

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COOR.DO MESTRADO EM METEOROLOGIA

AVALIAÇÃO DO MICROCLIMA EM ÁREA DE CAATINGA E
ÁREA REFLORESTADA COM ALGAROBA NO SEMI-ÁRIDO

ANDRÉIA DE ÁVILA SIQUEIRA

CAMPINA GRANDE - PB
AGOSTO - 1997

ANDRÉIA DE ÁVILA SIQUEIRA

AVALIAÇÃO DO MICROCLIMA EM ÁREA DE CAATINGA E
ÁREA REFLORESTADA COM ALGAROBA NO SEMI-ÁRIDO

Dissertação apresentada ao
Curso de Mestrado em
Meteorologia, da Universidade
Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências
para obtenção do grau de
mestre.

Área de concentração: Micrometeorologia

Orientador: MÁRIO DE MIRANDA V. B. R. LEITÃO

Campina Grande, PB

Agosto - 1997



S618a Siqueira, Andreia de Avila
Avaliacao do microclima em area de caatinga e area
reflorestada com algaroba no semi-arido / Andreia de Avila
Siqueira. - Campina Grande, 1997.
87 f.

Dissertacao (Mestrado em Meteorologia) - Universidade
Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Micrometeorologia 2. Microclima - 3. Dissertacao I.
Leitao, Mario de Miranda Vilas Boas Ramos, Dr. II.
Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB)

CDU 551.584(043)

ANDREIA DE AVILA SIQUEIRA

AVALIAÇÃO DO MICROCLIMA EM ÁREAS DE CAATINGA E ÁREAS
REFLORESTADAS COM ALGAROBA NO SEMI-ÁRIDO

APROVADA EM 26/8/97

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. MÁRIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO - Orientador
Universidade Federal da Paraíba


Prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Universidade Federal da Paraíba


Prof. Dr. ROBERTO FERNANDO DA FONSECA LYRA
Universidade Federal de Alagoas

Com carinho, aos meus pais **Arami Siqueira** e
Nilda Maria de Ávila Siqueira, a minha irmã
Cláudia de Ávila Siqueira e a minha avó
Joaquina Audes Brum de Ávila, OFEREÇO.

Com amor, ao meu eterno namorado **Luiz Antônio
da Silva Júnior**, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Mário de Miranda V. B. R. Leitão, pela orientação e profundos ensinamentos transmitidos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro durante a vigência do curso, através da concessão de bolsa de estudo.

A coordenação do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, na pessoa do Professor Pedro Vieira de Azevedo, pelo importante apoio dado a realização da pesquisa que originou este trabalho.

Aos professores do DCA, colegas de curso (Josadark, Ioneide, Gildarte, Nilsa e Adriane) e todos os amigos conquistados neste período.

A Divanete Cruz Rocha, pela sua presteza e dedicação.

A Flaviano Ferreira Fernandes e Flávio Barbosa Justino pela ajuda na realização deste trabalho.

A Jaqueline de Ávila Netto, pelo seu companheirismo e otimismo.

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Hídricos Renováveis (IBAMA), nas pessoas de Adson Borges Macêdo (chefe da Estação Ecológica do Seridó) e dos funcionários Armênio Medeiros da Costa e Paulo César Reys Bastos, pelo apoio dado.

Ao Dr. Dinarte Mariz de Medeiros Júnior (proprietário da Fazenda Solidão) por ter possibilitado a realização deste trabalho.

A minha querida tia Marlene de Ávila Moreira, pelo incentivo e estímulo em todos os momentos.

A todos os amigos e familiares que, mesmo distantes, incentivaram-me a prosseguir e realizar este trabalho.

RESUMO

Nos últimos anos algumas áreas de vegetação nativa do Nordeste do Brasil (NEB) começaram a ser reflorestadas com algaroba. O presente estudo faz uma comparação dos microclimas nas áreas de caatinga e reflorestada com algaroba, durante os períodos de janeiro-fevereiro e junho-julho de 1996 em Serra Negra do Norte-RN. Analisou-se para estas áreas os balanços de radiação e energia, a temperatura do ar acima e dentro dos dosséis, as umidades específica e relativa, a velocidade do vento e a transferência de água para a atmosfera através da aplicação do método da Razão de Bowen. As aquisições dos dados foram efetuadas com dois dataloggers, que possibilitaram realizar leituras em intervalos de 1 em 1 segundo e, a partir daí calcular médias de 5 em 5 minutos. Os fluxos de calor latente e sensível, durante o período chuvoso, representaram cerca de 68,2% e 27,0% do saldo de radiação (R_n) na área de caatinga, enquanto na área de algaroba representaram 80,3% e 9,6% de R_n . Após o período chuvoso estes fluxos na caatinga representaram 93,3% e 4,0% de R_n e, na algaroba 92,8% e 3,0%, respectivamente. A equação de Brunt durante o período chuvoso estimou melhor a radiação de ondas longas proveniente da atmosfera (L_{\downarrow}) em ambas as áreas. Após o período chuvoso a equação de Satterlund estimou melhor L_{\downarrow} para área de caatinga e a equação de Idso para a área de algaroba. Em termos de lâmina de água, as áreas de caatinga e algaroba no primeiro período, transferiram o equivalente a 4,6 e 5,1mm/dia, enquanto que no segundo período, as lâminas corresponderam a 4,7 e 4,6mm/dia, respectivamente. A temperatura do ar dentro do dossel em ambos os períodos, foi mais elevada na área de caatinga durante o dia e, com pequenas variações durante a noite. Devido a escassez de água na região semi-árida do NEB, não é aconselhável a implantação da algaroba próximo de pequenas fontes de água, pois esta planta tem uma grande capacidade de transferir água do subsolo para a atmosfera.

ABSTRAT

In recent years native vegetation in certain areas of Northeastern Brazil has been replaced with algaroba plantations. The present study was based on a comparative analysis of the microclimate at areas of caatinga and algaroba carried out during the periods of January-February and June-July 1996 in Serra Negra do Norte-RN. Radiation and energy balance parameters, air temperature above and below canopy, wind speed and specific humidity were measured in both areas. Two microloggers were used to collect data and mean values of the various parameters were obtained for each five minute interval. During the rainy period latent and sensible heat fluxes in caatinga were 68,2% and 27,0% of the net radiation while in algaroba they represented 80,3% and 9,6% of net radiation, respectively. After the wet season the fluxes in caatinga were 93,3% and 4,0% of net radiation and in algaroba the corresponding values were 92,8% and 3,0% respectively. During the rainy period, the atmospheric longwave radiation (L_{\downarrow}) was best estimated by the Brunt equation. After the rainy period, L_{\downarrow} was best estimated by the equation of Satherlund in the area of caatinga and by the equation of Idso in the area reforested with algaroba. During the first period evapotranspiration was 4,6mm and 5,1mm per day in caatinga and algaroba, respectively. In the second period evapotranspiration was 4,7mm and 4,6mm per day in caatinga and algaroba, respectively. During both periods air temperature within the canopy during daytime was higher in caatinga than in algaroba. Due to the water shortage in the semi-arid region of the Northeastern Brazil, the implantation of the algaroba close to the smaller sources of water is not advised, because this plant has a large capacity to transfer the water from the sub-soil to the atmosphere.

SUMÁRIO

| | Pág. |
|--|-------|
| LISTA DE FIGURAS..... | x |
| LISTA DE TABELAS..... | xv |
| LISTA DE SÍMBOLOS..... | xviii |
| LISTA DE ABREVIATURAS..... | xx |
| | |
| <u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</u> | 1 |
| | |
| <u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</u> | 4 |
| | |
| 2.1 - Radiação solar..... | 4 |
| 2.1.1 - Radiação de ondas curtas..... | 5 |
| 2.2 - Radiação de ondas longas da atmosfera..... | 5 |
| 2.3 - Saldo de radiação..... | 7 |
| 2.4 - Albedo..... | 8 |
| 2.5 - Balanço de energia..... | 9 |
| 2.6 - Evapotranspiração..... | 11 |
| | |
| <u>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS.....</u> | 14 |
| | |
| 3.1 - Localização geográfica..... | 14 |
| 3.2 - Características das áreas estudadas..... | 14 |
| 3.3 - Características climáticas..... | 15 |
| 3.4 - Instalações e instrumental utilizado..... | 15 |
| 3.4.1 - Distribuição do instrumental em cada dossel... | 17 |
| 3.4.1.1 - No topo de cada torre..... | 17 |
| 3.4.1.2 - No interior de cada dossel..... | 17 |
| 3.5 - Aquisição dos dados..... | 17 |
| 3.6 - Balanço de radiação..... | 22 |
| 3.6.1 - Balanço de radiação à superfície..... | 22 |
| 3.6.2 - Balanço de radiação de ondas curtas..... | 23 |
| 3.6.3 - Balanço de radiação de ondas longas..... | 23 |
| 3.6.4 - Determinação do albedo (r_c)..... | 24 |
| 3.7 - Balanço de energia na superfície..... | 25 |

| | |
|--|-----------|
| 3.8 - Estimativa da evapotranspiração real..... | 25 |
| 3.8.1 - Método da razão de Bowen..... | 25 |
| 3.9 - Análise de parâmetros meteorológicos..... | 27 |
| | |
| <u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u> | <u>28</u> |
| | |
| 4.1 - Balanço de radiação à superfície..... | 28 |
| 4.2 - Radiação de ondas longas..... | 43 |
| 4.3 - Albedo..... | 45 |
| 4.4 - Balanço de energia..... | 47 |
| 4.5 - Estimativa da evapotranspiração real..... | 56 |
| 4.6 - Análise dos parâmetros meteorológicos..... | 59 |
| 4.6.1 - Temperatura do ar..... | 59 |
| 4.6.2 - Temperatura dentro do dossel..... | 63 |
| 4.6.3 - Velocidade do vento..... | 66 |
| 4.6.4 - Umidade específica..... | 68 |
| 4.6.5 - Umidade relativa..... | 71 |
| | |
| <u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....</u> | <u>73</u> |
| | |
| <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u> | <u>75</u> |
| | |
| <u>APÊNDICE A.....</u> | <u>81</u> |
| | |
| <u>APÊNDICE B.....</u> | <u>83</u> |
| | |
| <u>APÊNDICE C.....</u> | <u>86</u> |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| 3.1 - Localização geográfica das áreas experimentais.. | 16 |
| 3.2 - Imagem superior dos dosséis durante o período chuvoso: (a) caatinga; (b) algaroba..... | 20 |
| 3.3 - (a) distribuição do instrumental no topo do dossel de algaroba; (b) sistema de aquisição de dados..... | 21 |
| 4.1 - Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de radiação, no período de 16/01/96 a 12/02/96: (a) caatinga; (b) algaroba..... | 29 |
| 4.2 - Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de radiação, no período de 26/06/96 a 27/07/96: (a) caatinga; (b) algaroba..... | 30 |
| 4.3 - Comportamento médio diurno da radiação solar global nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 31 |
| 4.4 - Comportamento médio diurno da radiação solar refletida nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 32 |
| 4.5 - Comportamento médio diurno do saldo de radiação nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 33 |

| | |
|--|----|
| 4.6 - Comportamento médio diurno da radiação de ondas longas provenientes da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 34 |
| 4.7 - Comportamento médio diurno da radiação emitida pela superfície terrestre nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 35 |
| 4.8 - Comportamento médio diário da radiação solar global e do saldo de radiação, no período de 16/01/96 a 12/02/96: (a) caatinga; (b) algaroba.. | 39 |
| 4.9 - Comportamento médio diário da radiação solar global e do saldo de radiação, no período de 26/06/96 a 26/07/96: (a) caatinga; (b) algaroba. | 40 |
| 4.10 - Regressão linear entre o saldo de radiação e a radiação solar global no período de 16/01/96 a 12/02/96: (a) caatinga; (b) algaroba..... | 41 |
| 4.11 - Regressão linear entre o saldo de radiação e a radiação solar global no período de 26/06/96 a 26/07/96: (a) caatinga; (b) algaroba..... | 42 |
| 4.12 - Variação média diurna do albedo para as áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 46 |
| 4.13 - Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia no período de 16/01/96 a 12/02/96: (a) caatinga; (b) algaroba..... | 48 |

| | |
|--|----|
| 4.14 - Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia no período de 26/06/96 a 26/07/96: (a) caatinga; (b) algaroba..... | 49 |
| 4.15 - Comportamento médio diurno do fluxo de calor latente nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 50 |
| 4.16 - Comportamento médio diurno do fluxo de calor sensível nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 51 |
| 4.17 - Comportamento médio diurno do fluxo de calor no solo nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 à 12/02/96; (b) período de 26/06/96 à 26/07/96..... | 52 |
| 4.18 - Representação em termos de razões percentuais de cada componente do balanço de energia com relação a R_n no período de 16/01/96 a 12/02/96: (a) caatinga; (b) algaroba..... | 54 |
| 4.19 - Representação em termos de razões percentuais de cada componente do balanço de energia com relação a R_n no período de 26/06/96 a 26/07/96: (a) caatinga; (b) algaroba..... | 55 |
| 4.20 - Comparação da evapotranspiração estimada pelo método da Razão de Bowen, nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 57 |
| 4.21 - Comparação de valores médios horários da | |

| | |
|--|----|
| evapotranspiração estimada pelo método da Razão de Bowen, para as áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 58 |
| 4.22 - Comportamento diário da temperatura do ar média horária a 1,5m acima dos dosséis, nas áreas de caatinga e algaroba: (a)período de 16/01/96 a 12/02/96; (b)período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 61 |
| 4.23 - Comportamento médio diário da temperatura do ar a 1,5m acima dos dosséis, nas áreas de caatinga e algaroba: (a)período de 16/01/96 a 12/02/96; (b)período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 62 |
| 4.24 - Comportamento diário da temperatura média horária dentro dos dosséis de caatinga e algaroba: (a)período de 16/01/96 a 12/02/96; (b)período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 65 |
| 4.25 - Comportamento médio diário da velocidade do vento acima dos dosséis de caatinga e algaroba: (a)período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 67 |
| 4.27 - Comportamento diário da umidade relativa média horária nas áreas de caatinga e algaroba: (a)período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96..... | 72 |
| B1 - Comportamento da precipitação média diária nos dois períodos estudados: (a) durante o período chuvoso; (b) após o período chuvoso..... | 85 |

LISTA DE TABELAS

| | Pág. |
|--|------|
| 3.1 - Distribuição da precipitação média anual no município de Serra Negra do Norte-RS..... | 18 |
| 3.2 - Caracterização dos instrumentos utilizados..... | 19 |
| 4.1 - Distribuição dos totais médios diários dos componentes do balanço de radiação durante e após o período chuvoso..... | 36 |
| 4.2 - Percentuais de redução dos totais médios diários dos componentes do balanço de radiação observados após o período chuvoso..... | 37 |
| 4.3 - Resultados da regressão linear diária entre o saldo de radiação e a radiação solar global durante o período chuvoso..... | 38 |
| 4.4 - Resultados da regressão linear diária entre o saldo de radiação e a radiação solar global para após o período chuvoso..... | 38 |
| 4.5 - Estimativas de $L\downarrow$ para dia de céu claro durante o período chuvoso (26/01/96)..... | 44 |
| 4.6 - Estimativa de $L\downarrow$ para dia de céu claro após o período chuvoso (2/07/96)..... | 44 |
| 4.7 - Valores percentuais médio diário do albedo para as áreas de caatinga e algaroba durante e após o período chuvoso..... | 47 |
| 4.8 - Totais médios diários dos componentes do balanço de energia, durante e após o período chuvoso.... | 53 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.9 - | Valores médios de evapotranspiração estimados pelo método da Razão de Bowen (mm/d), para as áreas de caatinga e algaroba, durante e após o período chuvoso..... | 59 |
| 4.10 - | Valores médios da temperatura do ar, a 1,5m acima dos dosséis de caatinga e algaroba..... | 60 |
| 4.11 - | Valores médios da temperatura do ar, dentro dos dosséis de caatinga e algaroba..... | 65 |
| 4.12 - | Valores médios da velocidade do vento, a 1,5m acima dos dosséis de caatinga e algaroba..... | 66 |
| 4.13 - | Valores médios de umidade específica do ar, a 1,5m acima dos dosséis de caatinga e algaroba... | 70 |
| 4.14 - | Valores médios de umidade relativa do ar, a 1,5m acima dos dosséis de caatinga e algaroba..... | 71 |
| A1 - | Comparação de valores médios diários dos componentes do balanço de energia (W/m^2), para as áreas de caatinga e algaroba, durante o período chuvoso..... | 81 |
| A2 - | Comparação de valores médios diários dos componentes do balanço de energia (W/m^2), para as áreas de caatinga e algaroba, após o período chuvoso..... | 82 |
| B1 - | Valores médios diários de evapotranspiração estimados pelo método da razão de Bowen (mm/d), para as áreas de caatinga e algaroba, durante o período chuvoso..... | 83 |

| | | |
|------|---|----|
| B2 - | Valores médios diários de evapotranspiração estimados pelo método da razão de Bowen (mm/d), para as áreas de caatinga e algaroba, após o período chuvoso..... | 84 |
| C1 - | Valores médios de umidade relativa do ar, a 0,5m acima dos dosséis de caatinga e algaroba..... | 86 |
| C2 - | Valores médios de umidade específica do ar, a 0,5m acima dos dosséis de caatinga e algaroba... | 86 |
| C3 - | Valores médios de umidade relativa do ar, a 0,5m acima dos dosséis de caatinga e algaroba..... | 87 |

LISTA DE SÍMBOLOS

Latinos

- K_{\downarrow} - radiação de ondas curtas incidente, $W.m^{-2}$
 K_{\uparrow} - radiação de ondas curtas refletida, $W.m^{-2}$
 R_n - saldo de radiação, $W.m^{-2}$
 L_{\downarrow} - radiação de ondas longas da atmosfera, $W.m^{-2}$
 L_{\uparrow} - radiação de ondas longas da superfície, $W.m^{-2}$
 r_c - albedo, adimensional
 T_a - temperatura da superfície, $^{\circ}C$
 T_s - temperatura da superfície, $^{\circ}C$
 e - pressão parcial do vapor d'água, mb
 K^* - saldo de radiação de ondas curtas, $W.m^{-2}$
 H - fluxo de calor sensível, $W.m^{-2}$
 LE - fluxo de calor latente, $W.m^{-2}$
 G - fluxo de calor no solo, $W.m^{-2}$
 L - calor latente de vaporização da água, $J.kg^{-1}$
 p - pressão atmosférica, mb
 q - umidade específica do ar, $g.kg^{-1}$
 C_q - calor específico do ar à pressão constante, $J.kg^{-1}.K$

Gregos

- ϵ - emissividade da superfície, adimensional
 σ - constante de Stefan-Boltzman, $W.m^{-2}.K^{-4}$
 ϵ_{ac} - emissividade da atmosfera para dia de céu claro, adimensional
 θ - constante da equação de Swinbank, $W.m^{-2}.K^{-4}$
 β - razão de Bowen, adimensional
 ρ - densidade do ar, $Kg.m^{-3}$
 τ - quantidade de movimento, adimensional

- γ - constante psicrométrica, mb.°C
- K_h - coeficiente de transferência turbulenta para calor sensível, $m^2 \cdot s^{-1}$
- K_m - coeficiente de transferência turbulenta para quantidade de movimento,
- K_v - coeficiente de transferência turbulenta para vapor d'água
- Z - altura de referência, m
- U - velocidade do vento, ms^{-1}

LISTA DE ABREVIATURAS

MUCLISA - Mudanças Climáticas no Semi-árido

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos
Hídricos Renováveis

HL - Hora local

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A algaroba (*Prosopis juliflora*) é uma planta rústica pertencente à família das leguminosas. Caracteriza-se por possuir caule tortuoso, casca rugosa, presença de espinhos, folhas bipinadas, folíolos numerosos, subcoriáceos, estômatos em ambas as faces das folhas, inflorescências auxiliares, pedunculadas em espigas, flores amarelo-verdes, floração protógina, primaveril a estival (BRAGA, 1976). Quando adulta alcança 12m de altura, podendo atingir 18m em casos especiais. Com seis anos de vida seu tronco apresenta mais de 30cm de diâmetro, havendo exemplares com até 80cm. É uma espécie típica da costa do Peru, e foi introduzida no Nordeste por volta de 1942 em Serra Talhada-PE, e posteriormente nos demais estados da região (LIMA, 1984).

Usada inicialmente como sombreiro em algumas cidades e posteriormente como cultura de reflorestamento em grande escala a partir de 1984. A implantação desta vegetação, em muitas áreas da região semi-árida, de certa forma tem envolvido um grande volume de recursos financeiros.

Sob o ponto de vista climatológico, nenhum estudo foi realizado até o presente momento, que possa de forma categórica afirmar se é ou não benéfico o reflorestamento com algaroba. No entanto, colocações têm sido feitas por agricultores, pecuaristas e outros no sentido de que a algaroba atua de forma prejudicial em áreas próximas a fontes de água, principalmente de cacimbas. Isto de certo modo pode ser constatado, pois a algaroba possui uma estrutura que pode lhe permitir retirar água do subsolo a profundidades bem maiores do que as plantas nativas do semi-árido. Deste modo, ao ser introduzida próxima a fontes de água e encontrar um lençol freático pouco profundo, atua com maior eficiência transferindo água do subsolo para a atmosfera.

Como aspecto positivo, segundo LIMA (1984), a algaroba serve de proteção para o solo contra a erosão causada pelo vento ou por fortes enxurradas, fornece matéria orgânica através da permanente incorporação de suas folhas ao solo, gera emprego e renda para a população, aumenta a oferta de madeira para diversos fins, serve de sombra para animais e em alguns casos como alimentação humana. Devido a escassez de alimentos na região semi-árida durante os períodos de seca, a vagem da algaroba assume valor alimentício, bastante nutritivo e benéfico aos animais, podendo ser comparada à cevada ou ao milho, sua polpa é doce e as sementes ricas em proteínas (34 a 39% de proteína e 7 a 8% de óleo) (ALVES, 1972; AZEVEDO, 1959 e 1961; GOMES, 1961 e 1977).

A vegetação nativa da região semi-árida do Nordeste do Brasil, denominada de caatinga, que em tupi significa mata aberta, clara e cinza, apresenta uma mistura de ervas, arbustos e árvores de pequeno porte com elevada resistência às secas. A caatinga, na maior parte do ano,

perde toda a folhagem, não há formação de pasto e capim, e a vegetação rasteira torna-se completamente seca e sem vida, enquanto que a capacidade da algarobeira em absorver bem a umidade do ar, faz com que resista a longos períodos de seca, permanecendo verde ao longo do ano e de certo modo apresentando alguma produtividade.

Tendo em vista a importância deste tema, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar mudanças microclimáticas causadas pelo reflorestamento com algaroba no semi-árido do nordeste brasileiro. Serão analisados, tanto para a área de algaroba como para a caatinga, o comportamento dos balanços de radiação e energia, da temperatura do ar acima e dentro do dossel, da umidade específica e relativa, da velocidade do vento sobre o dossel, bem como a transferência de água para a atmosfera através da aplicação do método da Razão de Bowen.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - RADIAÇÃO SOLAR

De acordo com LEITÃO (1994), a radiação 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 radiação solar que chega a superfície da terra, representa apenas uma parte da radiação que chega no topo da atmosfera, visto que, devido a reflexão por nuvens, absorção e difusão pela atmosfera, somente uma parte atinge diretamente a superfície, enquanto o restante representa as radiações difusa e térmica. A energia utilizada nos processos de aquecimento do ar e do solo, de transferência de água na forma de vapor, da superfície para a atmosfera e do metabolismo das plantas e animais, é proveniente da radiação solar.

A penetração de radiação num dossel de floresta é um fenômeno complexo, controlado pela quantidade e distribuição de elementos no dossel, suas características espectrais, bem como o ângulo de incidência dos raios

solares em relação aos elementos da superfície do dossel (PUKKALA et al., 1991).

2.1.1 - RADIAÇÃO DE ONDAS CURTAS

A densidade do fluxo de radiação solar global, incidente à superfície da terra, é constituída de radiação solar direta e radiação solar difusa, também chamada de radiação de ondas curtas. A radiação de ondas curtas é aquela com comprimento de onda na faixa de 0,15 a 4,0 μm .

Segundo FEITOSA (1996), a radiação de ondas curtas incidente em uma área de pastagem na Amazônia durante a estação seca, mostra um comportamento diferenciado em relação a área de floresta, ou seja, enquanto o efeito da presença de nebulosidade é percebido entre 11 e 13 horas na área de pastagem, na área de floresta isso ocorre entre 12 e 14 horas.

Resultados obtidos por LEITÃO (1994), em pesquisa realizada em três ecossistemas na Amazônia, mostram que em mata densa os picos de radiação de ondas curtas incidente no chão da floresta, não chegam a 80 W.m^{-2} , contudo na campinarana, uma vegetação menos fechada, atingem 180 W.m^{-2} e na campina, uma mata mais baixa e aberta, alcançam 300 W.m^{-2} .

2.2 - RADIAÇÃO DE ONDAS LONGAS DA ATMOSFERA

Em escala planetária, as trocas de radiação de onda longa entre a terra e o céu e, entre a atmosfera e o espaço, permitem a manutenção de uma temperatura de equilíbrio, pela emissão de grandes quantidades de calor que é ganha, a cada dia pela absorção solar, SANTOS (1984). Por existir dificuldade em se obter medidas de radiação de ondas longas da atmosfera, esta é obtida por diferença através do balanço

de radiação, quando os demais termos são medidos ou estimados através de modelos tais como: SWINBANK, (1963); IDSO e JACKSON, (1969); BRUNT, (1932) e SATTERLUND, (1979).

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 range de temperatura e vapor d'água. Similarmente as equações de Swinbank e Idso-Jackson fornecem resultados essencialmente idênticos para temperatura acima de 0°C.

A variação média diária do saldo de radiação de ondas longas é afetada pela temperatura da superfície e pela presença de nebulosidade, dentre outros elementos. As diferenças no saldo de radiação de ondas longas entre os períodos seco e úmido, em área de pastagem na Amazônia, são decorrentes, predominantemente, de mudanças na cobertura de nuvens (WRIGHT et al., 1992 e RIBEIRO, 1994). Em pesquisa realizada em um sítio situado na Reserva Florestal Ducke, VISWANADHAM et al. (1987), constataram que o saldo de radiação de ondas longas apresentou um comportamento decrescente durante o período da manhã, atingindo valores mínimos inferiores a -131 W.m^2 .

Trabalho realizado na floresta Amazônica por SHUTTLEWORTH et al. (1984), mostra que o fluxo de radiação de ondas longas sobre mata de terra firme é da ordem de 35 W.m^{-2} e constante durante o dia.

2.3 - SALDO DE RADIAÇÃO

O saldo de radiação sobre superfícies vegetadas é um parâmetro importante, porque representa a principal fonte de energia para os processos físicos e químicos que ocorrem na interface superfície-atmosfera (AZEVEDO et al., 1990).

Quando incorporado à superfície, o saldo de radiação é convertido em outras formas de energia, que estão associadas às variações espaciais e temporais de vários parâmetros meteorológicos, principalmente próximo da superfície. Desta forma o saldo de radiação, como um dos componentes do balanço de energia, constitui-se em elemento fundamental para os estudos em micrometeorologia (LEITÃO, 1994).

Estudando o saldo de radiação em áreas de floresta e pastagem, RIBEIRO (1994) observou que na estação seca, o saldo de radiação durante o período diurno na área de floresta, foi maior do que na área de pastagem, porém, no período noturno as perdas de radiação foram maiores na floresta do que as observadas na pastagem.

AZEVEDO et al. (1995) analisando o balanço de radiação em área de caatinga no semi-árido nordestino, Souza-PB, verificaram que o saldo de radiação esteve em torno de 70% da radiação global incidente e a refletância da vegetação foi cerca de 20% da radiação solar. O fluxo de calor no solo manteve-se sempre inferior a 5% da radiação solar incidente e a nebulosidade intensa e intermitente interferiu significativamente nos fluxos radiativos observados.

Comparando dados experimentais de dois sítios da região Amazônica, FISCH (1996) concluiu que o saldo de radiação foi menor na área de pastagem ($9,6 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) do que na floresta ($11,7 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), devido às variações no albedo e no balanço radiativo de ondas longas.

2.4 - ALBEDO

Medidas realizadas em vários tipos de culturas têm mostrado que o albedo alcança valores máximos próximos do nascer e pôr-do-sol e, valores mínimos em torno de meio dia

solar. O albedo varia em função do ângulo de elevação do sol, podendo também variar com a umidade do ar, tipo de vegetação, umidade da superfície, tipo de solo e quantidade de nuvens LEITÃO (1994).

ANDRÉ et al. (1988) analisando o albedo na Reserva Florestal Ducke (Região Amazônica) durante dois períodos, observaram valores ligeiramente mais elevados para a estação seca (cerca de 10% maior), em dias com pouca nebulosidade e parcialmente nublados. Os valores médios para as estações seca e chuvosa foram, respectivamente 13% e 12%.

Analisando o albedo em dois sítios distintos na Amazônia, sendo o primeiro a nordeste de Marabá (PA) e o segundo ao sul de Marabá (PA), RIBEIRO (1994) constatou que os valores médios do albedo, durante a estação seca foram 18,3% para a pastagem e, 15,7% para a floresta. Porém na estação chuvosa, o albedo médio foi de 18,2% na pastagem e 13,2% na floresta, ou seja, uma redução de 2,5% no albedo na área de floresta.

CHANG (1968) verificou que após a ocorrência de chuva, o albedo da grama diminui de 32% para 22%. Idso et al. (1975) observaram que o albedo do solo úmido é menor do que o albedo do solo seco.

SHUTTLEWORTH et al. (1984), ao analisarem o comportamento do albedo para uma floresta de mata densa, próxima a Manaus (Reserva Florestal Ducke), encontraram um valor médio diário de 12,1%. BASTABLE et al. (1992) analisando o albedo da mesma área experimental, encontraram um valor médio diário de 13,1%. VISWANADHAM et al. (1987), também analisando o comportamento do albedo para este mesmo sítio (Reserva Florestal Ducke), concluíram que uma característica marcante da variação diurna do albedo é a de

não apresentar flutuações acentuadas, mostrando quase uma constância ao longo do período com valores próximos a 12%.

2.5 - BALANÇO DE ENERGIA

Os primeiros estudos a respeito de balanço de energia sobre uma superfície natural, foram desenvolvidos por BOWEN (1926), que determinou a razão entre os fluxos de calor sensível e de calor latente, numa superfície de água, em função da pressão de vapor e da temperatura observada sobre a superfície estudada. O valor absoluto da temperatura da superfície afeta os fluxos de energia em superfícies saturadas ou úmidas. Para ALVALÁ (1993), a presença de vegetação modifica os fluxos térmicos, na superfície, quando comparados com aqueles em uma superfície coberta por pastagem sob as mesmas condições ambientais, conseqüentemente, a razão de Bowen é diferente em cada caso.

FISCH (1996) ao analisar os fluxos de calor sensível e latente no ciclo diurno, para dois sítios distintos (floresta e pastagem) na Amazônia, concluiu que na área de floresta, os fluxos de calor sensível e latente atingem seus maiores valores às 13:00 HL, com intensidade de 85 W.m^{-2} e 349 W.m^{-2} , respectivamente.

Tomando como base dados experimentais obtidos na Reserva Florestal Ducke, CHAVES et al. (1993) ao analisarem o comportamento dos componentes do balanço de energia solar, concluíram que o fluxo de calor latente foi mais acentuado na época seca do que na época chuvosa, enquanto o calor sensível permaneceu uniforme, com discretas variações durante as mesmas épocas.

Segundo RIBEIRO (1996), as maiores amplitudes de fluxo de calor no solo na área de Marabá-PA ocorreram na

pastagem, com $72,0 \text{ W.m}^2$ na estação seca e $58,0 \text{ W.m}^2$ na estação chuvosa.

CASSARDO et al. (1994) verificando o desempenho do modelo LSPM (Land-Surface Process Model), concluíram que o mesmo é capaz de simular muito satisfatoriamente o estado do microclima em dois locais particulares, mesmo que esta simulação estenda-se por muitos dias e, afirmam que o LSPM também é capaz de reproduzir os balanços de energia e de água para longos períodos.

BOSILOVICH e SUN (1994) utilizando um modelo para simular fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível a partir de observações de variáveis atmosféricas e de radiação, concluíram que as simulações mostram que o modelo é capaz de reproduzir observações bastante razoáveis do balanço de energia e de temperatura à superfície.

2.6 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evaporação e a transpiração ocorrem simultaneamente na natureza, e não é fácil distinguir o vapor d'água produzido pelos dois processos, (ROSENBERG et al., 1983). CHANG (1968) define a evapotranspiração como a evaporação da superfície de um certo local mais a transpiração das plantas neles existentes.

Segundo MATZENAUER (1992), os vegetais através de suas raízes, retiram do solo a água necessária às suas atividades vitais, restituindo parte dela à atmosfera em forma de vapor, ou seja, o processo de evaporação da água que ocorre nas plantas é denominado de transpiração, enquanto que a evaporação é definida como o processo físico pelo qual um líquido ou sólido é transferido para o estado gasoso.

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 pode ser influenciada pela disponibilidade de água no solo e pela demanda evaporativa da atmosfera. A evapotranspiração real (ETR) será igual à evapotranspiração máxima (E_{tm}), quando a água disponível no solo for suficiente e, menor quando a água disponível no solo for limitada, DOORENBOS e KASSAM (1979).

A evapotranspiração pode ser obtida através de medições diretas ou 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 decorrência dos instrumentos e do manejo necessários. Através desses métodos pode-se determinar a evapotranspiração real (ETR), máxima (E_{tm}) e de referência (E_{to}) para intervalos de tempo muito curtos, como minutos ou horas (FONTANA, 1992).

O método da razão de Bowen pode ser utilizado para determinar a evapotranspiração de qualquer superfície homogênea, ao assumir que as divergências horizontais de calor sensível e latente entre os níveis de medida são nulos. Por outro lado, o método não requer conhecimentos adicionais, devido a natureza e condições da superfície, tais como umidade, rugosidade ou qualquer outro parâmetro que exija sua medição ou estimação. A disponibilidade de uma boa instrumentação permite estimar a evapotranspiração com grande precisão, tanto para períodos curtos como para longos intervalos de tempo. FUCHS e TANNER (1970), sugerem para uma melhor estimativa da evapotranspiração, integrar os valores a cada 30-60 minutos, com isso os resultados são mais precisos do que manipulando valores médios diários de R_n, G e β .

Segundo ANGUS e WALTERS (1984), o método da razão de Bowen subestima a evapotranspiração em condições advectivas, devido a estas circunstâncias, os fluxos de calor sensível e latente são de sinais opostos e seus coeficientes de transferência turbulenta são diferentes. O método da razão de Bowen é muito utilizado, porque é menos sensível aos erros derivados da instrumentação em medidas dos gradientes e não necessita de perfil de velocidade do vento (TANNER 1960, 1967).

CAHOON et al. (1990), usando observações meteorológicas limitadas, desenvolveram uma técnica para estabelecer uma equação calibrada de estimativa de evaporação de tanque para um local, tendo apenas dados de evaporação do tanque evaporímetro classe A, e concluíram que esta equação pode ser aplicada para locais próximos, com características climáticas similares.

Segundo VILAGRA et al. (1995), o uso da equação do balanço de água no solo para estimar a evapotranspiração, produz valores médios com coeficiente de variação na ordem de 42%, principalmente como resultado da variabilidade dos parâmetros do solo. Isto mostra que as aproximações empíricas e aerodinâmicas para estimar evapotranspiração, baseadas em observações atmosféricas, representam o melhor caminho para estimativas de evapotranspiração em solos, com expressiva variabilidade espacial em suas características hidráulicas.

FRITSCHEN (1965), comparando a evapotranspiração estimada pelo método da razão de Bowen com medidas lisimétricas, concluiu que o método da razão de Bowen apresenta uma boa precisão, com erros absoluto e relativo de apenas 2% e 5%, respectivamente.

FEITOSA (1996), estimando a evapotranspiração pelo método da razão de Bowen, em área de pastagem na fazenda Dimona na Amazônia Central, durante o período chuvoso, obteve uma média de 0,30mm/h, enquanto que a evapotranspiração medida foi de 0,29mm/h. O autor afirma que o método da razão de Bowen comparado a outros métodos foi o que apresentou as melhores estimativas.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

O Projeto Mudanças Climáticas no Semi-árido (MUCLISA), foi desenvolvido em duas áreas localizadas no município de Serra Negra do Norte, na região do Seridó do Rio Grande do Norte (ver Figura 3.1). Uma das áreas é reflorestada com algaroba com aproximadamente 40ha, localizada na Fazenda Solidão ($6^{\circ}34'41''S$; $37^{\circ}15'18''W$), que possui uma área total de 6.000ha. A outra área é composta de vegetação nativa da região semi-árida (caatinga), localizada na Estação Ecológica do Seridó, uma área de preservação ambiental do IBAMA (1.166,38ha), vizinha a fazenda supracitada (cerca de 3Km de distância entre as áreas estudadas).

3.2 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS ESTUDADAS

Para melhor caracterizar os sítios estudados, foram feitas algumas observações e, constatou-se que na área de caatinga a distância média entre as plantas é de 1,7m, enquanto na área reflorestada com algaroba é de 5,1m. Na área de caatinga, devido a maior aproximação das plantas,

foi necessário forçar um pouco a vegetação para a instalação da torre micrometeorológica. Por outro lado, na área refloretada com algaroba, por possuir maior espaçamento entre as plantas, não se fez necessário forçar a vegetação.

Durante o período chuvoso, observou-se que na área de algaroba, ao contrário da área de caatinga, não existe praticamente plantas germinando, nem mesmo algarobeira. Contudo, na área de algaroba, notou-se uma razoável presença de matéria orgânica sobre a superfície do solo, bem como folhagem seca de algaroba, com espessura de 1cm aproximadamente. Uma idéia de ambos os dosséis durante o período chuvoso é dada na Figura 3.2.

3.3 - CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

A região em estudo tem uma precipitação média anual de 758,1mm, concentrada principalmente no período de fevereiro a maio, sendo os demais meses secos ou de pouquíssima chuva (ver Tabela 3.1). A temperatura média mensal diária do ar varia de 25,8°C no mês de junho a 32,1°C no mês de outubro, a máxima de 28,6°C no mês de junho, a 34,8°C no mês de outubro e a mínima de 23,2°C no mês de junho a 30,9°C no mês de novembro. O solo predominante da região é do tipo bruno cálcio com rolamento seixos (IBAMA).

3.4 - INSTALAÇÕES E INSTRUMENTAL UTILIZADO

Os dados utilizados neste trabalho são relativos a duas etapas experimentais, desenvolvidas nos períodos de 16/01/96 a 12/02/96 (durante o período chuvoso), e de 26/06/96 a 26/07/96 (após o período chuvoso). Para a coleta de dados, na primeira etapa experimental foram instaladas duas torres micrometeorológicas: uma na área de algaroba com

10m de altura e outra na área de caatinga com 7m de altura. Na segunda etapa, as alturas de ambas as torres foram aumentadas para 12m e 8m respectivamente.

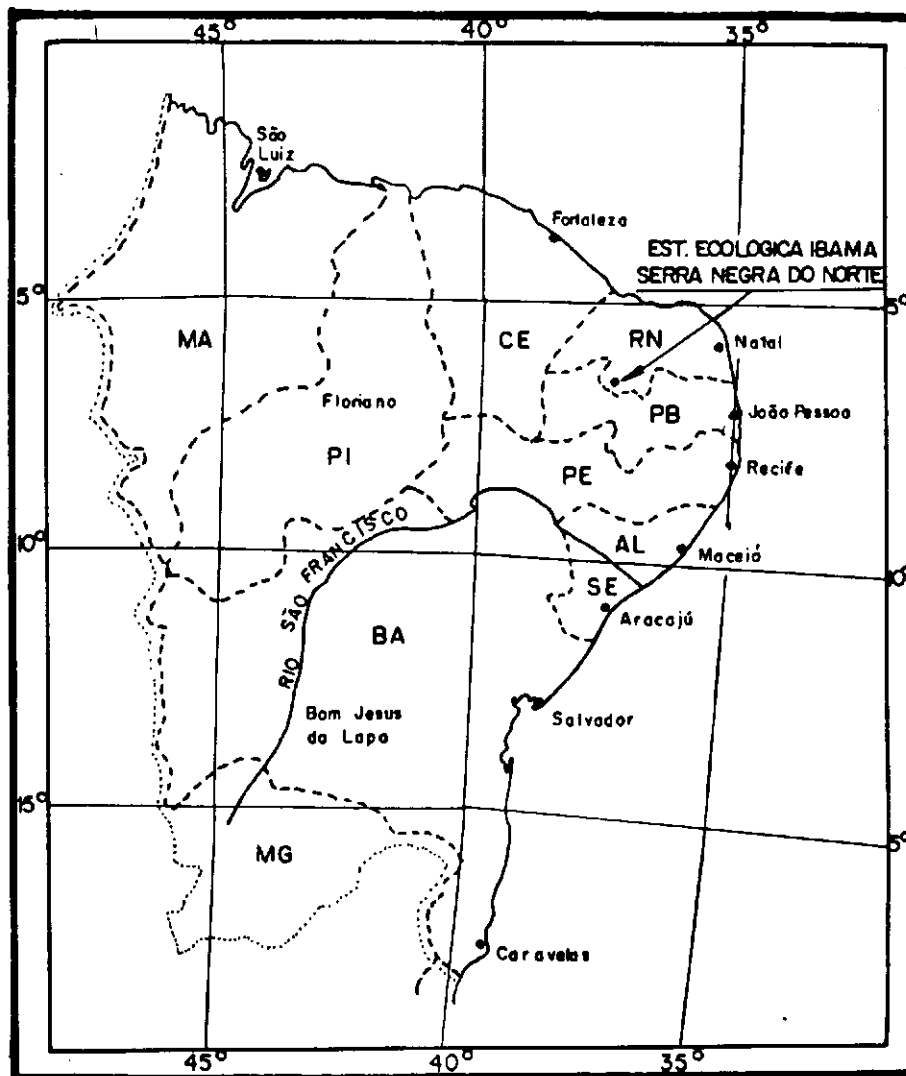


Figura 3.1 - Localização geográfica das áreas experimentais

3.4.1 - DISTRIBUIÇÃO DO INSTRUMENTAL NOS DOSSÉIS

O instrumental utilizado durante as duas campanhas experimentais nas duas áreas, foi distribuído da seguinte maneira:

3.4.1.1 - NO TOPO DE CADA TORRE (ver Figura 3.3a)

- um piranômetro para medir radiação incidente;
- um piranômetro para medir radiação refletida;
- um net radiômetro para medir o saldo de radiação;
- um psicrômetro, e um anemômetro a 0,5m acima do dossel;
- um psicrômetro, e um anemômetro a 1,5m acima do dossel.

3.4.1.2 - NO INTERIOR DE CADA DOSSEL

- um sensor de temperatura do ar à 2m acima da superfície do solo;
- um fluxímetro para determinação do fluxo de calor no solo instalado a 1cm de profundidade da superfície do solo.

3.5 - AQUISIÇÃO DOS DADOS

Para a aquisição dos dados, em cada torre foi utilizado 1 micrologger 21X da Campbell Sci, com capacidade para 16 canais. Este sistema foi programado para realizar leituras em intervalos de 1 em 1 segundo e, a partir daí calcular médias de 5 em 5 minutos. Cada sistema de aquisição foi alimentado por um painel solar. Os dados após serem armazenados na memória do 21X, eram transferidos a cada 72

horas para um módulo de armazenamento, e em seguida colocados em um microcomputador e gravados em disquete (ver Figura 3.3b). A grande vantagem deste tipo de equipamento é permitir o monitoramento em tempo real do andamento do experimento, o que possibilita detectar qualquer problema imediatamente.

TABELA 3.1 - DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL NO MUNICÍPIO DE SERRA NEGRA DO NORTE-RN.

| MESES | MÉDIA (mm) | D. PADRÃO | N. ANOS |
|-------------|------------|-----------|---------|
| Janeiro | 70,4 | 72,1 | 76 |
| Fevereiro | 140,0 | 111,9 | 75 |
| Março | 203,5 | 121,5 | 77 |
| Abril | 184,8 | 116,9 | 76 |
| Maio | 74,6 | 64,4 | 77 |
| Junho | 24,7 | 26,9 | 74 |
| Julho | 15,2 | 25,1 | 75 |
| Agosto | 3,1 | 15,8 | 76 |
| Setembro | 1,9 | 5,7 | 76 |
| Outubro | 4,4 | 16,4 | 75 |
| Novembro | 15,1 | 32,1 | 77 |
| Dezembro | 20,2 | 31,4 | 79 |
| Média anual | 758,1 | - | - |

Todos os instrumentos, seus modelos e unidades adotados, estão descritos na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS

| INSTRUMENTO | PARÂMETROS | UNIDADE | MODELO |
|----------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| Psicrômetro | Temperatura do Bulbo Seco e Úmido | (°C) | Termopares Co-breconstanta |
| Anemômetro | Velocidade do Vento | (m.s ⁻¹) | R.M.Y. Modelo 03002 |
| Piranômetro | Radiação Solar Global Incidente | (W.m ⁻²) | Modelo Eppley PSP |
| Piranômetro | Radiação Solar Global Refletida | (W.m ⁻²) | Modelo Eppley PSP |
| Net Radiômetro | Saldo de Radiação | (W.m ⁻²) | Radiation Energy Balance Systems |
| Radiômetro | Saldo de Radiação | (W.m ⁻²) | INPE Termopilha |
| Fluxímetros | Fluxo de Calor no Solo | (W.m ⁻²) | Micromet Instruments |

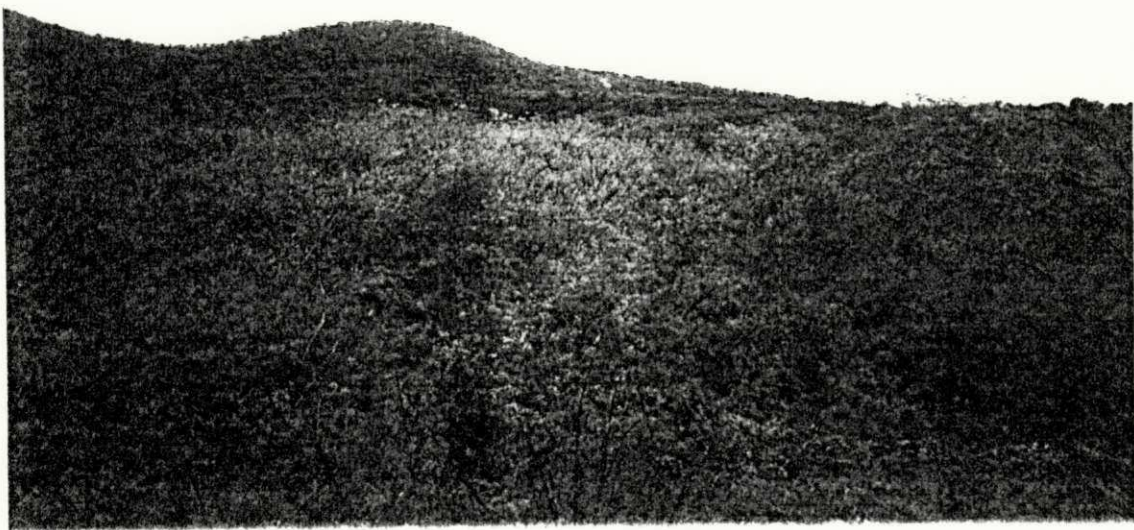
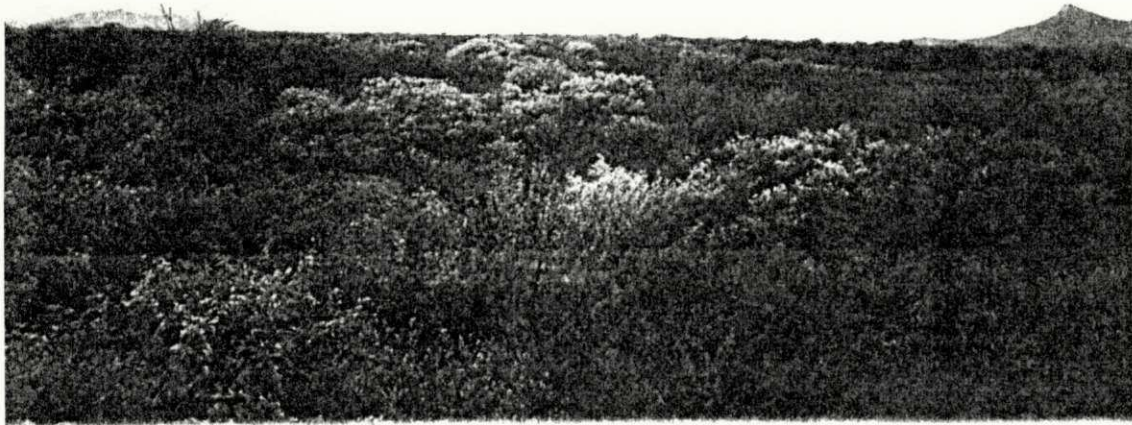


Figura 3.2 - Imagem superior dos dosséis durante o período chuvoso: (a) caatinga; (b) algaroba.

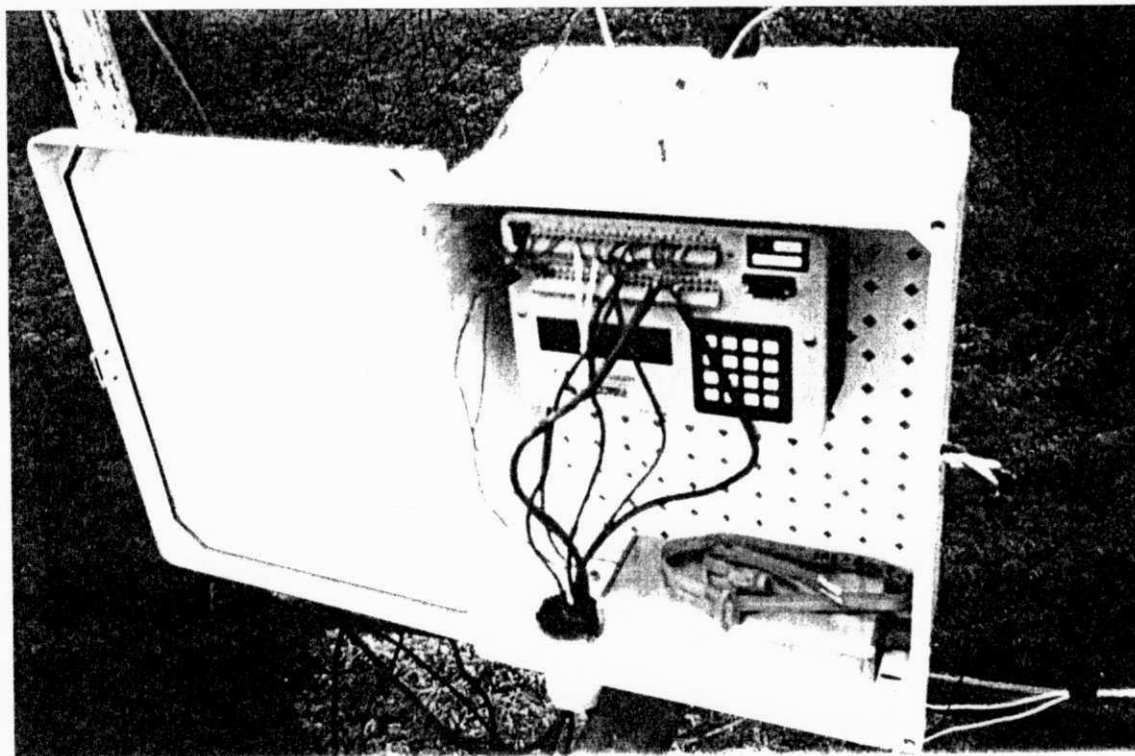


Figura 3.3 - (a) Distribuição do instrumental no Lopo do dossel de algaroba; (b) Sistema de aquisição de dados.

3.6 - BALANÇO DE RADIAÇÃO

3.6.1 - BALANÇO DE RADIAÇÃO À SUPERFÍCIE

A soma dos fluxos de radiação de ondas curtas e ondas longas que chegam e saem da superfície denomina-se balanço de radiação à superfície, expresso pela seguinte equação:

$$R_n = (K \downarrow - K \uparrow) + (L \downarrow - L \uparrow) \quad (3.1)$$

onde R_n é o saldo de radiação, $K \downarrow$ é a radiação de ondas curtas incidente, $K \uparrow$ é a radiação de ondas curtas refletida pela superfície, $L \downarrow$ é a radiação de ondas longas da atmosfera e $L \uparrow$ a radiação de ondas longas emitida pela superfície.

Quando são conhecidos o albedo (r_c) e a temperatura da superfície (T_s), a equação (3.1) pode ser escrita na forma:

$$R_n = (1 - r_c)K \downarrow + (L \downarrow - \sigma T_s^4) \quad (3.2)$$

onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann igual a $5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$.

3.6.2 - BALANÇO DE RADIAÇÃO DE ONDAS CURTAS

A partir dos fluxos de radiação incidente e refletida, determinou-se o balanço de radiação de ondas curtas no topo de cada dossel, tomando-se como base a equação:

$$K^* = (K \downarrow - K \uparrow) \quad (3.3)$$

Quando não existem observações de radiação refletida ($K\uparrow$) e o albedo é conhecido, a equação (3.3) pode ser substituída pela equação (3.4):

$$K^* = (1 - r_c)K \downarrow \quad (3.4)$$

Na equação (3.4) o albedo pode ser modelado com base no ângulo de inclinação do sol, para qualquer instante, durante o período diurno. A equação (3.4) pode ser simplificada, substituindo-se o albedo por seu valor médio, quando o interesse for o balanço de radiação diário.

3.6.3 - BALANÇO DE RADIAÇÃO DE ONDAS LONGAS

Os métodos mais precisos para calcular a radiação de ondas longas da atmosfera, em dias de céu claro, requerem dados de perfil de umidade e temperatura. Contudo, estes dados raramente estão disponíveis, como consequência modelos mais simples têm sido desenvolvidos baseados na Lei de Stefan-Boltzman:

$$L\downarrow = \epsilon_{ac} \sigma T_a^4 \quad (3.5)$$

onde ϵ_{ac} é emissividade da atmosfera para dias de céu claro e T_a a temperatura do ar próximo da superfície.

Na tentativa de estimar a radiação térmica da atmosfera, para condições de céu claro, várias equações empíricas foram apresentadas por diversos autores. Dentre elas destacam-se as seguintes:

- Equação de Swinbank (1963)

$$L\downarrow = \theta T_a^6 \quad (3.6)$$

onde θ é uma constante igual a $4,9927 \times 10^{-13} \text{ W.m}^{-13}.\text{K}^{-6}$.

- Equação de Idso e Jackson (1969)

$$L\downarrow = \sigma T_a^4 \left\{ 1 - 0,261 \exp \left[-1,77 \times 10^{-4} (273 - T_a)^2 \right] \right\} \quad (3.7)$$

- Equação de Brunt (1932)

$$L\downarrow = \sigma T_a^4 (0,44 + 0,08\sqrt{e}) \quad (3.8)$$

onde e é a pressão parcial do vapor d'água em mb. A equação (3.8) é uma das mais usadas, porém suas constantes devem ser ajustadas ao local de sua utilização.

- Equação de Satterlund (1979)

$$L\downarrow = \sigma T_a^4 \left\{ 1,04 \left[1 - \exp \left(-e^{\frac{T_a}{2016}} \right) \right] \right\} \quad (3.9)$$

3.6.4 - DETERMINAÇÃO DO ALBEDO (r_c)

O albedo é a razão entre a radiação refletida e a radiação incidente. Deste modo, tomando-se como base as radiações incidente e refletida, observadas na faixa espectral global (0,3 a 3,0 μm), foi possível calcular, para cada dossel, o albedo (r_c) da superfície. O albedo médio diário foi calculado efetuando-se a razão entre os valores instantâneos de radiação refletida e radiação incidente, ambos integrados

diariamente durante cada período de observação, pela seguinte equação:

$$r_c = \frac{K \uparrow}{K \downarrow} \quad (3.10)$$

3.7 - BALANÇO DE ENERGIA À SUPERFÍCIE

Na ausência de advecção e, desprezando-se a variação de armazenamento de energia na biomassa, os fluxos de calor sobre um dossel qualquer satisfazem a equação do balanço de energia, que pode ser expressa em sua forma simplificada, como:

$$R_n = H + LE + G \quad (3.11)$$

onde, R_n é o saldo de radiação, H é o fluxo de calor sensível e LE é o fluxo de calor latente, (sendo L o calor latente de evaporação e E a taxa de evaporação), e G é o fluxo de calor no solo.

3.8 - ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL

3.8.1 - MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN

A razão entre o fluxo de calor sensível e o fluxo de calor latente é denominada "Razão de Bowen"; dada por:

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (3.12)$$

Tomando-se a equação (3.11) do balanço de energia em sua forma simplificada e combinando-a com a equação (3.12), tem-se:

$$R_n = LE(1 + \beta) + G \quad (3.13)$$

Onde o transporte turbulento de calor sensível (H), de calor latente (LE) e de quantidade de movimento (τ) na camada limite superficial são expressos pelas equações que seguem:

$$H = -\rho C_p K_h \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{z}} \right) \quad (3.14)$$

$$LE = -\rho L K_v \left(\frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{z}} \right) \quad (3.15)$$

$$\tau = \rho K_m \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial \bar{z}} \right) \quad (3.16)$$

onde ρ é a densidade do ar ($1,23 \text{Kg/m}^3$), c_p o calor específico do ar à pressão constante ($\text{j/Kg.}^\circ\text{K}$), L o calor latente de vaporização da água (j/Kg), K_h , K_h , e K_h respectivamente os coeficientes de transferência turbulenta para calor sensível, vapor d'água e quantidade de movimento (m^2/s), $\partial \bar{T} / \partial \bar{z}$, $\partial \bar{q} / \partial \bar{z}$ e $\partial \bar{U} / \partial \bar{z}$ são os gradientes verticais médios de temperatura, umidade específica e velocidade do vento, respectivamente.

Considerando que para qualquer condição de instabilidade atmosférica $K_h = K_v$, substituindo as equações (3.14) e (3.15) na equação (3.12) e fazendo $q = 0,622 \frac{e}{p}$, tem-se:

$$\beta = \frac{C_p P}{0,622L} \left(\frac{\partial T}{\partial e} \right) \quad (3.17)$$

onde q é a umidade específica do ar e P a pressão atmosférica à superfície (mb).

Fazendo o parâmetro psicrométrico $\gamma = \frac{C_p P}{0,622L}$ e substituindo agora a equação (3.17) na equação (3.13) para diferenças finitas resulta:

$$LE = \frac{Rn - G}{\left[1 + \gamma \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right) \right]} \quad (3.18)$$

Tomando-se como base as medidas de saldo de radiação, do fluxo de calor no solo, de temperatura do ar e de pressão parcial de vapor d'água nos níveis Z_1 e Z_2 sobre os dois dosséis, estimou-se o fluxo de calor latente através da equação (3.18).

3.9 - ANÁLISE DE PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

Além da comparação dos balanços de radiação e energia, também foram analisados o comportamento da temperatura do ar dentro e sobre os dosséis, a velocidade do vento, bem como a umidade específica e umidade relativa.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados a seguir, em forma de Tabelas e Figuras, os resultados obtidos durante as duas campanhas experimentais desenvolvidas nas áreas de caatinga e algaroba, no período chuvoso (16/01/96 a 12/02/96) e após o período chuvoso (26/06/96 a 26/07/96).

4.1 - BALANÇO DE RADIAÇÃO À SUPERFÍCIE

A Figura 4.1 ilustra o comportamento médio diurno dos componentes do balanço de radiação, nas áreas de caatinga e algaroba, para o período de 16/01/96 a 12/02/96. Observa-se no conjunto de curvas, semelhança entre as curvas de radiação solar global nas duas áreas experimentais. Analisando o comportamento médio diurno da radiação solar refletida pela superfície dos dosséis, verifica-se que em ambas as áreas os valores máximos ocorrem às 12:00HL, constata-se ainda que, o saldo de radiação médio horário foi um pouco superior na área de caatinga em todo o período diurno e, destacadamente, entre 10:00 e 13:00HL. Já o comportamento médio diurno das radiações de ondas longas proveniente da atmosfera e emitida pela superfície, a exemplo do que ocorre com a radiação

global, apresenta-se praticamente igual nas duas áreas, porém com pouca variação ao longo do dia.

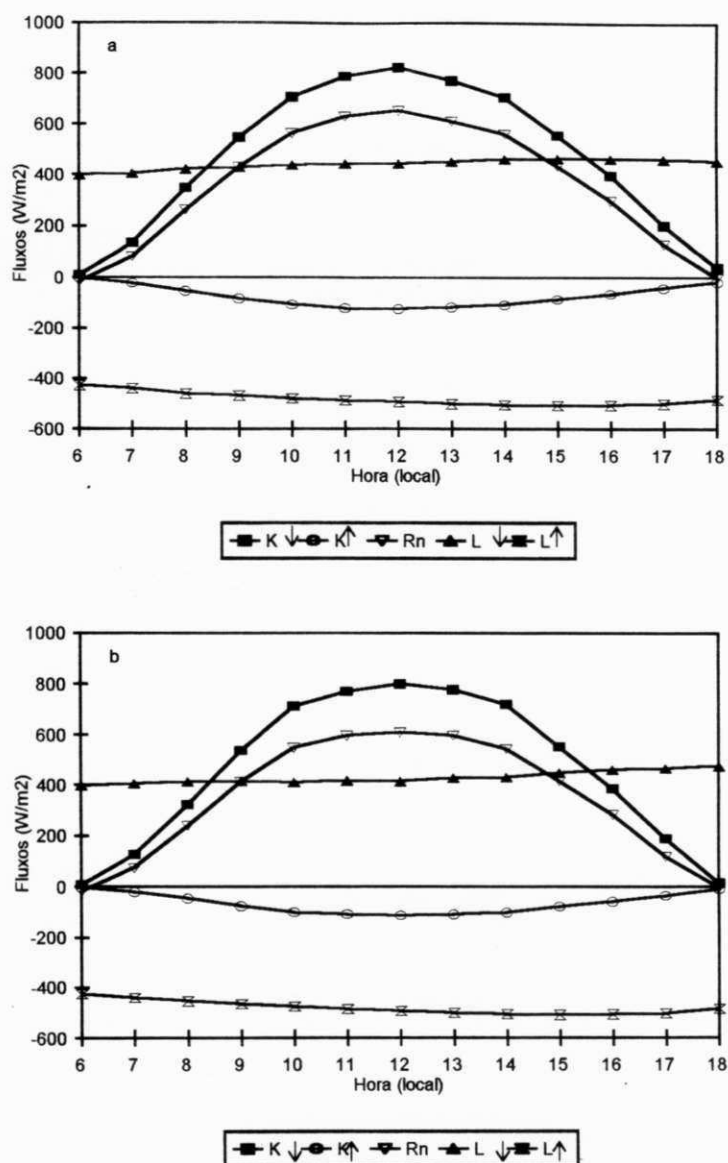


Figura 4.1 - Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de radiação no período de 16/01/96 a 12/02/96: (a) caatinga; (b) algaroba.

Analisando o comportamento médio diurno dos componentes do balanço de radiação, para o período de 26/06/96 a 26/07/96 (ver Figura 4.2), observa-se que a radiação solar global atinge valores máximos às 12:00HL. As curvas do saldo de radiação médio diurno comportam-se

praticamente iguais, com pequenas variações no decorrer do período. Nas Figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7, observa-se cada componente do balanço de radiação separadamente.

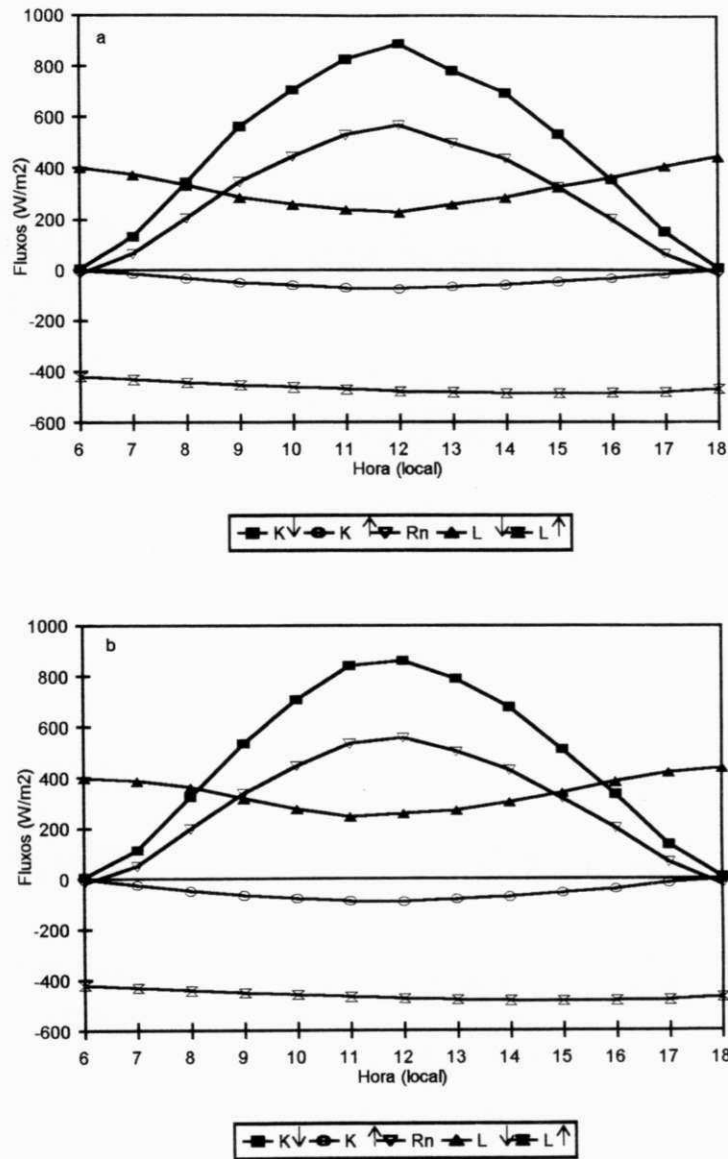


Figura 4.2 - Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de radiação, no período de 26/06/96 a 26/07/96: (a) caatinga; (b) algaroba.

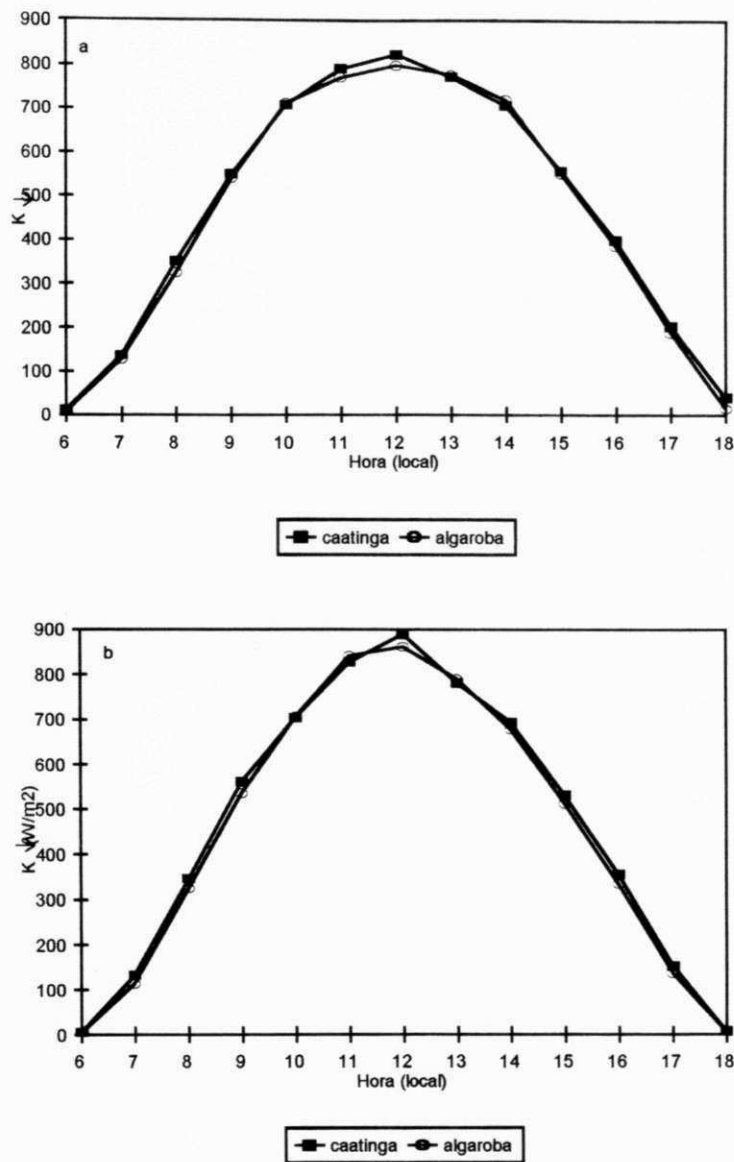


Figura 4.3 - Comportamento médio diurno da radiação solar global nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

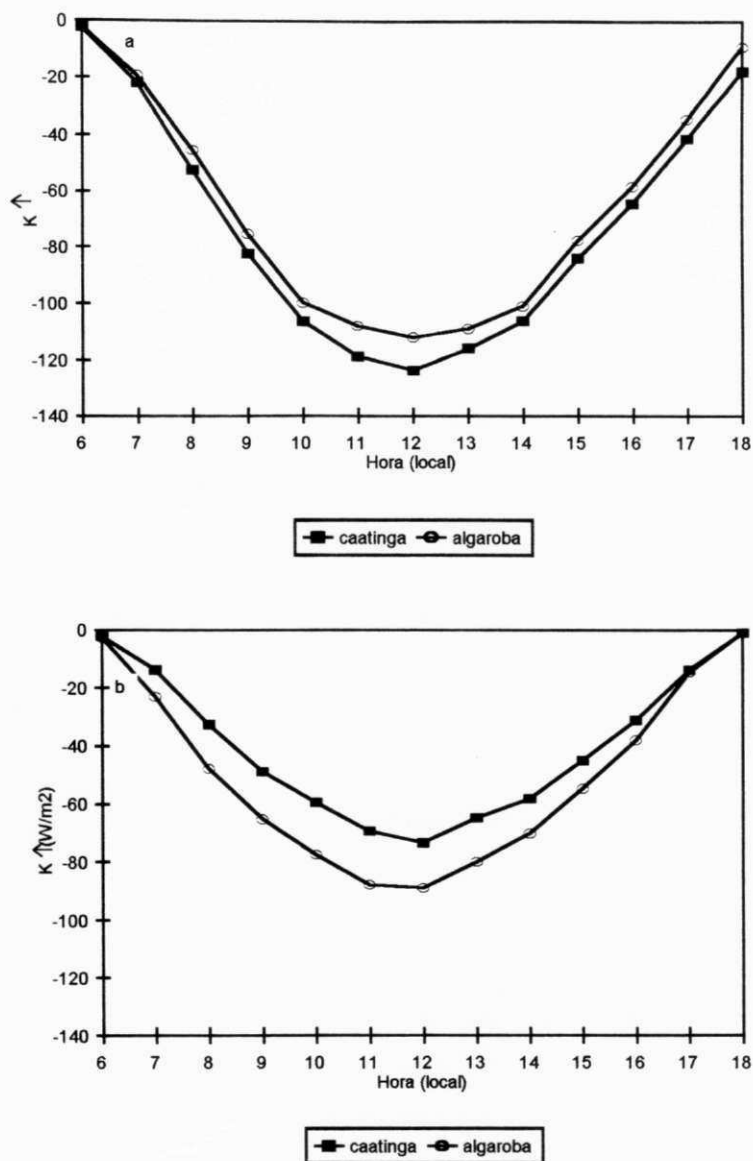


Figura 4.4 - Comportamento médio diurno da radiação solar refletida nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

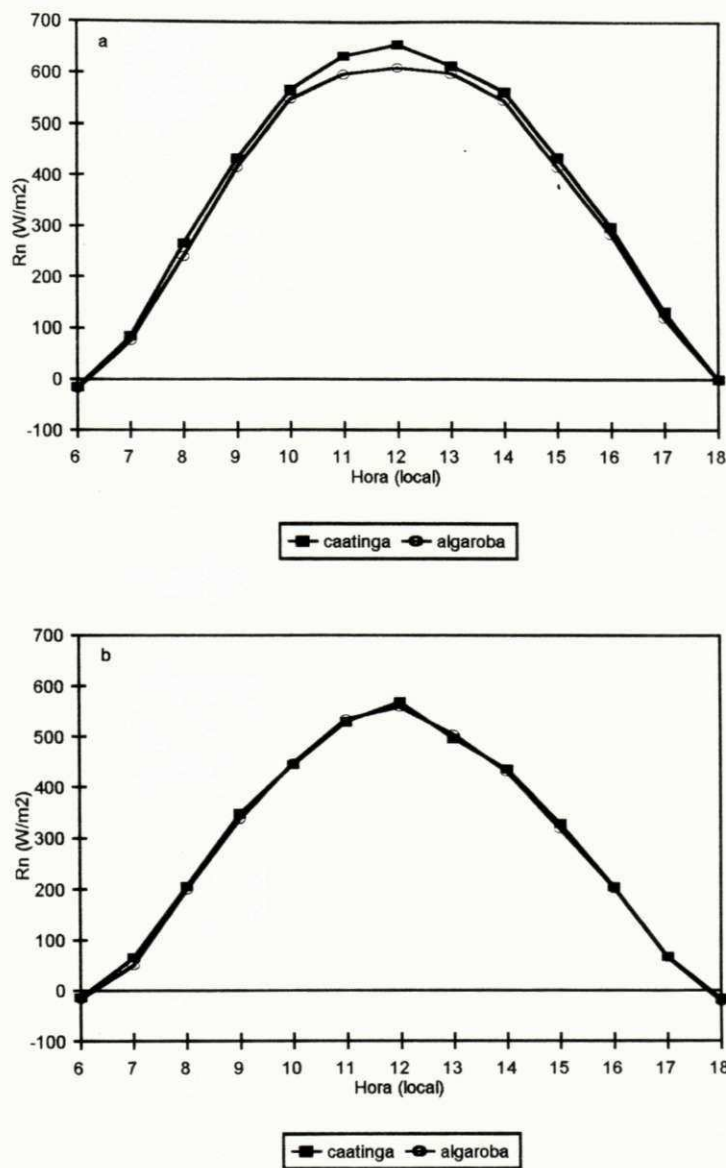


Figura 4.5 - Comportamento médio diurno do saldo de radiação nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

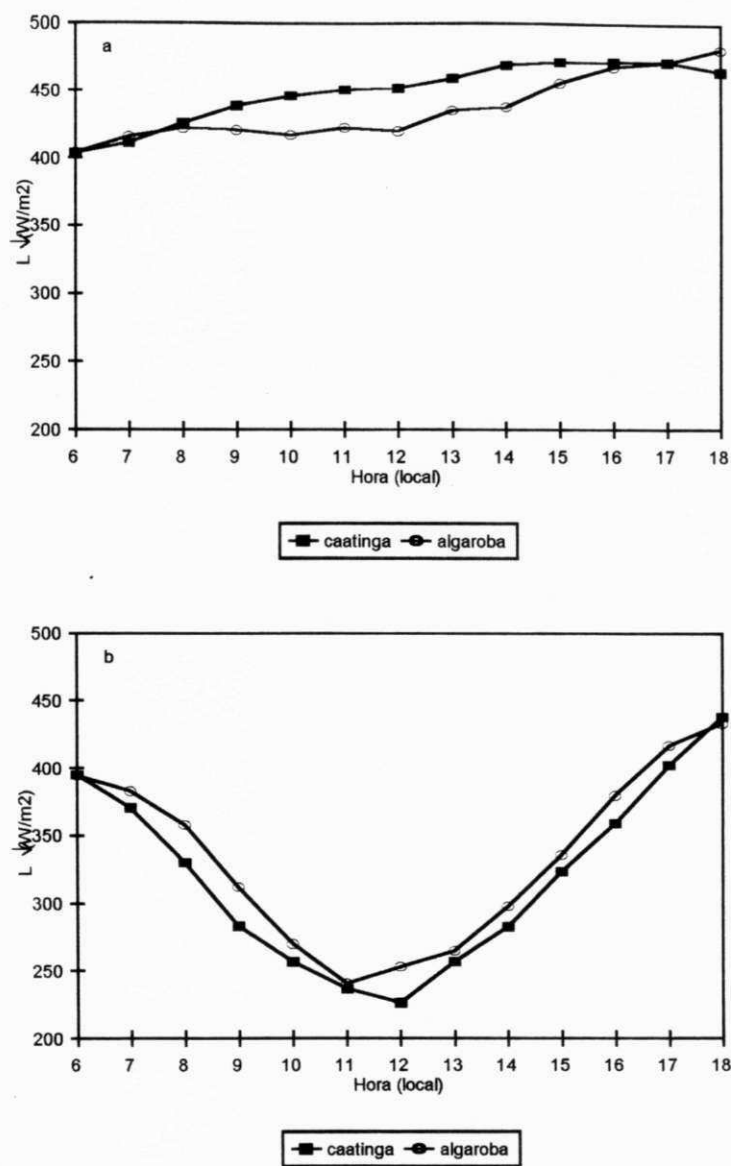


Figura 4.6 - Comportamento médio diurno da radiação de ondas longas proveniente da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

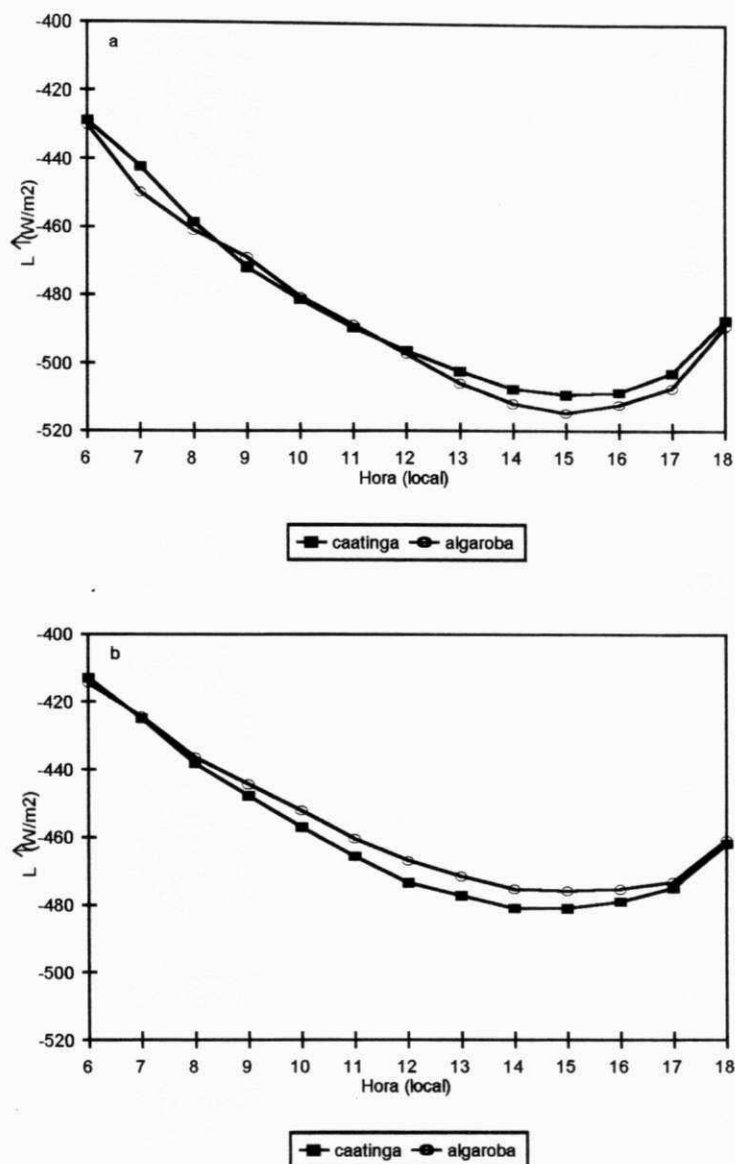


Figura 4.7 - Comportamento médio diurno da radiação emitida pela superfície terrestre nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

Comparando os totais médios diários da radiação solar incidente e o saldo de radiação, durante o período chuvoso, nota-se que o saldo de radiação representou cerca de 77,1% e 74,8% da radiação solar incidente, nas áreas de caatinga e algaroba respectivamente, no entanto, após o período chuvoso diminuiu para 61,2% e 61,7%, respectivamente.

Os totais médios diários dos componentes do balanço de radiação para os dois períodos estudados, podem ser analisados na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 - DISTRIBUIÇÃO DOS TOTAIS MÉDIOS DIÁRIOS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE RADIAÇÃO DURANTE E APÓS O PERÍODO CHUVOSO.

| FLUXOS (MJ.m ⁻² .d ⁻¹) | CAATINGA | | ALGAROBA | |
|--|----------|-------|----------|-------|
| | Durante | Após | Durante | Após |
| K↓ | 21,27 | 19,93 | 20,81 | 19,47 |
| K↑ | 3,29 | 1,70 | 2,98 | 2,16 |
| L↓ | 20,76 | 14,08 | 20,19 | 14,68 |
| L↑ | 22,34 | 21,11 | 22,45 | 19,96 |
| Rn | 16,40 | 12,20 | 15,57 | 12,02 |

A Tabela 4.2 mostra que todos os componentes do balanço de radiação sofreram redução do primeiro para o segundo período. Observa-se que a radiação de ondas longas da atmosfera (L↓), no caso da caatinga, apresentou uma redução de 32,2%, enquanto que na algaroba foi de apenas 27,3%. A redução um pouco maior sobre a área de caatinga, deve estar associada ao fato de que, como houve maior transferência de vapor d'água da superfície para a atmosfera, ou seja, mais vapor d'água ficou acumulado sobre este dossel, conseqüentemente mais radiação de ondas longas foi absorvida na atmosfera e assim, menos radiação chegou a superfície. A redução de L↓ sobre as duas áreas, pode ser atribuída, de uma forma geral, a maior concentração de vapor d'água na atmosfera no período posterior a estação chuvosa.

No caso da radiação refletida, a área de caatinga sofreu uma redução de 48,3% do primeiro para o segundo período estudado, enquanto a área de algaroba apresentou uma

redução de apenas 27,5%. Isto indica que houve uma significativa alteração na resposta espectral do dossel de caatinga, a qual, está relacionada com mudanças das características da superfície, ocorridas em função da influência causada pelo acúmulo de água da chuva, tanto no solo, como no interior das plantas, o que proporcionou uma maior absorção de radiação de ondas curtas à superfície. No caso da algaroba, como ela permanece sempre verde e quase não perde folhagem, o índice de área foliar não experimentou mudanças significativas, talvez essa redução seja muito mais devido ao umedecimento do solo. O saldo de radiação (R_n), que é a soma de todos os outros componentes do balanço de radiação, conseqüentemente sofreu redução.

TABELA 4.2 - PERCENTUAIS DE REDUÇÃO DOS TOTAIS MÉDIOS DIÁRIOS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE RADIAÇÃO OBSERVADOS APÓS O PERÍODO CHUVOSO

| COMPONENTES | CAATINGA | ALGAROBA |
|------------------|----------|----------|
| K_{\downarrow} | 6,3 | 6,4 |
| K_{\uparrow} | 48,3 | 27,5 |
| L_{\downarrow} | 32,2 | 27,3 |
| L_{\uparrow} | 5,5 | 11,1 |
| R_n | 25,6 | 22,8 |

Observa-se ainda que, em ambos os períodos, nas duas áreas (ver Figuras 4.8 e 4.9) o comportamento médio diário da radiação global e do saldo de radiação, apresentam um excelente sincronismo, indicando que estes parâmetros se

correlacionam perfeitamente. Nas Tabelas 4.3 e 4.4 são apresentados os resultados das regressões efetuadas entre médias diárias de radiação global e o saldo de radiação, para os dois períodos estudados. Observa-se que os coeficientes de determinação (R^2) apresentam valores muito próximos da unidade, o que vem confirmar a perfeita correlação existente entre estes dois parâmetros. As Figuras 4.10 e 4.11 mostram a precisão das estimativas de R_n em função da K_{\downarrow} , para os períodos citados, indicando um razoável ajustamento dos pontos em torno de uma reta.

TABELA 4.3 - RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR DIÁRIA ENTRE O SALDO DE RADIAÇÃO E A RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DURANTE O PERÍODO CHUVOSO.

| ÁREA | REGRESSÃO | COEFICIENTES | | |
|----------|---------------------------|--------------|------|-------|
| | | a | b | R^2 |
| Caatinga | $R_n = f(K_{\downarrow})$ | 0,02 | 0,77 | 0,99 |
| Algaroba | $R_n = f(K_{\downarrow})$ | 0,22 | 0,73 | 0,98 |

TABELA 4.4 - RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR DIÁRIA ENTRE O SALDO DE RADIAÇÃO E A RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL PARA APÓS O PERÍODO CHUVOSO.

| ÁREA | REGRESSÃO | COEFICIENTES | | |
|----------|---------------------------|--------------|------|-------|
| | | a | b | R^2 |
| Caatinga | $R_n = f(K_{\downarrow})$ | 0,91 | 0,71 | 0,97 |
| Algaroba | $R_n = f(K_{\downarrow})$ | 0,34 | 0,75 | 0,99 |

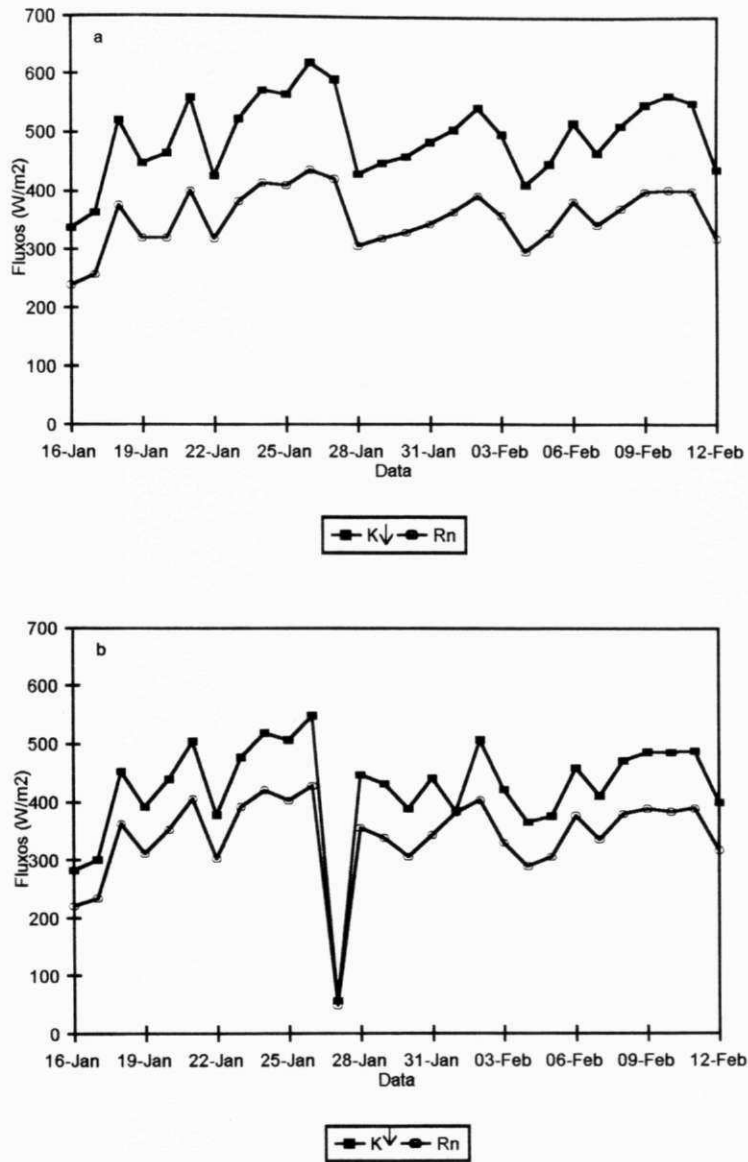


Figura 4.8 - Comportamento médio diário da radiação solar global e do saldo de radiação no período de 16/01/96 a 12/02/96:(a) caatinga; (b)algaroba.

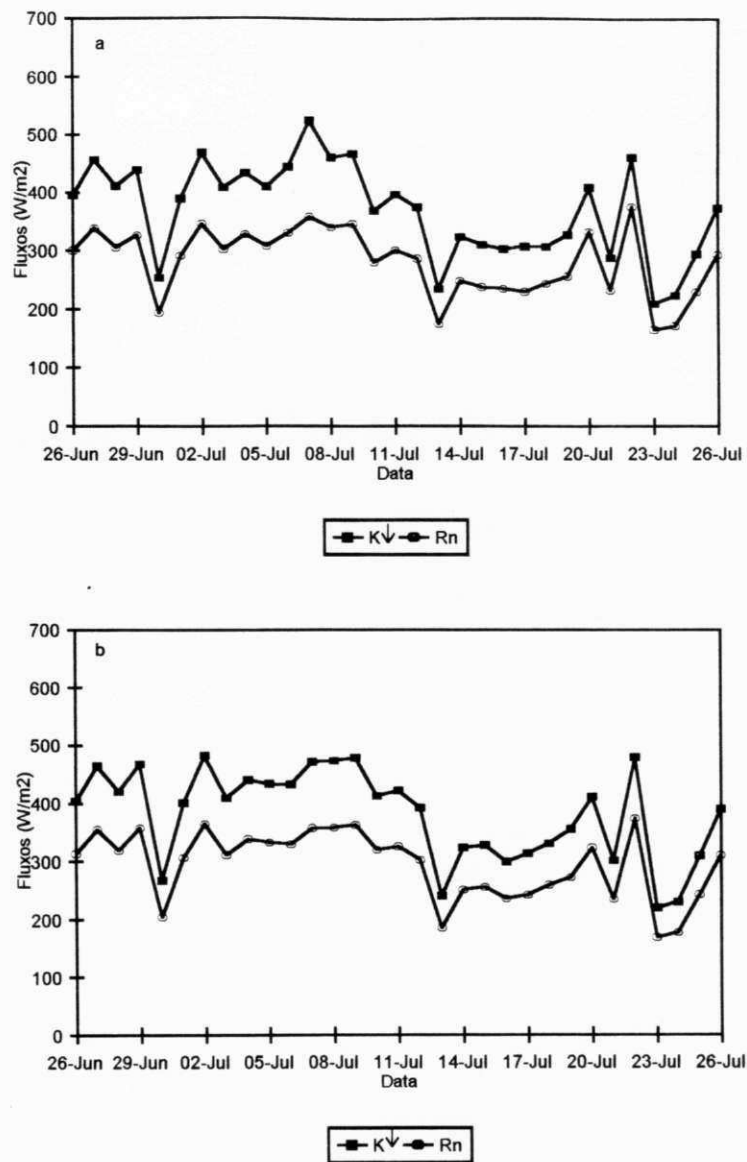


Figura 4.9 - Comportamento médio diário da radiação solar global e do saldo de radiação no período de 26/06/96 a 26/07/96: (a) caatinga; (b) algaroba.

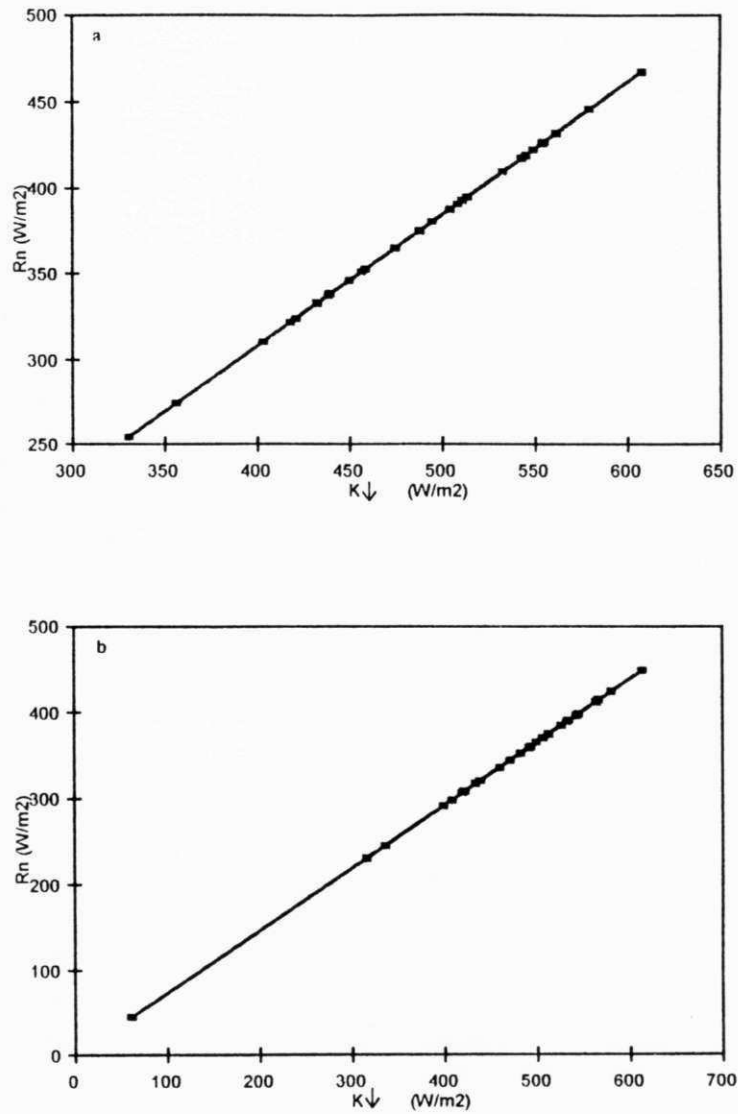


Figura 4.10 - Regressão linear entre o saldo de radiação e a radiação solar global no período de 16/01/96 a 12/02/96: (a) caatinga; (b) algaroba.

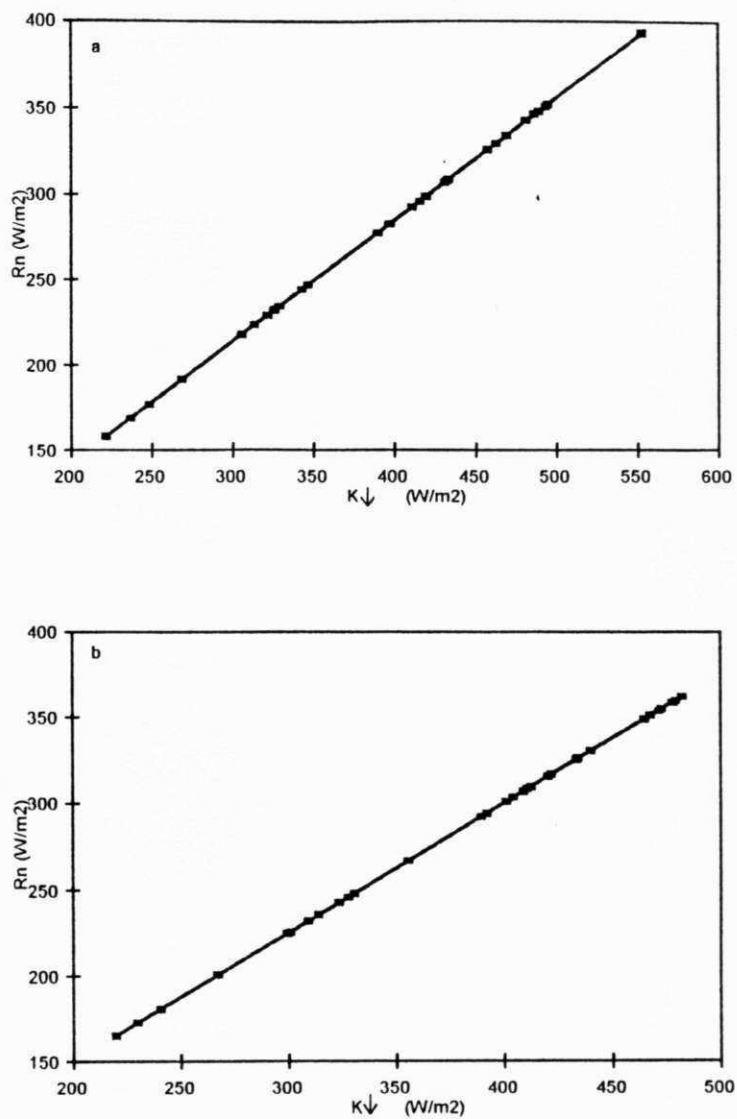


Figura 4.11 - Regressão linear entre o saldo de radiação e a radiação solar global no período de 26/06/96 a 26/07/96: (a) caatinga; (b) algaroba.

4.2 - RADIAÇÃO DE ONDAS LONGAS

As estimativas de radiação de ondas longas proveniente da atmosfera, para dia de céu claro, durante e após o período chuvoso, obtidas pelas equações de Swinbank, Idso, Brunt e Sutterlund, são mostradas nas Tabelas 4.5 e 4.6. Estes cálculos foram efetuados tomando como base a temperatura e a pressão de vapor d'água observados sobre ambos os dosséis.

Analisando os resultados para um dia de céu claro, observa-se que, durante o período chuvoso, o $L\downarrow$ estimado pela equação de Brunt foi o valor que apresentou o menor erro relativo sobre ambas as áreas, cerca de 1,3% para a área de caatinga e 2,0% para a área de algaroba. Por outro lado, após o período chuvoso, a equação de Satterlund foi a que melhor estimou $L\downarrow$ para a área de caatinga, cujo o erro ficou em torno de 1,5%, e a equação de Idso foi a que melhor estimou $L\downarrow$ para área de algaroba, com erro de 1,6%.

TABELA 4.5 - ESTIMATIVAS DE $L\downarrow$ PARA DIA DE CÉU CLARO DURANTE
O PERÍODO CHUVOSO (26/01/96).

| EQUAÇÕES | CAATINGA ($W.m^{-2}$) | ALGAROBA ($W.m^{-2}$) | ERRO (%) CAATINGA | ERRO (%) ALGAROBA |
|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|
| Swinbank | 391,0 | 391,9 | 7,2 | 4,7 |
| Idso | 375,2 | 376,0 | 11,0 | 8,6 |
| Brunt | 415,9 | 402,9 | 1,3 | 2,0 |
| Satterlund | 405,2 | 402,5 | 3,9 | 2,1 |
| Observado | 421,6 | 411,2 | - | - |

TABELA 4.6 - ESTIMATIVAS DE $L\downarrow$ PARA DIA DE CÉU CLARO APÓS O
PERÍODO CHUVOSO (02/07/96).

| EQUAÇÕES | CAATINGA ($W.m^{-2}$) | ALGAROBA ($W.m^{-2}$) | ERRO (%) CAATINGA | ERRO (%) ALGAROBA |
|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|
| Swinbank | 354,7 | 350,6 | 5,4 | 3,7 |
| Idso | 346,7 | 343,5 | 7,6 | 1,6 |
| Brunt | 354,6 | 362,7 | 5,5 | 7,3 |
| Satterlund | 369,4 | 369,5 | 1,5 | 9,3 |
| Observado | 375,1 | 338,0 | - | - |

4.3 - ALBEDO

O comportamento médio diurno do albedo durante e após o período chuvoso é mostrado na Figura 4.12. Observa-se que o albedo da caatinga no período de 16/01/96 a 12/02/96 é 7,74% superior ao albedo da algaroba, enquanto que no período de 26/06/96 a 26/07/96 o albedo na área de algaroba é superior 23,42% ao da área de caatinga. Isto provavelmente está associado ao fato que durante o período chuvoso, a área de caatinga apresentava índice de área foliar maior do que a área de algaroba, conseqüentemente um poder de reflexão maior. Contudo, após o período chuvoso, além do acúmulo de água no solo e no interior das plantas, que proporcionaram uma maior absorção de radiação, verificou-se nos últimos dias de observação, o início do processo de senescência (murchamento e queda da folhagem), que contribuiu para diminuir o albedo na área de caatinga, fato que não aconteceu com a área de algaroba, pois não sofreu alterações significativas nos dois períodos quanto a queda de folhagem. Da mesma forma que a caatinga, a área de algaroba experimentou um acúmulo de água no solo e conseqüentemente nas plantas. Durante o período chuvoso, o valor médio diurno do albedo na caatinga foi de 15,5% e de 14,3% na algaroba, após o período chuvoso o albedo foi de 8,5% e 11,1% respectivamente nas áreas de caatinga e algaroba (ver Tabela 4.7). Considerando que existem erros na determinação do albedo ao nascer e pôr-do-sol, devido ao instrumento que mede a radiação refletida ser atingido primeiro pelos raios solares do que o instrumento que detecta a radiação global, eliminou-se os valores antes das 7:00HL e após às 17:00HL em ambos os períodos estudados.

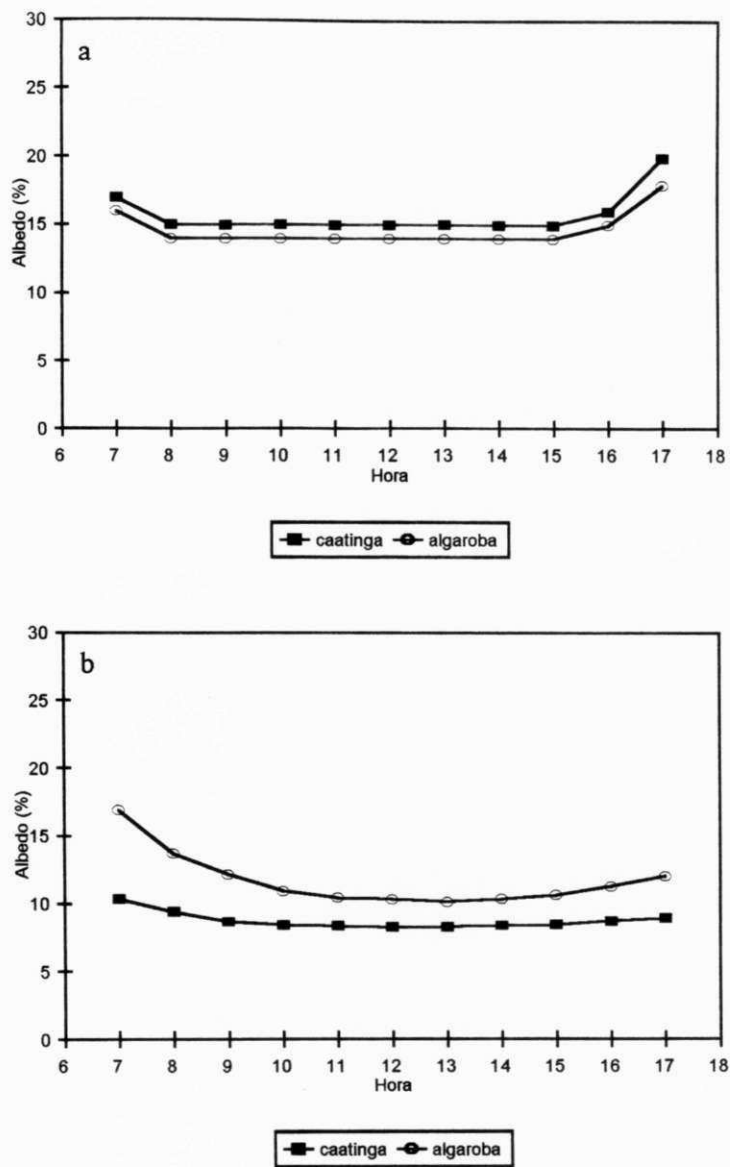


Figura 4.12 - Variação média diurna do albedo para as áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

TABELA 4.7 - VALORES PERCENTUAIS MÉDIO DIÁRIO DO ALBEDO PARA AS ÁREAS DE CAATINGA E ALGAROBA DURANTE E APÓS O PERÍODO CHUVOSO.

| ÁREA | ALBEDO MÉDIO DIÁRIO (%) | |
|-----------|-------------------------|----------------|
| | Durante | Após |
| CAATINGA | 15,5 | 8,5 |
| ALGAROBA | 14,3 | 11,1 |
| DIFERENÇA | 1,2 (7,74%) | -2,6 (-23,42%) |

4.4 - BALANÇO DE ENERGIA

O comportamento médio diurno de cada componente do balanço de energia, para ambas as áreas, nos dois períodos estudados é mostrado nas Figuras 4.13 e 4.14. O saldo de radiação (R_n) já foi descrito na seção 4.1. O fluxo de calor latente (LE) apresenta-se na área de caatinga um pouco menor do que na área de algaroba entre 9:00 e 14:30HL durante o período chuvoso. Entretanto, após o período chuvoso para ambas as áreas as curvas de (LE) mostram comportamentos similares ao longo do período, com pequenas alterações. Observa-se que o fluxo de calor sensível (H) na área de caatinga durante o período chuvoso é bem mais acentuado, cerca de 2,9 vezes aquele observado na área de algaroba. Após o período chuvoso praticamente não se observa diferença de (H) entre as duas áreas. O fluxo de calor no solo durante o período chuvoso, foi superior na área de algaroba, no entanto, após o período chuvoso às 13:00HL o fluxo de calor no solo na área de caatinga foi superior ao observado na área de algaroba. O fato do fluxo de calor no solo ser superior na maior parte do tempo na área de algaroba, deve-se ao maior espaçamento entre as plantas nesta área e, as diferenças estruturais entre os dois dosséis, e sendo o dossel de algaroba menos denso, possibilitou uma maior penetração de

radiação. Para uma melhor análise do que foi exposto acima ver Figuras 4.15, 4.16 e 4.17.

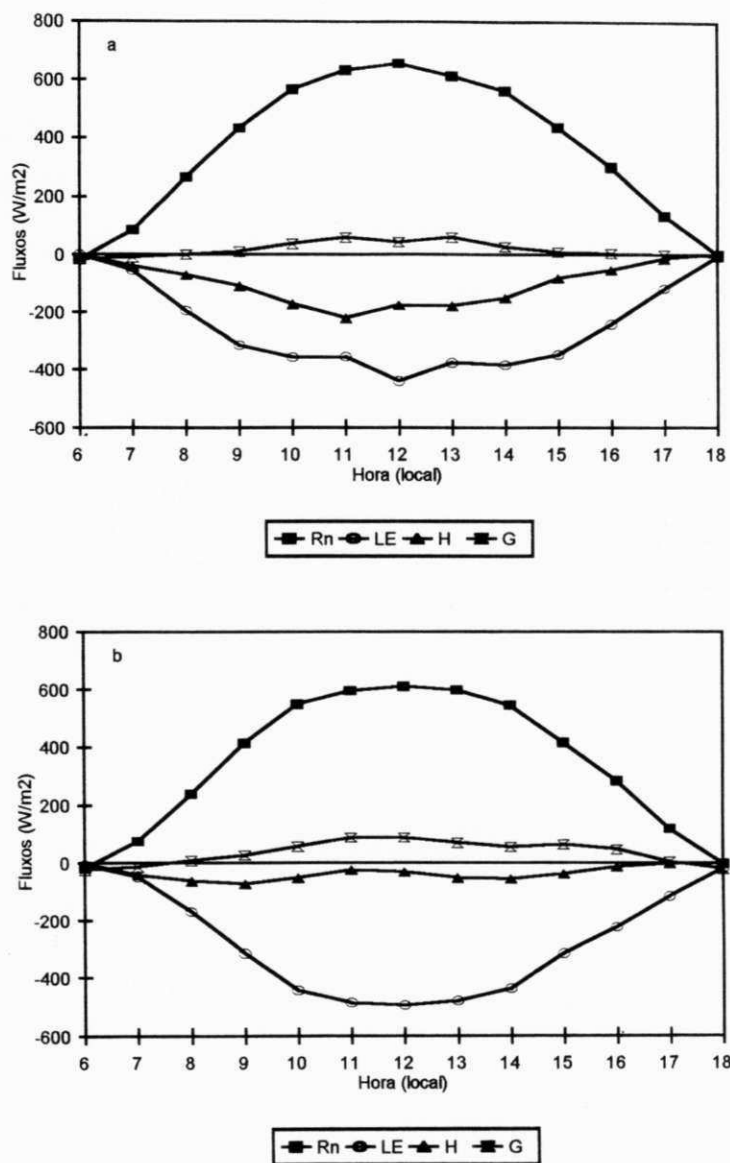


Figura 4.13 - Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia no período de 16/01/96 a 12/02/96: (a) caatinga; (b) algaroba.

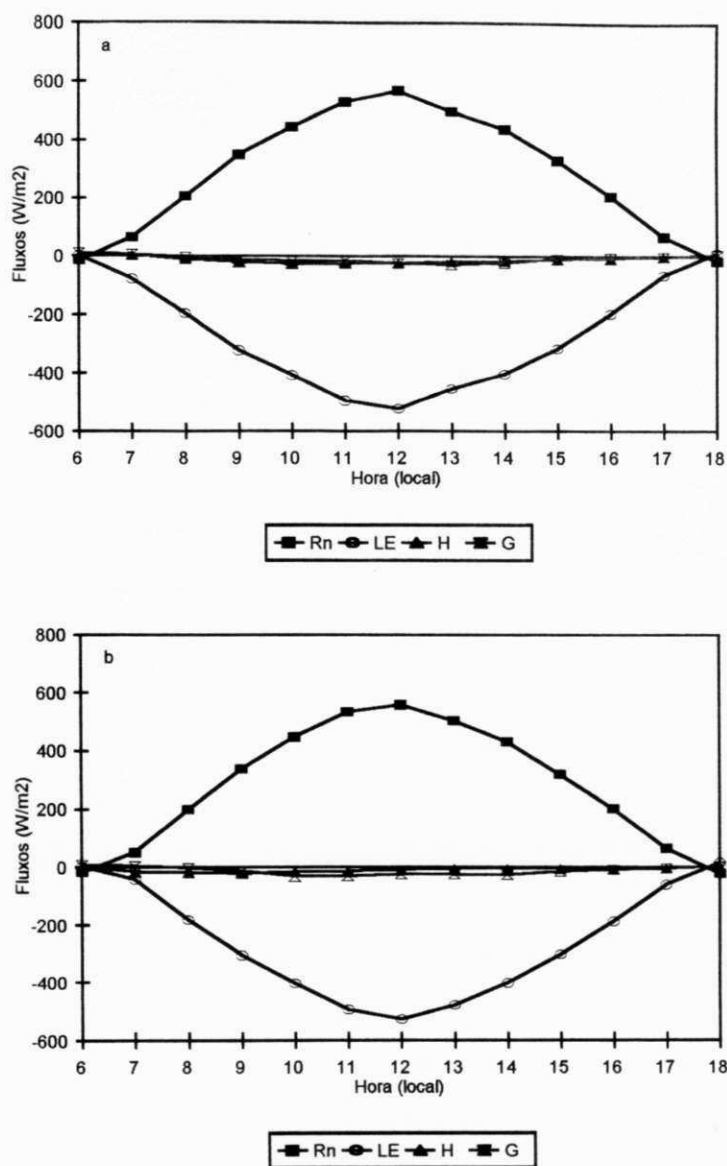


Figura 4.14 - Comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia no período de 26/06/96 a 26/07/96: (a) caatinga; (b) algaroba.

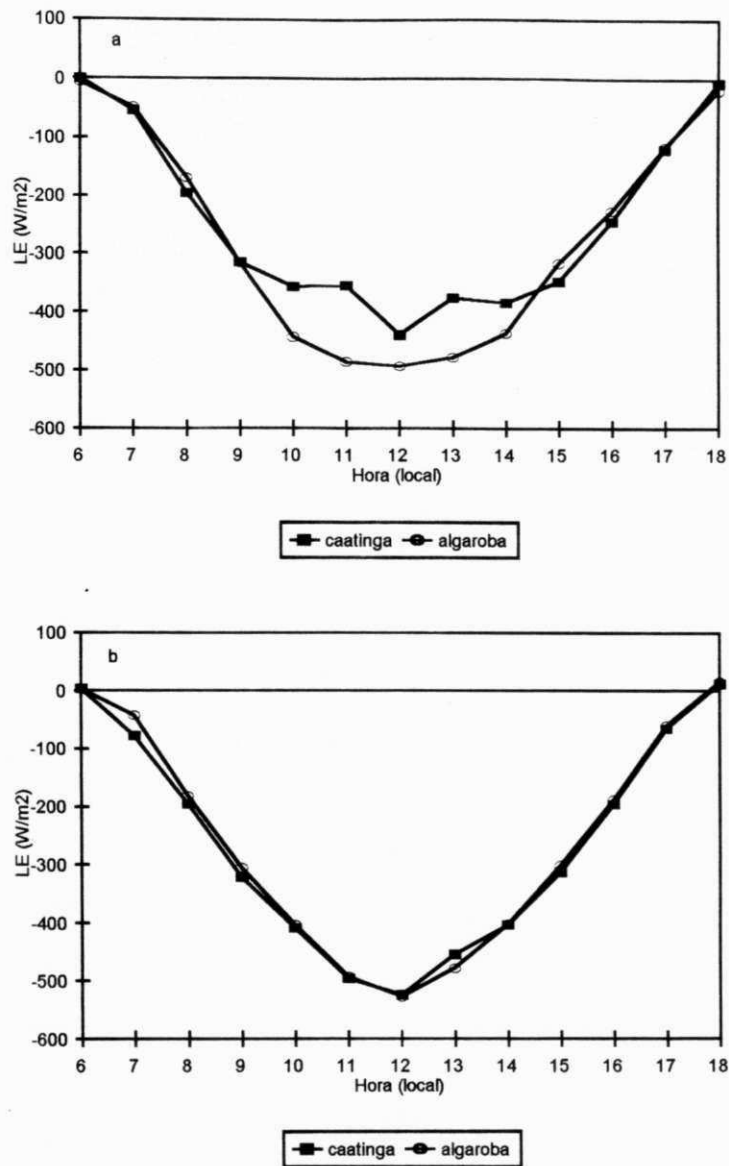


Figura 4.15 - Comportamento médio diurno do fluxo de calor latente nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

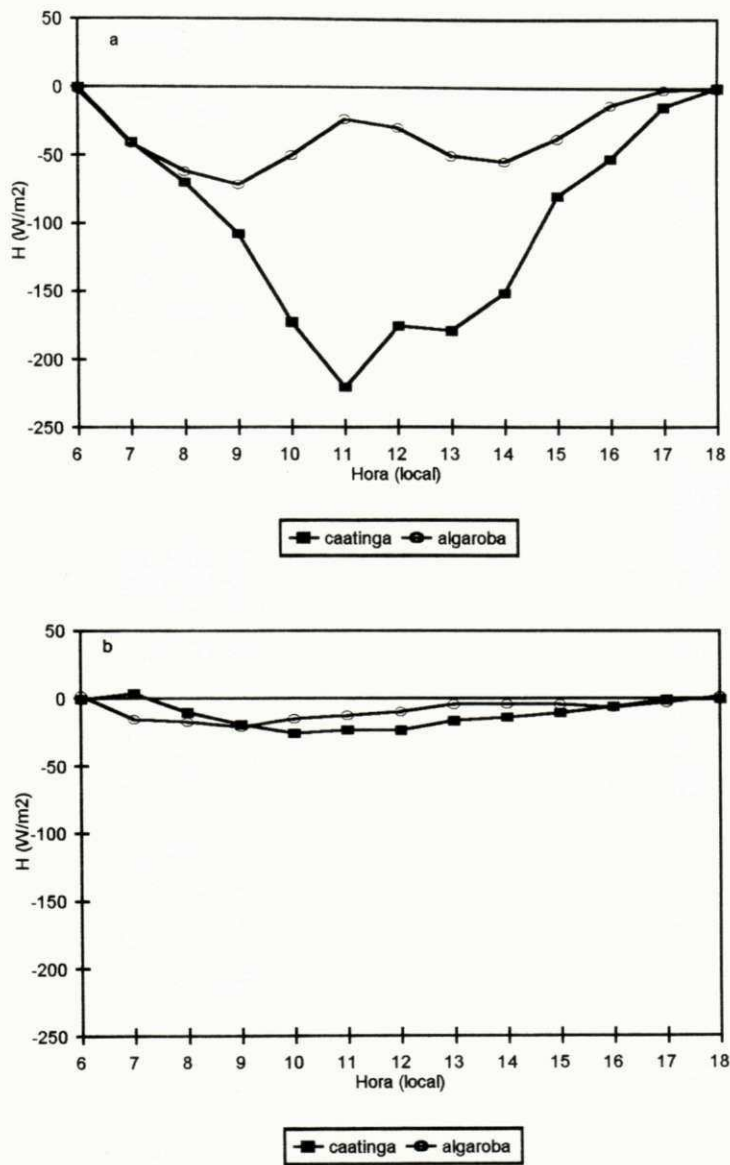


Figura 4.16 - Comportamento médio diurno do fluxo de calor sensível nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

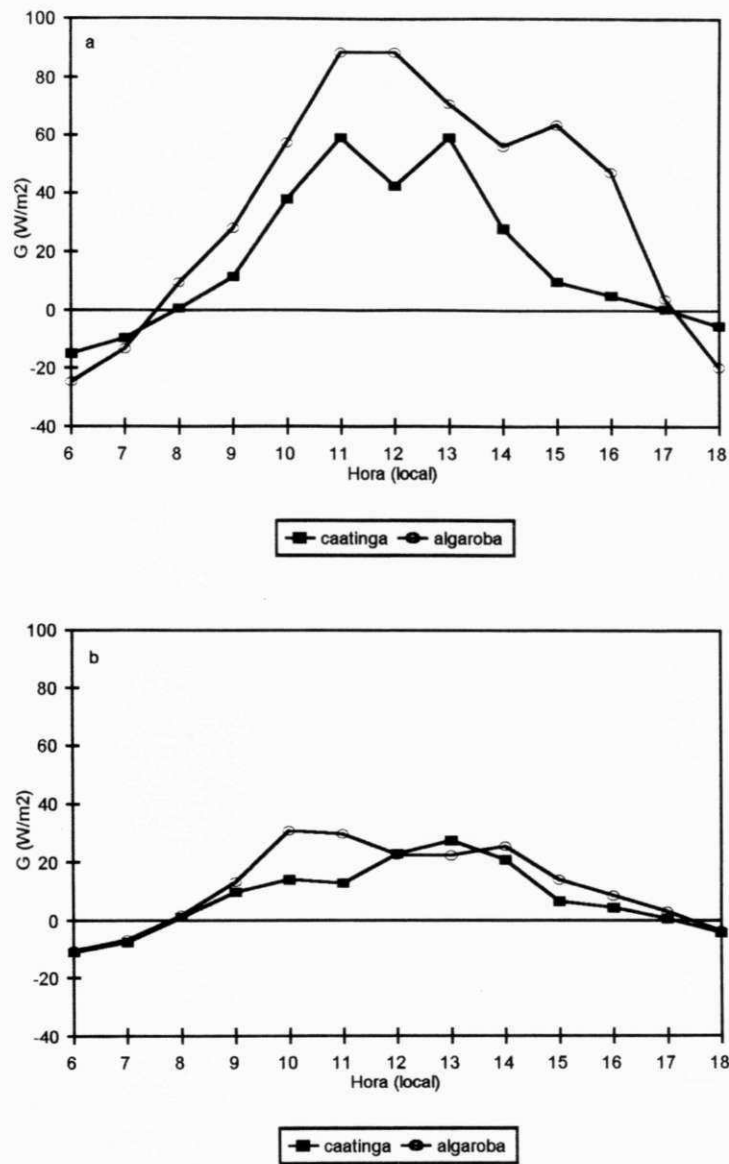


Figura 4.17 - Comportamento médio diurno do fluxo de calor no solo nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

Uma análise percentual dos componentes do balanço de energia indica que, durante o período chuvoso, LE nas áreas de caatinga e algaroba representou 68,2% e 80,3% do saldo de radiação (Rn), H representou cerca de 27,0% e 9,6% e, G cerca de 4,8% e 10,1% respectivamente.

Após o período chuvoso quase toda a energia disponível, nos dois dosséis, foi utilizada como fluxo de calor latente, ou seja, cerca de 93,3% e 92,8% do saldo de radiação (Rn) foi usado para transferir vapor d'água da superfície para a atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba, respectivamente. O fluxo de calor sensível (H) representou cerca de 4,0% e 3,0% e G ficou em torno de 2,7% e 4,2%, respectivamente. Para uma melhor análise dos percentuais descritos acima ver Tabela 4.8 e Figuras 4.18 e 4.19. No Apêndice A estão descritos os valores médios diários dos componentes do balanço de energia, para as áreas de caatinga e algaroba, nos dois períodos estudados.

TABELA 4.8 - TOTAIS MÉDIOS DIÁRIOS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA, DURANTE E APÓS O PERÍODO CHUVOSO.

| FLUXOS (MJ/m ² /d) | CAATINGA | | ALGAROBA | |
|----------------------------------|----------|-------|----------|-------|
| | Durante | Após | Durante | Após |
| Rn | 16,40 | 12,20 | 15,84 | 12,02 |
| LE | 11,18 | 11,38 | 12,73 | 11,16 |
| H | 4,42 | 0,49 | 1,52 | 0,36 |
| G | 0,79 | 0,33 | 1,61 | 0,50 |

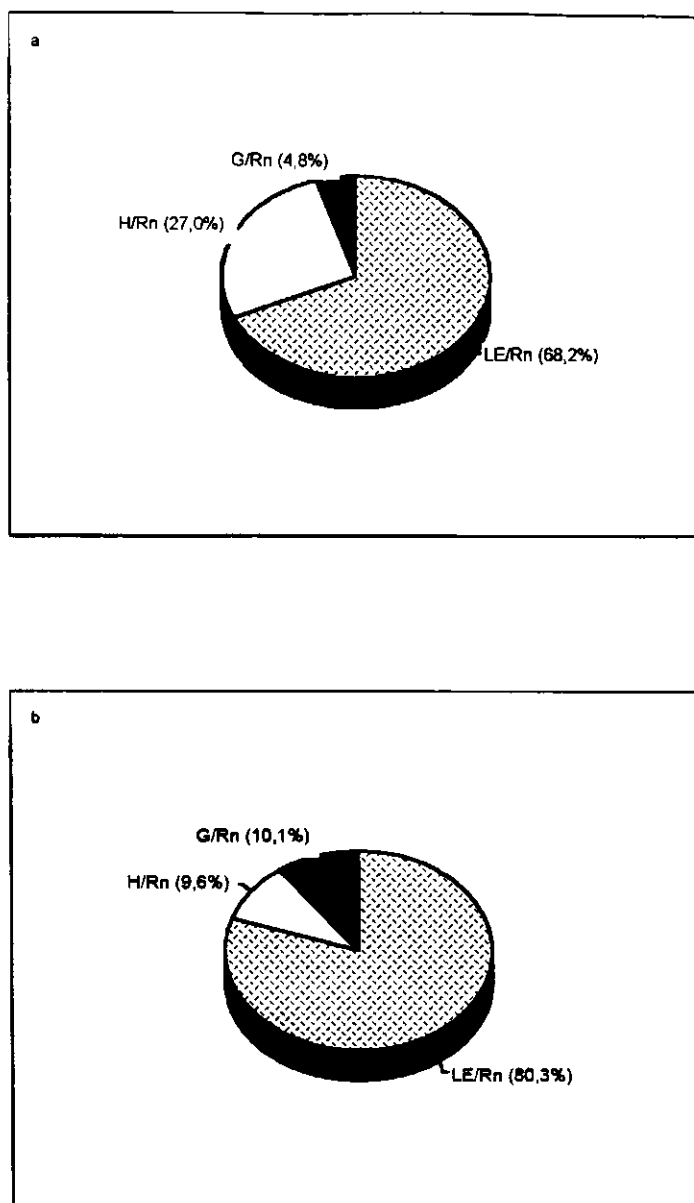


Figura 4.18 - Representação em termos de razões percentuais de cada componente do balanço de energia com relação a R_n no período de 16/01/96 a 12/02/96: (a) caatinga; (b)algaroba.

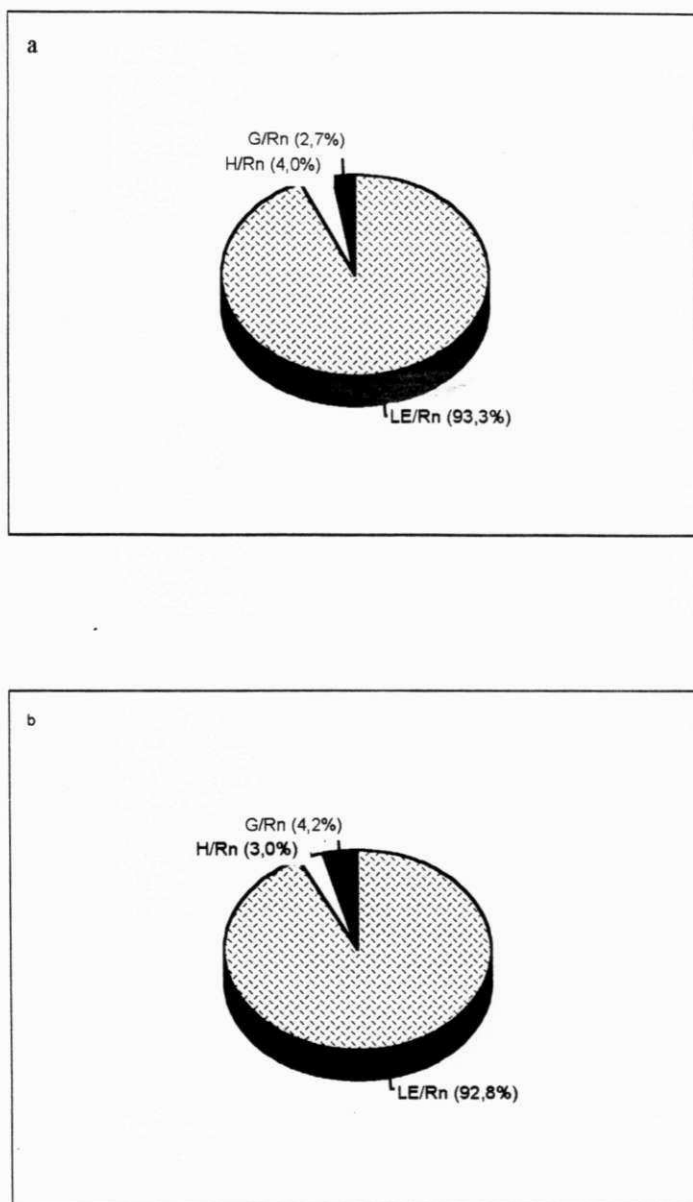


Figura 4.19 - Representação em termos de razões percentuais de cada componente do balanço de energia com relação a Rn no período de 26/06/96 a 26/07/96: (a) caatinga; (b)algaroba.

4.5 - ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL

Analisando os resultados das estimativas de evapotranspiração obtidos pelo método da Razão de Bowen, para as áreas de caatinga e algaroba, observa-se que durante o período chuvoso a área de caatinga apresentou evapotranspiração menor do que a área de algaroba. Por outro lado, após o período chuvoso, a área que apresentou maior evapotranspiração foi a área de caatinga (ver Figuras 4.20 e 4.21). Durante o período chuvoso os valores médios diários estimados foram de 4,6 e 5,1mm, respectivamente para as áreas de caatinga e algaroba. Após o período chuvoso, os valores médios diários foram de 4,7mm na área de caatinga e 4,6mm para a área de algaroba. Com base nos resultados, verifica-se que durante o período chuvoso a área de algaroba evapotranspirou 9,8% a mais que a área de caatinga, enquanto que, após o período chuvoso, a área de caatinga evapotranspirou 2,1% a mais que na área de algaroba. Os valores médios da evapotranspiração para os dois períodos estudados são mostrados na Tabela 4.9. No Apêndice B estão os valores médios diários da evapotranspiração para ambas as áreas nos dois períodos estudados e, a precipitação ocorrida durante as duas campanhas experimentais.

Fazendo uma análise individual para cada dossel, nota-se que enquanto o dossel de algaroba apresentou uma redução de 9,8% da evapotranspiração do primeiro para o segundo período, houve um aumento no segundo período na área de caatinga de 2,2%. Observa-se também que, embora a área de caatinga tenha apresentado um valor médio inferior durante o período chuvoso, em alguns dias individualmente superou os valores observados na algaroba. O mesmo aconteceu com a área de algaroba após o período chuvoso, percebe-se que o valor médio da evapotranspiração na algaroba foi um pouco inferior (0,1mm/d) a da caatinga, mas em 8 dias isolados a

evapotranspiração na algaroba superou os valores observados na caatinga.

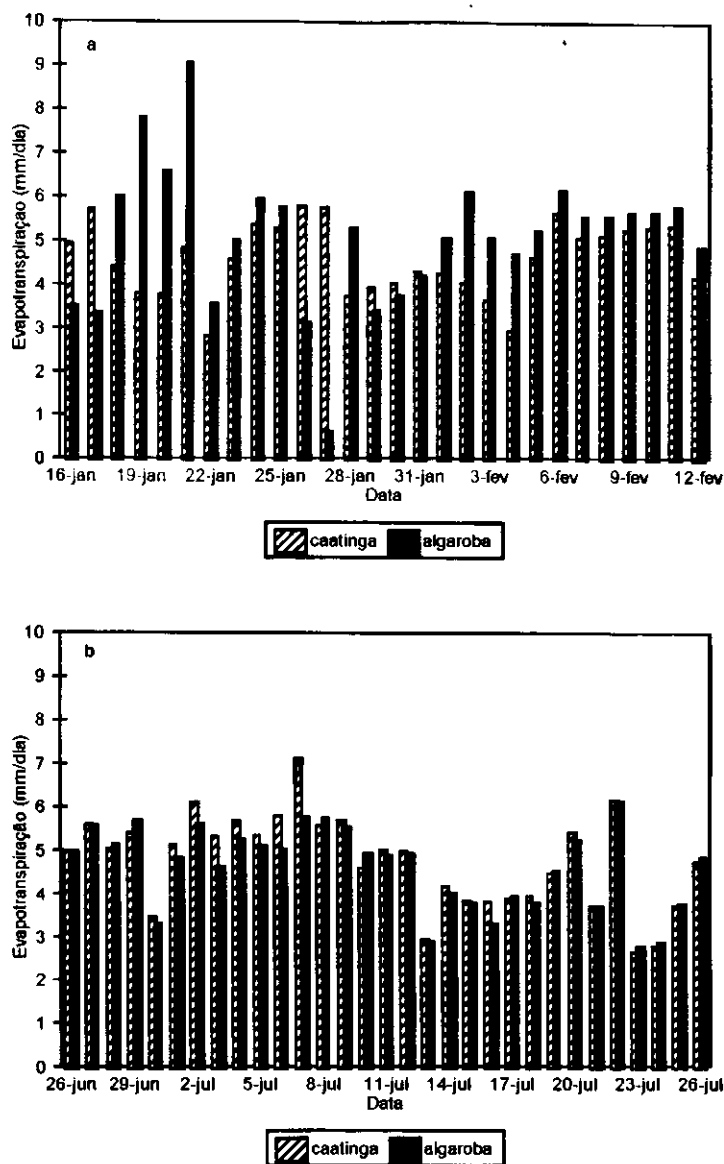


Figura 4.20 - Comparação da evapotranspiração estimada pelo método da Razão de Bowen, nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

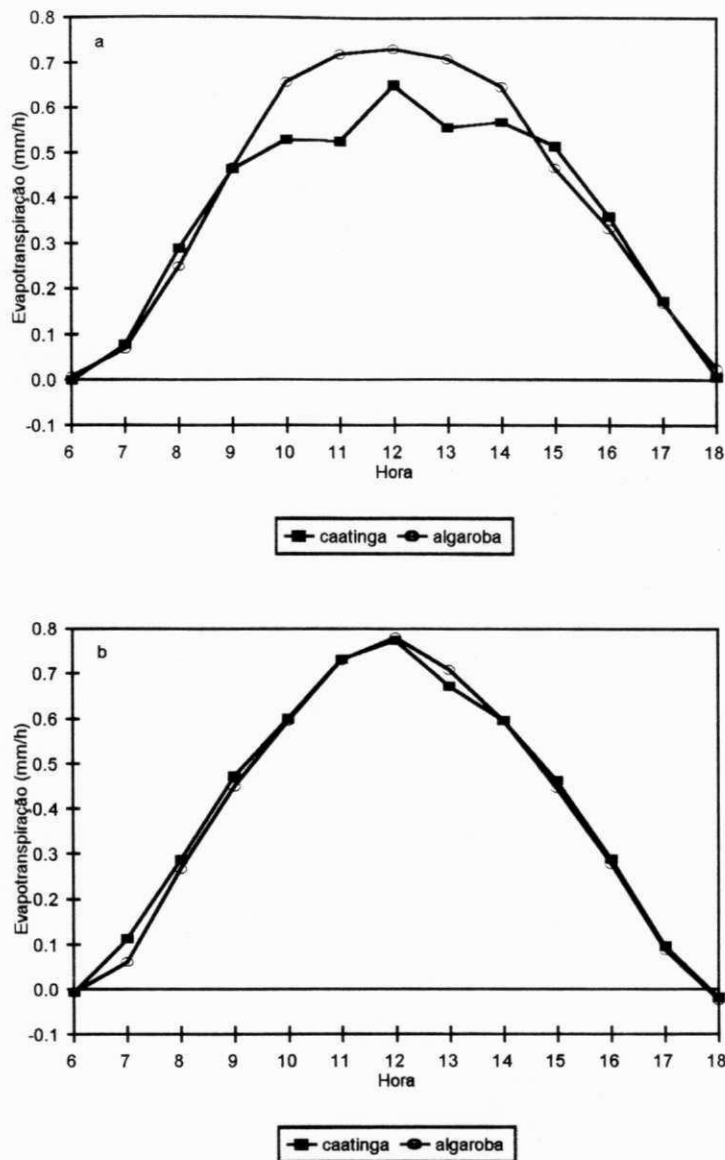


Figura 4.21 - Comparação de valores médios horários da evapotranspiração estimada pelo método da Razão de Bowen, para as áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

TABELA 4.9 - VALORES MÉDIOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO ESTIMADOS PELO MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN (mm/d), PARA AS ÁREAS DE CAATINGA E ALGAROBA, DURANTE E APÓS O PERÍODO CHUVOSO.

| ÁREA | EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÉDIA | |
|-----------|-------------------------|------|
| | Durante | Após |
| CAATINGA | 4,6 | 4,7 |
| ALGAROBA | 5,1 | 4,6 |
| DIFERENÇA | 0,5 | 0,1 |

4.6 - ANÁLISE DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

4.6.1 - TEMPERATURA DO AR

A Figura 4.22a mostra o comportamento diário da temperatura do ar à 1,5m acima dos dosséis de caatinga e algaroba, no período de 16/01/96 a 12/02/96. Observa-se que, a maior diferença entre as duas curvas ocorreu no intervalo de 12:00 às 17:00HL, com a temperatura média horária sobre a área de algaroba sendo superior em cerca de 0,9°C a da área de caatinga. Os valores máximos para as duas áreas são observados às 15:00HL e os mínimos às 6:00HL.

Após o período chuvoso, o comportamento diário da temperatura do ar é mostrada na Figura 4.22b. A maior diferença de temperatura nas duas áreas ocorreu entre 10:00HL e 16:00HL, com a temperatura na área de caatinga sendo superior à área de algaroba em cerca de 0,5°C. Percebe-se ainda que, a máxima média em relação ao período anterior, foi menor 4,2°C na área de caatinga e 5,7°C na área de algaroba, enquanto a mínima média foi menor cerca de 2,8°C e 2,7°C respectivamente nas duas áreas.

Em resumo, observa-se que, durante o período chuvoso, a temperatura do ar foi mais elevada na área de algaroba no período diurno e praticamente igual no período noturno. O inverso aconteceu após o período chuvoso, onde a temperatura do ar foi mais elevada na área de caatinga no período diurno (0,5°C) e ligeiramente superior (em média 0,3°C) a da área de algaroba no período noturno.

Analisando os dados apresentados na Tabela 4.10, verifica-se que a amplitude média diária da temperatura do ar, durante o período chuvoso, na caatinga foi de 12,2°C e após o período chuvoso foi de 10,8°C, enquanto que na área de algaroba foi de 13,5°C e 10,5°C respectivamente para os mesmos períodos. O comportamento da temperatura do ar a 1,5m acima dos dois dosséis durante os períodos estudados é dada na Figura 4.23 e Tabela 4.10.

TABELA 4.10 - VALORES MÉDIOS DA TEMPERATURA DO AR, A 1,5m ACIMA DOS DOSSÉIS DE CAATINGA E ALGAROBA.

| TEMPERATURA DO AR (°C) | CAATINGA | | | ALGAROBA | | |
|---------------------------|----------|------|------------|----------|------|------------|
| | Durante | Após | Δt | Durante | Após | Δt |
| Média diária | 28,9 | 25,8 | -3,1 | 29,2 | 25,4 | -3,8 |
| Média diurna | 31,4 | 27,8 | -3,6 | 31,8 | 27,3 | -4,5 |
| Média noturna | 26,0 | 23,5 | -2,5 | 26,0 | 23,2 | -2,8 |
| Média máxima | 35,4 | 31,2 | -4,2 | 36,3 | 30,6 | -5,7 |
| Média mínima | 23,2 | 20,4 | -2,8 | 22,8 | 20,1 | -2,7 |

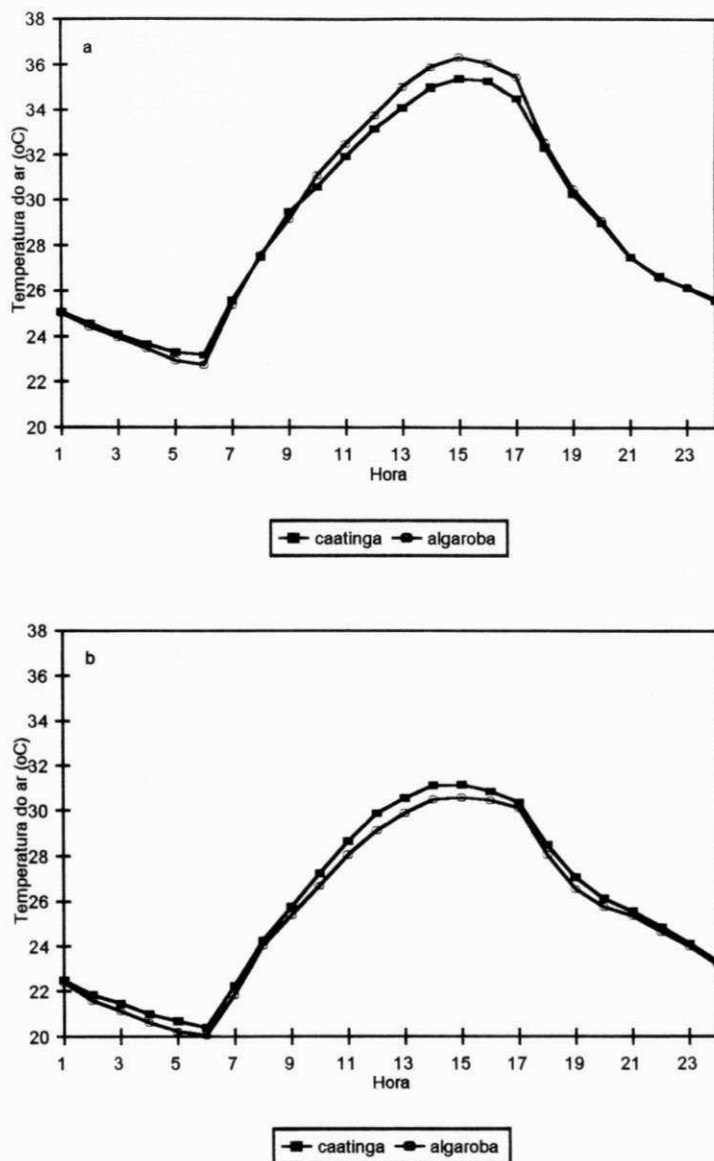


Figura 4.22 - Comportamento diário da temperatura do ar média horária a 1,5m acima dos dosséis, nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

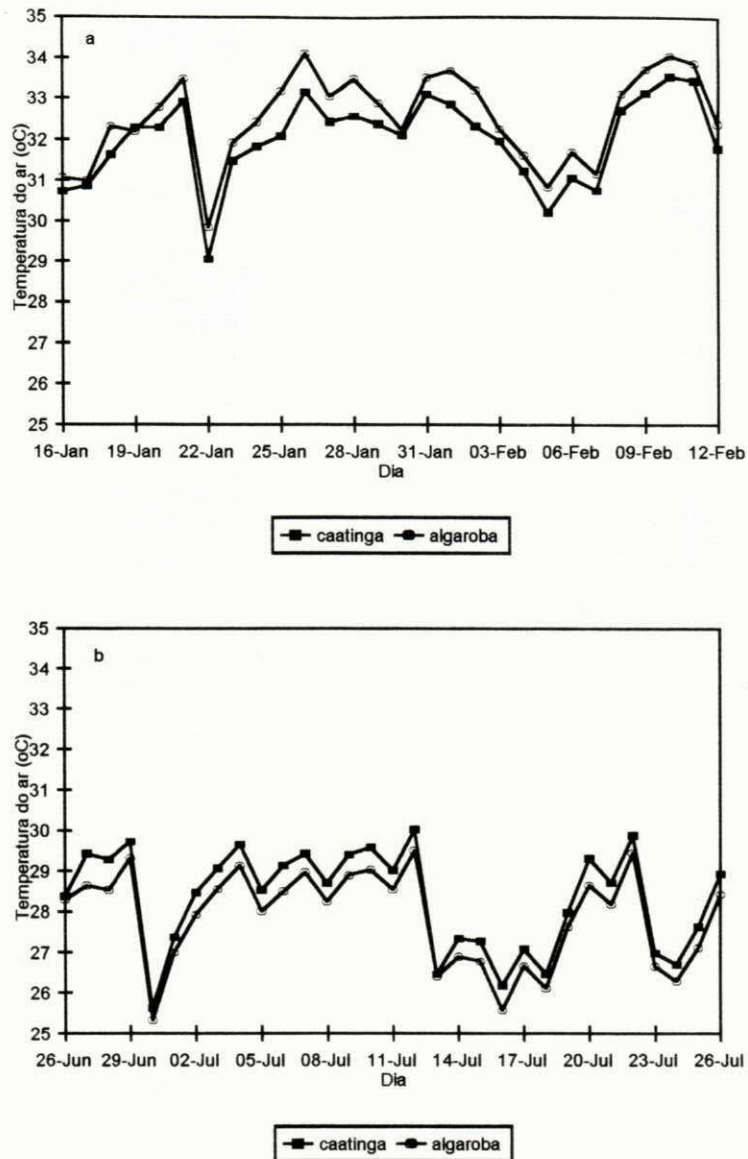


Figura 4.23 - Comportamento médio diário da temperatura do ar a 1,5m acima dos dosséis, nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

4.6.2 - TEMPERATURA DENTRO DO DOSEL

Tendo em vista que durante o período de 16/01/96 a 12/02/96, não foram efetuadas determinações de temperatura do ar dentro de ambos os dosséis e, visando obter o comportamento da mesma para este período, efetuou-se para cada dossel uma regressão entre as temperaturas do ar médias horárias dentro e sobre os dosséis, tomando-se como base os dados observados durante o período de 26/06/96 a 26/07/96. A partir destas regressões, cujos coeficientes de determinação (r^2) mostraram-se muito próximos da unidade, foram obtidas as equações que possibilitaram estimar a temperatura do ar dentro de ambos os dosséis (caatinga - $T_{dc} = -9,5 + 1,383T_{sc}$; algaroba - $T_{da} = -4,3 + 1,160T_{sa}$), onde T_{dc} e T_{sc} representam as temperaturas do ar dentro e sobre o dossel de caatinga respectivamente, enquanto que T_{da} e T_{sa} representam estas mesmas temperaturas para o dossel de algaroba. Deste modo, o comportamento diário da temperatura do ar média horária dentro dos dosséis de caatinga e algaroba no período de 16/01/96 a 12/02/96, está representado na Figura 4.24a por valores estimados em função da temperatura do ar média horária, observada sobre os respectivos dosséis. Nota-se que, a maior diferença de temperatura dentro dos dois dosséis ocorreu entre 9:00 e 16:00HL, cerca de 0,7°C em média, com a temperatura do ar média horária dentro do dossel de caatinga superior a da algaroba durante todo o dia. Os valores máximos durante o período chuvoso foram observados às 14:00HL, 36,6°C na área de caatinga e 36,2°C na área de algaroba, enquanto os mínimos foram de 23,3°C e 22,7°C às 5:00HL nas áreas de caatinga e algaroba, respectivamente.

No período de 26/06/96 a 26/07/96, o comportamento da temperatura média horária dentro de ambos os dosséis é representada na Figura 4.24b. Percebe-se que, no período

diurno a temperatura da caatinga foi superior a algaroba em cerca de 1,7°C, enquanto que no período noturno, a exemplo do que foi observado sobre os dosséis, as temperaturas são praticamente iguais nas duas áreas. A temperatura máxima é observada às 14:00HL, sendo de 33,9°C e 31,6°C, e a temperatura mínima às 6:00HL, 19,1°C e 18,7°C nas áreas de caatinga e algaroba, respectivamente.

Finalmente, observa-se que, nos dois períodos estudados, a temperatura do ar dentro dos dosséis foi mais elevada na área de caatinga no período diurno e, praticamente igual no período noturno. Isto, de certo modo demonstra uma coerência, pois a algaroba apresenta dossel menos denso do que a caatinga e o espaçamento entre as plantas é maior, com isto uma maior quantidade de vento penetra e circula no interior do dossel de algaroba, conseqüentemente a temperatura dentro deste dossel vai ser menor. Para uma melhor análise do que foi descrito acima ver Tabela 4.11.

TABELA 4.11 - VALORES MÉDIOS DA TEMPERATURA DO AR, DENTRO DOS DOSSÉIS DE CAATINGA E ALGAROBA.

| TEMPERATURA DO DOSSEL (°C) | CAATINGA | | | ALGAROBA | | |
|-------------------------------|----------|------|------------|----------|------|------------|
| | Durante | Após | Δt | Durante | Após | Δt |
| Média diária | 29,7 | 26,2 | -3,5 | 29,0 | 25,3 | -3,7 |
| Média diurna | 32,4 | 29,3 | -3,1 | 31,7 | 27,6 | -4,1 |
| Média noturna | 26,5 | 22,6 | -3,9 | 25,9 | 22,7 | -3,2 |
| Média máxima | 36,6 | 33,9 | -2,7 | 36,2 | 31,6 | -4,6 |
| Média mínima | 23,3 | 19,1 | -4,2 | 22,7 | 18,7 | -4,0 |

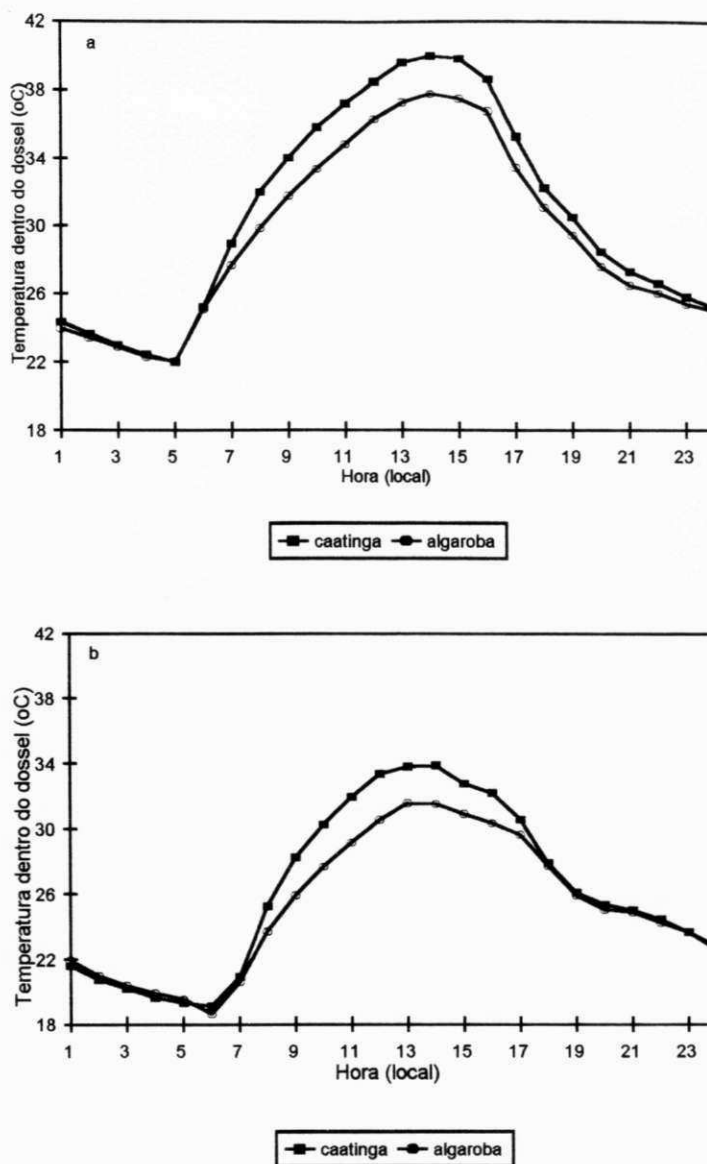


Figura 4.24 - Comportamento diário da temperatura média horária dentro dos dosséis de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

4.6.3 - VELOCIDADE DO VENTO

Os valores médios diários de velocidade do vento, a 1,5m acima dos dosséis de caatinga e algaroba para os períodos estudados, estão mostrados na Figura 4.25. Observa-se que durante o período chuvoso (ver Tabela 4.12), a área de caatinga mostrou uma velocidade média de 1,5m/s, enquanto a algaroba foi de 1,3m/s. Após o período chuvoso, as médias foram de 1,5m/s e 1,4m/s para as áreas de caatinga e algaroba, respectivamente.

Verifica-se que, durante o período chuvoso a velocidade média do vento na área de caatinga foi superior em 13,3% a da área de algaroba, enquanto que após o período chuvoso esta porcentagem cai para 6,7%. Embora os valores de 0,2 e 0,1m/s pareçam insignificantes, deve-se considerar que os valores médios de velocidade do vento, foram obtidos com cerca de 2.600.000 dados, o que representa um número extremamente significativo para se fazer uma média. É interessante salientar que, comparando a velocidade média do vento na área de caatinga nos dois períodos, observa-se não haver alteração, no entanto, a área de algaroba apresentou um aumento de 7,1%, que em média representou 0,1m/s.

TABELA 4.12 - VALORES MÉDIOS DA VELOCIDADE DO VENTO, A 1,5m ACIMA DOS DOSSÉIS DE CAATINGA E ALGAROBA.

| ÁREA | VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO (1,5m) | |
|-----------|----------------------------------|------|
| | Durante | Após |
| CAATINGA | 1,5 | 1,5 |
| ALGAROBA | 1,3 | 1,4 |
| DIFERENÇA | 0,2 | 0,1 |

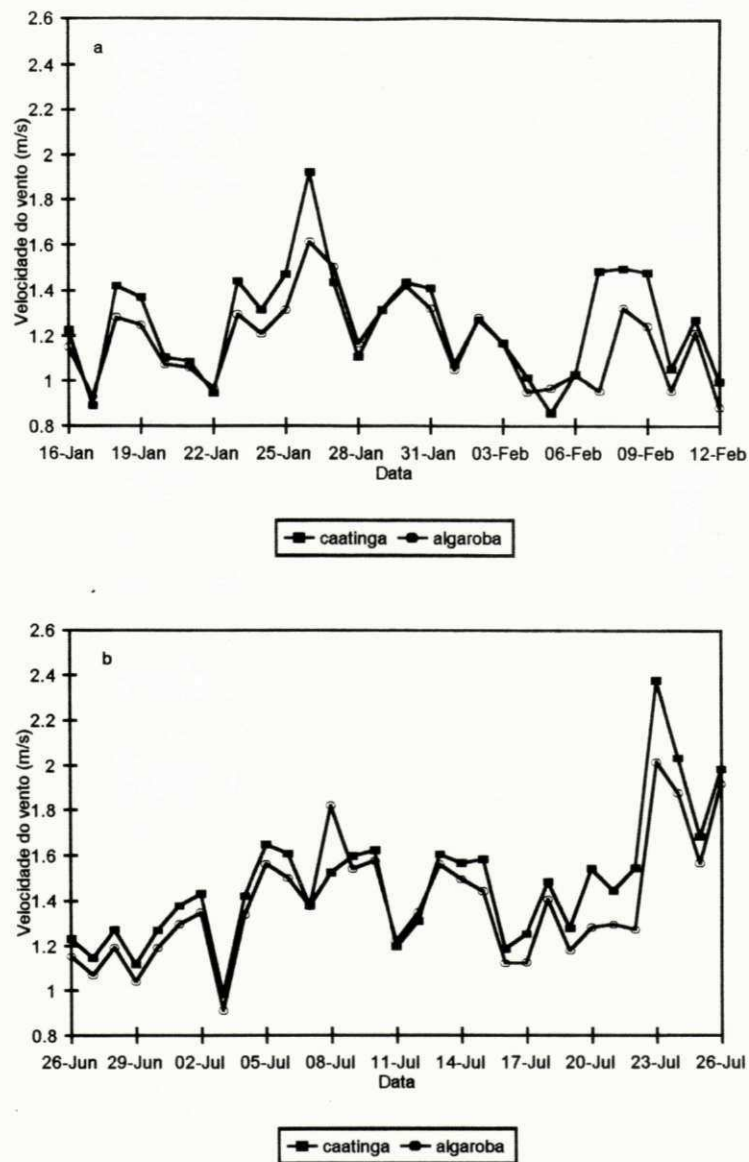


Figura 4.25 - Comportamento médio diário da velocidade do vento acima dos dosséis de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

4.6.4 - UMIDADE ESPECÍFICA

O comportamento da umidade específica para ambas as áreas, nos dois períodos estudados é mostrado na Figura 4.26. Os resultados mostram que, o comportamento médio horário da umidade específica do ar, durante o período chuvoso, foi maior sobre a área de caatinga, cerca de 9,2%, do que sobre a área de algaroba. A área de algaroba tendo um maior déficit de vapor d'água sobre o seu dossel evapotranspirou mais, confirmando o que já foi mencionado na seção 4.5. Durante o período chuvoso os valores médios horários foram de 18,5 e 16,8g/kg, respectivamente para as áreas de caatinga e algaroba. Observa-se no período noturno que, as curvas apresentam comportamentos semelhantes, no entanto, no período diurno, nota-se uma expressiva diferença entre as duas áreas, com a umidade específica na área de algaroba mantendo-se quase constante, enquanto que na área de caatinga ocorre um aumento significativo. Após o período chuvoso, a umidade específica na área de algaroba é maior 10,1% do que a área de caatinga, cujos valores médios horários foram de 13,4g/kg na área de caatinga e de 14,9g/kg na área de algaroba. Novamente observa-se um comportamento parecido, entre as duas curvas, durante a noite. A umidade específica foi sempre superior na área de algaroba. Durante o dia o comportamento foi diferente ao observado durante o período chuvoso, enquanto que a umidade específica teve um significativo aumento na área de algaroba, a área de caatinga experimentou uma leve diminuição. Observa-se na Tabela 4.13 o comportamento da umidade específica do ar para os dois períodos estudados.

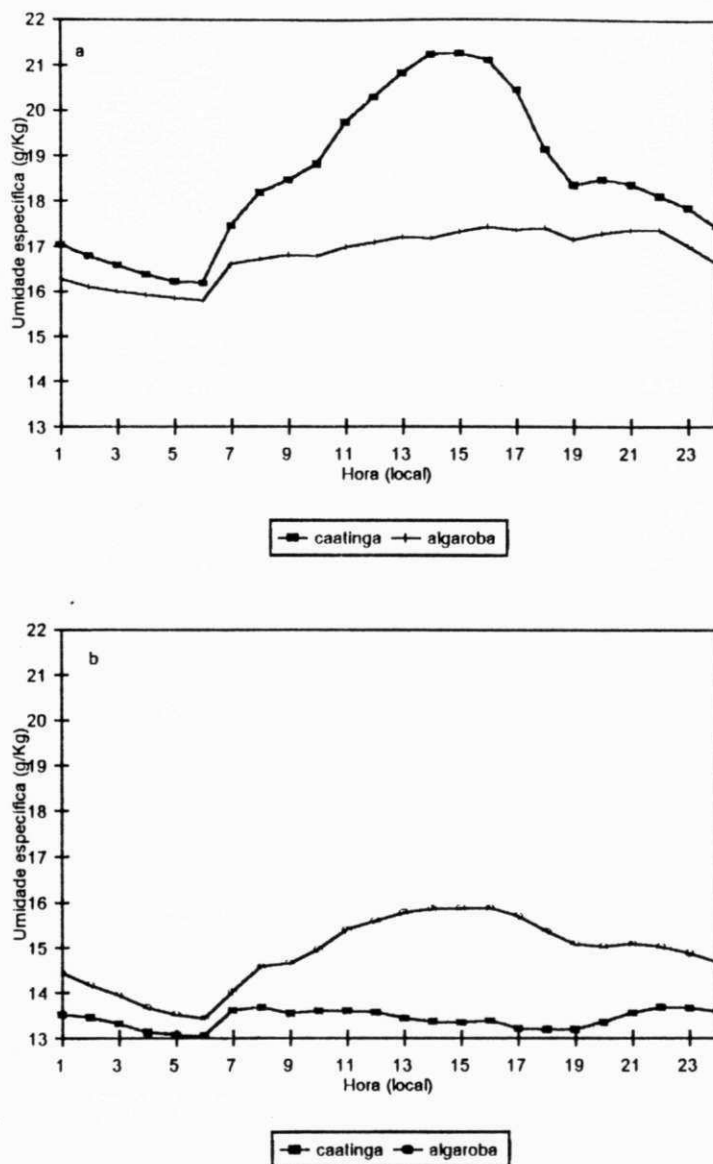


Figura 4.26 - Comportamento diário da umidade específica média horária nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

TABELA 4.13 - VALORES MÉDIOS DE UMIDADE ESPECÍFICA DO AR, A 1,5m ACIMA DOS DOSSÉIS DE CAATINGA E ALGAROBA.

| UMIDADE ESPECÍFICA (g/Kg) | CAATINGA | | ALGAROBA | |
|------------------------------|----------|------|----------|------|
| | Durante | Após | Durante | Após |
| Média diária | 18,5 | 13,4 | 16,8 | 14,9 |
| Média diurna | 19,5 | 13,4 | 17,0 | 15,2 |
| Média noturna | 17,4 | 13,4 | 16,6 | 14,5 |
| Média máxima | 21,3 | 13,7 | 17,5 | 15,9 |
| Média mínima | 16,2 | 13,1 | 15,8 | 13,4 |

4.6.5 - UMIDADE RELATIVA

O comportamento médio horário da umidade relativa para as áreas de caatinga e algaroba, durante e após o período chuvoso, é mostrado na Figura 4.27. Observa-se que, durante o período chuvoso, a umidade relativa é superior na área de caatinga, conseqüentemente o déficit de saturação é menor sobre esta área, com isto, menos água foi transferida do dossel de caatinga para a atmosfera, o que vem a confirmar uma menor evapotranspiração sobre a área da caatinga em relação a área da algaroba neste período. Fato semelhante pode ser observado após o período chuvoso, quando a umidade relativa é superior na área de algaroba, notando-se também uma menor evapotranspiração na área de algaroba em relação a área de caatinga, comentado na seção 4.5. Na Tabela 4.14, observa-se a umidade relativa a 1,5m acima de ambos os dosséis para os períodos estudados.

TABELA 4.14 - VALORES MÉDIOS DE UMIDADE RELATIVA DO AR, A 1,5m ACIMA DOS DOSSÉIS DE CAATINGA E ALGAROBA.

| UMIDADE RELATIVA (%) | CAATINGA | | ALGAROBA | |
|-------------------------|----------|------|----------|------|
| | Durante | Após | Durante | Após |
| Média diária | 73,6 | 65,0 | 67,4 | 72,8 |
| Média diurna | 67,0 | 58,0 | 58,2 | 66,5 |
| Média noturna | 81,5 | 73,3 | 78,2 | 80,3 |
| Média máxima | 89,3 | 85,6 | 89,6 | 89,4 |
| Média mínima | 57,7 | 46,3 | 45,0 | 56,8 |

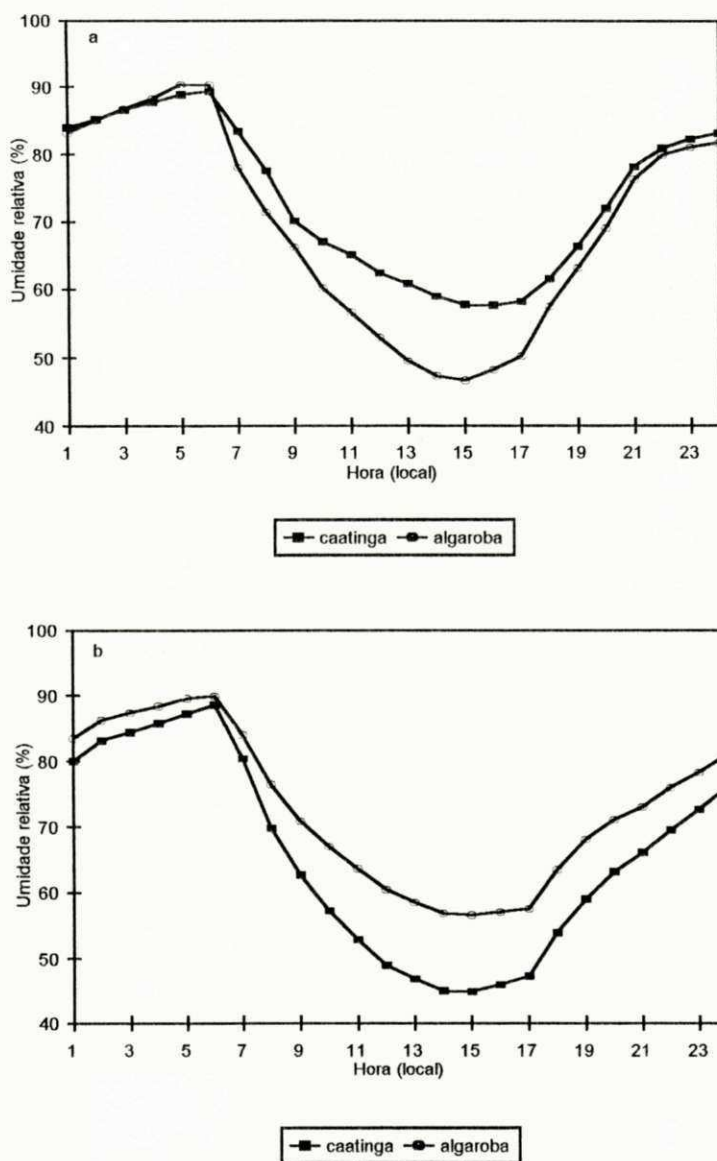


Figura 4.27 - Comportamento diário da umidade relativa média horária nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período de 16/01/96 a 12/02/96; (b) período de 26/06/96 a 26/07/96.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Como conclusões desta pesquisa que caracteriza os microclimas nas áreas de caatinga e algaroba na região semi-árida, durante os dois períodos estudados, são enunciadas as seguintes afirmações:

- A equação que melhor estimou a radiação de ondas longas proveniente da atmosfera ($L\downarrow$), durante o período chuvoso em ambas as áreas, foi a de Brunt. Contudo, após o período chuvoso, a equação de Satterlund foi a que melhor estimou $L\downarrow$ sobre a área de caatinga, e a equação de Idso para a área de algaroba;

- O albedo na área de caatinga sofreu uma redução bastante significativa do primeiro para o segundo período, fato que nos leva a acreditar na possibilidade de uma variação ainda mais acentuada, no período em que este dossel perde toda a folhagem;

- O fluxo de calor sensível (H), embora relativamente pequeno, apresentou-se bem mais acentuado na área de caatinga durante o período chuvoso, cerca de 2,9 vezes o observado na área de algaroba, enquanto que após o período chuvoso foi apenas de 1,3 vezes;

- Após o período chuvoso, quase toda a energia disponível, nos dois dosséis, foi usada como fluxo de calor

latente para transferir vapor d'água da superfície para a atmosfera;

- A média diária de evapotranspiração, durante o período chuvoso, estimada pelo método da Razão de Bowen, foi maior (0,5mm/dia) na área de algaroba do que na área de caatinga. Após o período chuvoso, a evapotranspiração foi maior na área de caatinga (0,1mm/dia) do que a observada na área de algaroba;

- A temperatura do ar dentro do dossel em ambos os períodos estudados, foi mais elevada na área de caatinga durante o dia e, praticamente igual nos dois dosséis durante a noite;

- A umidade relativa, foi superior na área de caatinga durante o período chuvoso, entretanto, após este período foi superior na área de algaroba, o que mostra coerência com as estimativas da evapotranspiração, pois o déficit de saturação do ar foi maior na área de algaroba durante o período chuvoso, enquanto após o período chuvoso foi maior na área de caatinga;

- Devido a escassez de água na região semi-árida do Nordeste brasileiro, é desaconselhável o reflorestamento com algaroba próximo a fontes de água, pois ela atua com maior eficiência em transferir água do subsolo para a atmosfera. O reflorestamento com algaroba deve ser feito preferencialmente em locais onde seja difícil o plantio da vegetação nativa;

- Considerando que o dossel de caatinga, ao longo do ano, sofre mudanças significativas em suas condições superficiais, o que certamente interfere diretamente em vários parâmetros micrometeorológicos, faz-se necessário que novas campanhas de coletas de dados sejam realizadas ao longo de todo ano, em especial no período mais seco, meses de outubro e novembro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVALÁ, R. C. dos S. **Estudo da partição de energia em terrenos complexos (áreas desflorestadas e florestas)** (tese de doutorado). INPE, São José dos Campos, São Paulo, 36p, Novembro 1993.
- ALVES, A. Q. **Alagaroba: uma experiência válida**. João Pessoa, Secretaria da Agricultura. Indústria e Comércio, 1972. 20p.
- ANDRÉ, R. G. B.; SILVA FILHO, V. P.; MOLION, L. C. B.; NOBRE, C. A. Balanço de radiação sobre a Floresta Amazônica (estação seca e úmida). **Revista Brasileira de Meteorologia** 3:269-274, 1988.
- ANGUS, D. E.. WATTS. P. J. **Evapotranspiration. How good is the Bowen ratio method**. Agric. Water Magaf., 8.133-150, 1984.
- AZEVEDO, G. Algaroba. Rio de Janeiro, **Serviço de Informação Agrícola**, 1961. 31p. (SIA, 843).
- AZEVEDO, G. de. Pastos arbóreos. Rio de Janeiro, **Serviço de Informação Agrícola**, 1959. 32p. il. (SIA, 791).
- AZEVEDO, P. V., LEITÃO, M. M. V. B. R., SOUZA, I. F. & MACIEL, G. F. Balanço de Radiação Sobre Culturas Irrigadas no Semi-Árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**; Vol. 5(1), 403-410, 1990.
- AZEVEDO, P. V., SILVA, B. B.; SOBRINHO, J. E.; NETTO, J. A.; PONTES, E. G. S. Balanço de radiação em caatinga vo semi-árido nordestino. IX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, **Anais...** Campina Grande, Paraíba, 44p, Julho 1995.

- BASTABLE, H. G.; GASH, J. H. C.; SHUTTLEWORTH, W. J.; NOBRE, C. A.; FISCH, G. Observations of climate, surface radiation and albedo over cleared and undisturbed amazonian forest. **International Journal of Climatology**. 1992.
- BOSILOVICH, M. G. & SUN, W. **Formulation and Verification of a Land Surface Parameterization for Atmospheric Models**. Purdue University, East Lafayette, IN, USA. 321-341, 1994.
- BOWEN, I. S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Phys. Rev. Ser. 2**, Ithaca, 1926, 27:779-787.
- BRAGA, R. Plantas do Nordeste: especialmente do Ceará. 3 ed. Fortaleza, **Departamento Nacional de Obras Contra Secas**, 1976. 540p.
- BRUNT, P. **Notes on radiatiation in the atmosphere**. **Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.** 58: 389-418, 1932.
- CAHOON, J. E., COSTELLO, T. A. and FERGUSO, J. A. Estimating Pan Evaporation Using Limited Meteorological Observations. **Agric. For. Meteorol.**, 55: 181-190, 1990.
- CASSARDO, C., Ji, J. J. & LONGHETTO, A. **A Study of the Performance of a Land Surface Process Model (LSPM)**, 1994.
- CHANG, J. H. **Climat and agriculture**. Chicago, Aldine, 1968. 256p.
- CHAVES, J. G.; LEOPOLDO, P. R.; FRANKEN, W. K. Comportamento do balanço de energia solar em épocas seca e chuvosa na Floresta Amazônica. XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1993. **Anais...Ilhéus, Bahia**. V.II, p. 691-698.

- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**, nº 33 UFPB-1994.
- FEITOSA, J. R. P., **Um Estudo Sobre Balanço de Energia e Evapotranspiração em Área de Pastagem e de Floresta Densa na Amazônia** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia). Campina Grande - Pb, maio de 1996.
- FONTANA, D. C. **Determinação da Evapotranspiração**. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.) **Agrometeorologia Aplicada à Irrigação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/ UFRGS. 1992. Cap 4, p.48-61.
- FISCH, G. **Camada limite Amazônica. Aspectos observacionais e de modelagem** (tese de doutorado). INPE, São José dos Campos, São Paulo, Apêndice C, 155p, Janeiro 1996.
- FRITSCHEN, L. J. Accuracy of Evapotranspiration Determinations by the Bowen Ratio Method. **Journal of Applied Meteorology**, 3:38-48, 1965.
- FUCHS M.. TANNER. C. B. Error analysis of Bowen ratio measured by differential psychrometry. **Agric. Meteorol.** 7.329-334, 1970.
- GOMES, P. A algarobeira. Rio de Janeiro, **Serviço de Informação Agrícola**, 1961. 49p. (SIA,865).
- GOMES, R. P. **Forragens fartas na seca**. São Paulo, Nobel, 1977.99p.
- IDSO, S. B. On the Use of Equations to Estimate Atmospheric Termal Radiation. **Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B**, 22, 287-299, 1973.

- IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; REGINATO, R. J.; KIMBALL, B. A.; NAKAYAMA, F. S. The dependence of bare soil albedo on soil water content. *Journal of Applied Meteorology*, 14: 102-13. 1975.
- IDSO, S. B.; JACKSON, R. D. Thermal Radiation from the Atmosphere. *J. Geophys. Res.*, 74:5397- 5403, 1969.
- LEITÃO, M. M. V. B. R., **Balço de Radiação em Três Ecossistemas da Floresta Amazônica: Campina, Campinarana e Mata Densa** (Tese de Doutorado em Meteorologia). INPE, São José dos Campos - SP, outubro 1994.
- LIMA, P. C. F.; **Algaroba uma das Alternativas do Nordeste.** *Brasil Floresta*, n 28, abr.mai.jun. 1984. Proc. 7th. 1,203-209. Madson Wisconson.
- MATZENAUER, R., **Evapotranspiração de Plantas Cultivadas e Coeficientes de Cultura.** In: Bergamaschi, H. (Coord.) *Agrometeorologia Aplicada à Irrigação.* Porto Alegre: Ed. da Universidade/ UFRGS. 1992. Cap 3, p.31-39.
- PUKKALA, T.; BECKER, P.; KUULUVAINEN, T. and OKER-BLOM, P. Predicting Spatial Distribution of Direct Radiation Below Forest Canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 55 (1991) 295-307.
- RIBEIRO, J. B. M., **Análise Comparativa das Características Microclimáticas entre Áreas de Floresta e de Pastagem na Amazônia** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia). Viçosa-MG, julho 1994.
- ROSEMBERG, N. J.; BLAD, B. L. and Verma, S. B. **Microclimate: The Biological Environment.** Sec. edition. John Willey & Sons. New York, 495p. 1983.

- SANTOS, J. M., Radiação de Onda Longa Utilizando Observações de Superfície na Região de Tucuruí - Pará. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Instituto Agrônomo, **Boletim Técnico nº 4** (1984), Campinas - SP.
- SATTERLUND, D.R., **An improved equation for estimating long-wave radiation from the atmosphere.** Water Resources Res., 15: 1649-1650, 1979.
- SHUTTEWORTH, W. J.; GASH, J. H. C.; LLOYD, C. R.; MOORE, C. J.; ROBERTS, J.; MARQUES, A. de O.; FISCH, G. F.; SILVA, V. de P.; RIBEIRO, M. N. G.; MOLION, L. C. B.; SÁ, L. D. A.; NOBRE, C. A.; CABRAL, O. M. R.; PATEL, S. R.; MORAES, J. C. Eddy correlation measurements of energy partition for amazonian forest. **Quartely Journal of Meteorological Society**, 40:102-8, 1984.
- SWINBANK, W. C. Longwave Radiation from Clear Skies. **Quart. J. R. Meteor. Soc**, 9:339-348, 1963.
- TANNER. C. B. **Measurement of evapotranspiration.** In: irrigation of agricultural Lands. 534-574. M. Hagan et al. (ed). ASA. Madson Wisconsin, 1967.
- TANNER. C. B. **A simple aero-heat budget method for determining daily evapotranspiration.** Int. Congr. Soil Sci, 1960.
- VILLAGRA, M. M., BACCHI, O. O. S., TUON, R. L. & REICHARDT, K., Difficulties of Estimating Evapotranspiration from the Water Balance Equation. **Agricultural and Forest Meteorology** 72 (1995) 317-325.

VISWANADHAM, y., SÁ, L. D. A., FILHO, V. P. S. & MANZI, A. O.
Ratios of eddy Transfer Coefficients Over the Amazon
Forest. **Forest Hydrology and Watershed Management -
Hydrologie**, 1987.

WRIGHT, I. R.; GASH, J. H. C.; ROCHA, H. R.; SHUTTLEWORTH, W.
J.; NOBRE, C. A.; CARVALHO, P. R. A.; LEITÃO, G. T.;
MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. G. P. Dry Season
Micrometeorology of Amazonian Ranchland. **Quartely Journal of
the Royal Meteorological Society**, 1992.

APÊNDICE A

Nas Tabelas a seguir, são apresentados os valores médios diários dos componentes do balanço de energia, para as áreas de caatinga e algaroba, durante e após o período chuvoso.

TABELA A.1 - COMPARAÇÃO DE VALORES MÉDIOS DIÁRIOS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA (W/m^2), PARA AS ÁREAS DE CAATINGA E ALGAROBA, DURANTE O PERÍODO CHUVOSO.

| DIAS | CAATINGA | | | | ALGAROBA | | | |
|----------|----------|-------|-------|------|----------|-------|--------|------|
| | Rn | LE | H | G | Rn | LE | H | G |
| 16/01/96 | 239,2 | 293,1 | -67,8 | 13,9 | 220,6 | 197,9 | 2,4 | 20,3 |
| 17/01/96 | 257,2 | 339,1 | -98,9 | 17,0 | 234,5 | 188,2 | 20,1 | 26,1 |
| 18/01/96 | 377,1 | 261,3 | 103,4 | 12,4 | 363,1 | 337,1 | -20,3 | 46,3 |
| 19/01/96 | 320,5 | 225,6 | 74,4 | 20,6 | 312,1 | 438,3 | -145,2 | 19,0 |
| 20/01/96 | 320,5 | 224,1 | 75,9 | 20,6 | 352,8 | 369,8 | -64,5 | 47,6 |
| 21/01/96 | 401,6 | 286,7 | 90,3 | 24,5 | 406,2 | 507,8 | -153,5 | 51,8 |
| 22/01/96 | 318,7 | 168,3 | 151,9 | -1,4 | 303,2 | 200,8 | 97,0 | 5,4 |
| 23/01/96 | 383,5 | 270,9 | 98,4 | 14,2 | 392,3 | 282,0 | 84,8 | 25,6 |
| 24/01/96 | 415,3 | 318,3 | 74,4 | 22,5 | 421,1 | 333,2 | 30,6 | 57,4 |
| 25/01/96 | 411,1 | 313,8 | 76,9 | 20,4 | 402,6 | 323,2 | 16,1 | 63,4 |
| 26/01/96 | 437,4 | 343,5 | 67,8 | 26,1 | 427,9 | 176,0 | 188,3 | 63,5 |
| 27/01/96 | 422,1 | 341,1 | 57,5 | 23,5 | 48,9 | 34,2 | 2,3 | 12,5 |
| 28/01/96 | 307,2 | 222,8 | 70,8 | 13,6 | 355,3 | 297,1 | 17,0 | 41,2 |
| 29/01/96 | 319,9 | 234,2 | 69,0 | 16,7 | 337,8 | 191,4 | 108,7 | 37,7 |
| 30/01/96 | 329,5 | 239,4 | 76,2 | 13,9 | 305,8 | 210,6 | 65,4 | 29,8 |
| 31/01/96 | 343,9 | 254,8 | 71,3 | 17,8 | 343,5 | 234,9 | 71,6 | 36,9 |
| 01/02/96 | 364,9 | 252,8 | 94,9 | 17,2 | 381,6 | 283,7 | 54,5 | 43,4 |
| 02/02/96 | 392,7 | 239,5 | 135,3 | 17,9 | 403,7 | 343,2 | 20,4 | 40,1 |
| 03/02/96 | 358,7 | 218,1 | 124,1 | 16,6 | 329,7 | 285,2 | 16,8 | 27,7 |
| 04/02/96 | 297,4 | 175,3 | 121,1 | 0,9 | 289,9 | 264,3 | 7,6 | 18,0 |
| 05/02/96 | 329,4 | 275,0 | 51,2 | 3,1 | 305,5 | 294,6 | 9,2 | 1,7 |
| 06/02/96 | 384,0 | 335,0 | 45,3 | 3,7 | 376,9 | 345,4 | 21,4 | 10,1 |
| 07/02/96 | 343,6 | 302,3 | 38,5 | 2,8 | 336,1 | 311,9 | 16,7 | 7,5 |
| 08/02/96 | 372,4 | 303,8 | 39,5 | 29,2 | 379,6 | 311,5 | 19,2 | 48,9 |
| 09/02/96 | 401,3 | 311,8 | 50,3 | 39,2 | 388,6 | 315,5 | 11,6 | 61,5 |
| 10/02/96 | 405,8 | 315,4 | 55,5 | 34,9 | 383,6 | 316,4 | 14,6 | 52,7 |
| 11/02/96 | 403,7 | 316,8 | 60,8 | 26,2 | 389,0 | 323,8 | 16,7 | 48,5 |
| 12/02/96 | 321,3 | 247,6 | 57,8 | 16,0 | 317,6 | 272,8 | 10,2 | 34,6 |

TABELA A.2 - COMPARAÇÃO DE VALORES MÉDIOS DIÁRIOS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA (W/m^2), PARA AS ÁREAS DE CAATINGA E ALGAROBA, APÓS O PERÍODO CHUVOSO.

| DIAS | CAATINGA | | | | ALGAROBA | | | |
|----------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|------|------|
| | Rn | LE | H | G | Rn | LE | H | G |
| 26/06/96 | 300,6 | 295,1 | -3,7 | 9,2 | 296,6 | 270,1 | 15,1 | 11,4 |
| 27/06/96 | 338,7 | 333,1 | -4,6 | 10,3 | 335,9 | 301,7 | 20,4 | 13,8 |
| 28/06/96 | 305,7 | 300,2 | -4,0 | 9,6 | 301,3 | 277,4 | 12,1 | 11,8 |
| 29/06/96 | 326,7 | 322,2 | -5,4 | 10,0 | 339,0 | 306,8 | 18,2 | 14,0 |
| 30/06/96 | 194,4 | 207,5 | -16,0 | 3,0 | 195,8 | 179,6 | 11,5 | 4,6 |
| 01/07/96 | 292,3 | 305,7 | -22,1 | 8,7 | 289,8 | 261,6 | 14,4 | 13,7 |
| 02/07/96 | 347,2 | 364,3 | -27,9 | 10,9 | 344,9 | 303,3 | 22,7 | 18,9 |
| 03/07/96 | 303,9 | 316,7 | -21,5 | 8,7 | 394,5 | 250,0 | 26,3 | 18,1 |
| 04/07/96 | 328,5 | 338,3 | -21,2 | 11,4 | 320,0 | 283,9 | 16,2 | 20,0 |
| 05/07/96 | 308,8 | 318,8 | -19,6 | 9,5 | 315,6 | 276,2 | 26,4 | 13,0 |
| 06/07/96 | 330,6 | 344,9 | -25,1 | 10,8 | 311,5 | 271,4 | 27,8 | 12,3 |
| 07/07/96 | 359,0 | 423,5 | -78,2 | 13,7 | 338,3 | 312,2 | 12,4 | 13,7 |
| 08/07/96 | 341,2 | 331,8 | -2,3 | 11,8 | 337,9 | 310,0 | 14,8 | 13,1 |
| 09/07/96 | 347,0 | 338,8 | -3,9 | 12,1 | 343,3 | 299,1 | 30,4 | 13,8 |
| 10/07/96 | 281,6 | 273,4 | -3,7 | 11,9 | 303,6 | 267,0 | 23,2 | 13,4 |
| 11/07/96 | 302,3 | 298,1 | -3,3 | 7,5 | 309,0 | 263,5 | 33,9 | 11,7 |
| 12/07/96 | 288,9 | 296,7 | -5,4 | -1,9 | 286,0 | 265,9 | 15,0 | 5,0 |
| 13/07/96 | 175,5 | 175,7 | 2,8 | -3,0 | 176,9 | 256,7 | 16,8 | 3,5 |
| 14/07/96 | 250,3 | 249,0 | 0,0 | 1,3 | 238,4 | 218,3 | 13,6 | 6,6 |
| 15/07/96 | 240,3 | 228,1 | 3,4 | 8,9 | 242,7 | 205,6 | 26,9 | 10,2 |
| 16/07/96 | 236,9 | 228,0 | 1,7 | 7,3 | 224,9 | 179,9 | 37,9 | 7,1 |
| 17/07/96 | 232,6 | 232,0 | 2,7 | -2,1 | 228,5 | 213,6 | 12,6 | 2,4 |
| 18/07/96 | 246,0 | 236,0 | 1,2 | 8,8 | 247,1 | 205,9 | 31,3 | 9,9 |
| 19/07/96 | 258,6 | 267,1 | 11,4 | -19,9 | 259,2 | 245,2 | 9,0 | 5,0 |
| 20/07/96 | 334,2 | 322,4 | 2,0 | 9,8 | 305,7 | 283,3 | 14,0 | 9,4 |
| 21/07/96 | 233,9 | 221,3 | 1,7 | 10,8 | 224,2 | 200,4 | 11,1 | 12,7 |
| 22/07/96 | 378,4 | 366,0 | -2,2 | 14,6 | 354,1 | 331,2 | 4,4 | 18,6 |
| 23/07/96 | 165,7 | 157,2 | 1,1 | 7,4 | 161,6 | 149,5 | 3,0 | 9,1 |
| 24/07/96 | 172,9 | 165,2 | 0,4 | 7,2 | 169,0 | 155,6 | 4,6 | 8,9 |
| 25/07/96 | 231,9 | 222,3 | 0,4 | 9,2 | 230,7 | 203,9 | 14,8 | 12,0 |
| 26/07/96 | 296,1 | 281,5 | 1,6 | 12,9 | 294,4 | 261,8 | 16,0 | 16,5 |

APÊNDICE B

Nas Tabelas e Figura a seguir, são apresentados os valores médios diários da evapotranspiração para as áreas de caatinga e algaroba, em ambos os períodos estudados e, a precipitação ocorrida nas duas campanhas experimentais.

TABELA B.1 - VALORES MÉDIOS DIÁRIOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO ESTIMADOS PELO MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN (mm/d), PARA AS ÁREAS DE CAATINGA E ALGAROBA, DURANTE O PERÍODO CHUVOSO.

| DIAS | CAATINGA | ALGAROBA |
|----------|----------|----------|
| 16/01/96 | 4,9 | 3,5 |
| 17/01/96 | 5,7 | 3,4 |
| 18/01/96 | 4,4 | 6,0 |
| 19/01/96 | 3,8 | 7,8 |
| 20/01/96 | 3,8 | 6,6 |
| 21/01/96 | 4,8 | 9,1 |
| 22/01/96 | 2,8 | 3,6 |
| 23/01/96 | 4,6 | 5,0 |
| 24/01/96 | 5,4 | 5,9 |
| 25/01/96 | 5,3 | 5,8 |
| 26/01/96 | 5,8 | 3,1 |
| 27/01/96 | 5,8 | 0,6 |
| 28/01/96 | 3,8 | 5,3 |
| 29/01/96 | 3,9 | 3,4 |
| 30/01/96 | 4,0 | 3,8 |
| 31/01/96 | 4,3 | 4,2 |
| 01/02/96 | 4,3 | 5,1 |
| 02/02/96 | 4,0 | 6,1 |
| 03/02/96 | 3,7 | 5,1 |
| 04/02/96 | 3,0 | 4,7 |
| 05/02/96 | 4,6 | 5,3 |
| 06/02/96 | 5,6 | 6,2 |
| 07/02/96 | 5,1 | 5,6 |
| 08/02/96 | 5,1 | 5,6 |
| 09/02/96 | 5,3 | 5,6 |
| 10/02/96 | 5,3 | 5,7 |
| 11/02/96 | 5,3 | 5,8 |
| 12/02/96 | 4,2 | 4,9 |
| Média | 4,6 | 5,1 |

TABELA B.2 - VALORES MÉDIOS DIÁRIOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO ESTIMADOS PELO MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN (mm/d), PARA AS ÁREAS DE CAATINGA E ALGAROBA, APÓS O PERÍODO CHUVOSO.

| DIAS | CAATINGA | ALGAROBA |
|----------|----------|----------|
| 26/06/96 | 5,0 | 5,0 |
| 27/06/96 | 5,6 | 5,6 |
| 28/06/96 | 5,0 | 5,1 |
| 29/06/96 | 5,4 | 5,7 |
| 30/06/96 | 3,5 | 3,3 |
| 01/07/96 | 5,1 | 4,8 |
| 02/07/96 | 6,1 | 5,6 |
| 03/07/96 | 5,3 | 4,6 |
| 04/07/96 | 5,7 | 5,3 |
| 05/07/96 | 5,4 | 5,1 |
| 06/07/96 | 5,8 | 5,0 |
| 07/07/96 | 7,1 | 5,8 |
| 08/07/96 | 5,6 | 5,7 |
| 09/07/96 | 5,7 | 5,5 |
| 10/07/96 | 4,6 | 4,9 |
| 11/07/96 | 5,0 | 4,9 |
| 12/07/96 | 5,0 | 4,9 |
| 13/07/96 | 2,9 | 2,9 |
| 14/07/96 | 4,2 | 4,0 |
| 15/07/96 | 3,8 | 3,8 |
| 16/07/96 | 3,8 | 3,3 |
| 17/07/96 | 3,9 | 3,9 |
| 18/07/96 | 4,0 | 3,8 |
| 19/07/96 | 4,5 | 4,5 |
| 20/07/96 | 5,4 | 5,2 |
| 21/07/96 | 3,7 | 3,7 |
| 22/07/96 | 6,2 | 6,1 |
| 23/07/96 | 2,6 | 2,8 |
| 24/07/96 | 2,8 | 2,9 |
| 25/07/96 | 3,7 | 3,8 |
| 26/07/96 | 4,7 | 4,8 |
| Média | 4,7 | 4,6 |

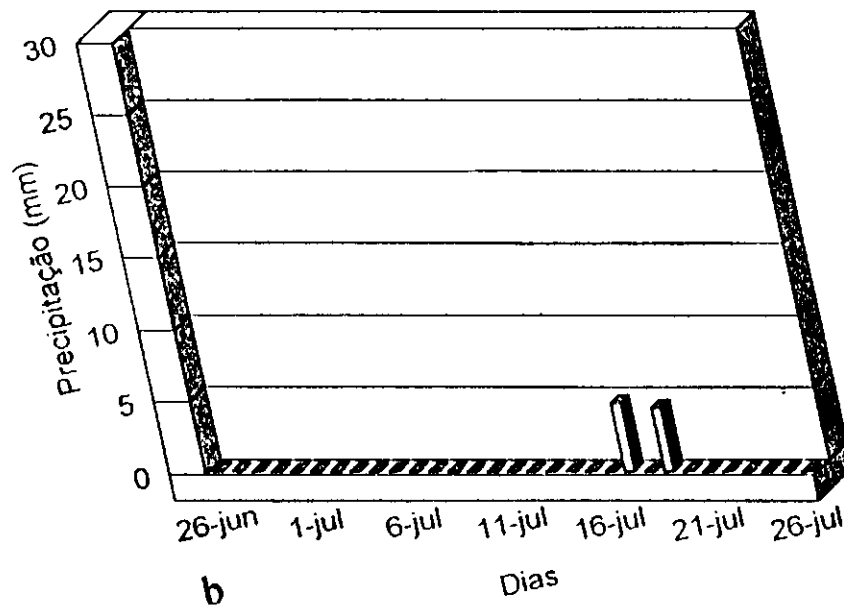
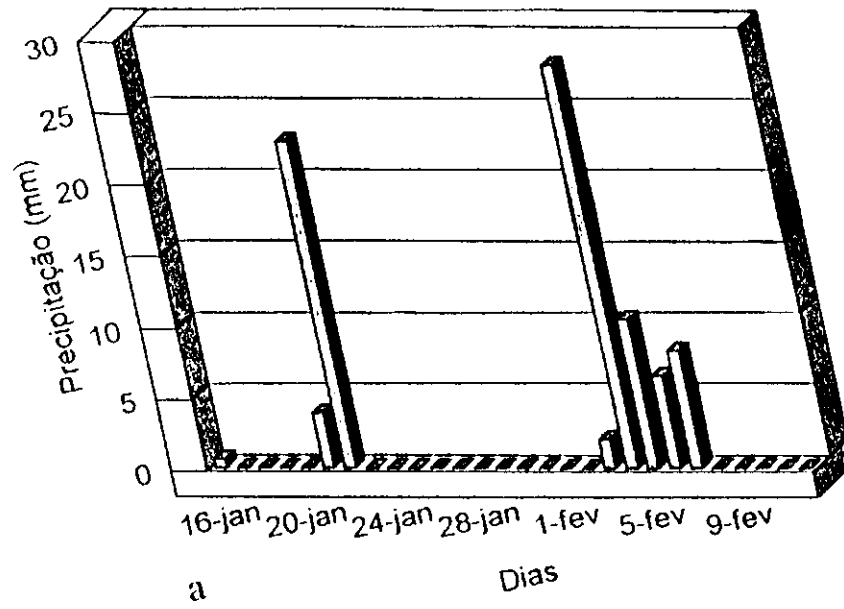


Figura B1 - Comportamento da precipitação média diária nos dois períodos estudados: (a) durante o período chuvoso; (b) após o período chuvoso.

APÊNDICE C

Nas Tabelas a seguir, são apresentadas as médias diárias, diurnas, noturnas, máximas e mínimas, da temperatura do ar, umidade específica e umidade relativa a 0,5m acima dos dosséis de caatinga e algaroba, em ambos os períodos estudados.

TABELA C.1 - VALORES MÉDIOS DA TEMPERATURA DO AR, A 0,5m ACIMA DOS DOSSÉIS DE CAATINGA E ALGAROBA.

| TEMPERATURA DO AR (°C) | CAATINGA | | ALGAROBA | |
|---------------------------|----------|------|----------|------|
| | Durante | Após | Durante | Após |
| Média diária | 29,1 | 25,8 | 29,3 | 25,5 |
| Média diurna | 31,7 | 27,9 | 32,1 | 27,4 |
| Média noturna | 25,9 | 23,2 | 26,0 | 23,4 |
| Média Máxima | 35,8 | 31,4 | 36,6 | 30,6 |
| Média mínima | 22,8 | 20,0 | 23,0 | 20,3 |

TABELA C.2 - VALORES MÉDIOS DE UMIDADE ESPECÍFICA DO AR, A 0,5m ACIMA DOS DOSSÉIS DE CAATINGA E ALGAROBA.

| UMIDADE ESPECÍFICA (g/Kg) | CAATINGA | | ALGAROBA | |
|------------------------------|----------|------|----------|------|
| | Durante | Após | Durante | Após |
| Média diária | 19,0 | 15,5 | 17,5 | 15,2 |
| Média diurna | 20,0 | 16,0 | 17,8 | 15,6 |
| Média noturna | 17,9 | 14,9 | 17,2 | 14,7 |
| Média máxima | 22,0 | 16,9 | 18,6 | 16,5 |
| Média mínima | 16,4 | 13,9 | 16,2 | 13,6 |

TABELA C.3 - VALORES MÉDIOS DE UMIDADE RELATIVA DO AR, A 0,5m
ACIMA DOS DOSSÉIS DE CAATINGA E ALGAROBA.

| UMIDADE RELATIVA (%) | CAATINGA | | ALGAROBA | |
|-------------------------|----------|------|----------|------|
| | Durante | Após | Durante | Após |
| Média diária | 75,0 | 74,4 | 69,3 | 73,8 |
| Média diurna | 67,6 | 67,4 | 59,7 | 68,0 |
| Média noturna | 83,8 | 82,6 | 80,7 | 80,7 |
| Média máxima | 92,5 | 93,4 | 90,4 | 89,7 |
| Média mínima | 58,5 | 57,5 | 46,8 | 58,9 |