

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

ANÁLISE DE CRESCIMENTO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO FEIJÃO  
(*Phaseolus vulgaris* L.): COMPARAÇÃO DE ALGUNS PARÂMETROS  
OBSERVADOS COM OS SIMULADOS PELO MODELO RAMS

JOSÉ ALBERTO PONTES DE ARAÚJO

CAMPINA GRANDE – PB

Dezembro/2000

JOSÉ ALBERTO PONTES DE ARAÚJO

ANÁLISE DE CRESCIMENTO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.): COMPARAÇÃO DE ALGUNS PARÂMETROS OBSERVADOS COM OS SIMULADOS PELO MODELO RAMS

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento às exigências para a obtenção do Grau de Mestre

Área de Concentração: Meteorologia Agrícola e Micrometeorologia  
Sub-Área: Agrometeorologia

RENILSON TARGINO DANTAS

Orientador

Campina Grande, Pb  
2000

## FICHA CATALOGRÁFICA

551.573.11

A663a

Araújo, José Alberto Pontes

Análise de crescimento e evapotranspiração do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): comparação de alguns parâmetros observados com os simulados pelo modelo RAMS / José Alberto Pontes de Araújo. Campina Grande: UFPB, 2000.

97p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba.

1. Evapotranspiração
2. Análise de crescimento
3. Meteorologia

Palavras chaves: EVAPOTRANSPIRAÇÃO

FEIJÃO

RAMS

ANÁLISE DE CRESCIMENTO

**DIGITALIZAÇÃO:**

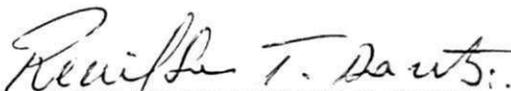
**SISTEMOTECA - UFCG**

JOSÉ ALBERTO PONTES DE ARAÚJO

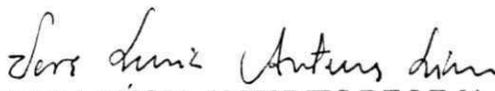
ANÁLISE DE CRESCIMENTO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.): COMPARAÇÃO DE ALGUNS PARÂMETROS OBSERVADOS COM OS SIMULADOS PELO MODELO RAMS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16/12/00

BANCA EXAMINADORA

  
Dr. RENILSON TARGINO DANTAS  
Universidade Federal da Paraíba

  
Dra. CÉLIA CAMPOS BRAGA  
Universidade Federal da Paraíba

  
Dra. VERA LÚCIA ANTUNES DE LIMA  
Universidade Federal da Paraíba

## DEDICATÓRIA

• Aos meus eternos amigos: **Ana Mônica, Ewerton e Fábio** pelos laços de amizade conquistados ao longo desses anos e pelo companheirismo, carinho, apoio e incentivo, principalmente nas horas mais difíceis, e por terem me ensinado que o mais importante em tudo o que fazemos é vencer nossas próprias limitações.

Dedico

• Aos grandes companheiros pela jornada da vida **Aristóteles (Tota) Agra** (in memórian) e **Miriam Agra** pela grande amizade, apoio e confiança conquistados ao longo desses anos.

Ofereço

*“Os ideais que iluminaram meu caminho, e repetidas vezes, me renovaram a coragem para enfrentar a vida foram a perseverança e o prazer pela vida que levou-me até aqui! Talvez o resultado mais valioso de toda a educação seja a habilidade de levar-se a fazer aquilo que tem de ser feito, quando tem de ser feito, quer se goste ou não; é a primeira lição que devia ser aprendida; e, por mais cedo que o aprendizado de um homem comece, é provavelmente a última lição que ele aprende inteiramente.”*

**Thoma Henry Huxley**

### **Aos Mestres**

*“ Àqueles que foram nossos mestres e amigos, os nossos mais sinceros agradecimentos;*

*Àqueles que se limitaram a ser apenas professores, nosso respeito e compreensão;  
E, àqueles que não souberam ser nem professores, nem amigos, a nossa esperança de que no futuro consigam compreender o significado das palavras dedicação e humildade.”*

## HOMENAGEM

- *Aos meus avós **José Francisco & Martiliana**, (in memoriam), nascidos e criados no campo, e que dedicaram suas vidas à terra e pela terra.*

- *Aos meus pais, **José Francisco & Elaine Pontes** (em especial), pela dedicação e sacrifício, e pela oportunidade de poder realizar este trabalho. Meu muito obrigado!*

- *Aos meus irmãos, pelo apoio e incentivo.  
Ao grande amigo **Ewerton** pela amizade e ajuda na minha dissertação, pois sem ele este trabalho não teria sido realizado.*

*A **Bianca, Beathriz, Valentin, Allan, Belo, Diogo & Diego***

*Que pelo carinho e doçura, contribuíram para que as longas horas de estudo e pesquisa se transformassem em momentos de alegrias.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por dar-me saúde e força para superar as dificuldades e vencer os obstáculos da vida, em busca de novas conquistas.

Ao Curso de Mestrado em Meteorologia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pela estrutura didático-científica.

Ao Conselho Nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo.

À EMEPA (Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba), divisão de Lagoa Seca, na pessoa de José Ivan Granjeiro (coordenador) pela autorização do experimento, e aos funcionários José Valdes, Maria Selma de Farias Silva e Sebastião Lino da Silva e aos seus filhos José Jefferson e em especial a Jonas Neto, que pela inocência e doçura contribuíram para que as longas horas no campo tornassem em momentos de grandes alegrias.

Ao professor Dr. Renilson Targino Dantas pela sua dedicação, paciência, ajuda, incentivo e fundamental orientação desde a elaboração do projeto de pesquisa até a revisão final deste trabalho.

Aos funcionários Enga. Eyres Diana Ventura Silva, Miriam Carmen Costa e, em especial, a Divanete Cruz Rocha, pela atenção, assistência e gratificante colaboração.

Às amigas Maria do Socorro Martins, Martinha Gonçalves, Maria das Graças, Adetiv

e Gomes, Márcia Quirino, Lucia Soares, Lurdinha, Inêz, Ceiça e a todos os funcionários do restaurante universitário pela amizade e apoio ao longo desses anos.

Aos meus amigos, Fabrício, Arthur, Hailton, Paula, Ramon, Romildo, Geovanes Antônio, Nielza, Ionilda Sabino, Maria Jose Brito, Georgete Maria Dias, Paulo, Nadja e Carlos Roberto Almeida que sempre estiveram presentes, em especial a Odimar, Evilacio Junqueira, Werônica, Daisy e Maria José Fernandes e a todos aqueles que, mesmo distantes, compartilharam deste ideal, incentivando-me a vencer todos os obstáculos durante a realização deste trabalho.

A Universidade Estadual da Paraíba, em especial ao diretor e vice-diretor do Centro de Tecnologia José Lamartine e Fátima Nascimento e aos professores do Departamento de Física Edna Gomes, Maria Ângela Gama pela gratificante e valiosa colaboração na minha formação profissional e científica.

Ao Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola pela autorização e colaboração na pesagem e secagem das amostras durante toda coleta dos dados.

Aos professores e amigos Adilson Wagner Gandu (USP), José Eduardo Prates (SIMEPAR) e Raffi Agop Sismanoglu (FURNAS) pela força, incentivo e orientação na utilização do modelo RAMS, e a Socorro Pereira do Departamento de Educação (UFPB), Luís Mendes do Departamento de Matemática (UFPB).

## SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE SÍMBOLOS	i
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	viii
SUMMARY	ix
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1. Influência dos Elementos Meteorológicos no Crescimento e Desenvolvimento da Cultura	03
2.1.1 Temperatura	03
2.1.2 Umidade relativa	03
2.1.3 Precipitação	05
2.1.4 Vento	06
2.1.5 Irradiação	07
2.1.6 Insolação	07
2.2. Análise de Crescimento da Cultura	08
2.3. Evapotranspiração da Cultura	11
2.4. Utilização do RAMS na Interação Solo-Planta-Atmosfera	16
2.4.1. Estimativa dos Fluxos de Calor Latente e Sensível a Partir da Temperatura do Solo	19
2.4.2. Impacto da Heterogeneidade da Umidade na Superfície aos Fluxos de Calor de Mesoescala	20

2.4.3. Estimativa Regional dos Fluxos de Calor e Umidade Acima do Dossel a Partir de Dados de Ar Superior e de Superfície	21
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>22</b>
3.1. Localização e Características Climáticas	22
3.2. Solo e Características Experimentais	23
3.3. Cultura	26
3.3.1. Exigências Edafoclimáticas	27
3.3.2. Tratos Culturais	28
3.4. Instrumentos Utilizados	28
3.5. Análise de Crescimento da Cultura	29
3.5.1 Características Avaliadas	31
3.5.2 Sistemática de Coleta de Dados	31
3.6. Estimativa da Evapotranspiração	32
3.7. Experimento Com o RAMS	34
3.7.1. Processos Físicos	35
3.7.2. O modelo de Interação Solo-Vegetação-Atmosfera	36
3.7.3. O modelo de Interação Vegetação-Atmosfera	38
3.7.4. Fluxo na Camada Limite Superficial	44
3.7.5. Fluxo de Calor Sensível	44
3.7.6. Fluxo de Calor Latente	45
3.7.7. Fluxo de Momentum	46
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>48</b>
4.1. Análise dos Parâmetros Meteorológicos	48
4.1.1. Temperatura do Ar	48
4.1.2. Umidade Relativa do Ar	50

4.1.3. Precipitação e Irrigação	51
4.1.4. Irradiação Solar Global	53
4.1.5. Insolação	54
4.1.6. Velocidade do Vento	55
4.1.7. Umidade do Solo	57
4.1.8. Temperatura do Solo	59
4.2. ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DA CULTURA	61
4.2.1. Área Foliar	61
4.2.2. Índice de Área Foliar (IAF)	62
4.2.3. Taxa de Assimilação Líquida (TAL)	64
4.2.4. Taxa de Crescimento Relativo (TCR)	66
4.2.5. Taxa de Crescimento Absoluto (TCA)	67
4.3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO	69
4.3.1. Evapotranspiração Potencial (EP)	69
4.3.2. Evapotranspiração Real (ETR)	70
4.4. SIMULAÇÃO DA TAXA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO, TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA PELO MODELO RAMS	72
4.4.1. Estimativa Diária da Taxa de Evapotranspiração	72
4.4.2. Estimativa Diária da Taxa de Temperatura	75
4.4.3. Estimativa Diária da Taxa de Umidade Relativa	75
4.5. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS DADOS SIMULADOS E OBSERVADOS SOBRE A REGIÃO EM ESTUDO	77
4.6. SIMULAÇÃO NA LOCALIDADE DE LAGOA SECA	80
4.7. PRODUTIVIDADE DA CULTURA	81
5. CONCLUSÕES	82

## LISTA DE SIMBOLOS

### Latinos

Símbolo	Parâmetro	Unidade
AD	Área do Disco	cm <sup>2</sup>
AF	Área Foliar	cm <sup>2</sup>
C	Concentração de Dióxido de Carbono	Adimensional
C <sub>H</sub>	Fluxo de Calor Sensível	W.m <sup>-2</sup>
C <sub>p</sub>	Calor Específico do Ar á Pressão Constante	J.m <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
C <sub>v</sub>	Capacidade Térmica do Dossel	J.m <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
C <sub>v</sub>	Capacidade Térmica do Dossel Vegetativo	J.m <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
C <sub>w</sub>	Capacidade Calorífica da Água	Jm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
D	Déficit Hídrico	Mm
DAS	Dias Após a Semeadura	Dia
dM	Condutância Estomatal Mínima	Cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
dm	Condutância Estomatal Máxima	Cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
ds	Condutância Estomatal	Cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
e	Pressão Parcial do Vapor de Água	mm.hg
ECA	Evaporação do Tanque Classe A	mm
Es	Evaporação Potencial do Solo	mm
E <sub>m</sub>	Evapotranspiração Máxima	mm.dia <sup>-1</sup>
E <sub>o</sub>	Evapotranspiração de Referência	mm.dia <sup>-1</sup>
ETP	Evapotranspiração Potencial	mm
ETR	Evapotranspiração Real	mm
g	Aceleração da Gravidade	m.s <sup>-2</sup>
H <sub>v</sub>	Fluxo de Calor Sensível da Vegetação	W.m <sup>-2</sup>
I	Irrigação	mm
IAF	Índice de Área Foliar	Adimensional

<b>K</b>	Constante de Proporcionalidade	Adimensional
<b>K</b>	Constante de Von-Karman	Adimensional
<b>KP</b>	Coeficiente do Tanque	Adimensional
<b>L</b>	Fluxo de Calor Latente	$W.m^{-2}$
<b>M</b>	Momentum	Adimensional
<b>N</b>	Insolação Máxima	Horas
<b>n</b>	Insolação Diária	Horas
<b>NF</b>	Número de Folhas	Adimensional
<b>P</b>	Precipitação	mm
<b>PD</b>	Peso dos Discos	<b>g</b>
<b>PTF</b>	Peso Total das Folhas	<b>g</b>
<b>qav</b>	Umidade Específica do Ar na Interface Vegetação- Atmosfera	$g.g^{-1}$
<b>r</b>	Refletividade	Adimensional
<b>Rg</b>	Irradiação Global	$W.m^{-2}$
<b>Ri</b>	Irradiação Solar Incidente em Ondas Longas	$W.m^{-2}$
<b>Ri</b>	Número de Richardson	Adimensional
<b>Rn</b>	Balanco de Irradiação	$W.m^{-2}$
<b>Rnss</b>	Saldo de Radiação Sobre o Solo Sombreado	$W.m^{-2}$
<b>Rnsv</b>	Saldo de Radiação Sobre o Solo sem Vegetação	$W.m^{-2}$
<b>Rnv</b>	Saldo de Radiação Sobre a Vegetação	$W.m^{-2}$
<b>Rs</b>	Irradiação Solar Incidente em Ondas Curtas	$W.m^{-2}$
<b>SR</b>	Saldo de Radiação Solar	$W.m^{-2}$
<b>Ta</b>	Temperatura média Diária	$^{\circ}C$
<b>TAA</b>	Taxa de Assimilação Aparente	$g.dm^{-2}.dia^{-1}$
<b>TAL</b>	Taxa de Assimilação Líquido	$g.dm^{-2}.dia^{-1}$
<b>TCA</b>	Taxa de Crescimento Absoluto	$g.dia^{-1}$
<b>TCR</b>	Taxa de Crescimento Relativo	$g.g^{-1}.dia^{-1}$
<b>Ts</b>	Temperatura do Solo	$^{\circ}C$
<b>Tss</b>	Temperatura do Solo Sombreado	$^{\circ}C$

T <sub>ss</sub>	Temperatura do Solo Sombreado	K
T <sub>v</sub>	Temperatura da Vegetação	K
W	Velocidade do Vento	m.s <sup>-1</sup>
UR	Umidade Relativa	%
W	Velocidade do Vento	Km.dia <sup>-1</sup>
Z <sub>o</sub>	Parâmetro de Rugosidade	M

**Gregos**

Símbolo	Parâmetro	Unidade
$\Delta$	Tangente à Curva de Saturação de Vapor	K.pa°C <sup>-1</sup>
$\gamma$	Constante Psicométrica	K.pa°C <sup>-1</sup>
$\sigma$	Constante Stefan-Boltzman	Cal.cm <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>
$\phi$	Latitude Geocêntrica	Graus
$\delta$	Declinação Solar	Graus
$\mu$	Fração do Solo Sombreado	%
$\alpha_m$	Albedo Médio Entre o Solo Nú e o Sombreado	Adimensional
$\alpha_v$	Albedo da Vegetação	Adimensional
$\alpha_n$	Albedo do Solo Nú	Adimensional
$\varepsilon_s$	Emissividade do Solo	Adimensional
$\varepsilon_v$	Emissividade da Vegetação	Adimensional
$\rho_a$	Densidade do Ar	Kg.m <sup>-3</sup>
$\rho_w$	Densidade Volumétrica da Água	Kg.m <sup>-3</sup>
$\psi$	Potencial Hídrico Médio do Solo	M
$\Phi_H$	Função de Correção	Adimensional
$\theta_r$	Temperatura no Primeiro Nível de Referência	K
$\theta_v$	Temperatura no Interior da Interface Vegetação – Atmosfera	K
$\bar{\theta}$	Temperatura Média na Interface Vegetação- Atmosfera	K

## LISTA DE TABELAS

	Pág.
TABELA 3.1 – Características Físicas do Solo.	25
TABELA 4.1 – Produtividade da Cultura de Feijão (Kg/ha).	81

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 3.1 – Localização geográfica do estado da Paraíba e a cidade de Lagoa Seca.	23
FIGURA 3.2 – Distribuição dos tratamentos nos respectivos blocos da área cultivada.	24
FIGURA 4.1 – Temperatura do ar médias diárias durante o ciclo da cultura.	49
FIGURA 4.2 – Umidade relativa do ar médias diárias durante o ciclo da cultura.	51
FIGURA 4.3 – Totais de precipitação e irrigação durante o ciclo da cultura.	52
FIGURA 4.4 – Irradiância solar global médias diárias durante o ciclo da cultura.	54
FIGURA 4.5 – Insolação durante o ciclo da cultura.	55
FIGURA 4.6 – Velocidade do vento médias diárias durante o ciclo da cultura.	57
FIGURA 4.7 – Umidade do solo médias diárias durante o ciclo da cultura.	59
FIGURA 4.8 – Variação diária da temperatura média do solo.	60
FIGURA 4.9 – Área foliar durante o ciclo da cultura.	62
FIGURA 4.10 – Índice de área foliar durante o ciclo da cultura.	64
FIGURA 4.11 – Taxa de assimilação líquida ao longo do ciclo vegetativo.	65
FIGURA 4.12 – Taxa de crescimento relativo ao longo do ciclo vegetativo.	67
FIGURA 4.13 – Taxa de crescimento absoluto ao longo do ciclo vegetativo.	68
FIGURA 4.14 – Comportamento da evapotranspiração potencial (ETP), durante a estação de cultivo.	70
FIGURA 4.15 – Evapotranspiração real (ETR), durante a estação de cultivo.	71
FIGURA 4.16 – Simulação de 24 horas da evapotranspiração para os tratamentos 1(a), 2(b), 3(c), 4(d), sobre a cultura de feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.), no dia 26 de julho de 1999.	74

- FIGURA 4.17 – Simulação da umidade relativa para os tratamentos 1(a), 2(b), 3(c), 4(d), sobre a cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), no dia 26 de julho de 1999. 76
- FIGURA 4.18 – Comparação entre os dados observado e simulado da umidade relativa. 78
- FIGURA 4.19 – Comparação entre os dados observado e simulado da temperatura. 78
- FIGURA 4.20 – Comparação entre os dados observado simulados da evapotranspiração. 79

## RESUMO

O experimento foi realizado no campo experimental da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba, localizada no município de Lagoa Seca ( $7^{\circ} 9'20''S$ ;  $35^{\circ} 51'26''W$ ; 634m), sendo a agricultura sua principal atividade econômica, com destaque a cultura do feijão, no período compreendido entre 14 de junho a 02 de agosto de 1999, com objetivo de avaliar o crescimento e desenvolvimento do feijão, assim como determinar a evapotranspiração real da cultura em estudo em diferentes densidades populacionais e comparar os dados observados com os simulados pelo Regional Atmospheric Modeling System (RAMS). A área experimental correspondeu às dimensões de 29mx15m, dividida em cinco blocos casualizados, com quatro tratamentos, onde cada tratamento foi diferenciado pelo número de plantas, correspondendo a uma, duas, três e quatro plantas por cova. O monitoramento das condições agrometeorológicas foi realizado através da temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, irradiação solar global, insolação, velocidade do vento, temperatura e umidade do solo, evidenciando que a cultura esteve submetida à variações de  $21^{\circ}C$  a  $30^{\circ}C$ , 42% a 80%, 169mm, 300 a  $500 \text{ cal.cm}^{-2}$ , 1,5hs a 10hs, 19km/dia a 30km/dia,  $29^{\circ}C$  a  $32^{\circ}C$  e 0,10 a  $0,20 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  respectivamente. A análise de crescimento foi feita mediante a área foliar, índice de área foliar, taxa de assimilação líquida, taxas de crescimento relativo e absoluto, que revelaram com exceção do índice de área foliar, pequenas diferenças entre os tratamentos. A evapotranspiração real foi menor no tratamento 1 e maior nos tratamentos 3 e 4, durante praticamente todo o ciclo da cultura, o que refletiu consideravelmente no rendimento da mesma, onde os tratamentos 3 e 4 renderam 2.817 Kg/há e 3.099 Kg/há respectivamente, enquanto o tratamento 1 teve um rendimento de apenas 1.263 kg/há. Os valores determinados de evapotranspiração, temperatura e umidade relativa do ar foram comparados com os simulados pelo Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) e ficou evidenciado a precisão do modelo na simulação destas variáveis, como também a importância do índice de área foliar da cultura na determinação destes parâmetros sobre a cultura estudada.

## SUMMARY

The experiment was realized in the experimental field of the da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba - EMEPA, located in the Lagoa Seca city (7°9'20"S; 35°51'26"W; 634m), being agriculture its main economic activity, with prominence the culture of the beans, during 14 June to 02 August 1999, with objective to evaluate the growth and development of the beans, as well as determining the real evapotranspiration of the culture in study in different population densities and comparing the data observed with the simulated ones for the Regional Atmospheric Modeling System (RAMS). The experimental area corresponds to the dimensions of 29 m x 15 m, divided in five tablets canalized with four handling, where each handling was differentiated by the number of plants, corresponding to one, two, three and four plants for hollow. The monitoring of the agrometeorological conditions was carried through the temperature and relative humidity of air, precipitation, global solar irradiation, insolation, speed of the wind, temperature and humidity of the ground, evidencing that the culture were submitted to the variations of 21°C at 30°C, 42% at 80%, 169 mm, 300 to 500 cal.cm<sup>-2</sup>, 1.5 to 10 hs, 19 km/day at 30 km/day, 29°C at 32°C 0.10 at 0.20 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> respectively. It analyzes its growth was made by means of the leaf area index, rate of net assimilation, rate of relative and absolute growth, that discloses with exception of the leaf area index, small differences between the handlings. The real evapotranspiration was lesser in the handling 1 and greater in handlings 3 and 4, during practically all the cycle of the culture, what it reflected considerably in the income of the same one, where 2,817 kg/ha respectively handlings 3 and 4 had relieved kg/ha and 3,099 kg/ha, while handling 1 had an income of only 1,263 kg/ha. The definitive values of evapotranspiration, temperature and humidity of air had been compared with the simulated ones for the Regional Atmospheric Modeling Systems (RAMS), were evidenced the accuracy of the model in the simulation of this variable, as also the importance of the leaf area index of the culture in the determination of these parameters on the studied culture.

## 1. INTRODUÇÃO

As culturas de subsistência cultivadas no semi-árido nordestino em regime de sequeiro são substancialmente afetadas pelas intempéries do clima, que apresenta elevadas taxas de evaporação e precipitação pluviométrica com pronunciada irregularidade espaço-temporal. Constantemente a região é castigada pela perda total ou parcial da produção agrícola, devido a tais irregularidades, acarretando a essa atividade econômica um alto risco, onde a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), é uma das principais opções para a população da região Nordeste. Apresenta razoável rentabilidade, ocupa a área por pouco tempo e possui baixo consumo de água, variando em função do ciclo do cultivar utilizado e das condições edafoclimáticas de cada região produtora.

A necessidade de exploração da cultura do feijoeiro na região nordestina, surgiu do seu grande consumo pela população local. Mesmo devido aos efeitos das secas periódicas e das irregularidades das chuvas sobre os rendimentos, esta cultura, representa cerca de 20% da economia nacional configurando-se assim, a importância desta leguminosa na agricultura da região semi-árida nordestina. Uma vez que apresenta uma significativa contribuição para o emprego da mão de obra rural, oferecendo uma melhor condição ao homem do campo, onde depois de feita a colheita sua matéria seca serve como ração animal. Desta forma a importância em aumentar a produção com o intuito de atender ao abastecimento da crescente população humana e animal, estimulou um aumento nos estudos do

comportamento fisiológico e adaptação climática de culturas, visando obter maiores índices de produtividade e também preservar o homem no campo e restaurar a produção agrícola no semi-árido, implantando projetos de irrigação naquelas áreas que reúnam condições adequadas de solo e água.

Dos mais de seis milhões de hectares cultivados com feijão no Brasil, o Nordeste apresenta-se com níveis de rendimento muito baixo que chegam a menos da metade da média. Dentre os fatores responsáveis por essa baixa produtividade, está associada a instabilidade climática, muito comum nesta Região.

Ao se estudar as culturas, supõe-se que os processos fisiológicos e meteorológicos essenciais ao crescimento, desenvolvimento e a produção vegetal são alterados quando submetidos aos processos de evapotranspiração através dos níveis de evaporação e transpiração da espécie ou cultivar, logo deve-se estudar as causas do aumento ou diminuição da demanda hídrica para a cultura que, de certa forma, é responsável pelo desenvolvimento das plantas e conseqüentemente o nível de produção.

O objetivo principal deste trabalho foi dar uma contribuição na área da pesquisa aplicada, visando analisar o crescimento e desenvolvimento da cultura do feijão e a determinação da evapotranspiração real assim como o rendimento, fazendo uma comparação de alguns parâmetros meteorológicos obtidos com os dados simulados pelo modelo RAMS (Regional Atmospheric Modeling System).

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA.**

#### **2.1.1 Temperatura**

Os parâmetros meteorológicos apresentam fundamental importância no desenvolvimento dos vegetais, tais como:

Em muitas oportunidades, a temperatura do solo é de maior significado ecológico para a vida vegetal do que a temperatura do ar, tendo influência na germinação das sementes, atividade funcional das raízes, velocidade e duração do crescimento das plantas, ocorrência e severidade das doenças das plantas.

Rieder (1984), após revisar várias referências sobre o efeito da temperatura do ar no comportamento das leguminosas concluíram que: 1) temperaturas do ar ou do solo menores que 18°C e superiores a 30°C prejudicam a germinação ou a emergência; 2) temperatura do ar situadas entre 20°C e 35°C

favorecem o desenvolvimento vegetativo, e a melhor condição para esse desenvolvimento situa-se em torno de 30°C; 3) temperatura do ar entre 24°C e 25°C parecem ser as melhores para o florescimento.

De acordo com Pascale (1969), à medida que as temperaturas diurnas e noturnas aumentam, a cultura da soja requer menos dias para a planta atingir o estágio de floração.

Segundo Vianello & Alves (1991), a temperatura do solo é de alta relevância para muitos fins, especialmente agrônômico, e mais especialmente na germinação das sementes e no crescimento, desenvolvimento e produção das culturas.

De acordo com França Neto *et al.* (1984) os principais fatores climáticos que contribuem para acentuar a redução da qualidade da produção da soja estão relacionados com a associação de temperatura elevada e alto índice de pluviosidade durante a maturação da semente.

### **2.1.2 Umidade Relativa**

A umidade relativa do ar é um elemento que exerce influências no comportamento dos vegetais. Para que a planta tenha crescimento e desenvolvimento ideais, é necessário que efetue um processo físico fisiológico de trocas com o meio, chamado evapotranspiração, processo esse que relacionado com a quantidade de umidade relativa e vapor d'água existente no ar atmosférico.

Silveira & Ribeiro (1997), ressaltaram que as baixas umidade relativa do ar associadas á temperaturas elevadas, são fatores que reduzem a produtividade.

Doorenbos & Kassam (1994), concluíram que as culturas das leguminosas podem ser cultivadas em uma ampla faixa de solos, exceto naqueles muito arenosos, de drenagem rápida, como os regossolos. Os solos devem ser profundos e bem drenados. Os solos com umidade excessiva, provalmente acarretam problemas de drenagem e dificultam a emergência das plântulas; contudo, a soja e o feijão se adaptam melhor nesses solos do que o milho e o algodão.

### **2.1.3 Precipitação**

A precipitação é o resultado final, já em retorno ao solo, do vapor d'água que se condensou e se transformou em gotas de dimensões suficientes para quebrar a tensão de suporte, e cair. Essa água em trânsito entre nuvem e solo, chamada chuva, tem aparentemente regular, seu aspecto quantitativo, para cada local no globo, mas sua distribuição durante o ciclo anual é declaradamente irregular. Por ser de suma importância o suprimento de água aos seres vivos, a precipitação adquire importância vital aos vegetais.

Menezes & Pinto (1967) analisaram a condição da umidade de solo pelo método Thornthwaite e a sua correlação com o desenvolvimento da cultura do feijão. Concluíram que os excessos e as deficiências da precipitação permitem que estes fiquem na dependência das disponibilidades de água no solo.

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.

#### **2.1.4 Vento**

O vento resulta ser o ar em movimento. Essa quantidade de movimento pode ser transferida aos obstáculos que se interpõem na trajetória, provocando danos de intensidades proporcionais ao "Momentum" transferido. Em uma cultura vegetal, os danos vão desde um estímulo excessivo a evapotranspiração até o efeito mecânico de quebra de galhos e arrancamento da planta do solo.

Seybold (1933), descobriu que o vento exerce uma maior influência sobre a transpiração cuticular do que sobre a transpiração estomática. Entretanto, somente plantas com alta transpiração cuticular mostram apreciáveis aumentos na transpiração quando exposta à ação do vento.

Lang *et al.* (1974) ao analisarem a influência do vento local sobre a evapotranspiração de uma cultura de arroz irrigado em região semi-árida, concluíram que a teoria de Philip (1959) apresentou uma certa consistência na determinação da estimativa da evapotranspiração para diferentes distâncias da margem principal de predominância do vento.

#### **2.1.5 Irradiação**

A irradiação solar incidente à superfície do solo, não se restringe á ondas eletromagnéticas monocromáticas, mas sim, a todo um espectro, o qual possui ondas energeticamente diferentes, além de diferencial distribuição quantitativa; tem grande importância nos organismos vegetais.

De acordo com Leitão (1994), a irradiação solar é o mais importante fator para os processos ecológicos, tais como evapotranspiração e fotossíntese, que controlam a distribuição, tipo e fisionomia da vegetação terrestre. A irradiação solar que chega a superfície da terra, representa apenas uma parte da irradiação que chega no topo da atmosfera, visto que, devido a reflexão e absorção por nuvens, absorção e reflexão pela atmosfera, somente uma parte atinge diretamente a superfície, enquanto o restante representa as irradiações difusa e térmica. A energia utilizada nos processos de aquecimento do ar e do solo, a transferência de água na forma de vapor, da superfície para a atmosfera e o metabolismo das plantas e animais, é proveniente na maior parte da irradiação solar.

Idso (1973), utilizando equações para estimar a radiação térmica da atmosfera, concluiu que as equações de Ångström e Brunt dão resultados praticamente idênticos sobre todo o intervalo de temperatura do ar e vapor atmosférica d'água. Similarmente as equações de Swinbank & Idso-Jackson fornecem resultados essencialmente idênticos para temperatura acima de 0°C.

### **2.1.6 Insolação**

O fotoperíodo (insolação) é um parâmetro, o qual, para as plantas, condiciona o aparecimento, em um grande número delas, principalmente nas de elevada latitudes, de alguns tipos de hormônios relacionados com o desenvolvimento vegetal, os quais possibilitam estágios fenológico como função exclusiva da insolação.

Mota (1975), ressaltou que o fotoperiodismo é um termo utilizado para designar todas as reações da planta ao comprimento do dia. Certas variedades para florescerem reagem diferentemente ao comprimento do dia,

sendo que algumas necessitam de dias longos e outras de dias curtos. As variedades de floração precoce necessitam de dias longos para florescer, enquanto que as de floração tardia requerem dias curtos para florescer. Quando todas as condições para o desenvolvimento do vegetal são favoráveis, como temperatura, umidade.

Segundo Sedyama *et al.* (1985), o fotoperiodismo em soja é considerado como controlador do florescimento, considerando o comprimento do dia o fator mais importante para se determinar a proporção relativa entre os períodos vegetativo e de frutificação.

De acordo com Fageria (1989), o período crítico ao fotoperiodismo é aproximadamente de 13 horas, para os genótipos adaptados às regiões tropicais, entre os mesmos inclui-se o feijão.

## 2.2. ANÁLISE DE CRESCIMENTO DA CULTURA

De um modo geral, a produção econômica de qualquer cultura é diretamente proporcional à produção biológica, visto que ambas dependem da capacidade fotossintética da planta, (Alvim, 1972). Assim, vários pesquisadores iniciaram estudos dos parâmetros meteorológicos para analisar quantitativamente o crescimento das plantas.

Gregory (1917) foi quem primeiro calculou a taxa de assimilação aparente (TAA), mas foram Briggs *et al.* (1920) que atribuíram-na como parâmetro da análise de crescimento.

Fischer (1920) descreveu a taxa de crescimento relativo (TCR) como um outro parâmetro para análise de crescimento. O cálculo da TCR se apóia na

derivação da taxa de assimilação aparente (TAA), daí a razão porque estes dois parâmetros apresentam curvas com tendência semelhante em função do tempo.

O índice de área foliar tem sido também usado para caracterizar culturas do ponto de vista da interceptação e penetração da radiação fotossinteticamente ativa Anderson (1971) & Monteith (1965) enquanto se faz necessária para a fotossíntese ou para modelos de crescimento de cultura e da partição de energia entre a evaporação da água no solo e a transpiração das plantas

Em muitos estudos acerca do crescimento de culturas, o IAF e a dimensão da área foliar, têm sido registrados como sendo relacionados às produções biológicas e econômica Pearce *et al.* (1965). Para se determinar a dimensão da área foliar, esta deve ser estimada em vários estágios de desenvolvimento da planta.

Segundo Williams (1946) o conceito de TAA só é válido durante as fases de crescimento da planta nas quais a assimilação de carbono é contabilizada para o volume de troca no peso seco da planta.

Nogueira (1973) estudou o efeito da cobertura morta em feijoeiro e concluiu que em condições climáticas normais não houve diferença significativa na produção em vários tratamentos, porém, se faz necessário realizar periodicamente trato cultural.

De acordo com Dantas & Escobedo (1998), o crescimento da cultura demonstra muita sensibilidade às variações de energia do meio ambiente, onde os ambientes protegidos no verão oferecem as melhores condições energéticas para o crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura.

Soukup *et al.* (1986) estabeleceram que os parâmetros de crescimento, tais como índice de área foliar, taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento relativo e absoluto, são importantes para o estudo do desenvolvimento, crescimento e transpiração da cultura, quando relacionada a absorção da irradiação solar.

Welbank *et al.* (1966), estudaram a complexidade do crescimento de culturas agrícolas, que pode ser simplificado usando-se índices que expressam o crescimento das plantas, tais como o índice de área foliar (IAF) e as taxas de assimilação líquida (TAL), de crescimento relativo (TCR) e crescimento absoluto (TCA).

Williams *et al.* (1965), afirmaram que a área foliar de qualquer cultura é a medida verdadeira de sua grandeza fotossintetizada, onde a produção é um fator resultante da própria fotossíntese. Como existe proporcionalidade direta entre a superfície foliar e a razão fotossintética, torna-se muito importante utilizar a variação da superfície foliar para se estimar o rendimento fotossintético.

Ritchie (1974), determinou relações empíricas para determinar a evaporação de culturas à partir de dados climatológicos, quando a umidade do solo era limitada, e o desenvolvimento da cultura foi determinado através do índice de área foliar.

Redelfs *et al.* (1991), determinaram várias combinações lineares e as proporções dos dados de reflectância espectral foram usadas para determinar parâmetros de crescimento da cultura tais como índice de área foliar, taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento relativo e taxa de crescimento absoluto.

### 2.3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA

A evapotranspiração é a transferência da água das superfícies cultivadas para a atmosfera e é controlada pela disponibilidade de energia e pelo suprimento hídrico do solo (Penman, 1948, 1956). Não é muito fácil obtê-la, devido aos processos físicos envolvidos serem muitos complexos, pois é uma função dos fatores meteorológicos, do solo, a evapotranspiração depende, também, do tipo e estágio de desenvolvimento da cultura (Lemon et al., 1957). Chang (1968), diz que quando se despreza a quantidade de água usada nas atividades metabólicas, a evapotranspiração será igual ao consumo de água pelas plantas. Estão associados ao processo de evapotranspiração pelo menos dois conceitos: a evapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ETR).

Thornthwaite (1948), introduziu o conceito de evapotranspiração potencial como sendo a água evaporada de uma superfície totalmente coberta de vegetação rasteira e uniforme sem sofrer deficiência de água. Penman (1948) definiu a evapotranspiração potencial como a quantidade de água evapotranspirada na unidade de tempo de uma pequena superfície gramada, cobrindo o solo uniformemente estando o mesmo sem deficiência de água. A evapotranspiração é um processo complexo que depende da energia solar e da reserva hídrica do solo em menor grau, e em condições difíceis de se avaliar, a natureza e as características da cobertura vegetal e pedológicas do solo (Maltez et al., 1986).

De acordo com Fontana (1992), a evapotranspiração pode ser obtida através de estimativas. As medições diretas são feitas utilizando, basicamente, dois grupos de métodos: os métodos baseados na equação do balanço hídrico e os métodos micrometeorológicos. Em geral, a medição da evapotranspiração é feita em nível experimental, em função de instrumentos e dos manejos práticos. Através desses métodos pode-se determinar a evapotranspiração real (ETR),

máxima (E<sub>tm</sub>) e de referência (E<sub>to</sub>) para intervalos de tempo muito curtos, como minutos ou horas

Bouchet (1963) afirma que a evapotranspiração real difere da potencial por considerar por um lado, a diferença da cobertura vegetal e por outro, lado o solo em condições reais de suprimento de água. As necessidades hídrica das culturas são expressas em termos de evapotranspiração (ET), em mm/dia ou mm/período.

Para Matzenauer (1992), a evapotranspiração real (ETR) é a perda de água para a atmosfera, por evaporação e transpiração nas condições reais (existentes) de fatores atmosféricos e umidade do solo e pela demanda evaporativa da atmosfera.

Segundo Doorenbos & Kassam (1994), a evapotranspiração real (ETR) será igual à evapotranspiração máxima (E<sub>tm</sub>), quando a água disponível no solo for suficiente e, menor quando a água disponível no solo for limitada.

O meio mais fácil e mais usado de medir a evapotranspiração diretamente é através de lisímetros e tanques evapotranspirômetros. Neles a precisão dos instrumentos depende de como o solo e a cultura são cultivados no tanque. Porém, apesar da estrutura do instrumento modificar o microclima em todos os aspectos, não nos garante medidas eficientes. Portanto, esses instrumentos não satisfazem as condições de contorno e o solo dificilmente apresenta as mesmas características originais, fornecendo apenas comportamentos muito particulares de transferência de água para a atmosfera. Logo, muitas vezes é mais viável e preciso estimar a evapotranspiração através dos principais parâmetros ambientais reguladores do processo, combinados entre si por diferentes métodos, Knapp (1985).

Amorim Neto *et al.* (1985) realizaram pesquisa sobre os métodos mais utilizados na determinação da evapotranspiração de referência para regiões semi-áridas. Concluíram que os mais adequados para serem utilizados em períodos mínimo de dez dias, por ordem de importância são os de Benavides e Lopes, Linacre, Tanque Classe A e Penman-Monteith.

O fator de conversão de evaporação medida no tanque classe "A" para evapotranspiração, é chamado coeficiente de tanque ( $K_p$ ), que segundo Jensen *et al.* (1990), é função da umidade relativa, da velocidade do vento, e do local em que o tanque está exposto, possuindo ainda uma certa interação com a radiação incidente.

Pereira *et al.* (1995) ressaltaram que o uso dos dados da evaporação do tanque Classe "A" é uma ferramenta bastante prática na estimativa da evapotranspiração de referência, desde que sejam adequadamente calibrados, e define um modelo para  $K_p$ .

Ritchie (1971), formulou relações empíricas para calcular a evaporação de culturas a partir de dados climatológicos, quando a água do solo era limitada. Nesta relações o desenvolvimento da cultura foi apresentado através do índice de área foliar.

Denmead & McIlroy (1970) compararam valores de evapotranspiração medidos em lisímetros com os obtidos pelo método do balanço de energia, durante vários anos, não encontraram diferença superiores a 0,1 mm/hora, enquanto Rouse & Wilson (1972), usaram o método do balanço de energia como padrão, para aferir a determinação da evaporação diária do solo através do método gravimétrico.

Quando as plantas estão bem supridas de água, a maior parte da energia disponível é utilizada no processo de evapotranspiração (André, 1986; Bergamaschi *et al.* 1988; Cunha, 1986; Fontana, 1987; Vila Nova, 1973).

Sellers (1985) definiu a evapotranspiração como um processo em que as plantas desempenham um papel ativo e auto-regulador de suas perdas energéticas através das folhas.

Encarnação (1980) obteve bons resultados ao avaliar a evapotranspiração da cultura do feijão. Por meio de um evapotranspirômetro de lençol freático constante, ele verificou que as estimativas de evapotranspiração potencial pelo método do tanque classe "A" forneceu resultados condizentes com os da literatura.

Idso *et al.* (1975) mostraram que em solo sem vegetação, a razão do fluxo de calor no solo pelo saldo de radiação, modifica-se consideravelmente com o conteúdo de água, decrescendo de um solo seco para um solo úmido. Chothier *et al.* (1976) evidenciaram que essa razão decresce também com o desenvolvimento vegetativo da cultura.

Ham *et al.* (1990) comprovaram que a cultura do algodão absorveu simultaneamente calor sensível do solo e do ar acima do dossel, quando a superfície do solo esteve seca. Também observaram que a radiação de ondas longa do solo aumentou significativamente o saldo de radiação do dossel durante o meio dia.

Van Bavel (1956) considera a lisimetria um dos melhores métodos para determinar a evapotranspiração com adequada precisão.

Benincasa (1972), estudando os efeitos hídricos no feijoeiro, concluiu que a evaporação potencial estimada pela fórmula de Penman apresentou valores inferiores aos medidos nos tanques de evaporação Classe A, GGI-300 e Young Screen Pan, tendo seus valores de pêntadas bem próximos aos do tanque padrão de 20 m<sup>2</sup> nas condições em que se desenvolveu a cultura.

Oliveira & Vila Nova (1995), utilizando o método de Penman (1948) e o balanço hídrico diário no solo, determinaram a evapotranspiração máxima (E<sub>tm</sub>) e a lâmina de irrigação em cinco locais do Paraná em diferentes períodos de semeadura. Encontraram valores médios de E<sub>tm</sub> à 75% de probabilidade de ocorrência entre 2,8 mm/dia a 4,1 mm/dia para o ciclo completo e 3,8 mm/dia a 5,7 mm/dia para o período de florescimento, com lâminas necessárias entre 47% a 87% da E<sub>tm</sub>. No entanto, épocas com menores valores de H sobre E<sub>tm</sub> (<47%) devem apresentar menor risco de fracasso para culturas não irrigadas.

Vila Nova *et al.* (1996), mostraram que a evapotranspiração máxima de uma cultura é dependente de uma série de fatores biológicos e ambientais, onde o índice de área foliar (IAF) é o mais importante fator biológico, representando o tamanho da superfície evapotranspirante, enquanto que a evaporação do tanque classe A é um indicador da demanda hídrica da atmosfera.

Segundo Dantas (1995), a evapotranspiração consiste numa das maiores preocupações na medição dos parâmetros agrometeorológicos, tendo em vista que a perda d'água da superfície terrestre tem muita influência no desenvolvimento das culturas, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas onde o déficit de água é bem caracterizado, e a irrigação desempenha papel importante na suplementação de água exigida por cada cultura.

Santos *et al.* (1995) determinaram os coeficientes de cultura (K<sub>c</sub>) da alfafa pelos métodos de Penman (1948), Tanque Classe A / FAO e evaporação do Tanque Classe "A". Verificaram que os coeficientes de cultura variam de acordo com o método de cálculo da evapotranspiração de referência para o mesmo estágio fenológico, sendo que os valores calculados pela evaporação do Tanque Classe A resultam em coeficientes menores. Além do mais, os K<sub>c</sub>'s estimados pelos três métodos superam os recomendados pela FAO.

## 2.4. UTILIZAÇÃO DO RAMS NA INTERAÇÃO SOLO- PLANTA-ATMOSFERA

As parametrizações da evapotranspiração vêm sendo utilizadas nos modelos de meso-escala para avaliar a água disponível para esse processo. Deste modo Avissar & Pielke (1989), refinaram o cálculo da variação diária da evapotranspiração e o balanço de água de campos agrícolas parcialmente cobertos por vegetação ou parcialmente irrigados, através do desenvolvimento de um modelo numérico pseudo-tridimensional (Ps3D) da superfície. Neste modelo o campo agrícola é representado por malhas de área nuas solo seco e área vegetadas. As simulações de um campo agrícola parcialmente coberto por vegetação, com um modelo (Ps3D) e com um modelo de camada limite mais tradicional, geraram grandes diferenças, da ordem de 40% e  $350\text{W/m}^2$  para as previsões do balanço diário de água e fluxo de calor sensível, respectivamente.

Segundo Folegatti & Gomide (1995) , a utilização do modelo RAMS em culturas tem-se mostrado uma ferramenta potencialmente útil em aplicações agrícolas, face aos complexos tratamentos do modelo de solo e vegetação que dão resultados satisfatórios na parametrização dos processos físicos que ocorrem na camada entre a superfície do solo e a profundidade de aproximadamente três metros para o cálculo da temperatura e umidade na interface do solo-atmosfera.

Ainda de acordo com Folegatti & Gomide (1995), as técnicas utilizadas para obtenção de informações necessárias ao adequado monitoramento da água em culturas podem ser classificadas em três categorias: as que têm por base as características físico-químicas do solo; as que se baseiam nos dados meteorológicos, que não consideram a água perdida por drenagem abaixo das raízes das plantas e não utilizam outras informações diretas da planta; e as que têm por base dados obtidos em plantas.

Costa *et al.* (1998), propõem o uso de modelos regionais na previsão de tempo e como o mesmo pode ser influenciado pela cobertura vegetada e tipo de solo. Foram feitas três simulações com o modelo RAMS, o qual foi iniciado em 00:00 TMG do dia 13 de fevereiro de 1998. A primeira, usando cobertura vegetal e tipo de solo homogêneo (chamado de controle), na segunda foi usado um arquivo que representa a vegetação variável, na terceira simulação foi usado um arquivo que representa vários tipos de textura de solo. O RAMS inclui parametrização para os processos de superfície, convecção e turbulência na camada limite. O modelo também usa dados de temperatura da superfície do mar e topografia.

O modelo simula com bastante destreza a temperatura da vegetação (TVEG), bem como a umidade relativa do ar (RELHUM), porém verificou-se que a área onde a topografia não é mostrada, é mais acentuada, o modelo tende a superestimar o experimento de controle. Isto devido principalmente à representatividade mais realista da superfície, tanto no aspecto da vegetação como no tipo de textura do solo.

Sismanoglu *et al.* (1998), analisaram o modelo RAMS com o objetivo de compreender o seu método de estimativa da evapotranspiração. Iniciando nas saídas de parametrização dos processos hidrológicos e térmicos do solo, incluindo saídas do BATS (Biosphere Atmosphere Transfer Scheme); o modelo estima o fluxo turbulento de calor latente de segunda ordem de Mellor-Yamada. Nas estimativas da ETR, o modelo determina o balanço hídrico de diferentes tipos de solo ( tendo como características as propriedades hídricas e térmicas do solo em termos da difusividade, potencial hídrico e condutividade hidráulica ), além de estimar o balanço de energia na interação solo-atmosfera, incluindo um termo de extração da água pelas raízes.

Por se tratar de um modelo atmosférico completo que inclui um modelo de solo-vegetação incorporado aos demais processos atmosféricos, o modelo mostra-se bastante útil e esperançoso na aplicação em diversos ramos da agricultura. Outra aplicação direta do modelo seria a determinação regional do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.

Segundo PRATES (1994), a modelagem numérica apresenta-se hoje como um poderoso método na pesquisa de vários fenômenos, nos diversos campos do conhecimento, especialmente aqueles não reproduzíveis em condições controladas, particularmente nas Ciências Atmosféricas, pioneira no uso de métodos computacionais para a solução das equações numéricas que governam o comportamento dos fluidos em um espectro de movimento que se estende dos turbulentos de pequena escala até a dimensão planetária. Na meteorologia, os modelos numéricos são amplamente utilizados não apenas na pesquisa, mas também quotidianamente no sistema operacional de previsão de tempo e em análise climática.

Segundo Prates & Calvet (1998), o modelo atmosférico RAMS avalia os resultados da qualidade de previsão da temperatura do ar com antecedência de 24 e 48 horas, com espaçamento entre pontos de grades de 20 km durante três meses. Foi adotado como critério de avaliação da qualidade de previsão extraída do modelo numérico RAMS a correspondência entre os valores de temperatura máxima e mínima da vegetação (TVEG) simulado com 24 e 48 horas de antecedência com os valores ao nível de abrigo, obtidos em 32 postos da rede de observação telemétrica do SIMEPAR. A TVEG foi escolhida por apresentar um valor mais próximo ao da temperatura do abrigo, registrada nas estações de observações de superfície; também por ser uma variável de leitura direta não introduzindo possíveis erros derivados de cálculos ou reduções que utilizam esquemas de similaridade, diagramas termodinâmicos e outros. Os resultados apresentaram a situação de verão e mostraram-se satisfatórios, especialmente no que se refere às temperaturas mínimas.

Sismanoglu *et al.* (1998) utilizaram o modelo RAMS para apresentar aspectos teóricos do modelo de vegetação e aplicações do modelo de evapotranspiração (ETR). Foram estimadas sobre duas áreas com tipos de vegetação diferentes, floresta e soja. A floresta apresentou maior evapotranspiração, totalizando 25 mm no período; a soja totalizou 19 mm. Nas duas culturas, a variação temporal da evapotranspiração foi governada pelo ciclo diurno da radiação solar, com o valor máximo aproximadamente às 13 horas. Este

comportamento pode estar relacionado também com a ausência de nebulosidade nas simulações, uma vez que ela tem efeito direto no balanço de energia sobre a cultura. Normalmente a vegetação rasteira não sombreia o solo completamente, exceto em caso de avançado estado de desenvolvimento. As necessidades hídricas de uma cultura podem continuar crescendo com o aumento do IAF, mesmo quando esse se apresenta elevado o suficiente para sombrear o solo completamente, o que demonstra a relação entre ETR e IAF, concordando com as observações.

#### **2.4.1. Estimativas dos Fluxos de Calor Latente E Sensível a Partir da Temperatura do Solo**

Kimura & Shimizu (1994) estimaram os fluxos de calor latente e sensível a partir da temperatura do solo, desenvolvendo um modelo linear da interação atmosfera-solo de transferência de calor. Utilizando-se esse modelo, a disponibilidade de umidade do solo pode ser estimada a partir das variações diurnas da temperatura superficial do solo e do fluxo de radiação solar, se for conhecido o coeficiente de trocas turbulentas. O modelo estima também as variações diurnas dos fluxos de calor latente e sensível. Se a disponibilidade de umidade no solo for conhecida, o coeficiente de trocas turbulentas (parâmetro de estabilidade) pode ser estimado de modo similar. A vantagem desse modelo linear é de não necessitar de valores horários de temperatura do ar como parâmetros de entrada, que são difíceis de serem obtidos por sensores remotos e, inclusive, a sua interpolação sobre terrenos complexos, em função do contraste na distribuição da radiação solar. Por outro lado, a acurácia nestes tipos de modelos não é alta, em função de algumas simplificações consideradas e da precisão nos sensores remotos. O modelo é aplicado apenas em superfícies sem vegetação, logicamente limitando sua aplicabilidade.

## **2.4.2. Impacto Da Heterogeneidade Da Umidade Na Superfície Aos Fluxos De Calor De Mesoescala**

Chen & Avissar (1994) mostraram o impacto causado aos fluxos de calor de mesoescala, em função da heterogeneidade na distribuição de umidade na superfície (solo), citando Collins & Avissar (1994), que identificaram as características da superfície que têm maior impacto, predominantemente, na redistribuição de energia em forma de fluxo turbulento de calor latente e sensível na superfície do solo. Constataram que o teor de umidade, parâmetro de rugosidade e o albedo e que, quando a vegetação cobre o solo, o índice de área foliar e a condutância estomatal formam as características mais importantes. Dentre estas, a umidade do solo, que expressa a umidade disponível para evaporação, tem a mais importante função no solo sem vegetação no período diurno e em condições de ausência de nebulosidade.

É importante enfatizar que a condutância estomatal e a disponibilidade de umidade no solo possuem efeitos similares aos fluxos turbulentos de calor na camada da superfície. Quando as plantas estão sofrendo estresse hídrico e os estômatos fechados, a condutância estomatal é zero e a superfície do solo é similar a uma superfície com umidade zero. Quando o estômato se abre, a superfície do solo aproxima-se da superfície, com umidade de 100%. Desde que o tempo de resposta das plantas e o da umidade do solo são tipicamente muito maiores do que os processos diurnos, os fluxos turbulentos na camada superficial são muito mais afetados pelas condições iniciais de umidade do solo e, ou pelas condições estomáticas das plantas.

### **2.4.3. Estimativa Regional dos Fluxos de Calor e Umidade Acima do Dossel a Partir de Dados de Ar Superior e de Superfícies.**

De acordo com os estudos de Barr & Stong (1996), métodos de balanço do ar superior podem ser utilizados para a estimativa das densidades dos fluxos de calor latente e sensível em escala regional. Nesses estudos foram utilizados séries de dados de sondagem das localidades de Kenanton e Saskatoon, Canadá, em condições de tempo chuvoso, acima de um dossel homogêneo. Foi a primeira metodologia em que se aplicou sondagem de ar superior para as estimativas dos fluxos de calor.

Foram utilizados dois métodos independentes para se estabelecerem as condições do solo: o balanço de energia pelo método de Bowen e o método de Priestley-Taylor. Os métodos concordaram em 20% entre si nas duas áreas e forneceram a razão de Bowen médias de 0,33.

Erros aleatórios e incertezas da advecção horizontal foram parcialmente responsáveis pela alta variabilidade dos balanços estimados, mas estes termos aproximam-se de zero quando se trata de longos períodos.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS**

O experimento foi realizado no período de 14 de junho a 02 de agosto de 1999 no campo experimental da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba, ( EMEPA ) localizado no município de Lagoa Seca (7° 9'20"S; 35° 51'26"W; 634m), pertencente ao Agreste paraibano ( Figura 3.1), cuja principal atividade econômica da região é a agricultura, onde se destaca o cultivo do feijão (*Phaseolus Vulgaris L.*), e o período chuvoso estende-se de março a agosto. A classificação climática da região, segundo os critérios de Köppen, é do tipo Aw'i (Tropical úmido, com período chuvoso de março a agosto). Apresenta temperatura média anual de 22,7 °C e pluviosidade média anual em torno de 900mm, (Varejão-Silva *et al.*1987).

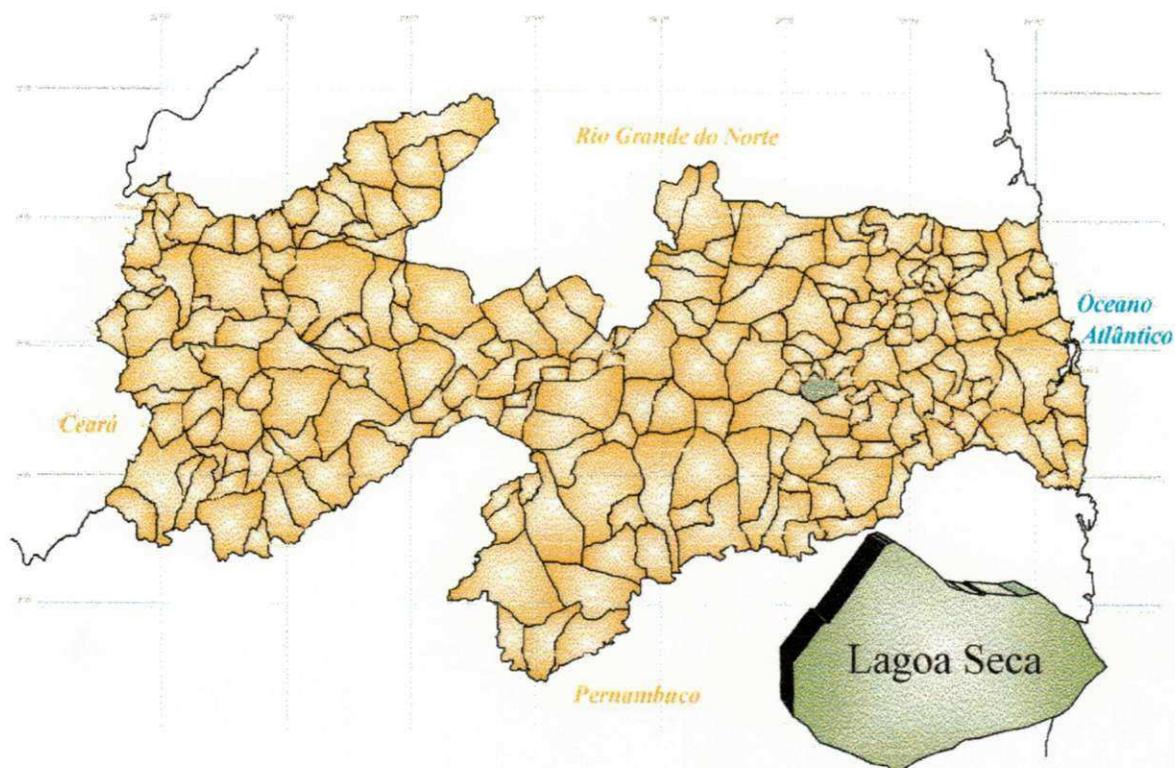


Figura 3.1 Localização geográfica do Estado da Paraíba e da cidade de Lagoa Seca em destaque.

### 3.2. SOLO E CARACTERÍSTICAS EXPERIMENTAIS

A área onde foi realizado o experimento correspondeu as dimensões de 29mx15m aproximadamente ( Figura 3.2 ), dividido em cinco blocos com quatro tratamentos, onde cada tratamento tem um determinado número de plantas, de acordo com as especificações abaixo. Quanto a granulometria solo apresenta textura franco-arenoso (Tabela 3.1), e o plantio foi realizado no sistema de covas. A semente utilizada no plantio foi o feijão (*Phaseolus vulgaris L.*), cultivar carioca. Cada parcela é constituída por seis fileiras de 5m de comprimento, por 3m de

largura espaçadas de 0,5m entre linhas e 0,25m entre plantas, distribuídas da seguinte forma:

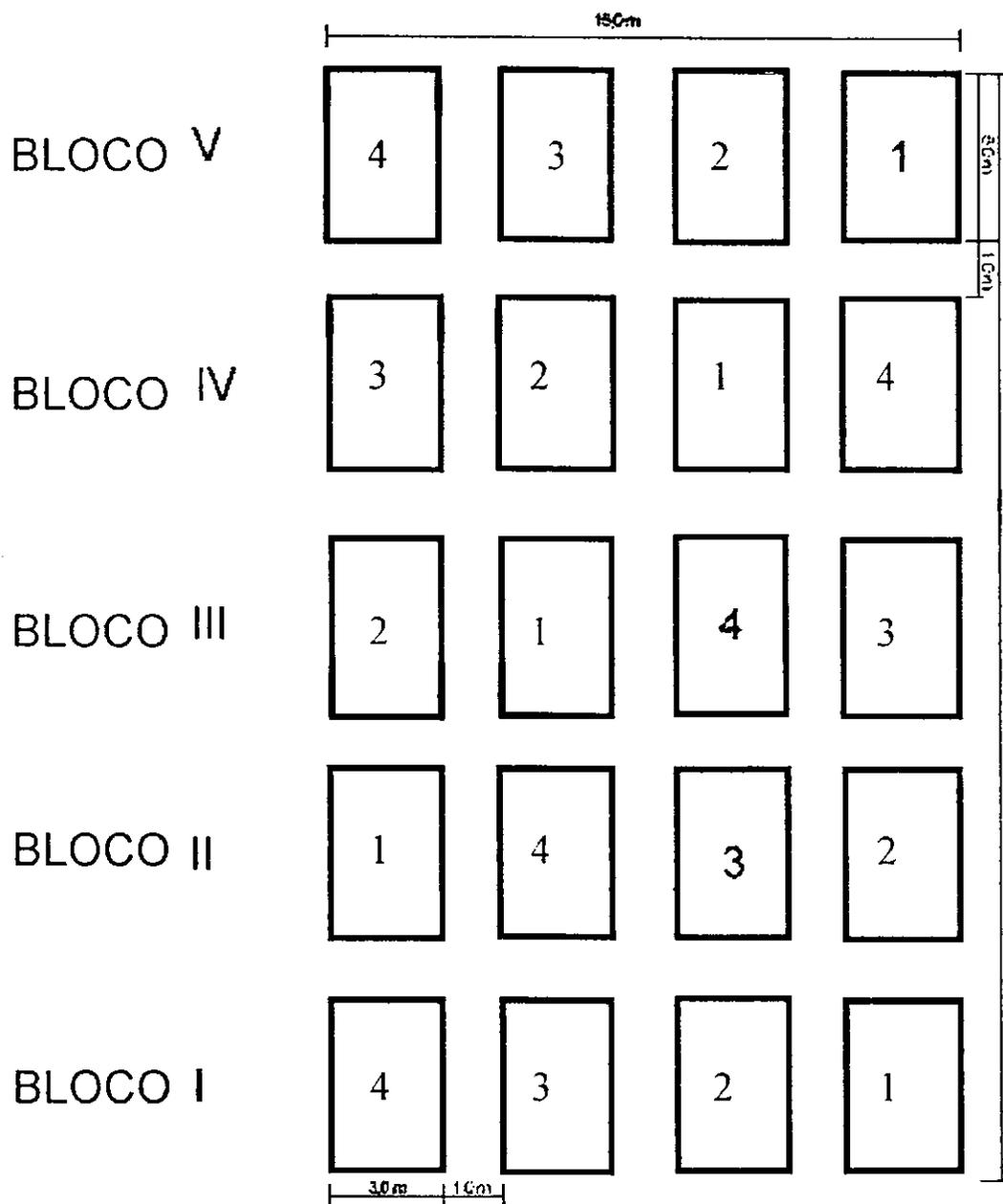


Figura 3.2 Distribuição dos tratamentos nos respectivos blocos da área cultivada.

Tabela 3.1 Características físicas do solo

<b>Características físicas</b>	
<b><u>Granulometria(%)</u></b>	75,71
Areia	
Silte	7,78
Argila	16,51
<b>Classificação textural</b>	Franco Arenoso
<b>Densidade Aparente g/cm<sup>3</sup></b>	1,56
<b>Densidade Real g/cm<sup>3</sup></b>	2,72
<b>Porosidade %</b>	42,65
<b><u>Umidade - %</u></b>	0,70
Natural	
0,10 atm	
0,33 atm	3,60
Equivalente	
1,00 atm	
5,00 atm	
10,00 atm	
15,00 atm	2,02
<b>Água Disponível</b>	1,58

O Tratamento 1: uma planta por cova, correspondente a densidade populacional de 80.000 plantas/ha

O Tratamento 2: duas plantas por cova, correspondente a densidade populacional de 160.000 plantas/ha

O Tratamento 3: três plantas por cova, correspondente a densidade populacional de 240.000 plantas/ha

O Tratamento 4: quatro plantas por cova, correspondente a densidade populacional de 320.000 plantas/ha

### 3.3. CULTURA

O feijão é uma planta pertencente à família *Leguminosae*, sub-família *Papilionoideae*, tribo *Phaseolus*, e ao gênero *vulgaris* L., sendo classificada como *Phaseolus vulgaris* L.. De acordo com Sedyama *et al.* (1985), o feijão é uma planta herbácea, anual ereta, de crescimento morfológico diversificado. A altura varia entre 0,3 a 0,50m, podendo ser muito ou pouco ramificada. Dependendo da variedade e condições ambientais o ciclo do feijão varia de 60 a 90 dias. Dependendo ainda da variedade, o caule é do tipo herbáceo, mais ou menos ramificado. A flor é completa, ou seja, composta de órgãos sexuais na mesma flor. O cálice compõe-se de cinco sépalas de lóbulos desiguais, pubescente, parcialmente conatas e persistente. A corola surge acima do cálice e é composta de pétalas brancas ou roxas com diferentes tonalidades. A pétala superior é chamada de estandarte ou vexilo. Os órgãos sexuais localizam-se no interior de uma câmara fechada formada pela carena.

O androceu é formado por estames pseudomonadelfos. O gineceu possui estigma, bifídio e plumoso e estilete, comprimento equivalente a metade do ovário, um pouco glabros. Com relação a coloração, as flores do feijão, são geralmente brancas, roxas ou bicolores. Quanto ao tipo de inflorescência, o feijão é caracterizado pelo tipo racimoso, nascendo nas axilas das folhas ou, às vezes no ápice do caule. Cada inflorescência é composta de 8 a 40 flores, entretanto, cerca de 75% das flores emitidas caem sem produzir frutos.

O fruto é do tipo vagem, de coloração amarelo-palha, cinzento, amarelo-brumo ou preto. A coloração da vagem está associada á presença de

caroteno ou xantofila. Em geral são indenticadas de duas ou mais de 20 vagem por inflorescência, onde as vagens podem conter de uma a quatro sementes, e um comprimento variando de dois ou mais de sete centímetros em alguns cultivares. A germinação do feijão é epígea, e em condições favoráveis, aproximadamente, de quatro a cinco dias após a sementeira os cotilédones começam a emergir na superfície do solo estando completamente abertos um dia após a emergência. Dentro de seis ou sete dias estão abertas as folhas primárias. No período compreendido entre nove ou onze dias começa a abrir-se a primeira folha trifoliolada, e aos quinze dias está completamente aberta. Em baixas temperaturas, o desenvolvimento pode ser retardado. As raízes secundárias surgem entre três e sete dias, disseminando rapidamente.

### **3.3.1. Exigências Edafoclimáticas**

As características genéticas e o nível de adaptação ao ambiente, determinam o grau de rendimento máximo de uma cultura. As exigências ambientais referentes ao clima, solo e água para o crescimento, desenvolvimento e bons rendimentos diferem de cultura para cultura e com o tipo de variedade. Os fatores climáticos que determinam o rendimento máximo das culturas estão associados à temperatura, irradiação solar, duração do dia e suas necessidades hídricas.

No caso do feijão, considerando-se uma variedade altamente produtiva, se for mantida sob boas condições hídricas e alto nível de utilização de insumos agrícolas apresenta nas regiões tropicais e subtropicais, rendimentos satisfatórios (Doorenbos & Kassam 1994).

### **3.3.2. Tratos Culturais**

Durante a realização do experimento, a cultura esteve livre de ervas daninhas através de capinas, realizadas quando necessário.

O controle de doenças e pragas e a adubação foram feitas por técnicos da EMEPA, até a cultura atingir o máximo desenvolvimento, com a finalidade de evitar problemas no desenvolvimento da cultura. Ao longo da estação de cultivo, foram feitas irrigações de acordo com as necessidades hídricas da cultura.

### **3.4. Instrumentos Utilizados**

Para obtenção dos parâmetros meteorológicos diários foram instalados os seguintes instrumentos meteorológicos:

a) No abrigo Meteorológico

Termômetros de máxima e mínima, para a determinação das temperaturas máxima e mínima do ar ocorridas durante o período de 24 horas.

E um psicrômetro, para a determinação da umidade relativa do ar.

b) Ao ar Livre

Um anemômetro totalizador à 2m acima da cultura para indicar a velocidade do vento.

Dois radiômetros para medirem irradiação solar global e difusa.

Um pluviômetro destinado a medir a quantidade de água precipitada.

Um tanque "Classe A", para medir a variação do nível da lâmina de água evaporada.

Um heliógrafo para registrar o número de horas de brilho do sol.

Termômetros de solo nos níveis de 5, 10 e 20cm de profundidade com a finalidade de medir a temperatura do solo.

### 3.5. ANÁLISE DE CRESCIMENTO DA CULTURA

As medições foram efetivadas diariamente a partir do 21º dia após a semeadura e foram coletadas semanalmente duas plantas aleatoriamente por parcela. Das folhas, foram retiradas trinta discos por meio de um vazador de 1,54 cm de diâmetro. Foi anotado o peso úmido dos discos das folhas e parte reprodutiva, e em seguida levado à estufa à 75 °C, até atingir peso constante, e após três dias na estufa foram pesados novamente todos os elementos acima citados, e com isso conhecemos o peso seco dos mesmos. Em seguida, conhecendo-se a área dos discos e o peso seco das folhas, calculou-se a área foliar por planta. O índice de área foliar (IAF) foi obtido pelo quociente da área foliar e da área do solo ocupado pela planta.

A área foliar (AF), a taxa de crescimento absoluto (TCA), a taxa de assimilação líquida (TAL) e a taxa de crescimento relativo (TCR) foram determinadas através das fórmulas, segundo Blackman & Wilson (1951), como segue:

$$AF = \frac{PTF}{PD} \cdot NF \cdot AD \quad (3.1)$$

$$TCA = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \text{ (g.dia}^{-1}\text{)} \quad (3.2)$$

$$TCR = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{T_2 - T_1} \text{ (g.g}^{-1}\text{.dia}^{-1}\text{)} \quad (3.3)$$

$$TAL = \frac{P_2 - P_1}{A_2 - A_1} \cdot \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{T_2 - T_1} \text{ (g.cm}^{-2}\text{.dia}^{-1}\text{)} \quad (3.4)$$

onde:

AF é a área foliar (cm<sup>2</sup>);

PTF é o peso total das folhas (g);

PD é o peso dos discos (g);

NF é o número de folhas;

AD é a área dos discos (cm<sup>2</sup>).

$P_2 - P_1$  é a diferença do peso seco, em gramas, entre duas amostras consecutivas.

$A_2 - A_1$  é a diferença de área foliar, em  $\text{cm}^2$ , entre as mesmas amostras.  $T_2 - T_1$  é o intervalo de tempo transcorrido, em dias, entre duas colheitas consecutivas.

### **3.5.1. Características Avaliadas**

O crescimento e desenvolvimento da cultura foram acompanhados através de medições semanais da massa seca e área foliar, retirando-se duas plantas em cada parcela, com a finalidade de determinar as taxas de crescimento da cultura descritos a seguir.

### **3.5.2. Sistemática de Coleta de Dados**

Nos instrumentos de leitura direta, foram aplicadas diferentes sistemáticas de coleta de dados para atender aos objetivos específicos do estudo.

Diariamente, no período de 14 de junho a 02 de agosto de 1999 foram realizadas medições da irradiação solar global (Rg), temperaturas do solo à 5, 10 e 20 cm de profundidades, temperaturas dos bulbos úmido e seco, evaporação, velocidade do vento, precipitação, irrigação (quando realizadas). Semanalmente foram realizadas pesagens de matérias verdes e secas. A umidade do solo foi monitorada por meio do método gravimétrico duas vezes por semana, com objetivo de obter-se a evapotranspiração da cultura.

### 3.6. ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração da cultura é determinada com base em princípios físicos e fisiológicos. Neste trabalho foi determinada pela soma da evaporação de água do solo mais a transpiração da mesma. A evaporação da água do solo foi monitorada pelo método gravimétrico, e a transpiração foi estimada de acordo com Ritchie & Burnett(1971)dada por:

$$ETR = E_s + T$$

$$T = EP(-0,21 + 0,70 IAF^{1/2}) , \text{ para } 0,1 \leq IAF \leq 2,7 \text{ ou}$$

$$T = EP - E_s , \text{ para } IAF > 2,7$$

onde:

T=transpiração

EP é a evapotranspiração potencial, estimada por:

$$EP = K_p \cdot ECA$$

onde:  $K_p$  é o coeficiente do tanque, obtido a partir da umidade relativa do ar e velocidade do vento;

ECA evaporação medida no Tanque Classe A ( mm/dia );

IAF índice de área foliar.

$E_s$  evaporação potencial do solo, estimada pela seguinte expressão:

$$E_s = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} SR \exp(-0,41IAF) \quad (3.5)$$

sendo:

$\Delta$  tangente à curva de saturação de vapor (kPa/°C);

$\gamma$  constante psicométrica (kPa/°C);

SR saldo de irradiação solar estimado por (Linacre, 1974):

$$SR = R_g (1 - r) - \sigma T_a^4 (0,56 - 0,092 \sqrt{e}) (0,1 + 0,9 \frac{n}{N}) \quad (3.6)$$

onde:

$T_a$  é a temperatura média diária do ar (°C)

$R_g$  é a irradiação solar global à superfície;

$r$  é a refletividade média da superfície vegetada para o feijão ( $r=0,20$ );

$\sigma$  constante de Stefan-Boltzman ( $\sigma=1,9 \cdot 10^{-7}$  cal.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>),

“e” a pressão parcial exercida pelo vapor d’água, determinada em função das medições da temperatura e umidade relativa do ar, em mmHg.

n insolação diária (horas).

N insolação máxima (horas), calculada por:

$$N = \frac{2}{15} \arccos(-\text{tg} \phi \text{tg} \delta)$$

onde:

$\phi$  é a latitude geocêntrica local e  $\delta$  é a declinação solar.

### 3.7. EXPERIMENTO COM O RAMS

Para este trabalho, foi utilizado o modelo de mesoescala Regional Atmospheric Modeling System ( RAMS ), como ferramenta auxiliar para simular a evapotranspiração sobre a cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*). Os resultados do modelo foram comparados com os dados obtidos experimentalmente objetivando fazer uma avaliação da cultura e presteza do modelo.

A simulação do modelo realizou-se de forma pseudo unidimensional (comunicação pessoal do prof. Dr. Adilson Wagner Gandú, 1999), a qual corresponde a um experimento bidimensional com um corte vertical na latitude de 7° 9'S com uma extensão longitudinal de 10' de arco de grau com longitude central de 35° 51'W.

Foram utilizados na direção vertical 30 níveis com resolução variável, 100 m na primeira camada e, à medida que a altura aumenta, o espaçamento vertical cresce por um fator de 1,2 até atingir 1000 m de resolução, a qual mantém-se constante até o topo do modelo. Para o solo foram utilizados 7 níveis de profundidade.

Iniciou-se o modelo com os dados termodinâmicos de uma radiossondagem da atmosfera considerada em repouso, de forma que o domínio fosse homogêneo na horizontal no instante inicial. Os campos atmosféricos iniciais foram tratados de forma homogênea em todo o domínio. O perfil de sondagem utilizada no modelo foi da localidade de Natal-RN (5° 48'S, 35° 13'W e

8m), obtida por meio das análises do modelo global do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos ( CPTEC ) das 03:00 UTC do dia 26 de julho de 1999. As variáveis relativas ao nível de pressão necessária para inicialização do modelo foram a temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, e componente zonal fixada em 4m/s para todos os níveis da atmosfera.

O índice de área foliar do modelo foi alterado pelos valores observados nos tratamentos do dia 26 de julho de 1999, de forma que a vegetação escolhida (grama curta) representasse com maior fidelidade possível as características físicas da cultura nesse período.

Outra característica principal tal como a reflectividade da cultura, foi bastante semelhante à já existente no modelo, não necessitando portanto de ser modificada.

### **3.7.1. Processos Físicos**

Utilizou-se a parametrização da radiação de ondas longas e curtas a de Chen & Cotton (1983), que trata o espalhamento da radiação de ondas curtas pelo oxigênio, ozônio e dióxido de carbono, além da absorção pelo vapor d'água. Os esquemas de ondas longas tratam da emissão e absorção na faixa do infravermelho pelo vapor d'água e dióxido de carbono. Em que:

- frequência de atualização da radiação: 30 minutos;
- variação longitudinal da irradiação de ondas curtas: ativada;

A parametrização de cúmulos utilizada foi desenvolvida por Tremback (1990) a partir da formulação de Kuo (1974), modificada por Molinari

(1985). É uma parametrização bastante simplificada, válida apenas para convecção profunda, para a qual o entranhamento de massa ambiente pela nuvem é desprezível. A frequência com que são realizados os cálculos da parametrização é de  $1/300 \text{ s}^{-1}$ .

A vegetação considerada foi do tipo grama curta, pois é a vegetação disponível no modelo que mais se assemelha a cultura do experimento. De acordo com as características vegetativas pré estabelecidas no modelo, o tipo de solo a ser utilizado foi o Franco Arenoso, predominante na região em estudo, com as características vegetativas adaptadas ao da cultura no dia a ser simulado.

### **3.7.2. O Modelo de Interação Solo-Vegetação-Atmosfera**

No RAMS, a superfície é dividida em três classes: água, solo sem vegetação e superfície vegetada. A parametrização da camada superficial necessita dos valores de temperatura e umidade da superfície para as três classes. Para a superfície líquida a temperatura é mantida constante no tempo e varia no espaço, enquanto a variável de umidade utilizada na parametrização é a razão de mistura saturada, definida em função da pressão à superfície e da temperatura da água.

De acordo com Prates (1994), os processos físicos que ocorrem na camada entre a superfície do solo e a profundidade de aproximadamente três metros são parametrizados com o objetivo básico de calcular a temperatura e umidade na interface do solo-atmosfera. A partir desses elementos, podem-se estimar os fluxos verticais de calor latente e sensível, que são importantes mecanismos de troca de energia entre a superfície e a atmosfera.

O esquema de parametrização dos fluxos de calor e umidade no interior do solo, sem vegetação, utilizado no RAMS, foi desenvolvido por Tremback & Kessler (1985) a partir do modelo multi-camadas proposto por Mahrer & Pielke (1977) e Mccumber & Pielke (1981). A transferência de calor e umidade de uma camada para outra é permitida apenas verticalmente. As equações prognósticas da temperatura do solo e da umidade são derivadas das respectivas equações de difusão resolvidas explicitamente. A difusividade de vapor d'água, a condutividade hidráulica e o potencial hídrico do solo saturado são tomados como parâmetros para caracterizar o tipo de solo. A solução destas equações e o balanço de energia na superfície fornecem os valores da temperatura e umidade, necessárias ao acoplamento com a atmosfera.

No caso da existência de cobertura vegetal, o modelo inclui uma parametrização da influência das raízes na extração de água do solo, afetando, portanto, a taxa de variação de umidade e transpiração.

Conforme Lee & Pielke (1992), nos momentos em que a temperatura da superfície do solo é máxima, maior do que no ar e nas camadas mais profundas, o fluxo de umidade tende a se dirigir para estes níveis causando rápida secagem na superfície. Isto produz um forte gradiente no potencial hídrico, o que pode dar origem a problemas de instabilidade numérica e de natureza física. Estabelece-se rapidamente uma camada que, em razão dos poros estarem preenchidos com ar, dificulta a evaporação e isola termicamente as camadas inferiores. Nestes casos, a temperatura tende a atingir altos valores. Para reduzir este efeito deve-se utilizar alta resolução próximo da superfície (de 2 a 30cm), com a primeira camada de, no máximo, 5 cm de espessura, para evitar a secagem em apenas um passo de tempo, o que poderá resultar em uma situação de estresse hídrico "numérico" na vegetação, causando um aumento na resistência ao fluxo de água e a conseqüente redução na transpiração.

### **3.7.3. O Modelo de Interação Vegetação-Atmosfera**

Mecanismos físicos como transportes verticais de "momentum", e calor latente e sensível da superfície para a atmosfera são drasticamente modificados na presença da vegetação. Segundo Regnier (1993), a cobertura vegetal é um filtro ativo das trocas entre dois reservatórios: o solo e a atmosfera. A ação desse filtro dependerá do estado dos dois reservatórios e do tempo. Em especial, no processo de transferência de água do solo para a atmosfera, a vegetação desempenha papel importante em vários aspectos:

- I. exerce controle na taxa de transferência por meio da evapotranspiração;
- II. aumenta o volume de solo explorado para extração de água pelo sistema radicular;
- III. armazena uma fração da precipitação (função da arquitetura da planta e intensidade da chuva), e sendo esta condensada diretamente na superfície das folhas, é em seguida evaporada;
- IV. contribui para o armazenamento de água no solo, na medida em que favorece a infiltração;
- V. contribui na transferência de calor sensível e latente para o ambiente; e
- VI. contribui na transferência de radiação: absorvendo-a fotossinteticamente ativa; absorve e emite a radiação difusa; e reflete, absorve e transmite a radiação solar.

Para fins de modelagem, pode-se considerar como relevantes nos processos de interação da superfície com a atmosfera as seguintes características da vegetação:

i. Parâmetros Fisiológicos:

- resistência estomatal ao fluxo de vapor como função da incidência de luz solar, temperatura e potencial hídrico; e
- resistência ao fluxo de água líquida do sistema vascular da planta incluindo o sistema radicular.

ii. Parâmetros Morfológicos:

- índice de área foliar; e
- arquitetura da planta.

iii. Parâmetros Físicos:

- propriedade de reflectância das folhas em diferentes comprimentos de onda;
- transmissividade das folhas;
- coeficiente de arrasto do dossel;
- parâmetro de rugosidade, que é uma característica da superfície (solo ou vegetação) afetando direta e indiretamente as trocas turbulentas de calor latente e sensível; e
- capacidade térmica do dossel.

Alguns desses parâmetros são naturalmente de difícil obtenção, inviabilizando, às vezes, a sua utilização de forma explícita nas equações.

No RAMS, o modelo de vegetação implementado por Tremback (1990) e que foi desenvolvido com base nas propostas de Avissar & Mahrer (1985), com modificações extraídas do *Biosphere Atmosphere Transfer Scheme* (BATS) (Dickinson *et al.*, 1980), possui duas etapas bem distintas. Na primeira, utiliza as equações do balanço hídrico e de energia e os valores dos fluxos de calor sensível e latente do espaço de tempo anterior para atualizar a temperatura da vegetação e os perfis da temperatura e umidade do solo nú e coberto. Numa segunda, calcula-se os fluxos de calor sensível e latente a partir dos valores atualizados da temperatura e umidade do solo e da vegetação.

No RAMS, nas áreas do domínio onde existe cobertura vegetal são efetuados três tipos de balanço de irradiação, em função das diferentes propriedades radiativas das superfícies:

i) fração não sombreada:

Na malha, a fração de solo sombreado ( $\mu$ ) é definida como uma característica do tipo de vegetação e o solo nú é dado por  $(1 - \mu)$ . Para esta situação, a equação do balanço de radiação é expressa por:

$$Rn_{sv} = (1 - \alpha_m)R_S + \epsilon_S (R_l - \epsilon_S \sigma T_S^4) \quad (3.7)$$

em que  $Rn_{sv}$  é o saldo de radiação sobre o solo sem vegetação,  $R_S$  e  $R_l$  são a irradiação solar incidente de ondas curtas e longas, respectivamente,  $T_S$  e  $\epsilon_S$  a temperatura e a emissividade do solo (depende do comprimento de onda e varia de acordo com as características da superfície), respectivamente, e  $\alpha_m$  representa o albedo médio entre o solo nu e o sombreado:

$$\alpha_m = (1 - \mu)\alpha_n + \mu\alpha_v \quad (3.8)$$

em que  $\alpha_v$  é o albedo da vegetação e  $\alpha_n$  o albedo do solo nú dependente da umidade do solo, sendo definido como:

$$\alpha_n = 0,31 - 0,17\Delta, \text{ se } \Delta \leq 0,5 \quad \text{e}$$

$$\alpha_n = 0,14, \text{ se } \Delta > 0,5,$$

em que  $\Delta = \left( \frac{\eta}{\eta_S} \right)$  é a umidade (fracional) do solo.

O albedo depende do ângulo zenital do sol, da distribuição espectral da radiação solar incidente na superfície, e se tal radiação é direta ou difusa, das características da superfície (vegetação, solo, água, deserto, neve) e da umidade disponível.

ii) *Solo sombreado:*

O saldo de radiação sobre um solo sombreado é dado por:

$$Rn_{SS} = t_v (1 - \alpha_m) R_s + \epsilon_s \left[ (1 - \epsilon_v) R_l + \epsilon_v \sigma T_v^4 \right] - \epsilon_s \sigma T_{SS}^4 \quad (3.9)$$

em que  $t_v = 2^{-IAF}$  representa a parametrização da extinção da radiação de ondas curtas através do dossel, em função do índice de área foliar (IAF) definido como a razão entre a área total das folhas de uma planta e a área projetada no solo (adimensional),  $T_{SS}$  é a temperatura do solo sombreado (em K),  $\epsilon_v$  é a emissividade da vegetação, e  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann.

Os balanços radiativos ( $Rn_{SS}$  e  $Rn_{SY}$ ) são utilizados para calcular os dois fluxos de calor no interior da camada do solo e do sombreado. Esses dois fluxos servirão, inclusive, de condições de fronteira às equações prognósticas da temperatura do solo nú e sombreado.

iii) *Sobre a vegetação:*

O saldo de radiação sobre a região coberta por vegetação é dado por:

$$Rn_v = (1 - \alpha_v - t_v)R_S + \varepsilon_v(R_l + \varepsilon_S \sigma T_{SS}^4) - 2\varepsilon_v \sigma T_v^4 \quad (3.10)$$

Cada balanço é realizado como se a malha de grade fosse homogênea, e o resultado final é ponderado pelas respectivas frações ocupadas de cada tipo de cobertura. Como no caso da temperatura do solo, o saldo de radiação,  $Rn_v$ , é utilizado na equação prognóstica da temperatura do dossel e é obtida pela expressão:

$$C_v \frac{\partial T_v}{\partial t} = L E t_r + H_v + Rn_v \quad (3.11)$$

em que  $H_v$  é o fluxo de calor sensível da vegetação,  $L$  o calor latente de vaporização,  $E t_r$  a evapotranspiração e  $C_v$  a capacidade térmica do dossel vegetativo, definido como:

$$C_v = k c_w \rho_w IAF \quad (3.12)$$

em que  $k$  é uma constante de proporcionalidade determinada empiricamente e  $c_w$  e  $\rho_w$  são, respectivamente, a capacidade calorífica e a densidade volumétrica da água. Com a temperatura da vegetação,  $T_v$ , calcula-se a umidade específica do ar na interface vegetação-atmosfera:

$$q_{av} = d_S q_S(T_v) + (1 - d_S) q_r \quad (3.13)$$

em que  $q_S(T_v)$  é a umidade específica de saturação na superfície da folha a uma temperatura  $T_v$  da vegetação,  $q_r$  a umidade específica no nível de referência do modelo e  $d_S$  o fator que representa a condutância estomatal, definido como:

$$d_s = \frac{(d_s^m + (d_s^M - d_s^m) f_{RS} f_{Tv} f_c f_\psi f_D)}{d_s^M} \quad (3.14)$$

em que  $d_s^m$  e  $d_s^M$  são a condutância estomatal mínima (estômato totalmente fechado, transpiração exclusivamente através da cutícula) e máxima (estômato totalmente aberto), respectivamente. São valores determinados experimentalmente e dependentes da espécie vegetal. Os termos  $f_x$  são funções que quantificam a influência de fatores do ambiente relacionados com o mecanismo de fechamento e abertura do estômato, em que  $D$  é o déficit hídrico entre o interior da câmara estomática e o ar,  $\psi$  é o potencial hídrico médio do solo e  $C$  a concentração do dióxido de carbono. A expressão geral tem a forma:

$$f_x = (1 + \exp(-c(x - b)))^{-1} \quad (3.15)$$

Por exemplo, no caso de  $f_{RS}$ , que representa a atenuação da radiação solar global (ondas curtas) por meio do dossel, para o IAF maior que 1, tem-se:

$$f_{RS} = \frac{1}{IAF} \sum_1^{IAF} \left[ 1 + \exp \left[ c \left( \frac{R_S}{2 IAF} - b \right) \right] \right]^{-1} \quad (3.16)$$

As constantes  $c$  e  $b$  são obtidas experimentalmente. Nas condições desenvolvidas neste trabalho foram utilizados valores encontrados em Avissar & Mahrer (1989) para a planta do fumo. Os balanços de radiação estão em  $Wm^{-2}$ .

#### 3.7.4 Fluxos na Camada Limite Superficial

De acordo com o trabalho de Prates (1994), o cálculo dos fluxos de calor latente (E) e sensível (H) e "momentum" (M), no nível de referência para o interior da camada de fluxo constante, baseia-se na parametrização proposta por Businger *et al.* (1971) e nas modificações realizadas por Louis (1979).

### 3.7.5. Fluxo de Calor Sensível

O fluxo de calor sensível é definido por:

$$H = \rho_a c_p (u^* \theta^*) \quad (3.17)$$

$$\text{com: } u^* \theta^* = \frac{C_H^2}{R} \Phi_H(R_i) |u_r| \Delta\theta$$

$$\text{onde, } \Delta\theta = \theta_r - \theta_v$$

em que  $\rho_a$  é a densidade do ar (em  $\text{kgm}^{-3}$ ),  $c_p$  o calor específico do ar (em  $\text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ ),  $R_i$ ,  $R$ ,  $C_H$  e  $\Phi_H$  são definidos no item 3.3.4,  $u_r$  é a velocidade do vento no primeiro nível de referência (m/s),  $\theta_r$  e  $\theta_v$  são, respectivamente, as temperaturas no primeiro nível de referência e no interior da interface vegetação-atmosfera (K).

A escala de velocidade é dada por  $u^* = \sqrt{|w'u'|}$ .

Os fluxos são valores médios em cada ponto da grade, logo as velocidades dos fluxos ( $w'u'$ ) podem ser escritas por:

$$|w'u'| = -\cos\left(\frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}}\right) + \left( f_w(u^{*2})_w + f_g(u^{*2})_g + f_{veg}(u^{*2})_{veg} + f_S(u^{*2})_S \right)$$

em que os índices  $w$ ,  $g$ ,  $veg$  e  $s$  referem-se a água, solo nú, vegetação e solo sombreado, respectivamente,  $f$  é a fração da grade de cada componente  $u$  e  $v$  são, respectivamente, as componentes zonal e meridional do vento em cada ponto de grade. Além disso,  $f_{veg} = f_s$  e  $f_w = (1 - f_g - f_{veg})$ , e

$$\theta^* = -\frac{w'\theta'}{u^*}$$

em que

$$w'\theta' = -[f_w(u^*\theta^*)_w + f_g(u^*\theta^*)_g + f_{veg}IAF(u^*\theta^*)_{veg} + f_s(u^*\theta^*)_s]$$

em que os índices  $w$ ,  $g$ ,  $veg$  e  $s$  têm o mesmo significado dos indicados anteriormente.

### 3.7.6. Fluxo de Calor Latente

O fluxo de calor latente é definido por:

$$E = \rho_a L(u^* q^*)$$

$$\text{com } u^* q^* = \frac{C_E}{R} \Phi_E(R_i) |u_r| \Delta q \quad \text{e}$$

$$\Delta q = q_r - q_v \tag{3.18}$$

em que  $q^*$  é a escala de umidade específica, expressa por:

$$q^* = -\frac{w'q'}{u^*}$$

em que

$$w'q' = -[f_w(u^*q^*)_w + f_g(u^*q^*)_g + f_{veg}(u^*q^*)_{veg} + f_s(u^*q^*)_s]$$

e os índices w, g, veg, s e os termos L e  $\rho_a$  têm o mesmo significado conforme mencionado anteriormente. O termo  $C_E$  está definido no item a seguir.

### 3.7.7. Fluxo de "Momentum"

O fluxo de "momentum" é definido por  $M = \rho u^{*2}$

$$\text{em que } u^{*2} = C_D^2 u_r^2 \Phi_M(R_i) \quad (3.19)$$

Os coeficientes de transferência turbulenta são definidos como:

$$C_D^2 = \left[ \frac{k}{\ln\left(\frac{z_r - z_d}{z_o}\right)} \right]^2 \quad \text{e}$$

$$C_H = C_E = \frac{C_D}{R}$$

em que R representa a razão entre os coeficientes de arrasto para "momentum" e calor na condição-limite de estabilidade neutra, estimado por Businger *et al.* (1971) como 0,74, sendo  $z_d$  o deslocamento do plano zero (em m),  $z_o$  o parâmetro de rugosidade (em m),  $z_r$  o primeiro nível de referência do modelo (em m) e k a constante de Von-Karman.

As funções que corrigem os fluxos para casos de estratificação estável e, ou, instável, em função do número de Richardson ( $R_i$ ), segundo Louis (1979) são:

$$F = 1 - \frac{bR_i}{1 + c|R_i|^{1/2}}, \text{ para condição instável } \theta_v \geq \theta_r \quad (3.20)$$

$$F = \frac{1}{(1 + b'R_i)^2}, \text{ para condição estável } \theta_v \leq \theta_r \quad (3.21)$$

em que o número de Richardson é definido por:

$$R_i = \frac{g'(z_r - z_d)\Delta\theta}{\bar{\theta}(u_r^2)}, \text{ com } \Delta\theta = \theta_r - \theta_v \quad (3.22)$$

Nas equações 3.20 e 3.21, as constantes são definidas como:

$$b = 2b' = 9,4 \text{ e } c = C^* a^2 b \left(\frac{z}{z_0}\right)^{1/2}, \text{ em que } C^* = 7,4 \text{ para "momentum" e } 5,3 \text{ para}$$

calor latente e sensível. As funções de correção ( $\Phi_M, E, H$ ) são as mesmas para os três fluxos,  $g'$  é a aceleração da gravidade ( $\text{ms}^{-2}$ ) e  $\bar{\theta}$  é a temperatura média na interface vegetação-atmosfera. Os fluxos de calor sensível, latente e de "momentum" estão expressos em  $\text{Wm}^{-2}$ .

Algumas características da vegetação utilizadas neste trabalho como fração máxima do solo coberto com vegetação, máxima e mínima condutância estomática, albedo na faixa de comprimento de onda até  $0,7 \mu\text{m}$  e acima deste valor são obtidas das 18 classes de cobertura vegetal relacionadas em Dickinson *et al.* (1980).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 – ANÁLISE DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica, irradiação solar global, insolação, intensidade do vento e temperatura e umidade do solo são analisados a seguir, onde pode-se observar algumas características do microclima, no qual a cultura se desenvolveu.

#### 4.1.1 – Temperatura do Ar

A Figura 4.1 mostra as temperatura média diária no período compreendido entre 14 de junho a 02 de agosto de 1999. A mesma configura período de oscilação com valores aproximadamente de 30°C em 20 de junho até aproximadamente 21°C em 29 de julho. O que pode ser observado também, é que **as** temperaturas mais elevadas coincidiram com o

início do crescimento e desenvolvimento da cultura, propiciando desta forma, mais calor para o sistema radicular das plantas. No restante do período ( 27 de junho a 02 de agosto), observa-se que a temperatura média do ar mantém-se em torno da média, 25°C, com exceção dos dias 07, 12 e 27 de julho em que a temperatura do ar média diária oscilou em torno de 23°C, e os dias 28 de junho e 20, 24, 29 de julho que registraram os mínimos valores, em torno de 21°C. Esta Faixa de temperatura do ar em que a cultura esteve submetida está dentro do intervalo de condições térmicas favoráveis ao bom rendimento da mesma. Em trabalho semelhante, Scalopi (1972), observou na região de Botucatu-SP, valores próximos a este nas diversas fases de desenvolvimento do feijão, sendo os mesmos satisfatórios ao crescimento da cultura.

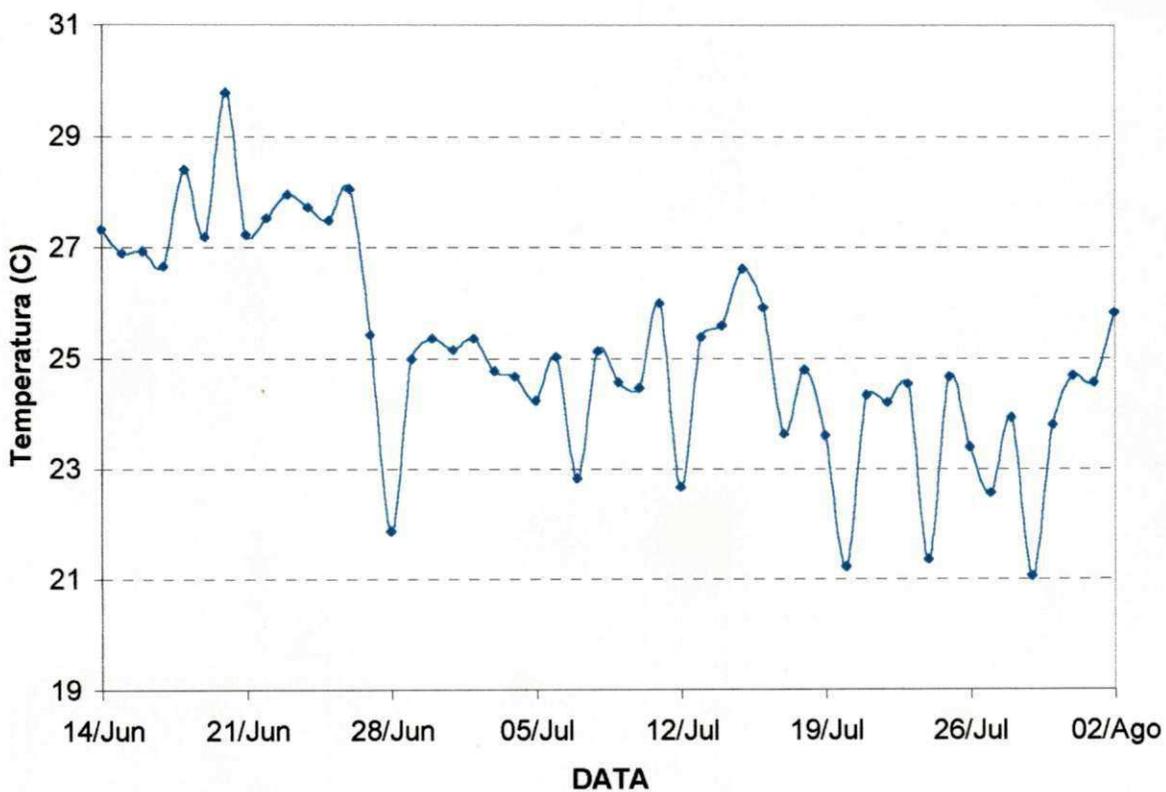


Figura 4.1 Temperatura média diária do ar durante o ciclo da cultura

#### 4.1.2 – Umidade Relativa do Ar

Analisando o comportamento da umidade relativa média diária do ar, no período de 14 de junho a 02 de agosto de 1999, foi bastante variável no decorrer do período (Figura 4.2). Os mínimos valores observados se verificaram nos dias 20 e 28 de junho e 02 de agosto com respectivos valores de 42%, 53% e 60%. Os valores máximos superiores a 80%, se verificou em boa parte do período, estando esses valores associados aos dias com bastante nebulosidade e com precipitação. De modo geral a faixa de umidade relativa do ar mantendo-se alta, indicando pequena demanda atmosférica e conseqüentemente uma baixa evapotranspiração o que favorece um bom desenvolvimento e rendimento da cultura, os quais concordam com Unland *et al.* ( 1996 ) que ao conduzirem um experimento de campo em uma região desértica semi-árida (Oregon-EUA), concluíram que as medidas micrometeorológicas apresentaram pequena variação dos parâmetros meteorológicas sobre a cultura devido as elevadas temperaturas e a baixa umidade relativa do ar levou a um stress hídrico em um relativo curto espaço de tempo

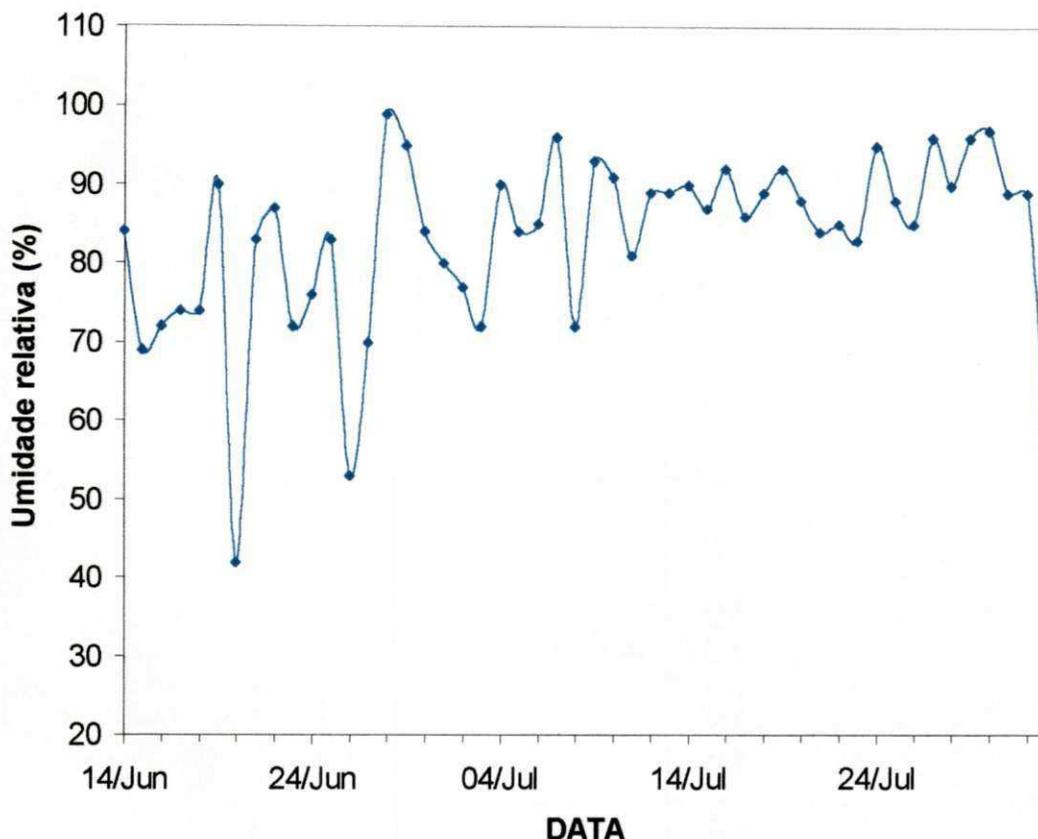


Figura 4.2 Umidade relativa média diária do ar durante o ciclo da cultura.

#### 4.1.3 – Precipitação e Irrigação

Na Figura 4.3, ilustra o comportamento da precipitação e irrigação não planejada a contento ocorrida no período de 14 de junho a 02 de agosto de 1999, que oscilaram entre 02 mm em 14 de junho ate aproximadamente 50 mm em 07 de julho. Verificou-se que os máximos valores da precipitação coincidiram com o período de desenvolvimento, floração e frutificação da cultura, sendo este último o período de maior consumo de água pela planta. A precipitação manteve-se abaixo

das condições recomendadas para um bom cultivo, mas o suficiente para que a cultura (feijão) não sofresse em demasia pelos efeitos causados pelo estresse hídrico. Por outro lado, em experimento de campo bem planejado, em que a irrigação é fator fundamental, para suprir a necessidade da precipitação ao longo da estação de cultivo, é necessário escolher satisfatoriamente o método de irrigação e calcular a lâmina d'água a ser reposta ao solo, atenda as necessidades hídricas da cultura, que de acordo com Raggi *et al.* (1972), verificaram o efeito do teor de umidade do solo na produção do feijão e concluíram que as fases de floração e de frutificação foram as fases mais críticas à deficiência de água. Pandey *et al.* (1984), comparando o comportamento de quatro leguminosas (soja, caupi, amendoim e feijão), sob condições variadas de suprimento hídrico, concluíram que o amendoim e o feijão são as culturas que menos sofreram adversamente aos efeitos da deficiência hídrica.

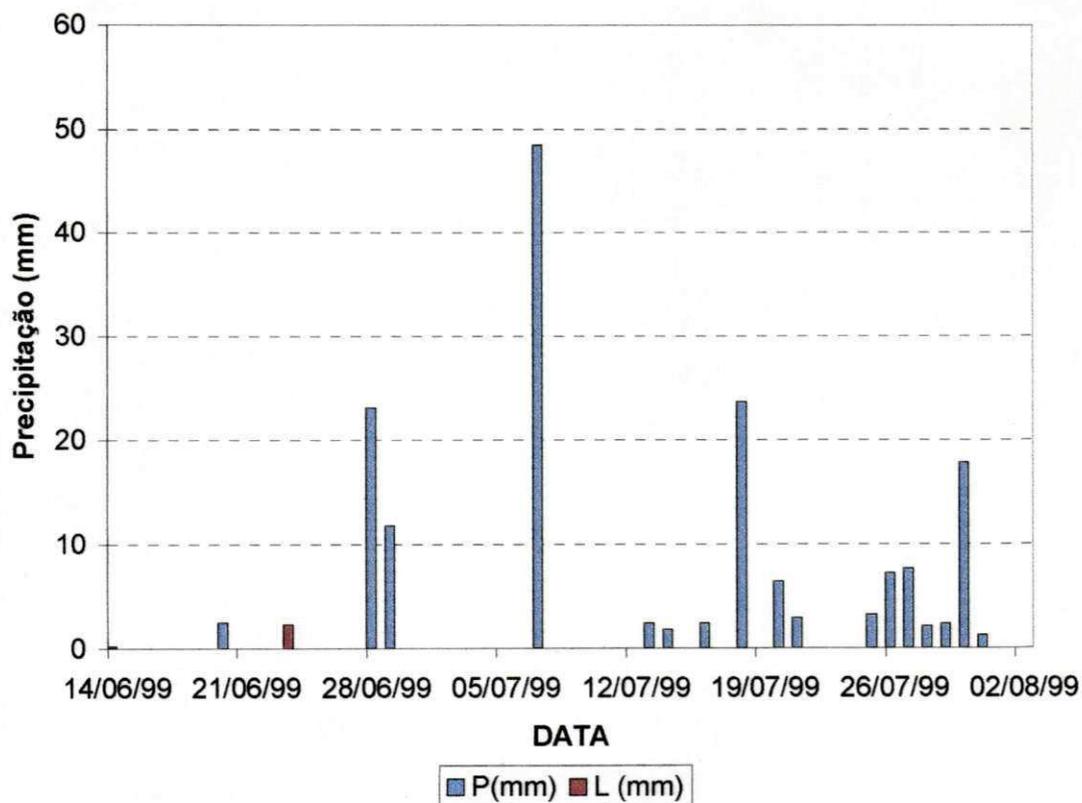


Figura 4.3 Totais diários de precipitação e irrigação durante o ciclo da cultura.

#### **4.1.4 – Irradiação Solar Global**

A irradiação solar global apresentou-se no período estudado ( 14 de junho a 02 de agosto de 1999 ), com intensidade na maior parte dos dias entre 300 e 500 cal.cm<sup>-2</sup> ( Figura 4.4 ), tendo atingido os maiores valores nos dias 11 de julho e 01 de agosto, com valores de aproximadamente 510 cal.cm<sup>-2</sup> onde os dias se apresentaram com pouca nebulosidade; enquanto que, valores inferiores a 100 cal.cm<sup>-2</sup>, ocorreram entre os dias 27 e 31 de julho de 1999, associados a grande nebulosidade e até mesmo a ocorrência de precipitação, o que favoreceu a uma pequena demanda atmosférica e reposição de água ao solo, contribuindo para o bom desenvolvimento e produtividade da cultura.

A irradiação solar que atinge a superfície da terra é de fundamental importância para diversos processos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera. Do total de irradiação que chega à superfície, parte é imediatamente refletida, e outra parte é absorvida pela mesma, diferindo portanto, dentro do espectro de irradiação solar. Segundo Gates ( 1965 ), as plantas absorvem cerca de 50% da radiação de ondas curtas incidente sobre a mesma e 97% da irradiação de ondas longas proveniente da atmosfera. A quantidade de radiação de ondas curtas absorvida pela cultura influencia o fluxo de irradiação de ondas longas emitido pela cultura, pois influencia diretamente a temperatura da superfície ( Subrahmany & Kumar, 1984 ).

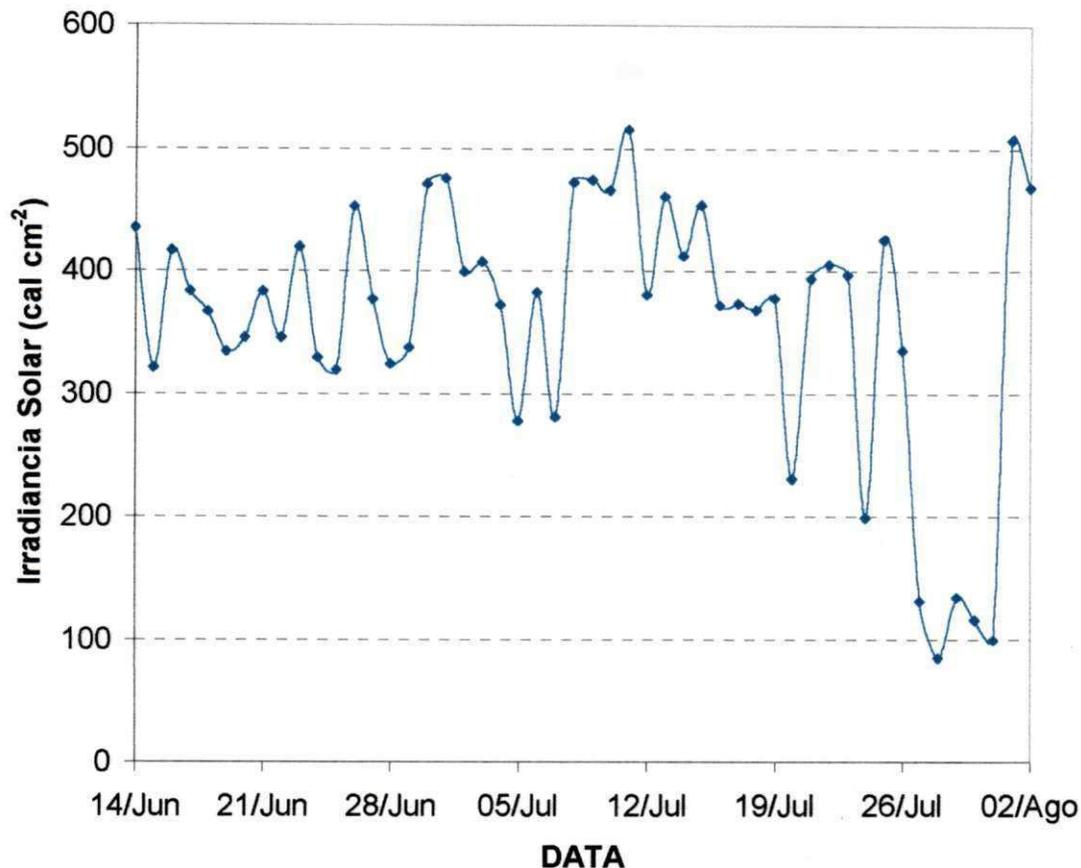


Figura 4.4 Distribuição da Irradiação Solar global média diária durante o ciclo da cultura

#### 4.1.5 - Insolação

A insolação diária manteve-se, em média no período, com 5 horas diárias, onde os maiores valores oscilaram entre 8 e 10 horas em dias com pouca nebulosidade. Os menores valores situaram-se abaixo de 2 horas, o que correspondeu a 6 dias ( Figura 4.5 ), associados a dias com grandes valores de

nebulosidade e precipitação, que contribuíram para a baixa irradiação solar, favorecendo a inibição de stress hídrico da cultura.

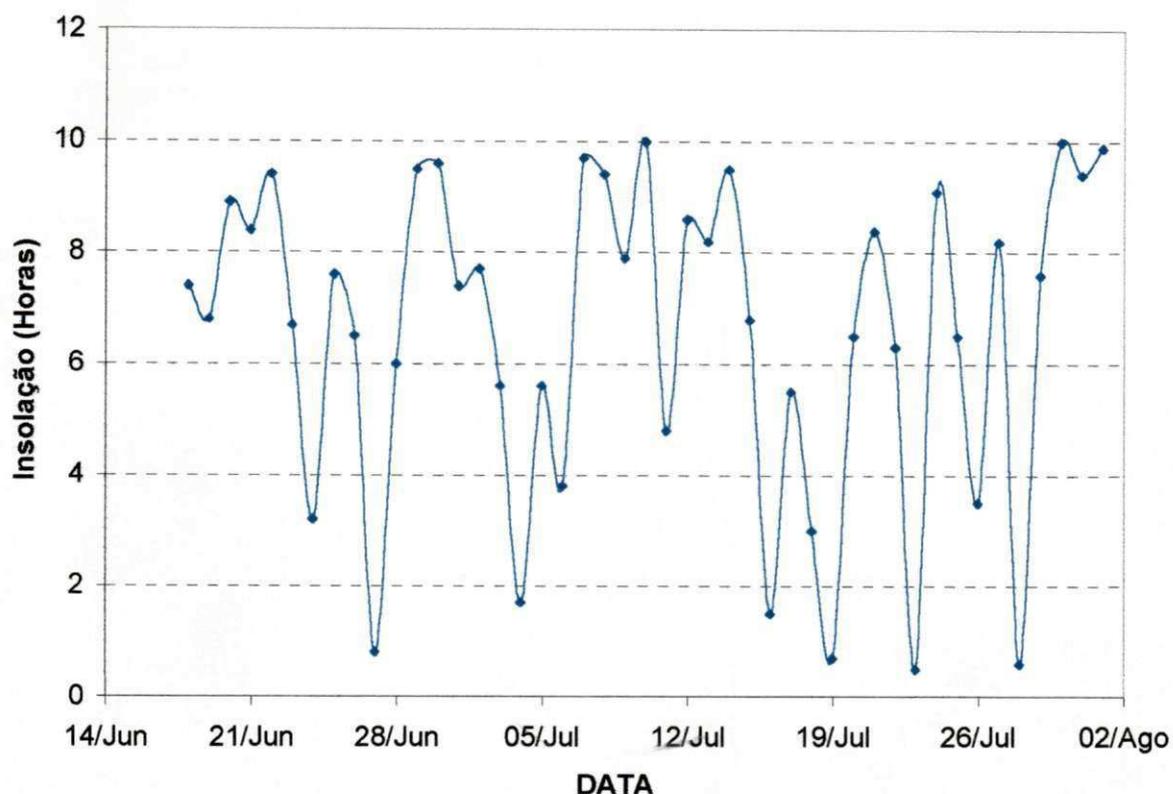


Figura 4.5 Distribuição diária da insolação durante o ciclo da cultura

#### 4.1.6 – Velocidade do Vento

Para ilustrar o comportamento diário da intensidade do vento como mostra a Figura 4.6, foi considerado o período de 14 de junho a 02 de agosto de 1999, ou seja, 14 dias após a semeadura até a fase de colheita da cultura.

Observou-se que a velocidade do vento apresentou pronunciada variação ao longo da pesquisa, caracterizado por ventos fracos, com valores que variaram de 19 km/dia a 30 km/dia nos dias 18,21,22, 23, 29 de junho e 04, 14, 16, 22 de julho. A velocidade do vento do ponto de vista da dinâmica da atmosfera, é importante por representar também algumas características termodinâmicas do meio ambiente que influem sobre maneira nas reações fisiológicas e metabólicas das plantas. Além disso pode-se afirmar que o vento também é responsável por facilitar em parte com o fluxo de calor latente existente no sistema solo-planta-atmosfera. Portanto, em função destas variações, as quais a cultura (feijão) esteve submetida, assegura-se que com relação ao vento, a mesma encontrou-se em boas condições de desenvolvimento.

No dia 01 de agosto, apesar da velocidade do vento atingir cerca de 95 km/dia, não foi observado aumento de temperatura do ar nem diminuição da umidade da atmosfera. Justifica-se pelas chuvas ocorridas nos últimos três dias anteriores (21,3 mm), que contribuiu para resfriar as superfícies, de tal forma que, mesmo com o vento forte o ar apresentou-se termodinamicamente equilibrado e próximo a saturação, concordando com Kohler & Parmele (1967), que realizaram uma revisão de técnicas para estimar a evaporação em superfície vegetada, as quais utilizava-se de observações meteorológicas tais como temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, velocidade do vento, irradiação refletida, irradiação global, saldo de irradiação e pressão de vapor d'água sobre a superfície vegetada. Eles apresentaram uma correção positiva para o coeficiente psicrométrico, ( $\gamma$ ), a fim de compensar a igualdade considerada entre a temperatura do ar e a temperatura da vegetação na equação de Penman. Desse modo, a equação de Penman apresentou uma superestimativa da evaporação, sob condições de ar calmo e úmido, e conseqüentemente subestimar a evaporação em condições de ar seco e vento forte.

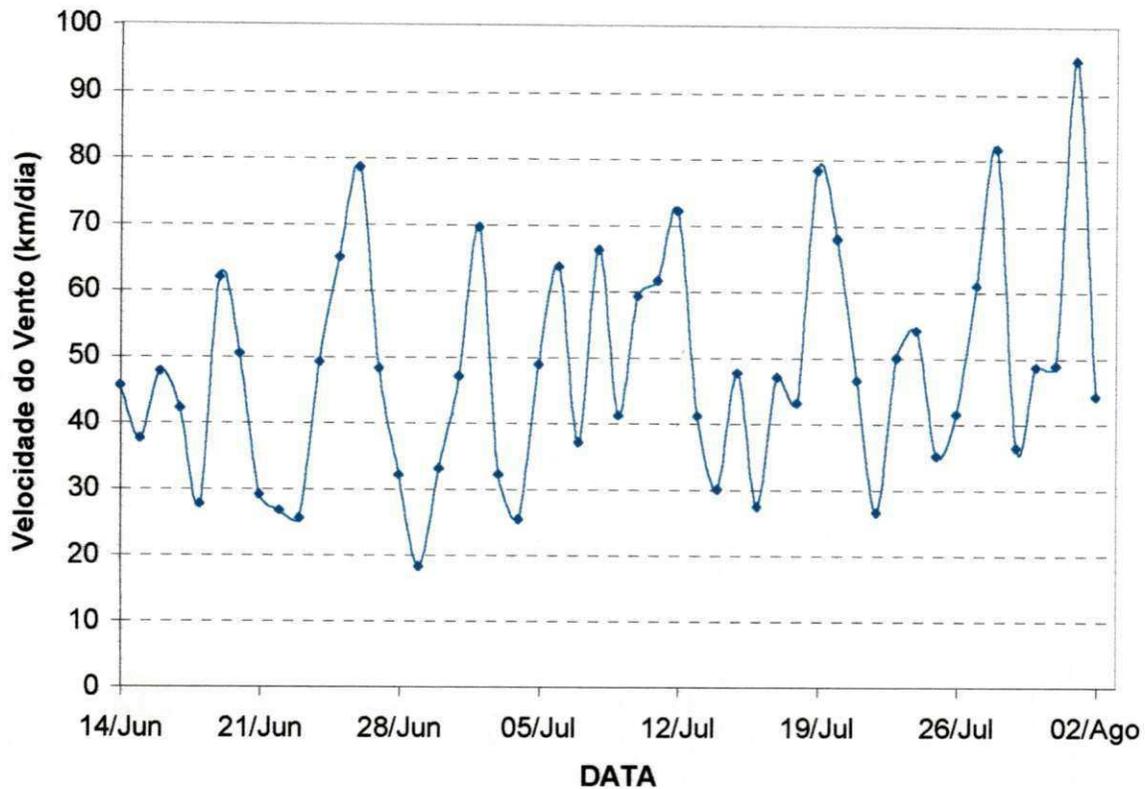


Figura 4.6 Distribuição média diária da Velocidade do Vento durante a realização do experimento.

#### 4.1.7 – Umidade do Solo

O potencial de água no solo é mostrado na Figura 4.7, para as profundidades de 0 a 20cm de profundidade. Observa-se que na camada de 0 a 10cm para todo período estudado a umidade do solo manteve-se aproximadamente entre 0,10 e 0,20cm atingindo o seu valor máximo no dia 05 de julho, período que coincidiu com o pleno desenvolvimento da cultura; no dia 12 de julho ocorreu um

declínio o que não prejudicou a cultura, e em seguida voltou a crescer. Devido ocorrência de precipitação pluviométrica. Na profundidade de 10 a 20cm apresentou menores valores sete dias após a semeadura o que não influenciou significamente o seu desenvolvimento. O máximo valor ocorreu no dia 19 de julho, período de preenchimento das vagens onde ocorre o maior consumo hídrico pela planta. Ainda podemos observar na Figura 4.7 que os valores da umidade do solo nas diferentes profundidades estiveram acima de 0,10 exceto no dia 21 de junho em que os mesmos estiveram abaixo, onde se fez necessário uma reposição de água no solo através de irrigação para que a cultura não entrasse em estresse.

Nota-se também que na camada mais profunda ocorreu alternância entre os movimentos ascendente e descendente. Ante o exposto conclui-se que o movimento de água foi mais intenso próximo a superfície (0 a 10cm) de profundidade devido a evapotranspiração (evaporação + transpiração) da cultura. Cargnel *et al.* (1996) verificaram que durante o estágio de floração até a maturação da soja, o conteúdo da água no solo à 0,15m de profundidade aumentou devido a distribuição irregular da matéria orgânica.

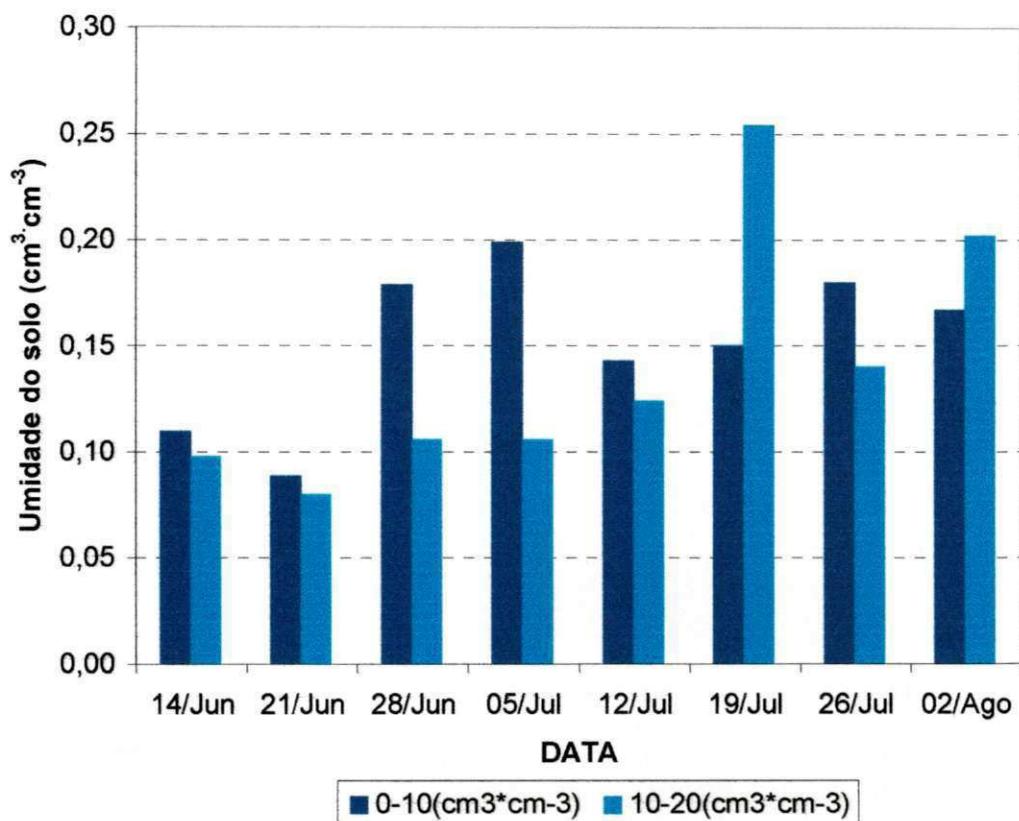


Figura 4.7 Distribuição média diária da umidade do solo durante o ciclo da cultura.

#### 4.1.8 – Temperatura do Solo

Observa-se, na Figura 4.8 comportamento similar para as três profundidades (5, 10 e 20cm). Verificou-se que no início da floração (18/06/99 a 22/06/99), neste período as temperaturas atingiram os maiores valores de aproximadamente 32°C e 29°C para as profundidades de 5cm e 10cm respectivamente, o que foi importante para o desenvolvimento da cultura. Constatou-

se ainda, que as altas temperaturas neste período foi em consequência da baixa umidade do solo, e da oferta de energia solar, pois na profundidade de 20 cm estes efeitos são menos susceptíveis.

Da floração total (22/06/99), ao desenvolvimento e maturação das vagens (12/07/99), ocorreu uma oscilação da temperatura do solo, sendo que em (12/07/99), houve um decréscimo acentuado devido o solo encontrar-se bastante úmido e a presença de nebulosidade. A partir de (19/07/99), a temperatura do solo nas três profundidades decresceram em decorrência ao aumento da precipitação e consequentemente diminuição da temperatura do ar.

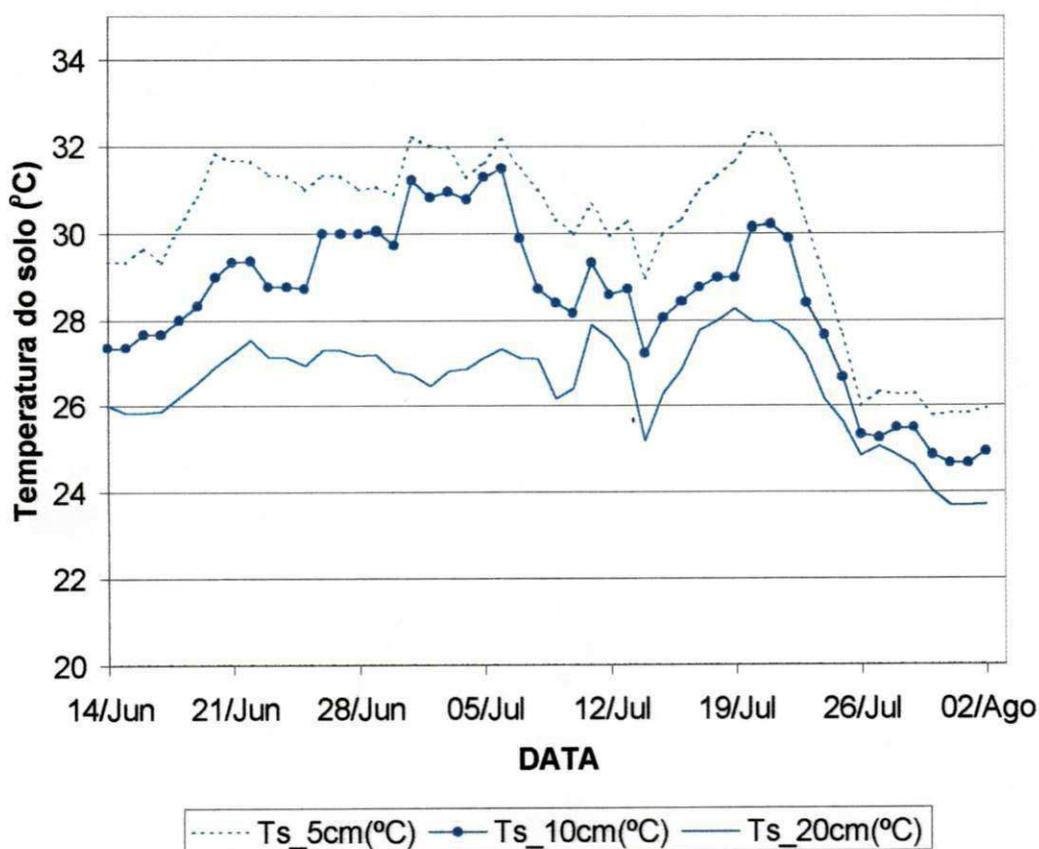


Figura 4.8 Variação diária da temperatura média do solo para três níveis de profundidade.

## 4.2 – ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DA CULTURA

Para análise dos parâmetros de crescimento da referida cultura agrícola foram usados índices que expressam o crescimento, tais como, o índice de área foliar, a taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento relativo e a taxa de crescimento absoluto.

### 4.2.1 – Área Foliar

A Figura 4.9 mostra o comportamento da área foliar nas diferentes fases fenológicas da cultura, onde são apresentados valores semanais. Observou-se que há uma variação no desenvolvimento da planta, onde a mesma atingiu valores de cobertura foliar máximo aos 58 dias após a semeadura (12/07/99), nos tratamentos T1, T2 e T4 e aos 65 dias após a semeadura (DAS) (19/07/99), no tratamento T3 período em que a cultura se encontrava em pleno desenvolvimento e maturação das vagens; isto provavelmente está associado ao acúmulo de água no solo e no interior da planta, que proporcionou uma maior absorção de irradiação solar, o que favoreceu o bom desempenho da mesma assim como o aumento da cobertura morta que evitou a excessiva evaporação. Milthorpe (1986), assinala a importância da área foliar como fator que influi na taxa de crescimento e minimiza a importância da taxa fotossintética; entretanto, Stoy (1983), salienta que a taxa fotossintética pode ser muito importante na determinação das taxas de crescimento.

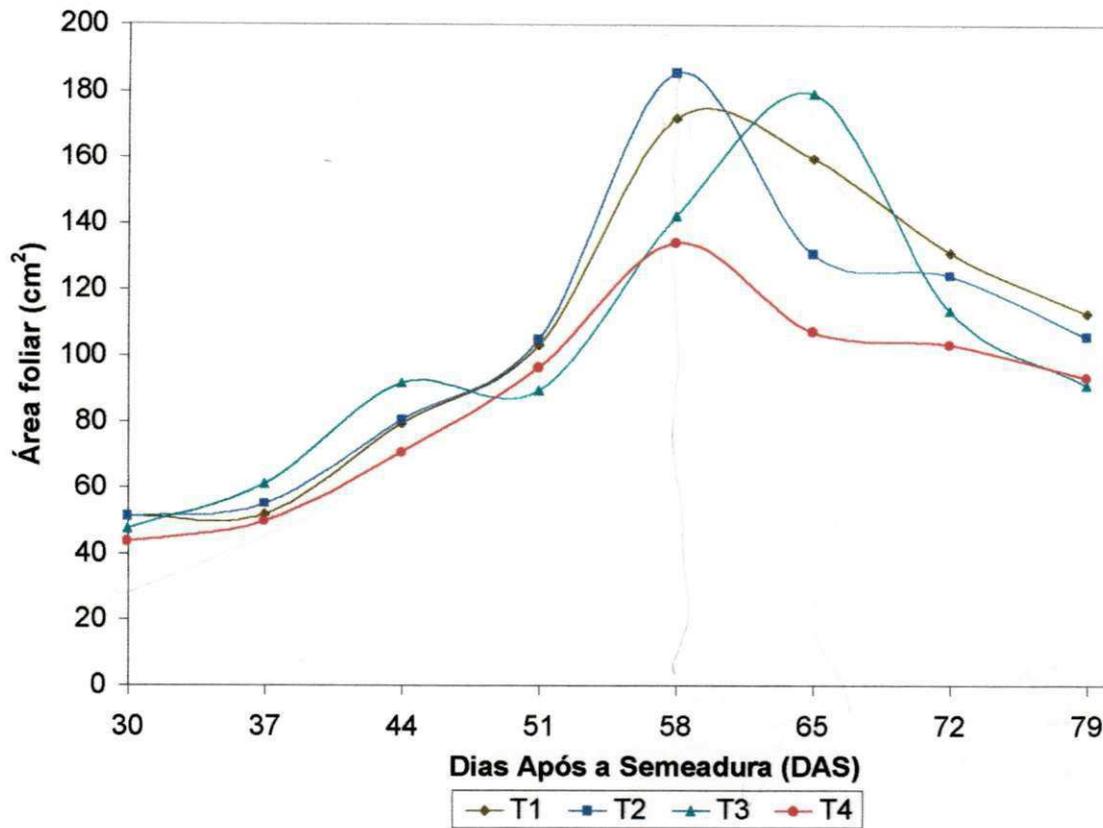


Figura 4.9 Área foliar durante o ciclo da cultura

#### 4.2.2 – Índice de Área Foliar (IAF)

O índice de área foliar variou com o crescimento da cultura, como mostra a Figura 4.10, onde os tratamentos T2 e T3 atingiram maiores valores em relação aos outros, com índices entre 4,0 e 5,0, devido os mesmos apresentarem um número maior de plantas por cova, e conseqüentemente, um maior número de folhas onde a absorção do CO<sub>2</sub> é maior, o que estimulou a evapotranspiração e a existência

de um grande acréscimo de matéria seca, de forma que, intrinsecamente vem sintetizar todas as relações da planta com o meio.

Verificou-se que o período em que o IAF atingiu os seus valores máximos ocorreu entre 58 e 65 DAS (12/07/99 a 19/0799), onde a umidade do solo neste período também atingiu seus maiores valores e um aquecimento favorável ao bom desempenho da cultura em concordância com análise realizada anteriormente.

Nos últimos dias de observação, verificou-se o início do processo de senescência (murchamento e queda da folhagem), que contribuiu para a queda da folhagem e conseqüentemente a diminuição da área foliar em todos os tratamentos, refletindo desta forma sobre o índice de área foliar. A variação do IAF durante o ciclo da cultura é de extrema importância para que se possa modelar o crescimento, em função do aumento da massa em relação ao tempo, e o desenvolvimento, em função das fases da planta, e conseqüentemente a produtividade da cultura de acordo com Araújo *et al.* ( 2000 ).

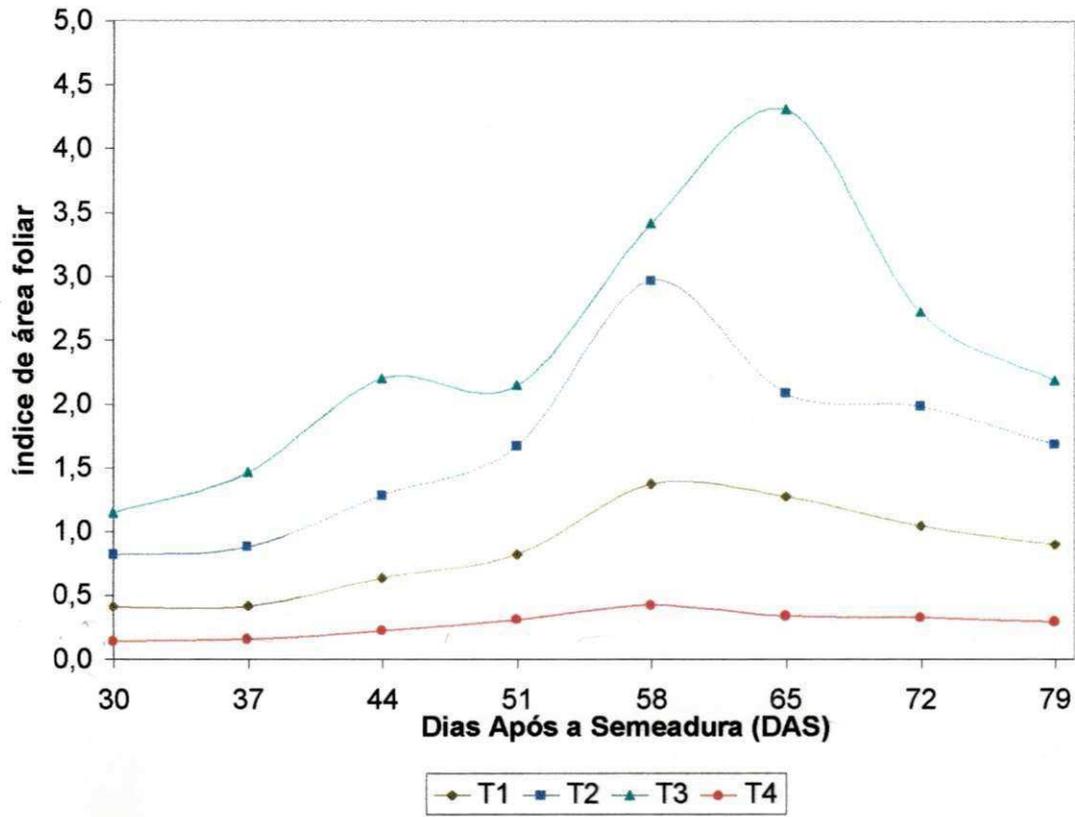


Figura 4.10 Índice de área foliar durante o ciclo da cultura.

#### 4.2.3 – Taxa de Assimilação Líquida (TAL)

Percebe-se com muita clareza na Figura 4.11 que a taxa de assimilação líquida, oscilou bastante desde os 37 DAS (21/06/99), até o estágio final, 79 após DAS (02/08/99), onde a mesma apresentou uma diferença entre os tratamentos T1, T2 e T4 muito pequena; no tratamento T3 a cultura alcançou o valor máximo de  $0,1 \text{ g.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  aos 72 DAS (26/07/99), período de pleno desenvolvimento e maturação das vagens. Verificou-se ainda, que as plantas que não têm de alimentar

os pontos frutíferos parecem aumentar sua capacidade fotossintética, refletindo na taxa de assimilação líquida correspondendo, certamente, a uma degradação da folha. Assim, contrariamente a outra planta onde a existência de vagens em crescimento ativo aumentava a atividade da fotossíntese das folhas e por conseguinte um decréscimo na atividade assimilatória. Resultados semelhantes foram obtidos por Magalhães & Montojos (1971), com os cultivares “carioca” e pintado do feijão comum (*Phaseolus Vulgaris L.*)

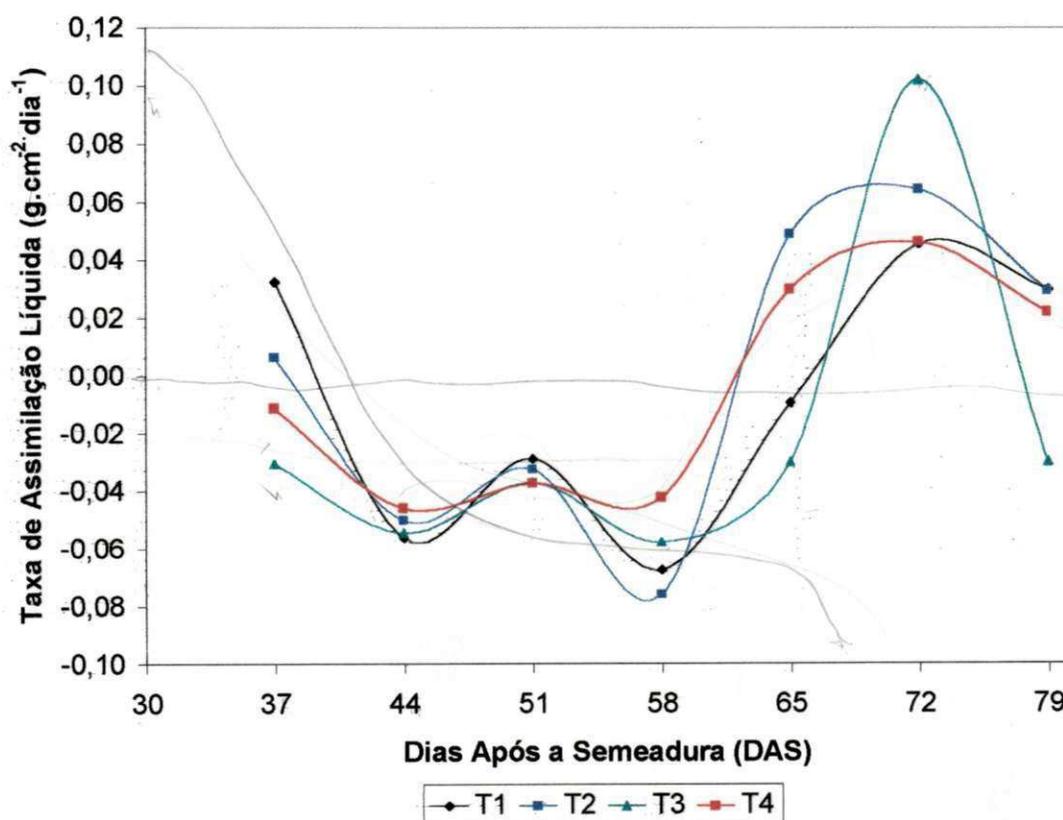


Figura 4.11 Variação da taxa de assimilação líquida ao longo do ciclo vegetativo.

#### **4.2.4 – Taxa de Crescimento Relativo (TCR)**

As taxas de crescimento relativo, apresentadas na Figura 4.12 mostra um crescimento nos tratamentos 2 e 3 bem maior que nos tratamentos 1 e 4, e apresentam valores maiores dos 44 DAS (28/06/99), até os 58 DAS (12/07/99), e daí até os 79 DAS (02/08/99), houve diminuição da taxa de crescimento relativo nos quatros tratamentos. Isto mostra que o crescimento e desenvolvimento da cultura foi maior no período inicial. É possível que a emergência da floração das plantas dos respectivos tratamentos, tenham contribuído, em parte para este decréscimo. Outro fator que possa ter contribuído para o aumento da TCR nos tratamentos, tenha sido as condições favoráveis da umidade do solo para o bom desenvolvimento e crescimento relativo da cultura. A análise de crescimento estabelece que a taxa de crescimento de uma planta ou de qualquer órgão da planta é uma função do tamanho inicial, isto é, o aumento da matéria seca está relacionada à matéria seca no início do período de observação ( Benincasa, 1988 ).

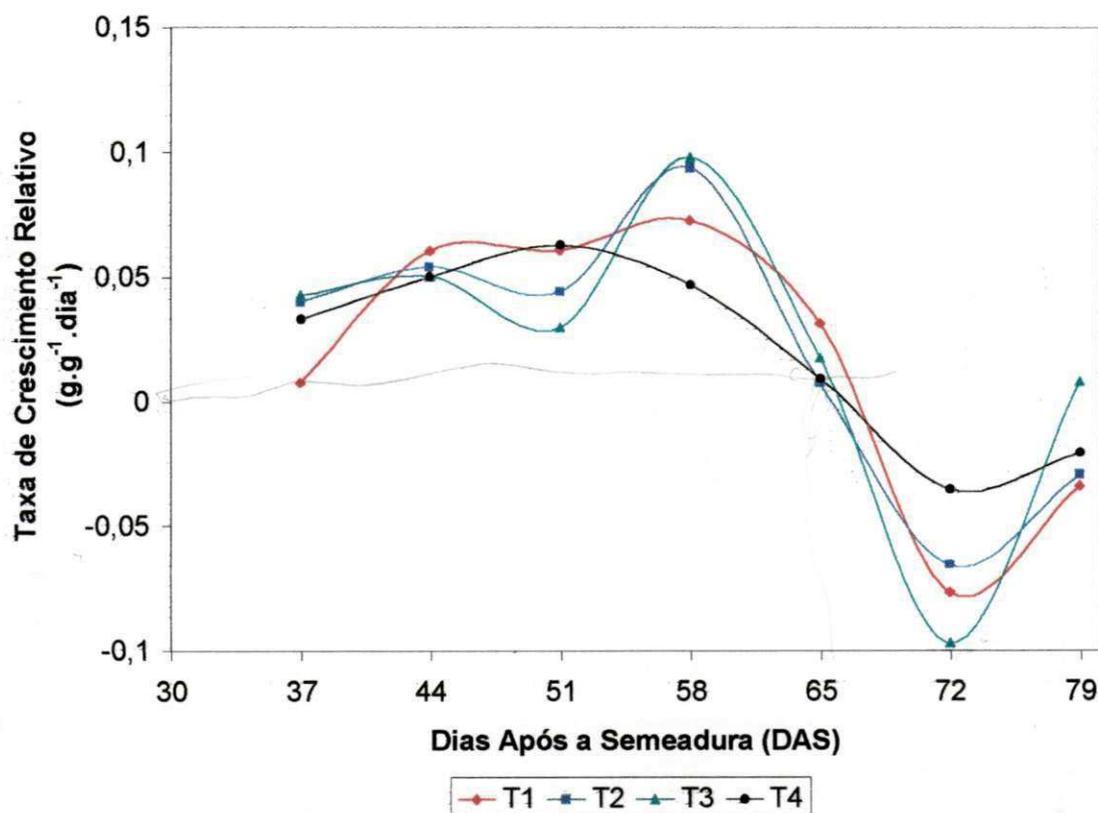


Figura 4.12 Variação da taxa de crescimento relativo ao longo do ciclo vegetativo.

#### 4.2.5 – Taxa de Crescimento Absoluto (TCA)

A taxa de crescimento absoluto como mostra a Figura 4.13, foi bastante acentuada aos 58 DAS (12/07/99), destacando-se os tratamentos T2 e T3, em função das boas condições de crescimento e desenvolvimento em que as plantas estiveram submetidas, principalmente a área foliar das mesmas, que pode ser considerada como fator preponderante. Verifica-se ainda que a taxa de crescimento

absoluto (TCA) aumentou desde o início do experimento até os 58 DAS. Os tratamentos T1, T2 e T3, apresentaram maior aumento da massa seca, da quarta para a quinta semana após a semeadura. A partir da quinta semana após a semeadura, independente do tratamento, houve um decréscimo na massa seca da cultura. Esses resultados concordaram com os obtidos por Dantas & Escobedo (1998) que encontraram a TCA máxima aos 36 dias após o transplante da cultura, para o experimento de verão na região de Botucatú-SP. Os mesmos ainda encontraram a TCA média nesta época de aproximadamente 5,22 g/semana em ambientes protegidos, e 3,97 g/semana em condições externas.

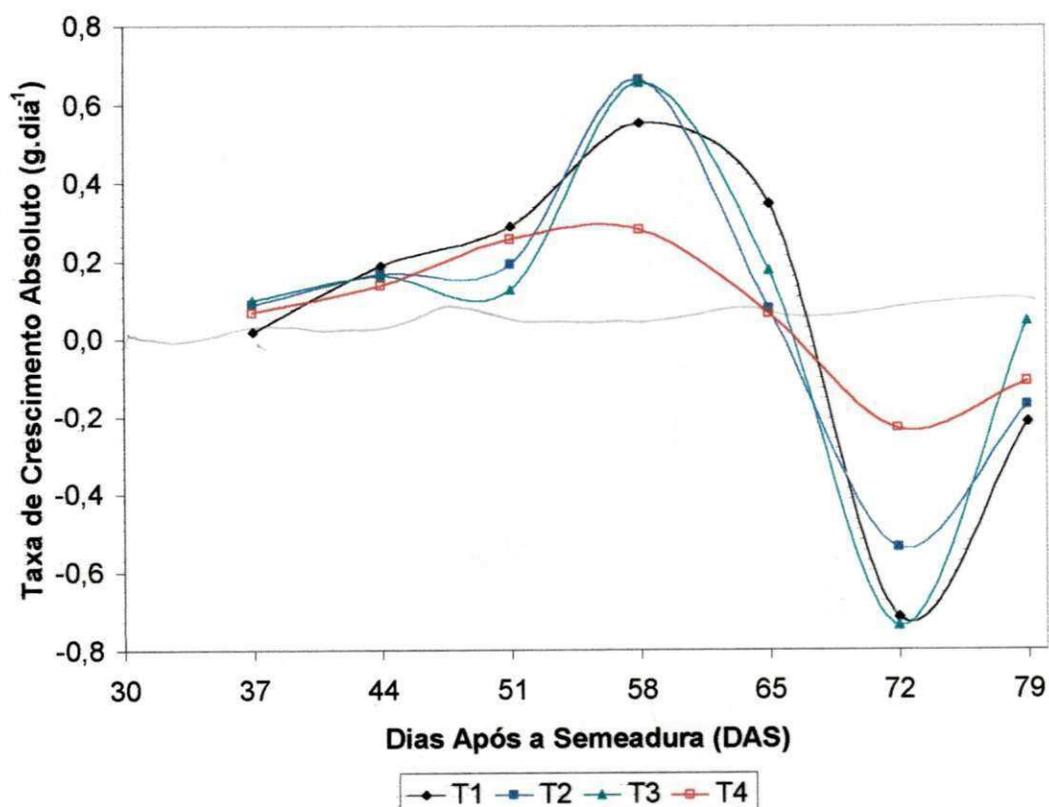


Figura 4.13 – Variação da taxa de crescimento absoluto ao longo do ciclo vegetativo.

### 4.3 – EVAPOTRANSPIRAÇÃO

#### 4.3.1 – Evapotranspiração Potencial (ETP)

A Figura 4.14 mostra o comportamento diário da evapotranspiração potencial ao longo do ciclo fenológico da cultura. Sendo que, no ciclo referente ao desenvolvimento e maturação das vagens a ETP apresentou aproximadamente 30mm por semana. Um possível motivo para esta ocorrência, foi um aumento na evaporação média, em torno de 3,6 mm/dia. Constatou-se, ainda, que da floração total ao desenvolvimento e maturação da cultura (22/06/99 a 12/07/99), a ETP neste período, permaneceu em torno de 23mm por semana. Vale salientar, que o coeficiente do Tanque Classe A ( $K_p$ ) foi de 0,85 para o período estudado. Shuttleworth *et al.* (1989) e Wright *et al.* (1982), observaram que a ETP proporciona boa estimativa após a ocorrência de chuva, o que está de acordo com o nosso estudo.

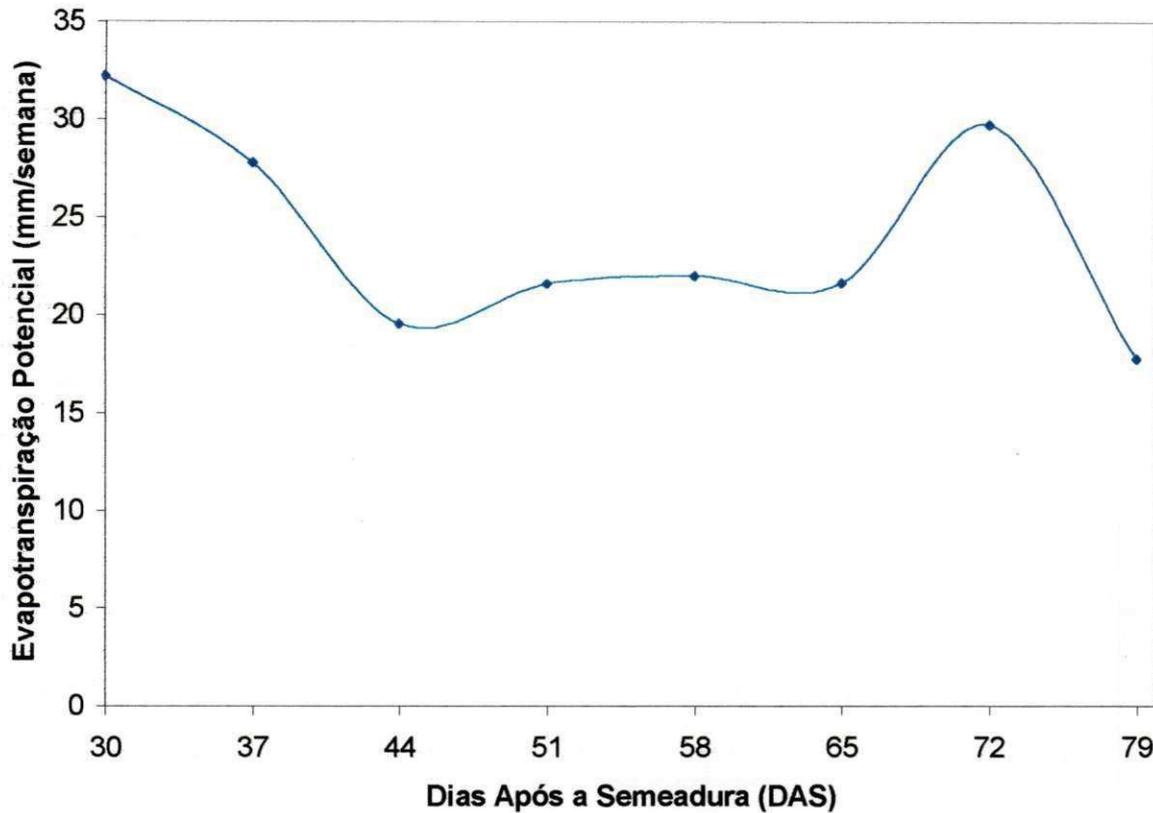


Figura 4.14 Comportamento da evapotranspiração potencial (ETP), durante a estação de cultivo.

#### 4.3.2 – Evapotranspiração Real (ETR)

Pela Figura 4.15 observa-se que a partir do 30<sup>o</sup> dia após a sementeira (desbaste) e durante o ciclo, o tratamento T1 apresentou menor evapotranspiração real em relação aos demais, e que o comportamento das curvas foram similares.

No início da floração no 34<sup>o</sup> DAS (18/06/99), constatou-se aumento na evapotranspiração real em todos os tratamentos. Na fase de plena floração no 38<sup>o</sup>

DAS (22/06/99), ocorreu uma diminuição na ETR em todos os tratamentos. Isso pode ter ocorrido em virtude da deficiência hídrica da cultura e a presença de nebulosidade influenciando a insolação diária (Figura 4.5), que levou a planta a um estado de estresse, fazendo-se necessário irrigar a cultura, com uma lâmina de água de 3,2 mm; com isso a ETR da planta teve um aumento significativo. Durante o ciclo de desenvolvimento e maturação das vagens 56 dias após a semeadura (09/07/99), a ETR continuou aumentando, porém no tratamento T4, o aumento foi mais acentuado, devido ao número de plantas por cova ser maior do que os demais. Pode-se verificar ainda que os valores da ETR aumentaram na fase de crescimento vegetativo e floração plena e diminuíram na fase de maturação a colheita da cultura. A demanda hídrica total ao longo do ciclo da cultura foi de 169,2 mm. Resultados semelhantes foram obtidos por Vila Nova *et al.* (1996), embora sob condições fisiológicas e climática diferentes.

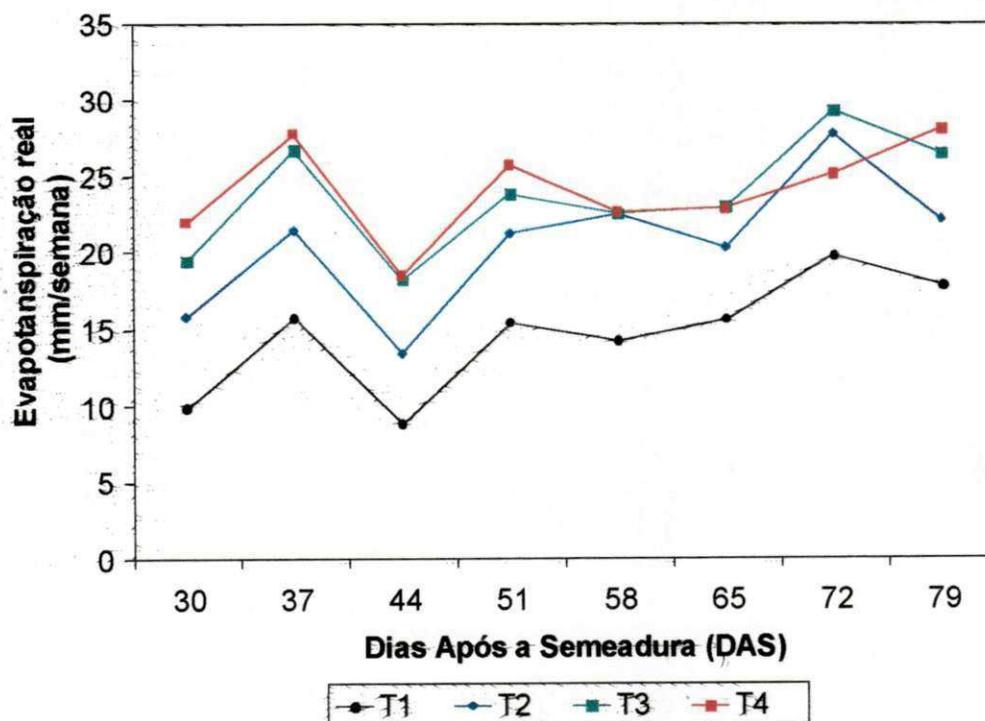


Figura 4.15 Variação da Evapotranspiração Real (ETR), para os tratamentos T1, T2, T3 e T4 durante a estação de cultivo.

#### 4.4 – SIMULAÇÃO DA TAXA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO, TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA PELO MODELO RAMS.

A visualização dos campos simulados, foi realizada pelo programa Grid Analysis and Display System (GRADS). O GRADS segundo Doty (1995) é uma ferramenta interativa para a análise e visualização de dados meteorológicos que implementam o modelo de quatro dimensões (latitude, longitude, nível e tempo).

Os parâmetros comparados com os dados observados, foram obtidos a partir da simulação do modelo RAMS, os quais são: evapotranspiração horária e diária; temperatura média do ar e a umidade relativa para o dia 26 de julho de 1999. O modelo foi configurado conforme mencionado anteriormente, porém com as características fisiográficas da localidade de Lagoa Seca, e foram adotadas as principais características da cultura de feijão para cada experimento, no intuito de representá-los com maior fidelidade.

##### 4.4.1 – Estimativa diária da taxa de evapotranspiração

A partir do fluxo de calor latente, foi determinada a taxa de evapotranspiração equivalente para a cultura em estudo, obtendo-se um perfil típico da variação diurna do ciclo. Os dados horários da evapotranspiração simulados pelo modelo não puderam ser comparados com os dados observados, pois esses foram obtidos diariamente. Contudo, efetuando uma análise entre os ciclos diurnos de ETR para os tratamentos Figura 4.16(a, b, c, d), verifica-se que existe uma discreta diferença entre estes. Pode-se notar a existência de um máximo valor de ETR

aproximadamente as 15 UTC (doze horas local) em todos os experimentos onde o tratamento 1 possui o menor valor máximo de ETR em torno de 0,85 mm, enquanto o maior valor foi o do tratamento 4 com ETR em torno de 0,88 mm., pois é governada pelo ciclo diurno da radiação solar. O menor valor mínimo de ETR foi o do tratamento 4. A característica principal que diferencia o comportamento de ETR para cada tratamento está na taxa de aumento deste entre os horários de 09 às 13 UTC e de decréscimo entre os horários de 17 às 21 UTC. Verifica-se horários de valores mínimos de ETR o qual está possivelmente associado com um mínimo de nebulosidade nas simulações neste horário, uma vez que ele é afetado diretamente pelo balanço de energia sobre a cultura. Normalmente a vegetação rasteira não sombreia o solo completamente, exceto em caso de avançado estado de desenvolvimento. As necessidades hídricas de uma cultura podem continuar crescendo com o aumento do IAF, mesmo quando esse se apresenta elevado o suficiente para sombrear o solo completamente. Logo é notória a relação entre ETR e IAF, conforme os dados utilizados na Figura 4.16, concordando com as observações de Sá *et al.* (1996), citado por Nobre *et al.* (1996) e Albuquerque *et al.* (1997). Outro aspecto importante refere-se à altura da cultura: quanto maior, mais eficiente será a troca de energia com o ambiente, em função do parâmetro de rugosidade, responsável pela mistura turbulenta.

Entretanto, os esquemas de parametrização unidimensional dos processos de interação solo-atmosfera utilizados no modelo podem falhar quando o escoamento superficial, em superfícies inclinadas, e os movimentos subterrâneos da água, que foram importantes componentes do balanço hidrológico, não forem considerados. Apresentam uma variação relativamente pequena em seu valor até às 18 UTC, caindo rapidamente após este momento até 0mm. Enquanto os tratamentos 3 e 4 o declive é bastante acentuado desde às 17 UTC.

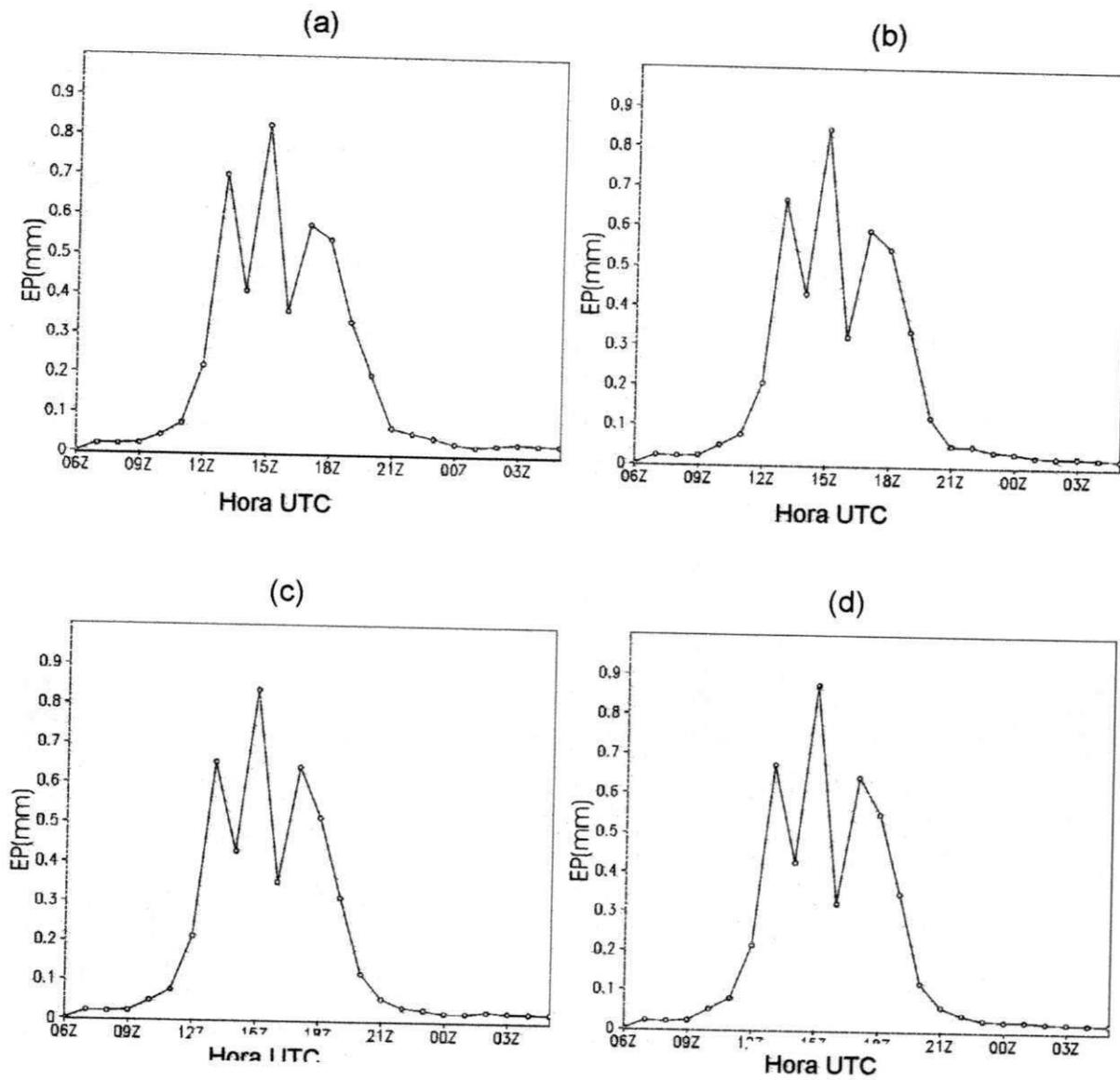


Figura 4.16 Simulação de 24 horas de evapotranspiração para os Tratamentos 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d), sobre a cultura de Feijão (*Phaseolus Vulgaris L.*), no dia 26 de julho de 1999.

#### **4.4.2 – Estimativa diária da taxa de temperatura**

A análise dos dados de temperatura no período do experimento tem a finalidade de verificar a qualidade e a confiabilidade da simulação nos tratamentos, onde os dados simulados no período de 24 horas manteve-se próximo a temperatura observada.

As diferentes temperaturas observadas em cada tratamento, embora sobre as mesmas condições climáticas, deve-se ao fato destes possuírem IAFs diferentes, concordando com Avissar & Pielke(1989), de forma que a cobertura vegetal influencia no máximo diário dos fluxos de calor sensível e latente, e temperatura da superfície.

#### **4.4.3 – Estimativa diária da taxa da umidade relativa**

Na análise do comportamento do ciclo diário da umidade relativa simulada pelo modelo, para os quatro tratamentos Figura 4.17 (a, b, c, d), verifica-se que os mesmos têm um mínimo entre 15 e 18 UTC (doze e quinze horas local), e valores máximos ocorrendo entre 0 e 9 UTC (seis e nove horas local), onde o tratamento 2 possui menor valor de máximo de umidade relativa como mostra a Figura 4.17 (b). Justifica-se este fato, segundo as características consideradas para a simulação do modelo de forma que este não reproduziu bem o campo esperado.

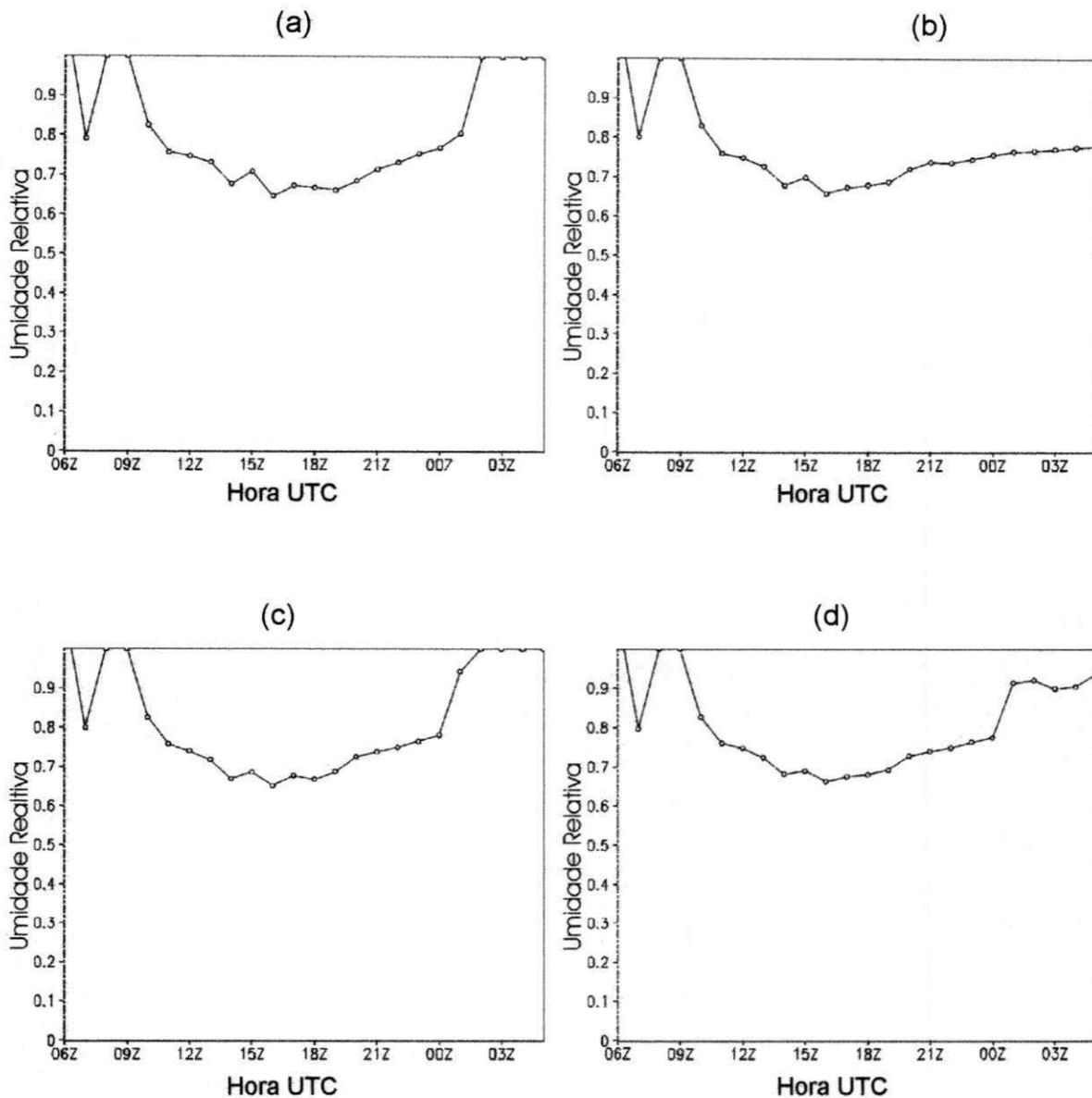


Figura 4.17 Simulação de 24 horas de umidade relativa para os Tratamentos 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d), sobre a cultura de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), no dia 26 de julho de 1999.

Os valores simulados da umidade relativa tendem a se aproximar dos observados como mostra a Figura 4.17, em que o maior erro foi da ordem de 10% no tratamento 2.

Logo os resultados obtidos mostram boa concordância com os dados observados, pois estão dentro de um padrão de erro aceitável

#### 4.5 - ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS DADOS SIMULADOS E OBSERVADOS SOBRE A REGIÃO EM ESTUDO

Apesar das respostas do modelo e a sua configuração mostrarem-se satisfatórias (até determinado tempo), de acordo com as figuras anteriores, a análise comparativa dos dados simulados e observados são importantes.

As figuras 4.18, 4.19 e 4.20 mostram a variação temporal da simulação e das observações dos dados de umidade relativa, temperatura e evapotranspiração, para 24 horas de integração para as observações e simulações do dia 26 de julho de 1999, permitindo a comparação gráfica destes campos.

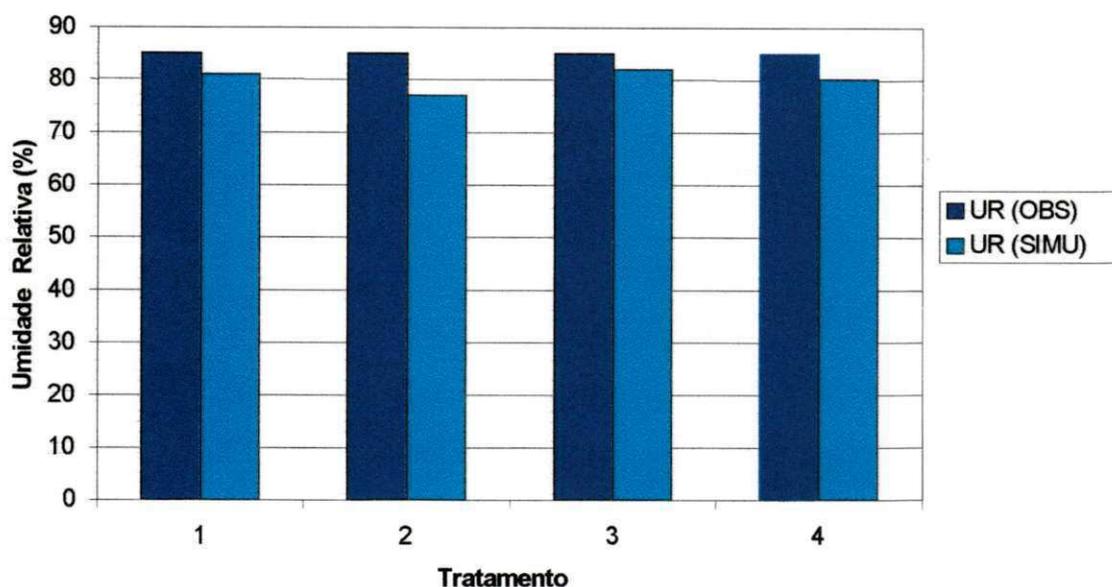


Figura 4.18 - Comparação entre os dados observados e simulados da umidade relativa .

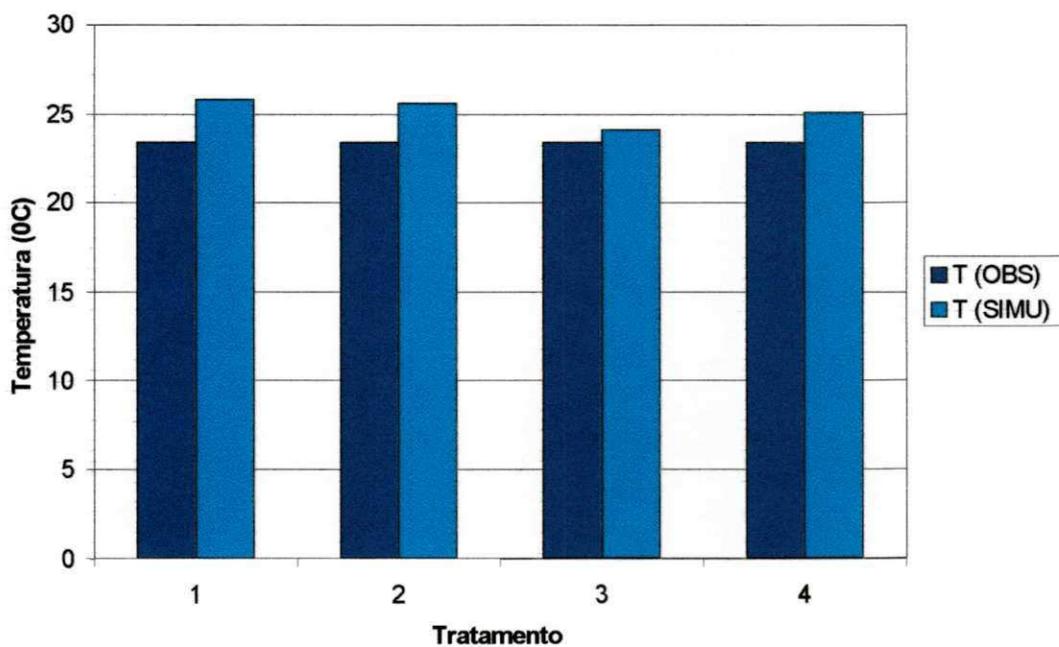


Figura – 4.19 Comparação entre os dados diários observados e os simulados de temperatura.

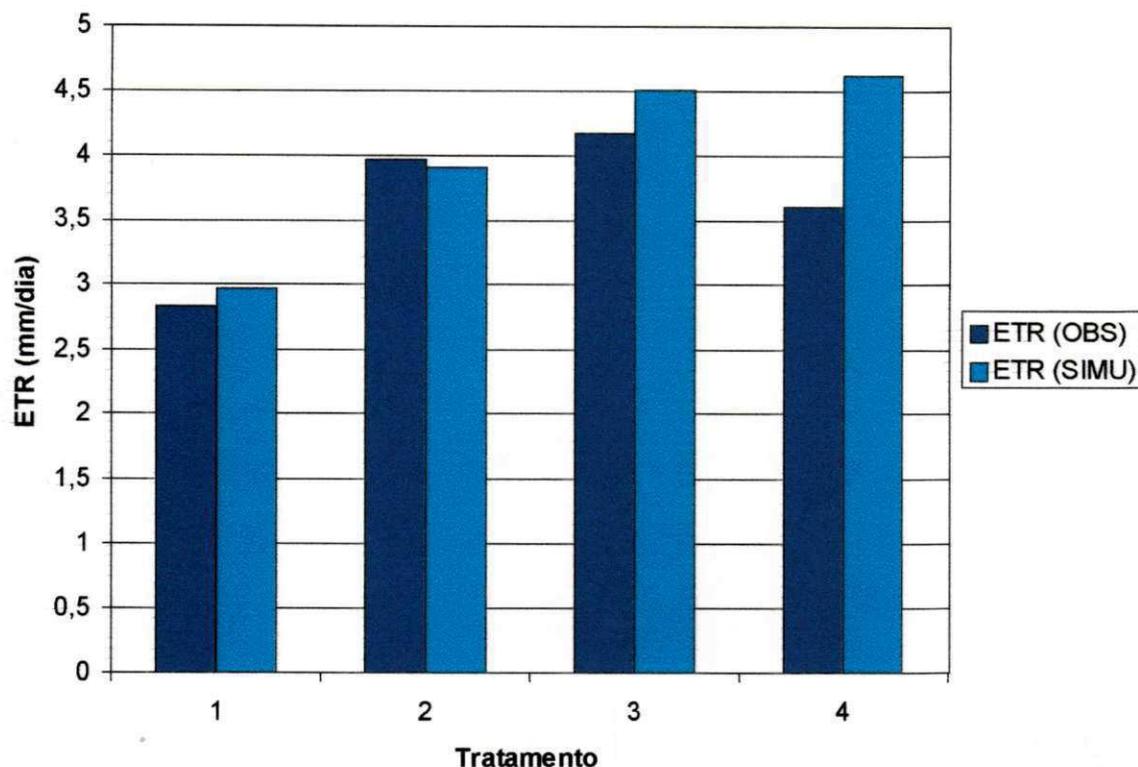


Figura – 4.20 Comparação entre os dados diários observados e os simulados da evapotranspiração.

A representação espacial das médias da simulação do RAMS e das observações mostra boa concordância nas 24 horas de integração do modelo para os dados de temperatura, umidade e evapotranspiração. Os processos físicos para os prognósticos da umidade relativa são mais complexos e variáveis e, conseqüentemente, mais difíceis de serem alcançados quando comparados aos da temperatura do ar, uma explicação para o modelo não ter obtido melhores resultados nos valores diários deve-se as tendências dos campos simulados da umidade relativa e da temperatura do ar não representarem e nem se ajustarem às tendências esperadas após um determinado tempo, trocando de sinal, devido a falta de assimilação de dados ou a falhas na configuração, em termos de aspectos numéricos, segundo Sismanoglu (1997). Entretanto, os dados simulados de temperatura e umidade relativa mantêm-se próximos dos dados observados.

#### 4.6 – SIMULAÇÃO NA LOCALIDADE DE LAGOA SECA

As Fig. 4.18, 4.19 e 4.20 apresentam os resultados dos prognósticos dos dados de temperatura do ar e da umidade relativa simulados e dos dados observados para o dia 26 de julho de 1999, além das taxas de evapotranspiração (mm/ dia).

Analisando a temperatura e a umidade relativa verificou-se que os dados foram simulados com bastante destreza em relação aos dados observados. Os valores dos dados da taxa de evapotranspiração (ETR) simulados apresentam boa concordância com os observados.

A discrepância entre os dados observados e os estimados pelo modelo pode ser melhor interpretada, assumindo que o "ambiente natural controlado" pelo observado é mais realístico do que o "ambiente numericamente estimado".

A partir dos resultados obtidos para a área em estudo, percebe-se a habilidade do modelo representar os processos físicos-biológicos da evapotranspiração. Conseqüentemente, o modelo mostra ser uma ferramenta útil para o monitoramento de culturas e na eventual reposição de água no solo, principalmente o considerando não-homogêneo.

#### 4.7 – PRODUTIVIDADE DA CULTURA

Na tabela 4.1 estão apresentados a produção final do feijoeiro nos respectivos tratamentos que corresponderam ao número de plantas por cova

Observa-se que os tratamentos 3 e 4, que possui o maior número de plantas por cova, obtiveram maior produção (2.817 e 3.099 Kg/ha respectivamente), enquanto o tratamento 1 com um menor número de plantas por cova, obteve um rendimento de apenas 1.263 Kg/ha. Pode-se verificar por meio desta tabela que houve maior diferença nos rendimentos entre os tratamentos 1 e 2, pois a diferença existente entre os tratamentos 2 e 3 e 3 e 4 foram da ordem de aproximadamente 600 Kg/ha e 200 Kg/ha respectivamente, enquanto a diferença entre os tratamentos 1 e 2 foi cerca de 1000 Kg/ha, revelando estatisticamente a não existência de diferença significativa entre os tratamentos 3 e 4, o que nos leva a recomendar o tratamento 3, sendo o mesmo economicamente viável para fins de cultivo. Comportamento semelhante foi encontrado por Daker (1970) e Godoy *et al.* (1966) apesar das diferentes características empregadas nos experimentos.

Tabela 4.1 Produtividade da cultura de feijão (kg/ha) por tratamento e repetição

Tratamento	Repetição					Média
	I	II	III	IV	V	
1	1.138	1.313	1.265	1.293	1.308	1.263 a
2	2.188	2.293	2.400	2.175	2.335	2.278 b
3	2.823	2.655	2.560	3.403	2.643	2.817 c
4	2.860	2.695	3.438	3.293	3.210	3.099 c

Letras iguais revelam não haver diferença significativa entre os tratamentos através do teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade.

## 5. CONCLUSÕES

Neste estudo, observa-se que dentre os parâmetros meteorológicos estudados a irradiação solar e a temperatura do solo associados a umidade do mesmo, intensificaram um bom crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura durante todo o ciclo fenológico da planta.

Os parâmetros de crescimento da cultura mostraram que houve um bom desempenho, onde, a taxa de crescimento relativo obteve um crescimento e desenvolvimento maior no período inicial do ciclo fenológico da cultura, enquanto a taxa de crescimento absoluto teve um aumento significativo desde o início até 58<sup>o</sup> dia após a semeadura, destacando-se os tratamentos 1, 2 e 3.

A evapotranspiração real (ETR), o tratamento 1 apresentou menor valor que os demais; verificou-se que a ETR teve um aumento significativo durante o início da floração e diminuição na fase de plena floração.

O rendimento da cultura está associado ao número de plantas por cova, onde se destacaram os tratamentos 3 e 4.

Quanto ao Regional Atmospheric Modeling System (RAMS), foi evidenciado uma grande importância do índice de área foliar (IAF) na determinação da

evapotranspiração real (ETR), tendo em vista que este foi o principal parâmetro utilizado para diferenciar os quatro tratamentos no modelo. A umidade relativa e temperatura do ar obtiveram bons resultados, devido as tendências dos campos simulados da umidade relativa e da temperatura do ar não representarem e nem se ajustarem as tendências esperadas após um determinado tempo.

O modelo apresentou-se hábil em representar os processos físicos-biológicos da ETR, mostrando-se uma ferramenta útil para o monitoramento de culturas e na eventual reposição de água no solo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P. E. P.; KLAR, A. E.; GOMIDE, R. L. Estimativa da evapotranspiração máxima do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função do índice de área foliar e da evapotranspiração da água do tanque classe A. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 183-187, 1997.

ALVIM, P. de T. Los Factores de La Productividad Agrícola. Lima, IICA – Zona Andina, 1972. p.20 [Reproduzido del "Curso Internacional de Bases Fisiológicas de la Produccion agrícola".

AMORIM NETO, M. da S., OLIVEIRA, C. A. V. & SILVA, D. da S. Avaliação de Diferentes Métodos Para Estimativa de Evapotranspiração Potencial em Regiões semi-áridas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGÍA, 4.Londrina 1985, **Anais...** Campinas, Sociedade Brasileira de Agrometeorología IAPAR, p. 211-229, 1985.

ANDERSON, M. C. Radiation and crop structure. In: Z. Seestak, J. Catsky, and P. G. Jarvis (eds) *Plant Photosynthetic Production*. The Haque. Juuk, p.412-466, 1971.

ANDRE, R. G. B. **Distribuição de Energia numa Cultura de Soja** (*Glycine Max* (L.) Merrill) irrigada e não irrigada. Porto Alegre; 1986. 121p. Faculdade de Agronomia, Dissertação de Mestrado em Fitotecnia), UFRGS.

AVISSAR, R., PIELKE, R. A. A parameterization of heterogeneous land surface for atmospheric numerical models and its impact on regional meteorology. **Monthly Weather Review**, 117 (10): 2113-2136, Oct. 1989.

ARAÚJO, J. A. P. de., MELO, E. C. de S., SARAIVA, F. A M., CORREIA, A. M. Correlação entre coeficiente do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e os índices fisiológicos da análise de crescimento. REUNIÓN ARGENTINA DE AGROMETEOROLOGIA, 8, 2000, Mendoza – Argentina. CD... Mendoza – Argentina, Sociedad Argentina de Agrometeorologia: 2000.

BARR, G. A, STRONG, G. S. Estimating regional surface heat and moisture fluxes above prairie cropland from surface and upper-air measurements. **Journal Applied Meteorology**, Boston, v. 35, n. 10, p. 1716-1734, 1996.

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

BENINCASA, M. M. P. **Contribuição Estudo Ecológico do Feijoeiro Comum** (*Phaseolus Vulgaris*, L.), efeito hídricos. Jaboticabal: FCAV, 1972, 93p. (Tese de Doutorado).

BERGAMASCHI, H. , et al. Deficiência Hídrica em Feijoeiro II. Balanço de Energia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.7, p. 745-757, 1988.

BLACKMAN, G. E ; WILSON, G.L. Physiological Studies in The Analysis of Plant Environment. VII. An Analysis of The Differential Effects of High Intensity on The Net Assimilation Rate, Leaf Area Ratio and Relative Growth Rate of Different Species. **Ann. Bot.**, 15(59): 373-408, 1951.

BOUCHET, R. J. Evapotranspiration réelle evapotranspiration potentielle et production agricole. **Annales Agronomiques**, v.14, n.5, p. 743-824, 1963.

BRIGGS, G. E., KIDD, E., WEST, C. A Quantitative Analysis of Plant Growth. Part I. **Ann. Appl. Biol.** , 7(1): p. 103-123, 1920.

BUSINGER, J. A, WINGAARD, J. C., IMUZI, E. F. et al. Flux profile relationships in the atmosphere surface layer. **Journal Atmospheric Science**, v. 28, n.10, p. 181-187, 1971.

CARGNEL, M. D., ORCHANSKY, A. L., BREVEDAN, R. E., LUAYZA, G., PALOMO, R. Evapotranspiration measurements over a soy beans crop. **Evapotranspiration and Irrigation Scheduling**, American Society of Agricultural Engineers the Irrigation Association, november 3-6, San Antônio, Texas. p. 304-308, 1996.

CHANG, JEN-HU. Climate and Agritural. Na Ecological Survey. Chicago, **Aldine**, 1968. 304p.

CHEN, C., COTTON, W. R. A one-dimensional simulation of the stratocumulus capped mixed layer. **Boundary-Layer Meteorol.**, v.25, n.3, p. 289-321, 1983.

CHEN, F., AVISSAR, R. The impact of land-surface wetness heterogeneity on mesoscale heat fluxes. **Journal Applied Meteorology**, v. 33, p. 477-489, 1994.

CHOTHIER, B. E. , et al. Estimation of Soil Heat Flux From Net Radiation During Growth of Alfafa. **Agriculture Forestand Meteorology**, 37. p. 319-329, 1976.

COLLINS, D., AVISSAR, R. An evaluation with the fourier amplitude sensitivity test (FAST) of which land-surface parameters are of greatest importance for atmospheric modelling. **Journal of Climate**, v. 7, n. 5, p. 681-703, 1994.

- COSTA, P. N. F.; PRATES, J. E. Estudos de Sensibilidade em Relação a Heterogeneidade da Vegetação e Solo Usando O modelo RAMS. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 10, 1998, Brasília. CD...Brasília, Sociedade Brasileira de Meteorologia:1998.
- CUNHA, G. R. **Estudo Micrometeorológico da Transferência Vertical de Vapor D'água e Energia em Milho**. Porto Alegre, UFRGS. Faculdade de Agronomia, 1986, 142p. (Dissertação de Mestrado em Fitotecnia).
- DAKER, A. Irrigação e Drenagem. A água na agricultura. 3<sup>o</sup> ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, v.3, 152p. 1970.
- DANTAS, R. T. Determinação da Constante Térmica (R), na Estimativa da Evapotranspiração Máxima do Arroz (*Oryza sativa L.*). In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA*, 9, 1995, Campina Grande – PB. Anais... Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995, p.102 – 105.
- DANTAS, R. T.; ESCOBEDO, J. F. Índices morfo-fisiológicos e rendimentos da alface (*Lactuca Sativa L.*) em ambiente natural e protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 2, n. 1, p. 27-31, 1998.
- DENMEAD, O. T.; MCLLROY, I. C. Measurements of Non-Potencial Evaporation From Whear. *Agric. Met.*, v.7. p. 285-302, 1970.
- DICKINSON, R. E., SELLERS, A H., KENNEDY, P. J. et al. **Biosphere atmosphere transfer scheme (BATS) for the NCAR community climate model**. Boulder, Colorado: s.n., 200p, 1980. (Ncar Technical Notes).
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande – PB. UFPB, 1994. p.306-310, (FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

- DOTY, B. **The grid analysis and display system – GrADS**. Norwich, Uk: University of East Anglia, 148p, 1995.
- ENCARNAÇÃO, C. R. F. **Estudos da demanda de água do feijoeiro**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1980. 87p. (Dissertação de mestrado).
- FAGERIA, K. N. Solos trópicais e aspectos fisiológicos das cultura. Brasília: EMBRAPA-DPU, p. 382-395, 1989. (EMBRAPA-CNAF. Documentos, 18).
- FISCHER, R. A. Some Remarks on The Methods Formulates in A Recent Article on The "Quantitative Analysis of Plant". **Ann. Appl. Biol.**, 7:367, 1920.
- FOLEGATTI, M. V., GOMIDE, R. L. Uso da termometria infravermelha no monitoramento do estresse hídrico de culturas. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 9, 1995, Campina Grande. **Mini curso...** Campina Grande: SBA; 1995, p.26.
- FONTANA, D. C. Determinação da Evapotranspiração. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.), Agrometeorologia aplicada à irrigação. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS, cap. 4, p. 48-61, 1992.
- FONTANA, D. C. et al. Balanço de Energia em Soja Irrigada e não Irrigada. In: V Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Coletânea de Trabalhos. Belém-Pará, 1987, p. 317-319.
- FRANÇA NETO, J. de B., COSTA, N. da., HENNING, A. A., ZUFFO, N. L., BARRETO, J. N., PEREIRA, L. A. G. Efeito da época de semeadura sobre a qualidade da semente de soja no ato Grosso do Sul. EMPAER, p. 1-9, 1984. (Documento n. 3).
- GATES, D. M. Radiant Energy, its Receipt and Disposal. **Agric. Meteorol.** (P. E. Waggoner, ed.), chap. 1 ( Meteorol. Monogr. 6: 1 – 26. Am Meteorol. Soc., Boston, 1965.

- GATES, D. M. Transpiration and leaf temperature. *Ann. Ver. P1. Physiology*. 19: 211-238, 1968.
- GODOY, P. et al. Irrigação do Feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris L.*). **Revista Agrícola**, Piracicaba, 14. p. 145-153, 1966.
- GREGORY, F. G. Physiological Conditions in Cucumber Houses. **Rep. Exp. Snt.** , cheshunt, 3:19, 1917.
- HAM, J. M., HEILMAN, J. L. & LASCANO, R. J. Determination of soil water waporation and transpiration from energy balance and stem flow measurements, Texas. **Agricultural and Forest Meteorology**, 52: 287-301, 1990.
- IDSO, S. B. , BAKER, D. G. & BLAD, B. L. Relations of Radiation Fluxes Over Natural Surfaces. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* , 95. p. 227-244, 1975.
- IDSO, S. B. On the use of equations to estimate atmospheric termal radiation. **Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B**, 22, p. 287-299, 1973.
- JENSEN, M. E., BURMAN, R. D., ALLEN, R. G. (editore) Evapotranspiration e irrigation water requirements. **ASCE, on Manuals and Reports Engineering Practice**, 70, New York, p. 42-236, 1990.
- KIMURA, F., SHIMIZU, M. D. Estimation of sensible and latent heat fluxes from soil surface temperature using a linear air-land transfer model. **Journal of Applied. Meteorology**, v. 33, n. 4, p. 477-489, 1994.
- KNAPP, H. V. Evaporation and Transpiration. In: HOUGHTON, David D. **Handbook of Applied Neteorology**. Jonh Wiley & Sons., New York, p. 537-554, 1985.

- KOHLER, M. A. , PARMELE, L. H. Generalized Estimates of Evapotranspiration. **Water Resources Research**. Pennsylvania, University Park, v.3, p. 997-1005, 1967.
- KUO, H. L.. Further Studies of the Parameterization of the influence of Cumulus Convection on Large-Escale flow. **Journal of Atmospheric Science**, n.31, 1232-1240, 1974.
- LANG, A. R. G.; EVANS, G. N. and HO, P. Y., 1974. The influence of local advection on evapotranspiration from irrigated rice in a semi-arid region. **Agricultural Meteorology**, 13: 5-13, 1974.
- LEE, T. J.; PIELKE, R. A. Estimating the soil surface specific humidity. **Journal of Applied Meteorology**, v. 31, n. 5, p. 480-484, 1992.
- LEITÃO, M. M. V. B. R. **Balanço de radiação em três ecossistema da floresta Amazônica: Campina, Campinarana e Mata Densa.** (Tese de Doutorado em Meteorologia). INPE, São José dos Campos – SP, outubro 1994.
- LEMON, E.R.; GLASSER, A.H. and SATTERWHITE, L.E> Some aspects of the relationship of soil, plant and meteorological factores to evapotranspiration. **Soil SC. Soc. Amer.. Proc.**, 21:464-468, 1957.
- LOUIS, J. F. A parametric model of vertical eddy flux in the atmosphere. **Boundary-Laye Meteorol.**, v. 17, n. 2, p. 187-202, 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.). **Turialba**, v.21, n.2, p.165-168, 1971.
- MAHRER, Y., PIELKE, R. A. Nemerical study of the airflow over irregular terrain. **Beitr. Phys. Atms.**, v. 50, n. 2, p. 98-113, 1977.

- MALTEZ, H. T., MALTEZ, M. G. L., BASTOS, T. X., DINIZ, T. D. de A. S. Avaliação da evapotranspiração potencial a região de Belém-Pará. In: Simposio do Trópico Úmido., Belém. **Anais...** Embrapa-Cpatu, p.56-57, 1986.
- MATZENAUER, R., Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: Bergamaschi, H. (Coord.), Agrometeorologia aplicada á irrigação. Porto Alegre: Ed. Da Universidade / UFRGS. Cap. 3, p. 31-39, 1992.
- McCUMBER, M. C., PIELKE, R. A. Simulation of the effects of surface fluxes of heat and moisture in a mesoscale numerical model. Part I: soil layer. **Journal Geophysics Research**, v. 86, n. A11, p. 9929-9938, 1981.
- MENEZES, D. M., PINTO. M. M. Influencia do fator hídrico no desenvolvimento da cultura do feijão ( *Phaseolus vulgaris L.* ) na Baixada Fluminense, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Campo Grande – RJ, v. 2, n. 45, p. 383-389, 1967.
- MILTHORPE, F. L. The relative importance of the different stages of leaf growth in determining the resultant área. In: MILTHORPE, F. L. (Ed) The growth of Leaves. London: Butterworths Scientific, 1986, p. 141-50.
- MOLINARI, J. A General Form of Kuo's Cumulus Parameterization. **Mon. Wea. Ver.**, 113, 1411-1416, 1985.
- MONTEITH, J. L. Light distribution and photosynthesis in field crops. **Annals of Botany.**, N. S. 29: p.17-37, 1965.
- MOTA, F. S. da. **Meteorologia Agrícola**. São Paulo: Livraria Nobel 1ª edição 1975, 376p.
- NOBRE, C. A.; GASH, J. H. C.; ROBERTS, J. M. Conclusions from ABRACOS. In: GASH, J. H. C., NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M. et al. (Eds.) **Amazon deforestation and climate**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, p. 586-595, 1996.

NOGUEIRA, F. D. Efeito da Cobertura Morta na Cultura do Feijoeiro. Seiva, 79p.1-7, 1973.

OLIVEIRA, D. & VILLA NOVA, N. A. Evapotranspiração Máxima e Lâminas de Irrigação Necessária Para Feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris L.*), no Paraná. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 4, n.1, p. 29-36, 1995.

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.

PASCALE, A. J. Tipos agroclimáticos para el cultivo de la soja en la Argentina. *Revista de La Facultad de Agronomía y Veterinaria de Bueno Aires*, Argentina, v. 17, n. 3, p. 31-48, 1969.

PEARCE, R. B., BROWN, R. H. and BALSER, R. E. Relationship between leaf area index, light interaction and net photosynthesis in orchardgrass. *Crop Science*, v.5, p.553-556, 1965.

PENMAN, H. L. Evaporation: an introductory survey. *Neth. J. Agric. Sci.* V.4, p.9-29, 1956.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceeding of the Royal Society of London*, v.193, n.1032, p.120-146, 1948.

PEREIRA, A. R., VILLA NOVA, N. A., PEREIRA, A. S., BARBIERI, V. A. A model for the Class A pan coefficient. *Agricultural and Forest Meteorology*. Piracicaba, v. 76, n. 2, p. 75-82, 1995.

PHILIP, J. R., 1959. The theory of Local Advection: I. *J. Meteorol.*, 16: 535 – 547.

PRATES, J. E & CALVET. Previsão de Temperaturas Máximas e Mínimas do Ar ao Nível de Abrigo Utilizando Modelo Atmosférico de Mesoescala. In: X

CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, **Anais...** 1998, CD...  
Brasília-DF, Sociedade Brasileira de Meteorologia: 1998.

PRATES, J. E. **Controles associados á distribuição espacial da precipitação no verão no estado de Minas Gerais: aspectos Fisiograficos e meteorológicos.** São Paulo: USP, 1994. 180p. Tese (Doutorado em Meteorologia).

PRETRIER, A. H. K. & ARTHUR, J. I. Physiological Ontogeny in The Tobacco Plant; The Effect of Varyng Water Supply on The Drifts in Dry Weight and Leaf Área and on Various Components of The Leaves. *Aust. J. Expl. Biol. And. Med. Sci.* , 21. p. 191, 1963.

RAGGI, L. A., BERNARDO, S., GALVÃO, I. D. Efeito do turno de rega em três fases do ciclo do feijoeiro. *Seiva*, 76: 33-43, 1972.

REDELFS, M. S., STONE, L. R. , KANEMASU, E. T. and KIRKHAN, M. B. Greenness-leaf area uindex relationships of seven row crops. **Agronomy Journal**, 79: 254-529, 1991.

REGNIER, P. **Modélisation du calcul des flux chaleurs sensibles et latentes du "regional atmospheric modelling system"**. São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 27, 1993. (Rapport des travaux de recherche en préparation de la thèse de doctorat).

RIEDER, A. O efeito da temperatura sobre o comportamento de grãos. Cuiabá: EMATER, p. 12, 1984.

RITCHIE, J. T ; BURNETT, E. Dryland. Evaporative Flux In á Subhumid Climate II Plant Influence **Agronomy Journal**, v.63, p.51-55, 1971.

RITCHIE, J. T, Dryland. Evaporative Flux In á Subhumid Climate I. Micrometeorological influence. **Agronomy Journal**, v.63, p, 51-57, 1971.

RITCHIE, J. T. Atmospheric and soil-water influences on the plant-water balance. **Agricultural Meteorology**, v.14p, 183-198, 1974.

ROUSE, W. R., WILSON, R. G. Test of potential accuracy of the water budget approach to estimating evapotranspiration. **Agricultural Meteorology**, v. 9, p. 421-446, 1972.

SÁ, T. D. A.; COSTA, P. R.; McWILLIAMS, A L. C. Forest and pasture conductances in southern Pará, Amazonia. In: GASH, J. H. C., NOBRE, C. A, ROBERTS, J. M. et al. (Eds.). **Amazon deforestation and climate**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, p. 241-263, 1996.

SANTOS, J. M. dos. Evaporação e Evapotranspiração. Piracicaba, ESALQ – USP , p. 39, 1968.

SANTOS, O. A., BERGAMASCHI, H., CUNHA, G. R. Necessidades hídricas da alfafa. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.4, n. 1, p. 37-40, 1995.

SCALOPI, E. J. **Métodos climáticos para avaliar a evapotranspiração**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1972, 870p. (Dissertação de Mestrado).

SEDIYAMA, G. C. Estimativas da Evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.4, n.1, p.i-xii, 1996.

SEDIYAMA, T., PEREIRA, M. G., SEDIYAMA, C. S., GOMES, J. L. Cultura da soja. Minas Gerais: UFV, 1985. 96p. (Parte I).

SELLERS, W. D. *Physical Climatology*. The University of Chicago Press, 1985, 227p.

SEYBOLD, A. Zur klarung des begriffes transpirationswiderstand. *Planta*, 21: 353-67, 1933.

SHUTTLEWORTH, W. J.; GASH, J. H. C.; ROBERTS, J. M.; NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B.; RIBEIRO, N. M. G. Post-deforestation amazonian climate: Anglo-Brasilian reaserch to improve prediction. *Journal Hydrology*. 129, p. 71-85, 1989.

VAREJÃO-SILVA, M. A; BRAGA, C. C. Atlas Climatológicos do Estado da Paraíba – 2ª edição – Campina Grande, 1987, 122p.

SILVEIRA, L. M. da., RIBEIRO, A. As repercussões do ritmo climático e seus desvios na produtividade das cultura do milho, feijão e da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA, p. 35, 1997, **Resumos**.

SINGH, B. & TAILLEFFER, R. The Effect of Synoptic-Scale Advection on The Performance of The Priestley-Taylor evaporation Formula. *Bound Layer Meteorol*, 36. p. 267-282, 1986.

SISMANOGLU, R. A. **Estimativas da taxa de evapotranspiração aplicando um modelo regional de mesoescala na região do triângulo Mineiro**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 99p. Dissertação ( Mestrado em Meteorologia Agrícola ).

SISMANOGLU, R. A., PRATES, J. E & CHAM, C. S. O Modelo de Evapotranspiração do RAMS. Parte I : aspectos teóricos e conceito. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA 1998, Brasília-DF. **Anais... SBMET: 1998, CD...**

SISMANOGLU, R. A., PRATES, J. E & CHAM, C. S. O Modelo de Evapotranspiração do RAMS. Parte II: modelo de vegetação. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA 1998, Brasília-DF. **Anais... SBMET: 1998, CD...**

SOUKUP, C. V. B., PERECIM, D., DEMATTÊ, M. E. P. Equações de regressão para estimativa de área foliar. Aplicações a duas espécies de begônias. *Científica*, v.14, n.1/, p.93-99, 1986.

STOY, U. The translocation of C<sup>14</sup> labelled photosynthetic products from the leaf of the eap in wheats physiology plants. v 16, p. 851-66, 1983.

SUBRAHMANYAM, V. P; KUMAR, K. K. Studies in Energy Budget of Finger Millet Crop Part I: Short – Wave Reflectivity. *Tropical Ecology*, v.25, n.1, p.22-28, 1984.

THORNTHWAITTE, C. W. An Approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v.38, n.1, p.54-94, 1948.

TREMBACK. C. J., Numerical Simulation of a Mesoscale Convective Complex: Model Development and Numerical Results. Dissertação de Ph.D., Colorado State University, Fort Collins, Co, EUA, 247 pp, *Atmospheric Science Paper* n. 465, 1990.

TREMBACK. C. J., KESSLER, R. A surface temperature and moisture parameterization for use in mesoscale numerical model. Preprint 7thAMS conference on numerical weather predictions june 17-20: Montreal, Quebec, Canada, *Amer. Meteorol. Soc.*: Boston, p. 355-358, 1985.

UNLAND, H. E.; HOUSER, P. R.; SHUTTLEWORTH, W. J.; YANG, ZONG-L.. Surface flux measurement and modeling at a semi-arid sonoran desert site. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.82,p.119-153, 1996.

VAN BAVEL, C. H. M. A Nomogram to Estimate Maxium Evapotranspiration. Realeigh, North Carolina St. College, p. 6, 1956.

VIANELLO, L. R., ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: UFV, 1991, 449p.

VILLA NOVA, N. A. **Estudos Sobre o Balanço de Energia em Cultura de Arroz.**  
**Piracicaba, ESALQ / USP: Tese Livre Docência, 1973, 89p.**

VILLA NOVA, N. A., PEREIRA, A. R., BARBIERE, V. Evapotranspiration as a function of leaf area index class A pan evaporation. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 2, p. 35-37, 1996.

WELBANK, P. J., FRENCH, S. A. W. and WITTS, K. J. Dependence of yields of wheat varieties on the leaf area duracion. **Annais of Botany**, v.30, p.291-299, 1966.

WILLIAMS, R. F. The Physiology of Plant Growth With Special Reference To The Concept of Net Assimilation Rate. **Ann. Bot.**, v.10, n.3, p.40-72, 1946.

WILLIAMS, W. A., LOOIMIS, R. S. and LEPLEY, C. R., Vegetative growth of corn as affected by populatio density. II. Components of grow net assimilation rate and leaf area index. **Crop Science**, v.5, p.215-219, 1965.

WRIGHT, J. L. New evapotranspiration crop coefficients. **Journal of the irrigation and drainage division**, v.108, n. IR2, p.254-259, 1982.