

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE POS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

MEDIDAS E ESTIMATIVAS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE RADIAÇÃO
SOBRE UM CULTIVO DE ALGODOEIRO HERBACEO IRRIGADO.

GIRLENE FIGUEIREDO MACIEL

CAMPINA GRANDE - PB
JUNHO - 1992

M152m Maciel, Girlene Figueiredo
Medidas e estimativas dos componentes do balanço de radiação sobre um cultivo de algodoeiro herbáceo irrigado / Girlene Figueiredo Maciel. - Campina Grande, 1992.
72 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Algodão Herbáceo - 2. Algodão - 3. Radiação Atmosférica - 4. Engenharia Agrícola 5. Dissertação I. Azevedo, Pedro Vieira de, Dr. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB) III. Título

CDU 633.511(043)

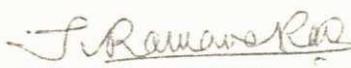
MEDIDAS E ESTIMATIVAS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE RADIAÇÃO SOBRE
O CULTIVO DO ALGODÃO HERBÁCEO IRRIGADO

GIRLENE FIGUEIREDO MACIEL

DISSERTAÇÃO APROVADA COM DISTINÇÃO EM 14/7/92


PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO

Orientador


TANTRAVAHÍ VENKATA RAMANA RAO

Membro


JOSÉ MARIA NOGUEIRA DA COSTA

Membro

CAMPINA GRANDE

JULHO - 1992

GIRLENE FIGUEIREDO MACIEL

MEDIDAS E ESTIMATIVAS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE RADIAÇÃO
SOBRE UM CULTIVO DE ALGODOEIRO HERBACEO IRRIGADO.

Dissertação apresentada ao curso
de Pós-graduação em Meteorologia,
da Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento às
exigências para a obtenção do grau
de Mestre.

AREA DE CONCENTRAÇÃO : AGROMETEOROLOGIA

PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
(Orientador)

CAMPINA GRANDE - PB
JUNHO - 1992

DEDICATORIA

Aos meus pais:

ANTONIO MARIANO MACIEL e

TEREZINHA FIGUEIREDO MACIEL

que não mediram esforços na formação
moral e intelectual de seus filhos.

E aos meus irmãos:

MARIA GORETH FIGUEIREDO

GISEUDA FIGUEIREDO MACIEL

GILVAN FIGUEIREDO MACIEL e

GISÉLIA FIGUEIREDO MACIEL,

dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS.

Ao Pai celestial, pelo amparo espiritual nos momentos mais difíceis.

Ao prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO, pelo empenho e dedicação na orientação deste trabalho.

Ao prof. M.Sc. Mário de Miranda V. B. R. Leitão, pelo empenho na calibração e instalação dos instrumentos na área experimental.

Ao prof. M.Sc. José Espínola Sobrinho, pelo incentivo e apoio material e de equipamentos da Escola Superior de Agronomia de Mossoró(ESAM), dado ao experimento de campo.

Aos profs. Dr. TANTRAVAHÍ VENKATA RAMANA RAO e M.Sc. Bernardo Barbosa da Silva pelas sugestões apresentadas para o aprimoramento deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico(CNPq), pela ajuda financeira através de bolsa de estudo.

Ao Centro Nacional de Pesquisa do Algodão(CNPA/EMBRAPA), pelo apoio material e técnico na execução das atividades experimentais.

Aos pesquisadores Ms. MALAQUIAS DA SILVA AMORIM NETO e JOSÉ RENATO P. CORTEZ, pelas sugestões e aquisição de material junto ao CNPA, para a realização deste trabalho.

Ao meteorologista CLAUDEMIR BERNARDO DA COSTA e ao técnico em agropecuária WOLASTON LUCENA, pela ajuda na coleta dos dados durante o período experimental.

Aos professores, funcionários e colegas de Curso, pelo incentivo e amizade.

Ao Instituto Agronômico José Augusto Trindade (IAJAT) dirigido por Bach. José Antunes e gerenciado pelo mestre de campo Sr. Armando, por ceder a área experimental e pela ajuda prestada durante a realização do experimento.

E, finalmente, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

R E S U M O

Esta pesquisa utilizou dados de experimento de campo conduzido na Estação Experimental do IAJAT/DNOCS, no perímetro irrigado de São Gonçalo, Sousa-Pb. Objetivou acompanhar o comportamento do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum*, r. *latifolium*, cultivar CNPA precoce 1) cultivado em condições de irrigação numa parcela de 8.000m^2 e espaçamento de 1,0m entre fileiras e 0,20m entre covas. Os valores medidos dos componentes do balanço de radiação foram comparados àqueles obtidos com o emprego de fórmulas empíricas convencionais, visando ao ajuste das equações de estimativas às condições locais. A radiação solar global incidente (R_g^\downarrow), e refletida (R_g^\uparrow) e o saldo de radiação (R_N) foram registrados de forma contínua e medidos instantaneamente a intervalos de trinta minutos. Foram também monitoradas, a intervalos horários, as temperaturas dos termômetros de bulbo seco e úmido, temperatura da folhagem e as temperaturas máxima e mínima diárias. A altura da cultura (h) e o índice de área foliar (IAF) foram determinados a cada três dias.

A reflectância da vegetação variou de 0,14 no início das observações a 0,25 no final da fase de crescimento vegetativo, decrescendo em seguida para atingir 0,21 ao final do ciclo da cultura. As melhores estimativas da radiação atmosférica (R_L^\downarrow) foram obtidas com as equações que levam em consideração simultaneamente a temperatura do ar e a pressão parcial do vapor d'água no ar. A equação de Penman (1948), apresentou os melhores resultados na estimativa do saldo de radiação, principalmente quando ajustada às condições locais.

A B S T R A C T

This research employed data from a field experiment conducted in the IAJAT/DNOCS Experimental Station, in the irrigation settlement of São Gonçalo, Sousa-Pb. Its objective was to study the behaviour of cotton (*Gossypium hirsutum* r. *latifolium*, cultivar CNPA early 1) crop, grown under irrigated conditions in a 8.000m² plot planted in a 1.00m row spacing and with 0.20m between plants. The measured components of the radiation balance were compared to those obtained from conventional empirical formulae, with the purpose of adjusting the estimation equations to the local conditions. The global solar radiation (R_S^{\downarrow}), reflected solar radiation (R_S^{\uparrow}) and net radiation (R_N) were continuously registered and measured instantaneously at 30 minute intervals. Hourly measurements of dry and wet bulb temperatures, canopy temperature and maximum and minimum daily temperatures were also obtained. The canopy height (h) and leaf area index (LAI) were measured at three days interval.

The canopy reflectance varied from 0.14 at the beginning of the growing season to 0.25 at the end of the growing phase and then decreased to 0.21 at the end of the crop cycle. The best estimate of the atmospheric radiation (R_L^{\downarrow}) was obtained from those equations which take into account simultaneously air temperature and water vapor pressure in the air. Penman's equation presented the best results for predicting net radiation, especially when adjusted to the local conditions.

S U M A R I O

	Página
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	04
2.1. Radiação Solar à Superfície	04
2.1.1. Equação do Balanço de Radiação à Superfície	04
2.1.2. Radiação de Ondas Curtas Incidente	05
2.1.3. Radiação de Ondas Curtas Refletida	08
2.1.4. Radiação de Ondas Longas	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. MATERIAL	15
3.1.1. Experimento de Campo	15
3.1.1.1. Localização	15
3.1.1.2. Cultura	15
3.1.1.3. Instrumentos	15
3.2. MÉTODOS	17
3.2.1. Sistemática de Observação	17
3.2.2. Tratos Culturais	17
3.2.3. Componentes do Balanço de Radiação de Ondas Curtas	18
3.2.3.1. Radiação Solar Incidente	18
3.2.3.2. Radiação Solar Refletida	19
3.2.3.3. Coeficiente de Reflexão	20
3.2.4. Componentes do Balanço de Radiação de	

Ondas Longas	21
3.2.4.1. Radiação Térmica da Atmosfera ...	21
3.2.4.2. Radiação Térmica da Superfície ..	22
3.2.5. Saldo de Radiação	22
3.2.6. Relações entre o Saldo de Radiação, Radiação Solar Incidente e o Saldo de de Radiação de Ondas Curtas	25
3.2.7. Balanço de Radiação	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1. Radiação Solar Global	27
4.1.1. Estimativa da Radiação Solar Global	27
4.2. Determinação do Coeficiente de Reflexão (albedo).	31
4.2.1. Variação do albedo ao longo do Ciclo da Cultura	31
4.2.2. Variação Diurna do Albedo	31
4.2.3. Albedo Para o Período de Completo Desenvolvimento Vegetativo da Cultura do Algodoeiro	34
4.2.4. Estimativa do Coeficiente de reflexão para a Cultura do Algodoeiro	38
4.3. Radiação Atmosférica	40
4.3.1. Estimativa da Radiação de Ondas Longas da Atmosfera	40
4.4. Saldo de Radiação	43
4.4.1. Estimativa do Saldo de Radiação com Base na Equação de Penman (1948)	43

4.4.2. Estimativas do Saldo de Radiação com Base nas Equações de Linacre (1968)	44
4.4.3. Estimativas do Saldo de Radiação com Base na Radiação Solar Global e no Balanço de Radiação de Ondas Curtas	49
4.5. Balanço de Radiação Sobre a Cultura	54
4.5.1. Variação Diurna dos Componentes do Balanço de Radiação	54
4.5.2. Variação dos Componentes do Balanço de Radiação ao longo do Ciclo da cultura	57
5. CONCLUSÕES	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE FIGURAS.

	Página
Figura IV.1 - Modelo de regressão linear entre os valores de R_S/Q_S e n/N , para o período experimental de setembro a dezembro de 1989, em São Gonçalo, Sousa-Pb	28
Figura IV.2 - Variação estacional da reflectância da cultura de algodão herbáceo - variedade CNPA precoce 1, cultivado na região de Sousa-Pb	32
Figura IV.3 - Comportamento diurno do albedo do algodoeiro na fase de crescimento vegetativo	35
Figura IV.4 - Comportamento diurno do albedo do algodoeiro na fase de floração	36
Figura IV.5 - Comportamento diurno do albedo do algodoeiro na fase de maturação	37
Figura IV.6 - Relação entre o albedo e o ângulo zenital, para a fase de completo desenvolvimento da cultura	39
Figura IV.7 - Comparação de R_N estimado pela eq.(3.12), a partir dos coeficientes originais, com R_N medido	45
Figura IV.8 - Comparação de R_N estimado pela eq.(3.12), a partir dos coeficientes locais, com R_N medido	46

Figura IV.9 - Comparação de R_N estimado pela eq.(3.13), a partir dos coeficientes originais, com R_N medido	47
Figura IV.10 - Comparação de R_N estimado pela eq.(3.13), a partir dos coeficientes locais, com R_N medido	48
Figura IV.11 - Comparação de R_N estimado pela eq. de Linacre(1968), com R_N medido	50
Figura IV.12a - Modelo de regressão linear entre R_N e R_S , para o período experimental de setembro à dezembro de 1989, em São Gonçalo-Pb	52
Figura IV.12b - Comparação de R_N estimado pela eq.(3.20) com R_N medido	53
Figura IV.13a - Modelo de regressão linear entre R_N e o saldo de radiação de ondas curtas	55
Figura IV.13b - Comparação de R_N estimado, pela eq.(3.21) com R_N medido	56
Figura IV.14 - Comportamento dos componentes do balanço de radiação para a condição de céu claro .	58
Figura IV.15 - Comportamento dos componentes do balanço de radiação para a condição de pouca nebulosidade	59
figura IV.16 - Comportamento dos componentes do balanço de radiação para a condição de acentuada nebulosidade	60
Figura IV.17 - Comportamento dos componentes do balanço	

de radiação para a condição de céu	
completamente nublado	61

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela IV.1 - Valores mensais para o período experimental dos coeficientes de regressão da eq. (3.2), obtidos para São Gonçalo, Sousa-Pb	29
Tabela IV.2a - Valores dos coeficientes de regressão da eq.(3.2), obtidos para diferentes localidades e países (BRUTSAERT, 1984)	30
Tabela IV.2b - Valores dos coeficientes de regressão da eq.(3.2), obtidos para diferentes localidades do Brasil	30
Tabela IV.3 - Valores do coeficiente de reflexão do algodoeiro, obtidos pelos métodos A, B e C, descritos anteriormente	40
Tabela IV.4 - Valores da radiação atmosférica (MJ/m^2), para dias de céu claro, observados e estimados por diferentes relações empíricas com os coeficientes empíricos obtidos localmente	42
Tabela IV.5 - Valores da radiação atmosférica (MJ/m^2), para dias de céu claro, observados e estimados por diferentes relações empíricas com os coeficientes empíricos obtidos localmente	42

Tabela IV.6 - Coeficientes da equação de Brunt (1932), eq.(3.7), originais e obtidos localmente ..	43
Tabela IV.7 - Coeficientes da equação de Penman (1948), eq.(3.12), originais e obtidos localmente .	44
Tabela IV.8 - Variação estacional dos componentes do balanço de radiação em MJ/m ²	57
Tabela IV.9 - Razões entre os componentes do balanço de radiação(%)	62

1. INTRODUÇÃO

A cultura do algodoeiro, para a região Nordeste do Brasil, além de tradicional, tem um expressivo significado sócio-econômico. Do ponto de vista social, pela ocupação direta e indireta de uma enorme quantidade de pessoal nos campos e nas cidades. Economicamente, pela sua contribuição para a produção agrícola regional, sendo ainda a principal cultura em área plantada e constituindo-se na principal fibra vegetal utilizada na indústria têxtil.

Apesar da grande área cultivada com algodão a contribuição da região Nordeste em relação à produção nacional ainda é pequena, servindo apenas para equilibrar o mercado nacional (SOUSA, 1985). A área plantada com algodão no Nordeste vem sendo reduzida sensivelmente, haja vista que no ano agrícola de 1976/77 representava 79% da área colhida e 35% da produção nacional, enquanto que no ano agrícola de 1988/89 reduziu para 56% e 14%, respectivamente (SANTOS & BARROS, 1991). Tal redução é, principalmente, atribuída aos seguintes fatores: a) estrutura de produção da cultura na região ainda muito tradicional; b) maior parte da área cultivada em regime de sequeiro; c) dispersão da praga do bicudo (*Anthonomus grandis*, Bohema) por toda a região.

Com o surgimento do bicudo, hoje presente praticamente em todos os campos cultivados com o algodoeiro, houve uma sensível redução da área plantada e uma conseqüente baixa na produção, exigindo a implantação, a curto prazo, de medidas necessárias ao controle da praga.

Dentre outros fatores são imprescindíveis, para se obter bons rendimentos na cultura do algodoeiro: temperaturas acima de 20⁰C, boa luminosidade e adequado suprimento de água. O Nordeste do Brasil é uma região propícia quanto à temperatura e luminosidade, para o cultivo do algodoeiro. Quanto à precipitação, sua distribuição é muito irregular com coeficientes de variação superiores a 30%, atingindo às vezes até 50% nas áreas mais secas, causando sérios transtornos à cotonicultura, devido a escassez de água principalmente na época mais crítica do seu ciclo fenológico (SOUZA et alii, 1982).

No regime de sequeiro, assim como nos cultivos irrigados, quase nenhuma pesquisa agrometeorológica com a cultura do algodão tem sido conduzida no sentido de avaliar as interações entre os fluxos radiativos e o ponto ótimo de eficiência fisiológica das plantas. Por isso, se faz necessário que pesquisas sejam conduzidas com esse intuito, visando avaliar, por exemplo, o incremento da produtividade com o uso bem dimensionado da irrigação através da relação custo-benefício.

Embora se tenha conhecimento dos fatores climáticos que controlam as perdas de água pelas plantas, afetando conseqüentemente seu desenvolvimento e rendimento agrícola, é importante que se conheça o comportamento fisiológico das plantas cultivadas sob certas condições atmosféricas. Os fatores ambientais são representados pela temperatura e energia disponível para os processos metabólicos e fisiológicos que ocorrem no interior das plantas.

O saldo de radiação pode ser medido através de radiômetros especializados (saldo radiômetros). Entretanto, na

prática tais medições se restringem a estudos experimentais. A radiação disponível é, na maioria das vezes, estimada por diversos métodos. Portanto, é importante que se conheça o comportamento dos componentes do balanço de radiação e seus relacionamentos com as propriedades radiativas da vegetação e do ar afim de se ter condições de melhor estimar o saldo de radiação que afeta diretamente todo o metabolismo das plantas.

O presente trabalho objetivou o monitoramento diurno e estacional dos fluxos de radiação sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA precoce 1, cultivado nas condições semi-áridas do alto sertão da Paraíba, visando ajustar as equações de estimativas dos componentes dos balanços de radiação de ondas curtas e de ondas longas às condições locais e comparar os dados obtidos através de medidas diretas, com os provenientes da utilização das fórmulas empíricas convencionais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Radiação Solar à Superfície

A radiação solar que chega à superfície é de fundamental importância para os processos físicos que ocorrem na interface solo-atmosfera: evapotranspiração, fluxos de calor sensível para o solo e para o ar e outros processos, como a fotossíntese. Apesar de sua grande importância na agricultura, a radiação solar não é continuamente monitorada em áreas com culturas irrigadas. Geralmente, restringe-se às estações climatológicas e a estimativa de seus componentes restringe-se a experimentos agrometeorológicos cujas dificuldades de medidas e registros são atribuídas, principalmente, a dois fatores: a) habilidade no manuseio e calibração dos instrumentos e; b) custos elevados dos equipamentos.

2.1.1. Equação do Balanço de Radiação à Superfície

O saldo de radiação representa a diferença entre os fluxos de radiação que chega e sai da superfície considerada:

$$R_N = R_S^\downarrow (1 - \alpha) + R_{NL} \quad (2.1)$$

onde:

R_N - saldo de radiação;

R_S^\downarrow - radiação solar global incidente;

α - coeficiente de reflexão;

R_{NL} - saldo de radiação em ondas longas.

2.1.2. Radiação de Ondas Curtas Incidente

A radiação solar que chega à superfície terrestre, consiste de ondas eletromagnéticas, cujos comprimentos de ondas situam-se entre 0,22 a 4,0 micra(Ím).

Os seres vivos, especialmente os vegetais, são direto e grandemente influenciados pela radiação solar. Não só a qualidade espectral da radiação solar, mas também a sua intensidade, desempenha papel significativo no desenvolvimento morfológico das plantas.

Nem toda radiação solar global que chega à superfície é retida pelo solo ou pelas plantas, mas parte desta é imediatamente refletida e parte é reirradiada.

A eficiência na utilização da radiação solar pelas culturas deveria aumentar devido às múltiplas camadas de folhas, mas normalmente isso é reduzido por duas razões: a) a superfície do solo não é completamente coberta pelas plantas, perdendo-se uma grande parte da radiação; b) existem variáveis deficiências em água, nutrientes minerais, perdas por doenças e temperaturas desfavoráveis (MOTA, 1983).

ANGSTROM (1924) estabeleceu uma relação entre a radiação de ondas curtas sob condições de céu claro e a razão de insolação, a qual foi posteriormente modificada por PRESCOTT (1940), com a substituição das condições de céu claro pela radiação que chegaria à superfície na ausência da atmosfera.

A radiação solar à nível da superfície varia com a latitude, altitude, ângulo solar, cobertura de nuvens, turbidez atmosférica e época do ano (CHANG, 1968; MOTA, 1983 e CUNHA et

alii, 1989).

Relações empíricas vêm sendo empregadas para estimar a radiação solar, principalmente para locais onde só há registros de insolação (KLAR, 1984). BLACK (1956) utilizou dados de radiação que chegaria à superfície na ausência da atmosfera e da nebulosidade de 150 estações de vários países para estimar a radiação solar à superfície. Também vêm sendo desenvolvidos por vários autores modelos numéricos visando estimar a radiação solar global (ATWATER & BROWN (1974), citados por ATWATER & BALL (1978)). HOSTSLAG and VAN ULDEN (1983), usaram o modelo proposto por KASTEN and CZEPLAK (1980), que depende da nebulosidade e de coeficientes empíricos climáticos específicos do local, para estimar a radiação solar à superfície em De Bilt-Holanda, apresentando um erro médio quadrático de $46,7\text{W/m}^2$ para dias com $n < 0,25$, $91,9\text{W/m}^2$ para $0,25 \leq n \leq 0,75$ e $86,3\text{W/m}^2$ para dias com $n > 0,75$. Observações provenientes de aeronaves revelam que as nuvens podem absorver em torno de 30-40% do fluxo solar incidente (LIOU, 1976). THOMPSON (1976) publicou um método empírico de estimativa da radiação solar em relação a média diária de cobertura de nuvens. SWIFT (1976) publicou um modelo que leva em conta todos os efeitos atmosféricos mas requer medições da radiação solar próxima à superfície. Um modelo que requer latitude, data, inclinação e direção dos raios solares, estimativa da transmissividade da atmosfera e cobertura de nuvens, para estabelecer uma estimativa da radiação solar que chega à superfície foi descrito por SATTERLUND and MEANS, (1978). BOISVERT et alii (1990) usaram equações que incluem a precipitação diária e a temperatura mínima para estimar a

radiação solar global em seis locais do Canadá.

DRAKE (1976) mostrou que a radiação solar que penetra na epiderme das folhas é fortemente dispersa e, se não absorvida pela água ou pigmentos associados com a fotossíntese, emerge sobre ambas superfícies.

Comentários com respeito aos coeficientes a e b da relação de PRESCOTT (1940), podem ser encontrados em DRIEDGER and CATCHPOLE (1970), RIETVELD (1978), AZEVEDO et alii (1981) e MARTINEZ-LOZANO et alii (1984). Também têm sido observadas variações espaciais e temporais, desses coeficientes, explicadas como uma consequência da variação estacional das condições e densidade de nuvens (FITZPATRICK and STERN, 1965; DRIEDGER and CATCHPOLE, 1970; DURAND, 1974), latitude (GLOVER and McCULLOCH, 1958b) e altitude (DURAND, 1974 e NEUWIRTH, 1980).

LEITÃO et alii (1990) e AZEVEDO et alii (1990), determinaram para a região de Juazeiro-Ba, as constantes de relacionamento da radiação solar global com a radiação extraterrestre e a razão de insolação, cujos valores médios são $\alpha=0,24$ e $\beta=0,44$ e um fator de correlação de 88%, estando de acordo com os resultados de diversos autores para a mesma faixa de latitude.

REDDY (1971) idealizou uma expressão empírica para estimar a radiação solar, como função da latitude, comprimento do dia, um fator de correção latitudinal, um fator de correção da estação do ano que depende do mês e do local, das horas de brilho solar, números de dias chuvosos do mês, números de dias e umidade média diária do mês. Essa expressão foi posteriormente usada por ALMANZA and LOPEZ (1978), para mapear a

radiação solar no México.

2.1.3. Radiação de Ondas Curtas Refletida

Para se estabelecer o balanço de radiação à superfície, o coeficiente de reflexão é um parâmetro indispensável. O coeficiente de reflexão de uma superfície vegetada é dependente da sua cor, condições de umidade, densidade de cobertura do solo, arranjo foliar, ângulo de inclinação do sol, quantidade e tipo de nuvens. A refletividade geralmente aumenta com o brilho visual da superfície. ANGSTROM (1925) observou que depois de uma chuva o coeficiente de reflexão da grama de cor clara decresceu de 0,32 para 0,22. Os raios solares verticais geralmente produzem albedo menor que os raios oblíquos ou inclinados. Daí o albedo de uma dada superfície ser elevado após o nascer e antes do pôr-do-sol e baixo em torno do meio dia (AYOADE, 1983).

A refletividade de folhas varia com o comprimento de onda, mostrando um mínimo na faixa do espectro visível e um máximo próximo ao infravermelho (MOTA, 1983). O coeficiente de reflexão da cana-de-açúcar, no Havai, aumentou de 0,06 a 0,08 logo após a germinação, para 0,16 a 0,18, depois do completo desenvolvimento do dossel vegetativo (CHANG, 1961).

DAVIES & BUTTIMOR (1969) afirmam que o simples conhecimento do albedo e do coeficiente de aquecimento não é suficiente para se estimar o saldo de radiação com base na radiação solar. BUDIKO (1958) afirmou que a reflectância da radiação de ondas curtas em um solo escuro e úmido é de 11% e de 20 a 25% num solo coberto com plantas de algodão. A reflectância

de uma cultura depende fortemente da elevação solar e do ângulo formado entre os raios solares e as superfícies das folhas (IDSO, 1969; BLAD and BAKER, 1972; ROSS, 1981; MOTA, 1983 e LEITÃO et alii, 1989). A variação diurna do albedo em função da elevação solar para o algodão é dada por RIJKS (1967) (citado por BLAD and BAKER (1972)). BLAD & BAKER (1972) e LEITÃO et alii (1989), mostraram que o albedo da soja apresentou um valor médio em torno de 0.19 para o período compreendido entre o plantio e floração.

O albedo depende do tipo de superfície, elevação solar e espectro de ondas curtas (PALTRIDGE and PLATT, 1976). Em um trabalho realizado com soja ANDRE and VISWANADHAM (1983) mostraram que o albedo variou com o desenvolvimento da cultura mas também, apresentou-se inversamente relacionado com a altura da cultura.

O albedo do algodão tende a aumentar com o desenvolvimento da cultura, variando de 0,18 com o solo praticamente nú a 0.27 com a cultura a 1.15m de altura (FRITSCHEN, 1967).

JACOBS and VAN PUL (1990) verificaram que o albedo médio diário estimado a partir de médias de 15 minutos foi 5% maior que os valores estimados com base na inclinação dos fluxos radiativos de ondas curtas que chegam e saem da superfície.

O albedo pode diferir para diferentes comprimentos de ondas. Para a radiação solar, tem sido relatado valores entre 0,10 e 0,25 em áreas cultivadas (SHAW and DECKER, 1979).

O albedo de uma superfície com vegetação é influenciado por vários fatores como: tipo de vegetação, índice

de área foliar, percentagem de cobertura do solo e ângulo zenital do Sol (DAVIES and IDSO, 1979). Também é conhecido variar com a distribuição espacial da vegetação (altura, densidade, etc.), com o ângulo solar e até certo ponto com os componentes individuais da superfície (GATES, 1964). GAUSMAN et alii (1969) demonstraram que a estrutura interna das folhas das plantas afeta a ordem de magnitude e características da reflectância da superfície das folhas. Uma caracterização mais detalhada da variação do albedo com a umidade do solo foi apresentada por IDSO et alii (1975).

Na agricultura, o albedo é de particular importância tendo em vista sua influência no saldo de radiação de ondas curtas disponível na superfície da terra para a operação de processos que consomem tal energia, como a fotossíntese e a evaporação (LING and ROBERTSON, 1982). Variação no ângulo solar e estrutura física da superfície tende a modificar o número das reflexões dentro da camada vegetativa e, portanto, o total de radiação refletida (DIRMHIRN and BELT, 1971). O conhecimento do albedo e sua variação é muito importante na tentativa de se prognosticar o saldo de radiação sobre uma superfície com base na radiação solar, especialmente quando se deseja alta precisão (NKEMDIRIM, 1973).

2.1.4. Radiação de Ondas Longas

A superfície da terra, quando aquecida pela radiação solar, torna-se emissora de radiação de ondas longas. O termo ondas longas deve-se ao fato que mais de 99% da radiação emitida pela superfície terrestre está compreendida na faixa de

comprimento de onda de 4,0 a 100 micra. A radiação terrestre é também conhecida como radiação noturna, uma vez que é a principal fonte radiativa de energia à noite. Contudo, é importante notar que, a radiação infravermelha não é necessariamente terrestre, já que os constituintes atmosféricos também irradiam energia nos comprimentos de onda infravermelhos. Em segundo lugar, a radiação infravermelha ocorre tanto durante o dia quanto à noite.

A intensidade da radiação terrestre pode ser determinada pela Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R_L^\uparrow = \epsilon_s \sigma T_s^4 \quad (2.2)$$

onde: ϵ_s é a emissividade da superfície; σ , a constante de Stefan-Boltzman e T_s a temperatura absoluta da superfície.

Quase toda a radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre é absorvida pela atmosfera. Os principais absorventes desta radiação, dentre os constituintes da atmosfera, são o vapor d'água, o dióxido de carbono e as nuvens, que absorvem radiação em praticamente todos os comprimentos de ondas do infravermelho.

Uma grande parte da radiação absorvida pela atmosfera é reirradiada em direção à superfície, e é denominada de contra-radiação. A intensidade da radiação atmosférica (contra-radiação) varia com a temperatura do ar, vapor d'água contido no ar e cobertura de nuvens.

Na tentativa de estimar a radiação térmica da atmosfera, para condições de céu, várias equações empíricas foram apresentadas por diversos autores. A equação de BRUNT (1932) é a

mais difundida e tem por base o uso da temperatura do ar e a pressão de vapor no ar. Mais tarde, usando somente dados de temperatura do ar, surgiram duas expressões idealizadas por SWINBANK (1963) e IDSO-JACKSON (1969). Recentemente, na década de 70, BRUTSAERT (1975) e SATTERLUND (1979) apresentaram equações que usam a temperatura e a pressão de vapor d'água no ar. Tais equações precisam ser ajustadas localmente para minimizar os erros de estimativa da radiação atmosférica.

PALTRIDGE (1970) e IDSO (1972), usando a equação de Idso & Jackson, verificaram que sob as condições exigidas para seu uso, os valores observados da radiação atmosférica durante o dia foram da ordem de 20W/m^2 menor que os valores estimados empiricamente, e durante a noite da ordem de 10W/m^2 maior. EXELL (1978) enfatiza que para o uso mais geral, a equação de Idso & Jackson deve sofrer duas correções: a) diurna, causada pela taxa de variação vertical da temperatura próximo à superfície; b) efeito térmico da radiação das nuvens.

KUMAR (1982) afirma que o saldo de radiação de ondas longas pode ser estimado com razoável precisão usando somente dados de temperatura do ar, se o efeito da nebulosidade for, de forma conveniente, eliminado.

Gráficos da radiação noturna indicam que a razão de radiação ($R/\sigma T^4$) depende primariamente do total de umidade precipitável em toda atmosfera (ELSASSER, 1942; BROOKS, 1952).

ANDERSON (1952) relata que o uso do vapor d'água total calculado com base em dados de radiossondagem não apresenta resultados melhores que o uso da pressão de vapor local na

correlação da radiação noturna.

SHAW (1956), usando uma regressão linear, mostrou a existência de uma excelente relação entre o saldo de radiação e a radiação solar, encontrando uma correlação de 0,98 para dias de céu claro e 0,97 para dias nublados.

TANNER & PELTON (1960) e ROBINSON (1962) relataram que mesmo em cuidadosas medições do saldo de radiação, o erro típico pode ser de 10%. FRITSCHEN (1965), usando seu próprio instrumento, atribuiu ao acaso erros de $13,96\text{W/m}^2$ para médias de 15 minutos.

YAO & SHAW (1964), mostraram que num experimento realizado com trigo o saldo de radiação variou consideravelmente com o espaçamento entre fileiras e com a densidade de plantas. AZEVEDO et alii (1990) enfatizaram que a estimativa do saldo de radiação em função apenas do balanço de radiação solar (ondas curtas) é tão preciso quanto em função do balanço completo (ondas curtas e ondas longas) obtido através das equações de Penman e Linacre. FRITSCHEN (1967) afirma que a inclusão do termo de radiação solar refletida não melhora a estimativa do saldo de radiação. Tal fato foi recentemente confirmado por AZEVEDO et alii (1990). Uma expressão com razoável precisão pode ser deduzida para o saldo de radiação independente da radiação solar global, mas usando a radiação extraterrestre e as horas de brilho solar para uma cultura irrigada (LINACRE, 1968).

COSTA et alii (1988), LEITAO (1989) e AZEVEDO et alii (1989) mostraram que a equação de BRUNT (1932), modificada por PENMAN (1948), quando devidamente ajustada as condições

locais e da cultura, apresenta resultados com erro padrão médio de estimativa 100% menor que aqueles obtidos com os coeficientes originais da equação.

AUBERTIN & PETERS (1961) mediram a captação da radiação pelas plantas e verificaram que a distribuição espacial das plantas tem um grande efeito na quantidade de energia absorvida pelas mesmas. DENMEAD et alii (1962), usando vários saldo radiômetros em uma cultura de trigo, verificaram que o espaçamento entre fileiras menor que 1.0m pode causar um aumento de 15 a 20% no processo fotossintético. Em geral, o saldo de radiação aumenta com o escurecimento da superfície (HANKS et alii, 1961).

O prognóstico do saldo de radiação pode ser feito com qualquer equação fisicamente embasada ou uma relação linear entre o saldo de radiação (R_N) e a radiação solar global (R_S) (DE JONG et alii, 1980). JACKSON et alii, (1985) mostraram que o saldo de radiação obtido com o método multiespectral remoto produz dados de boa concordância com os obtidos usando os tradicionais saldo radiômetros.

3. MATERIAL E METODOS

3.1. MATERIAL

3.1.1. Experimento de Campo

3.1.1.1. Localização

O experimento de campo foi conduzido numa área de aproximadamente 8.000m², do Instituto Agronômico José Augusto Trindade (IAJAT), no perímetro irrigado de São Gonçalo, no município de Sousa (Lat. 06⁰45'S; Long. 38⁰13'W e Alt. 233m), região semi-árida do alto sertão paraibano.

3.1.1.2. Cultura

A cultura implantada foi o algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum*), cultivar CNPA precoce 1. O plantio foi realizado no dia 02 de setembro de 1989, após o terreno ter sido preparado em sistema de sulcos no sentido leste-oeste, obedecendo um espaçamento de 1,0m entre fileiras e 0,20m entre covas.

3.1.1.3. Instrumentos Utilizados

- Heliógrafo, para registro de insolação;
- Actinógrafo, para registro de radiação solar global;
- Piranômetros Eppley, para medida e registro dos fluxos de radiação solar global e refletida;
- Saldo radiômetros, para medida e

registro do saldo de radiação;

- Abrigo agrometeorológico contendo termômetros de bulbo seco e úmido, de máxima e de mínima;

- Bateria de dois evapotranspirômetros de lençol freático constante, para medir a evapotranspiração;

- Tanque evaporimétrico " classe A ";

- Termômetro infravermelho(TELATEMP);

- Porômetro de difusão(LI-1600);

- Speedomax para registro da radiação solar global e refletida;

- Multímetro para leitura da radiação solar global incidente, refletida e do saldo de radiação.

3.2. METODOS

3.2.1. Sistemática de Observações

As medições de radiação solar incidente e refletida pela superfície da cultura, saldo de radiação, temperatura do ar e temperatura do termômetro de bulbo úmido foram efetuadas de forma horária durante todo o período experimental (02.09.89 a 19.12.89) das 6:00 às 18:00 horas. A insolação, os fluxos de radiação solar incidente e refletida e o saldo de radiação foram também registradas continuamente do nascer ao por-do-Sol. A cada três dias, efetuou-se medidas de altura da cultura e índice de área foliar e as leituras com o porômetro foram efetuadas diariamente, nos horários das 9:00, 12:00 e 15:00 horas.

3.2.2. Tratos Culturais

Os tratos culturais aplicados foram os convencionais para a cultura do algodoeiro, mantendo-se a cultura durante todo o período experimental em ótimas condições de desenvolvimento no que refere-se a ação de ervas daninhas. Quanto ao controle de doenças e pragas, além das necessidades de adubação, houve o acompanhamento de técnicos da EMBRAPA, para que não se tornassem fatores limitantes ao pleno desenvolvimento da cultura.

As irrigações foram efetuadas a intervalos semanais de acordo com as necessidades hídricas da cultura, monitoradas através dos evapotranspirômetros.

3.2.3. Componentes do Balanço de Radiação de Ondas Curtas

3.2.3.1. Radiação Solar Incidente (R_S^\downarrow)

a) Medição de R_S^\downarrow

A radiação solar incidente sobre a cultura foi medida com um piranômetro Eppley e registrada continuamente por um registrador speedomax durante todo o período experimental. Com auxílio de um planímetro determinou-se a área registrada nos diagramas para cada dia e usando a expressão abaixo se obteve a radiação solar diária incidente.

$$R_S^\downarrow = A.C.F_C \quad (3.1)$$

onde:

R_S^\downarrow - é a radiação solar diária em $MJ.m^{-2}$;

A - é a área registrada pelo speedomax em cm^2 ;

C - é a constante do instrumento;

F_C - é um fator de correção devido a declinação do Sol, para o actinógrafo.

b) Estimativa de R_S^\downarrow

A estimativa da radiação solar incidente à superfície foi obtida com base na razão de insolação e de radiação que chegaria à superfície na ausência da atmosfera, usando a expressão proposta por PRESCOTT (1940).

$$R_S^\downarrow = Q_S[a + b(n/N)] \quad (3.2)$$

onde:

Q_S - é a radiação que chegaria à superfície na ausência da

atmosfera ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$);

n - insolação real (horas);

N - insolação máxima teórica (horas);

"a" e "b" - são coeficientes empíricos.

Os valores de Q_S e N foram avaliados usando as seguintes expressões (SELLERS, 1965).

$$Q_S = [(1440/\pi) S_0 (\bar{d}/d)^2 (H \cdot \sin\phi \cdot \sin\delta + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \sin H)] \quad (3.3)$$

e

$$N = (2/15) [\text{arc} \cdot \cos(-\text{tg}\phi \cdot \text{tg}\delta) + 0.83^0] \quad (3.4)$$

onde:

S_0 - é a constante solar;

d - é a distância Terra-Sol para um determinado dia;

\bar{d} - é a distância média Terra-Sol;

H - é o ângulo horário;

ϕ - é a latitude;

δ - é a declinação do Sol.

3.2.3.2. Radiação Solar Refletida (R_S^{\uparrow})

A radiação solar refletida pela superfície da cultura foi medida usando um piranômetro Eppley, instalado a cerca de 1,0m acima da vegetação com a cúpula voltada para dossel vegetativo. Foi também registrada continuamente por um registrador Speedomax durante todos os dias do experimento. Na determinação dos valores diurnos de R_S^{\uparrow} , o procedimento foi análogo ao item anterior. Após determinar a área registrada nos diagramas para cada dia e aplicar a expressão (3.1), foram obtidos os valores diurnos de R_S^{\uparrow} .

3.2.3.3. Coeficiente de Reflexão

Para a obtenção do coeficiente de reflexão da cultura foram utilizados três métodos.

a) Para qualquer condição de nebulosidade

Neste método a razão entre a radiação solar refletida(R_G^\uparrow) e a radiação solar incidente(R_G^\downarrow) é obtida com base nos totais diurnos, ou seja:

$$\alpha = R_G^\uparrow / R_G^\downarrow \quad (3.5)$$

b) Para condições de céu claro

Com este método a razão entre R_G^\uparrow e R_G^\downarrow é calculada levando-se em consideração os valores observados a intervalos de trinta minutos das 6:00 às 18:00 horas para os dias de céu claro, com os quais foram obtidos os valores médios diurnos para os dias considerados.

c) Com base na dependência do ângulo zenital(Z), para o período em que o solo se encontrava praticamente coberto pela cultura

Por este método o coeficiente de reflexão médio diurno da cultura foi obtido a partir da regressão linear entre a razão $R_G^\uparrow / R_G^\downarrow$ e o ângulo zenital médio do Sol(Z), usando os dados observados a intervalos de trinta minutos de R_G^\uparrow , R_G^\downarrow e Z.

3.2.4. Componentes do Balanço de Radiação de Ondas Longas

3.2.4.1. Radiação Térmica da Atmosfera (R_L^\downarrow)

a) Determinação da Radiação Atmosférica

A radiação térmica da atmosfera foi determinada com base na equação do balanço de radiação na seguinte forma:

$$R_L^\downarrow = R_N + \sigma T_S^4 - (R_S^\downarrow - R_S^\uparrow) \quad (3.6)$$

onde: R_L^\downarrow em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{12horas}^{-1}$;

R_N - é o saldo de radiação;

σ - é a constante de Stefan-Boltzmann;

T_S - é a temperatura da superfície da cultura.

b) Estimativa da Radiação Atmosférica

No intuito de comparar os valores de R_L^\downarrow obtidos pela a equação (3.6) com a radiação atmosférica estimada para os dias de céu claro (R_{LCC}), foram utilizadas as seguintes expressões:

b.1. Equação de BRUNT (1932)

$$R_{LCC} = \sigma T_A^4 (0,52 + 0,065\sqrt{e}) \quad (3.7)$$

onde: e é a pressão parcial do vapor d'água no ar em mb.

b.2. Equação de SWINBANK (1963)

$$R_{LCC} = \Omega T_A^6 \quad (3.8)$$

onde: $\Omega = 3.128 \times 10^{-16} \text{ MJ.m}^{-2}.\text{K}^{-6}$, é a constante proposta por Swinbank.

b.3. Equação de IDSO-JACKSON (1969)

$$R_{LCC} = \sigma T_A^4 \{1 - c.\exp[-d(273 - T_A)^2]\} \quad (3.9)$$

onde: "c" e "d" são constantes empíricas, cujos valores são 0,261 e $7,77 \times 10^{-4}$, respectivamente; T_A é a temperatura absoluta do ar próximo a superfície da cultura.

b.4. Equação de BRUTSAERT (1975)

$$R_{LCC} = \sigma T_A^4 [1.24(e_a/T_A)^{1/7}] \quad (3.10)$$

onde e_a é a pressão parcial do vapor d'água na temperatura do ar.

b.5. Equação de SATTERLUND (1979)

$$R_{LCC} = \sigma T_A^4 [1.08 - 1.08 \exp(e^{(T_a/2016)})] \quad (3.11)$$

3.2.4.2. Radiação Térmica da Superfície

a) Determinação da Radiação Terrestre

A radiação terrestre foi determinada com base na Lei de Stefan-Boltzman, eq.(2.2), considerando a emissividade da superfície igual à unidade.

3.2.5. Saldo de Radiação (R_N)

a) Medidas do Saldo de Radiação

As medições do saldo de radiação foram efetuadas utilizando-se dois saldo radiômetros. As medições não

foram registradas continuamente em diagramas, mas feitas de forma pontual a cada trinta minutos das 6:00 às 18:00 horas durante todo o período experimental.

b) Estimativa do Saldo de Radiação

Foram usadas várias equações na estimativa do saldo de radiação, no intuito de comparar os resultados obtidos por essas equações:

b.1. Equação de PENMAN (1948)

$$R_N = R_S^\downarrow (1 - \alpha) - \sigma T_A^4 (a_1 - b_1 \sqrt{e}) [c + d(n/N)] \quad (3.12)$$

A eq.(3.12) estima o saldo de radiação na forma original proposta por PENMAN (1948). A mesma foi ajustada às condições locais nos seguintes termos:

- O termo referente ao balanço de radiação de ondas longas para condição de céu claro, com a pressão parcial do vapor d'água calculada a partir das temperaturas do ar e do termômetro de bulbo úmido, observadas sobre a cultura.

- Os coeficientes de correção da nebulosidade com a pressão parcial do vapor d'água foram calculados a partir das temperaturas do ar e do termômetro de bulbo úmido, observadas sobre a cultura.

Como a radiação solar à superfície nem sempre é monitorada em áreas experimentais, efetuou-se a substituição de R_S pela equação de Prescott na eq.(3.12), resultando em:

$$R_N = Q_S [a + b(n/N)] (1 - \alpha) - \sigma T_a^4 (a_1 - b_1 \sqrt{e}) [c + d(n/N)] \quad (3.13)$$

a_1 e b_1 - são os coeficientes da equação de Brunt;

c e d - são os coeficientes que introduzem o efeito da nebulosidade.

A pressão parcial do vapor d'água foi calculada com base na fórmula de Ferrel e a pressão de saturação do vapor d'água à temperatura do termômetro de bulbo úmido foi obtida através da equação de Tetens, escritas respectivamente nas seguintes formas:

$$e(t_a) = e_s(t_w) - 66 \times 10^{-5} (1 + 115 \times 10^{-5} \cdot t_w) (t_a - t_w) P \quad (3.14)$$

$$e_s(t_w) = 6,1078 \exp[(17,269 t_w) / (237,3 + t_w)] \quad (3.15)$$

onde:

$e(t_a)$ - é a pressão parcial do vapor d'água à temperatura do ar em mb;

$e_s(t_w)$ - é a pressão de saturação do vapor d'água à temperatura do termômetro de bulbo úmido;

P - é a pressão atmosférica local.

b.2. Equação de LINACRE (1968)

$$R_N = (1 - \alpha) R_S^\downarrow - 16 \times 10^{-4} [0,2 + 0,8(n/N)] (100 - T_a) \quad (3.16)$$

Substituindo a temperatura do ar próximo à superfície da cultura (T_a) na eq. (3.16) por $50 \times R_S$, obteve-se a seguinte forma alternativa:

$$R_N = R_S^\downarrow [1.016 - \alpha + 0.064(n/N)] - [0.032 + 0.128(n/N)] \quad (3.17)$$

Como os dados de radiação solar incidente à superfície nem sempre estão disponíveis, e visando à

simplificação da eq.(3.17), usou-se a equação de PRESCOTT (1940):

$$R_N = Q_S[a + b(n/N)][1,016 - \alpha + 0,064(n/N)] - [0,032 + 0,128(n/N)] \quad (3.18)$$

Por último, considerando que no período de completo desenvolvimento a cultura praticamente cobria totalmente o solo, o albedo pode ser assumido constante e tomando a razão de insolação como o valor médio para todo o período experimental, a eq.(3.18) torna-se:

$$R_N = Q_S[a + b(n/N)][1.016 - \alpha + 0.064(n/N)] - [0.032 + 0.128(n/N)] \quad (3.19)$$

3.2.6. Relações entre o saldo de radiação e a radiação solar incidente e, o saldo de radiação e o saldo de radiação de ondas curtas

Com base nos valores pontuais observados, a intervalos de trinta minutos, estabeleceu-se regressões lineares entre o saldo de radiação e a radiação solar incidente e entre o saldo de radiação e o saldo de radiação de ondas curtas.

$$R_N = a + b.R_S^\downarrow \quad (3.20)$$

$$R_N = a + b.R_S^\downarrow(1 - \alpha) \quad (3.21)$$

3.2.7. Balanço de Radiação.

Utilizou-se os valores observados a intervalos de trinta minutos, para fazer a análise do comportamento diurno dos componentes individuais do balanço de radiação, para alguns dias,

sob condições variadas de nebulosidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSOES

4.1. Radiação Solar Global

4.1.1. Estimativa da Radiação Solar Global

A radiação global se constitui num parâmetro de importância fundamental para se estabelecer o balanço de radiação à superfície sendo, portanto, indispensável o seu monitoramento. No entanto, nem sempre é possível a obtenção direta e contínua deste parâmetro em áreas experimentais ou até mesmo em estações meteorológicas, tendo em vista que muitas destas estações somente registram a duração do brilho solar e para áreas experimentais dificilmente consegue-se obter o instrumento. No intuito de se estabelecer uma expressão para a estimativa da radiação solar global em São Gonçalo, utilizou-se as horas de brilho solar e a radiação solar que chega no topo da atmosfera para efetuar a regressão linear entre R_G^{\downarrow}/Q_G e a razão de insolação (n/N), onde a radiação solar global (R_G^{\downarrow}) e a insolação real (n) foram medidos na área, ao longo do período experimental. Para isto, foi utilizada a relação inicialmente proposta por ANGSTROM(1924) e posteriormente modificada por PRESCOTT(1940), eq.(3.2). Os resultados estão apresentados, para cada mês e para todo o período experimental, na tabela IV.1. Na figura IV.1, pode-se observar o comportamento estacional de R_G^{\downarrow}/Q_G contra n/N e sua respectiva reta de regressão. Pode-se ainda observar a dispersão dos pontos ao longo da reta, bem como a grande concentração de pontos (cerca de 70%) para valores de $R_G^{\downarrow}/Q_G > 0,5$ e $n/N > 0,7$, indicando que, ao longo do experimento,

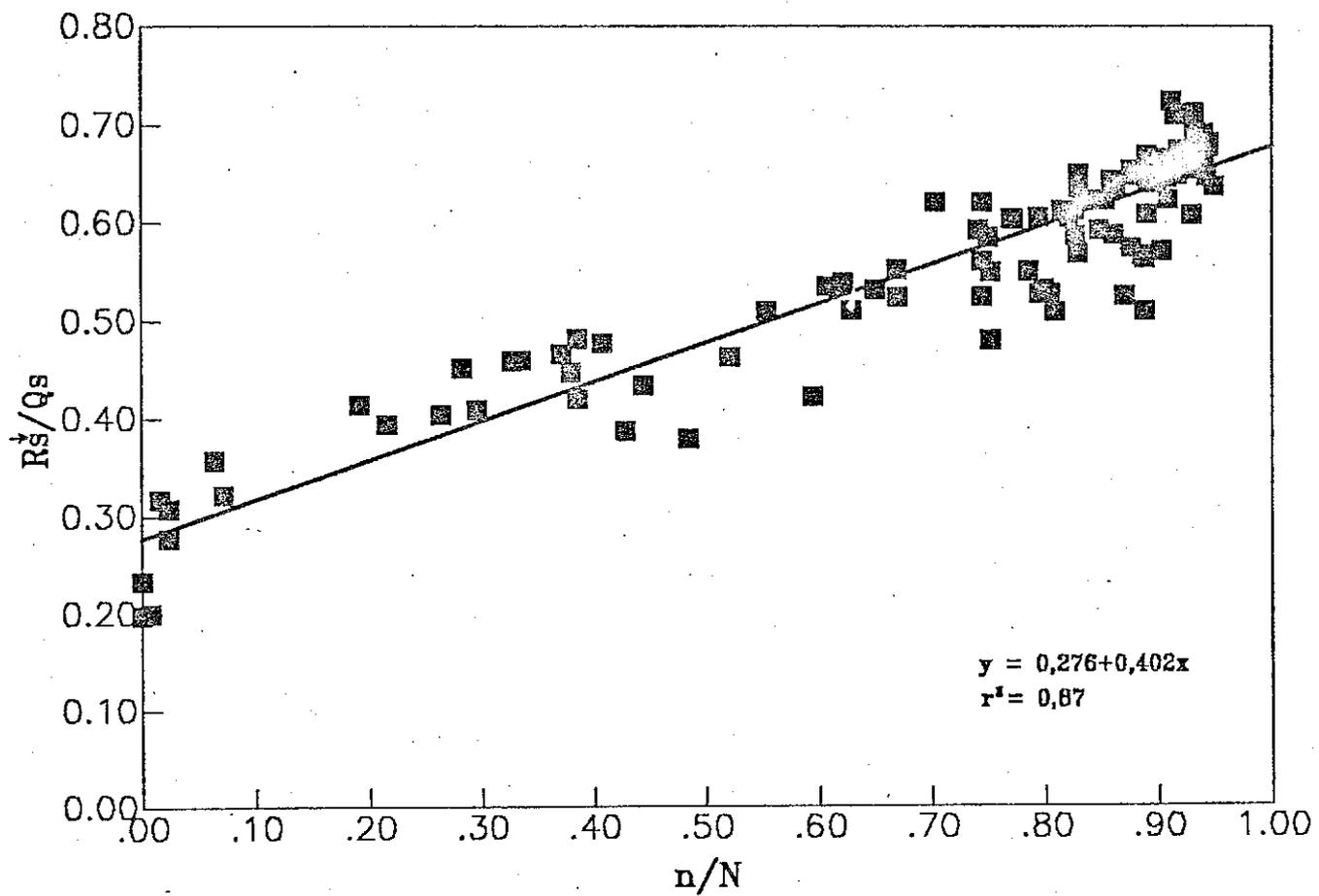


Figura IV.1 - Modelo de regressão linear entre os valores de R_s/Q_s e n/N , para o período experimental de setembro a dezembro de 1989, em São Gonçalo, Sousa-Pb.

aproximadamente 70% dos dias apresentaram condições de pouca ou nenhuma nebulosidade. Esta figura mostra, também, que para dias totalmente nublados ($n/N = 0,0$) a radiação solar que chega à superfície representa apenas 20% daquela que chegaria na ausência da atmosfera e não 28% como preconiza o modelo. Evidencia, ainda, que o modelo de Prescott para dados diários de R_G^t/Q_G e n/N não é muito preciso para regiões e épocas do ano onde e quando predominam condições de acentuada nebulosidade.

TABELA IV.1

VALORES MENSAIS E PARA O PERÍODO EXPERIMENTAL DOS COEFICIENTES DE REGRESSÃO DA EQ.(3.2), OBTIDOS PARA SÃO GONÇALO, SOUSA-Pb.

PERÍODO	Nº DE DIAS	a	b	r^2
Setembro	29	0,179	0,507	0,65
Outubro	31	0,205	0,472	0,76
Novembro	30	0,286	0,408	0,90
Dezembro	19	0,273	0,441	0,89
Set. a Dez.	109	0,276	0,402	0,87

As tabelas IV.2a e IV.2b mostram alguns valores das constantes da eq.(3.2) para diferentes países (BRUTSAERT, 1984) e localidades do Brasil, respectivamente. Esses valores indicam uma variação de a entre 0,18 e 0,35 e de b entre 0,33 e 0,55, com uma leve tendência de decréscimo de a e aumento de b com o aumento da latitude. Para o período experimental em São Gonçalo, os valores determinados para a e b apresentam variações entre 0,179 e 0,286, e de 0,408 a 0,507, respectivamente. Estes valores quando comparados aos das tabelas IV.2, realçam uma boa concordância.

TABELA IV.2a

VALORES DOS COEFICIENTES DE REGRESSÃO DA EQ. (3.2) OBTIDOS PARA DIFERENTES LOCALIDADES E PAISES (BRUTSAERT, 1984).

LOCALIDADE	LAT.	PERIODO	a	b	REFERÊNCIA
Accra (Ghana)	6 ⁰	mensal	0,30	0,37	Davies(1965)
Kano (Nigéria)	12 ⁰	mensal	0,26	0,54	Davies(1965)
Delhi (India)	29 ⁰	semanal	0,31	0,46	Yadav(1965)
Tateno (Japão)	36 ⁰	diário	0,23	0,542	Kondo(1967)
Dodge City (Kansas, USA)	38 ⁰	diário	0,188	0,539	Baker & Haines (1969)
Cleveland (Ohio, USA)	41 ⁰	mensal	0,25	0,54	Baker & Haines (1969)
Rothamsted (England)	52 ⁰	mensal	0,18	0,55	Penman(1948)

TABELA IV.2b

VALORES DOS COEFICIENTES DE REGRESSÃO DA EQ. (3.2) OBTIDOS PARA DIFERENTES LOCALIDADES DO BRASIL.

LOCALIDADE	LAT.	a	b	REFERÊNCIA
São Luiz	2 ⁰ 32'	0,26	0,33	Azevedo et alli 1981
Teresina	5 ⁰ 05'	0,31	0,37	Azevedo et alli 1981
Recife	8 ⁰ 03'	0,30	0,38	Azevedo et alli 1981
Salvador	13 ⁰	0,29	0,39	Azevedo et alii 1981
Caravelas	17 ⁰ 44'	0,28	0,41	Azevedo et alii 1981
Viçosa	20 ⁰ 45'	0,23	0,38	Vianello (1981)
Piracicaba	22 ⁰ 42'	0,26	0,51	Ometo (1981)
Pelotas	31 ⁰ 52'	0,35	0,46	Mota (1981)

4.2. Determinação do Coeficiente de Reflexão(albedo)

4.2.1. Variação do Albedo(α) ao Longo do Ciclo da Cultura

A figura IV.2 apresenta o comportamento do albedo ao longo do ciclo da cultura, as irrigações efetuadas e as precipitações ocorridas desde o plantio(02/09/89) até o final do período de observações (19/12/89). Observa-se que logo após o plantio, quando o solo encontrava-se totalmente descoberto, o albedo atingiu os menores valores (14%). Em seguida, à medida que a cultura foi se desenvolvendo e cobrindo progressivamente o solo, o albedo foi aumentando até atingir o valor máximo (25%), ao final da fase de desenvolvimento vegetativo, com um índice de área foliar máximo em torno de 7. A partir de então, o albedo estabeleceu-se praticamente constante por um período de treze dias com valor médio de 24%. Depois decresceu até atingir o valor de 21% ao final das observações. Ao longo do experimento, o albedo apresentou flutuações, com valores superiores nos dias anteriores às irrigações e reduções médias de seis pontos percentuais nos dias posteriores às irrigações indicando, desta forma, a variação de α com o estado de estresse hídrico das plantas. No período correspondente ao final da fase de floração e início da fase de maturação, o albedo mostrou-se pouco variável devido, principalmente, a pequena variação no índice de área foliar e no estado de turgência das folhas.

4.2.2. Variação Diurna do Albedo

A variação diurna do albedo é mostrada nas figuras IV.3, IV.4 e IV.5, para os dias anterior e posterior às

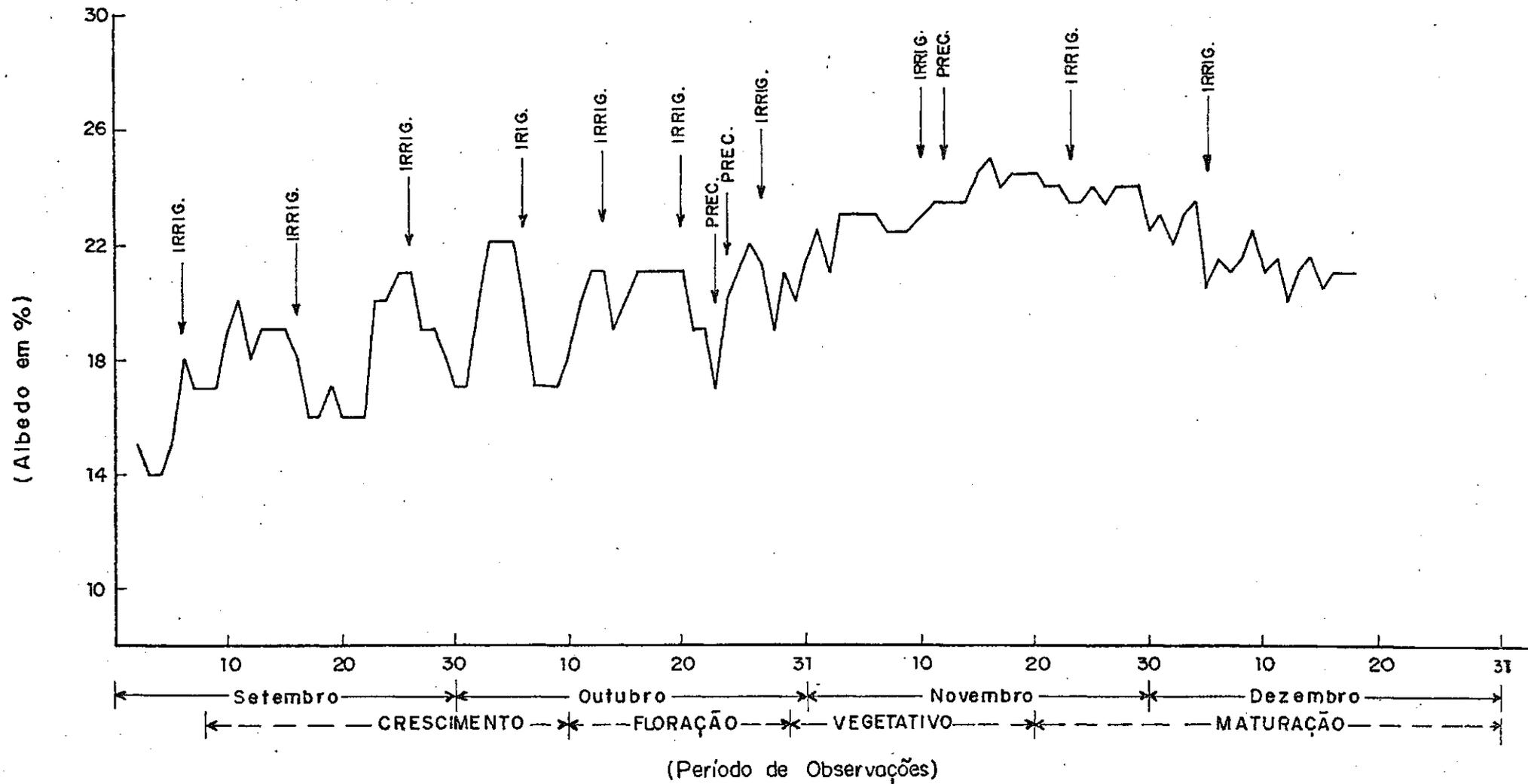


FIG. IV.2 Variação estacional da refletância da cultura de algodão herbácea - variedade precoce. Experimento de São Gonçalo - Pb, 1989.

irrigações, representativos das fases de desenvolvimento vegetativo, floração e maturação, respectivamente. A figura IV.3 apresenta o comportamento diurno do albedo para a fase inicial de desenvolvimento vegetativo, onde pode-se observar que o albedo apresentou valores mais ou menos constante e inferiores a 20% na maior parte do período diurno, com exceção das primeiras e últimas observações. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de que nesta fase o solo encontrava-se quase que totalmente descoberto. A figura IV.4 mostra o comportamento diurno do albedo para dias representativos da fase de floração. Nesta fase fenológica, a cultura já se encontrava-se cobrindo boa parte do solo, com um aumento significativo do albedo. Observa-se que grande parte dos pontos apresentam valores iguais ou superiores a 20% e a diferença entre as curvas (dias anterior e posterior às irrigações) já é menor. Já a figura IV.5 apresenta o comportamento diurno do albedo para a fase de maturação, com aumento considerável do albedo como consequência da cobertura total do solo pela cultura. Observa-se também que as curvas referentes aos dias anterior e posterior às irrigações praticamente não apresentam diferenças, indicando particularmente que, nessa fase, o restabelecimento da umidade do solo pelas irrigações não alterou significativamente o albedo da cobertura vegetal. As figuras anteriormente citadas apresentam um conjunto de curvas que possuem um comportamento semelhante com respeito aos pontos de mínimos e máximos, tanto no dia anterior como no dia posterior às irrigações, independente da fase fenológica da cultura. Pode-se observar que os valores do albedo nas primeiras observações do dia (6:00 e 6:30 hs) aumentaram continuamente ao

longo do experimento, até alcançar o valor de 32% na fase de maturação, e os menores valores ocorreram em torno do meio dia solar verdadeiro como o esperado e os maiores valores para os dias considerados ocorreu sempre ao pôr-do-Sol. Pode-se observar, também, que para os dias posteriores às irrigações o albedo apresentou-se inferior ao observado para os dias anteriores às irrigações, sendo as menores diferenças, entre as curvas, verificadas na fase de maturação, com também melhor assimetria. Pode-se observar ainda que os valores do albedo entre 8 e 16 horas solar apresentou pouca variação, permanecendo praticamente constante, aumentando rapidamente após as 16 horas.

4.2.3. Albedo Para o Período de Completo Desenvolvimento Vegetativo da Cultura do Algodoeiro

A figura IV.6 mostra a relação entre o albedo e o ângulo zenital do Sol, para a fase de completo desenvolvimento da cultura. O albedo foi também determinado, para esta fase, com base no ângulo zenital do Sol, através da equação $\alpha=0.185+0.00093Z$, a qual foi obtida pela regressão linear entre os valores do albedo, medido a intervalos de trinta minutos e do ângulo zenital do Sol obtidos para os respectivos horários. Através desta equação pode-se determinar o coeficiente de reflexão para um determinado dia, tomando-se o valor médio diário do ângulo zenital do Sol ou para qualquer horário usando-se o ângulo zenital do Sol, obtido para um determinado instante.

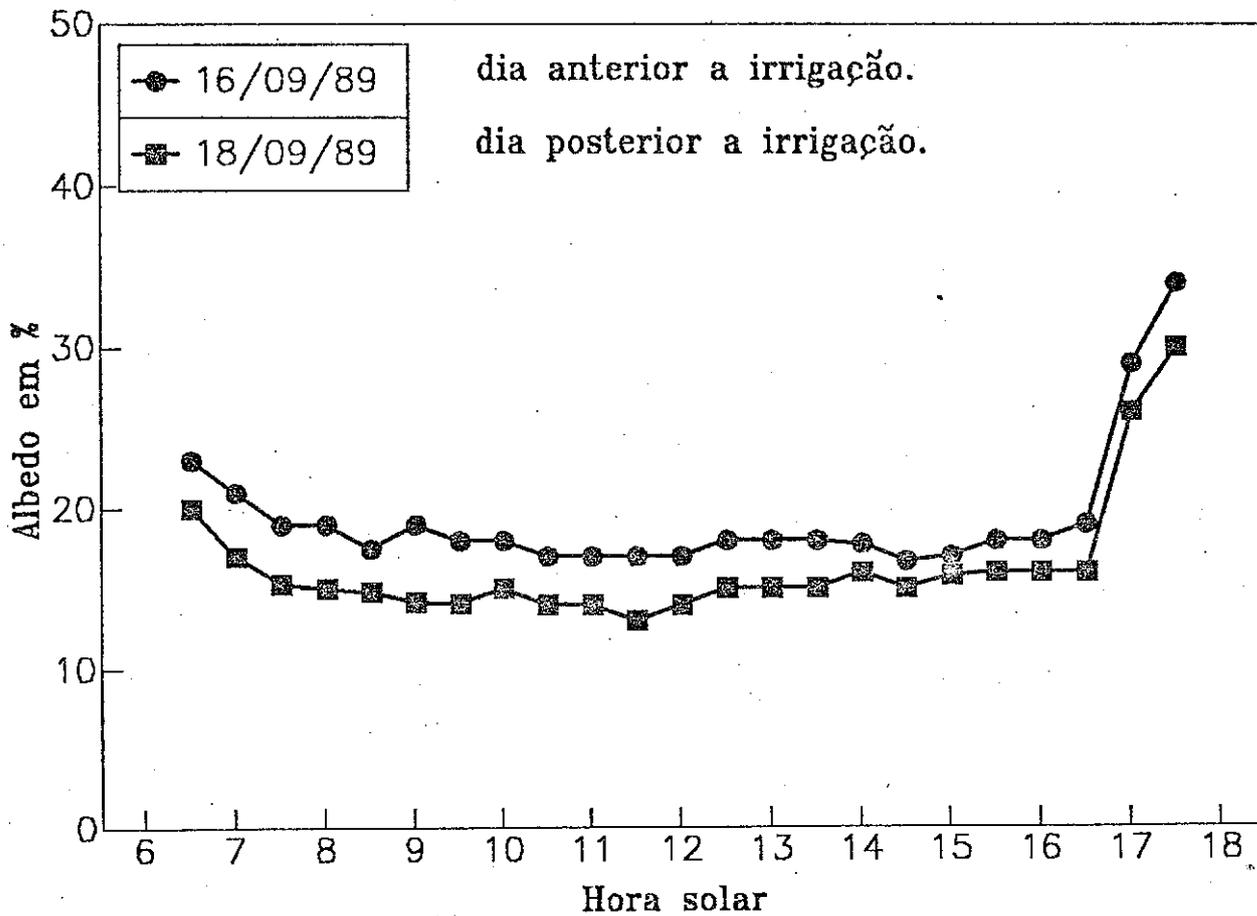


Figura IV.3 - Comportamento diurno do albedo do algodoeiro na fase de crescimento vegetativo.

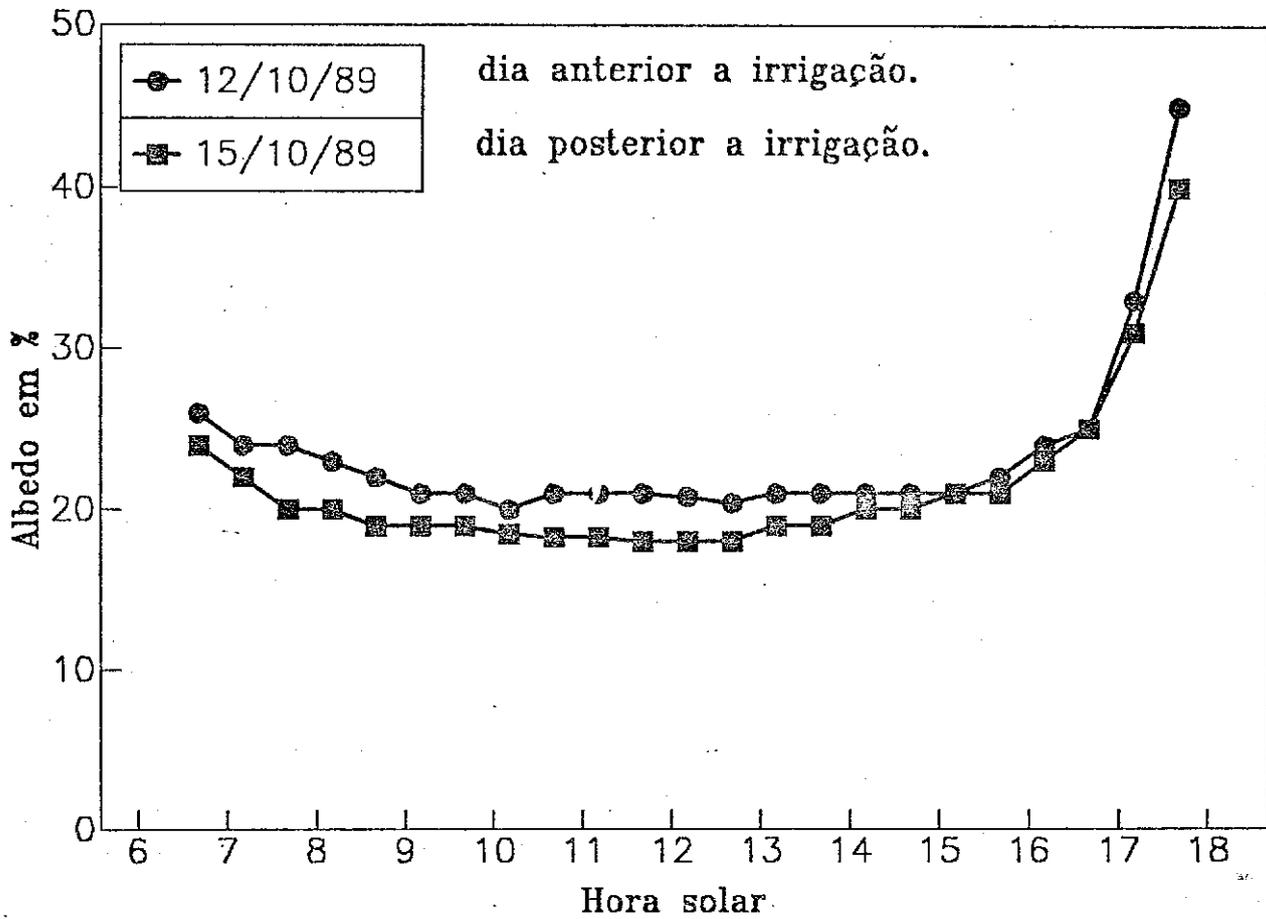


Figura IV.4 - Comportamento diurno do albedo do algodoeiro na fase de floração.

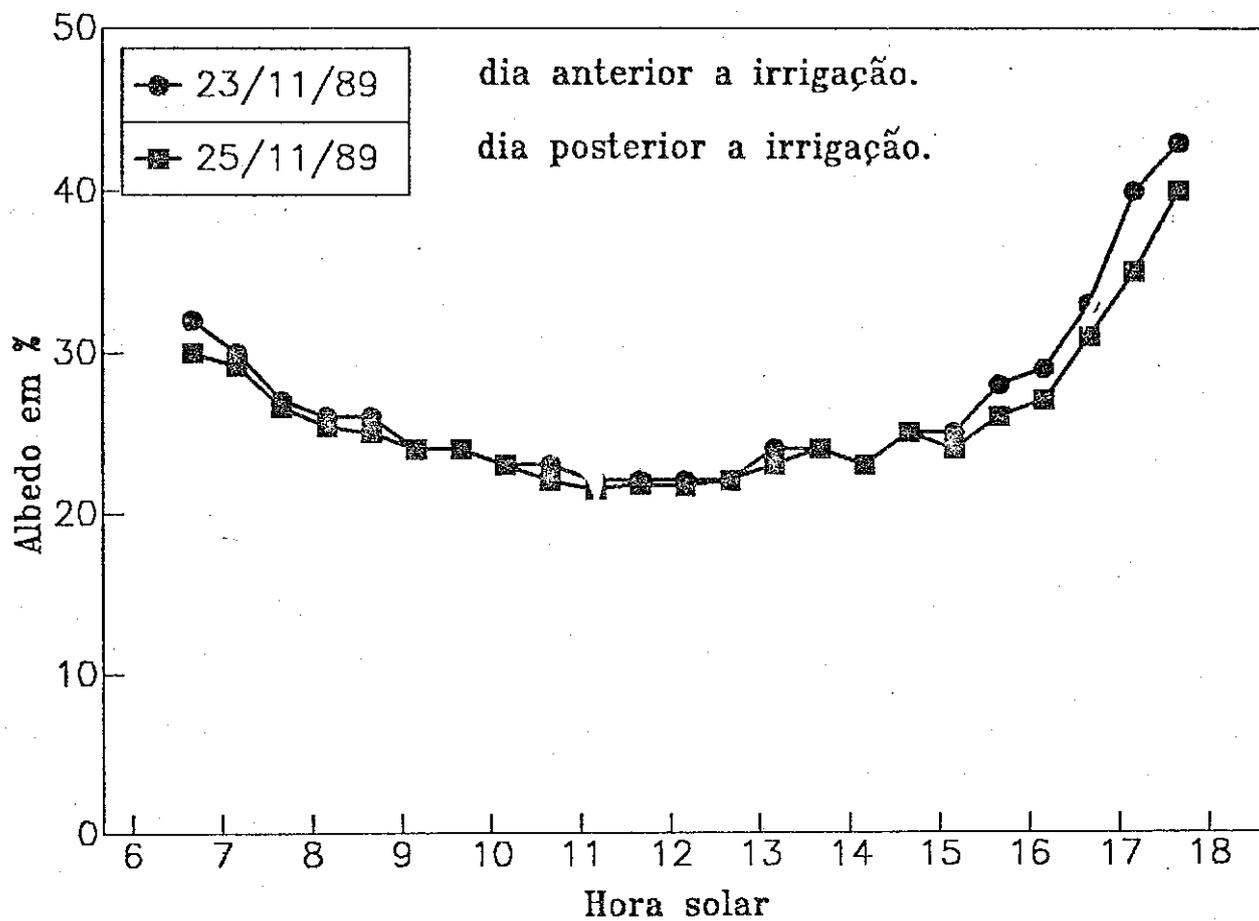


Figura IV.5 - Comportamento diurno do albedo do algodoeiro na fase de maturação.

4.2.4. Estimativa do Coeficiente de Reflexão para a Cultura do Algodoeiro

A tabela IV.3 apresenta os valores diários do coeficiente de reflexão determinados com base nos seguintes métodos: A) a partir dos registros contínuos de R_s e R_s ; B) a partir dos valores medidos a intervalos de trinta minutos; C) a partir da equação $\alpha=0,185+0,00093Z$. Os dias apresentados na tabela IV.3, são considerados como sendo dias de céu claro, pois foram selecionados com base nos diagramas da radiação solar, obtida através do actinógrafo. Esta tabela mostra que os valores do albedo obtidos pelo método B, superam aqueles obtidos pelo método A em aproximadamente 47% dos dias, alcançando uma diferença de até 2,9%. O método C foi considerado somente para o período de completa cobertura do solo pela cultura. O método C apresenta valores inferiores aos obtidos pelos métodos A e B em todos os dias considerados, alcançando diferenças de até 1,7% e 2,6%, respectivamente. É aconselhável usar o método C, somente quando o comportamento reflectivo da superfície da cultura apresenta pouca variação.

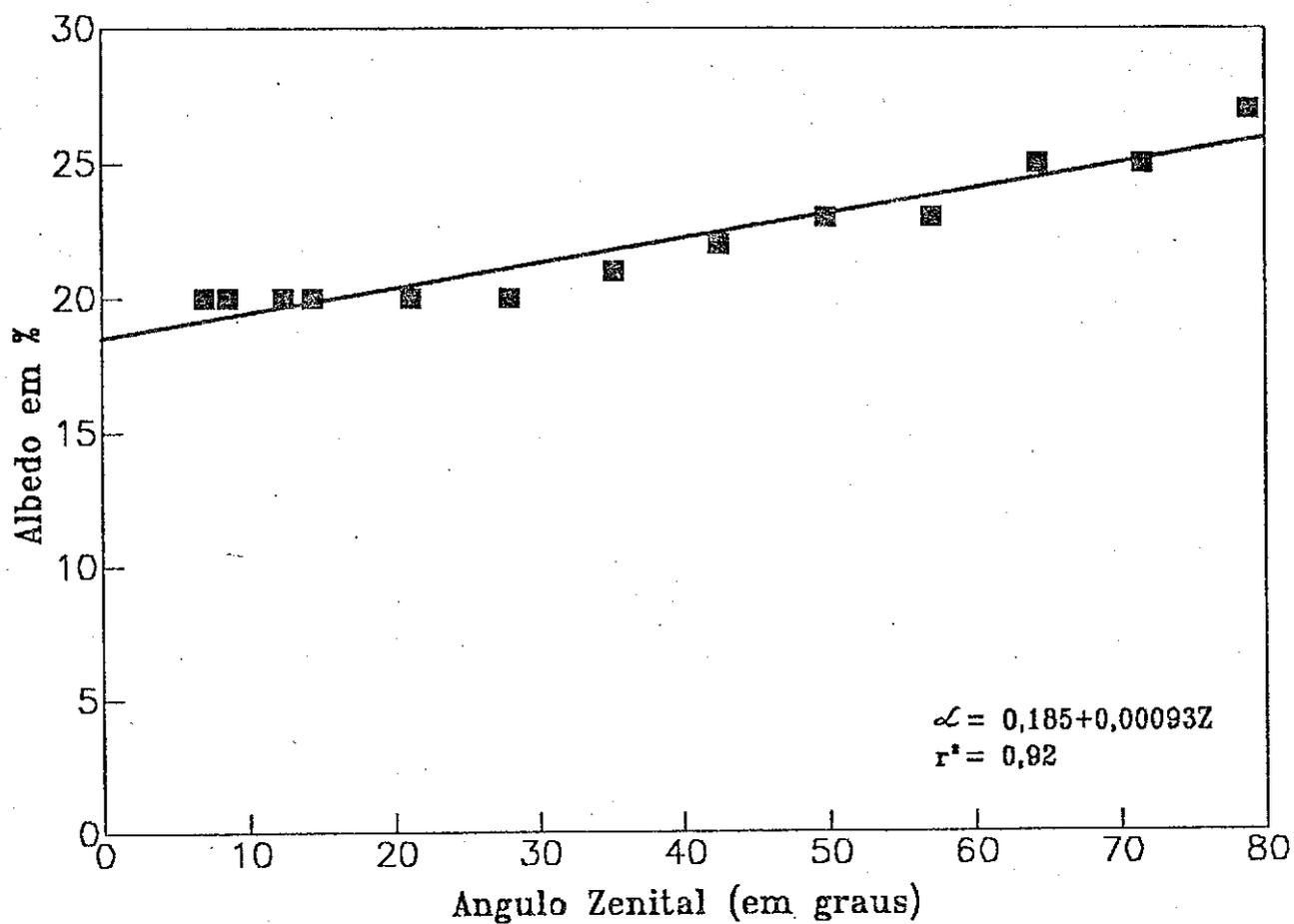


Figura IV.6 - Relação entre o albedo e o ângulo zenital, para a fase de completo desenvolvimento da cultura.

TABELA IV.3

VALORES DO COEFICIENTE DE REFLEXÃO DO ALGODOEIRO, OBTIDOS PELOS MÉTODOS A, B e C, DESCRITOS ANTERIORMENTE.

DATA	MÉTODOS		
	A	B	C
01.10.89	0,155	0,174	-
02.10.89	0,198	0,199	-
05.09.89	0,223	0,218	-
06.10.89	0,166	0,195	-
10.10.89	0,183	0,182	-
13.10.89	0,208	0,210	-
14.10.89	0,190	0,192	-
18.10.89	0,215	0,207	-
28.10.89	0,170	0,192	-
05.11.89	0,229	0,229	0,220
12.11.89	0,230	0,235	0,221
13.11.89	0,234	0,234	0,221
19.11.89	0,238	0,247	0,221
24.11.89	0,236	0,236	0,222
28.11.89	0,236	0,236	0,222

4.3. Radiação Atmosférica (R_L^\dagger)

4.3.1. Estimativa da Radiação de Ondas Longas da Atmosfera

Os parâmetros utilizados nas estimativas da radiação de ondas longas proveniente da atmosfera, foram

observados ao nível de 1,0 metro acima da vegetação. Tais estimativas, para dias de céu claro, foram efetuadas através de equações que têm como base a temperatura e a pressão parcial do vapor d'água do ar. A tabela IV.4 apresenta os valores da radiação atmosférica (MJ/m^2) determinados através da equação do balanço de radiação (Eq. 4.6), valores estimados pelas equações 4.7; 4.8; 4.9; 4.10 e 4.11 e os erros padrões de estimativas associados. Nesta tabela foram utilizados os coeficientes empíricos determinados para o local. A tabela IV.5, além dos valores observados, apresenta os valores estimados a partir das equações anteriormente citadas usando, para isto, os coeficientes empíricos originais. Pode-se observar que os erros padrões de estimativas apresentados na tabela IV.4, são menores do que os apresentados pela tabela IV.5, para os dias de céu claro considerados. Na tabela IV.4, as equações que melhor estimaram a radiação de ondas longas proveniente da atmosfera foram as de Brutsaert, Brunt e Satterlund, com erro padrão médio de estimativa de $0,067\text{MJ}/\text{m}^2$. As equações de Swinbank e Idso&Jackson apresentaram erro padrão de estimativa de até $0,263\text{MJ}/\text{m}^2$ a mais que as anteriores. Na tabela IV.5, a equação de Brunt é a que apresenta melhores resultados, com erro padrão de estimativa de $0,596\text{MJ}/\text{m}^2$, seguida pela equação de Swinbank que apresentou um erro padrão de estimativa de $1,096\text{MJ}/\text{m}^2$. Com base no exposto pode-se salientar que qualquer equação empírica empregada para determinada região, sob certas condições climáticas, deve sofrer alguns ajustes locais. Pela tabela IV.4, pode-se observar ainda que os melhores resultados foram obtidos pelas equações que levam em consideração simultaneamente a temperatura e a pressão parcial

do vapor d'água do ar, enquanto as equações que são uma função apenas da temperatura apresentaram-se menos precisas.

TABELA IV.4

VALORES DA RADIAÇÃO ATMOSFÉRICA (MJ/m^2), PARA DIAS DE CÉU CLARO, OBSERVADOS E ESTIMADOS POR DIFERENTES RELAÇÕES EMPÍRICAS, COM OS COEFICIENTES EMPÍRICOS OBTIDOS LOCALMENTE.

DATAS	RADIAÇÃO ATMOSFÉRICA (R_{LCC}) (MJ/m^2)					
	Observ. Eq. 4.6	Brunt Eq. 4.7	Swinb. Eq. 4.8	Id.&Jc. Eq. 4.9	Bruts. Eq.4.10	Satter. Eq.4.11
09/09	15,93	15,92	16,41	16,14	15,92	15,92
23/09	15,84	15,79	16,19	15,93	15,80	15,76
10/10	16,38	16,31	16,47	16,20	16,31	16,31
28/10	16,07	16,19	16,49	16,22	16,19	16,19
10/12	16,33	16,34	16,34	16,08	16,34	16,31
Ey.X	—	0,064	0,326	0,184	0,063	0,073

TABELA IV.5

VALORES DA RADIAÇÃO ATMOSFÉRICA (MJ/m^2), PARA DIAS DE CÉU CLARO, OBSERVADOS E ESTIMADOS POR DIFERENTES RELAÇÕES EMPÍRICAS, COM OS COEFICIENTES EMPÍRICOS ORIGINAIS.

DATAS	RADIAÇÃO ATMOSFÉRICA (R_{LCC}) (MJ/m^2)					
	Observ. Eq. 4.6	Brunt Eq. 4.7	Swinb. Eq. 4.8	Id.&Jc. Eq. 4.9	Bruts. Eq.4.10	Satter. Eq.4.11
09/09	15,93	16,47	17,23	18,13	17,12	17,47
23/09	15,84	16,35	16,89	18,44	16,99	17,26
10/10	16,38	16,93	17,33	18,01	17,52	17,68
28/10	16,07	16,78	17,37	17,99	17,40	17,65
10/12	16,33	16,98	17,13	18,22	17,53	17,60
Ey.X	—	0,596	1,096	1,781	1,200	1,426

coeficientes originais da eq. de Brunt e os coeficientes obtidos localmente.

TABELA IV.6

COEFICIENTES DA EQUAÇÃO DE BRUNT(1932), EQ.(3.7), ORIGINALS E OBTIDOS LOCALMENTE.

	C O E F I C I E N T E S		r ²
	a	b	
Original	0,520	0,065	0,94
Local	0,544	0,054	0,88

4.4. Saldo de Radiação(R_W)

4.4.1. Estimativa do Saldo de Radiação com Base na Equação de Penman(1948)

Os resultados da estimativa do saldo de radiação pela equação de Penman(1948), foram obtidos com base nos coeficientes empíricos determinados para o local e nos originais. A figura IV.7 apresenta o comportamento dos pontos ao longo da reta 1:1, do saldo de radiação estimado a partir dos coeficientes originais(R_{NPO}) contra o saldo de radiação medido(R_{NM}). Pode-se observar um bom ajustamento dos pontos em torno da reta 1:1, com erro padrão de estimativa de $0,849\text{MJ/m}^2$. Ao mesmo tempo, a figura IV.8 mostra um melhor ajustamento dos pontos em torno da reta 1:1, com um erro padrão de estimativa de $0,728\text{MJ/m}^2$. Nesta figura, o gráfico foi estabelecido com valores do saldo de radiação estimados com base nos coeficientes empíricos locais. As figuras IV.9 e IV.10 mostram a disposição dos pontos do saldo de

radiação estimado, com base na eq.(3.13), a partir dos coeficientes originais e determinados para o local, respectivamente, contra o saldo de radiação medido em torno da reta 1:1. Através da figura IV.9 pode-se observar que a maioria dos pontos encontra-se bastante dispersa na reta 1:1, apresentando um erro padrão de estimativa de 2,589MJ/m². Já a figura IV.10 apresenta os pontos mais próximo da reta de 1:1 mostrando um erro padrão de estimativa de 1,561MJ/m², significando uma diferença de aproximadamente 40% a menos que a anterior. A tabela IV.7 apresenta os coeficientes originais e os determinados localmente para a equação de PENMAN(1948).

TABELA IV.7

COEFICIENTES DA EQUAÇÃO DE PENMAN(1948), EQ.(3.12), ORIGINAIS E OBTIDOS LOCALMENTE.

	COEFICIENTES				r ²
	a ₁	b ₁	c	d	
Original	0,48	0,065	0,10	0,90	-
Local	0,46	0,054	0,17	0,83	0,96

4.4.2. Estimativas do Saldo de Radiação com Base nas Equações Propostas por LINACRE(1968)

Com os resultados do saldo de radiação obtidos pela eq.(3.16) construiu-se o gráfico da figura IV.11, que apresenta o ajustamento dos pontos ao longo da reta 1:1, dos valores estimados(R_{NLA}) contra os valores medidos(R_{NM}). Nesta figura, os pontos apresentam-se pouco dispersos, porém com maior

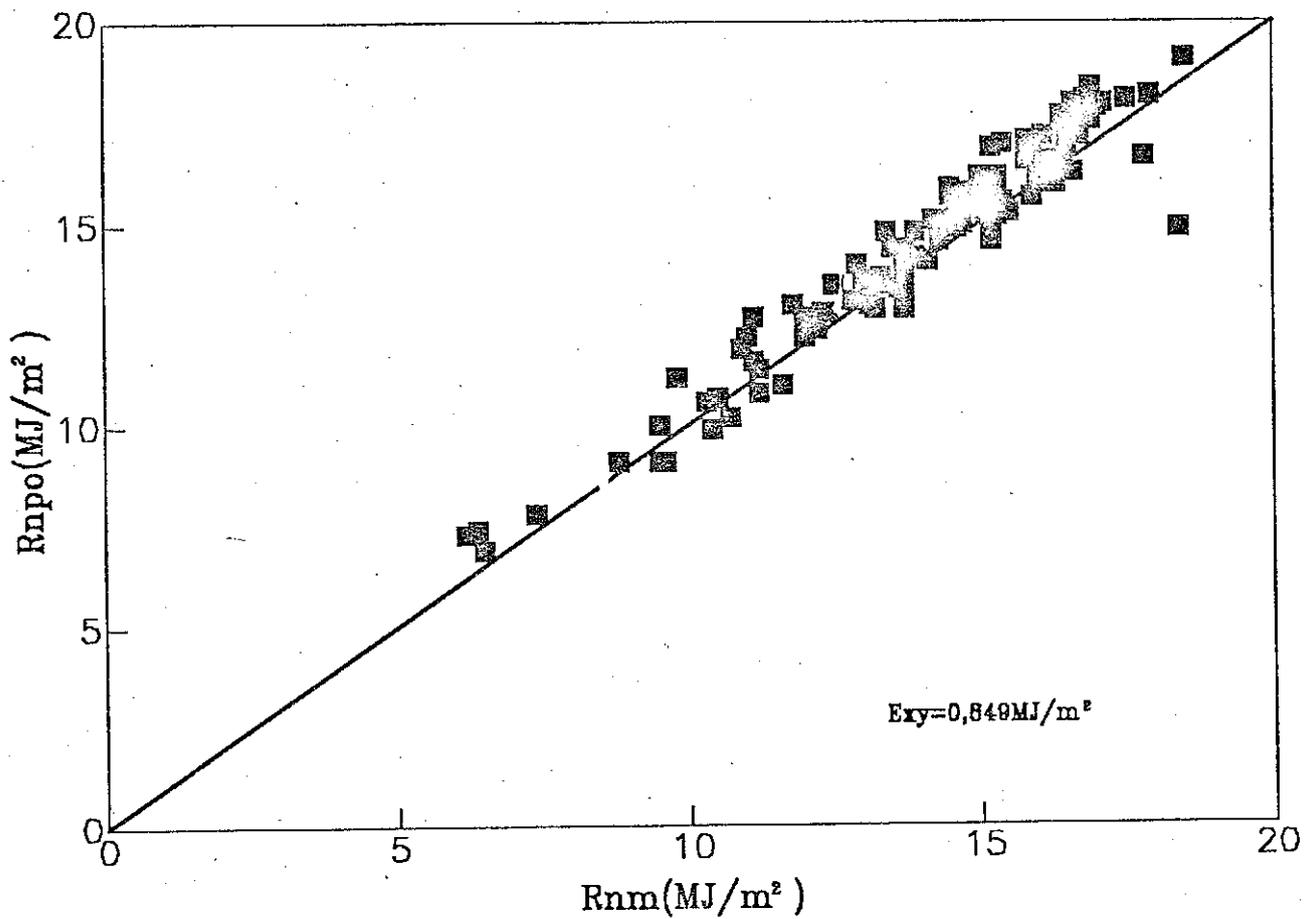


Figura IV.7 - Comparação de R_n estimado pela eq.(3.12) a partir dos coeficientes originais, com R_n medido (R_{nm}).

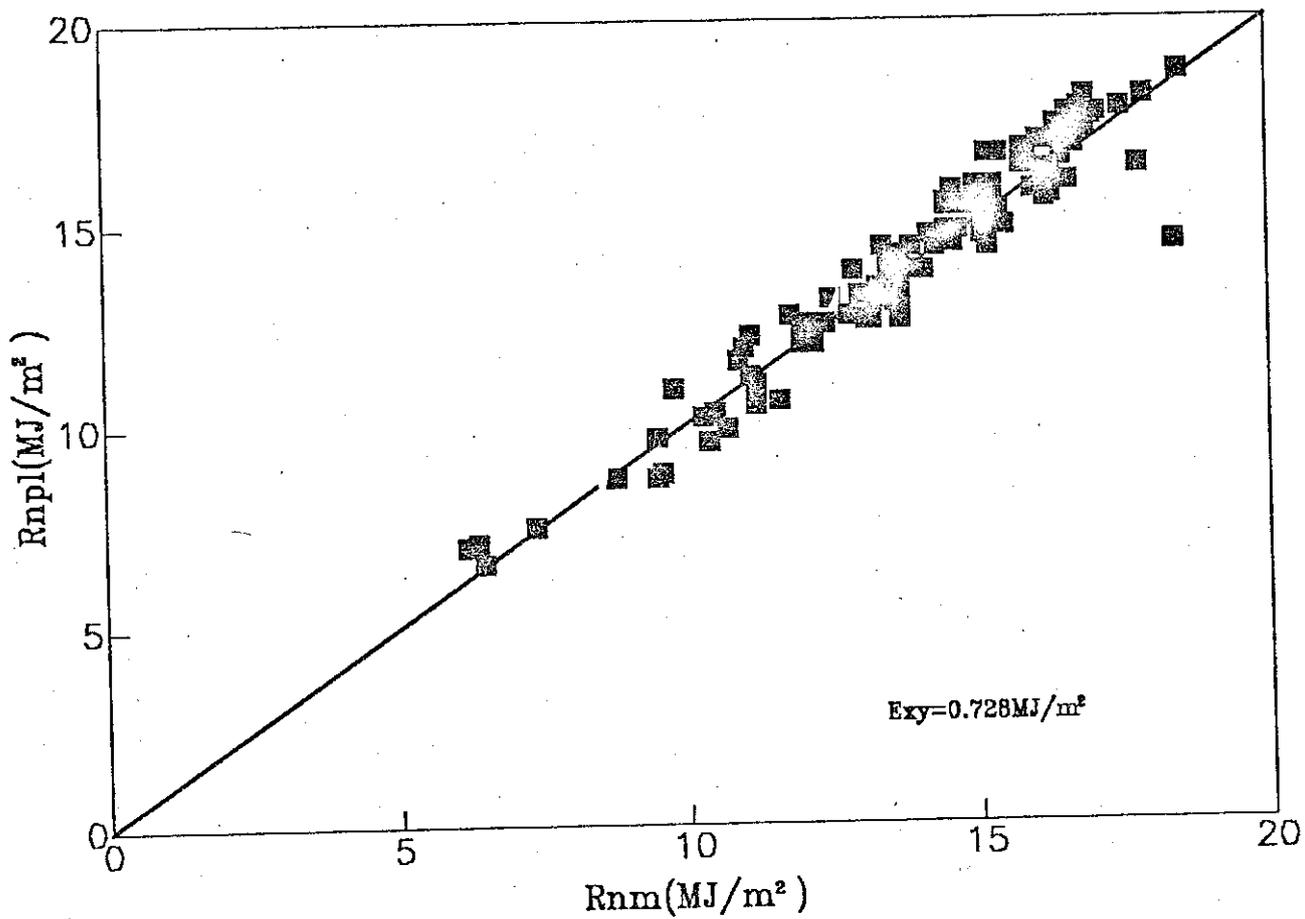


Figura IV.8 - Comparação de R_n estimado estimado pela eq.(3.12), a partir dos coeficientes locais, com R_n medido.

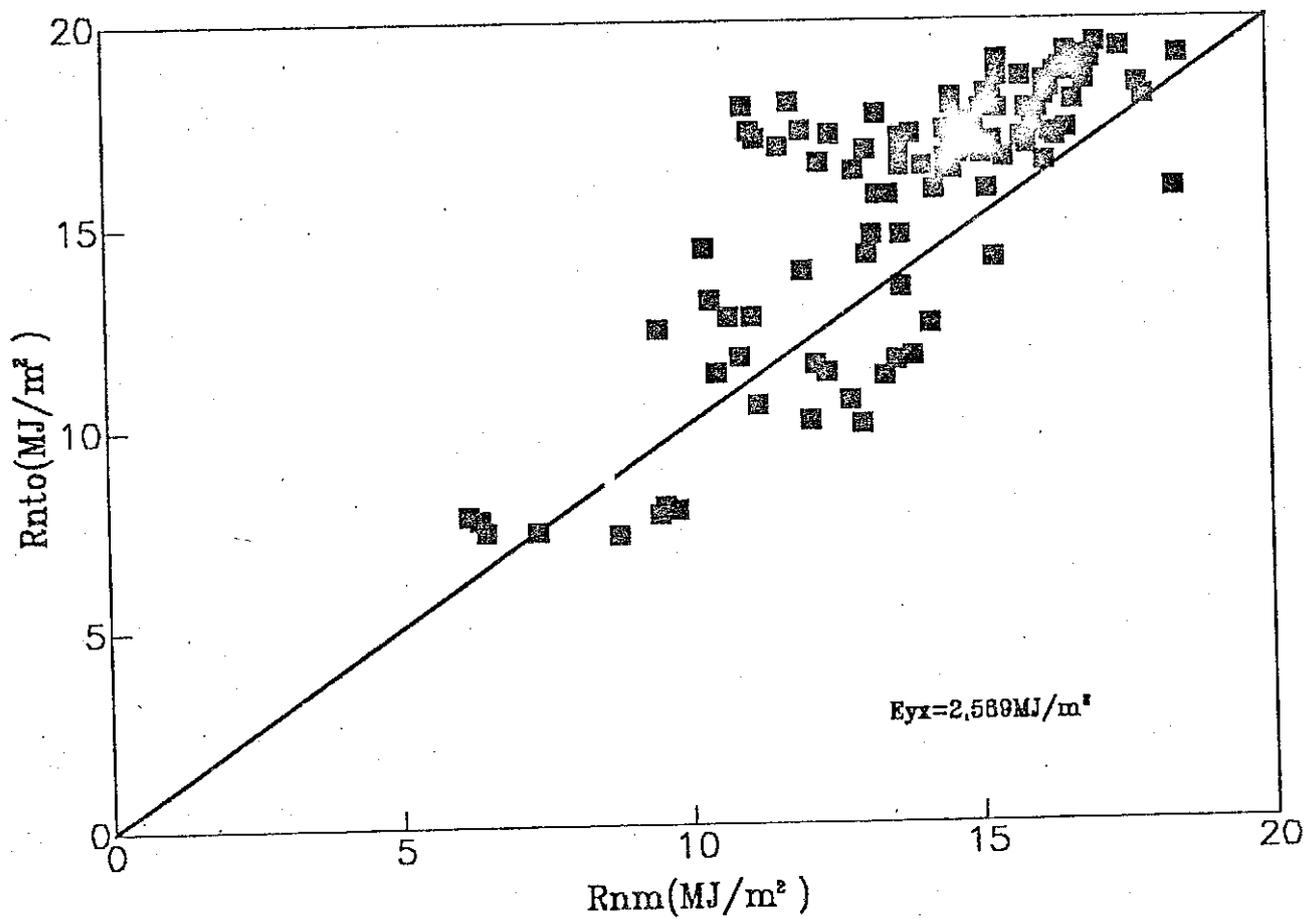


Figura IV.9 - Comparação de R_n estimado eq.(3.13), a partir dos coeficientes originias, com R_n medido.

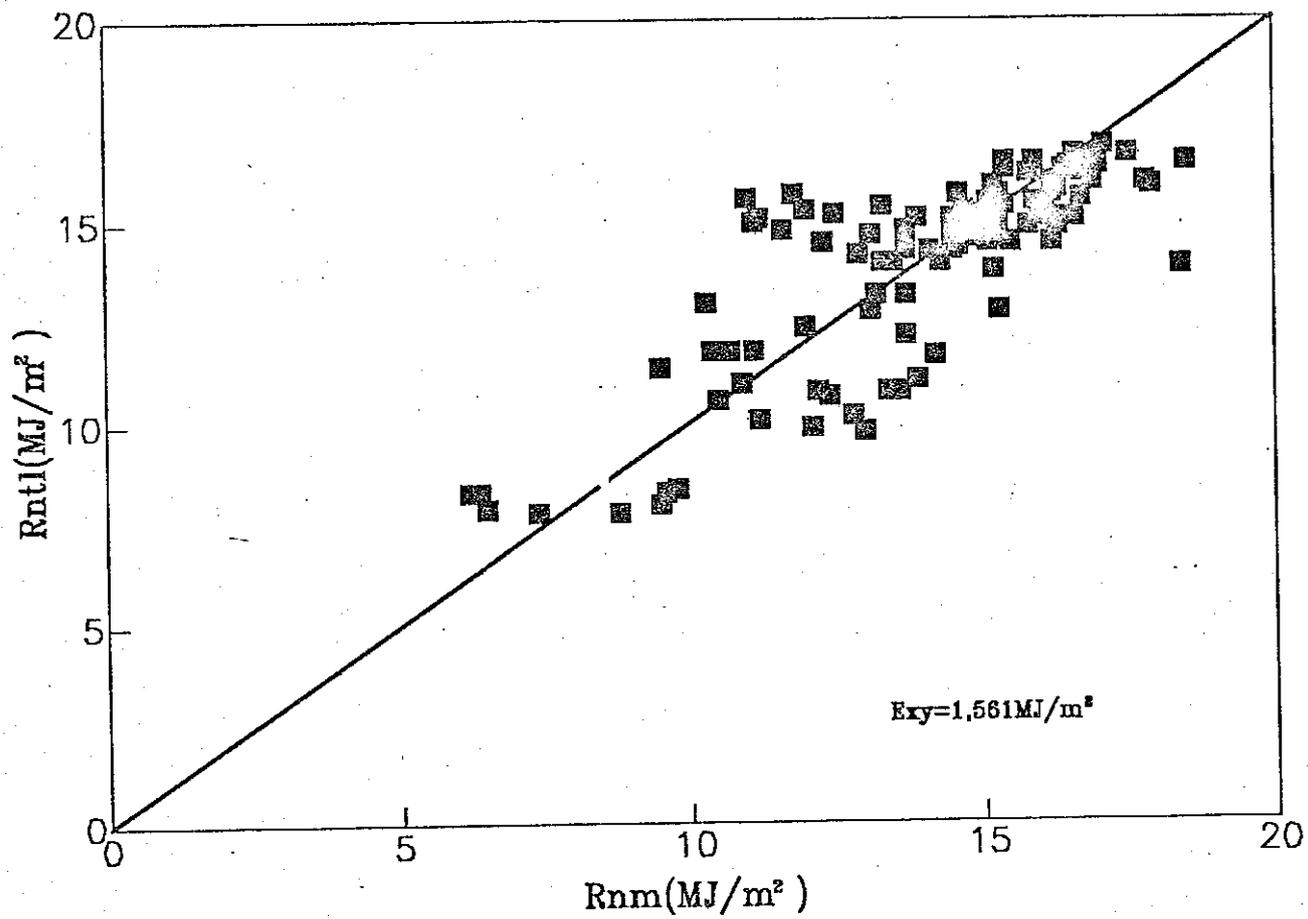


Figura IV.10 - Comparação de R_n estimado eq.(3.13), a partir dos coeficientes locais, com R_n medido.

Observa-se que os pontos não se distribuem de forma uniforme com relação ao modelo, podendo ser melhor visualizada pela figura IV.12.b, que apresenta o saldo de radiação estimado, como função da radiação solar global, contra o saldo de radiação medido, apresentando a dispersão dos pontos ao longo da reta 1:1 e um erro padrão de estimativa de $1,044\text{MJ/m}^2$. O saldo de radiação estimado, apresentado na figura anterior, foi obtido com base na seguinte relação:

$$R_N = 2,489 + 0,533R_S^\dagger$$

A figura IV.13.a apresenta o saldo de radiação medido contra o saldo de radiação de ondas curtas, a reta de regressão do modelo e o coeficiente de determinação. Pode-se observar que a figura IV.13.a apresenta um comportamento bem semelhante ao da figura IV.12.a, quanto a disposição dos pontos em torno da reta do modelo, sendo 1% menos precisa que a anterior. Tal fato se confirma ao observar a figura IV.13.b que apresenta um erro padrão de estimativa de $1,103\text{MJ/m}^2$. Isto reforça a teoria de FRITSCHEN(1967), de que o albedo introduzido em equações resultantes de regressões lineares não melhora a estimativa do saldo de radiação. A equação de estimativa do saldo de radiação como função do balanço de radiação de ondas curtas é a seguinte:

$$R_N = 3,173 + 0,625R_S^\dagger(1 - \alpha)$$

4.5. Balanço de Radiação Sobre a Cultura

4.5.1. Variação Diurna dos Componentes do Balanço de

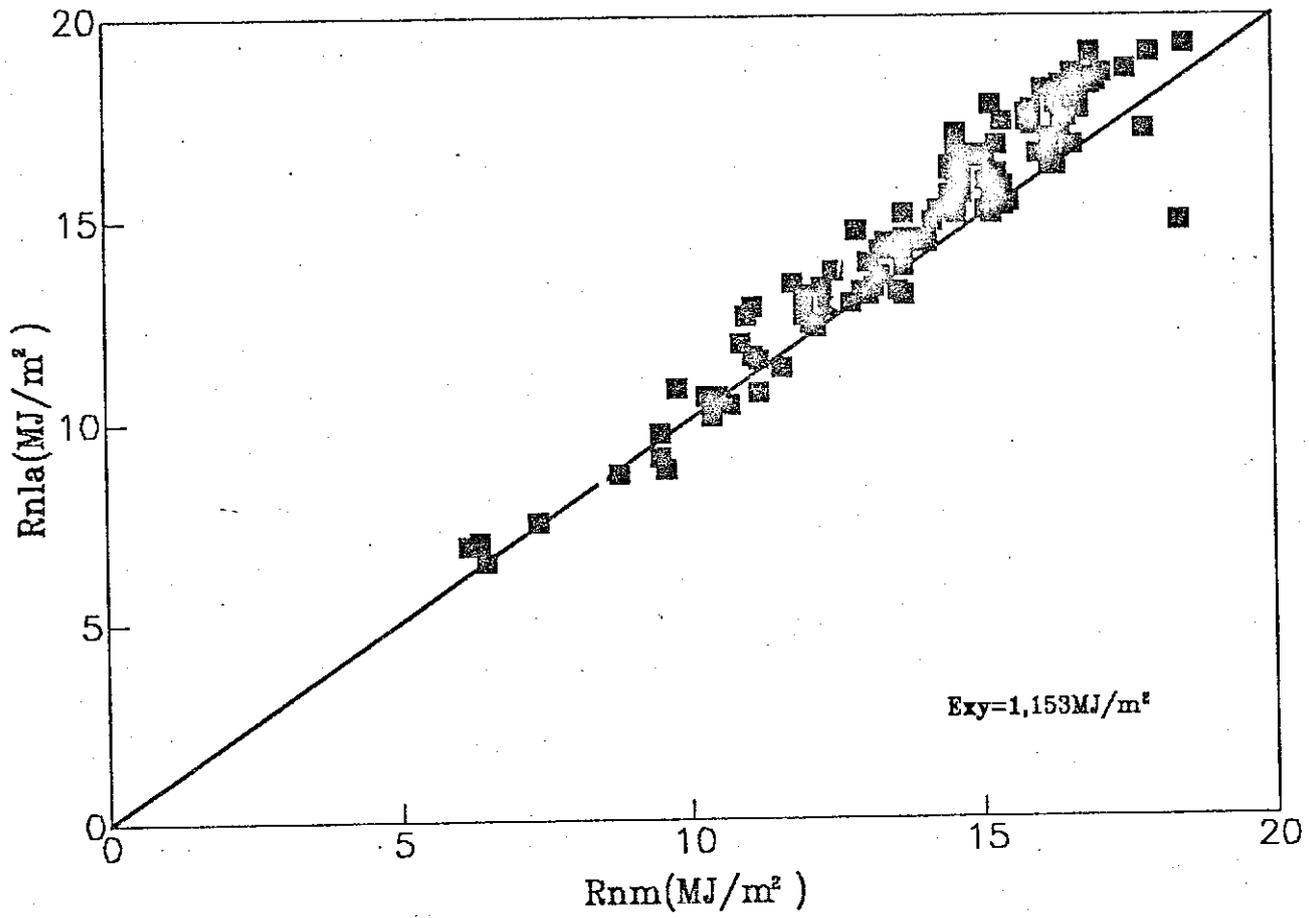


Figura IV.11 - Comparação de R_n estimado pela eq. de Linacre(1968), com R_n medido.

medido contra a radiação de ondas curtas incidente com sua respectiva reta de regressão e coeficiente de determinação. Observa-se que os pontos não se distribuem de forma uniforme com relação ao modelo, podendo ser melhor visualizada pela figura IV.12.b, que apresenta o saldo de radiação estimado, como função da radiação solar global, contra o saldo de radiação medido, apresentando a dispersão dos pontos ao longo da reta 1:1 e um erro padrão de estimativa de $1,044\text{MJ/m}^2$. O saldo de radiação estimado, apresentado na figura anterior, foi obtido com base na seguinte relação:

$$R_N = 2,489 + 0,533R_S^\dagger$$

A figura IV.13.a apresenta o saldo de radiação medido contra o saldo de radiação de ondas curtas, a reta de regressão do modelo e o coeficiente de determinação. Pode-se observar que a figura IV.13.a apresenta um comportamento bem semelhante ao da figura IV.12.a, quanto a disposição dos pontos em torno da reta do modelo, sendo 1% menos precisa que a anterior. Tal fato se confirma ao observar a figura IV.13.b que apresenta um erro padrão de estimativa de $1,103\text{MJ/m}^2$. Isto reforça a teoria de FRITSCHEN(1967), de que o albedo introduzido em equações resultantes de regressões lineares não melhora a estimativa do saldo de radiação. A equação de estimativa do saldo de radiação como função do balanço de radiação de ondas curtas é a seguinte:

$$R_N = 3,173 + 0,625R_S^\dagger(1 - \alpha)$$

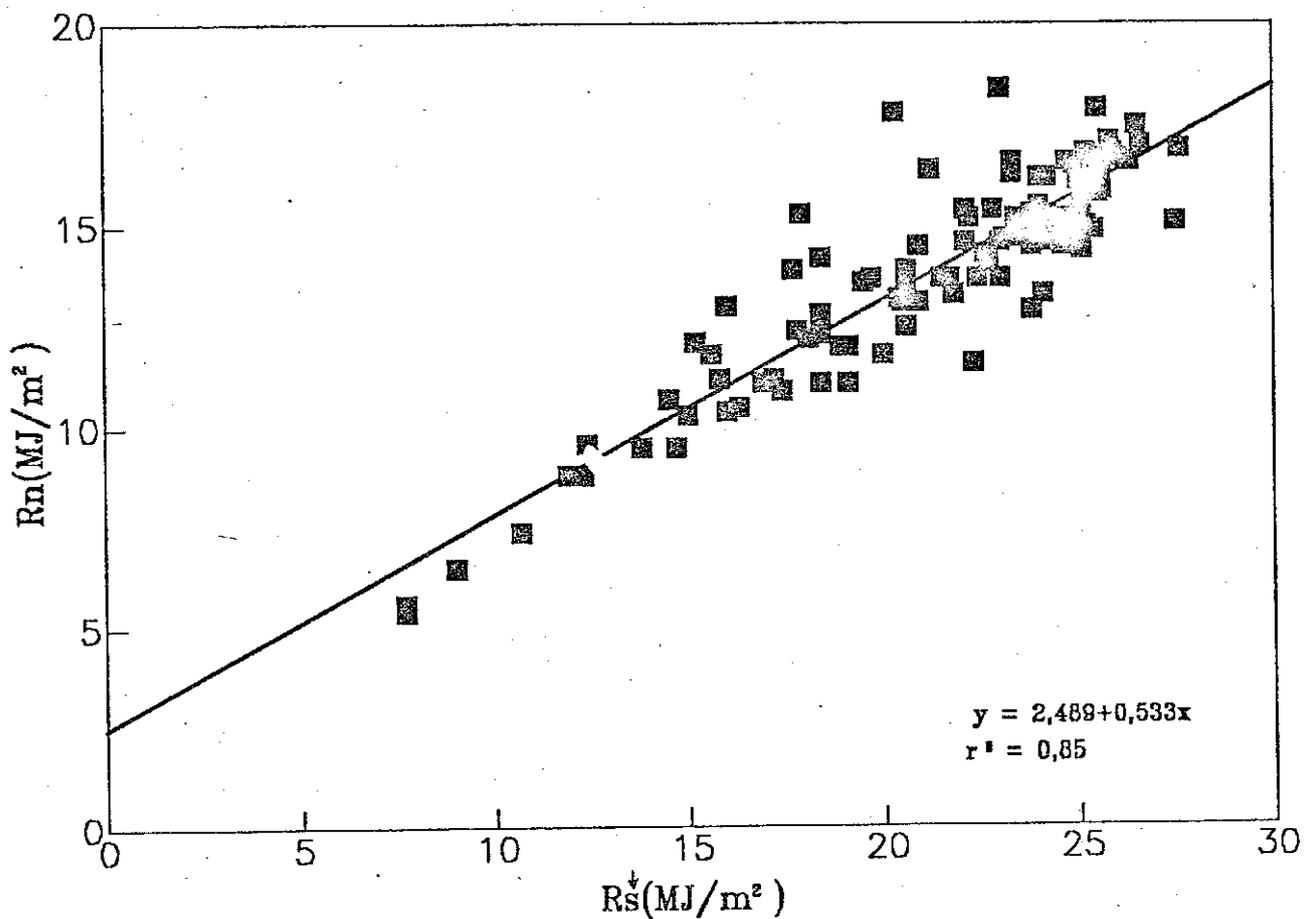


Figura IV.12a - Modelo de regressão linear entre R_n e R_s^\downarrow , para o período experimental de setembro a dezembro de 1989, em São Gonçalo. Sousa-Pb.

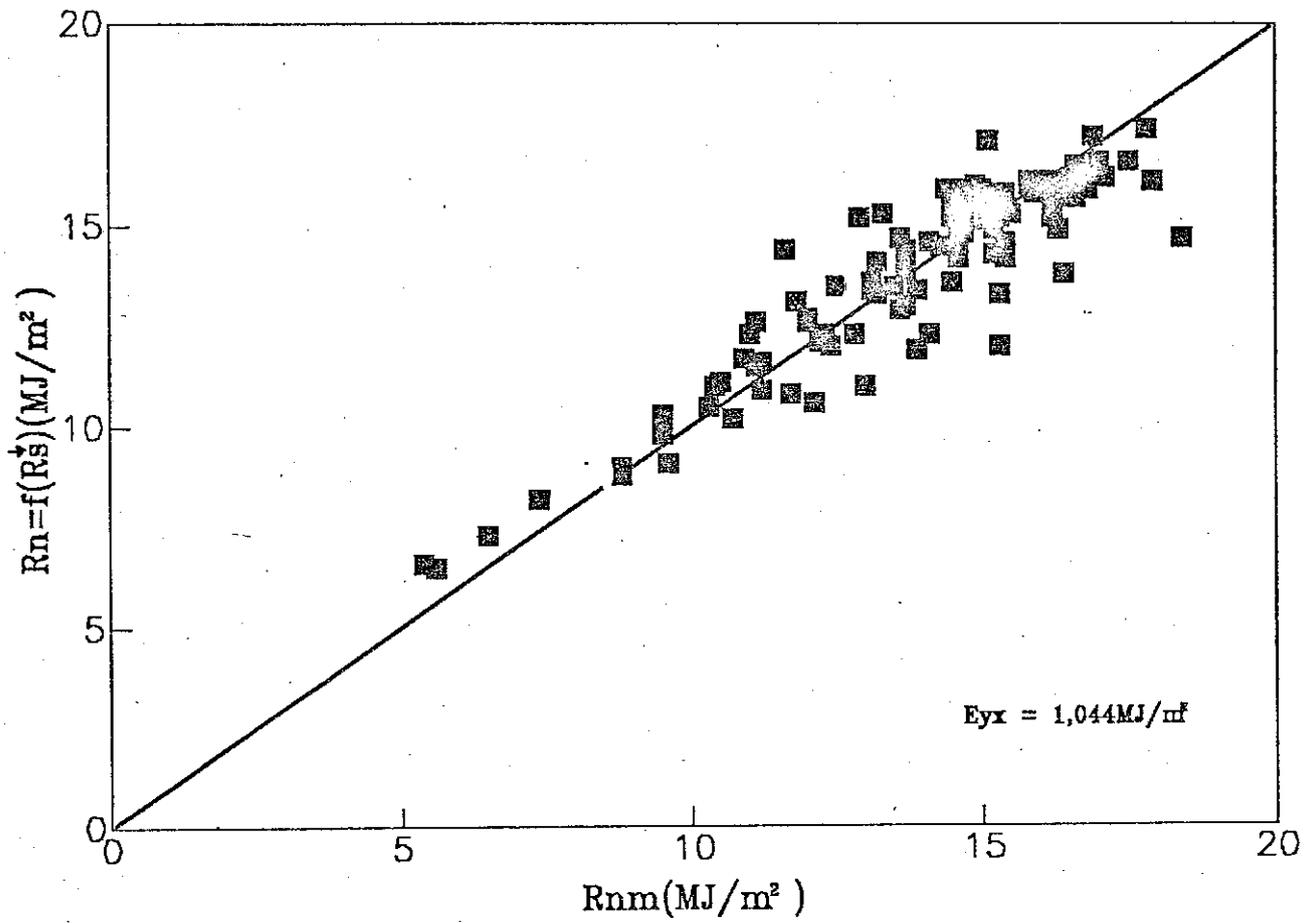


Figura IV.12b - Comparação entre R_n estimado, pela eq.(3.20), e R_n medido.

4.5. Balanço de Radiação Sobre a Cultura

4.5.1. Variação Diurna dos Componentes do Balanço de Radiação

As figuras IV.14, IV.15, IV.16 e IV.17 apresentam o comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação para quatro dias, sob diferentes condições de nebulosidade: céu completamente aberto(01.10.89, n=11,5hs), poucas nuvens(05.10.89, n=11,1hs), considerável nebulosidade(01.11.89, n=3,5hs) e nenhuma nebulosidade(13.12.89, n=0,0hs), respectivamente. Pelas figuras anteriormente citadas, observa-se que independente da condição de nebulosidade a curva do saldo de radiação(R_N) apresenta-se praticamente paralela à curva da radiação solar global(R_S), as mesmas apresentando uma maior aproximação nas primeiras horas da manhã e nas últimas horas da tarde. Quanto às curvas da radiação solar refletida(αR_S) e do saldo de radiação de ondas longas(R_{NL}), observa-se que a curva de αR_S apresentou-se menor para as condições de céu claro(01.10.89), pouca nebulosidade(05.10.89) e totalmente coberto(13.12.89), sendo que para a condição de céu totalmente coberto as curvas de αR_S e R_{NL} praticamente não apresentaram diferenças. Já para a condição de considerável nebulosidade, a curva de R_{NL} apresentou-se menor que a curva de αR_S durante maior parte do dia. O que pode evidenciar um aumento na radiação de ondas longas proveniente da atmosfera, tendo em vista que a radiação emitida pela superfície depende basicamente da temperatura à superfície e esta não variou, enquanto a anterior varia com a temperatura do ar, vapor d'água contido no ar e cobertura de nuvens.

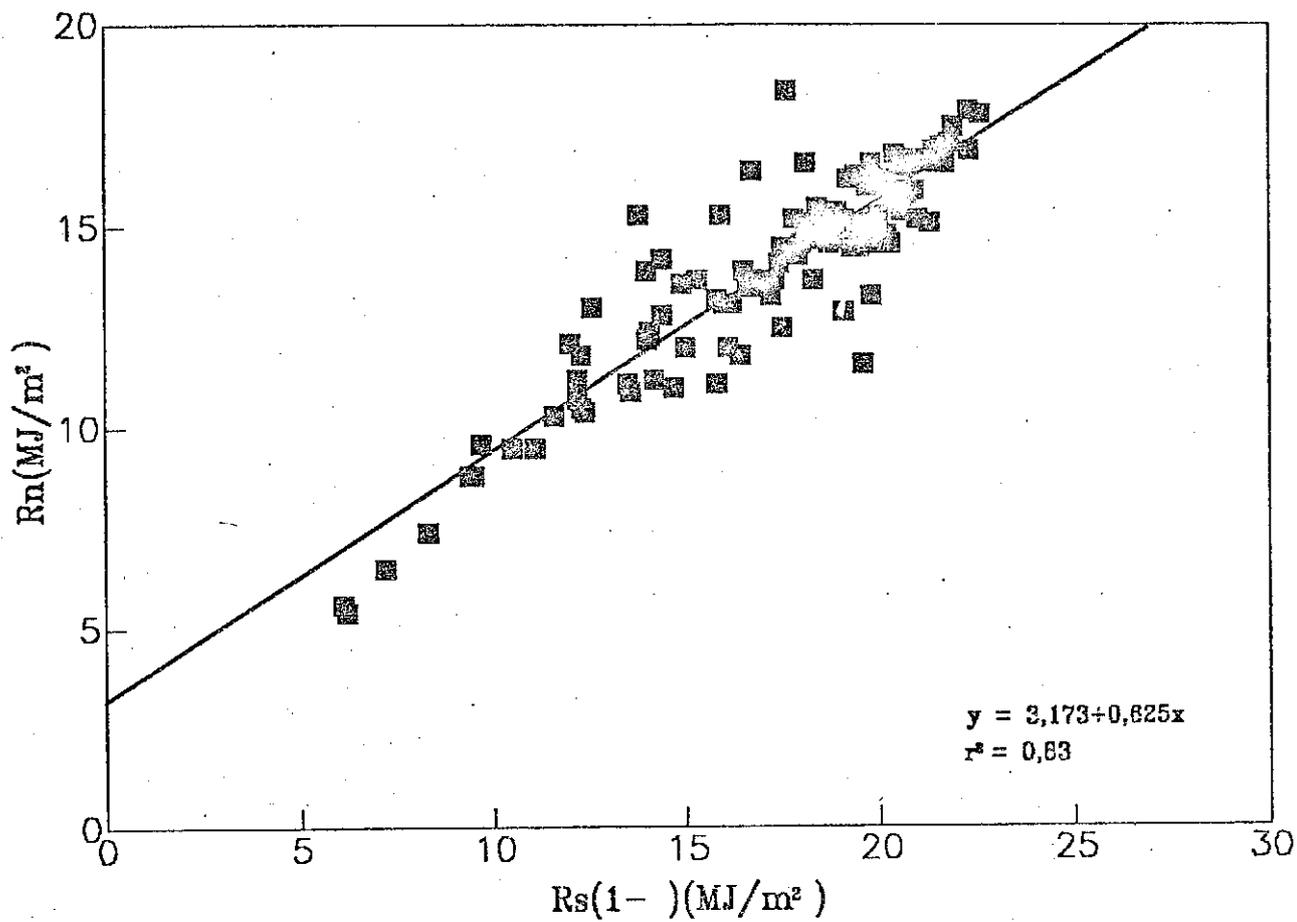


Figura IV.13a - Modelo de regressão linear entre R_n e o saldo de radiação de ondas curtas $(1-\alpha)R_s$.

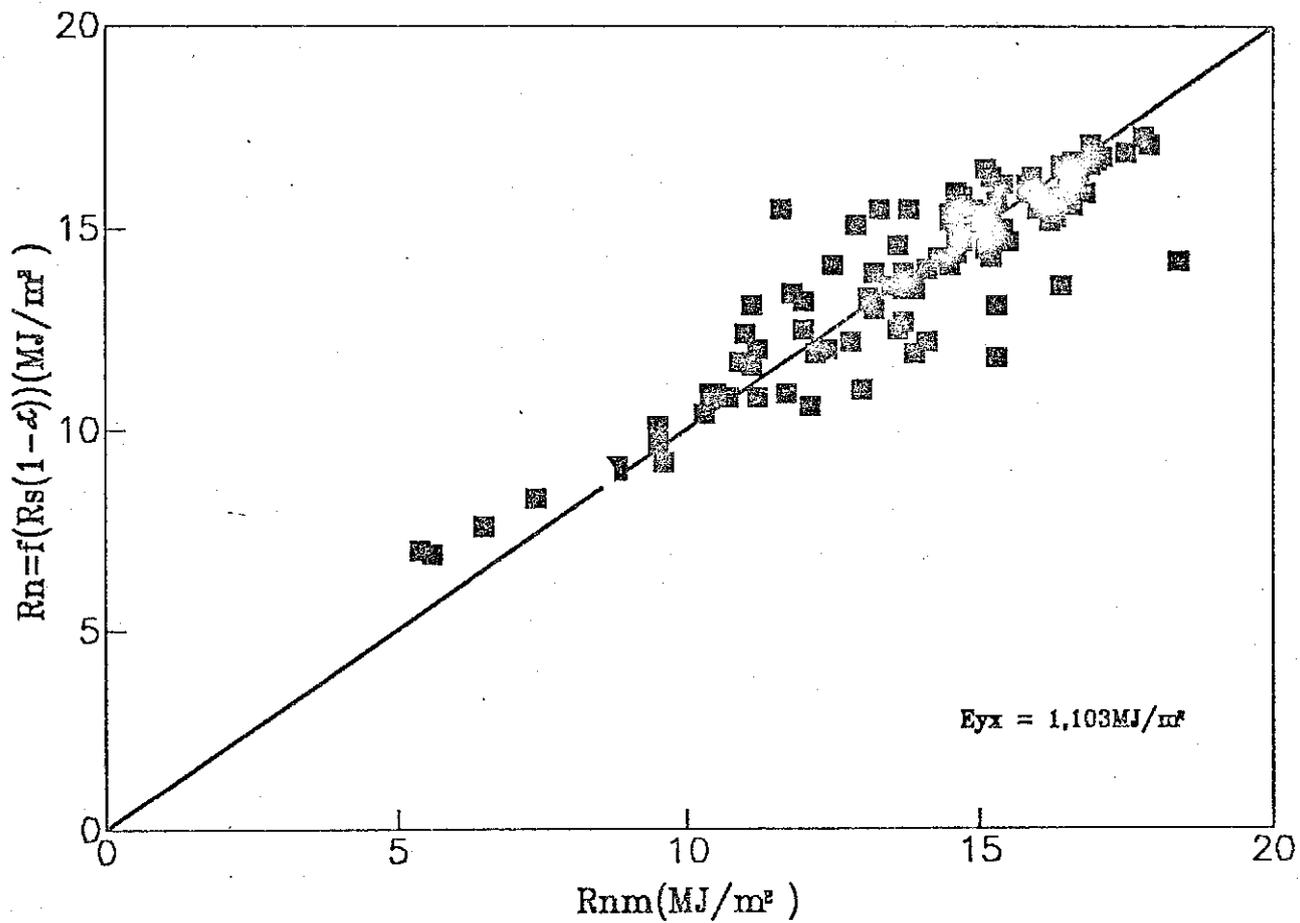


Figura IV.13b - Comparação entre R_n estimado a partir da eq.(3.21), com R_n medido.

4.5.2. Variação dos Componentes do Balanço de Radiação ao Longo do Ciclo da Cultura

A variação estacional dos componentes do balanço de radiação, pode ser observada na tabela IV.8 pelos valores médios diários para períodos de dez dias ao longo do experimento. Com base nos valores médios diários, para o período diurno, apresentados nesta tabela e que transcorreram 109 dias do plantio ao dia de encerramento das observações, é possível fazer as seguintes afirmações:

TABELA IV.8

VARIAÇÃO ESTACIONAL DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE RADIAÇÃO EM MJ/m².

PERIODO	COMPONENTES DO BALANÇO DE RADIAÇÃO EM (MJ/m ²)					
	R _S	R _S	R _S -R _S	R _{NL}	R _{NC}	R _{NM}
02.09.89 a 11.09.89	21,76	3,69	18,07	-4,73	13,34	14,47
12.09.89 a 21.09.89	22,37	3,67	18,71	-5,70	13,00	14,21
22.09.89 a 01.10.89	23,33	4,31	19,01	-5,58	13,44	14,52
02.10.89 a 11.10.89	23,63	4,45	19,18	-4,91	14,27	15,38
12.10.89 a 21.10.89	22,78	4,65	18,13	-4,68	13,45	14,33
22.10.89 a 31.10.89	22,61	4,38	18,23	-4,27	13,97	15,19
01.11.89 a 10.11.89	18,34	4,15	14,18	-2,44	11,75	14,22
11.11.89 a 20.11.89	22,94	5,00	17,94	-2,83	15,11	16,71
21.11.89 a 30.11.89	24,67	5,65	19,02	-2,59	14,43	18,21
01.12.89 a 10.12.89	18,00	3,83	14,97	-2,31	12,67	13,68
11.12.89 a 19.12.89	16,65	3,08	13,56	-3,11	10,46	11,03
MÉDIAS	21,62	4,26	17,37	-3,92	13,44	14,72

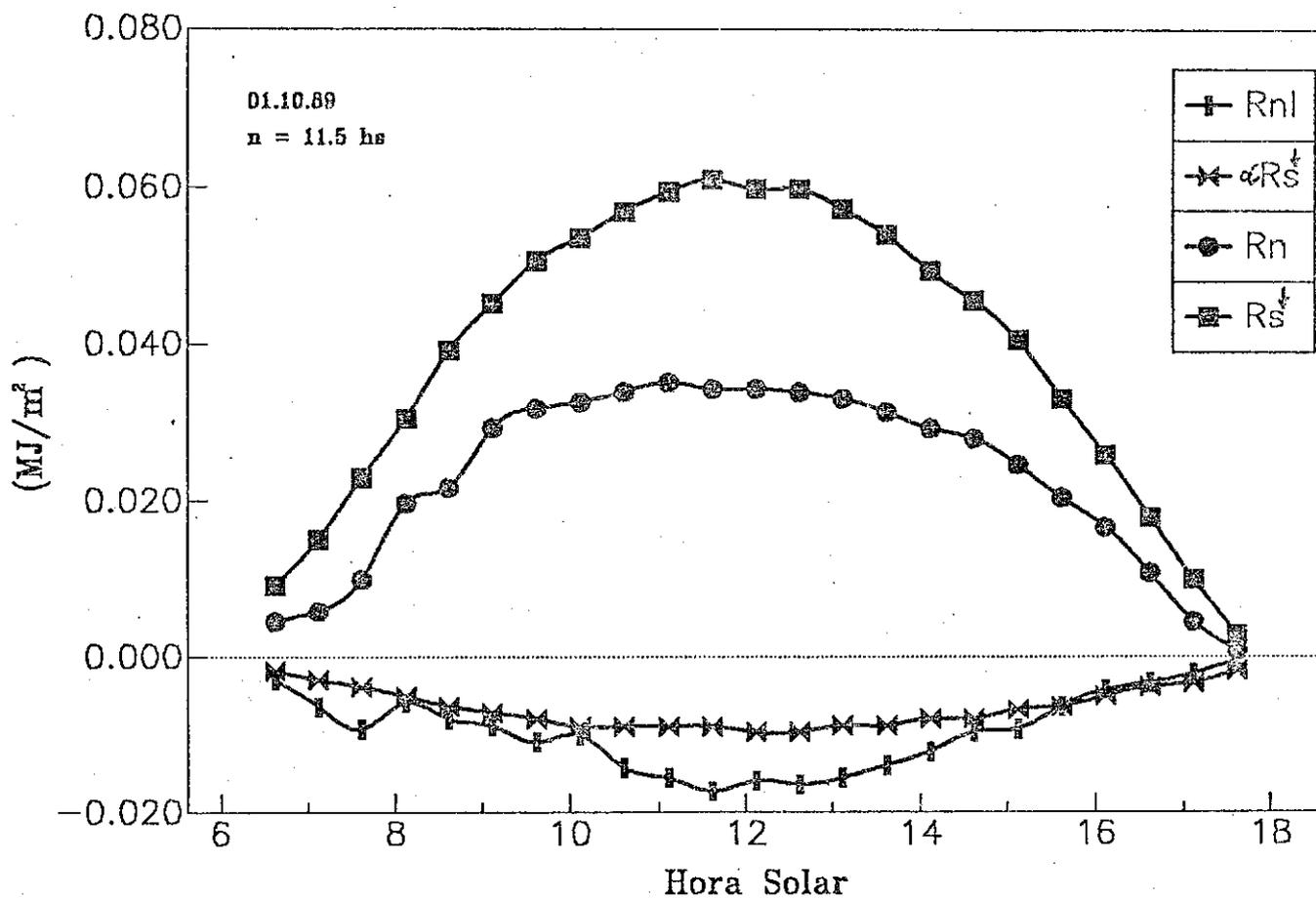


Figura IV.14 - Comportamento dos componentes do balanço de radiação para a condição de céu claro.

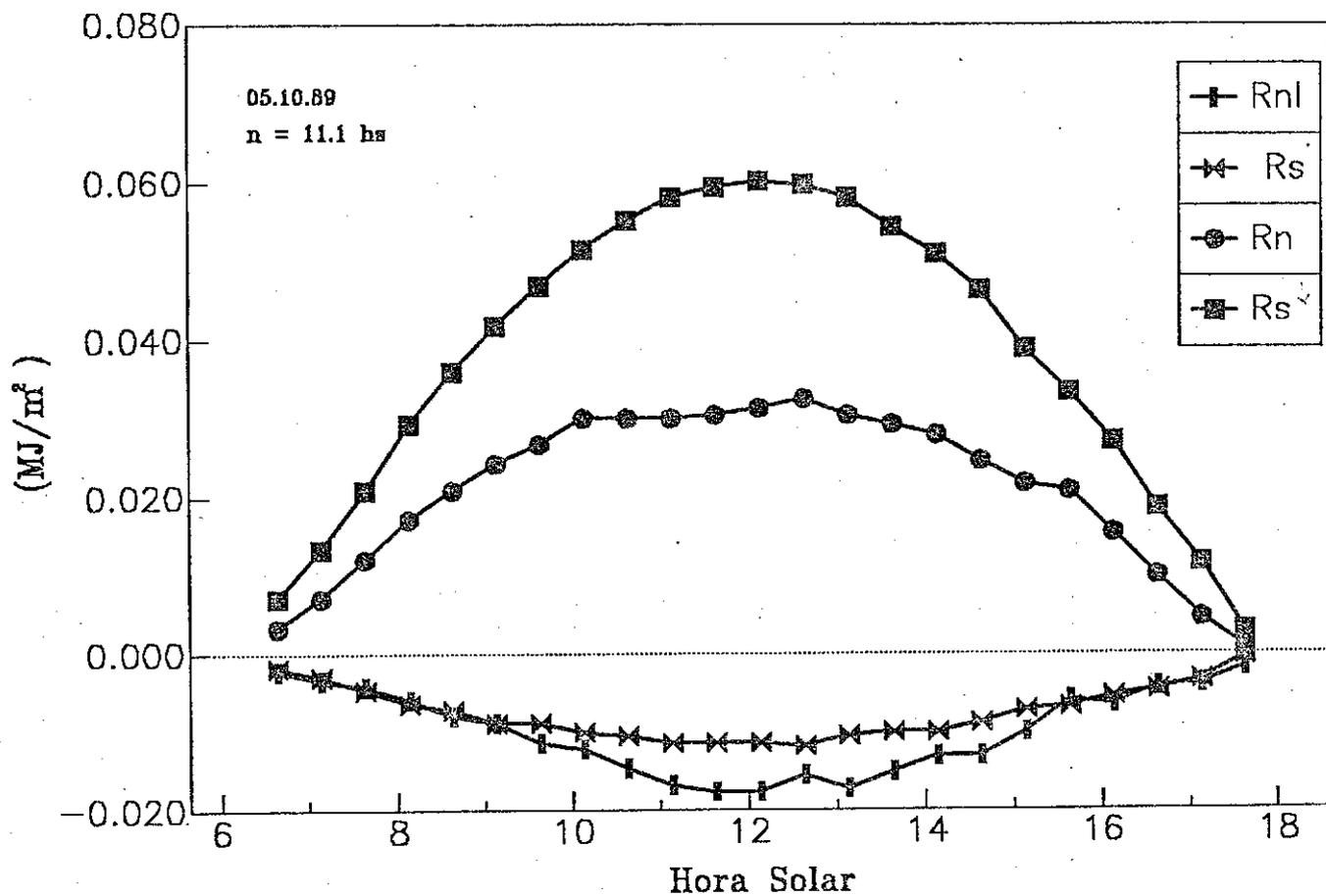


Figura IV.15 - Comportamento dos componentes do balanço de radiação para a condição de pouca nebulosidade.

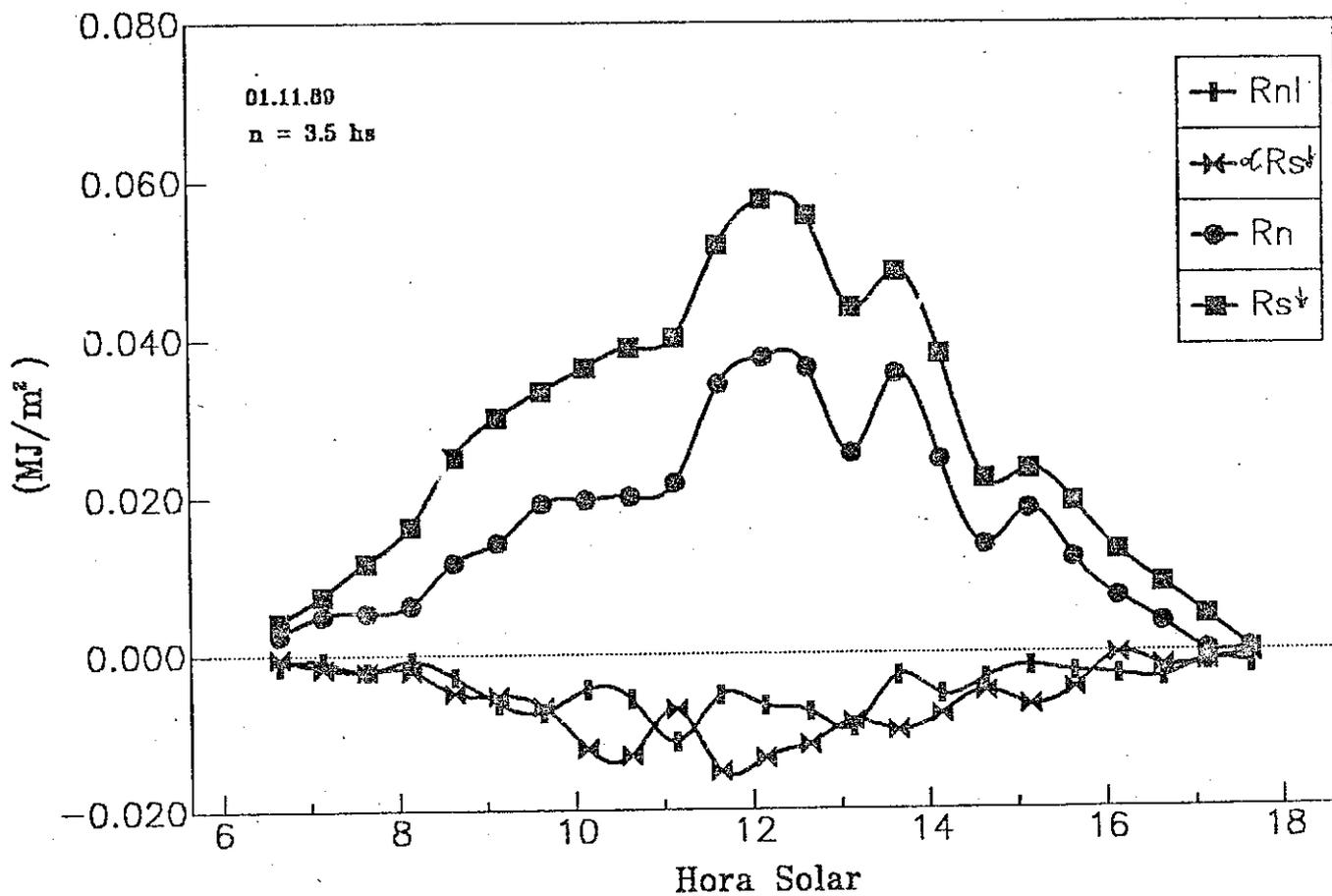


Figura IV.16 - Comportamento dos componentes do balanço de radiação para a condição de considerável nebulosidade.

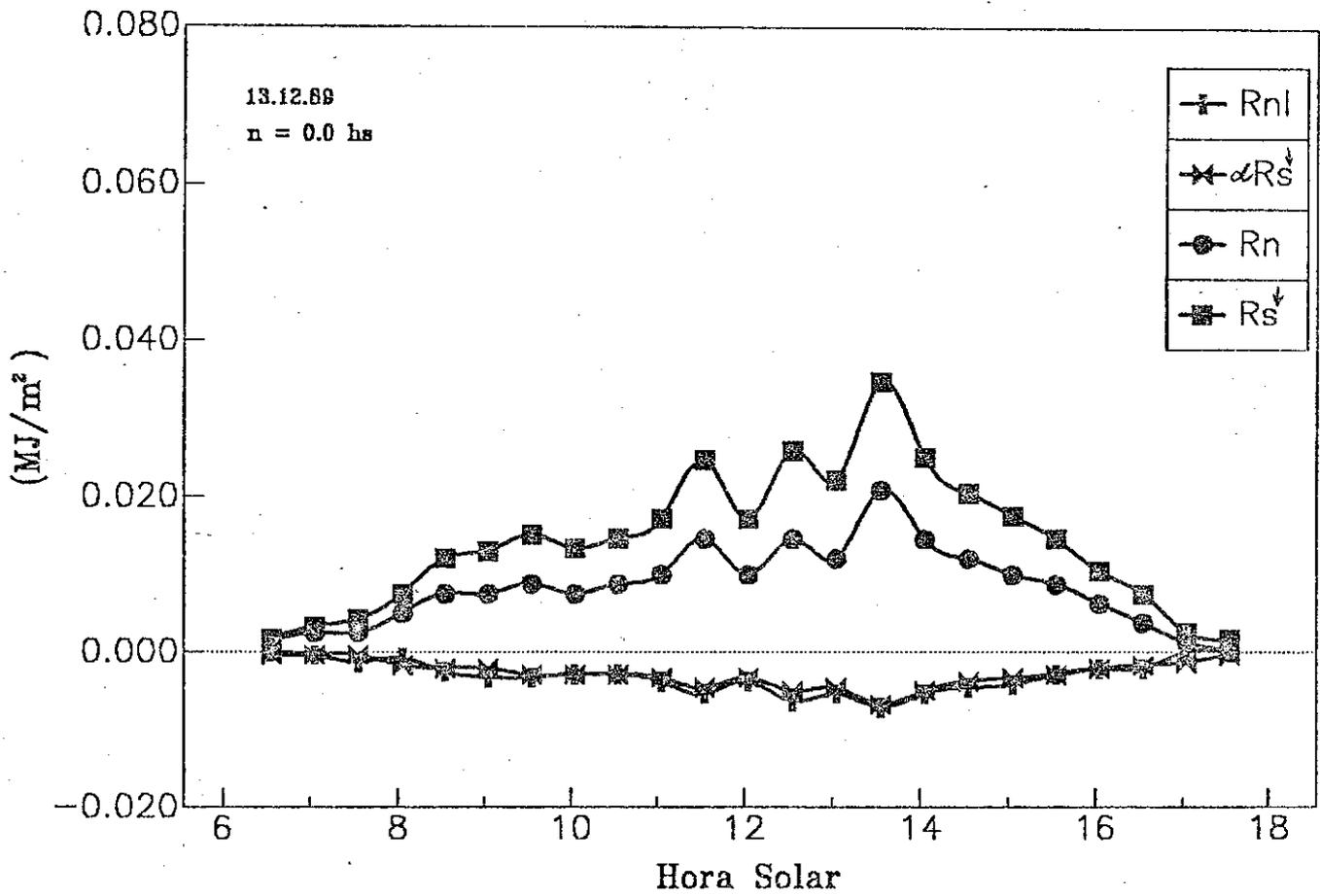


Figura IV.17 - Comportamento dos componentes do balanço de radiação para a condição de céu completamente nublado.

absorvidos pela cultura e pelo solo $17,34\text{MJ/m}^2$, aproximadamente 80%.

- o saldo de radiação de ondas longas apresentou uma média diurna de $-3,92\text{MJ/m}^2$, isto indica que a quantidade de radiação emitida foi maior que a incidente.

- o saldo de radiação para o período diurno apresentou uma média de $14,72\text{MJ/m}^2$ (valor medido) e $13,44$ (valor calculado), sendo essa a quantidade de energia que ficou disponível ao meio, para os processos físicos e químicos que ocorreram na comunidade vegetal.

TABELA IV.9

RAZÕES ENTRE OS COMPONENTES DO BALANÇO DE RADIAÇÃO(%).

CULTURA E LOCALIDADE	RAZÕES		
	R_S/R_S^\dagger	R_{NL}/R_S^\dagger	R_{NM}/R_S^\dagger
Algodão São Gonçalo-Pb Lat. ($6^{\circ}45'S$) BRASIL	19,72	18,15	68,15
Soja Mandacarú-Ba Lat. ($9^{\circ}26'$) BRASIL	17,92	19,88	71,50
Finger Millet Anakaplle Lat. ($17^{\circ}40'N$) INDIA	18,26	20,97	66,56
Milho Somary Lat. ($11^{\circ}11'N$) NIGÉRIA	17,08	26,15	64,51

A tabela IV.9 apresenta o comportamento dos componentes do balanço de radiação em termo das razões

percentuais, na qual estão também incluídos alguns resultados (citados por LEITÃO, 1989), obtidos para outras culturas em diferentes localidades dentro da região tropical. Apesar de se tratar de culturas diferentes, os resultados obtidos para São Gonçalo-Pb apresentaram-se semelhantes aos apresentados na tabela IV.9.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados no capítulo anterior, as seguintes conclusões são mencionadas:

a) O modelo de regressão linear proposto por Prescott(1940), para estimar a radiação solar global, apresenta pouca precisão para dias com muita nebulosidade ou totalmente nublado, principalmente para estimativas diárias.

b) O albedo do algodoeiro apresentou variações de até seis pontos percentuais, entre os dias anterior e posterior as irrigações, o que evidencia o efeito causado pelo estado de umidade do solo. Esse efeito é menor no período de completo desenvolvimento da cultura.

c) Os melhores resultados na estimativa da radiação térmica da atmosfera foram obtidos com as equações que são, simultaneamente, função da temperatura e pressão parcial do vapor d'água no ar. No entanto, resultados ainda melhores foram obtidos com o ajuste das equações empíricas às condições locais.

d) A inclusão do termo albedo(α) na equação resultante de regressão linear não melhorou a estimativa do saldo de radiação.

e) Na estimativa do saldo de radiação, apenas as equações de Penman(1948), eq.(3.12), e Linacre(1968), eq.(3.16), apresentaram bons resultados. No entanto, resultados ainda melhores foram obtidos com a eq. de Penman(1948), quando ajustada às condições locais.

6. - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ALLEN, L.H. and BROWN, K.W., 1965. Short-wave radiation in a corn crop. *Agronomy Journal*, 57:575-580.
- ALMANZA, R. and LOPEZ, S., 1978. Total solar radiation in Mexico using sunshine hours and meteorological data. *Solar Energy*, 21:441-488.
- ANDRE, R.G.B. and VISWANADHAM, Y., 1983. Radiation balance of soybeans grown in Brazil. *Agric. Meteorol.*, 30:157-173.
- ANDERSON, E.R., 1952. Energy-budget studies of water-loss investigations. vol.01, *lake Hefzur Studies*, p.92.
- ANGSTROM, A., 1924. Solar and terrestrial radiation. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 50:121-125.
- ANGSTROM, A., 1925. The albedo of various surface of ground. *Geografiska Annalen*, 07:321-342.
- ATWATER, M.A. and BALL, J.T., 1978. Numerical solar radiation model based on standard meteorological observations. *Solar Energy*, 21:163-170.
- AUBERTIN, G.M. and PETERS, D.B., 1961. Net radiation determination in a corn field. *Agron. J.*, 53:269-272.
- AZEVEDO, P.V.; VAREJÃO-SILVA, M.A. & VARGAS, G.A.O., 1981. Zoneamento do potencial de energia solar do Nordeste. *Coleção Politécnica*. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- AZEVEDO, P.V.; LEITÃO, M.M.V.B.R. & COSTA, J.P.R., 1989. Reflectância de uma cultura de soja irrigada nas condições semi-áridas do Nordeste do Brasil. *Anais do IV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*. Maceió-AL. 330-337.
- AZEVEDO, P.V.; LEITÃO, M.M.V.B.R. e SOUSA, I.F., 1990. Balanço de

- radiação sobre culturas, nas condições semi-áridas do cariri paraibano. Anais do VI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Salvador - Ba. 01:33-38.
- AYOADE, J.O., 1983. Introdução à Climatologia para os Trópicos. Ed. Bertrand Brasil S/A. 2ª edição, 332pp.
- BLACK, J.N., 1956. The distribution of solar radiation over the earth's surface. Arch. Met. Geophys, 7:165-189.
- BLAD, B.L. and BAKER, D.G., 1972. Reflected radiation from a soybean crop. Agron. J., 64:277-280.
- BOISVERT, J.B.; HAYHOE, H.N. and DUBE, P.A., 1990. Improving the estimation of global solar radiation across Canada. Agric. Forest Meteorol., 52:275-286.
- BROOKS, F.H., 1952. Atmospheric radiation and its reflection from the ground. J. Meteorol., 09:41-52.
- BRUNT, D., 1932. Notes on radiation in the atmosphere. Quart. J. Roy. Meteorol. Society, 57:400-405.
- BRUTSAERT, W., 1975. On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. Water Resources Research, 11:742-744.
- BRUTSAERT, W., 1984. Evaporation Into the Atmosphere. D.Reidel Publishing Company, 299p.
- BUDIKO, M.I., 1958. The heat balance of the earth's surface. Translation by Nina A. Stepanova U. S. Atomic Energy commission Report.
- CHANG, JEN-HU., 1961. Microclimate of sugar cane. Hawaiian Planter's Record, 56:195-223.
- CHANG, JEN-HU., 1968. An ecological survey, Chicago, Aldine. Climate and Agricultura. 304p.

- COSTA, J.P.R.; AZEVEDO, P.V. e LEITAO, M.M.V.B.R., 1988. Adaptação da equação de Brunt, modificada por Penman, às condições semi-áridas do Nordeste do Brasil. Anais do V Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro - RJ. 1:I.1-I.4.
- CUNHA, R.G.; BERGAMASHI, H.; BERLATO, M.A. e MATZENAUER, R., 1989. Balanço de radiação em cultura de milho. Anais do VI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Maceió- AL. 322-329.
- DAVIES, J.A. and BUTTIMOR, P.H., 1969. Reflection coefficients, heating coefficients and net radiation at Simcoe, Southern Ontario. Agric. Meteorology. 6:373-386.
- DAVIES, J.A. and IDSO, S.B., In: BARFIELD, B.J. and GEBER, J.F., 1979. Modification of the Aerial Environment of Crops. Ed. American Soc. of Agricultural Engineers,
- DENMEAD, O.T.; FRITSCHEN, L.J. and SHAW, R.H., 1962. Spatial distribution of net radiation in a corn field. Agron. J., 54:505-510.
- DE JONG, R.; SHAYKEWICH, C.F. and REIMER, A., 1980. The net radiation flux and its prediction at Pinawa, Manitoba. Agric. Meteorol., 22:217-225.
- DIRMHIRN, J. and BELT, G.H., 1971. Variation of albedo of selected sagebrush range in the intermountain region. Agric. Meteorol., 09:51-61.
- DRAKE, B.G., 1976. Seasonal changes in reflectance and standing crop biomass in three salt marsh communities. Plant Physiol., 58:696-699.
- DRIEDGER, H.L. and CATCHPOLE, A.J.W., 1970. Estimation of solar radiation receipt from sunshine duration at Winnipeg. Meteorol. Mag., 99:285-291.

- DURAND, R., 1974. Estimation du rayonnement global à partir de la durée d'insolation. *Ann. Agron.*, 25:779-795.
- ELSASSER, W.H., 1942. Heat transfer by infra-red radiation in the atmosphere. *Harvard Meteor. Studies.*, No.06:107pp.
- EXELL, R.H.B., 1978. The atmospheric radiation climate of Thailand. *Solar Energy*, 21:73-79.
- FITZPATRICK, E.A. and STERN, W.R., 1965. Components of radiation balance of irrigated plots in a dry monsoonal climate. *J. Appl. Meteorol.*, 04:649-660.
- FRITSCHEN, L.J., 1965. Accuracy of evapotranspiration determinations by the Bowen ratio method. *Bull. Intern. Assoc. Sci. Hidrol.* 38-48.
- FRITSCHEN, L.J., 1967. Net and solar radiation relations over irrigated field crops. *Agric. Meteorol.*, 4:56-62.
- GATES, D.M., 1964. Characteristics of soil and vegetated surfaces to reflected and emitted radiation. *Proc. Symp. Remote Sensing of the Environment.* 3rd, Ann. Arbor, 573-600.
- GAUSMAN, H.W.; ALLEN, W.A. and CARDENAS, R., 1969. Reflectance of cotton leaves and their structure. *Remote Sensing Environ.*, 01:19-22.
- GLOVER, J. and Mc.CULLOCH, J.S.G., 1958. The empirical relation between solar and hours of sunshine. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 84:172-175.
- HANKS, R.J.; BOWERS, S.A. and BARK, L.D., 1961. Influence of soil surface conditions on net radiation, soil temperatura and evaporation. *Soil Science*, 91:233-238.
- HOSTSLAG, A.A.M. and VAN ULDEN, A.P., 1983. A simple scheme for day-

- time estimates of the surface fluxes from routine weather data. *J. of Climate and Applied Meteorology*, 22:517-529.
- IDSO, S.B. and JACKSON, R.D., 1969. Thermal radiation from the atmosphere. *J. of Geophysical Research*, 74:5397-5403.
- IDSO, S.B., 1969. Relations of radiation fluxes over natural surface. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 95:244-257.
- IDSO, S.B., 1972. Systematic deviations of clear sky atmospheric thermal radiation from prediction of empirical formulae. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 98:399-401.
- IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J.; KIMBALL, B.A. and NAKAYAMA, F.S., 1975. The dependence of bare soil albedo on soil water content. *J. Appl. Meteorol.*, 14:109-113.
- JACKSON, R.D.; PINTER Jr., P.J. and REGINATO, R.J., 1985. Net radiation calculated from remote multispectral and ground station meteorological data. *Agric. Forest Meteorol.*, 35:153-164.
- JACOBS, A.F.G. and VAN PUL, W.A.J., 1990. Seasonal changes in the albedo of a maize crop during two seasons. *Agric. Forest Meteorol.*, 49:351-360.
- KLAR, A.E., 1984. *A água no sistema solo-planta-atmosfera*. Ed. Nobel. 2ª edição, 408pp.
- KUMAR, K.K., 1982. Estimation of net longwave radiation at a crop surface using temperature data. *Geobios*. 9:237-239.
- LEITÃO, M.M.V.B.R., 1989. *Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- LEITÃO, M.M.V.B.; AZEVEDO, P.V. e COSTA, J.P.R., 1990. *Balanço de*

- radiação e energia numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do Nordeste do Brasil. Anais do VI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Salvador-BA. 1:27-32.
- LINACRE, L.T., 1968. Estimating the net radiation flux. *Agric. Meteorol.*, 5:49-63.
- LING, A.H. and ROBERTSON, G.W., 1982. Reflection coefficients of some tropical vegetation covers. *Agric. Meteorol.*, 27:141-144.
- LIU, K.N., 1976. On the absorption, reflection and transmission of solar radiation in cloudy atmospheres. *J. Atmos. Sci.*, 33:798-805.
- MARTINEZ-LOZANO, J.A.; TENA, F.; ONRUBIA, J.E. and DE LA RUBIA, J., 1984. The historical evolution of the Angstrom formula and its modifications: review and bibliography. *Agric. Forest Meteorol.*, 33:109-128.
- MOTA, F.S., 1983. *Meteorologia Agrícola*. Biblioteca Rural, Livraria Nobel S/A. 7ª edição, 376pp.
- NEUWIRTH, F., 1980. The estimation of global and sky radiation in Austria. *Solar Energy*, 24:421-426.
- NKEMDIRIM, L.C., 1973. Radiative flux relations over crops. *Agric. Meteorol.*, 11:229-242.
- OMETTO, J.C., 1981. *Bioclimatologia vegetal*. Ed. Agronômica Ceres, 425pp.
- PALTRIDGE, G.W., 1970. Day-time long-wave radiation from the sky. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 96:645-653.
- PALTRIDGE, G.W. AND PLATT, C.M.R., 1976. Radiative processes in meteorology and climatology. *Development in Atmospheric Sci.*, vol. 05:318pp.

- PRESCOTT, J.A., 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans. R. Soc. South Aust.*, 64:114-118.
- REDDY, S.J., 1971. An empirical method for the estimation of total solar radiation. *Solar Energy*, 13:289-292.
- RIETVELD, M.R., 1978. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. *Agric. Meteorol.*, 19:243-252.
- ROBINSON, G.D., 1962. An introduction to the measurements of solar and terrestrial radiation. In: *Catalogue of IGY/IGC Meteorological Data*. World Meteorological Organization. 3-9pp..
- ROSS, J., 1981. *The radiation regime and architecture of plant stands*. Junk. The Hague. 391pp..
- SANTOS, R.F. dos & BARROS, M.A.L., 1991. *Conjuntura Internacional e Nacional do Algodão. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa do algodão 1987-1989*. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1991, 43-44p.
- SATTERLUND, D.R. and MEANS, J.R., 1973. Estimating solar radiation under variable cloud conditions. *Forest. Sci.*, 24:36-373.
- SATTERLUND, D.R., 1979. An improved equation for estimating long-wave radiation from the atmosphere. *Water Resources Research*, 15:1649-1650..
- SELLERS, W.D., 1965. *Physical Climatology*. The University of Chicago Press/Chicago&London, 272pp.
- SHAW, R.H., 1956. A comparasion of solar radiation and net radiation. *Bull. American Meteorol. Society*, 37:205-206.
- SHAW, R.H. and DECKER, W.L., In: Barfield, B.J. and Geber, J.F., 1979.

- Modification of the Aerial Environment of Crops. Ed. American Soc. of Agricultural Engineers.
- SOUSA, R.P., 1985. Comportamento de genótipos de algodoeiro anual em regime de irrigação. Dissert. de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- SOUZA, J.G.de; BARREIRO NETO, M.; SILVA J.B.V.da & GILES, J.A., 1982. Estudos de parâmetros fisiológicos para a resistência do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) à seca. Campina Grande, EMBRAPA-CNPA, 20P. Documento 16.
- SWIFT, L.W.Jr., 1976. Algorithm for solar radiation in mountain slopes. *Water Resources Research*, 12:108-112.
- SWINBANK, W.C., 1963. Longwave radiation from clear skies. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc*, 89:339-348.
- TANNER, C.B.; and PELTON, W.L., 1960. Potencial evapotranspiration estimates by the approximate energy balance method of Penman. *J. Geophys. Res.*, 65:3391-3413.
- THOMPSON, E.S., 1976. Computation of solar radiation from sky cover. *Water Resources Research*, 12:859-865.
- VIANELLO, R.L. & ALVES, A.R., 1991. *Meteorologia Básica e Aplicações* Imprensa Universitária, UFV-MG, 449pp.
- YAO, A.Y.M. and SHAW, R.H., 1964. Effect of plant population and pattern on the radiation. *Agron. J.*, 165-170pp..