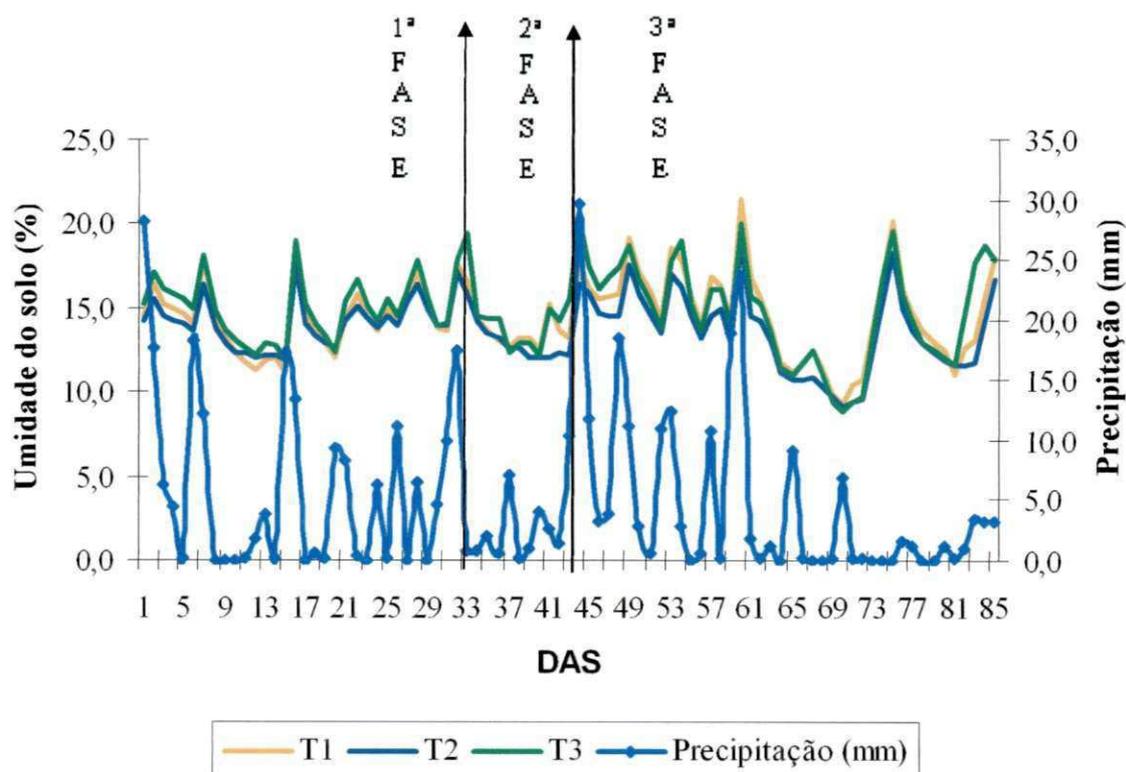


Figura 11. Variação diária da precipitação pluviométrica versus a umidade do solo, em relação aos dias após a semeadura (DAS) nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento. Lagoa Seca, PB.

### 4.3 Comportamento da Precipitação Pluviométrica e Evapotranspiração Potencial

No decorrer do período em que ocorreu o experimento, observa-se pela Figura 12 que os valores de ETP variaram proporcionalmente aos totais pluviométricos ocorridos durante o ciclo da cultura, entretanto, em determinados dias os valores de ETP e a precipitação decresceram simultaneamente, verificando uma estreita relação entre as duas variáveis.

Verifica-se ainda, pela Figura 12, que durante a 1ª Fase (germinação ao início da floração) do experimento, a cultura do feijão encontrava-se em pleno desenvolvimento vegetativo e, necessitando, portanto, de uma maior demanda de água. Nos dias em que ocorreram os valores máximos pluviométricos, ou seja, aos 7 DAS com 19 mm e aos 16 DAS com um total de 17 mm, respectivamente, verificou-se que os valores de ETP decresceram em relação ao dia anterior dos maiores totais pluviométricos, ocorrendo, o mesmo com os totais pluviométricos inferiores, favorecendo desta maneira, os processos fotossintetizantes do feijoeiro.

Na fase seguinte, ou seja, de floração (2ª fase), percebe-se uma diminuição dos totais pluviométricos em relação a fase anterior, na qual variou 0,0 e 7,3 mm, enquanto que, os valores de ETP mostraram-se durante esse fase quase sempre superior a aos totais pluviométricos, o que não afetou a cultura, pois o solo estava bem suprido da água.

No início da 3ª Fase (Figura 12), observa-se a ocorrência do maior valor de precipitação pluviométrica (29,8mm) durante o ciclo da cultura, no estágio de formação de vagem, e verificando-se que a ETP foi de  $1,75 \text{ mm.dia}^{-1}$ , favorecendo assim, aos componentes de produção.

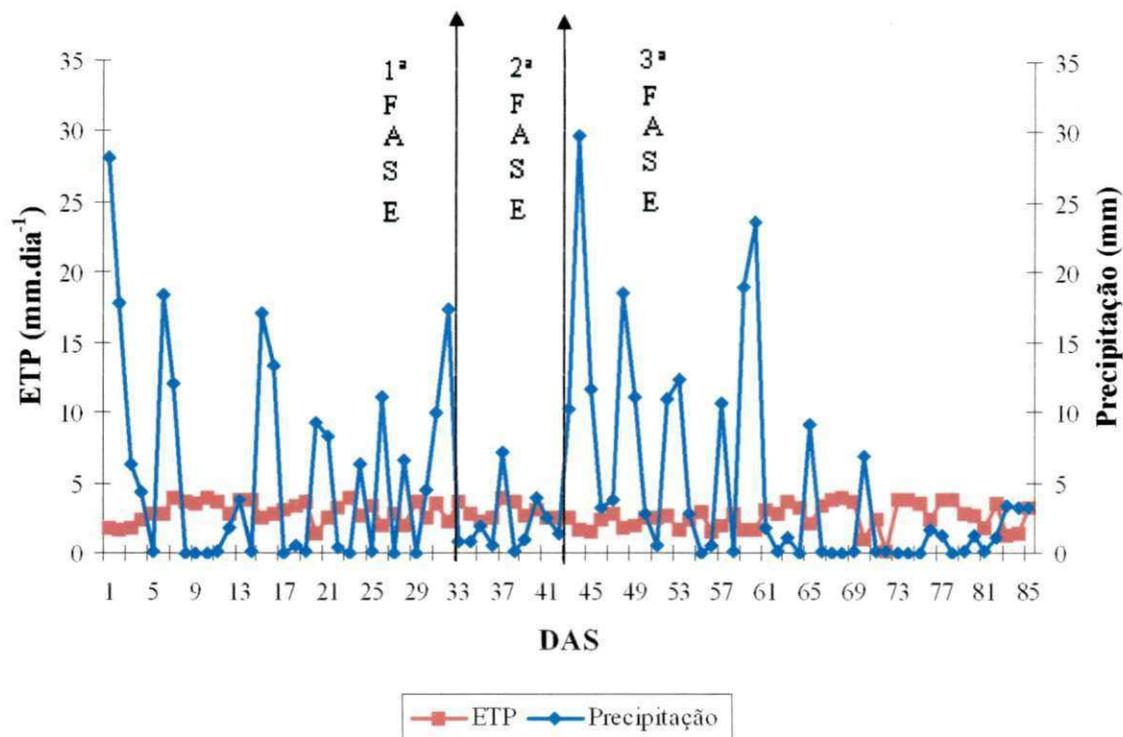


Figura 12. Variação da evapotranspiração potencial e da precipitação pluviométrica diária, em relação aos dias após a semeadura (DAS) nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento. Lagoa Seca, PB.

#### 4.4 Fases Fenológicas

As fases fenológicas do feijoeiro, obtidas no experimento, foram acompanhadas segundo a escala apresentadas por Stone & Moreira (1986).

A determinação dos dias para as mudanças de cada fase fenológica, obedeceu aos seguintes critérios: germinação ao início da floração (1ª Fase), a partir da data de semeadura preestabelecida, até que 10 a 15% das plantas apresentem pelo menos uma flor; floração (2ª Fase), quando acima de 50% das plantas apresentam flores e desenvolvimento das vagens à maturidade (3ª Fase), a partir do surgimento de legumes em 10 a 15% das plantas, considerando os legumes de comprimento maior que 2,5 cm.

Na Tabela 4, 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 sua duração das fases em função dos tratamentos. No entanto, a umidade do solo apresenta-se como um dos fatores limitantes às alterações metabólicas, afetando assim,

as variáveis morfofisiológicas e os componentes de rendimento, como poderá ser visto posteriormente.

Tabela 4. Fases fenológicas, duração e ciclo (dias) da cultura do feijão, em função dos tratamentos. Lagoa Seca, PB, 2004.

FASE	TRATAMENTO		
	1	2	3
	DURAÇÃO	DURAÇÃO	DURAÇÃO
G – IF	34	34	34
F	8	8	8
FV – M	36	36	36
CICLO	78	78	78

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

#### 4.5 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.

As análises do comportamento morfofisiológicas do feijoeiro, cultivar Pérola são apresentadas a seguir, para o período compreendido entre 25 e 83 DAS, quando foram suspensas as medições. Compreendem o crescimento e desenvolvimento do caule, folhas, raízes e parte reprodutiva.

Vê-se, na Tabela 5 e 6, o resumo da análise de variância e as médias dos dados relativos às variáveis primárias do crescimento (fitomassa seca total e área foliar), para o período compreendido entre 25 e 83 dias após a semeadura (DAS) para os três tratamentos, em análise conjunta. Verifica-se, que durante esse período avaliado, efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) do fator tratamentos a fitomassa total e não significativos ( $p < 0,05$ ) a área foliar; efeitos não significativos ( $p < 0,05$ ) para a fitomassa total e área foliar do fator blocos.

Na comparação de média dos tratamentos no período avaliado, o tratamento T1 foi superior aos outros tratamentos T2 e T3, respectivamente (Tabela 6)

cuja superioridade se deveu, ao número de população de plantas. Concordando com Souza *et al.* (2003), em solos férteis e condições climáticas favoráveis, as plantas desenvolvem grande área foliar e aumentam a capacidade de compensação, sendo recomendada população mais baixa. Populações diferentes tendem a manter rendimentos semelhantes, em razão da grande capacidade de compensação entre os componentes do rendimento, como no caso do número de vagens por planta (Fernandes, 1987; Ari *et al.*, 1990; Vale, 1994) apud Souza *et al.* (2003).

As médias dos tratamentos, quanto à área foliar não diferiram significativamente ( $p < 0,05$ ) entre si; já na fitomassa total, o T1 foi igual ao T2 e superior ao T3, enquanto o tratamento T2 foi igual ao tratamento T3 que, ao apresentar o menor valor, diferiu significativamente apenas do tratamento T1.

Tabela 5. Análise de variância das variáveis primárias de crescimento do feijoeiro. Lagoa Seca, PB.

F.V.	G.L.	QUADRADOS MEDIOS	
		FITOMASSA (g/planta)	ÁREA FOLIAR (cm <sup>2</sup> )
Blocos	3	2.9444 <sup>ns</sup>	36.015,38 <sup>ns</sup>
Tratamentos	2	7.5925*	135.033,66 <sup>ns</sup>
Resíduo	6	0.9536	30.646,17

(\*) significativo a 5% de probabilidade; (<sup>ns</sup>) não significativo a 5% de probabilidade (Teste F).

Tabela 6. Médias das variáveis primárias de crescimento do feijoeiro. Lagoa Seca, PB.

TRATAMENTOS	FITOMASSA (g.planta <sup>-1</sup> )	ÁREA FOLIAR (cm <sup>2</sup> )
1	18,22 a	1.621,60 a
2	16,70 ab	1.396,87 a
3	15,47 b	1.257,44 a
CV (%)	5,81	12,28

Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo o Teste de Tukey.

#### 4.5.1 Análise de Fitomassa Seca Total

A fitomassa seca total (W) apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) do fator tratamentos (Tabela 7). A Figura 13 explicita as curvas ajustadas de W, em função do tempo ( $R^2 = 0,98$ ) para os tratamentos T1, T2 e T3, verificando-se que o acúmulo de fitomassa seca do feijoeiro foi claramente influenciado pela população de plantas, proporcionando os maiores valores, destacando-se o tratamento T1. Até os 47 DAS as diferenças na produção de fitomassa seca foram praticamente inexistentes, evidenciando ausência de efeito dos tratamentos nessa fase.

A partir dos 52 DAS, as diferenças passaram a ser maiores, intensificando-se do início do florescimento, quando as necessidades hídricas e nutricionais da cultura aumentam, até o início da maturidade das vagens (78 DAS), com o tratamento T1, se destacando em relação aos demais tratamentos, com os maiores valores. Em todos os tratamentos, observaram-se três estádios de crescimento do feijoeiro: uma fase inicial, de crescimento relativamente lento, uma intermediária, 2ª fase, em que o crescimento foi acelerado, e a 3ª fase, em que teve decréscimo acentuado, em decorrência da senescência foliar (Figura 14).

Observa-se que na 1ª Fase do cultivo do feijoeiro, um incremento de ganho de peso na matéria seca com o passar dos dias. A evolução do peso da matéria seca revelou o padrão sigmóide de crescimento descrito por Salisbury & Ross (1985).

Verifica-se também, equações de regressão com bons valores de  $R^2$  (0,98, 0,97 e 0,91) para T 1, T 2 e T 3, respectivamente. Os maiores valores obtidos para a 1ª fase do cultivo, aos 34 DAS, foram  $4,38 \text{ g. planta}^{-1}$ ,  $4,37 \text{ g. planta}^{-1}$  e  $3,59 \text{ g. planta}^{-1}$  para T 1, T 2 e T 3, respectivamente. Pequenas variações em ganho de peso são observadas logo após o aparecimento das primeiras flores.

Concordando com Nóbrega (2000), o mesmo afirma que nessa fase, a taxa de absorção de água é muito pequena para ativar os processos fisiológicos de crescimento, que exigem atividades metabólicas aceleradas.

Na fase seguinte, a de floração, quando a planta alcança aproximadamente a idade de 34 – 41 (DAS), o crescimento da fitomassa 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 42 – 83 (DAS) observaram-se dois períodos distintos: a) o crescimento torna-se mais intenso, atingindo

o máximo aos 74 DAS; b) a planta inicia o processo de senescência, que reflete, inicialmente, na paralisação da produção de matéria orgânica. A partir daí, começaram a prevalecer os fenômenos de translocação, em substituição ao crescimento (Lopes *et al.*, 1982 e 1993) apud Nóbrega (2000).

As equações de ajuste para a fitomassa seca total seguiram o seguinte modelo, segundo os tratamentos, foram:

$$W(T1) = \exp(-3,33908 + 0,18874DAS - 0,00129(DAS)^2) \quad (R^2 = 0,98) \quad (6)$$

$$W(T2) = \exp(-3,03182 + 0,17655DAS - 0,00012(DAS)^2) \quad (R^2 = 0,97) \quad (7)$$

$$W(T3) = \exp(-4,03816 + 0,20994DAS - 0,00147(DAS)^2) \quad (R^2 = 0,91) \quad (8)$$

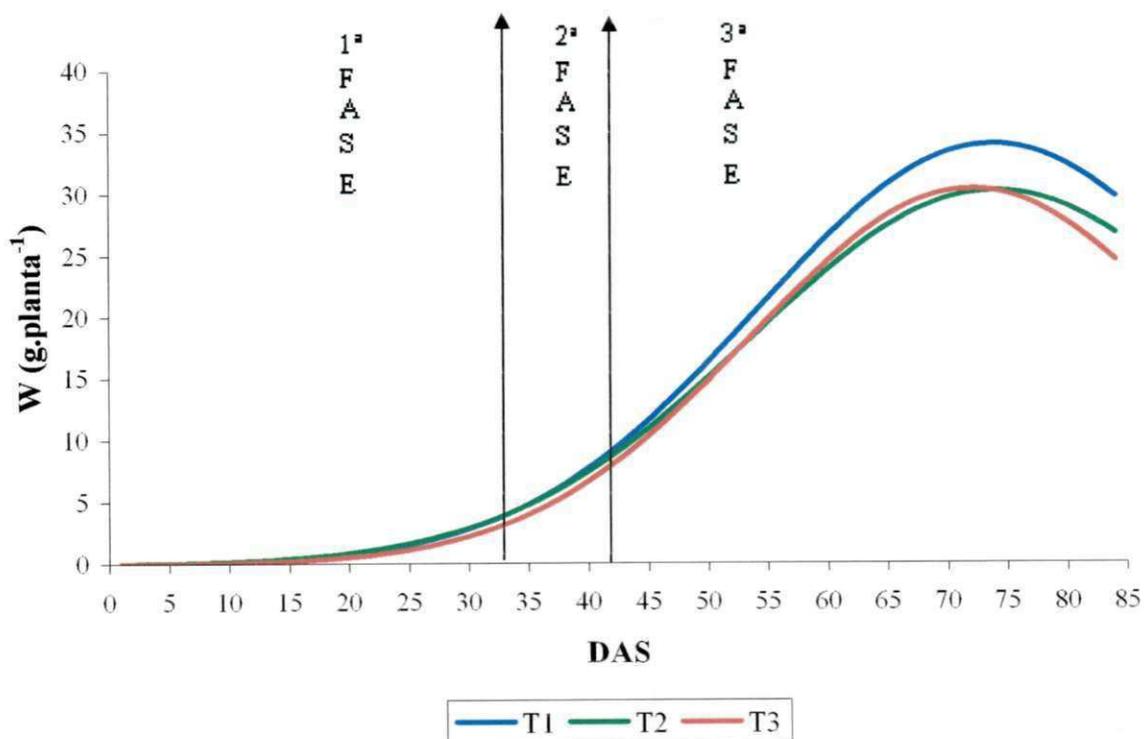


Figura13. Fitomassa seca total, em relação aos dias após a semeadura (DAS), nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento de campo. Lagoa Seca, PB.

#### 4.5.2 Área Foliar

A área foliar do feijoeiro, medida (cm<sup>2</sup>) encontra-se na Figura 14, com a equação de ajuste do tipo:  $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$ .

A área foliar (AF) permite avaliar as condições de rendimento de uma cultura nos aspectos de aproveitamento de irradiação solar fotossinteticamente ativa, o relacionamento da cultura com a energia do meio transpirante, o aproveitamento do gás carbônico do meio, dentre outros. O índice de área foliar (IAF) está relacionado diretamente com a área foliar que, mesmo sendo numericamente diferentes, refletem a mesma eficiência no aproveitamento da luz ou nutrientes do solo (Benincasa, 1988; Souza, 1994).

De acordo com a Figura 14, durante a 1ª Fase, ou fase de germinação ao início da floração, evidencia-se um aumento de AF, uma vez que este órgão busca preparar-se para acumular assimilados, necessários ao suporte das fases subseqüentes. O maior incremento em área foliar para a 1ª Fase do ciclo do feijoeiro, foi obtido aos 30 DAS (952,4 cm<sup>2</sup>, 975,3 cm<sup>2</sup> e 822,3 cm<sup>2</sup>) para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. Após o florescimento, houve um decréscimo da área foliar, justificado pelo reduzido número de folhas das amostras avaliadas e/ou pelo o efeito da senescência parcial e, principalmente, dos manejos contínuos no cultivo.

A tendência das curvas de AF está representada na Figura 15. 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 3046,6 cm<sup>2</sup>, 2390,5 cm<sup>2</sup> e 2291,1 cm<sup>2</sup>, na ordem dos tratamentos, aos 61 DAS, declinando gradativamente até o final do ciclo. O declínio de todas as curvas de AF, a partir dos 68 DAS leva a crer que a senectude das folhas deve ter sobrepujado a emissão de novas folhas.

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

As equações de ajuste para a área foliar seguiram o seguinte modelo, segundo os tratamentos, foram:

$$AF(T1) = 0,0004 + 0,0087DAS + 0,1486(DAS)^2 + 0,0497(DAS)^3 - 0,0006(DAS)^4 \quad (R^2 = 0,81) \quad (9)$$

$$AF(T2) = 0,0028 + 0,0664DAS + 1,1247(DAS)^2 + 0,0094(DAS)^3 - 0,0003(DAS)^4 \quad (R^2 = 0,86) \quad (10)$$

$$AF(T3) = 0,0017 + 0,0393DAS + 0,6666(DAS)^2 + 0,0211(DAS)^3 - 0,0004(DAS)^4 \quad (R^2 = 0,91) \quad (11)$$

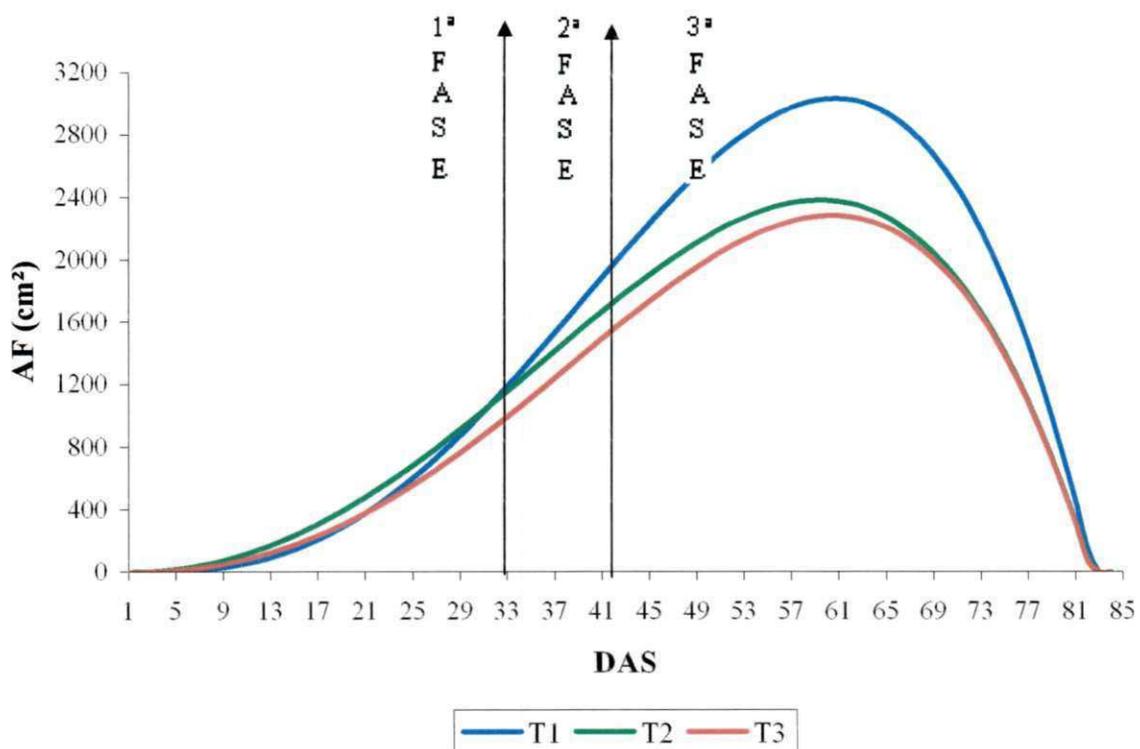


Figura 14. Área foliar, em relação aos dias após a semeadura (DAS), nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento de campo. Lagoa Seca, PB.

#### 4.5.3 Índice de Área Foliar

Por definição, o índice de área foliar (IAF) é a relação entre área foliar total e a área do solo sombreada pelas as folhas. Entretanto, é usual determiná-lo a partir da relação entre a área foliar total e a área do solo disponível para a planta, o que, no caso de culturas agrônômicas é o espaçamento estabelecido.

Na Figura 15 são apresentadas às curvas referentes aos valores de índice de área foliar (IAF) os quais foram crescentes até aproximadamente os 63 DAS, com

decréscimo acentuado a partir desta. A partir da avaliação nos 36 DAS, o IAF do tratamento T1 começou a apresentar uma tendência de ser maior que os outros tratamentos (T2 e T3), porém eles só passaram a ser significativamente diferentes a partir da avaliação dos 45 DAS, mantendo-se assim até o final do ciclo da cultura.

Na primeira fase, germinação ao início da floração, nota-se que os tratamentos apresentavam valores de IAF praticamente semelhantes, o que seria de se esperar, pois os tratamentos ainda apresentavam características semelhantes de umidade do solo e de desenvolvimento da cultura, isto é, o IAF dos tratamentos era praticamente igual.

Aos 42 DAS, período em que a cultura encontrava-se no estágio de florescimento, o valor de IAF atingiu 1,51; 1,37 e 1,25, máximos valores alcançados nessa fase para os tratamentos (T1, T2 e T3), respectivamente.

Segundo Pereira & Machado (1987), a variação temporal da área foliar em geral aumenta até um máximo, onde permanece por algum tempo, decrescendo em seguida, devido à senescência das folhas. Como a fotossíntese depende da área foliar, o rendimento da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo à área foliar permanecer ativa.

Os maiores valores do IAF foram alcançados na 3ª fase, aproximadamente no enchimento das vagens. Os valores máximos foram 2,46; 1,94 e 1,83, obtidos aos 61 (DAS), respectivamente, na ordem dos tratamentos, em todo o ciclo da cultura. Nota-se que, altos valores de IAF (Figura 15), nem sempre estão correlacionados positivamente com o rendimento de grãos. À medida que a área foliar cresce o IAF também cresce, até atingir determinado 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)).

As equações de ajuste para o índice de área foliar seguiram o seguinte modelo, segundo os tratamentos, foram:

$$LAI(T1) = 3,0168 + 7,0618DAS + 0,0001(DAS)^2 + 3,9758(DAS)^3 - 5,067e^{-07}(DAS)^4 \quad (R^2 = 0,81) \quad (12)$$

$$LAI(T2) = 1,9791 + 4,6248DAS + 0,0008(DAS)^2 + 1,1262(DAS)^3 - 2,546e^{-07}(DAS)^4 \quad (R^2 = 0,91) \quad (13)$$

$$LAI(T3) = 1,3504 + 3,1559DAS + 0,0005(DAS)^2 + 1,6904(DAS)^3 - 2,887e^{-07}(DAS)^4 \quad (R^2 = 0,91) \quad (14)$$

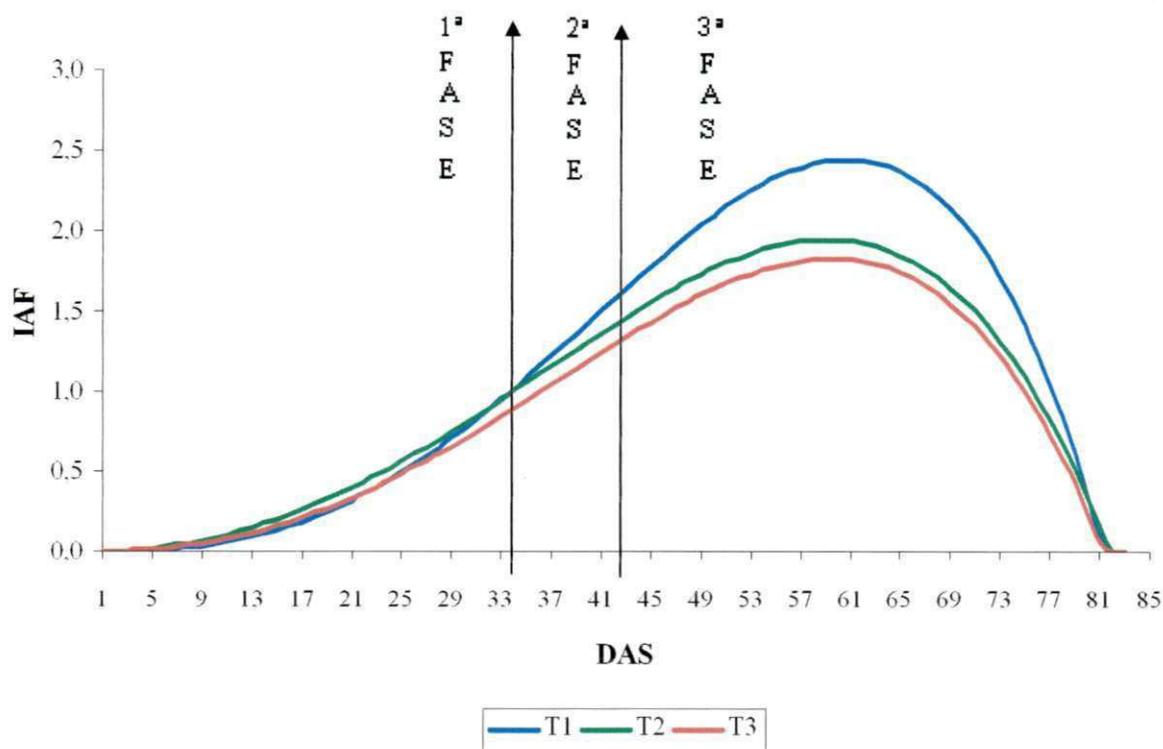


Figura 15. Índice de área foliar, em relação aos dias após a semeadura (DAS), nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento de campo. Lagoa Seca, PB.

#### 4.6 Comportamento da Fitomassa Seca Total em relação aos Graus-Dia Acumulados

O acúmulo da fitomassa seca total ( $W$ ), em razão do somatório de graus-dia nos tratamentos, é apresentado na Figura 16. As curvas de acúmulo de fitomassa total apresentam muita similaridade entre os tratamentos até aos 515 graus-dia acumulados (GDA), o que indica que nessa fase as populações pouco afetaram o padrão da fitomassa da cultura. Quanto à produção, contudo, o momento de estabilização do acúmulo da fitomassa total diferiu entre os tratamentos. No tratamento de maior densidade (T3), o início da estabilização da fitomassa total ocorreu por volta de 815 GDA coincidindo com o tratamento T2, enquanto que, no tratamento T1, com menor densidade de plantas, ocorreu aos 830 GDA (Figura 16).

A diferença é devida à antecipação do período de senescência das folhas inferiores, verificado no tratamento T3, de maior densidade populacional, causada pela menor penetração de luz em relação ao tratamento T1. Pois, segundo Villacorta *et al.*

(1990), estudo em ensaio de feijão irrigado no Paraná, com a cultivar Carioca, semeada a uma baixa densidade de 10 plantas  $m^{-2}$ , observaram que o declínio de W também ocorreu tardiamente aos 1.100 graus-dia acumulados.

Durante a 1ª fase, os valores de GDA apresentam exigências térmicas semelhantes entre os tratamentos, no qual o fator densidade de plantas não foi influenciado.

A partir da 2ª fase, o comportamento diferente na curva de W, foi observado no tratamento T1, em que o acúmulo máximo de W foi retardado, ocorrendo somente no final do ciclo apresenta um pequeno acréscimo em relação aos outros tratamentos. Nessa fase, O período de maior demanda por assimilados, pelos órgãos reprodutivos, ocorreu entre 550 e 830 GDA (Figura 16), correspondendo ao período de 48 a 74 DAS. Nos tratamentos, aos 45 DAS, quando acumulados aproximadamente 523 graus-dia, foram obtidos 11,7 g. planta<sup>-1</sup> de fitomassa total para o tratamento T1, nesta data superou os 10,9 g. planta<sup>-1</sup> e 10,4 g. planta<sup>-1</sup>, dos tratamentos T2 e T3, respectivamente.

O valor máximo de GDA atingido em todo o experimento, foi de 34,2 g. planta<sup>-1</sup>, 30,4 g. planta<sup>-1</sup> e 30,5g. planta<sup>-1</sup>, para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

Na colheita, aos 83 DAS, ou 872 GDA, o valor de fitomassa seca total atingiu 30,6 g. planta<sup>-1</sup> para o tratamento T1, enquanto que nos tratamentos T2 e T3, o valor alcançado foi de 27,5 g. planta<sup>-1</sup> e 25,4 g. planta<sup>-1</sup>, respectivamente. A diferença é explicada pela maior cobertura vegetal do solo, ao longo do período, no tratamento de maior população, e, portanto, com maior interceptação da radiação e taxa fotossintética (Arruda, 1987).

Contudo, apesar das diferenças de produção de fitomassa total observadas, a emergência, o florescimento, o período de enchimento de grãos e a duração do ciclo foram similares em relação a todos os tratamentos (Tabela 8). Pode-se concluir que as durações das fases de desenvolvimento não foram afetadas pelos tratamentos, o que demonstra a confiabilidade da abordagem de graus-dias para a determinação dos estádios fenológicos da cultura.

As equações de ajuste para a fitomassa seca total e graus-dia acumulados seguiram o seguinte modelo, segundo os tratamentos, foram:

$$W(T1) = \exp(-3,33908 + 0,18874GDA - 0,00129(GDA)^2) \quad (R^2 = 0,91) \quad (15)$$

$$W(T2) = \exp(-3,03182 + 0,17655GDA - 0,00012(GDA)^2) \quad (R^2 = 0,87) \quad (16)$$

$$W(T3) = \exp(-4,03816 + 0,20994GDA - 0,00147(GDA)^2) \quad (R^2 = 0,86) \quad (17)$$

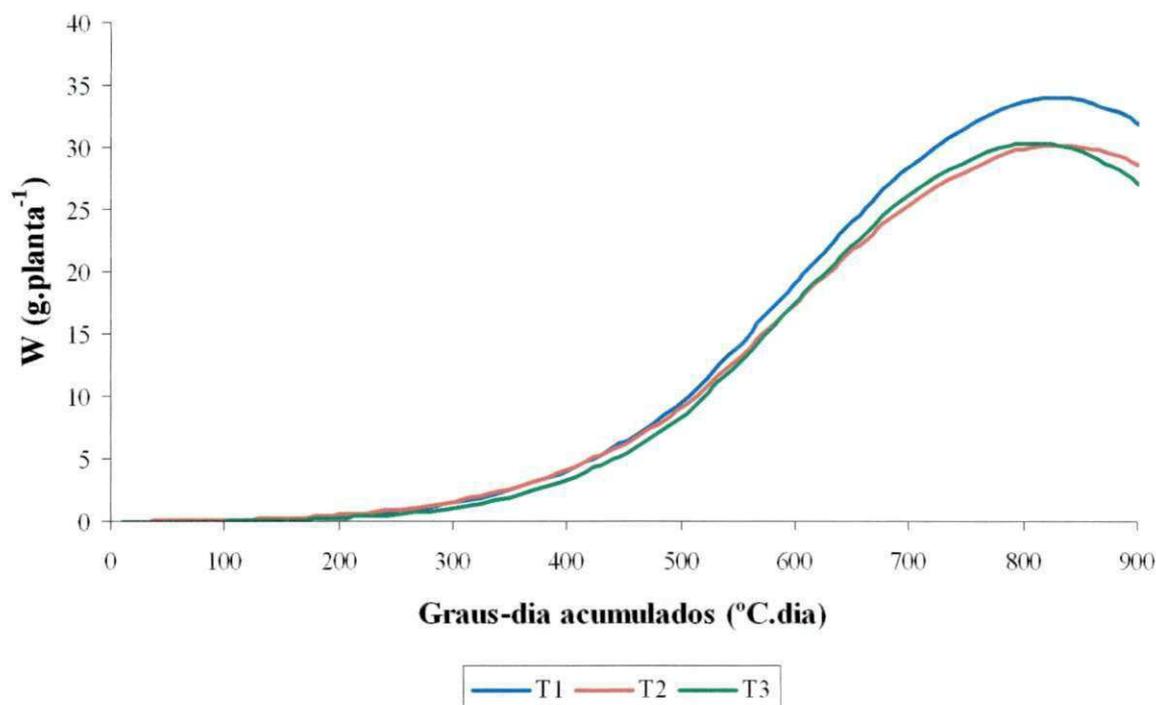


Figura 16. Comportamento da fitomassa seca total em relação aos graus-dia acumulados (GDA), durante o experimento de campo. Lagoa Seca, PB.

#### 4.7 Comportamento do Índice de Área Foliar em relação aos Graus-dia Acumulados

A Figura 17 apresenta a relação entre o IAF com o somatório de graus-dia acumulados (GDA) para o crescimento do feijoeiro no campo, nos três tratamentos. O índice de área foliar da cultura apresentou variação temporal inicialmente lenta, seguida de forte crescimento a partir do início da floração (2ª fase) e queda por ocasião do início da maturidade das vagens. Pode-se observar, na análise estatística (ao nível 5 % de probabilidade), que a variação temporal do IAF foi estatisticamente igual nos tratamentos.

Ainda, pode-se observar que aos 37 DAS, ou seja, na 1ª fase (germinação ao início de floração), quando foram acumulados aproximadamente 452 graus-dia, foram obtidos 1,23 de IAF para o tratamento T1, nesta data superou os 1,17 e 1,05 dos

tratamentos T2 e T3, respectivamente. Essas diferenças entre as curvas de IAF aumentaram a partir dos 39 DAS, intensificando-se ainda mais durante o período reprodutivo da cultura.

O IAF máximo obtido pelas curvas ajustadas, em todos os tratamentos, ocorreu no estágio de desenvolvimento de vagens à maturidade (3ª fase), sendo de 2,46, 1,95 e 1,83 (aproximadamente aos 698-700 GDA), respectivamente, nos tratamentos T1, T2 e T3. Evidenciando decréscimo do IAF máximo do tratamento T2 e T3 em relação aos graus-dia acumulados, ficando o tratamento T1 com os maiores valores.

Embora que, no experimento, o valor máximo de IAF foi encontrado na fase de formação de vagens a maturidade, nos quais esses valores de IAF ficaram dentro dos limites apresentado pela mesma cultivar por Stone *et al.* (1988) citado em Urchei *et al.* (2000), verificaram que os valores máximos do IAF do feijoeiro foram de 2,48, 1,91 e 1,60, encontrados durante a fase de florescimento, em que, no tratamento de menor densidade de plantas há maior disponibilidade de água no solo, as folhas permaneceram verdes por mais tempo e a abscisão foliar foi retardada.

O valor máximo do índice de área foliar (IAF = 2,46) foi observado por ocasião da maturidade das vagens no tratamento T1, aos 62 dias após a semeadura (DAS), quando acumulados 698 graus-dia, momento a partir do qual inicia a diminuição, devido à senescência das folhas pela a translocação dos fotoassimilados da cultura. De acordo com Oliveira & Silva (1990) apud Urchei *et al.* (2000), constataram que o IAF do feijoeiro cresceu com o desenvolvimento da cultura, tendo atingido o valor máximo de 3,73, cerca de 55 dias do ciclo, época em que as plantas encontravam-se no estágio final de florescimento e início da formação das vagens.

As curvas ajustadas do IAF e seus respectivos valores máximos confirmam que o feijoeiro teve melhor desenvolvimento com o tratamento de menor densidade populacional, o qual possibilitou maior expansão e menor abscisão das folhas, implicando elevação do IAF. Concordando com Urchei *et al.* (2000) citado em Jauer *et al.* (2004), que detectaram o máximo IAF nos 58 DAE, durante o florescimento. Considerando o hábito de crescimento, indeterminado tipo III, é possível afirmar que o incremento do IAF até quase o início do enchimento de grãos deu-se pelo aumento do número de folhas e expansão do limbo foliar, e, a partir deste momento, pela redução da emissão de folhas, e pela intensificação da senescência, o IAF diminui.

As equações de ajuste para o IAF e graus-dia acumulados seguiram o seguinte modelo, segundo os tratamentos, foram:

$$IAF(T1) = 3,0168 + 7,0618GDA + 0,0001(GDA)^2 + 3,9758(GDA)^3 - 5,067e^{-07}(GDA)^4 \quad (R^2 = 0,98) \quad (18)$$

$$IAF(T2) = 1,9791 + 4,6248GDA + 0,0008(GDA)^2 + 1,1262(GDA)^3 - 2,546e^{-07}(GDA)^4 \quad (R^2 = 0,95) \quad (19)$$

$$IAF(T3) = 1,3504 + 3,1559GDA + 0,0005(GDA)^2 + 1,6904(GDA)^3 - 2,887e^{-07}(GDA)^4 \quad (R^2 = 0,93) \quad (20)$$

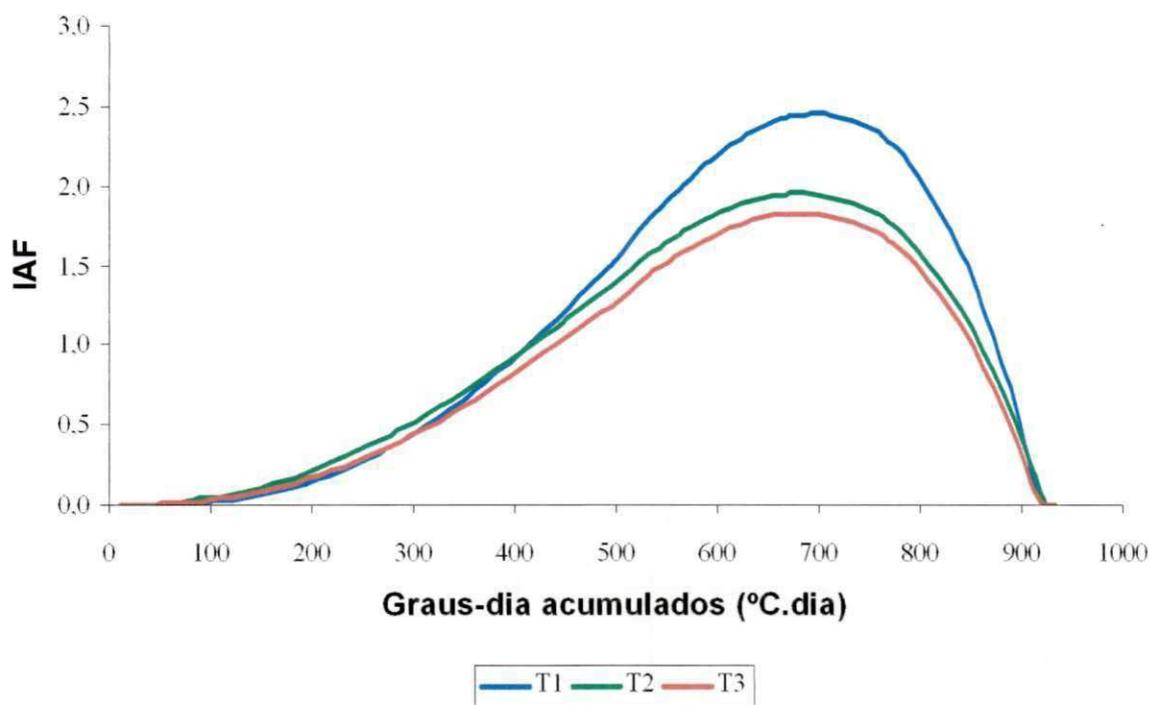


Figura 17. Comportamento do índice de área foliar em relação aos graus-dia acumulados, durante o experimento de campo. Lagoa Seca, PB.

#### 4.8 Comportamento da Fitomassa Seca Total em relação à Irradiação Solar Global

O comportamento da fitomassa seca total (W) em relação a irradiação solar global (Qg) está apresentado na Figura 18.

Em todo o experimento, os maiores valores de W obtidos nos tratamentos foram de 34,2 g.planta<sup>-1</sup>, 30,4 g.planta<sup>-1</sup> e 30,3 g.planta<sup>-1</sup>, para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente (Figura 13). Os maiores valores de W ocorreram provavelmente em virtude de uma associação adequada nos níveis de radiação solar e temperatura do ar com conseqüente aumento de W.

Por sua vez, o acúmulo de W, para as plantas de feijoeiro crescidas no tratamento T1, foi superior aos outros tratamentos, mesmo sendo o de menor densidade de plantas. Normalmente, altas temperaturas estimulam a taxa respiratória, reduzindo, conseqüentemente, o acúmulo de matéria seca (Lopes *et al.*, 1983). Enquanto a radiação solar elevada promove o crescimento vegetativo e aumenta a produção do feijoeiro, sob baixas densidades do fluxo radiante o crescimento e a produção são reprimidas drasticamente (Heisey & Milner, 1965; Magalhães & Montojos, 1971; Almeida *et al.*, 1988a).

O tratamento T3 apresentou o menor valor em unidades de irradiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), com o maior número de plantas por cova. Concordando com (Lopes *et al.*, 1983) apud Plá & Lopes (1991), os mesmos disseram que sob menores níveis de luz, a produção de sementes é reduzida em razão da baixa taxa assimilatória líquida, o que ocasionaria menor produção de carboidratos e, conseqüentemente, menor número de vagens. E, concordando também, com Stobbe *et al.* (1966) apud Plá & Lopes (1991), os mesmos, verificaram que feijoeiros submetidos a temperaturas próximas a  $35^{\circ}\text{C}$  sofrem abortamento quase total de vagens.

De acordo com Mack & Singh (1969), as altas temperaturas, ao estimularem a respiração, reduzem os teores de amido e açúcares, sendo possivelmente a causa do baixo pigmento e da baixa retenção de vagens. Além disso, temperaturas elevadas ocasionam sensível diminuição na capacidade de produção do feijoeiro, pois o excesso de calor não só diminui a percentagem de flores que vingam como também faz decrescer o número de sementes por vagens.

Valores observados de irradiação solar máximos encontrados, para a cultura do feijoeiro foram de  $489 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , obtidos durante a 1ª fase, ou seja, na germinação, provavelmente devem-se às altas temperaturas do ar, uma vez que os níveis de radiação solar são considerados adequados para uma boa taxa fotossintética.

No tratamento T1, a irradiação solar global ( $Q_g$ ) máxima variou de 10,2 a  $12,8 \text{ MJ. m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , na fase de germinação ao início da floração; na de pleno florescimento, de 11,5 a  $13,2 \text{ MJ. m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ; e na fase de formação de vagens a maturidade, de 9,9 a  $12,1 \text{ MJ. m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  (Figura 18).

Os valores de ( $Q_g$ ) obtidos no experimento, durante a 2ª fase, para os tratamentos (T1, T2 e T3) foram de 441, 354 e 534 ( $\text{MJ. m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ), respectivamente, o que poderiam estar associados a menores temperaturas, principalmente as noturnas, que

reduzem a respiração, mas compensando a menor densidade de fluxo radiante, em localidades com menores níveis de radiação e de temperatura. Por outro lado, a alta taxa teórica de produção de matéria seca no tratamento T1 está associada aos altos níveis de radiação solar, e conseqüentemente a altas taxas de fotossíntese, anulando a ação de altas temperaturas do ar presente, que ocasionariam aumento na taxa respiratória total.

As equações de ajuste para a fitomassa seca total e irradiação solar global seguiram o seguinte modelo, segundo os tratamentos, foram:

$$W(T1) = \exp(-3,33908 + 0,18874Qg - 0,00129(Qg)^2) \quad (R^2 = 0,96) \quad (21)$$

$$W(T2) = \exp(-3,03182 + 0,17655Qg - 0,00012(Qg)^2) \quad (R^2 = 0,91) \quad (22)$$

$$W(T3) = \exp(-4,03816 + 0,20994Qg - 0,00147(Qg)^2) \quad (R^2 = 0,90) \quad (23)$$

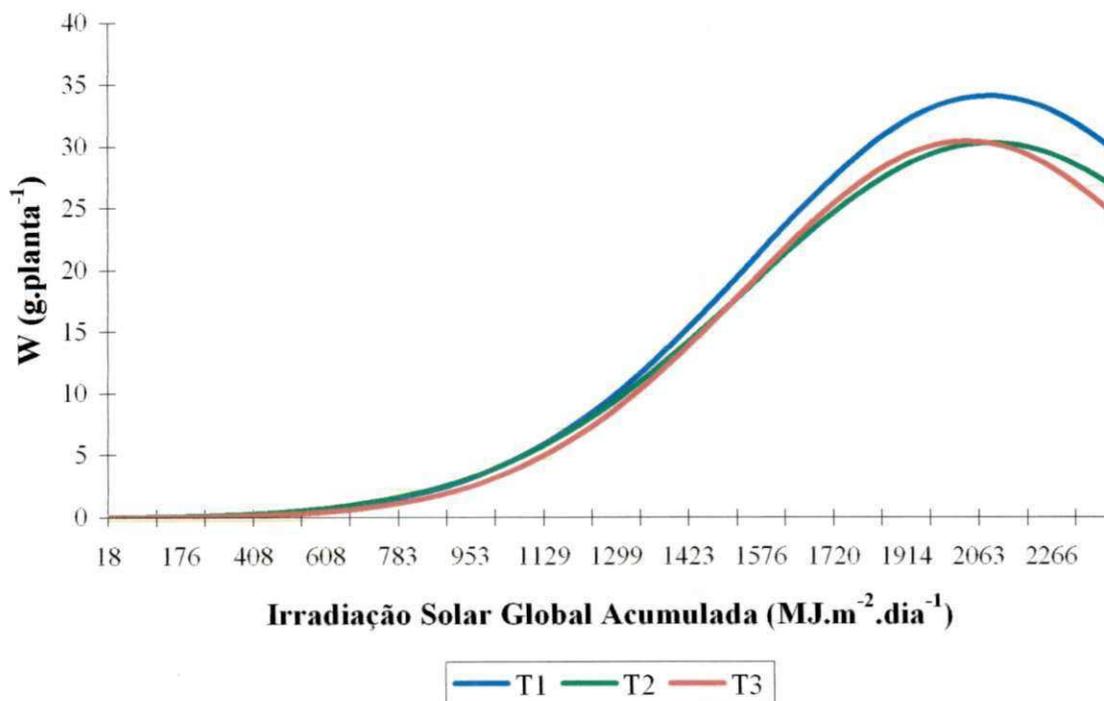


Figura 18. Comportamento da fitomassa seca total em relação à irradiação solar global, durante o experimento de campo. Lagoa Seca, PB.

#### 4.9 Comportamento do Índice de Área Foliar em relação à Irradiação Solar Global

Os resultados da variação do índice de área foliar em relação à irradiação solar global ( $Q_g$ ) ao longo do ciclo da cultura do feijoeiro, para todos os tratamentos são apresentados na Figura 19.

Durante a 1ª fase, pode-se observar que o IAF variou pouco, e os valores de  $Q_g$ , pouco variando entre os tratamentos, sendo seu maior no tratamento T2 de  $890,5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

Na fase seguinte, os valores de irradiação solar variou em torno de  $1070,3 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , quando nesta fase, o maior valor de IAF foi encontrado no tratamento T1 de 1,43, superando os demais tratamentos.

Observa-se que a partir 42 DAS, as curvas de IAF começaram a se diferenciar com o aumento da disponibilidade de energia e o desenvolvimento das plantas devido às densidades de cada tratamento, no qual o consumo hídrico da cultura aumentou de forma contínua até aos 61 DAS, estabilizando-se por volta de 63 DAS, quando acumulados  $1840,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ .

Segundo Leme *et al.* (1994) citado em Galvani *et al.* (2000), a interação entre as plantas (genótipos) e o ambiente (fatores climáticos e edáficos) condiciona a produção agrícola em determinada região. Pode-se afirmar que a produção vegetal está diretamente relacionada com o aproveitamento da energia solar pela cultura, transformada em energia química durante o processo fotossintético (Leme *et al.*, 1994) sendo as folhas principais responsáveis por esta conversão.

A variação do índice de área foliar durante o ciclo de determinada cultura é um dado importante para a determinação da data de semeadura e transplante. Não se considerando a intervenção de outros fatores, as culturas devem ser semeadas de modo que os valores máximos do índice de área foliar (IAF) coincidam com a época de elevada radiação, quando a fotossíntese líquida será máxima. A área foliar e, conseqüentemente, o índice de área foliar (IAF) foi definido inicialmente por Watson (1947a, b) citado em Galvani *et al.* (2000) e representam a unidade de área de folhas por unidade de área de terreno sendo, portanto, adimensional. Sua variação durante todo o ciclo de uma cultura é de extrema importância para que se possa modelar o crescimento (aumento em massa ou volume de certo órgão ou planta como um todo, dentro de um intervalo de tempo) e o desenvolvimento (aparecimento de uma fase da planta) das

plantas e, em consequência, a produtividade e a produção total da cultura (Teruel, 1995). As equações de ajuste para o IAF e irradiação solar global seguiram o seguinte modelo, segundo os tratamentos, foram:

$$IAF(T1) = 3,0168 + 7,0618Q_g + 0,0001(Q_g)^2 + 3,9758(Q_g)^3 - 5,067e^{-07}(Q_g)^4 \quad (R^2 = 0,98) \quad (24)$$

$$IAF(T2) = 1,9791 + 4,6248Q_g + 0,0008(Q_g)^2 + 1,1262(Q_g)^3 - 2,546e^{-07}(Q_g)^4 \quad (R^2 = 0,93) \quad (25)$$

$$IAF(T3) = 1,3504 + 3,1559Q_g + 0,0005(Q_g)^2 + 1,6904(Q_g)^3 - 2,887e^{-07}(Q_g)^4 \quad (R^2 = 0,93) \quad (26)$$

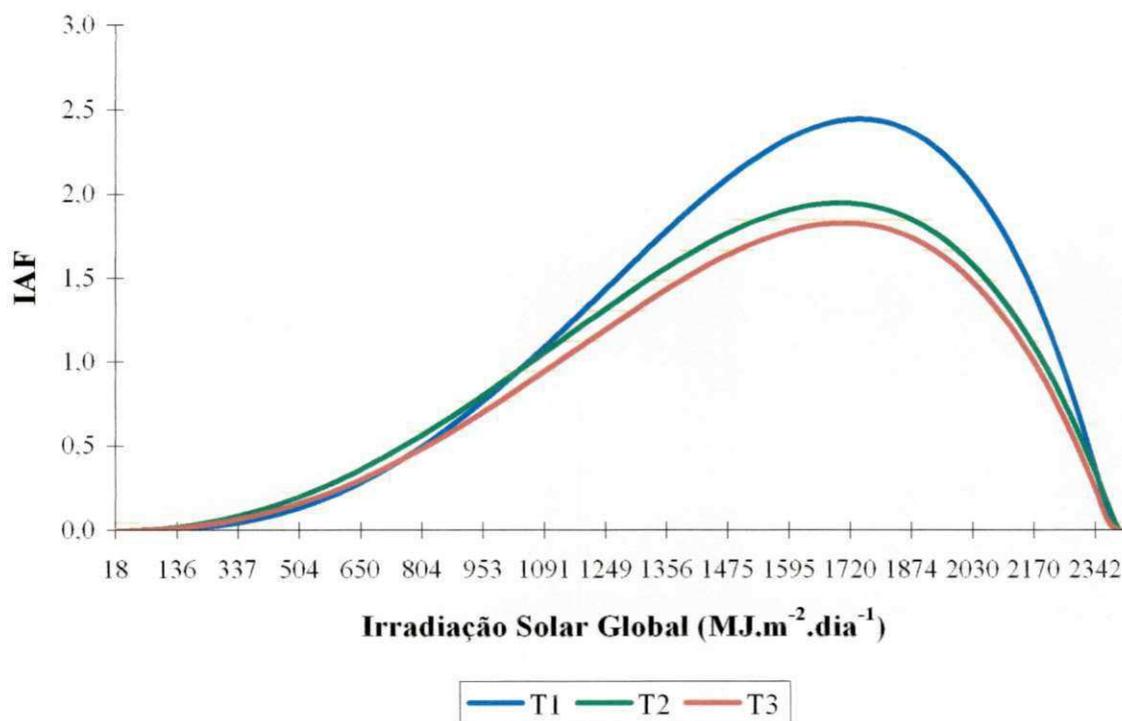


Figura 19. Comportamento do índice de área foliar em relação à irradiação solar global, nas diferentes fases do feijoeiro, durante o experimento de campo. Lagoa Seca, PB.

#### 4.10 Componentes de Rendimento

A análise de variância conjunta dos dados relativos aos componentes de rendimento do feijoeiro durante o experimento de campo, detectou efeito significativo sobre o rendimento de grãos e seus componentes, e todos se mostraram influenciados no fator tratamentos.

Nas Tabelas 7 e 8 encontram-se o resumo das análises de variâncias e as comparações das médias dos dados relativos às variáveis do rendimento estudadas.

#### 4.10.1 Rendimento de Grãos

Conforme se observa na Tabela 7 da análise de variância, o teste F de rendimento de grãos revelou-se significativo ( $P < 0.05$ ) para o fator tratamentos. Não havendo diferença estatística significativa entre os blocos.

Na Tabela 8 são apresentadas às médias dos componentes de rendimento para cada tratamento, durante todo o ciclo da cultura. Pelo o teste de Tukey nota-se que, houve diferença estatística ao nível de probabilidade de 5%, entre os tratamentos no que se refere ao rendimento de grãos. O número de grãos por vagem e o peso de 100 grãos foi estatisticamente iguais nos diferentes tratamentos.

O número de vagens por planta é a variável responsável pela diferença obtida nos diferentes tratamentos entre rendimento de grãos.

O tratamento T3 alcançou a melhor média de rendimento ( $1.700 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) estatisticamente igual ao tratamento T2, que apresentou um rendimento médio de  $1.370 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , diferindo apenas do tratamento T1, com um rendimento médio de  $1.140 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , para a variedade cultivada e estudada. Ainda nesta análise, percebe-se que, o tratamento T2 é igual estatisticamente ao tratamento T1.

Analisando-se ainda a Tabela 8, pode-se observar que, o tratamento T1 proporcionou a menor média de rendimento de grãos conforme o esperado, pois neste tratamento foi utilizada uma menor densidade populacional. Para Kayode & Odulaja (1985) apud Santos & Araújo (2000), em estudos conduzidos com caupi, afirmaram que uma pequena população de plantas pode conduzir a uma significativa redução na sua produtividade, e trabalhos têm demonstrado que o rendimento aumenta (até em certas quantidades) com o aumento da população de plantas.

O maior rendimento de grãos no tratamento T3 foi compensado por sua maior densidade populacional em relação ao tratamento T1. Os resultados de número de vagens por planta justificam a maior produção do tratamento de menor densidade de plantio, apesar de o número de grãos por vagem não ter diferido significativamente entre estes tratamentos (Tabela 8). O período de florescimento e formação de vagens coincidiu com a época de ocorrência das maiores taxas de evapotranspiração de referência do ensaio. Esses resultados concordam com Nóbrega (2000), que em estudos com feijão carioca, encontrou dados de rendimentos de ( $1.839 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) conseguido com quatro plantas por cova e de  $1.258 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , com uma planta por cova.

Os resultados de produção por área e por planta do tratamento T3, em comparação com os demais, não seguiram o comportamento geral sugerido por Gutierrez *et al.* (1994) de aumento do número de vagens por planta e redução da produção por área, à medida que aumenta a densidade populacional. O desempenho, por planta, deste tratamento, foi ligeiramente inferior, porém não significativamente, em relação ao tratamento T2, apesar da maior competição por luz.

De uma maneira geral, verificou-se que o aumento de densidades de plantas por tratamento em um determinado espaçamento entre linhas resultou em maiores rendimentos de grãos, confirmando a importância desses estudos para o aumento da produtividade da cultura adequada para recomendação aos agricultores.

Tabela 7. Análise de variância dos componentes de rendimento do feijoeiro. Lagoa Seca, PB

C.V.	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS			
		VAGENS POR	GRÃOS POR	PESO 100	RENDIMENTO
		PLANTA	VAGEM	GRÃOS	DE GRÃOS
		(n <sup>o</sup> )	(n <sup>o</sup> )	(g)	(Kg.ha <sup>-1</sup> )
Blocos	3	0,18 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	4,2022 <sup>ns</sup>	31.934,09 <sup>ns</sup>
Tratamentos	2	16,3 <sup>**</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	1,5325 <sup>*</sup>	316.445,61 <sup>*</sup>
Resíduo	6	15,5	0,56	1,6414	29.863,85

(\*\*) significativo a 1% de probabilidade; (\*) significativo a 5% de probabilidade; (ns) não significativo (Teste F).

Tabela 8. Médias dos componentes de rendimento do feijoeiro. Lagoa Seca, PB.

TRATAMENTOS	VAGENS POR	GRÃOS POR	PESO DE 100	RENDIMENTO
	PLANTA	VAGEM	GRÃOS	DE GRÃOS
	(n <sup>o</sup> )	(n <sup>o</sup> )	(g)	(kg.ha <sup>-1</sup> )
1	12,5b	5,8 a	20,8 a	1.140 b
2	16,0a	5,6 a	20,6 a	1.370 ab
3	18,9 a	5,7 a	19,7 a	1.700 a
CV (%)	10,7	5,37	6,28	12,31

Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo o Teste de Tukey.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados expostos e discutidos neste trabalho foi possível chegar-se às seguintes conclusões:

1. Dentre os parâmetros meteorológicos a irradiação solar e a temperatura do ar associados a umidade do solo, foram os que mais influenciaram para o crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura.
2. As fases fenológicas do feijoeiro, não foram afetadas quando impostas a diferentes densidades populacionais, o que demonstra a confiabilidade da abordagem de graus-dia para a determinação dos estádios fenológicos da cultura.
3. Independente dos tratamentos estabelecidos em plantas de feijão, o IAF tende a atingir maiores valores na fase de desenvolvimento de vagens à maturidade, fase esta, que determina o maior rendimento da cultura pela captação de energia solar para sua fotossintetização.
4. O auto-sombreamento pode afetar a produção da fitomassa seca, quando submetida a diferentes densidades populacionais, pela influência da temperatura e irradiação solar global;

5. As maiores densidades populacionais impostas no feijoeiro favoreceu a competição por água e luz, refletindo na produção de fitomassa e nas áreas foliares;
6. As maiores produtividades do feijoeiro foram proporcionais ao aumento de suas densidades, devido a um efeito compensatório fotossintético, favorecendo uma maior produção de vagens por planta.

## 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-GALLEGOS, A.; SHIBATA, J.K. Effects of water stress on growth and yield of indeterminate dry bean (*Phaseolus vulgaris* L) cultivars. **Field Crop Res.**, v.20, p.81-93, 1989.

ALMEIDA, M.F.; VON TIESENHAUSEN, I.M.E.V.; AQUINO, L.H. Composição química e consumo voluntário das silagens de sorgo, em dois estádios de corte, girassol e milho para ruminantes. **Ciência e Prática**, v.19, n.3, p.315-321, 1988a.

ALVIN, R & ALVIN. P. de T. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo o milho (*Zea mays*) e pelo o feijão (*Phaseolus vulgaris* ), em culturas exclusivas e consorciadas. **Turrialba**, São José, v.19, p.389-93, 1969.

AMORIM NETO, M. S. ; GOMIDE, R. L. ; SEDIYAMA, G. C. ; BRITO, R. A. L. ; MAGALHÃES, P. C. ; BORGES, J. C. F. Índice de estresse hídrico da cultura do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.23, n.7, p.733-43, 1996.

ARRUDA, H. V. Sobre as necessidades de fileiras de bordadura, em experiências de campo. **Bragantia**, Campinas, v.18, n.1, p.101-106, 1987.

ASPIAZÚ, C. Pronóstico de fases em cultivos de maiz dentado, mediante sumas de temperaturas. **Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires**, 19 (1-2): 61-69, 1971.

AUSTIN, R. B. Effects of environment before harvesting on viability. In: ROBERTS, E. H. (ed.). **Viability of seeds**. Great Britain: Sy Racuse. University Press, p.114-149. 1972.

BASCUR, G.; OLIVA, M. A.; LAING, D. Termometria infrarroja en seleccion de genótipos de frijol (*Phaseolus vulgaris*, L) resistentes a la sequia. I. Bases fisiológicas. **Turrialba**, v.35, p.43-47, 1985a.

\_\_\_\_\_. Termometria infrarroja en seleccion de genótipos de frijol (*Phaseolus vulgaris*, L) resistentes a la sequia. II. Crecimiento y productividad. **Turrialba**, v.35, p.49-53, 1985b.

BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 42p. 1988.

BERGAMASCHI, H., PIRES, J.L.F., SOPRANO, E., CASSOL, B. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.23, n.7, p.733-43, 1988a.

BERGAMASCHI, H.; OMETTO, J.C.; VIEIRA, H.J.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica em feijoeiro. II. Balanço de energia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.7, p.745-757, 1988b.

BERNARDO, S., **Manual de Irrigação**. 6 ed. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 657p: il. 1995.

BERNARDO, S.; SOUSA, E.F.; CARVALHO, J.A. Estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), para as "reas de baixada e de tabuleiros" da região Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes: UENF, 14 p. **Boletim Técnico**. 1996.

BLEIHOLDER, H.; HANSKARL, K.; LANGELÜDDEKE, P.; STAUSS, R. Codificação unificada dos estádios fenológicos de culturas e ervas daninhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.9, p.1423-1429, 1991.

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

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.

BRUNINI, O. Probabilidade de cultivo do milho "safrinha" no Estado de São Paulo. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO SAFRINHA, 4., Assis, 1997. **Anais.** s.l.:s.ed., p.37-55. 1997.

BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; ANDRIOLO, J.L.; MATZENAUER, R.; TAZZO, I.F. Disponibilidade de radiação solar para o cultivo do tomateiro durante o inverno no estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha.** v. 6, n. 1, p. 113-120, 2000.

CALVACHE, A.M.; REICHEARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Efeito de épocas de deficiência hídrica na evapotranspiração atual da cultura do feijão cv. Imbabello. **Sci. Agríc.** v.55, n.3, 1998.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5,n.1, p.89-97, 1997.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS – CIIAGRO. **Temperatura das culturas.** Disponível em: <http://www.iac.br/ciiagro/temperaturasculturas.htm>. Acesso em: 24 de março de 2004.

---

\_\_\_\_\_ **Temperatura das culturas.** Disponível em:  
<http://www.iac.br/ciiagro/temperaturasculturas.htm>. Acesso em: 15 de outubro de 2002.

COPELAND, L. O. **Principles of seed.** Science and Techology. Minnesota: Burges Publishing Company. 369p. 1976.

CORRÊA, R. A. de L., Evapotranspiração e coeficiente de cultura em dois ciclos de produção do maracujazeiro amarelo. **Dissertação de Mestrado**, Piracicaba, p.53, 2004.

COSTA, A.F.S. da. Influência das condições climáticas no crescimento e desenvolvimento de plantas de milho (*Zea mays* L.), avaliadas em diferentes épocas de plantio. **Tese de Doutorado** - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 109p. 1994.

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.

DALMAGO, G.A., BERGAMASCHI, H., BIANCHI, C.A.M., BERGONCI, J. I., COMIRAN, F. Diferenças na disponibilidade de água no solo entre os sistemas de semeadura direta e convencional de milho. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. **Anais, CD – ROM.** Santa Maria, pág. 293-294. 2003.

DAVIS, J.E.; NORMAN, J.M. Effects of shelter and plant water use. **Agric. Ecosystems Environ.**, v. 22-23, p.393-402, 1988.

DIAS-FILHO, M.B. Physiological response of *Solanum crinitum* Lam. to contrasting light enviroments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.8, p.789-796. Ago. 1997.

DI PACE, F.T.; DI PACE, E. L.; CABRAL, J. L. da S. J. Avaliação da estação de crescimento do Sertão, Agreste, Zona da Mata e Litoral Alagoano. In: Congresso

Brasileiro de Agrometeorologia, 11. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1123 – 1128p. 1999

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Roma: FAO, 179p. Irrigation and Drainage Paper, n.24. 1975.

\_\_\_\_\_ **.Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma, FAO, 194p. (Estudio FAO. Riego y Drenaje, 24). 1976.

\_\_\_\_\_ **.Las necesidades de agua de los cultivos**. Rome: FAO, 193p. (Riego y Drenaje, 24). 1977.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, Irrigation and Drainage Paper, n.24. 179p.1979.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, cap.1, p.23-48: Ecofisiologia e fenologia, 2000a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Cultivares de feijão recomendadas para plantio no ano agrícola 1996/97**. Goiânia, 24p. (Informativo Anual das Comissões Técnicas Regionais de Feijão, 4), 1997.

ENGEL, V.L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.3, n.1, p.39-45, jun. 1991.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. Common bean and cowpea. In: FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. (Ed.). **Growth and mineral nutrition of field crops**. New York : M. Dekker, p.280-318, 1991.

FANCELLI, A. L. Valor Nutritivo. In: FANCELLI, A. L. **Cultura do feijão**. Piracicaba: ESALQ, cap.2, p.3-4. 1987a.

\_\_\_\_\_. **A cultura do feijão irrigado**. Piracicaba: FEALQ; ESALQ, Departamento de Agricultura, p.1-24: Aspectos básicos de fisiologia do feijoeiro. 1990a.

\_\_\_\_\_. **Feijão irrigado**. Piracicaba: FEALQ; ESALQ, Departamento de Agricultura, p.7-24: Fenologia e exigências climáticas do feijoeiro. 1990b.

\_\_\_\_\_. **Feijão irrigado**. Piracicaba: FEALQ; ESALQ, Departamento de Agricultura, p.5-22: Fenologia e exigências climáticas do feijoeiro. 1992.

\_\_\_\_\_. **Tecnologia para a produção do feijoeiro**. Piracicaba: SEBRAE, 154p. 1994.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: \_\_\_\_\_. *Produção de milho*. Guaíba: **Agropecuária**, cap.1. p.21-53. 1991.

\_\_\_\_\_. *Milho: ecofisiologia e rendimento*. In: **TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO DE MILHO**, 1., Piracicaba, 1997. **Trabalhos Apresentados**. Piracicaba, 1997. p.157-170.

FERNÁNDEZ, E. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; THIMOTEO, C. M. de S.; ROSOLEM, C. A. Matéria seca e nutrição da soja em razão da compactação do solo e adubação fosfatada. **Científica**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 117-132, 1996.

FIGENBAUM, V., FOLLE, S. M.; SEIXAS, J. M. Influencia do déficit hídrico sobre os componentes de rendimento de três cultivares de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 26(2): 275 – 280, Fevereiro, 1991.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGIANUAL 2002**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, p.348-352: Feijão. 2002.

FUNE & FUA. **Climatología y fenología agrícolas**. II Fascículo Facultad de Agronomía y veterinaria. Corrientes, Argentina, 34-68 p. 1964.

GALLAGHER, H.N.; BISCOE, P.V. Radiation absorption, growth and yield of cereals. **Journal of Agricultural Science**, v.91, n.1, p.47-60, 1978.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; CUNHA, A. R.; KLOSOWSKI, E. S. Estimativa do índice de área foliar e da produtividade de pepino em meio protegido - cultivos de inverno e de verão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.8-13, 2000.

GEPTS, P.; FERNÁNDEZ, F. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol comum (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Cali: CIAT, 10p. 1982.

GUIMARÃES, C. M. Relações hídricas. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F. et al. **Cultura do feijocero comum no Brasil**. Piracicaba-SP: POTAFOS, 786p, p.139-167. 1996.

GUTIÉRREZ, M. A.; LUTH, D.; MOORE, G. A. Factors affecting *Agrobacterium*-mediated transformation in *Citrus* and production of sour orange (*Citrus aurantium* L.) plants expressing the coat protein gene of citrus tristeza virus. **Plant Cell Reports**, New York, v. 16, n. 11, p. 745-753, Sept. 1994.

HEALTH, T.; BARNES, R.; MELTCALFE, D. **Forages**. Ames, Iowa University Press, 4a ed., 643p. 1985.

JONES, H.G. **Plants and microclimate**. Cambridge University Press. p. 238-245, 1983.

KVET, J.; ONDOCK, J.P.; NECAS, J. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P.G. ed. **Plant photosynthetic; manual of methods**. Haia, W.; JUNK, M.V., p.343-349, 1971.

KISH, A.J.; OGLE, W.L. Improving the heat unit system in predicting maturity date of snap beans. **Hortscience**, Virginia, v.15, n.2, p.140-141, 1980.

KRAMER, T.; KOSLOWSKI, T. **Physiology of woody plants**. New York, Academic, 811p. 1979.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego : Academic, 495p.1995.

LAL, R., No-tillage effects on soil properties and maize (*Zea mays* L.) production in Western Nigeria. **Plant and Soil**, Amsterdam, v.40, p.321-331, 1974.

LEME, M.C.J.; DURIGAN, M.E.; RAMOS, A. Avaliação do potencial forrageiro de espécies florestais. IN: SEMINÁRIO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA REGIÃO SUL DO BRASIL, 1., Colombo. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPFF, p.147-155. (EMBRAPA-CNPFF. Documentos, 26). 1994.

LIMA, T.S.O.; MOURA, G.M.; BRITO, P.F.A.; LODI, N.V. **Efeito de épocas de plantio na produção de cultivares de milho**. Rio Branco: EMBRAPA,UEPAE, 4p. (Comunicado Técnico, 20). 1980.

LINACRE, E. T. A note on a feature of leaf and temperature. **Agric. Met.**, 1: 66-72, 1964.

LOPES, N. F., OLIVIA, M. A., MELGES, E., FURTADO, M. H. & FREITAS, J.G. 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., PORTES, T.A., ANDRÉ, R.G.B. Crescimento e conversão da energia solar em *Phaseolus vulgaris* L. submetido a três densidades de fluxo radiante e dois regimes hídricos. **Revista Ceres**, v.33, n.186, p.142-64, 1986.

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

MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; ARRUDA, J. I. F. M. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio através de funções matemáticas ajustadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.6, p.825-833, jun.1982.

MACHADO, R.E.; MATTOS, A. Avaliação do desempenho de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.2, p.193-197, 2000.

MACK, H.J.; SINGH, J.N. Effects of high temperature on yield and carbohydrate composition of bush snap beans. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, St. Joseph, v. 94, p. 60-62, 1969.

MAGALHÃES, C.M. Relações hídricas. In: ARAÚJO (Coord.). **Fisiologia Vegetal**, São Paulo: EPU-EDUSP, p.331-350. 1979.

MAGALHÃES, C.M. Relações hídricas. In: ARAÚJO, R.S. et al. Coords. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira de Pesquisa da Potassa e Fosfato, p.139-67. 1996.

MAGALHÃES, A.A.; MILLAR, A.A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, p.55-60, 1978.

MAGALHÃES, A.A.; MILLAR, A.A.; CHOUDHURY, E.N. **Efeito do deficit fenológico de água sobre a produção de feijão**. Turrialba: Instituto Interamericano de Ciências Agrícola da OEA. Magister Scientiae. Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA, v 29, nº4, p. 269-273, 1979.

MAGALHÃES A.C.; MONTOJOS, J.C. Effect of solar radiation on the growth parameters and yield of two varieties of common beans ( *Phaseolus vulgaris* L.). **Turrialba**, San Jose, v.21, n.2, p.165-168, 1971.

McDERMITT, D.K. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. **HortScience**, 25 (12): 1538-1548, 1990.

MENEZES, J. R. de. Manejo da cultura de feijão: enfoque sistêmico. In: SIMPÓSIO DA CULTURA DE FEIJÃO IRRIGADO, 4., Piracicaba, 2001. **Anais**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, p.35-42. 2001.

MENEZES, D.M.; PINTO, M.M. Influência do fator hídrico no desenvolvimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na baixada Fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 2, p. 383-389, 1967.

MOREIRA, J.A.A.; SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Irrigação. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Ed.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba : Potafos, p.465-522, 1996.

MOTA, F. S. da, **Meteorologia Agrícola**. São Paulo: Nobel, 1983.

NAVES, V.L.; ALVARENGA, A.A. de; OLIVEIRA, L.E.M. de. Comportamento estomático de mudas de três espécies florestais submetidas à diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa. **Ciência e Prática**, Lavras, v.18, n.4, p.408-414, out./dez. 1994.

NÓBREGA, J. Q. Variações na morfofisiologia e no rendimento do feijoeiro submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Dissertação de Doutorado em Recursos Naturais** – UFCG, Campina Grande – PB, 99p. 2000.

NOLDIN, J.A.; MUNDSTOCK, C.M. Rendimento de grãos e componentes de rendimento de três cultivares de milho em duas épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, p.615-620, 1988.

NORMAN, M.J.T.; PEARSON, C.J.; SEARLE, P.G.E. **The ecology of tropical food crops**. 2.ed. Cambridge, Grã-Bretanha : University Press, 430p, 1995.

OLIVEIRA, F. A., SILVA, J. J. S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.3, p.317-22, 1990.

OLIVEIRA, I. P. de; THUNG, M. D. T. Nutrição mineral. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, p.175-212. 1988.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo : Agronômica Ceres, 440p. 1981.

O'TOOLE, J. C.; OZBUN, J. L.; WALLACE, D. H. Photosynthetic response to water stress in *Phaseolus vulgaris*. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.40, p.111-4, 1977.

PACHECO, C.A.P. **Considerações sobre época de semeadura para milho em Dourados, MS**. Dourados: EMBRAPA, UEPAE, 9p. (Comunicado Técnico, 10). 1982.

PANDEY, R. K.; HERRERA, W. A. T.; PENDLETON, J. N. Drought response of grain legumes under irrigation gradient. I: Yield and yield components. **Agronomy Journal**, v.76, p. 549-554, 1984.

PENTEADO, S. R. Poda e condução das frutíferas de caroço (ameixeira, pessegueiro e nectarineira). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 189, p. 44-50, 1997.

PEÑA-CABRIALES, J. J., CASTELLANOS, J. Z. Effects of water stress on N<sub>2</sub> fixation and grain yield of *Phaseolus vulgaris* L. **Plant Soil**, v.152, p.151-55, 1993.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia - Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Agropecuária, 478p. 2002.

PEREIRA, A.R.; MANIERO, M.A.; VILLA NOVA, N.A.; et al. Penman's wind function for a tropical humid climate. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.69-75, 1996.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Campinas : IAC, 33p. (IAC. Boletim Técnico, 114). 1987.

PRETT, S. Comparison of seasonal thermal indices for measurement of corn maturity in a prairie environment. **Canadian Journal of Plant Science**, v.72, p.1157-1162, 1992.

PLÁ, G. P., LOPES, N. F. Estimativa de crescimento e produtividade do feijoeiro pela utilização de modelo matemático-fisiológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 26(2): 275 – 280, Fevereiro, 1991.

RADFORD, P.J. Growth analysis formulae – their use and abuse. **Crop Sci**. Madison, v.7, p.171-175, 1967.

REIS, G. G. dos, & MÜLLER, M. W. Análise de crescimento de plantas; mensuração do crescimento. Belém, Faculdades de Ciências Agrária do Pará. **Informe Didático**, 1. 39p. 1979.

REISSER JÚNIOR, C.; RADI, B.; BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R.; DIDONE, I. Relações entre a umidade relativa do ar dos ambientes de estufa com e sem tela anti-insetos e o ambiente natural. XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria, RS, **Anais**.p. 47, 2003.

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.

RICHTER, D.D.; BARBAR, L.I.; HUSTON, M.A.; JAEGER, M. Effects of annual tillage on organic carbon in a fine-textured udalf: the importance of root dynamics to soil carbon storage. **Soil Science**, Baltimore, v. 48, p. 78-83, 1990.

SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado por pivô central. In: SEMINÁRIO DE QUIMIGACÃO, Barreiras, 1997. **Anais**. São Paulo: DowElanco, p.25-34. 1997.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. *Plant physiology*, 3.ed. Belmont, Califórnia: **Wadsworth publishing Company**. 540p. 1985.

SALTON, J. C., MIELNICZUK, J., SÁ, J.C.M. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um podzólico vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.313-319, 1995.

SANTOS, C. A. F.; ARAÚJO, F. P. Produtividade e morfologia de genótipos de caupi em diferentes densidades populacionais nos sistemas irrigado e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V.32, n.10, p.1977-1984, out.2000.

SANTOS, J. B. dos; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A. da; COSTA, L. C. Captação e aproveitamento da radiação solar pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.147-153, 2003.

SAKAI, E.; BRUNINI, O.; 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, p.370-375. 1987.

SÃO PAULO. Comissão Estadual de Sementes Mudas (CESM). **Padrão de sementes de grandes culturas**. São Paulo: CESM-SP, n.p. 1986.

SCHMIDT, S.S.; BARCELLOS, L.F.; HAINES, J.L.; BOYLSTON, F.; ROGALA, A.; RIMMLER, J.B.; VANCE, J.M.; LAI, E.; MARTIN, E.; LINCOLN, R.R.;

OKSENBERG, J.R.; HAUSER, S.L.; PERICAK-VANCE, M.A. **Biomechanical evaluation of fracture fixation methods**. 1994. Online. Disponível na Internet: <http://www.Guide.stanford.edu/publication/dev7.html> Acesso em: 18 maio. 2003.

SIDIRAS, G.V.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Lotossolo Roxo distrófico (Oxisol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 103-106, 1983.

SILVA, L.C.; BELTRÃO, N.E.M.; AMORIM NETO, M.; Análise de crescimento de comunidades vegetais. Campina Grande, p.46, (EMBRAPA – CNPA – **Circular Técnica**, 34), 2000.

SINGH, S.P. Selection for water-stress tolerance in interracial populations of common bean. *Crop Science*, Madison, v.35, p.118-124, 1995.

SLUSZZ, T.; RIBEIRO, N.D.; MEDEIROS, S.L.P.; A. FILHO, CARGNELUTTI. **Variabilidade genética para duração de ciclo. ii - feijão carioca**. In: XXXV REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO FEIJÃO. **Anais...**, Porto Alegre, 2003.

SOUZA, F.R.S. de. Estabilidade de cultivares de milho (*Zea mays* L.) em diferentes épocas e locais de plantio de Minas Gerais. Lavras, **Dissertação de Mestrado** - Escola Superior de Agricultura de Lavras. 80p., 1989.

SOUZA, C. B. Estudos de parâmetros morfológicos na cultura do algodoeiro herbáceo em condições diferenciadas de irrigação no Vale do Assu – RN. DCA/CCT/UFPB, Campina Grande, (**Dissertação de Mestrado**), 1994.

\_\_\_\_\_. Necessidades hídricas, crescimento e desenvolvimento do abacaxizeiro nos tabuleiros de Santa Rita-PB. **Tese de Doutorado**. p.23-24. 2003.

SOUZA, A.B. de; ANDRADE, M.J.B. de; MUNIZ, J.A. Altura de planta e componentes do rendimento do feijoeiro em função de população de plantas, adubação e calagem. **Ciênc. agrotec.**, Lavras. V.27, n.6, p.1205-1213, nov./dez., 2003

SOUZA, M. J. H.; RIBEIRO, A.; LEITE, F. P.; ZOLNIER, S. Variação horária da temperatura do ar e da umidade do ar em sete localidades da região do Vale do Rio Doce – MG. XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria, RS, **Anais...** p. 129-130, 2003.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. **Irrigação do feijoeiro**. Goiânia: CNPAF/EMBRAPA, 31p. (Circular Técnica, 20). 1986.

\_\_\_\_\_. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.3, p.474-81, 2001.

STONE, L.F., MOREIRA, J.A.A., SIVA, S.C. 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.

SUDMEYER, R.A.; SCOTT, P.R. Characterisation of a windbreak system on the south coast of western Austrália. 1. Microclimate and erosion. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.42, p. 703-715, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Redwood City: The Benjamin/Cummings., 565p. Growth and tropisms, p.407-412. THOMÉ, V.M.R, 1991.

TANNER, C.B. Measurement of evapotranspiration. In: HAGAN, R. M.; HAISE, H. R.; EDMINSTER, T. W., eds, **Irrigation of agricultural lands**. Madison. p.320-29. 1967.

TERUEL, D.A. Modelagem do índice de área foliar da cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos. Piracicaba: USP/ESALQ., 93p. **Dissertação de Mestrado**. 1995

URCHEI, M.A.; RODRIGUES, J.D.; STONE, L.F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p. 497-506, mar. 2000.

WALLACE, D.H. & MUNGER, H.M. Studies of 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, 1996.

WANG, J.Y. A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology*, Washington, v.41, n.4, p.785-790, 1960.

WARREN WILSON, J.; HAND, D.W.; HANNAH, M.A. Light interception and photosynthetic efficiency in some glasshouse crops. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.43, n.248, p.363-373, 1992.

WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. *Advances in Agronomy*. New York, v.4, p.141-145, 1952.

WHATLEY, J.M.; WHATLEY, F.R. **A luz e a vida das plantas**. São Paulo: EPU-EDUSP, 101p. (Temas de Biologia, 30). 1982.

WILLIAMS, R.R. Factors affecting pollination in fruit trees. In: **Physiology of tree crops**, Academic Press, London, p. 193-207, 1970.

VALÉRIO, C. R.; ANDRADE, M. J. B. de; FERREIRA, D. F. Comportamento das cultivares de feijão aporé, carioca e pérola em diferentes populações de plantas e espaçamentos entre linhas. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.23, n.3, p.515-528, jul./set., 1999.

VIEIRA, C. Cultura do feijão. 2.ed. Viçosa: **Imprensa Universitária da UFV**, p.39-54: Adubação mineral, 1983.

VIEIRA, M.J. Propriedades físicas do solo. In: IAPAR. (Londrina, PR). **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina, p. 19-32. (IAPAR. Circular, 23). 1981.

VIGLIERCHIO, D. R., WENT, P. W., MÜLLER, L. Plant growth under controlled conditions. IX. Growth and fruiting of the Kentucky Gonder bean (*Phaseolus vulgaris*) **American Journal of Botany**, Lawrence, v.44, p.449-53, 1957.

VILLACORTA, A.; GUTIERREZ, A.P.; GUIMARÃES, M.F.; CARVAJAL, B.L.P.; MIGLIORANZA, E. A model of dry bean growth and development: cultivar Carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.3, p.365-370, mar. 1990.

VOLPE, C.A. Princípios básicos para a instalação e uso de quebra-ventos e arborização em propriedades agropecuárias. In: **SIMPÓSIO SOBRE ECOSSITEMA DE PASTAGENS**, 3, 1997, Jaboticabal: FCAV/UNESP, p. 112-136. 1997.