



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

N.º de ordem: METE-UFAL-MS/013

ANÁLISE AGROMETEOROLÓGICA EM REGIÕES DE ALAGOAS PARA  
CULTURA DO MAMÃO (*carica papaya L*)

ÉRIKSON AMORIM DOS SANTOS

Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Federal de Alagoas, para obtenção do título de Mestre em Meteorologia Área de concentração **Processos de Superfície Terrestre**.

MACEIÓ - AL  
2003



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**N.º de ordem: METE-UFAL-MS/013**

**ANÁLISE AGROMETEOROLÓGICA EM REGIÕES DE ALAGOAS PARA CULTURA  
DO MAMÃO (*carica papaya L*)**

**ÉRIKSON AMORIM DOS SANTOS**

Dissertação de mestrado apresentada a  
Universidade Federal de Alagoas, para obtenção  
do título de Mestre em Meteorologia – Área de  
concentração **Processos de Superfície Terrestre.**

MACEIÓ - AL

2003

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

S237a Santos, Érikson Amorim dos.  
Análise agrometeorológica em regiões de Alagoas para a cultura do mamão  
(*carica papaya* L.) / Érikson Amorim dos Santos. – Maceió, 2003.  
xv, 98f : il.

Orientador: José Leonaldo de Souza.  
Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) -  
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Exatas e Naturais. Depar-  
tamento de Meteorologia. Maceió, 2003.

Bibliografia: f. 91-98.

1. Meteorologia agrícola - Maceió (AL). 2. Mamão - Cultura. 3. *Carica pa-  
paya* L. I. Título

CDU: 551.5:634.651(813.5)

“Cada um de nós é responsável pelo prejuízo que causa à sociedade,  
quer por um ato  
quer pela sua negligência”  
(Código Civil Brasileiro)

“O subdesenvolvimento, mais que um problema de falta de recursos, é um problema de  
insuficiência de conhecimento”  
(Pólan Lacki)

Dedico este trabalhos aos meus pais José Tenório dos Santos e Iva Amorim dos Santos que trabalharam e trabalham arduamente para me dar as condições necessárias para a realização de uma valiosa conquista da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Os meus mais sinceros agradecimentos a

Jeová Deus por sempre iluminar o meu caminho, me mostrando as saídas que preciso naquelas horas em que penso que estou passando por problemas, pelo seu maravilhoso Espírito Santo que me confere poder, sabedoria, justiça e amor necessários no meu trabalho e no trato com os outros;

Ao meu mestre e orientador, o Prof. Dr. José Leonaldo de Souza, que não poupou esforço em me ajudar de todas as formas que pode no sentido da concretização desse trabalho;

Ao Professor Dr. Manoel da Rocha Toledo Filho e a Profª. Dr. Maysa de Lima Leite por algumas sugestões dadas durante o desenvolvimento do trabalho;

Ao Prof. Dr. Gilson Moura Filho que muito colaborou na execução deste trabalho;

Ao Sr. Maxuel Gomes de Vasconcelos dono da propriedade na qual foi instalado o experimento;

Ao Professor Dr. Ricardo Ferreira C. Amorim, pelas sugestões que me passava ao visitar o laboratório de radiometria solar;

Aos demais Professores do Departamento de Meteorologia/CCEN/UFAL pelo preparo e apoio a mim dispensado desde o início do curso de Mestrado em Meteorologia;

A coordenação do curso de mestrado em Meteorologia na pessoa do Professor Dr. Marcos Moura pela compreensão e ajuda em algumas questões referentes algumas normas do curso;

Aos colegas de turma pelo incentivo e ajuda que me deram na realização deste trabalho.

A FAPEAL pela bolsa que me proporcionou condições de realizar esse trabalho.

A todos que de uma maneira ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

DOS SANTOS, Erikson Amorim. ANÁLISE AGROMETEOROLÓGICA DE REGIÕES DE ALAGOAS PARA A CULTURA DO MAMÃO (*Carica papaya*) Orientador: Prof. Dr. José Leonaldo de Souza. Maceió-AL: MET, UFAL, 2003. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)

Este trabalho avaliou o potencial agrometeorológico das microrregiões de Água Branca, Pão de Açúcar, Palmeira dos Índios, Rio Largo e Porto de Pedras no estado de Alagoas para o desenvolvimento da cultura do mamão (*carica papaya*). Utilizou-se dados meteorológicos diários de duração do brilho solar, temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação pluvial, obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Estação Agrometeorológica do Campus Delza Gitai/UFAL (09° 28' 02" S; 35° 49' 43" W; 127m) em Rio Largo - AL. Na descrição climatológica das microrregiões, determinou-se balanço de radiação, fez-se distribuição dos elementos meteorológicos e da evapotranspiração de referência a 25, 50 e 75% de probabilidade utilizando a técnica percentis. Dentro de um pomar de mamão na localidade de Pilar - AL (09°36' S; 35°53' W; 107m) determinou-se balanço de energia, evapotranspiração de referência, evapotranspiração da cultura e o coeficiente de cultura do mamão. Assim, observou-se que nas localidades de Água Branca, Pão de Açúcar e Palmeira dos Índios praticamente a precipitação pluvial é o único elemento meteorológico que não está dentro das exigências da cultura do mamão para o seu ótimo desenvolvimento. A evapotranspiração de referência média diária anual variou nessas localidades de 3,98 mm<sup>dia</sup><sup>-1</sup> em Rio Largo a 4,50 mm<sup>dia</sup><sup>-1</sup> em Pão de Açúcar. A evapotranspiração diária da cultura do mamão na região do Pilar por Penman-Monteith foi em média de 5,30 mm e a máxima foi de 8,61 mm e pela razão de Bowen foi em média de 5,50 mm e a máxima foi de 7,10 mm. O coeficiente da cultura do mamão, na fase de florescimento e frutificação, para os métodos ETo utilizados, variou de 0,81 a 1,32.

## ABSTRACT

DOS SANTOS, Erikson Amorim. ANÁLISE AGROMETEOROLÓGICA NA CULTURA DO MAMÃO EM REGIÕES DE ALAGOAS. Orientador: Prof. Dr. José Leonaldo de Souza. Maceió-AL:UFAL, 2001. Dissertação (Mestrado em Meteorologia).

The objective of this study is to determine the agrometeorological potential of the microregions of Água Branca, Pão de Açúcar, Palmeira dos Índios, Rio Largo and Porto de Pedras, Alagoas state, Brazil for papaya crops (*Carica papaya*). Daily sunshine duration, maximum and minimum air temperatures, relative humidity, wind speed and rainfall data from National Institute of Meteorology (INMET) and the Agrometeorological Station of Campus Delza Gital/UFAL (09° 28' 02" S; 35° 49' 43" W; 107m) in Rio Largo. In describing the climatology of these regions, the radiation budget was determined as well as the distributions of the meteorological variables and reference evapotranspiration to 25, 50 and 75% of probability (percentile technique). The energy budget, reference evapotranspiration and the crop coefficient were calculated for a papaya orchard in Pilar - AL (09° 36' S; 35° 53' W; 107m). It was observed that the rainfall is only meteorological parameter that does not satisfy the optimal development criteria for papaya growth. The average daily annual reference evapotranspiration, changed from 3.98 mmday<sup>-1</sup> (Rio Largo) to 4.50 mmday<sup>-1</sup> (Pão de Açúcar). The average reference evapotranspiration of papaya crop in Pilar were 5.30 mm and the maximum 8.61 mm (Penman-Monteith method) while the values using the Bowen ratio technique were 5.50 mm and 7.10, respectively. The crop coefficient for papaya using the reference evapotranspiration methods during the blooming and fruition periods change from 0.81 to 1.32.



## SUMÁRIO

LISTAS DE FIGURAS.....	XII
LISTAS DE TABELAS.....	XIII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 A cultura do mamão.....	3
2.2 Condições ambientais.....	8
2.3 Balanço de radiação.....	10
2.4 Balanço de energia.....	12
2.5 Evapotranspiração.....	13
2.6 Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência.....	15
2.7 Métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura.....	16
2.8 Resistência aerodinâmica.....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Características climatológicas.....	19
3.2 Observações agrometeorológica na cultura do mamão.....	21
3.2.1 Características da cultura.....	23
3.3 Determinação da evapotranspiração de referência.....	24
Método de Linacre.....	24
Método da Radiação.....	25
Método do Tanque Classe A.....	26
Método de Penman-Monteith.....	27
3.4 Determinação da evapotranspiração da cultura do mamão.....	28
Método do Balanço de energia.....	28
Método de Penman-Monteith.....	30
3.5 Determinação do coeficiente da cultura do mamão.....	32
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	33
4.1 Características agrometeorológicas de regiões de Alagoas.....	33
4.1.1 Microrregião de Água Branca.....	33
4.1.1.1 Balanço de radiação em Água Branca.....	35
4.1.1.2 Evapotranspiração de referência em Água Branca.....	36

4.1.2	Microrregião de Pão de Açúcar	38
4.1.2.1	Balanço de radiação em Pão de Açúcar	40
4.1.2.2	Evapotranspiração de referência em Pão de Açúcar	41
4.1.3	Microrregião de Palmeira dos Índios	43
4.1.3.1	Balanço de radiação em Palmeira dos Índios	43
4.1.3.2	Evapotranspiração de referência em Palmeira dos Índios	45
4.1.4	Microrregião de Rio Largo	48
4.1.4.1	Balanço de radiação em Rio Largo	50
4.1.4.2	Evapotranspiração de referência em Rio Largo	51
4.1.5	Microrregião de Porto de Pedras	53
4.1.5.1	Balanço de radiação em Porto de Pedras	55
4.1.5.2	Evapotranspiração de referência em Porto de Pedras	56
4.2	Avaliação agrometeorológica para cultura do mamão	60
4.3	Análise micrometeorológica em cultivo de mamão no Pilar	64
4.3.1	Descrição meteorológica	64
4.3.2	Balanço de energia horário	68
4.3.3	Evapotranspiração de referência média diária	77
4.3.4	Balanço de energia diário	82
4.3.5	Razão Bowen diária	83
4.3.6	Evapotranspiração da cultura média diária pelo balanço de energia	83
4.3.7	Coefficiente da cultura obtido pelo balanço de energia	84
4.3.8	Evapotranspiração da cultura diária por Penman-Monteith	85
4.3.9	Coefficiente da cultura por Penman-Monteith	86
5	CONCLUSÕES	88
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

## LISTAS DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Distribuição da área cultivada e da produção de mamão no Brasil.	5
<b>Figura 2.</b>	Variedades de mamão...	5
<b>Figura 3.</b>	Localização no Estado de Alagoas dos municípios de Água Branca, Pão de Açúcar, Palmeira dos Índios, Rio Largo, Porto de Pedras e Pilar	20
<b>Figura 4.</b>	Estação automática montada num cultivo de mamão no município de Pilar -AL	22
<b>Figura 5.</b>	Croqui do local escolhido para instalar a estação automática	23
<b>Figura 6.</b>	Distribuição dos percentis médios diários decendiais de insolação (a), temperatura máxima do ar (b), temperatura mínima do ar (c), umidade relativa do ar (a), velocidade do vento (b) e totais decendiais precipitação pluvial (c) esperados a 25, 50, e 75% de probabilidade em Água Branca - AL	34
<b>Figura 7.</b>	Estimativa decendial do Balanço de radiação ( $R_0$ é a radiação no topo da atmosfera; $R_l$ é o saldo de radiação de ondas longas, $R_c$ é o saldo de radiação de ondas curtas e $R_g$ é a radiação solar global) na localidade de Água Branca - AL	35
<b>Figura 8.</b>	Evapotranspiração de referência máxima diária anual e sua curva de tendência na região de Água Branca - AL	36
<b>Figura 9.</b>	Evapotranspiração de referência decendial esperada a 25, 50, e 75% de probabilidade na região de Água Branca - AL	37
<b>Figura 10.</b>	Valores decendiais de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), termo energético ( $ET_{0e}$ ) e termo aerodinâmico ( $ET_{0a}$ ) na região de Água Branca - AL	37

<b>Figura 11.</b>	Distribuição dos percentis diários decendiais de duração do brilho solar (a), temperatura do ar máxima (b), temperatura do ar mínima (c), umidade relativa do ar (d), velocidade do vento (e) e totais decendiais precipitação pluvial (f) esperados a 25, 50, e 75% de probabilidade em Pão de Açúcar – AL.....	39
<b>Figura 12.</b>	Estimativa decendial do Balanço de radiação ( $R_o$ é a radiação no topo da atmosfera; $R_l$ é o saldo de radiação de ondas longas; $R_c$ é o saldo de radiação de ondas curtas e $R_g$ é a radiação solar global) na localidade de Pão de Açúcar – AL.....	40
<b>Figura 13.</b>	Evapotranspiração de referência máxima diária anual e sua curva de tendência na região de Pão de Açúcar – AL.....	41
<b>Figura 14.</b>	Evapotranspiração de referência decendial esperada a 25, 50, e 75% de probabilidade na região de Pão de Açúcar – AL.....	42
<b>Figura 15.</b>	Valores decendiais de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), termo energético ( $ET_{0e}$ ) e termo aerodinâmico ( $ET_{0a}$ ) na região de Pão de Açúcar – AL.....	43
<b>Figura 16.</b>	Distribuição dos percentis diários decendiais de duração do brilho solar (a), temperatura do ar máxima (b), temperatura do ar mínima (c), umidade relativa do ar (d), velocidade do vento (e) e totais decendiais precipitação pluvial (f) esperados a 25, 50, e 75% de probabilidade em Palmeira dos Índios – AL.....	44
<b>Figura 17.</b>	Estimativa decendial do Balanço de radiação ( $R_o$ é a radiação no topo da atmosfera; $R_l$ é o saldo de radiação de ondas longas, $R_c$ é o saldo de radiação de ondas curtas e $R_g$ é a radiação solar global) na localidade de Palmeira dos Índios – AL.....	45
<b>Figura 18.</b>	Evapotranspiração de referência máxima diária anual e sua curva de tendência na região de Palmeira dos Índios – AL.....	46
<b>Figura 19.</b>	Evapotranspiração de referência diária decendial esperada a 25, 50 e 75% de probabilidade na região de Palmeira dos Índios – AL.....	46
<b>Figura 20.</b>	Valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), termo energético ( $ET_{0e}$ ) e termo aerodinâmico ( $ET_{0a}$ ) na região de Palmeira dos Índios – AL.....	47

<b>Figura 21.</b>	Distribuição dos percentis decendiais de duração de horas de sol (a), temperatura do ar máxima (b), temperatura do ar mínima (c), umidade relativa do ar (d), velocidade do vento a dois metros de altura (e) e totais decendiais precipitação pluvial (f) esperados a 25, 50, e 75% de probabilidade em Rio Largo – AL.....	49
<b>Figura 22.</b>	Estimativa decendial do Balanço de radiação ( $R_o$ é a radiação no topo da atmosfera; $R_l$ é o saldo de radiação de ondas longas; $R_c$ é o saldo de radiação de ondas curtas e $R_g$ é a radiação solar global) na localidade de Rio Largo – AL.....	50
<b>Figura 23.</b>	Evapotranspiração de referência máxima diária anual e sua curva de tendência na região de Rio Largo – AL.....	51
<b>Figura 24.</b>	Evapotranspiração de referência média diária decendial esperada a 25, 50 e 75% para a região de Rio Largo – AL.....	52
<b>Figura 25.</b>	Valores decendiais de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), termo energético ( $ET_{0e}$ ) e termo aerodinâmico ( $ET_{0a}$ ) na região de Rio Largo – AL.....	52
<b>Figura 26.</b>	Distribuição dos percentis diários decendiais de duração do brilho solar (a), temperatura do ar máxima (b), temperatura do ar mínima (c), umidade relativa do ar (d), velocidade do vento (e) e totais decendiais precipitação pluvial (f) esperados a 25, 50, e 75% de probabilidade em Porto de Pedras – AL.....	54
<b>Figura 27.</b>	Estimativa decendial do Balanço de radiação ( $R_o$ é a radiação no topo da atmosfera; $R_l$ é o saldo de radiação de ondas longas; $R_c$ é o saldo de radiação de ondas curtas e $R_g$ é a radiação solar global) na localidade de Porto de Pedras – AL.....	55
<b>Figura 28.</b>	Evapotranspiração de referência máxima diária anual e sua curva de tendência para a região de Porto de Pedras– AL.....	56
<b>Figura 29.</b>	Evapotranspiração de referência decendial esperada a 25, 50 e 75% de probabilidade para região de Porto de Pedras – AL.....	57
<b>Figura 30.</b>	Valores decendiais de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), termo energético ( $ET_{0e}$ ) e termo aerodinâmico ( $ET_{0a}$ ) na região de Porto de Pedras – AL.....	57

<b>Figura 31.</b>	Distribuição dos totais diários e a curva de tendência da precipitação pluvial (a), temperatura da superfície ou da copa do mamão (b) e temperatura do ar a 0,5 e 2,0 m de altura (c) no período do de 20/01 a 10/05/2001 em Pilar– AL.....	66
<b>Figura 32.</b>	Distribuição diária da temperatura do solo a 20 e 30 cm de profundidade (a) e da temperatura média do solo e sua curva média (b) no período do de 20/01 a 10/05/2001 em Pilar– AL.....	67
<b>Figura 33.</b>	Distribuição diária da umidade relativa do ar a 0,5 e 2,0 m de altura (a) e da velocidade do vento e sua curva média (b) no período do de 20/01 a 10/05/2001 em Pilar– AL.....	69
<b>Figura 34.</b>	Balanço de energia horário na cultura do mamão para o dia 84 (25/03/2001) em Pilar– AL.....	70
<b>Figura 35.</b>	Balanço de energia horário na cultura do mamão para o dia 93 (03/04/2001) em Pilar– AL.....	72
<b>Figura 36.</b>	Balanço de energia horário na cultura do mamão para o dia 63 em Pilar– AL.....	74
<b>Figura 37.</b>	Balanço de energia horário na cultura do mamão para o dia 125 em Pilar– AL.....	76
<b>Figura 38.</b>	Evapotranspiração de referência diária pelo método Linacre ( $ET_{oLm}$ ), Radiação ( $ET_{oRad}$ ) e Tanque Classe A ( $ET_{oTCA}$ ) em Pilar – AL ..	79
<b>Figura 39.</b>	Evapotranspiração de referência diária pelo método de Penman-Monteith com saldo de radiação estimado (a) e medido (b) no ano 2001 em Pilar – AL.....	80
<b>Figura 40.</b>	Balanço de energia na cultura do mamão em 2001, Pilar –AL.....	82
<b>Figura 41.</b>	Razão de Bowen diária na cultura do mamão em 2001, Pilar –AL.....	83
<b>Figura 42.</b>	Evapotranspiração cultura do mamão ( $ET_c$ ) diária obtida pela razão de Bowen em 2001, na localidade do Pilar –AL.....	84
<b>Figura 43.</b>	Evapotranspiração da cultura do mamão ( $ET_c$ ) diária obtida pelo método Penman-Monteith e sua curva de tendência em 2001 na região de Pilar– AL.....	86

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Localidades do estado de Alagoas, suas coordenadas geográficas e período de observação dos dados meteorológica precipitação pluvial, brilho solar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento em cinco localidade de Alagoas.....	20
<b>Tabela 2.</b>	Elementos meteorológicos e totais de precipitação pluvial esperados a 75% de probabilidade durante as estações chuvosa e seca nas localidades de Água Branca (AB), Pão de Açúcar (PA), Palmeira dos Índios (PI), Rio Largo (RL) e Porto de Pedras (PP).....	59
<b>Tabela 3.</b>	Comparação entre as necessidades agrometeorológicas da cultura do mamão com as condições meteorológicas esperadas a 50 e 75% de probabilidade na microrregião de Água Branca - AL. . . . .	60
<b>Tabela 4.</b>	Comparação entre as necessidades agrometeorológicas da cultura do mamão com as condições meteorológicas esperadas a 50 e 75% de probabilidade na microrregião de Pão de Açúcar - AL. . . . .	61
<b>Tabela 5.</b>	Comparação entre as necessidades agrometeorológicas da cultura do mamão com as condições meteorológicas esperadas a 50 e 75% de probabilidade na microrregião de Palmeira dos Índios - AL. . . . .	62
<b>Tabela 6.</b>	Comparação entre as necessidades agrometeorológicas da cultura do mamão com as condições meteorológicas esperadas a 50 e 75% de probabilidade na microrregião de Rio Largo - AL. . . . .	63
<b>Tabela 7.</b>	Comparação entre as necessidades agrometeorológicas da cultura do mamão com as condições meteorológicas esperadas a 50 e 75% de probabilidade na microrregião de Porto de Pedras - AL. . . . .	64

<b>Tabela .8</b>	Utilização de saldo de radiação no fluxo de calor sensível (H/Rn) e fluxo de calor latente de evaporação (LE/Rn), razão de Bowen ( $\beta$ ) e evapotranspiração da cultura horária no dia 84 em Pilar- AL. ....	71
<b>Tabela .9</b>	Utilização de saldo de radiação no fluxo de calor sensível (H/Rn) e fluxo de calor latente de evaporação (LE/Rn), razão de Bowen ( $\beta$ ) e evapotranspiração da cultura horária no dia 93 em Pilar- AL.....	73
<b>Tabela .10</b>	Utilização de saldo de radiação no fluxo de calor sensível (H/Rn) e fluxo de calor latente de evaporação (LE/Rn), razão de Bowen ( $\beta$ ) e evapotranspiração da cultura horária no dia 63 em Pilar- AL. ....	75
<b>Tabela .11</b>	Utilização de saldo de radiação no fluxo de calor sensível (H/Rn) e fluxo de calor latente de evaporação (LE/Rn), razão de Bowen ( $\beta$ ) e evapotranspiração da cultura do mamão horária no dia 125 em Pilar- AL.	77
<b>Tabela .12</b>	Os máximos (Max), médios (Med), mínimos (Min) e desvios padrões (Dsvpd) das evapotranspirações de referência obtidos pelos métodos de Linacre, Radiação, Tanque classe A, Penman-Monteith com saldo de radiação estimado e Penman-Monteith com saldo de radiação durante o ano de 2001 na localidade do Pilar - AL. ....	81
<b>Tabela .13</b>	Valores máximos (Max), médios (Med), mínimos (Min) e desvios padrões (Dsvpd) dos coeficientes da cultura diários obtidos com a evapotranspiração da cultura pelo método da Razão de Bowen com a evapotranspiração de referência pelo método de Linacre, Radiação, Tanque classe A, Penman-Monteith com saldo de radiação estimado e Penman-Monteith com saldo de radiação medido em 2001 na região do Pilar - AL.....	85
<b>Tabela .14</b>	Valores máximos (Max), médios (Med), mínimos (Min) e desvios padrões (Dsvpd) dos coeficientes diários da cultura do mamão obtidos com a evapotranspiração da cultura pelo método de Penman-Monteith com a evapotranspiração de referência pelo método de Linacre, Radiação, Tanque classe A, Penman-Monteith com saldo de radiação estimado e Penman-Monteith com saldo de radiação medido em 2001 na região do Pilar - AL.....	87



## 1. INTRODUÇÃO

A agropecuária constitui-se numa das principais bases de sustentação da economia nacional. A agricultura sobretudo a de sequeiro é a que mais sofre com as influências das condições meteorológicas: variações na temperatura do ar, umidade relativa do ar, na velocidade dos ventos, na precipitação pluvial etc.

Em Alagoas, a região do sertão apresenta uma agricultura mais voltada para a sobrevivência do homem do campo e uma forte tradição na pecuária extensiva e de baixa tecnologia. A agropecuária no agreste apresenta uma produção mais diversificadas e voltado para o comércio. A zona da mata destaca-se por uma pecuária mais intensiva e pela monocultura da cana-de-açúcar tecnificada. A região litorânea tem sua economia baseada na indústria do turismo, na policultura nos pequenos latifúndios e na atividade pesqueira. Todas essas regiões tem a sua economia muito dependente das condições atmosféricas.

A climatologia influencia em outra atividade que vem crescendo muito ultimamente, a fruticultura. O Brasil foi no ano 1999 o principal produtor mundial de mamão (*Carica papaya L.*), com cerca de 1,9 milhões de toneladas, isto representou um crescimento de 154% em relação ao ano de 1990. A segunda posição, nessa categoria é ocupada pela Nigéria com 748 mil toneladas (IBGE, 1999). O mamão é uma das principais frutas consumidas no mundo, madura ou verdes em doces. É uma excelente fornecedora de vitaminas A, B, de fibras, ferro, cálcio e fósforo; sua baixa acidez permite que seja consumida por pessoas sensíveis e crianças nos primeiros meses de vida (Embrapa, 1994). A crescente demanda por essa fruta e o alto custo da água tem levado muitos produtores a procurar informações que possam auxiliá-los na implantação de projetos auto-sustentáveis de fruticultura irrigada.

O desenvolvimento de projeto agrícola dessa espécie requer que se disponha de informações meteorológicas precisas dos processos atmosféricos de superfície e sua atuação conjunta nessa atividade. A precipitação pluvial e a evapotranspiração são os principais parâmetros atmosféricos observado nesses projetos. E por sua vez, a evapotranspiração depende de fatores aerodinâmicos e energéticos, obtidos em função de algumas variáveis meteorológicas como a temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, brilho solar e evaporação. Estas estão relacionadas também com a produção, a qualidade e o manejo das culturas agrícolas. A evapotranspiração de referência tem uma importância mais acentuada nesses projetos por exigir alguns critérios na sua determinação. Essas informações são úteis para a realização de balanços hídricos, planejamento de cultivos agrícolas e elaboração de projetos de irrigação.

O conhecimento do comportamento dos fatores energéticos e hídricos têm aplicabilidade direta no desenvolvimento auto-sustentado de uma região; sendo utilizado em práticas agrícolas, planejamento racional da irrigação, uso adequado do solo, zonamento agrícola regional, impacto das variáveis meteorológicas sobre os cultivos agrícolas, proteção de plantas, atividades humanas, dentre outras. (Vianello e Alves, 1991).

Existe no meio científico uma diversidade de métodos para se estimar a evapotranspiração de referência de um local, como é o caso dos métodos do Tanque Classe A, Linacre e outros. A maioria destes métodos foi desenvolvido para outras regiões com condições ambientais diferentes das nossas e usando algumas das variáveis meteorológicas mais influentes e/ou disponíveis no momento. Por esse motivo, torna-se necessário que se faça um estudo que vise avaliar o potencial agrometeorológico do Estado para a produção da cultura e a evapotranspiração da cultura do mamão. Assim, este trabalho tem como objetivo:

- Avaliar as características climatológicas de cinco regiões de Alagoas relacionando-as com as exigências bioclimáticas da cultura do mamão;
- Analisar características meteorológicas sobre o cultivo de mamão na região de Pilar—AL;
- Determinar balanço de energia, evapotranspiração e coeficiente de cultura em mamão.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A cultura do mamão

Os mais importantes aspectos relativos a cultura do mamão são descritos nos trabalhos de Medina *et al* (1980), Duke (2002), OMM (1991), Badillo (1993), EMBRAPA (1994), Oliveira *et al.* (1995), Campbell (2002), IBGE (1999), FAO (2000).

O mamoeiro pertence à classe *Dicotyledoneae*, subclasse *Archichlamydeae*, ordem *Violales*, subordem *Caricineae* e família *Caricaceae* que compreende quatro gêneros: *Jarilla* (com uma espécie), *Cylicomorpha* (com duas espécies), *Jacaratia* (com seis espécies) e *Carica* (com vinte e duas espécies) das quais apenas a *C. papaya* tem importância econômica.

A *Carica papaya* L apresenta diversos nomes populares tais como: *papaya* (o fruto) e *papayo* (a planta) em espanhol; *papaye* e *papaye* em francês; *papaya*, *pawpaw* ou *papaw* em inglês; *melonenbaume* em alemão; *fruta bomba* em Cuba; *papaya calentana*, *fruta bomba* e *árbol de melón* na Colômbia; *papayo* e *mamón* na Argentina; *lechosa* e *papaya* na Venezuela; *melón zapote* e *papaya cimarrona* no México; *papao* ou *papaya* nas Antilhas Holandesas; *mamão* e *mamoeiro* no Brasil e *papai* no Haiti.

A fruta é originária da América do Sul, de onde se espalhou por todo o mundo tropical. As Antilhas já foram apontadas como o berço desta cultura, mas essa hipótese foi abandonada uma vez que na Antilhas não se encontram espécies em estado selvagem. O México e a América Central também foram apontados como possíveis locais de origem do mamão, com base nos relatos dos navegadores e na semelhança de espécies próximas e do mesmo gênero. Essa teoria foi descartada, pois não existe outras espécies do gênero, ou seja

no México e América Central encontra-se somente a *C. cauliflora* Jacq enquanto no Panamá a *C. microflora sp. heterophylla* Badillo. Acreditava-se também que esta planta tivesse sido originada na Ásia ou na África, mas na verdade a cultura foi disseminada pelos navegadores portugueses e espanhóis, que tiveram o seu trabalho facilitado pela grande capacidade de adaptabilidade da planta. Uma das provas que a planta foi introduzida no Brasil após o seu descobrimento é que não existe registro em língua tupi-guarani de nenhum vocábulo para a planta ou fruto.

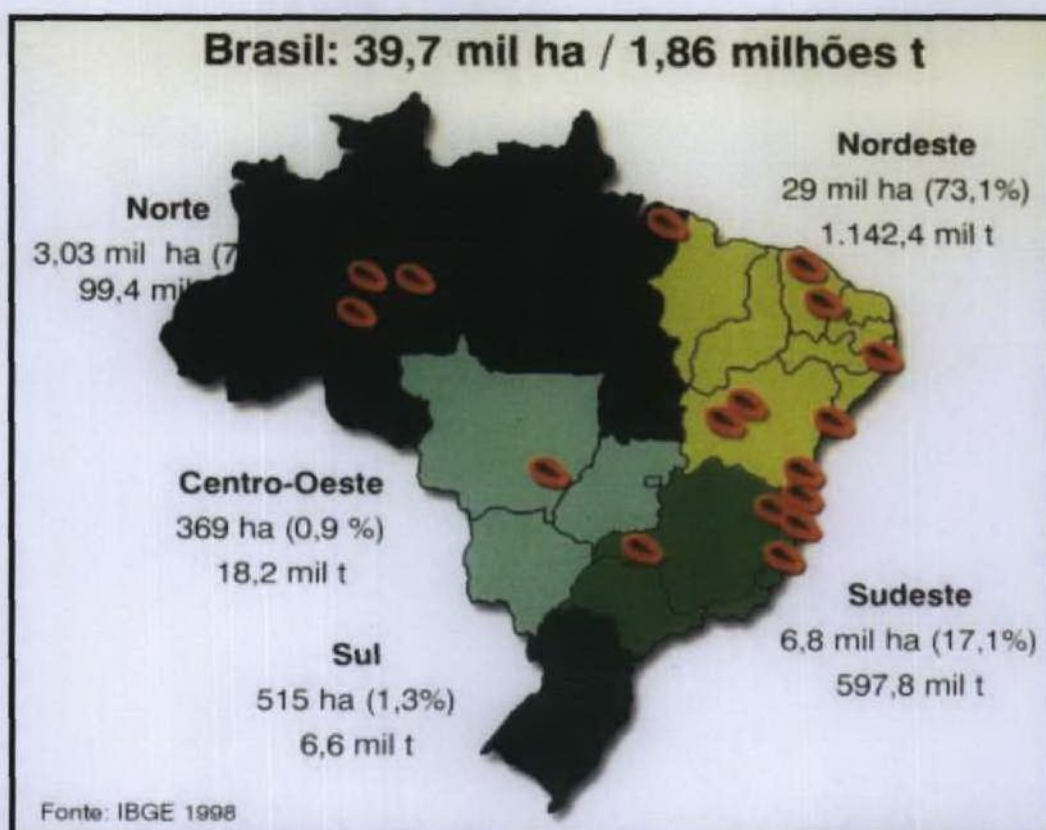
O grande número de espécies do mesmo gênero indica como centro de origem o noroeste da América do Sul, vertente oriental dos Andes, ou mais precisamente, a Bacia Amazônica Superior; onde ele mostra semelhanças muito comuns com outras espécies e máxima diversidade genética.

Já no início do século XVIII, tornou-se amplamente conhecida no Oriente, sendo agora muito cultivada na Índia, Sri Lanka, no arquipélago Malaio e na maioria dos países asiáticos, nos países da América do Sul, Central, Antilhas, África, Havai e Austrália para abastecer mercados locais e de exportação.

Atualmente, está sendo cultivada entre as latitudes 32° norte e 32° sul. Dentre as culturas tropicais, esta foi aquela cuja produção apresentou mais significativo crescimento durante os últimos 10 anos. Neste período, o volume produzido passou de 3,5 milhões de toneladas, em 1990, para 5 milhões, em 1999, representando um incremento de 41% (IBGE, 1999).

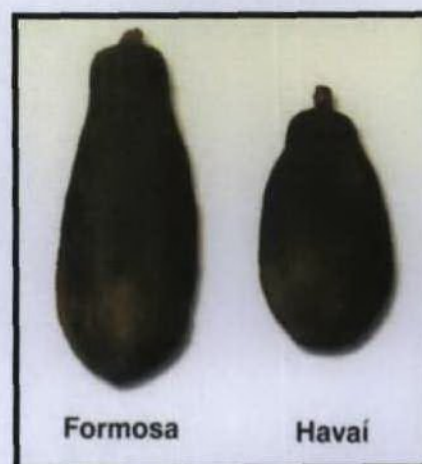
O cultivo do mamão tornou-se, atualmente bastante comum em todo o território brasileiro ocupando uma área de 39.700 ha, com uma produção anual estimada em 1.860.000 toneladas, como pode ser visto na Figura 1. A cultura ocupa na região norte do país uma área de 3,03 mil ha (7,6% do território Nacional) e uma produção de 99,4 mil toneladas por ano. A região nordeste possui uma área cultivada de 29 mil ha (73,1% do território Nacional) e uma produção de 1.142,4 mil toneladas ano. A região sudeste cultiva 6,8 mil ha de mamão (17,1% do território Nacional) com uma produção anual de 597,8 mil toneladas. A região sul tem uma área de cultivada 515 ha (1,3% do território Nacional) e produção de 6,6 mil toneladas por ano. E por último, o centro-oeste apresenta uma área de mamão de 369 ha (0,9% do território Nacional) correspondendo a uma produção anual de 18,2 mil toneladas (IBGE, 1998).

O mercado interno absorve a maior parte da produção brasileira de mamão, isto pode ser confirmado pelo volume de exportações que não chega a 5% do total produzido. A produtividade média nacional é da ordem de 40 t/ha/ano para as variedades do grupo Solo ou Havai e de 60 t/ha/ano para as variedades do grupo Formosa.



**Figura 1.** Distribuição da área cultivada e da produção de mamão no Brasil.

A produção nacional de mamão está baseada em dois grupos: o Formosa, que se destina principalmente ao mercado interno, e o Havai, tanto ao mercado interno como o externo que podem ser vistos na Figura 2. Os estados da Bahia e do Espírito Santo destacaram-se como maiores produtores nacionais, sendo responsáveis por cerca de 87% da produção. O estado da Bahia é o principal produtor de mamão Havai, não certificado para exportação nacional. O Espírito Santo é o maior produtor deste grupo, destinado à exportação.



**Figura 2.** Variedades de mamão.

A planta é descrita como sempre verde, de crescimento rápido e curta duração, de 3 a 8 m altura. O Tronco com até 30 cm de diâmetro, é geralmente indiviso, herbáceo-lenhoso, fistulosos, suculento, com látex ralo e leitoso, ereto, marcado por grandes cicatrizes foliares, largas e quase horizontais.

As Folhas alternas, grandes (até 70 cm de diâmetro), longo-pecioladas, as superiores eretas e expandidas; pecíolos fistulosos, cilíndricos, geralmente de 50 a 70cm de comprimento, às vezes até 1 m, outras vezes mais curtos, verde-pálidos, às vezes vermelhos-vinosos; lâminas ovais ou orbiculares, 7 a 13 nervuras, profundamente palmatilobadas, geralmente de 7 a 13 lobos, inteiros ou sinuado-lobados, verde claro-mate na face superior e verde pálido na face inferior, cobertas com material ceroso.

A Inflorescências masculina axilares, em ráculos laterais, cimeiras ou panículas pêndulas, geralmente longo-pedunculadas (10 a 20cm), multifloras, geralmente de 50 a 100 cm de comprimento, ráquis e ramos glabros.

As Flores masculinas são pedunculadas, branco-cremosas, verde amareladas ou amarelas, perfumadas; corola tubulosa ou ligeiramente afunilada, curta, 5-lobada; lobos fortemente torcidos sobrepondo-se na prefloração; estames 10, amarelados, dispostos em duas séries alternas sobre a garganta do tubo da corola, filetes filiformes e anteras longitudinalmente deiscente; pistilo ausente ou rudimentar.

As Inflorescências femininas são axilares, unifloras ou em cimeiras curto-pedunculadas (1 a 2cm) paucifloras, a ráquis glabra, ou às vezes, muito densa e diminutamente pubescente, brácteas inconspícuas.

As Flores femininas são grandes, campanuladas, curto-pediceladas, branco-cremosas, amarelo-pálidas ou evidentemente amarelas; corolas profundamente 5-partidas, pétalas carnosas, lanceoladas, quase livres, de 5 a 7 cm de comprimento e 1,5 a 2,5 cm de largura, torcidas e sobrepondo-se na prefloração; pistilo amarelo-pálido, de 2 a 3 cm de comprimento, com ovário grande, elíptico ou redondo, unilocular, multiovulado, placentação parietal, com 5 estimas ramificados.

O Fruto é do tipo baga, ovóide, esférico-piriforme, desde pequeno até muito grande, liso ou obscuramente, cinco angulado, de polpa amarela, alaranjada ou vermelha, macia, aromática, doce ou ligeiramente insípida, com suco leitoso e de 2,5 a 5 cm de

espessura, rodeando uma cavidade central grande, contendo numerosas sementes nigrescentes, quase globosas, de 5 a 7 mm de comprimento, sarcotesta mucilaginosa, lisa, picante; esclerotesta com numerosas protuberâncias irregularmente dentadas, a modo de cristas lameliformes, dispostas longitudinalmente ou as vezes não desenvolvidas.

A cultura do mamoeiro, no Brasil, está sustentada numa estreita base genética, sendo bastante limitado o número de cultivares plantadas nas principais regiões produtoras. De forma geral, conforme as características do fruto, as cultivares (variedades) de mamoeiro são classificadas em dois grupos: Formosa e Solo ou Havai.

As cultivares do grupo Solo são materiais geneticamente uniformes, consistindo de linhagens puras fixadas por sucessivas gerações de autofecundação. São amplamente utilizadas no mundo, havendo no Brasil o predomínio de duas cultivares: 'Sunrise Solo' e 'Improved Sunrise Solo cv. 72/12'. Existem outras cultivares, a exemplo da 'Kapoho Solo', 'Waimanalo', 'Higgins' e 'Baixinho de Santa Amália', porém ainda pouco avaliadas sob as condições brasileiras.

O grupo Formosa abrange híbridos  $F_1$  sintetizados pela Estação Experimental Fengshan, em Formosa, como o 'Tainung nº 1' e 'Tainung nº 2', além de cultivares selecionadas pela Estação Experimental de Fruticultura Tropical da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA), em Conceição do Almeida, a exemplo das cultivares Tailândia, JS1 e JS2.

Uma cultivar é considerada produtiva quando produzir entre 15 e 20 kg de frutos/planta no primeiro ano de colheita. Outro critério de seleção para plantas produtivas de mamoeiros do grupo Solo, a produção de 80 frutos perfeitos (40kg) aos 12 meses após o plantio. Atualmente, comenta-se que, se após nove meses do plantio, a planta tiver mais de 70 frutos, pode-se prever uma produtividade comercial em torno de 40t/ha/ano.

O mamoeiro é planta de clima tropical que necessita em média para o seu ótimo desenvolvimento de: uma precipitação pluvial anual entre 1.200 e 1.500mm, temperatura do ar variando entre 17 a 38°C, umidade relativa do ar acima de 70%, duração do brilho solar de mais 6 horas e intensidade de velocidade do vento inferior a  $7\text{ms}^{-1}$  (O. M. M., 1991).

Por ser uma planta de plena luz, a qualidade dos frutos está ligada à insolação e a temperatura que devem ser elevadas. Apesar disso, entre as fase de semeio e enquanto as

mudas estiverem se estabelecendo, antes do plantio no local definitivo uma diminuição da iluminação irá favorecer a sua germinação e o seu desenvolvimento. A vida útil da cultura é de quatro anos, com início da produção no segundo ano.

Em relação ao solo, a planta não é muito exigente quanto a qualidade do solo, mas ela prefere os solos leves, úmidos e bem drenados; tendo seu desenvolvimento afetado em locais de água parada com pH entre 6,0 a 6,5. Sugere-se que a cultura seja plantada no espaçamento 3 por 3 metros o que exigirá 1.200 mudas de mamão.

A sua necessidade pluviométrica varia de 1.500 a 2.000 mm bem distribuída ao longo do ano ou de irrigações em função dos períodos de secas; constituindo-se assim numa espécie bastante exigente em água. A produção esperada nessas condições é de vinte a trinta toneladas. Geralmente se usa uns 800 Kg de fertilizante e 2 litros de defensivos. Em termos de mão de trabalho na área são necessários 150 h/d (Horas de trabalho de homem por dia) e 7 h/m (horas de trabalho por máquina).

## 2.2 Condições ambientais

Muitos pesquisadores têm publicado vários trabalhos que mostram a importância da água para o desenvolvimento de qualquer sistema agrícola. A maior parte dos organismos vivos é constituída de água; e o principal mecanismo natural de restabelecimento dos recursos hídricos na superfície terrestre, é a precipitação pluvial, no caso das regiões tropicais.

A implantação de um projeto agropecuário numa região é determinada pela quantidade e distribuição da sua precipitação pluvial ao longo do ano. As regiões tropicais geralmente enfrentam sérios problemas relacionados a pequena quantidade e a má distribuição das chuvas. O excesso ou falta desta, tão comum nos trópicos causa grandes prejuízos a agricultura local; exigindo assim um melhor conhecimento das disponibilidades de água para as culturas agrícolas (Ommetto, 1981; Bello, 1986; Prates et al, 1986).

A avaliação das necessidades hídricas da cultura, não deve ser feita apenas em função da precipitação pluvial; precisa levar em consideração também o seu processo inverso, a evapotranspiração que constitui um dos componentes básicos do ciclo hidrológico. A necessidade hídrica da cultura e a quantidade de água disponível no solo são outros dois



elementos importantes no balanço hídrico das culturas agrícolas, que interessam a vários campos do conhecimento científico que tratam do manejo sustentado da água (Bergamaschi, 1992).

A caracterização climática de uma região exerce um importante papel na determinação das necessidades hídricas das culturas, na disponibilidade de água no solo e outros processo envolvendo trocas de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera.

A temperatura do ar é um dos elementos meteorológicos que mais afeta o crescimento e desenvolvimento dos seres vivos, controlando suas fases fenológicas e sua distribuição na superfície da Terra. As medidas de longos períodos de variação anual e diurna da temperatura do ar estão freqüentemente disponíveis em todas as partes do mundo, precisando ser bem caracterizadas para que se possa realizar trabalhos como o de determinação da aptidão agrícola de uma região.

Fisicamente a temperatura é definida como o grau de movimentação das moléculas ou átomos de um material ou substância – quanto mais rápido o movimento, maior a temperatura. Ela, ao lado da precipitação pluvial, é provavelmente o elemento meteorológico mais discutido ultimamente, devido à algumas afirmações de que a temperatura média do ar do Planeta está aumentando. A temperatura do ar apresenta ainda dificuldades para ser definida precisamente tanto para leigos como para alguns peritos. Um dos motivos para isso, é que em medidas de temperatura do ar, do solo ou de outros materiais nós podemos apenas esperar obter alguns valores que representam o estágio térmico médio destes corpos, isso se a metodologia de obtenção de dados for adequadamente representativa.

Na superfície terrestre a temperatura do ar é determinada pelo balanço energia; isto é, a diferença entre a energia radiante que chega e a que sai, a energia que age na transformação de calor sensível em calor latente na relação terra-ar. Essa última está diretamente relacionada com a temperatura nas camadas de ar próximas da superfície.

A umidade em vapor ou gás que constitui a conhecida umidade relativa do ar é responsável pela formação das nuvens e dos nevoeiros e a água no seu estado sólido ou líquido forma também as precipitações atmosféricas – chuva, neve, granizo, etc. Um dos constituintes do ar atmosférico, o vapor d'água tem como característica, ser variável em quantidade, de acordo com a disponibilidade de água no local e energia do meio. Apesar de ser um elemento variável em tempo e espaço é extremamente importante, tanto no aspecto

físico associado as suas características moleculares, como no aspecto fisiológico, decorrente de sua dependência para seres vivos. A concentração de vapor d'água na atmosfera é pequena, chegando no máximo a 4% em volume, mas é extremamente variável em função das mudanças de fases, nas condições atmosféricas reinantes, em particular da temperatura.

A insolação ou horas de brilho solar tem um lugar de destaque na realização de muitas das reações bioquímicas nos organismos inclusive na principal delas que é a fotossíntese. Sua importância pode ser vista nos trabalhos que evidenciam que em dada intensidade de radiação, a taxa de crescimento da planta aumenta com o índice de área foliar, até um máximo, para depois decrescer. O número de horas de brilho solar que houve durante o dia, é medido por meio de um instrumento chamado heliógrafo (Ometto, 1981).

O vento resulta da diferença na pressão atmosférica de alguns locais. Esta pressão pode se desenvolver como o resultado da diferença na temperatura do ar ou na quantidade de um nível mais elevado de convergência ou divergência no fluxo de ar. O gradiente de pressão tende a se estabilizar e o ar irá mover-se em resposta a este gradiente. Essa quantidade de movimento pode ser transferida aos obstáculos que se interpõem na sua trajetória, provocando danos de diversas intensidades ao "Momentum" transferido. Em uma cultura, os danos vão desde um estímulo excessivo a evapotranspiração até o efeito mecânico de quebra de folhas, galhos, tombamento de plantas e até arrancamento de árvores (Ometto, 1981).

### **2.3 Balanço de radiação**

A fonte de energia disponível na superfície da terra que mais afeta a disponibilidade hídrica para as culturas é o saldo de radiação ( $R_n$ ). Este atua nos processos de perda de água, aquecimento do ar e do solo, no acúmulo de matéria seca pelos vegetais através da fotossíntese e na caracterização de seu microclima (Stanhill et al apud Souza, 1996). E a magnitude do saldo de radiação varia em função da latitude, altitude, época do ano, cobertura de nuvens, composição da radiação incidente, propriedades espectrais da cultura, grau de cobertura do solo pela cultura, disponibilidade hídrica do solo, temperaturas da superfície e da atmosfera (Cunha *et al*, 1993).

O saldo de radiação é dado por

$$R_n = R_{boc} + R_{bol} \quad (1)$$

onde  $R_{boc}$  é o balanço de radiação de ondas curtas e  $R_{bol}$  é o balanço de ondas longas.

A radiação solar encontra-se principalmente dentro do intervalo de comprimento de onda de 0,25 a 4  $\mu\text{m}$  (99% do total de radiação solar que chega está nesse intervalo). Na prática, os instrumentos que medem radiação de ondas curtas geralmente o fazem no intervalo de comprimento de onda de 0,3 a 3  $\mu\text{m}$ . A densidade do fluxo de radiação varia significativamente de uma região para outra dependendo da estação do ano, hora do dia e topografia local. A radiação solar de ondas curtas pode ser dividida em duas componentes: a direta e a difusa. A radiação solar difusa é a parte da radiação solar que foi espalhada por moléculas de gás e partículas em suspensão na atmosfera e alcança a superfície vinda de múltiplas direções. A radiação solar direta é a parte radiação solar que alcança a superfície do solo em feixes relativamente paralelo. O balanço de radiação de ondas curtas pode ser computado pelas equações

$$R_{boc} = R_{oc} \downarrow + R_{oc} \uparrow \quad (2)$$

ou

$$R_{boc} = (1 - r) R_{oc} \downarrow \quad (3)$$

onde  $R_{boc}$  é o balanço de radiação de ondas curtas;  $R_{oc} \downarrow$  é a radiação solar de ondas que chega a uma superfície;  $R_{oc} \uparrow$  é a radiação solar refletida e  $r$  é a reflectividade da superfície ou albedo

$$r = \frac{R_{oc} \uparrow}{R_{oc} \downarrow} \quad (4)$$

onde  $r$  é adimensional.

A distribuição e a densidade de plantio numa área agrícola cultivada também é controlada pelo saldo de radiação disponível. Este interfere nas trocas gasosas e de calor no sistema solo-planta-atmosfera por alterar o seu balanço de energia.

## 2.4 Balanço de energia

O balanço de energia mostra como o saldo de radiação é utilizado nas transformações físico-químicas da superfície terrestre. Portanto, o balanço de energia é dado por

$$R_n = H + \lambda E + G + F + M \quad (5)$$

onde o  $R_n$  é o saldo de radiação;  $H$  é o fluxo de calor sensível para o aquecimento do ar;  $\lambda E$  é o fluxo de calor latente para a evaporação da água contida no solo, nos corpos d'água e nos seres vivos;  $G$  é o fluxo de calor no solo;  $F$  é a energia fixada nas plantas pela fotossíntese e  $M$  é a biomassa armazenada pelas plantas.

A porção do saldo de radiação utilizada pela fotossíntese e fixada na biomassa geralmente é desconsiderada; pois, na maioria das vezes, elas contribuem muito pouco no balanço de energia de um local. Estima-se em 3% a porção do saldo de radiação utilizada na fotossíntese. E com relação a armazenada na biomassa essa porção vai depender do porte e do tipo da vegetação, geralmente desprezível (Pereira et al, 1997). A densidade de fluxo de calor no solo é governada pela natureza do material que compõe o solo o qual altera o efeito da temperatura média diária dos perfis do solo. A densidade de fluxo de calor no solo é considerada para período diário como sendo igual a zero e para períodos horários ela é estimada como sendo igual a dez por cento do saldo de radiação (Allen et al, 1998).

Estima-se que o saldo de radiação consumido nos processos evaporativos em superfícies úmidas varia de 70 a 80% (Seeman et al, 1979). Na floresta amazônica o fluxo de calor latente varia de 70 a 90% (Molion, 1992). Em amendoim irrigado (*Arachis hypogaea* L.), o fluxo de calor latente representou mais de 93% do saldo de radiação (Oliveira et al, 1997). Em soja de sequeiro e irrigada o fluxo de calor latente de evaporação representou a maior parte do saldo de radiação, sendo 95% na parcela irrigada e 78% na parcela não irrigada. E para o fluxo de calor no solo, essa porção foi de 2% e 7% para as parcelas irrigadas e não irrigada, respectivamente (Fotana, 1991). Em Petrolina – PE, num balanço de energia diário em uva irrigada foi utilizado 82%, 13% e 5% do saldo de radiação nos fluxos de calor latente, fluxo de calor sensível, fluxo de calor no solo, respectivamente (Texeira et al, 1997).

Bowen em 1926 propôs uma razão entre os fluxos de calor sensível e o fluxo de calor latente, a qual era função dos gradientes verticais de temperatura do ar ( $dT/dz$ ) e de pressão de vapor ( $de/dz$ ). Ele considerou os coeficientes de difusão turbulenta vertical de calor sensível e vapor d'água similares. A grande popularidade desse método no meio científico, além de sua precisão e simplicidade é devido ao fato de não necessitar de dados sobre turbulência, velocidade do vento e propriedades aerodinâmicas da superfície (Villa Nova, 1973; Oke, 1978; Rosenberg et al, 1983; Stull, 1988; Prueger et al., 1997; Burba et al., 1999).

As condições hídricas do solo alteram os valores da razão de Bowen. A razão de Bowen apresentará valores pequenos quando o solo estiver úmido, demandando quase todo o saldo de radiação para o fluxo de calor latente de evaporação. Por outro lado, a razão de Bowen apresentará valores grande quando o solo estiver seco, o que demandará quase todo o saldo de radiação para o aquecimento do ar (Oke, 1978; Stull, 1988, Castro Teixeira et al., 1997; Pereira et al., 1997). Observou-se que a razão de Bowen varia de 2 a 6 em florestas temperadas e gramíneas, acima de 10 regiões semi-áridas e desertos, de 0,9 a 2,3 em milho, em torno de 0,2 em pomares irrigados e de aproximadamente 0,1 sobre o mar (Oke, 1978; Stull, 1988; Saucier et al., 1998).

## 2.5 Evapotranspiração

As perdas de água ocorridas diretamente da superfície terrestre (solo, rios, lagos e mares) para a atmosfera é comumente chamada de "Evaporação", enquanto que "Transpiração" se refere às perdas de água principalmente das plantas para a atmosfera. A evapotranspiração corresponde à soma evaporação e transpiração.

A evaporação é um processo bastante exigente em energia, sendo necessárias quinhentas e oitenta e cinco calorias para evaporar um grama de água à 20°C. A evaporação da água do solo é governada pelos mesmos elementos meteorológicos que influenciam a evaporação de uma superfície de água livre, pois a evaporação do solo nada mais é do que a evaporação da película de água que envolve as partículas de solo e que ocupa os espaços existentes entre as partículas de solo (Brady, 1989). A evaporação de uma superfície líquida, por outro lado, apresenta uma oportunidade ilimitada de evaporação em virtude de sua

disponibilidade de água. Uma forma comum de se obter medidas de evaporação é por utilizar equipamentos chamados evaporímetros como o tanque classe A. Este aparelho, em virtude do seu custo relativamente baixo e do fácil manejo, tem sido empregado em muitos projetos de irrigação. Ele tem a vantagem de medir a evaporação de uma superfície de água livre, associada as condições atmosféricas, de radiação solar, vento, temperatura do ar e da umidade relativa do ar (Berlato, 1981).

Os vegetais superiores dependem da transpiração, uma vez que esta atua no movimento de ascensão da água na planta e na realização dos seus processos metabólicos. A água serve como solvente e agente carreador dos nutrientes pré e pós processados através dos vasos condutores (Xilema e Floema) – responsável pela turgescência das células, o que permite as suas reações bioquímicas e ainda controlam a variação térmica dos tecidos (Raven et al, 1985).

O termo evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) foi usado pela primeira vez por Thornthwaite no século passado para definir a ocorrência simultânea dos processos de transpiração e evaporação de um extenso gramado, sem restrição hídrica, e em crescimento ativo. Nestas mesmas condições e com um gramada de 0,08 e 0,15 m de altura, a evapotranspiração usada para estimar a necessidade hídrica da cultura foi considerada como sendo de referência (Camargo & Camargo, 2000).

Aprimorado o conceito de evapotranspiração de referência definiu-se esta como sendo a de gramado hipotético, com altura de 0,12 m, albedo igual a 0,23, e resistência da superfície ao transporte de vapor d'água de  $70 \text{ sm}^{-1}$ . Um gramado nessas condições possui um índice de área foliar de aproximadamente  $3 \text{ m}^2$  de área foliar por cada metro quadrado de solo ocupado e assemelha-se a uma superfície verde sombreando totalmente o solo, bem suprida de umidade e em pleno desenvolvimento (Allen et al. 1998). No Brasil predomina o uso da grama batatais (*Paspalum notatum* Flügge), conhecida como grama forquilha ou "bahia grass", sendo também adotada como vegetação padrão nos postos agrometeorológicos (Alcântara & Bufarah, 1988).

A sedimentação desse conhecimento trouxe consigo outras formas de definir a evapotranspiração. Evapotranspiração real ( $ET_R$ ) definiu-se como sendo aquela que ocorre numa superfície vegetada, independente de sua área, porte e das condições de umidade do solo. Portanto, a evapotranspiração real é aquela que ocorre em qualquer circunstância, sem

imposição de qualquer condição de contorno. Esta pode ser limitada tanto pela disponibilidade de radiação solar como pelo suprimento de umidade pelo solo.

A evapotranspiração real pode ser definida como evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) quando a cultura de referência é uma cultura agrícola sobre condições padrões de manejo (Pereira, 1997). Esta também é chamada evapotranspiração máxima. O conhecimento desse parâmetro é fundamental para projetos de irrigação, pois representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produção em condições ideais. Apesar disso a sua determinação é difícil e sujeita a muitos erros. Essas dificuldades são contornadas com a utilização de estimativas de evapotranspiração de referência para gramado, corrigidas por um coeficiente de cultura ( $K_c$ ). Esse coeficiente de ajuste representa a razão entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência, e varia com a cultura e com seu estágio de desenvolvimento. Algumas vezes este é apresentado em tabelas (Doorenbos & Pruitt, 1977; Barbieri, 1981; Peres et al., 1992).

A evapotranspiração de referência é na maioria das vezes obtida a partir de estimativas, pois sua medida em campo feita através de lisímetros requer um grande investimento financeiro e em profissionais treinados. Os métodos de estimativas da evapotranspiração de acordo com os princípios envolvidos em seu desenvolvimento podem ser divididos em cinco categorias: correlação dos turbilhões (vortices), empíricos, aerodinâmicos, balanço de energia e combinados (Pereira et al. 1997).

## **2.6 Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência**

São muitos os métodos de estimativa da evapotranspiração e dentre este dar-se-á destaque aqui aos métodos de Linacre, Radiação, Tanque Classe A e Penman-Monteith.

Linacre propôs um método prático para estimar evapotranspiração de referência média diária mensal de uma área sem restrição hídrica, tendo como única variável local a ser considerada a temperatura do ar a dois metros de altura. Este método tem sido usado para períodos menores que um mês. Neste caso, a temperatura do ponto de orvalho deve ser estimada por uma equação com valores médios diários de temperatura do ar e umidade relativa do ar (Linacre apud Pereira, 1997).

O método da radiação ou método FAO – 24 da radiação, surgiu de uma adaptação do método de Makkink, que considera como variáveis a radiação solar expressa em equivalente de evaporação, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento medida a dois metros de altura (Doorenbos & Pruitt, 1977; Doorenbos & Kassam, 1994).

O método do tanque classe A para o cálculo de evapotranspiração de referência é bastante utilizado e recomendado pela FAO (Food Agricultural Organization). Este método usa a evaporação do tanque classe A, corrigida por um coeficiente ( $K_p$ ) que varia em função do tamanho e da natureza da área tampão, da velocidade do vento e da umidade relativa do ar (Doorenbos & Pruitt, 1977). E afim de permitir interpolação de valores tabelados e também o uso de sistemas automatizados de aquisição de dados, foi obtida uma equação de regressão que fornece o valor desse  $K_p$  (Snyder, 1992).

Um outro método que se destaca pela sua confiabilidade, sendo inclusive recomendado pela FAO (Smith, 1991) é o método de Penman-Monteith (Monteith, 1975) para o cálculo da evapotranspiração de referência. Este método é bastante eficaz por levar em consideração uma série de dados como o calor latente de vaporização, inclinação da curva da pressão de vapor saturado versus temperatura, saldo de radiação, fluxo de calor no solo, pressão de vapor saturado do ar, pressão de vapor do ar na altura  $z$ , temperatura do ar numa altura  $z$ , coeficiente psicrométrico modificado, velocidade do vento medida a dois metros de altura e uma constante e variáveis referentes da cultura como altura, área da copa e área foliar (Allen et al., 1989; Smith, 1991; Pereira et al., 1997).

Os procedimentos detalhados para obtenção da evapotranspiração de referência pelos métodos referidos e de seus parâmetros estão descritos na metodologia deste trabalho.

## **2.7 Métodos de estimativa da Evapotranspiração da cultura**

A escolha do método para estimativa da evapotranspiração de uma cultura agrícola baseia-se na precisão da estimativa, na resolução temporal mínima e na disponibilidade de dados meteorológicos para solução (Santos et al, 1994). Dentre os quais dar-se-á ênfase aqui aos métodos do Balanço de Energia pela Razão de Bowen e o Penman-Monteith usando a resistência da cultura.



O balanço de energia está estreitamente ligado ao balanço de água no solo por meio do fenômeno da evapotranspiração (Moura, 1992). O método do balanço de energia baseia-se no princípio de conservação de energia, onde o ganho é igual a perda. Este método é aplicado para a determinação da evapotranspiração da cultura através da quantificação dos fluxos de calor latente de evaporação, para intervalos de tempo iguais ou inferiores a um dia (Cunha, 1994). O mesmo tem sido usado nas mais diversas condições e tem mostrado resultados satisfatórios. Sua utilização depende sobretudo dos perfis médios de temperatura e umidade do ar da cultura durante um certo período de tempo (Hosseín Ashktorab et al, 1989).

Ao contrário de outras técnicas que utilizam a teoria do fluxo de gradiente, o balanço de energia não necessita de informações de velocidade do vento e propriedades aerodinâmicas da superfície, sendo que o cálculo dos fluxos independe das condições de estabilidade atmosférica quando se assume que os transportes turbulentos de vapor e calor sejam iguais. A principal exigência do método é que os gradientes de umidade do ar e temperatura sejam medidos dentro da camada limite ajustada (Heilman & Brittin, 1989).

Por utilizar as propriedades conservativas da sub-camada limite acima da superfície evaporante (camada limite ajustada), o método do balanço de energia, exige uma área tampão uniforme à barlavento para garantir que os fluxos horizontais não sejam significativos no processo (Sediyama, 1996).

A prática da irrigação tem interferido no balanço de energia entre a comunidade vegetal e a atmosfera circundante, aumentando a relação existente entre o fluxo de calor latente e o saldo de radiação ( $LE/R_n$ ) e diminuindo a relação entre o fluxo de calor sensível e o saldo de radiação ( $H/R_n$ ) (Teixeira et al., 1997).

O valor da razão de Bowen depende das condições hídricas da superfície evaporante. Se a superfície estiver umedecida, a maior parte do saldo de radiação será utilizada no fluxo de calor latente, resultando em um  $\beta$  pequeno. Se a superfície apresentar restrição hídrica, a maior parte do saldo de radiação será utilizada no aquecimento do ar, resultando em um  $\beta$  elevado (Pereira, 1997).

Um outro método que se destaca por sua confiabilidade é o método de Penman-Monteith para o cálculo da evapotranspiração da cultura. Este método além de considerar as resistências aerodinâmicas para o transporte de vapor ele considera também os fluxos de energia do meio ambiente onde está a cultura (Monteith, 1975).

## 2.8 Resistência aerodinâmica

A resistência natural ao deslocamento dos fluxos de calor sensível, latente e de momentum dependente das características aerodinâmicas de cada cultura é chamada de resistência aerodinâmica. Esta é estimada por meio de perfis de vento próximos a superfície da cultura, podendo-se incluir uma correção (número de Richardson) com respeito as condições de estabilidade do local.

Em métodos meteorológicos, a evapotranspiração é estimada por meio da resistência aerodinâmica, uma vez que o transporte de vapor d'água para a atmosfera é diretamente proporcional ao gradiente de umidade específica entre a superfície evaporante e a atmosfera e inversamente proporcional à resistência aerodinâmica e da cultura (Rosenberg, 1983). Dentre os muitos modelos para a estimativa da resistência aerodinâmica, as equações que apresentaram os melhores resultados para condições de atmosfera estáveis a velocidade do vento devem estar abaixo de  $3\text{ms}^{-1}$ , sendo estes também influenciados pelo índice de área foliar e altura da planta (Tolk et al, 1995).

A resistência aerodinâmica para uma cobertura vegetal de porte elevado é menor quando comparada à cobertura de porte baixo, porque do ponto de vista aerodinâmico, uma vegetação de porte elevado possui um parâmetro de rugosidade ( $z_0$ ) maior, o que confere maior superfície de contato, facilitando a difusão turbulenta (Monteith, 1975; Santos & Andre, 1993). Os valores de resistência aerodinâmica costumam variar de 0 em condições instáveis a  $400\text{sm}^{-1}$  em condições turbulentas (Rosenberg, 1983).

A resistência aerodinâmica é determinada em função do perfil vertical da velocidade do vento. Plantas isoladas ou em renque estão sempre mais expostas ao vento que uma vegetação contínua. Nessa situação, sempre uma porcentagem das folhas são mais atingidas pelo vento que outras para qualquer que seja a direção dos ventos. Nesse sentido, trabalhos com árvores isoladas em túnel de vento mostraram que a resistência aerodinâmica global pode ser estimada pela relação empírica em função de uma dimensão característica das folhas, velocidade do vento na altura da copa e uma medida da densidade foliar afetada pelo vento (Landsberg & Powell apud Pereira, 1997).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Características Climatológicas

A descrição climatológica de cinco localidades do estado de Alagoas utilizou dados meteorológicos diários de duração do brilho solar, temperatura do ar (máxima, média e mínima), umidade relativa do ar, velocidade do vento a dois metros de altura e precipitação pluvial, obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Estação Agrometeorológica do Campus Delza Gitai/UFAL em Rio Largo (EARL) conforme consta na TABELA 01. A disponibilidade de dados meteorológicos permitiu analisar o microclima de Água Branca (microrregião úmida no Alto Sertão), Pão de Açúcar (microrregião do Sertão, conhecida também como Sertão do Alto São Francisco), Palmeira dos Índios (microrregião do Agreste), Rio Largo (microrregião da Zona da Mata), Porto de Pedras (microrregião do Litoral Norte) e particularmente do município de Pilar onde se instalou sensores meteorológicos para caracterização agrometeorológica da cultura do mamão. A localização dessas microrregiões constam na Figura 3.

A determinação dos valores médios decendiais para todos esses elementos meteorológicos e para a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) utilizou a técnica dos percentis para os níveis de probabilidade de 25, 50, 75, 80, 90, 95, 99 e 100%. Esses valores foram apresentados em gráficos que mostram a distribuição desses valores nos 36 decêndios do ano. O decêndio é um período que divide o mês em três partes, sendo que a última pode variar de 8 a 11 dias. A precipitação pluvial foi analisada, considerando o início do período de crescimento das culturas a 75% de probabilidade como o período do ano no qual a precipitação pluvial chega a 20 mm por decêndio sem que ocorra posteriormente outro decêndio seco, através da técnica dos percentis (Davy et al apud Stern et al, 1982; Virmani et al apud Stern et al, 1982).